ISSN1004-9444
CN 37-1372/Z

德州学院学报

JOURNAL OF DEZHOU UNIVERSITY

2024 4
VOL.40 NO.4

山东省优秀期刊
CAJ-CD规范执行优秀期刊
中国期刊全文数据库收录期刊
中国学术期刊（光盘版）收录期刊
中国学术期刊综合评价数据库来源期刊
万方数据—数字化期刊群全文收录期刊
中国核心期刊（遴选）数据库收录期刊
中文科技期刊数据库收录期刊
国家哲学社会科学学术期刊数据库收录期刊
超星期刊域出版平台收录期刊
中国人文社会科学引文数据库收录期刊

德州学院学报

双月刊

1985年创刊
2024年第40卷第4期
（总第196期）
2024年8月出版

编委会主任：李甲亮

编委会副主任：张秀玲

编委会委员（以姓氏笔画为序）：

于家峰	马洪才	王　鹤	冯　琨
吕志轩	刘艳芹	许士才	孙乃龙
李甲亮	李春光	李洪亮	杜亚丽
杨　颖	张秀玲	张宝泉	张锦辉
房　敏	郭长友	段　文	陈立华
陈　伟	赵　岩	顾相伶	徐慧清
唐延柯	谈家水	黄传波	曾强成

主编：李甲亮

常务副主编：张秀玲

副主编：陈立华　谈家水　徐慧清

德州学院学报

（双月刊）

2024年 第4期
第40卷（总第196期）

数理科学

基于机器学习算法识别DNA甲基化位点

……张亚群，李　娜，于　波，韩坤凌，吴顺军（1）

手性分子对映体选择性量子态转移……宋新娇，徐　雷（7）

信息科学

基于空间注意力机制的人群计数金字塔网络……王晓敏（15）

基于多维度优先级经验回放机制的深度确定性策略梯度算法

…… 荣垂霆，李海军，朱恒伟，刘延旭，于士军（21）

基于ADASYN和随机森林的UWB非视距识别方法

…… 胡方勇，孙春银，夏金凤，刘延旭（28）

基于MFLD的车道线识别方法……段慧林，孙健力，张建臣（33）

基于改进YOLOv8的太阳能电池板表面缺陷检测算法

…… 常光超，任传成（39）

化工与材料

磁场强化对高岭土除铁过程的影响

……李　敏，刘　伟，陈伟杰，王烟霞，张永正，张秀玲，王志刚（44）

混配体构筑的金属–有机框架及其水蒸气吸附性能研究

……吴宇航，王富田，李文洁，武文钰，刘昕奕，杨明康，张新丹，张永正（48）

期刊基本参数：CN37–1372/Z*1985*b*A4*110*zh*P* ¥20.00*500*20* 2024–08

生命·医药科学

乳腺癌放射治疗研究现状

……杨淑佳，林芸竹，兰紫玲，张霏宇，杨淑慧，高 峰（53）

2014—2022年德州市德城区乙型病毒性肝炎流行病学特征分析……张宝珍，罗婷婷（58）

侧卧位通气在有创机械通气患者中的研究进展

……牟静静，单欣凝，谷馨雨，朱亚飞，任 吉，孙 洁，李 娜，张 琳（62）

经济·管理学研究

基于ACRI的中国–东盟–美国NTMs政策差异对各国部门全球价值链的影响研究……左 力（67）

元宇宙赋能智慧图书馆：内涵特征、应用场景与建设路径

…… 陈秀英，李志超，于成华，李粤红（76）

信息时代高校档案数字化转型发展研究……温艳秋（83）

高校教学研究

立德树人视域下 “一院一品”思想政治教育模式构建……王 思，董 卉（87）

工程教育认证下“三双三融”实验教学改革探究

——以德州学院环境工程专业“环境监测实验”课程为例

……王爱丽，商书波，杨 飞，李新征，王 芳（91）

地方本科高校第二课堂育人模式的创新探索……孙晨晨，朱 超，董晓婷，冯立顺（96）

基于“OBE+三因”双理念下价值共创教学模式研究与应用

——以德州学院“市场营销学”课程为例……卜庆娟，李朝辉，曹 冰，李寒英（101）

新建应用型本科高校课程考核质量提升路径探究 ……王 娜（106）

JOURNAL OF DEZHOU UNIVERSITY

Vol. 40 **No.** 4 **August** 2024

MAIN CONTENTS

Identification of DNA Methylation Sites Based on Machine Learning Algorithms

.....ZHANG Yaqun, LI Na, YU Bo, et al. (1)

A Crowd Counting Pyramid Network Based on Spatial Attention Mechanism

.....WANG Xiaomin (15)

Deep Deterministic Policy Gradient Algorithm Based on Multi-dimensional Priority

Experience Replay Mechanism ..... RONG Chuiting, LI Haijun, ZHU Hengwei, et al. (21)

Effect of Magneticfield Enhanced for the Kaolin Iron Removal

.....LI Min, LIU Wei, CHEN Weijie, et al. (44)

The Current Research Status of Radiation Therapy for Breast Cancer

.....YANG Shujia, LIN Yunzhu, LAN Ziling, et al. (53)

A Study on the Impact of China-ASEAN-U.S. NTMs Policy Differences on Global Value Chains in

Various Sectors Based on ACRI.....ZUO Li (67)

Construction of Ideological and Political Education Mode of "One Department, One Project"

from the Perspective of Strengthening Moral Education and Cultivating People

.....WANG Si, DONG Hui (87)

基于机器学习算法识别DNA甲基化位点

张亚群，李　娜，于　波，韩坤凌，吴顺军

（德州学院　数学与大数据学院，山东　德州　253023）

摘　要：DNA甲基化是表观遗传学中的研究热点之一。本研究提出一种预测DNA序列中甲基化位点的新方法，名为DPTRS。首先，利用二核苷酸组成 (dinucleotide composition，DNC)、伪二核苷酸组成 (pseudo dinucleotide composition，PseDNC) 和三核苷酸组成 (trinucleotide composition，TNC) 对序列进行表征。其次，融合获得的信息并利用重复编辑的近邻方法 (repeated edited nearest neighbour，RENN) 进行不平衡处理。再次，通过局部线性嵌入 (locally linear embedding, LLE) 方法进行降维。最后，利用支持向量机 (support vector machine, SVM) 对特征子集进行预测。最终的预测结果基于十折交叉验证方法得出，基准数据集上预测准确率为91.48%。结果显示，DPTRS方法能够有效识别DNA序列中的甲基化位点。

关键词：DNA甲基化；不平衡处理；支持向量机

中图分类号：Q811.4　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1004-9444（2024）04-0001-06

0　引言

DNA甲基化，是生命体在DNA甲基转移酶的催化下，以S-腺苷甲硫氨酸为甲基供体，将甲基转移到特定的碱基上的过程[1]。人类的DNA甲基化过程是一个相对复杂的生物化学反应。在这个过程中，DNA甲基转移酶会将甲基基团从S-腺苷甲硫氨酸转移至DNA链上的胞嘧啶残基的第5个碳原子上，形成5-甲基胞嘧啶[2]。

人类的DNA甲基化过程在胚胎发育、细胞分化、基因表达调控等方面发挥着重要作用。在胚胎发育过程中，DNA甲基化模式的重塑有助于细胞命运的决定和分化。在细胞分化过程中，DNA甲基化可以调控基因的时空表达，确保细胞正常发育。此外，DNA甲基化还与一些疾病的发生和发展密切相关，如癌症、神经退行性疾病等[3]。需要注意的是，DNA甲基化是一个动态的过程，可以受到多种因素的影响，包括环境因素、遗传因素等[4]。因此，深入研究人类DNA甲基化的调控机制和生理功能，对于理解人类生长发育和疾病发生具有重要意义。

目前有一些传统的实验方法可以用来预测序列中的甲基化位点。例如亚硫酸氢盐测序方法[5]，是基因组学和表观遗传学中广泛使用的方法，用于在单核苷酸水平上分析DNA甲基化模式。主流的检测DNA甲基化位点的实验方法还有单分子实时测序技术[6]和4mC-Tet辅助亚硫酸氢盐测序技术，其一般针对DNA甲基胞嘧啶位点进行检测。DNA 甲基腺嘌呤位点的筛选工作中，耦合免疫沉淀下一代测序技术[7]和质谱技术[8]是公认的有效工具。

随着机器学习日益发展，出现了一些使用机器学习预测序列甲基化的研究。Pan等人[9]基于物理化学性质和DNA序列信息的机器学习方法来预测DNA甲基化位点，揭示了DNA甲基化与基因表达之间的关联。Liu等人[10]提出了一种新的预测DNA甲基化位点的方法，名为iDNA-Methyl。利用了伪三核苷酸组成来翻译序列，并作为特征进行训练。该方法使用了大量的DNA序列数据和甲基化数据，以提高预测的准确性和可靠性。

1　材料

本研究使用的数据集由包含DNA甲基化位点的序列构成。基准数据集共包含2426条DNA序列，其中阳性样本787条，阴性样本1639条。每条序列都由4种核苷酸：胞嘧啶 (cytosine，C)、胸腺嘧啶 (thymine, T)、腺嘌呤 (adenine, A)、鸟嘌呤 (guanine, G)中的若干种构成，4种核苷酸自由组合，允许相邻的核苷酸相同。每条DNA样本长度相同，均包含41个核苷酸，其中心位点为胞嘧啶。

收稿日期：2024-02-27

作者简介：张亚群（1996－），女，山东临沂人，助教，硕士，主要研究方向为生物信息学。

2 方法

2.1 特征提取方法

1）二核苷酸组成

假设给定一条DNA序列 Q，序列共包含 m 个核苷酸，即

$$\boldsymbol{Q}=R_1R_2R_3R_4R_5\cdots R_m \tag{1}$$

其中，

$$R_i\in\{\mathrm{A},\mathrm{C},\mathrm{G},\mathrm{T}\} \tag{2}$$

R_i 表示位于序列位置 $i(i=1,2,3,\cdots,m)$ 处的核苷酸。例如 R_1 表示序列中第一个核苷酸，R_2 是位于第二个位置的核苷酸。

二核苷酸组成 (dinucleotide composition，DNC)[11] 方法中包含了最连续的局部序列顺序信息。如果使用DNC方法表示DNA序列，则对应的特征向量将包含 4×4=16 个分量，如下所示

$$\begin{aligned}\boldsymbol{Q}&=[f(\mathrm{AA})f(\mathrm{AC})f(\mathrm{AG})f(\mathrm{AT})\cdots f(\mathrm{TT})]^{\mathrm{T}}\\&=[f_1f_2f_3f_4\cdots f_{16}]^{\mathrm{T}}\end{aligned} \tag{3}$$

其中，$f(\mathrm{AA})$ 是序列中核苷酸对 AA 的归一化发生频率，$f(\mathrm{AC})$ 是 AC 的，以此类推。

2）伪二核苷酸组成

为了更全面地表征序列，考虑将全局序列顺序信息合并到DNA序列的特征向量中，因此本研究同时使用了伪二核苷酸组成 (pseudo dinucleotide composition，PseDNC)[12]方法。对于一条包含 L 个核苷酸的DNA序列，设序列中的第一个二核苷酸是 R_1R_2，第二个二核苷酸是 R_2R_3，以此类推，最后一个是 $R_{L-1}R_L$。因此，可以用一组序列顺序相关因子来反映全局序列顺序信息。相应的因子定义如下

$$\begin{aligned}\theta_1&=\frac{1}{L-2}\sum_{i=1}^{L-2}\Theta\left(R_iR_{i+1},R_{i+1}R_{i+2}\right)\\\theta_2&=\frac{1}{L-3}\sum_{i=1}^{L-3}\Theta\left(R_iR_{i+1},R_{i+2}R_{i+3}\right)\quad(\lambda<L)\\&\cdots\\\theta_\lambda&=\frac{1}{L-1-\lambda}\sum_{i=1}^{L-1-\lambda}\Theta\left(R_iR_{i+1},R_{i+\lambda}R_{i+\lambda+1}\right)\end{aligned} \tag{4}$$

其中，θ_1 称为第一级相关因子，反映了一条DNA序列上所有最相邻的二核苷酸之间的序列顺序相关性；θ_2 为所有第二相邻的二核苷酸之间的第二级相关因子，以此类推。参数 λ 是一个整数，表示沿着一个DNA序列的相关性的最高计数秩，相关函数如式 (5) 所示。

$$\Theta\left(R_iR_{i+1},R_jR_{j+1}\right)=\frac{1}{\mu}\sum_{u=1}^{\mu}\left[P_u\left(R_iR_{i+1}\right)-P_u\left(R_jR_{j+1}\right)\right]^2 \tag{5}$$

其中，μ 为局部DNA结构性质的数量。$P_u\left(R_iR_{i+1}\right)$ 是位于位置 i 的二核苷酸 R_iR_{i+1} 的第 u 个DNA局部属性，$P_u\left(R_jR_{j+1}\right)$ 是位置 j 上的二核苷酸 R_jR_{j+1} 的对应值。

3）三核苷酸组成

给定一个含有 l 个核苷酸的DNA序列 $\boldsymbol{L}$

$$\boldsymbol{L}=L_1L_2L_3\cdots L_l \tag{6}$$

其中，

$$L_i\in\{\mathrm{A},\mathrm{C},\mathrm{G},\mathrm{T}\},i\in1,2,3,\cdots,l \tag{7}$$

如果DNA序列的特征向量是由三核苷酸组成 (trinucleotide composition，TNC)[13]构成的，对应的特征向量为

$$\begin{aligned}\boldsymbol{L}&=[f(\mathrm{AAA})f(\mathrm{AAC})f(\mathrm{AAG})f(\mathrm{AAT})\cdots f(\mathrm{TTT})]^{\mathrm{T}}\\&=[f_1^{(3)}f_2^{(3)}f_3^{(3)}f_4^{(3)}\cdots f_{64}^{(3)}]^{\mathrm{T}}\end{aligned} \tag{8}$$

其中，$f(\mathrm{AAA})$ 是DNA序列中核苷酸对 AAA 的归一化发生频率，$f(\mathrm{AAC})$ 是 AAC 的，以此类推。

2.2 不平衡处理方法

重复编辑的近邻 (repeated edited nearest neighbour，RENN)[14]算法是一种处理不平衡数据集的过采样技术。该方法通过重复应用编辑最近邻 (edited nearest neighbour, ENN) 算法来减少多数类的样本数量，旨在提高少数类的识别率。RENN算法的具体步骤如下：

假设有一个数据集 $D=\{\boldsymbol{x}_1,\boldsymbol{x}_2,\cdots,\boldsymbol{x}_n\}$，其中 $\boldsymbol{x}_1$ 是一个 m 维特征向量。首先，使用编辑最近邻算法找出那些远离其最近邻的样本。设 S 为这些样本的集合。从数据集 D 中删除 S 中的样本，得到新的数据集 $D'=D-S$。如果 D' 的大小仍然大于原始数据集 D，重复上述步骤，直到 D' 的大小不再变化或达到预设的迭代次数。

ENN算法是一种基于距离度量的算法，执行思路为：对于数据集中的每个样本 $\boldsymbol{x}_i$，找到其最近邻样本 $\boldsymbol{y}$，计算 $\boldsymbol{x}_i$ 与 $\boldsymbol{y}$ 之间的距离 $d(\boldsymbol{x}_i,\boldsymbol{y})$。设定一个阈值 T，用于判断 $\boldsymbol{x}_i$ 是否与 $\boldsymbol{y}$ 友好。这里采用默认阈值。如果 $d(\boldsymbol{x}_i,\boldsymbol{y})$ 大于 T，则认为 $\boldsymbol{x}_i$ 与 $\boldsymbol{y}$ 不友好，将 $\boldsymbol{x}_i$ 从数据集中删除；否则，认为 $\boldsymbol{x}_i$ 与 $\boldsymbol{y}$ 友好，保留样本 $\boldsymbol{x}_i$。重复执行步骤，直到无法再删除任何样本为止。

2.3 特征选择方法

局部线性嵌入 (locally linear embedding，LLE) 方法[15]将数据集 $X=\{\boldsymbol{x}_1,\boldsymbol{x}_2,\cdots,\boldsymbol{x}_n\},\boldsymbol{x}_i\in\mathrm{R}^d$ 全局映射

到数据集 $Y=\{\boldsymbol{y}_1,\boldsymbol{y}_2,\cdots,\boldsymbol{y}_n\},\boldsymbol{y}_i\in \mathrm{R}^m$。假设数据位于一个局部可以线性近似的非线性流形上，它使用两个阶段：（1）对于每个样本 $\boldsymbol{x}_i$，基于 k 个最近邻局部拟合其周围的超平面，并计算重建权重；（2）基于这些权值最小化一个映射函数，为每个 $\boldsymbol{x}_i$ 找到低维坐标 $\boldsymbol{y}_i$。

第一步，明确需要多少个邻域样本来线性表示样本 $\boldsymbol{x}_i$，假设这个值为 k。样本 $\boldsymbol{x}_i$ 的 k 个最近邻可以通过欧式距离来选择。原始输入空间的每个样本与其邻域的线性关系为

$$\begin{aligned}&\arg\min_{\boldsymbol{W}}\sum_{i=1}^{N}\left\|\boldsymbol{x}_i-\sum_{j=1}^{k}\omega_{ji}\boldsymbol{x}_{ji}\right\|^2\\&\text{s.t.}\sum_{i=1}^{N}\boldsymbol{w}_{ji}=1\end{aligned}\tag{9}$$

记

$$\begin{aligned}\Phi(\boldsymbol{W})&=\sum_{i=1}^{N}\left\|\boldsymbol{x}_i-\sum_{j=1}^{k}\omega_{ji}\boldsymbol{x}_{ji}\right\|^2\\&=\sum_{i=1}^{N}\left\|\sum_{j=1}^{k}(\boldsymbol{x}_i-\boldsymbol{x}_{ji})\omega_{ji}\right\|^2\\&=\sum_{i=1}^{N}\left\|(\boldsymbol{X}_i-N_i)\boldsymbol{W}_i\right\|^2\\&=\sum_{i=1}^{N}\boldsymbol{W}_i^{\mathrm{T}}(\boldsymbol{X}_i-N_i)^{\mathrm{T}}(\boldsymbol{X}_i-N_i)\boldsymbol{W}_i\\&\text{s.t.}\,\boldsymbol{W}_i^{\mathrm{T}}\boldsymbol{I}_k=1\end{aligned}\tag{10}$$

其中，$\boldsymbol{X}_i,N_i\in R^{D\times k},\boldsymbol{W}_i\in R^{k\times 1}$。记 $\boldsymbol{S}=(\boldsymbol{X}_i-N_i)^{\mathbf{T}}(\boldsymbol{X}_i-N_i)\in R^{k\times k}$，则上式中的优化目标可整理为

$$\begin{aligned}&\Phi(\boldsymbol{W})=\sum_{i=1}^{N}\boldsymbol{W}_i^{\mathrm{T}}S\boldsymbol{W}_i\\&\text{s.t.}\;\;\boldsymbol{W}_i^{\mathrm{T}}\boldsymbol{I}_k=1\end{aligned}\tag{11}$$

该优化目标的拉格朗日方程

$$\begin{aligned}&\boldsymbol{L}=\boldsymbol{W}_i^{\mathrm{T}}\boldsymbol{S}\boldsymbol{W}_i+\lambda(\boldsymbol{W}_i^{\mathrm{T}}\boldsymbol{I}_k-1)\\&\text{s.t.}\;\;\boldsymbol{W}_i^{\mathrm{T}}\boldsymbol{I}_k=1\end{aligned}\tag{12}$$

求 L 关于 W_i 的偏导数，并设定结果为零

$$\frac{\partial L}{\partial W_i}=2\boldsymbol{S}\boldsymbol{W}_i+\lambda\boldsymbol{I}_k=0\tag{13}$$

可求得 $\boldsymbol{W}_i$ 为

$$\boldsymbol{W}_i=\frac{\boldsymbol{S}_i^{-1}\boldsymbol{I}_k}{\boldsymbol{I}_k^{\mathrm{T}}\boldsymbol{S}_i^{-1}\boldsymbol{I}_k}\tag{14}$$

第二步，低维空间 $Y=\{\boldsymbol{y}_1,\boldsymbol{y}_2,\cdots,\boldsymbol{y}_n\},\boldsymbol{y}_i\in \mathrm{R}^{d\times N}$ 的每一列都是一个样本，样本长度为 d，个数为 N。由于要求低维空间的局部线性与原始输入空间相同，可得

$$\begin{aligned}&\arg\min_{Y}\sum_{i=1}^{N}\left\|\boldsymbol{y}_i-\sum_{j=1}^{k}\omega_{ji}\boldsymbol{y}_{ji}\right\|^2\\&=\sum_{i=1}^{N}\left\|\sum_{j=1}^{k}(\boldsymbol{x}_i-\boldsymbol{x}_{ji})\omega_{ji}\right\|^2\\&=\sum_{i=1}^{N}\left\|(\boldsymbol{X}_i-N_i)\boldsymbol{W}_i\right\|^2\\&=\sum_{i=1}^{N}\boldsymbol{W}_i^{\mathrm{T}}(\boldsymbol{X}_i-N_i)^{\mathbf{T}}(\boldsymbol{X}_i-N_i)\boldsymbol{W}_i\\&\text{s.t.}\sum_{i=1}^{N}\boldsymbol{y}_i=0\\&\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\boldsymbol{y}_i\boldsymbol{y}_i^{\mathrm{T}}=\boldsymbol{I}_{d\times d}\end{aligned}\tag{15}$$

存在一个约束条件：Y 中的低维样本 $\boldsymbol{y}_i$ 都是单位向量。建立稀疏矩阵 $\boldsymbol{W}'=\left\{\boldsymbol{w}_{ij}'\right\}\in R^{N\times N}$

$$\boldsymbol{w}_{ij}'=\begin{cases}\boldsymbol{w}_{ij},\boldsymbol{x}_j\in KNN(\boldsymbol{x}_j)\\0,\text{ otherwise}\end{cases}\tag{16}$$

因此，

$$\sum_{j=1}^{N}\boldsymbol{w}_{ij}'\boldsymbol{y}_{ij}=\sum_{j=1}^{N}\boldsymbol{w}_{ij}\boldsymbol{y}_{ij}=Y\boldsymbol{W}_i'\tag{17}$$

其中，$W_i'\in R^{N\times 1}$ 为矩阵 $\boldsymbol{W}_i'$ 的列向量，得到的结果刚好是 $\boldsymbol{y}_i\in R^{d\times 1}$。记

$$\begin{aligned}\Phi(Y)&=\sum_{i=1}^{N}\left\|\boldsymbol{y}_i-\sum_{j=1}^{k}\omega_{ji}\boldsymbol{y}_{ji}\right\|^2\\&=\sum_{i=1}^{N}\left\|Y(\boldsymbol{I}_i-\boldsymbol{W}_i')\right\|^2\\&=\sum_{i=1}^{N}[(\boldsymbol{I}_i-\boldsymbol{W}_i')(\boldsymbol{I}_i-\boldsymbol{W}_i')^{\mathrm{T}}Y^{\mathrm{T}}]\\&=tr(Y(I-\boldsymbol{W}')(I-\boldsymbol{W}')^{\mathrm{T}}Y^{\mathrm{T}})\end{aligned}\tag{18}$$

令 $M=(\boldsymbol{I}_i-\boldsymbol{W}_i')(\boldsymbol{I}_i-\boldsymbol{W}_i')^{\mathrm{T}}\in R^{N\times N}$，有

$$\min\Phi(Y)=tr(YMY^{\mathrm{T}})\tag{19}$$

重复第一步的步骤，可得

$$MY_T=\lambda Y_T\tag{20}$$

2.4　分类方法

支持向量机 (support vector machine, SVM)[16]是根据VC维理论构建最优超平面，确定支持向量对于未知样本进行预测。对于序列特征和类别标签 $(\boldsymbol{x}_i,\boldsymbol{y}_j)$，需满足

$$\boldsymbol{y}_i\left[\left(w^t\boldsymbol{x}_i\right)+b\right]-1\geq 0,i=1,2,\cdots,n\tag{21}$$

其中，w 是权重，b 是偏置，考虑到样本与类别标签可能存在非线性关系，通过核函数将样本空间映射到高维空间，最优分类面的决策函数则为

$$f(x)=\mathrm{sgn}\{(\omega,x)+b\}=\mathrm{sgn}\left[\sum_{x_i\in SV}\alpha_i y_i k(\boldsymbol{x}_i,\boldsymbol{x}_j)+b\right] \quad (22)$$

其中 sgn 是符号函数，$k(\boldsymbol{x}_i,\boldsymbol{x}_j)$ 为核函数。

2.5 性能评估

对于本研究提出的预测方法DPTRS，有必要对其进行性能检验。本研究选择了常见的十折交叉验证方法进行检验，同时，采用了4种有代表性的评估指标，分别为预测准确率*ACC*、马氏相关系数*MCC*、敏感性*Sn*、特异性*Sp*[17]。此外，还绘制了ROC 曲线、柱状图等，来直观地展示方法的性能。4种指标的计算公式如下

$$ACC=\frac{TN+TP}{TN+TP+FN+FP} \quad (23)$$

$$Sn=\frac{TP}{TP+FN} \quad (24)$$

$$Sp=\frac{TN}{TN+FP} \quad (25)$$

$$MCC=\frac{TP\times TN-FP\times FN}{\sqrt{(TP+FN)\times(TN+FP)\times(TP+FP)\times(TN+FN)}} \quad (26)$$

其中，*ACC*是样本的预测准确率，*Sn*表示方法对阳性样本的分类能力，*Sp*给出对阴性样本的识别效果，*MCC*展示方法的整体性能。如上述公式所示，4种指标均由*TP*、*TN*、*FP*、*FN*组成。*TP*是正确预测甲基化位点的数目，*TN*是正确预测非甲基化位点数目，*FP*是错误预测非甲基化位点的数目，*FN*是错误预测甲基化位点的数目。

2.6 流程图

本研究提出的预测方法名为DPTRS，具体执行流程如图1所示。

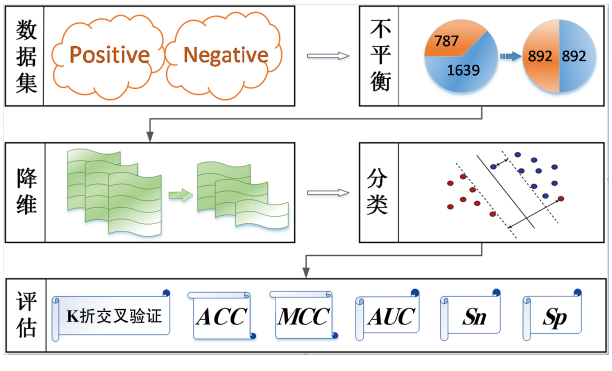


图1 DPTRS方法的流程示意图

3 结果分析

3.1 单特征与融合特征

良好的特征提取方法能够有效地抓取DNA序列关键特征。本研究选择了3种方法，分别为PseDNC、DNC和TNC。基于十折交叉验证方法以及4种指标得到的结果如表1所示。同时，考虑到单一的方法对序列的翻译可能过于片面，因此本研究将3种特征进行融合得到集合Fusion，结果也如表1所示。

表1 基准数据集上不同特征表达方法之间的预测能力差异

方法	*ACC*/%	*Sn*/%	*Sp*/%	*MCC*
PseDNC	66.03	67.52	64.55	0.3213
DNC	65.79	67.60	63.98	0.3165
TNC	61.29	59.59	63.00	0.2273
Fusion	69.63	69.59	69.66	0.3929

由表1可知，3种方法在基准数据集上表现出的性能各有不同。其中PseDNC方法表现最好，预测准确率达到66.03%，比其他两种方法分别高出0.24%和4.74%。将3种特征融合后，得到的集合Fusion表现出比单一方法更好的性能。其中，*ACC*达到69.63%，较单一的方法高出3.6%～8.34%。*MCC*较其他3种方法超出了7.16%～16.56%。基准数据集上的数据显示，融合后的预测效果优于单一的方法，说明从多个角度来表征序列，有助于更全面地捕捉序列隐藏特征。

3.2 不同特征选择方法之间的差异

融合3种特征形成的特征空间Fusion，带来了更全面的序列信息。但是考虑到特征之间可能存在隐含的关联性，会造成特征冗余、关键信息占比减少等问题。因此，需要对集合进行特征筛选。本研究选取了5种特征选择方法对特征集合进行优化，分别为：额外树 (extra tree, ET)[18]、最小绝对收缩和选择算子 (least absolute shrinkage and selection operator, Lasso)[19]、弹性网 (elastic net, EN)[20]、光谱嵌入 (spectral embedding, SE)[21]和LLE。将处理后的子集输入到SVM方法中，并基于十折交叉验证方法进行评估，结果如表2所示。

表2 不同降维方法的性能对比

方法	ET	Lasso	EN	SE	LLE
ACC/%	71.80	71.64	73.71	83.97	91.48
MCC	0.4369	0.4343	0.4746	0.6810	0.8309

由表2可知，基准数据集上5种特征选择方法性能各异。其中LLE方法，不管是在*ACC*还是*MCC*上，都取得了最高的值，分别为91.48%和0.8309。与其他4种方法相比，两种指标均有不同程度的提升，提升区间分别为7.51%～19.84%和14.99%～39.66%。其他4种方法中，SE方法表现相对较好，*ACC*为83.97%，*MCC*为0.6810；Lasso方法表现最差，*ACC*为71.64%，*MCC*为0.4343。对比显示，LLE方法在特征筛选中表现最佳。

3.3 分类方法的对比

本研究共选择了6种分类方法，分别为朴素

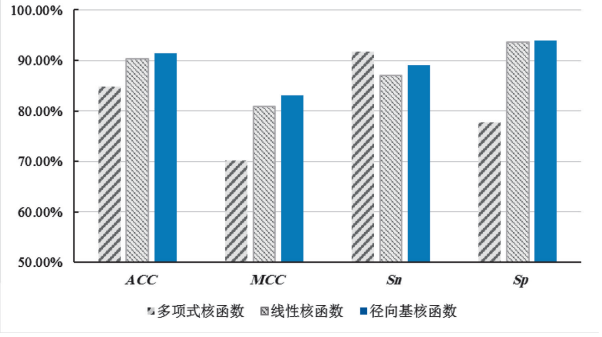
贝叶斯 (naïve Bayes, NB)[22]、多层感知机 (multilayer perceptron, MLP)[23]、K近邻算法 (k-nearest neighbor, KNN)[24]、随机森林 (random forest, RF)[25]、光梯度增强机 (light gradient boosting machine, LGBM)[26]和SVM，对筛选后的特征进行预测。执行步骤为：将优化后的特征子集，输入到分类方法中，基于十折交叉验证以及4种指标进行评估。结果如表3所示。

表3　不同分类方法在基准数据集上的表现

方法	*ACC*/%	*Sn*/%	*Sp*/%	*MCC*
NB	69.84	77.35	62.33	0.4091
MLP	75.49	74.41	76.58	0.5253
KNN	79.42	80.24	78.59	0.5930
RF	82.49	80.59	84.40	0.6623
LGBM	82.83	83.05	82.61	0.6668
SVM	91.48	89.01	93.95	0.8309

表3展示了基准数据集上6种分类算法的预测结果。对于*ACC*，6种方法分别取得69.84%、75.49%、79.42%、82.49%、82.83%和91.48%，显然SVM方法取得了最高的预测准确率。同SVM相比，其他5种方法均有差距，区间为8.65%～21.64%。对于指标*Sn*，6种方法分别取得77.35%、74.41%、80.24%、80.59%、83.05%、89.01%。6种方法在指标*Sp*上也表现各异，分别达到62.33%、76.58%、78.59%、84.40%、82.61%、93.95%。指标*Sn*和*Sp*上，SVM方法上均取得最高值。对于*MCC*，6种方法中最低的值出现在方法NB中，值为0.4091，次低的值出现在MLP方法中，值为0.5253。最高的*MCC*出现在方法SVM上，取得0.8309，次高的值出现在LGBM方法中，为0.6668，较SVM方法低16.41%。4种指标上的对比结果显示，SVM方法得到了最佳的预测效果。

考虑到SVM有3种常见的函数，分别为径向基核函数、线性核函数和多项式核函数。我们分别使用3种核函数，对经过特征筛选后的子集进行预测。依然基于十折交叉验证以及4种指标进行评估，得到的结果绘制成柱状图，如图2所示。



注：*MCC*统一格式为百分数显示

图2　3种核函数在4种指标上的不同表现

如图2所示，三种类型的核函数分别用不同类型的图注表示。从图中的结果可以看出，显然，当SVM选用不同的核函数时，表现出的性能也有所差异。在指标*ACC*和*MCC*上，径向基核函数表现最好，线性核函数表现次之，多项式核函数的指标最低。在指标*Sn*上，情况有所不同，多项式核函数取得的值最高，径向基核函数表现次之，线性核函数的值最低。在指标*Sp*上，径向基核函数与线性核函数的表现接近，但是两种方法的表现都明显优于多项式核函数。综合4种指标来看，本研究选择使用径向基核函数，作为SVM方法的核函数进行分类预测。

为进一步验证所选方法的合理性，分析分类方法的鲁棒性，本研究绘制了不同分类方法的ROC曲线图，如图3所示。

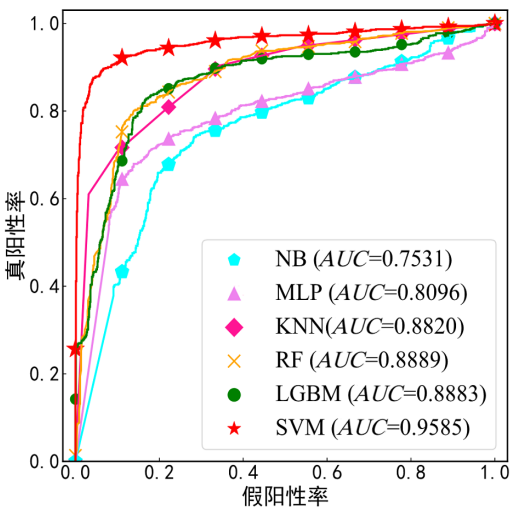


图3　不同分类方法的性能

对于ROC图像来说，某种方法形成的曲线越靠近零点或者对应的*Y*轴位置越高，说明该方法正确识别样本的概率越高。为了更清晰地展示各种方法呈现的效果，在绘制图3过程中，随机取每种方法的几个点，用不同的标记点来标记6种方法对应的曲线。如图3所示，6种分类方法对应的ROC曲线下覆盖面积各有不同。SVM方法对应的ROC曲线位于其他5条ROC曲线之上，换句话说，SVM曲线对应的曲线下覆盖面积最大，说明SVM的分类效果最好。除此之外，我们还可以结合指标*AUC*（area under curre）进行分析。6种方法的*AUC*分别为0.7531、0.8096、0.8820、0.8889、0.8883和0.9585。其中最高的*AUC*为使用SVM方法时取得，说明基于径向基核函数的SVM方法确实取得了很好的分类效果。

4 结论

DNA甲基化过程参与生命体许多生命活动中，预测DNA序列的甲基化位点，能够为进一步探寻生命体的生物学机制和功能提供思路。随着机器学习的飞速发展，传统实验方法的局限性被打破，为甲基化预测工作开启新的篇章。本文提出了一种识别DNA甲基化位点的预测工具，名为DPTRS。首先使用DNC、PseDNC和TNC方法对序列表征；其次，用RENN方法对样本进行平衡化；再次，利用LLE方法筛选特征；最后，利用SVM方法对筛选后的特征进行分类预测。基准数据上的预测结果表明，DPTRS具有良好的DNA甲基化位点识别性能。考虑到DNA甲基化位点包含多种类型，可以将DPTRS方法应用于其他类型位点数据的预测工作，例如预测以腺嘌呤为中心位点的DNA序列，为位点预测工作助力，也从侧面检验方法本身的预测效果。当然，DPTRS也有一定的优化空间。随着遗传修饰预测工作的不断发展，对序列准确预测的需求也随之增加，收集并整理新物种中的DNA甲基化位点，是预测工作往前推进的重要助力。下一步工作，将致力于调研新物种，整理新的数据，来为研究者们优化更新更好的算法提供数据支持。

参考文献：

[1] Chattopadhyaya S, Ghosal S. DNA methylation: a saga of genome maintenance in hematological perspective[J]. Human cell, 2022, 35(2): 448-461.

[2] Angeloni A, Bogdanovic O. Enhancer DNA methylation: implications for gene regulation[J]. Essays in biochemistry, 2019, 63(6): 707-715.

[3] Genet T. Navigating the DNA methylation landscape of cancer[J]. Trends in genetics, 2021, 37(11): 1012-1027.

[4] Shacfe G, Turko R, Syed H H, et al. A DNA methylation perspective on infertility[J]. Genes, 2023, 14(12): 2132.

[5] Yu M, Ji L, Neumann D A, et al. Base-resolution detection of N4-methylcytosine in genomic DNA using 4mC-Tet-assisted-bisulfite-sequencing[J]. Nucleic acids research, 2015, 43(21): e148.

[6] Fang G, Munera D, Friedman D I, et al. Genome-wide mapping of methylated adenine residues in pathogenic *Escherichia coli* using single-molecule real-time sequencing[J]. Nature biotechnology, 2012, 30(12): 1232-1239.

[7] Smith Z D, Meissner A. DNA methylation: roles in mammalian development[J]. Nature reviews genetics, 2013, 14(3): 204-220.

[8] Frelon S, Douki T, Ravanat J L, et al. High-performance liquid chromatography- tandem mass spectrometry measurement of radiate on-induced base damage to isolated and cellular DNA[J]. Chemical research in toxicology, 2000, 13(10): 1002-1010.

[9] Pan G F, Jiang L M, Tang J J, et al. A novel computational method for detecting DNA methylation sites with DNA sequence information and physicochemical properties[J]. International journal of molecular sciences, 2018, 19(2): 511.

[10] Liu Z, Xiao X, Qiu W R, et al. iDNA-Methyl: identifying DNA methylation sites via pseudo trinucleotide composition[J]. Analytical biochemistry, 2015, 474: 69-77.

[11] Xu H D, Hu R F, Jia P L, et al. 6mA-Finder: a novel online tool for predicting DNA N6-methyladenine sites in genomes[J]. Bioinformatics, 2020, 36(10): 3257-3259.

[12] Chen W, Feng P M, Lin H, et al. iRSpot-PseDNC: identify recombination spots with pseudo dinucleotide composition[J]. Nucleic acids research, 2013, 41(6): e68.

[13] Qiu W R, Xiao X, Chou K C. iRSpot-TNCPseAAC: identify recombination spots with trinucleotide composition and pseudo amino acid components[J]. International journal of molecular sciences, 2014, 15(2): 1746-1766.

[14] Tomek I. An experiment with the edited nearest neighbor rule[J]. IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics, 2007, 6(6): 448-452.

[15] Roweis S T, Saul L K. Nonlinear dimensionality reduction by locally linear embedding[J]. Science, 2000, 290(5500): 2323-2326.

[16] Nigsch F, Bender A, van Buuren B, et al. Melting point prediction employing k-nearest neighbor algorithms and genetic parameter optimization[J]. Journal of chemical information and modeling, 2006, 46(6): 2412-2422.

[17] Zhang Y Q, Yu Z M, Yu B, et al. StackRAM: a cross-species method for identifying RNA N6 -methyladenosine sites based on stacked ensemble[J]. Chemometrics and intelligent laboratory systems, 2022, 222: 104495.

[18] Chen C, Zhang Q M, Yu B, et al. Improving protein-protein interactions prediction accuracy using XGBoost feature selection and stacked ensemble classifier[J]. Computers in biology and medicine, 2020, 123: 103899.

[19] Tibshirani R. Regression shrinkage and selection via the lasso: a retrospective[J]. Journal of the royal statistical society: series B (methodological), 2011, 73(3): 267-288.

[20] Yu B, Wang X, Zhang Y Q, et al. RPI-MDLStack: Predicting RNA-protein interactions through deeplearning with stacking strategy and LASSO[J]. Applied soft computing, 2022, 120: 108676.

[21] Wang X, Zhang Y Q, Yu B, et al. Prediction of protein-protein interaction sites through eXtreme gradient boosting with kernel principal component analysis[J]. Computers in biology and medicine, 2021, 134: 104516.

[22] Yu B, Yu Z M, Ma A J, et al. DNNAce: Prediction of prokaryote lysine acetylation sites through deep neural networks with multi-information fusion[J]. Chemometrics and intelligent laboratory systems, 2020, 200: 103999.

[23] Yu B, Zhang Y Q, Wang X, et al.Identification of DNA modification sites based on elastic net and bidirectional gated recurrent unit with convolutional neural network[J]. Biomedical signal processing and control, 2022, 75: 103566.

[24] Bui X N, Jaroonpattanapong P, Nguyen H, et al. A novelhybrid model for predicting blast-induced ground vibration based on k-nearest neighbors and particle swarm optimization[J]. Scientific reports, 2019, 9: 1-14.

（下转第20页）

手性分子对映体选择性量子态转移

宋新娇[1,2]，徐　雷[1,2*]

（1. 新疆大学　物理科学与技术学院，新疆　乌鲁木齐　830046；2. 德州学院　物理与电子信息学院，山东　德州　253023）

摘　要：基于手性分子最低的三个转动态，使用三束偏振方向相互垂直的微波场构建循环三能级系统，并通过两步激发实现手性分子对映体选择性量子态转移。利用 Magnus 展开系统幺正算符的方法，解析推导了为实现手性分子对映体选择性激发，微波场需要满足的振幅和相位条件。基于最优条件设计相干控制方案，并在真实的手性分子中进行数值模拟。研究结果表明，当控制场同时满足最优的振幅和相位条件时，手性分子可以实现完全的对映体选择性量子态转移，并且当脉冲存在一定误差时，关键激发阶段的脉冲误差对系统的影响更大。研究成果为实验上实现高保真的手性分子对映体选择性量子态转移提供了重要的理论依据，对研究后续的手性分离、合成和提纯具有重要的价值。

关键词：手性分子；对映选择性激发；微波脉冲

中图分类号：O431.2　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1004-9444（2024）04-0007-08

0　引言

手性是物质的一种基本的对称性质，它在基本粒子、分子甚至宏观物体上都有所体现。当物体以一对无法通过旋转和平移相互叠加的“左手”和“右手”镜像的形式存在时，称其具有手性[1]。手性分子存在两种异构体，即左旋(L)和右旋(R)形式，也被称为对映异构体[2-6]。尽管这两个对映异构体的分子式相同，即有类似的物理性质，但其在化学性质和生物活性方面呈现出明显不同的特性。

十九世纪中期，路易斯·巴斯德·朗费尔首次对手性分子进行了研究[7-8]，他发现手性分子的两个对映异构体具有相似的物理性质，例如相同的熔点、沸点和溶解度。然而，在光学活性、酶催化反应、药物活性等方面，对映异构体表现出明显的差异[2]。在过去的几十年里，色谱法、光学传感器法和光谱法作为手性区分和手性分离的主要技术手段[9-10]，在手性分子的研究中得到了广泛的应用。这些方法基于手性分子的特定性质，利用手性分子与手性环境的相互作用，实现对手性分子的高效分离和检测[11-19]。然而，早期人们对手性分子的认知都集中在其对光的旋光性质，并且这些方法大多基于手性分子与电磁场耦合中的磁场部分，但弱磁相互作用使得实验中所获得的手性信号较弱。随着对手性分子研究的深入，研究人员逐渐认识到手性分子本身具有非对称的电荷分布，导致其具有电偶极矩，并且手性分子的两个对映异构体在三维空间上的电偶极矩大小相同，但是其中一个偶极矩取向相反。这一特性为实现手性分离和探测提供了新的研究思路[20-32]。

三波混频技术是基于手性分子电偶极矩相互作用的研究方案，该方案利用三个不同偏振的微波场分别与三个空间取向上的电偶极矩耦合，通过共振诱导不同能级之间跃迁，在手性分子内构建循环三态布居转移过程。根据两个对映体其中一个偶极矩符号相反的特性，从而可以相干地控制两个对映体在电场作用结束后布居在不同的转动态，进而实现手性分子的探测与分离[33-35]。其中，绝热激发方案所需要的时间较长并且过程相对复杂，非绝热激发方案可以消除绝热条件和绝热通道技术复杂缓慢的限制，从而在较短的时间内实现手性分子对映体选择性激发。

本文所使用的是三波混频技术，不同于以往的简化两能级或三能级模型，我们基于对手性分子本征系统的分析，在跃迁选择定则允许的情况下，使用3个微波场耦合3个不同的本征态在手性分子内部构建循环三态布居转移过程。并在此基础上，考虑两步激发的方式，对如何设计微波脉冲的控制参数实现完

收稿日期：2024-05-22

基金项目：德州学院博士基金项目：类石墨烯材料及其异质结的能带调控研究（2023xjrc207）。

作者简介：宋新娇（1999—），女，河南新乡人，硕士研究生，研究方向为凝聚态理论。*：通信作者，徐雷（1983—），男，江苏宿迁人，副教授，博士，主要从事低维量子输运研究。

全对映体选择性量子态转移进行了研究。通过设计相干控制方案，在环已基甲醇分子中进行数值模拟以验证方案的可行性。此外，我们还探究了当脉冲存在误差时系统的鲁棒性问题。

1 理论方法

手性分子由三束偏振方向相互垂直的线偏振脉冲驱动，场的形式定义为

$$\varepsilon_n(t)=\boldsymbol{e}_n\varepsilon_n f_n(t)\cos[\omega_n(t-t_n)+\varphi_n] \quad (1)$$

其中，$n=X,Y,Z$ 表示空间固定坐标系下的3个方向。$\boldsymbol{e}_n$，ε_n，$f_n(t)$，ω_n，t_n，φ_n 分别为控制场的偏振方向、振幅、包络函数、中心频率、延迟时间和相位。

我们选取最低的3个本征态 $|0_{00}\rangle$ $|1_{01}\rangle$ 和 $|1_{11}\rangle$ 来构建手性分子的循环三能级系统。为了方便，将耦合的三个转动态用 $|1\rangle_{L,R}$、$|2\rangle_{L,R}$ 和 $|3\rangle_{L,R}$ 来标记，下角标中的 L 和 R 分别表示手性分子对映异构体的左手性和右手性。

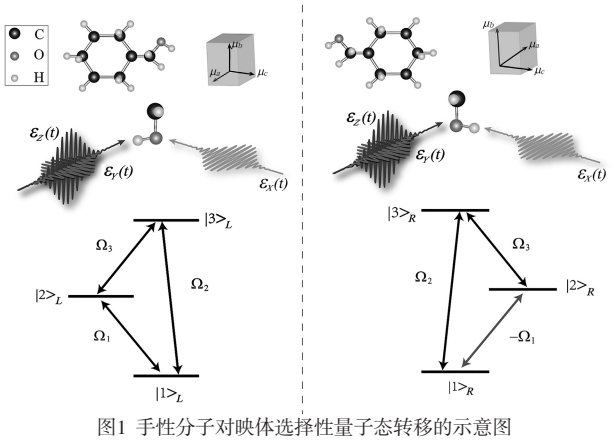


图1 手性分子对映体选择性量子态转移的示意图

如图1所示，X,Y,Z 三个方向的线偏振场分别诱导 $|1\rangle_{L,R}$ 和 $|2\rangle_{L,R}$，$|2\rangle_{L,R}$ 和 $|3\rangle_{L,R}$ 以及 $|1\rangle_{L,R}$ 和 $|3\rangle_{L,R}$ 之间的布居转移，根据Wigner 3j符号可以计算出相应的跃迁偶极矩分别为 $\mu_{12}=\frac{\mu_a}{\sqrt{6}}$，$\mu_{23}=\frac{-\mu_c}{2\sqrt{2}}$，$\mu_{13}=\frac{\mu_b}{\sqrt{3}}$。两个对映异构体总的哈密顿量为

$$\hat{\boldsymbol{H}}^{L,R}(t)=\begin{pmatrix} E_1 & \pm\Omega_1(t) & \Omega_2(t) \\ \pm\Omega_1(t) & E_2 & \Omega_3(t) \\ \Omega_2(t) & \Omega_3(t) & E_3 \end{pmatrix} \quad (2)$$

其中，$\Omega_1(t)=-\left|\langle 1|\hat{\mu}^{L,R}\cdot \mathrm{e}_a|2\rangle\right|\varepsilon_X(t)=-|\mu_{12}|\varepsilon_X(t)$，$\Omega_2(t)=-\left|\langle 1|\hat{\mu}^{L,R}\cdot \mathrm{e}_b|3\rangle\right|\varepsilon_Z(t)=-|\mu_{13}|\varepsilon_Z(t)$，$\Omega_3(t)=-\left|\langle 2|\hat{\mu}^{L,R}\cdot \mathrm{e}_c|3\rangle\right|\varepsilon_Y(t)=-|\mu_{23}|\varepsilon_Y(t)$，分别对应三个跃迁路径的Rabi频率。由于两个对映异构体具有取向相反的 μ_a（如图1所示），因此其中的一个Rabi频率 Ω_1 对于两个对映体来说具有相位差 π。

考虑分子初始处于基转动态 $|1\rangle$，为了实现两个不同手性的对映异构体从相同的初始态转移到不同的目标态，即实现对映体的选择性量子态转移，需要求解分子转动波函数的解析形式，这在循环三能级系统中是困难的。因此，本文利用两步激发的方式，将该过程分解为一个基于单光子跃迁的两能级子系统和一个基于双光子跃迁的 Λ 型三能级子系统，进而推导分子波函数解析解。这两个阶段的构成有两种方式：①$|1\rangle-|2\rangle$ 态的跃迁和 $|1\rangle-|3\rangle-|2\rangle$ 态的跃迁；②$|1\rangle-|3\rangle$ 态的跃迁和 $|1\rangle-|2\rangle-|3\rangle$ 态的跃迁。因此，此项研究基于这两种情况分别进行探究。

1.1 $|1\rangle-|2\rangle$ 态的跃迁和 $|1\rangle-|3\rangle-|2\rangle$ 态的跃迁

考虑先在 t_0 时刻打开耦合 Ω_1，在这一阶段耦合 $\Omega_2(t)$ 和 $\Omega_3(t)$ 关闭。此时，循环三能级系统在第一个阶段就对应为一个二能级系统，总哈密顿量的矩阵形式可以写为

$$\hat{\boldsymbol{H}}_1^{L,R}(t)=\begin{pmatrix} E_1 & \pm\Omega_1(t) \\ \pm\Omega_1(t) & E_2 \end{pmatrix} \quad (3)$$

系统随时间的演化可以用幺正算符作用在初始态上来表示，利用Magnus一阶展开式可以将其具体表示为

$$\begin{aligned}\hat{U}_1^{L,R}(t,t_0)&=\cos|\theta_1(t)|\left(|1\rangle\langle 1|+|2\rangle\langle 2|\right)\\ &\mp i\sin|\theta_1(t)|\left[\frac{|\theta_1(t)|}{\theta_1^*(t)}|2\rangle\langle 1|+\frac{|\theta_1(t)|}{\theta_1(t)}|1\rangle\langle 2|\right]\end{aligned} \quad (4)$$

其中，$\theta_1(t)=\int_{t_0}^{t}\Omega_1(t')\exp(i\omega_{12}t')\mathrm{d}t'$，$\omega_{12}=E_2-E_1$ 为两个转动态之间的跃迁频率。则分子波函数随时间的演化可以表示为

$$\begin{aligned}|\Psi_1^{L,R}(t)\rangle&=\hat{U}_1^{L,R}(t,t_0)|1\rangle\\ &=\cos|\theta_1(t)||1\rangle\mp i\frac{|\theta_1(t)|}{\theta_1^*(t)}\sin|\theta_1(t)||2\rangle\end{aligned} \quad (5)$$

在耦合 $\Omega_1(t)$ 关闭后（$t=t_1$），$\Omega_2(t)$ 和 $\Omega_3(t)$ 打开第二个阶段的激发过程，此时的循环三能级系统可以看作是一个 Λ 型的三能级系统。总的哈密顿量可以写为

$$\hat{\boldsymbol{H}}_2^{L,R}(t)=\begin{pmatrix} E_1 & 0 & \Omega_2(t) \\ 0 & E_2 & \Omega_3(t) \\ \Omega_2(t) & \Omega_3(t) & E_3 \end{pmatrix} \quad (6)$$

此时，对第二个阶段的时间演化算符 $\hat{U}_2^{L,R}(t,t_1)$ 使用Magnus展开并保留一阶项，则两个对映异构体的

含时波函数可以表示为

$$\begin{aligned}\left|\Psi_2^{L,R}(t)\right\rangle &= \hat{U}_2^{L,R}(t,t_1)\left|\Psi_1^{L,R}(t)\right\rangle \\ &= \left[\cos\left|\theta_1(t_1)\right|\frac{\left|\theta_3(t)\right|^2+\left|\theta_2(t)\right|^2\cos\theta(t)}{\theta^2(t)}\right. \\ &\left.\mp i\sin\left|\theta_1(t_1)\right|\zeta(t)\frac{\left|\theta_1(t_1)\right|}{\theta_1^*(t_1)}\right]\left|1\right\rangle \\ &+\left[\cos\left|\theta_1(t_1)\right|\zeta^*(t)\mp i\sin\left|\theta_1(t_1)\right|\frac{\theta_1(t_1)}{\theta_1^*(t_1)}\cdot\right. \\ &\left.\frac{\left|\theta_2(t)\right|^2+\left|\theta_3(t)\right|^2\cos\theta(t)}{\theta^2(t)}\right]\left|2\right\rangle \\ &-\frac{\sin\theta(t)}{\theta(t)}\left[i\cos\left|\theta_1(t_1)\right|\theta_2(t)\right. \\ &\left.\pm\sin\left|\theta_1(t_1)\right|\theta_3(t)\frac{\left|\theta_1(t_1)\right|}{\theta_1^*(t_1)}\right]\left|3\right\rangle\end{aligned} \tag{7}$$

其中，$\theta_2(t)=\int_{t_1}^{t}\Omega_2(t')\exp(i\omega_{13}t')\mathrm{d}t'$，$\theta_3(t)=\int_{t_1}^{t}\Omega_3(t')\exp(i\omega_{23}t')\mathrm{d}t'$，$\theta(t)=\sqrt{\left|\theta_2(t)\right|^2+\left|\theta_3(t)\right|^2}$，$\zeta(t)=\dfrac{\theta_3(t)\theta_2^*(t)\left[\cos\theta(t)-1\right]}{\theta^2(t)}$，$\omega_{13}=E_3-E_1$，和 $\omega_{23}=E_3-E_2$ 分别为 $\left|1\right\rangle$ 和 $\left|3\right\rangle$，$\left|2\right\rangle$ 和 $\left|3\right\rangle$ 之间的跃迁频率。

在三个控制场作用结束后（$t=t_f$），为了获得两个对映异构体的选择性激发，考虑将左手性对映体完全激发到 $\left|3\right\rangle$ 态，而右手性对映体在 $\left|3\right\rangle$ 态没有布居。则三个微波场需要满足的振幅条件

$$\begin{aligned}\left|\theta_2(t_f)\right| &= \left|\theta_3(t_f)\right| = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(k+\frac{1}{2}\right)\pi\ (k\in N) \\ \left|\theta_1(t_f)\right| &= \left(k'+\frac{1}{4}\right)\pi\ (k'\in N)\end{aligned} \tag{8}$$

与相位条件

$$\begin{aligned}\varphi_X+\varphi_Y-\varphi_Z &= \left(2l+\frac{1}{2}\right)\pi \\ &+\left(\omega_X t_X+\omega_Y t_Y-\omega_Z t_Z\right)(l\in Z)\end{aligned} \tag{9}$$

基于以上分析可以得到，当三个脉冲同时满足式(8)的振幅条件和式(9)的相位条件时，可以实现手性分子对映体选择性激发，即左手性对映体完全布居在 $\left|3\right\rangle$ 态，而右手性对映体在 $\left|3\right\rangle$ 态没有布居。同理，若要使右手性对映体完全布居在 $\left|3\right\rangle$ 态，而左手性对映体在 $\left|3\right\rangle$ 态上没有布居，对应的振幅条件保持不变，只需将相位条件改为 $\varphi_X+\varphi_Y-\varphi_Z=\left(2l-\dfrac{1}{2}\right)\pi+\left(\omega_X t_X+\omega_Y t_Y-\omega_Z t_Z\right)(l\in Z)$。这一结果表明，将任意一个脉冲的相位反转π就可以实现相反的对映体选择性量子态转移。

1.2　$\left|1\right\rangle-\left|3\right\rangle$ 态的跃迁和 $\left|1\right\rangle-\left|2\right\rangle-\left|3\right\rangle$ 态的跃迁

基于单光子和双光子激发的循环三态布居转移过程还可以由 $\left|1\right\rangle-\left|3\right\rangle$ 态的跃迁和 $\left|1\right\rangle-\left|2\right\rangle-\left|3\right\rangle$ 态的跃迁构成。此时在第一阶段打开耦合 $\Omega_2(t)$，然后在第二阶段关闭耦合 $\Omega_2(t)$ 并打开耦合 $\Omega_1(t)$ 和 $\Omega_3(t)$。利用Magnus展开系统幺正算符的一阶项，可以解析推导出脉冲作用结束后相应的含时波函数为

$$\begin{aligned}\left|\psi_2^{L,R}(t)\right\rangle &= \left[\cos\left|\theta_2(t_1)\right|\frac{\left|\theta_3(t)\right|^2+\left|\theta_1(t)\right|^2\cos\theta(t)}{\theta^2(t)}\right. \\ &\left.\mp i\sin\left|\theta_2(t_1)\right|\zeta^*(t)\frac{\left|\theta_2(t_1)\right|}{\theta_2^*(t_1)}\right]\left|1\right\rangle \\ &-\frac{\sin\theta(t)}{\theta(t)}\left[\sin\left|\theta_2(t_1)\right|\theta_3^*(t)\frac{\left|\theta_2(t_1)\right|}{\theta_2^*(t_1)}\right. \\ &\left.\pm i\cos\left|\theta_2(t_1)\right|\theta_1(t)\right]\left|2\right\rangle \\ &-\left[i\sin\left|\theta_2(t_1)\right|\frac{\left|\theta_2(t_1)\right|}{\theta_2^*(t_1)}\frac{\left|\theta_1(t)\right|^2+\left|\theta_3(t)\right|^2\cos\theta(t)}{\theta^2(t)}\right. \\ &\left.\mp\cos\left|\theta_2(t_1)\right|\zeta(t)\right]\left|3\right\rangle\end{aligned} \tag{10}$$

其中，$\zeta(t)=\dfrac{\theta_3(t)\theta_1(t)\left[\cos\theta(t)-1\right]}{\theta^2(t)}$，$\theta(t)=\sqrt{\left|\theta_1(t)\right|^2+\left|\theta_3(t)\right|^2}$。

这里以 $\left|2\right\rangle$ 态作为目标态，也就是在脉冲作用结束之后左手性对映体完全布居在 $\left|2\right\rangle$ 态，而右手性对映体在 $\left|2\right\rangle$ 态没有布居。为了实现对映体的选择性激发，三个脉冲场需要满足振幅条件

$$\begin{aligned}\left|\theta_1(t_f)\right| &= \left|\theta_3(t_f)\right| = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(k+\frac{1}{2}\right)\pi\ (k\in N) \\ \left|\theta_2(t_f)\right| &= \left(k'+\frac{1}{4}\right)\pi\ (k'\in N)\end{aligned} \tag{11}$$

以及相位条件

$$\begin{aligned}\varphi_X+\varphi_Y-\varphi_Z &= \left(2l-\frac{1}{2}\right)\pi \\ &+\left(\omega_X t_X+\omega_Y t_Y-\omega_Z t_Z\right)(l\in Z)\end{aligned} \tag{12}$$

同样，要想实现相反的对映体选择性量子态转移只需要将其中一个脉冲的相位发生一个π的反转即可。为了利用上述推导的最优条件来实现对映体选择性激发，本文使用高斯型脉冲设计相干控制方案，控制场随时间演化的形式

$$\begin{aligned}\varepsilon_{X,Y,Z}(t) &= \sqrt{\frac{2}{\pi}}\frac{A_{X,Y,Z}}{\tau_0}\exp\left[-\frac{\left(t-t_{X,Y,Z}\right)^2}{2\tau_0^2}\right] \\ &\times\cos\left[\omega_{X,Y,Z}\left(t-t_{X,Y,Z}\right)+\varphi_{X,Y,Z}\right]\end{aligned} \tag{13}$$

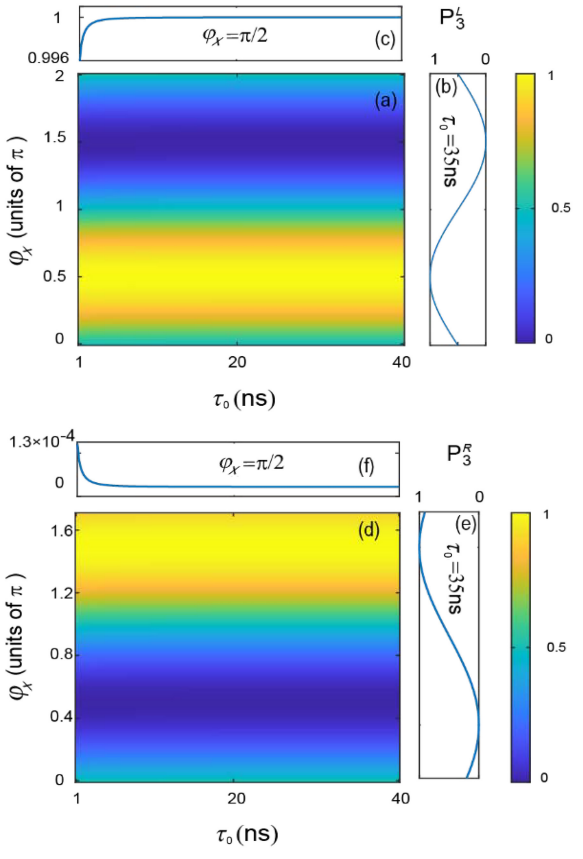
根据上述分析，当式(13)中的三个微波场满足最优振幅和相位条件时，可以实现手性分子两个对映体的选择性量子态转移。

2 数值模拟

以环已基甲醇分子($C_7H_{14}O$)为例进行数值模拟，验证方案的可行性。分子的三个转动常数分别为：$A=3898.45\ \mathrm{MHz}$, $B=1319.59\ \mathrm{MHz}$, $C=1062.55\ \mathrm{MHz}$。分子偶极矩在自身坐标系下三个方向上的分量分别为：$|\mu_a|=0.4D$，$|\mu_b|=1.2D$，$|\mu_c|=0.8D$。下面使用满足振幅和相位条件的微波场，针对循环三态布居转移构成的两种不同方式，分别进行计算。

2.1 $|1\rangle-|2\rangle$ 态的跃迁和 $|1\rangle-|3\rangle-|2\rangle$ 态的跃迁

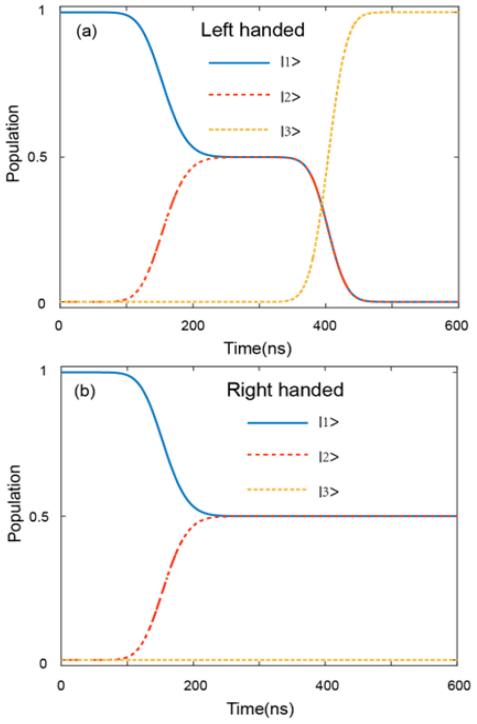
在共振激发的条件下，将式(13)中三个脉冲的中心频率设置为 $\omega_X=\omega_{12}$、$\omega_Z=\omega_{13}$、$\omega_Y=\omega_{23}$。为了展示方案对脉冲参数的适用范围，首先设置 $A_X=\frac{\pi}{4}\mu_{12}$，$A_Z=\frac{\pi}{2\sqrt{2}}\mu_{13}$ 和 $A_Y=\frac{\pi}{2\sqrt{2}}\mu_{23}$ 以满足等式(8)中的振幅条件。固定 $\varphi_Y=\varphi_Z=0$，$t_X=4\tau_0$，$t_Y=t_Z$，讨论两个对映体选择性布居转移的效率对脉冲持续时间 τ_0 和相位 φ_X 的依赖关系。图2绘制了目标 $|3\rangle$ 态的最终布居随 τ_0 和 φ_X 的变化，其中(a)—(c)和(d)—(f)分别对应左右手性的情况。从图中可以看到，目标态的布居非常依赖于这两个参数。为了直观地展示这种变化，图2中(c)和(f)展示了在固定相位 $\varphi_X=\frac{\pi}{2}$ 的情况下，目标 $|3\rangle$ 态的最终布居随脉冲持续时间的变化。结果表明在持续时间较长时，左手性分子完全布居在 $|3\rangle$ 态，而右手性分子在 $|3\rangle$ 态的布居为0，可以实现两个对映体的选择性激发。这一结果归因于在持续时间较长时，三个脉冲在频率域上对应的带宽较窄，没有重叠，不同跃迁通道之间没有量子干涉，激发路径与理论预期的一致。图2(b)和(e)通过固定脉冲持续时间 $\tau_0=35\ \mathrm{ns}$，计算了在窄带宽下目标态的布居随相位 φ_X 的变化。从计算的结果可以看到，当相位 $\varphi_X=\frac{\pi}{2}$ 时，左手性对映体完全布居在 $|3\rangle$ 态，而右手性对映体在 $|3\rangle$ 态没有布居分布，出现了完全的对映体选择性布居转移。当相位变为 $\varphi_X=\frac{3\pi}{2}$ 时则出现了相反的布居转移，即右手性对映体完全布居在目标态 $|3\rangle$ 上，而左手性对映体在 $|3\rangle$ 态没有布居分布，这和理论分析的结果一致。此类相同的结果也会出现在改变相位 φ_Y（或 φ_Z）的情况中，这时固定相位 $\varphi_X=\varphi_Z=0$（或 $\varphi_X=\varphi_Y=0$）。



注：(a)左手性对映体的最终布居 P_3^L 随持续时间 τ_0 和相位 φ_X 的变化，(b)当持续时间 $\tau_0=35\ \mathrm{ns}$ 时布居 P_3^L 随相位 φ_X 的变化，(c)当相位 $\varphi_X=\frac{\pi}{2}$ 时布居 P_3^L 随 τ_0 的改变，(d)—(f)对应的是右手性对映体处在 $|3\rangle$ 态的最终布居 P_3^R 随相关参数的变化，参数的大小与(a)—(c)相同。其他参数取值为 $\varphi_Y=\varphi_Z=0$，$t_X=4\tau_0$，$t_Y=t_Z$ 满足式(9)。

图2 左右手性对映体 $|3\rangle$ 态的最终布居随脉冲持续时间 τ_0 和相位 φ_X 的变化

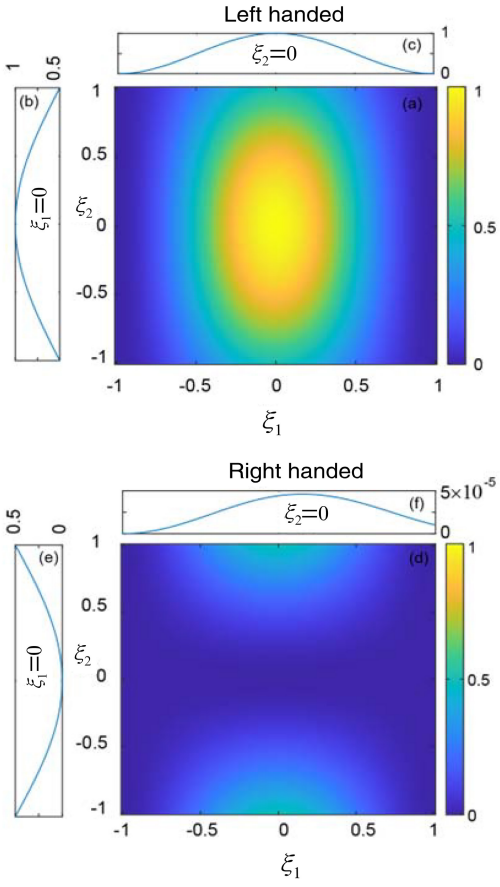
为了进一步展示这一激发过程的内在物理机制，选取脉冲持续时间 $\tau_0=35\ \mathrm{ns}$，相位 $\varphi_X=\frac{\pi}{2}$，图3绘制了在窄带宽下，脉冲满足相位条件时，手性分子的三个转动态的布居随时间演化。从图中可以看出，驱动场 $\varepsilon_X(t)$ 首先激发手性分子的布居从初始态 $|1\rangle$ 态转移到 $|1\rangle$ 态和 $|2\rangle$ 态的最大相干叠加态，即 $P_1^{L,R}(t_1)=P_2^{L,R}(t_1)=\frac{1}{2}$。对于两个对映异构体来说，因为 $|1\rangle$ 态到 $|2\rangle$ 态的跃迁偶极矩符号不同，因此会导致 $|2\rangle$ 态的相位对于两个对映体具有相位差 π。对于左手性对映体，由控制场 $\varepsilon_Z(t)$ 驱动的 $|1\rangle$ 态到 $|3\rangle$ 态的跃迁路径会和 $\varepsilon_Y(t)$ 驱动的 $|2\rangle$ 态到 $|3\rangle$ 态的跃迁路径发生干涉相长，从而使左手性对映体完全布居在 $|3\rangle$ 态；对于右手性对映体而言，相位差 π 会使得两条跃迁路径发生干涉相消，从而使得右手性对映体仍然保持在 $|1\rangle$ 态和 $|2\rangle$ 态的相干叠加态，所以在三个脉冲全部作用结束后，实现了对映体选择性量子态转移。



注：(a)左手性对映体三个转动态的布居演化过程，(b)右手性对映体三个转动态的布居随时间的演化。参数设置为脉冲持续时间 $\tau_0 = 35$ ns，相位 $\varphi_X = \frac{\pi}{2}$。

图3　左右手对映体的布居随时间的演化

接下来考虑脉冲振幅或脉冲面积不满足最优条件的情况，即脉冲参数有误差的情况。为了将其中的关键激发阶段与其他过程区分开，考虑对控制场 $\varepsilon_X(t)$ 引入误差 ξ_1，对 $\varepsilon_Z(t)$ 和 $\varepsilon_Y(t)$ 引入误差 ξ_2，即 $\varepsilon_X(t) = \frac{\pi}{2}(1+\xi_1)\varepsilon_X(t)$，$\varepsilon_Z(t) = \frac{\pi}{2}(1+\xi_2)\varepsilon_Z(t)$ 和 $\varepsilon_Y(t) = \frac{\pi}{2}(1+\xi_2)\varepsilon_Y(t)$。图4展示了左右手性对映体的最终 $|3\rangle$ 态布居对误差 ξ_1 和 ξ_2 的依赖关系，其中三个脉冲的相位和持续时间分别固定为 $\tau_0 = 35$ ns和 $\varphi_X = \frac{\pi}{2}$ 以满足窄带宽和最优相位的条件。从图中可以看出，最终 $|3\rangle$ 态布居强烈依赖于两个脉冲误差。为了更直观地看出两个脉冲参数对目标态布居的影响，图4(b)和(e)，(c)和(f)分别计算了在 $\xi_1 = 0$（$\varepsilon_X(t)$ 没有误差）和 $\xi_2 = 0$（$\varepsilon_Y(t)$ 和 $\varepsilon_Z(t)$ 没有误差）时，$|3\rangle$ 态布居随其中一个误差的变化。计算结果均表明当 $\xi_1 = 0$ 并且 $\xi_2 = 0$ 时，手性分子将发生完全的对映体选择性布居转移，即左手性对映体完全布居在 $|3\rangle$ 态，右手性对映体在 $|3\rangle$ 态没有布居，这和理论预期的结果一致。然而在有误差存在的情况下，最终布居无法达到理论目标值，即无法实现对映体选择性量子态转移。此外，对比图4(b)和(c)，(e)和(f)可以发现，关键阶段的脉冲误差对目标态布居转移具有更大的影响。



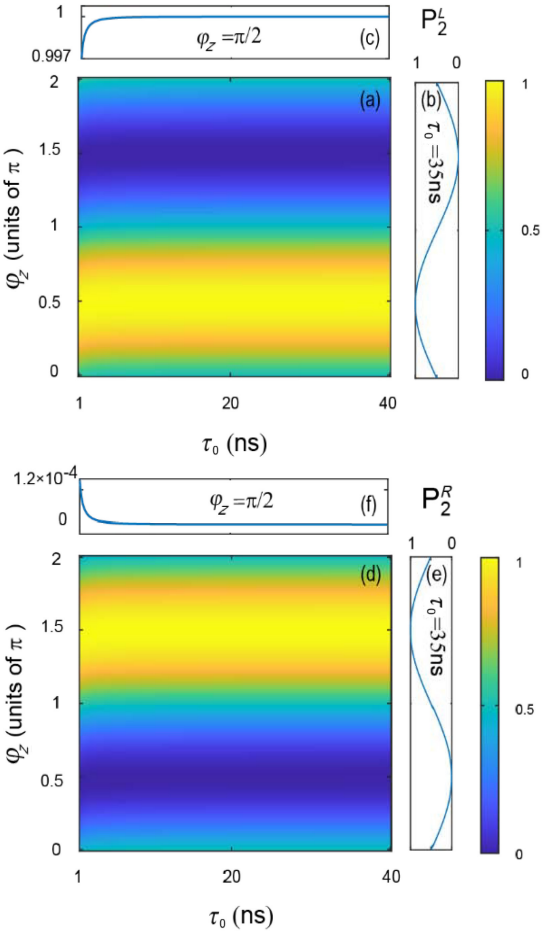
注：(a)左手性对映体的最终布居随误差 ξ_1 和 ξ_2 的变化关系，(b)当误差 $\xi_1 = 0$ 时，布居随 ξ_2 的变化，(c)当误差 $\xi_2 = 0$ 时，布居随 ξ_1 的变化，(d)—(f)为右手性对映体的最终布居随参数的变化。

图4　$|3\rangle$ 态的布居随着脉冲误差 ξ_1 和 ξ_2 的变化关系

2.2　$|1\rangle - |3\rangle$ 态的跃迁和 $|1\rangle - |2\rangle - |3\rangle$ 态的跃迁

为了验证所设计的相干控制方案具有普遍性，对循环三态系统的第二种构成方式进行数值模拟。固定三个控制场的参数为 $A_X = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}\mu_{12}$，$A_Z = \frac{\pi}{4}\mu_{13}$ 和 $A_Y = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}\mu_{23}$ 来满足式(11)中三个脉冲的振幅条件。通过考虑相位 $\varphi_X = \varphi_Y = 0$，时间 $t_Z = 4\tau_0$ 与 $t_X = t_Y$ 来探究选择性量子态转移对两能级子系统的相位 φ_Z 的依赖关系。图5计算了目标 $|2\rangle$ 态的最终布居随脉冲持续时间和相位 φ_Z 的变化。结果表明在窄带宽下，当控制场 $\varepsilon_Z(t)$ 的相位为 $\varphi_Z = \frac{\pi}{2}$ 时，左手性对映体完全布居在 $|2\rangle$ 态，右手性对映体在 $|2\rangle$ 态没有布居，实现了完全的对映体选择性量子态转移。而反转相位 π，即 $\varphi_Z = \frac{3\pi}{2}$ 时，可以得到相反的对映选择性量子态转移。此时右手性对映体完全布居在目标 $|2\rangle$ 态，而左手性对映体在 $|2\rangle$ 态没有布居，同样实现了手性分子

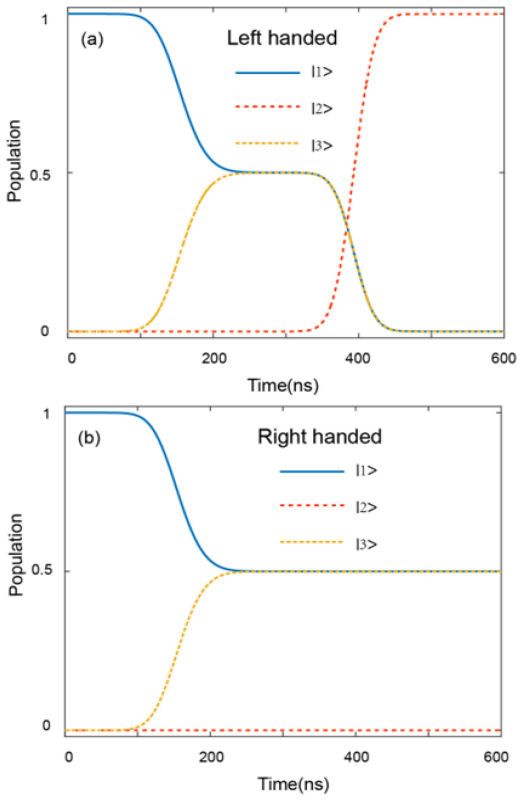
的对映体选择性激发。这个结果显示了布居 $P_2^{L,R}$ 和相位之间的相关性与理论预测结果一致。



注：(a)—(c)对应的是左手性分子，(d)—(f)对应的是右手性分子。脉冲参数的取值为脉冲持续时间 $\tau_0 = 35$ ns，相位 $\varphi_Z = \frac{\pi}{2}$，$\varphi_X = \varphi_Y = 0$，时间 $t_Z = 4\tau_0$，$t_X = t_Y$ 满足式(12)。

图5 左右手对映体的布居 $P_2^{L,R}$ 随着脉冲持续时间 τ_0 和相位 φ_Z 的变化关系

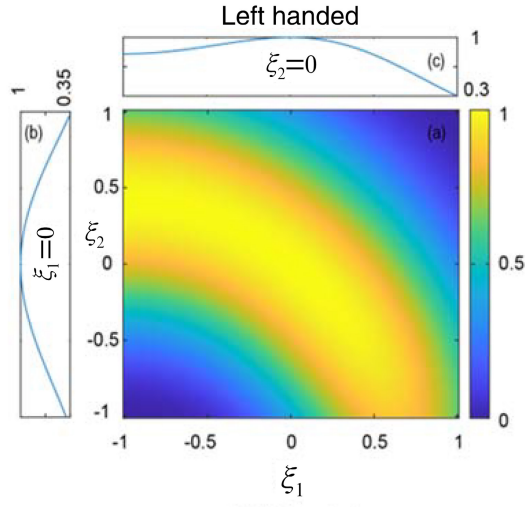
为了更直观地展示这一激发过程，图6绘制了在相位 $\varphi_Z = \frac{\pi}{2}$，脉冲持续时间 $\tau_0 = 35$ ns时 $|2\rangle$ 态的最终布居 $P_2^{L,R}$ 随时间的演化。在第一个激发过程中跃迁偶极矩 μ_{13} 对于两个对映体来说是相同的，没有符号上的差异，因此脉冲 $\varepsilon_Z(t)$ 使左手性和右手性对映体产生了相同的 $|1\rangle$ 态和 $|3\rangle$ 态的最大相干叠加。接着在第二个阶段，从最大相干叠加态到 $|2\rangle$ 态的跃迁路径之间出现了依赖跃迁偶极矩 μ_{12} 的干涉相长或相消，最终结果使得左手性对映体在三个脉冲作用结束后完全布居在 $|2\rangle$ 态，而右手性对映体仍处于转动态 $|1\rangle$ 和 $|3\rangle$ 的最大相干叠加态，实现了对映体选择性激发，这与理论分析的结果一致，证明了满足最优振幅和相位条件的控制场，可以实现任意目标态的对映体选择性激发。

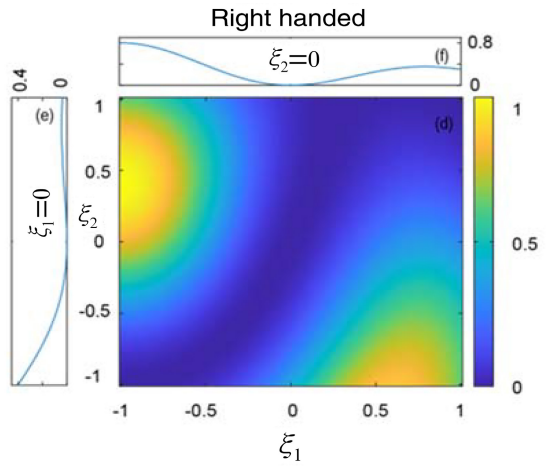


注：(a)左手性对映体三个转动态的布居演化过程，(b)右手性对映体的布居演化过程。参数设置为脉冲持续时间 $\tau_0 = 35$ ns，相位 $\varphi_Z = \frac{\pi}{2}$。

图6 目标 $|2\rangle$ 态的布居演化过程

接着，同样考虑脉冲振幅或脉冲面积不满足条件的情况，脉冲的其他参数与图6中的一致。图7给出了 $|2\rangle$ 态的最终布居 $P_2^{L,R}$ 随着误差 ξ_1 和 ξ_2 的变化关系。从图中可以看到，目标态 $|2\rangle$ 的布居依赖参数 ξ_1 和 ξ_2 的变化，并在误差等于0时，即满足所推导出的振幅条件时，可以实现完全的对映体选择性量子态转移，与第一种情况下的结果相同。此外，选择性布居转移的效率也表现出对关键阶段的脉冲误差具有更强的依赖性，并且上述的模拟方案对其他的手性分子同样适用。





注：(a)左手性对映体的布居随误差 ξ_1 和 ξ_2 的变化关系，(b)当误差 $\xi_1=0$ 时，布居随 ξ_2 的变化，(c)当误差 $\xi_2=0$ 时，布居随 ξ_1 的变化，(d)—(f)为相应的右手性对映体末态布居随参数的变化。

图7 目标 $|2\rangle$ 态的脉冲误差与对映体选择性布居转移的关系

3　结论

本文基于真实的手性分子内部构建循环三态布居转移过程，研究了如何实现对映选择性量子态转移问题。通过将闭环激发过程分为两个阶段，解析推导出了系统的波函数，进而推导出为了实现高效对映体选择性量子态转移三个控制脉冲需要满足的振幅和相位条件。基于频域分析，利用高斯型微波脉冲设计了一个相干控制方案，并将其应用于环己基甲醇分子。通过两种不同激发方案的研究，从内在物理机制上阐明了产生对映体选择性布居转移的本质，即两个对映体在关键激发阶段具有 π 的相位差，导致了不同跃迁路径之间的干涉相长和相消。该关键阶段也表现出对脉冲参数误差具有更强的依赖关系。本文考虑了真实的分子数据，研究结果为实验上实现手性分子对映体选择性量子态转移提供了重要的理论依据。

参考文献：

[1] Nsaito Y, Hyuga H. Colloquium: Homochirality: Symmetry breaking in systems driven far from equilibrium[J]. Reviews of modern physics, 2013, 85: 603−621.

[2] Leitereg T J, Guadagni D G, Harris J, et al. Chemical and sensory data supporting the difference between the odors of the enantiomeric carvones[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 1971, 19(4): 785−787.

[3] 陈良. 立体化学的某些新概念[J]. 化学通报, 1989(2): 49−51.

[4] Hyttel J, Bøgesø K P, Perregaard J, et al. The pharmacological effect of citalopram resides in the (S)−(+)−enantiomer[J]. Journal of neural transmission / general section JNT, 1992, 88(2): 157−160.

[5] Gal J. The discovery of stereoselectivity at biological receptors: Arnaldo piutti and the taste of the asparagine enantiomers history and analysis on the 125th anniversary[J]. Chirality, 2012, 24(12): 959−976.

[6] Eilam A, Shapiro M. Spatial separation of dimers of chiral molecules[J]. Physical review letters, 2013, 110(21): 213004.

[7] Pasteur L. Recherches sur les relations qui peuventexister entre la forme crystalline, la composition chimique et le Sens de la polarization rotatoire[J]. Annales de chimie et de physique , 1848, 24: 442−459.

[8] Fröhlich H. Theory of the superconducting state. i. the ground state at the absolute zero of temperature[J]. Physical review journals archive, 1950, 79(5): 845−856.

[9] Quack M, Stohner J, Willeke M. High−resolution spectroscopic studies and theory of parity violation in chiral molecules[J]. Annual review of physical chemistry, 2008, 59(1): 741−769.

[10] 林纯, 章伟光, 范军, 等. 手性分子识别与分离研究进展[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2014, 46(3): 1−9.

[11] Lovas F, Plusquellic D, Pate B H, et al. Microwave spectrum of 1, 2−propanediol[J]. Journal of molecular spectroscopy, 2009, 257(1): 82−93.

[12] Rikken G L J A, Raupach E. Enantioselective magnetochiral photochemistry[J]. Nature, 2000, 405(6789): 932−935.

[13] Patterson D, Doyle J M. Sensitive chiral analysis via microwave three−wave mixing[J]. Physical review letters, 2013, 111: 023008.

[14] Patterson D, Schnell M, Doyle J M. Enantiomer−specific detection of chiral molecules via microwave spectroscopy[J]. Nature, 2013, 497(7450): 475−477.

[15] Patterson D, Schnell M. New studies on molecular chirality in the gas phase: Enantiomer differentiation and determination of enantiomeric excess[J]. Physical chemistry chemical physics, 2014, 16(23): 11114.

[16] Domingos S R, Pérez C, Schnell M. Sensing chirality with rotational spectroscopy[J]. Annual review of physical chemistry, 2018, 69(1): 499−519.

[17] Bodenhöfer K, Hierlemann A, Seemann J, et al. Chiral discrimination using piezoelectric and optical gas sensors[J]. Nature, 1997, 387(6633): 577−580.

[18] Mckendry R, Theoclitou M E, Rayment T, et al. Chiral discrimination by chemical force microscopy[J]. Nature, 1998, 391(6667): 566−568.

[19] Yachmenev A, Yurchenko S N. Detecting chirality in molecules by linearly polarized laserfields[J]. Physical review letters, 2016, 117(3): 033001.

[20] Hougen J T, Dekoven B M. The application of extended permutation−inversion groups to internal rotation of a symmetric rotor top in a symmetric or asymmetric rotor molecule[J]. Journal of molecular spectroscopy, 1983, 98(2): 375−391.

[21] Barron L D, Zhu F, Hecht L, et al. Raman optical activity: An incisive probe of molecular chirality and biomolecular structure[J]. Journal of molecular structure, 2007, 834−836: 7−16.

[22] Brand C, Stickler B A, Knobloch C, et al. Conformer selection by matter−wave interference[J]. Physical review letters, 2018,

121(17): 173002.
[23] Demekhin P V, Artemyev A N, Kastner A, et al. Photoelectron circular dichroism with two overlapping laser pulses of carrier frequencies ω and 2ω linearly polarized in two mutually orthogonal directions[J]. Physical review letters, 2018, 121(25): 253201.
[24] Gershnabel E, Averbukh I S. Orienting asymmetric molecules by laser fields with twisted polarization[J]. Physical review letters, 2018, 120(8): 083204.
[25] Kang Y H, Chen Y H, Shi Z C, et al. Pulse design for multilevel systems by utilizing lie transforms[J]. Physical review A, 2018, 97(3): 033407.
[26] Wu J L, Wang Y, Han J X, et al. Two-path interference for enantiomer-selective state transfer of chiral molecules[J]. Physical review applied, 2020, 13(4): 044021.
[27] Heppke G, Jákli A, Rauch S, et al. Electric-field-induced chiral separation in liquid crystals[J]. Physical review E, 1999, 60(5): 5575-5579.
[28] Brumer P, Frishman E. Principles of electric-dipole-allowed optical control of molecular chirality[J]. Physical review A, 2001, 65(1): 015401.
[29] Hoki K, Leticia G, Fujimura Y. Quantum control of molecular handedness in a randomly oriented racemic mixture using three polarization components of electric fields[J]. The journal of chemical physics, 2002, 116(20): 8799-8802.
[30] Thanopulos I, Král P, Shapiro M. Theory of a two-step enantiomeric purification of racemic mixtures by optical means: The D2S2 molecule[J]. Journal of chemical physics, 2003, 119(10): 5105.
[31] Frishman E, Shapiro M, Brumer P. Optical purification of racemic mixtures by 'laser distillation' in the presence of a dissipative bath[J]. Journal of physics batomic molecular &optical physics, 2004, 37(13): 2811.
[32] Li Y, Bruder C, Sun C P. Generalized stern-gerlach effect for chiral molecules[J]. Physical review letters, 2007, 99(13): 130403.
[33] Shubert V A, Schmitz D, Patterson D, et al. Identifying enantiomers in mixtures of chiral molecules with broadband microwave spectroscopy[J]. Ange wandtechemie international edition, 2014, 53(4): 1152-1155.
[34] Shubert V A, Schmitz D, Medcraft C, et al. Rotational spectroscopy and three-wave mixing of 4-carvomenthenol: Atechnical guide to measuring chirality in the microwave regime[J]. The journal of chemical physics, 2015, 142(21): 214201.
[35] Shubert V A, Schmitz D, Pérez C, et al. Chiral analysis using broadband rotational spectroscopy[J]. The journal of physical chemistry letters, 2016, 7(2): 341-350.

Enantioselective State Transfer of Chiral Molecules

SONG Xinjiao[1,2], XU Lei[1,2*]

(1.School of Physics Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi Xinjiang 830046, China;
2. School of Physics and Electronic Information, Dezhou University, Dezhou Shandong 253023, China)

Abstract: In this paper, we use three microwave fields with mutually perpendicular polarization directions to construct a cyclic three-level system based on the lowest three transitions of chiral molecules, and realize enantioselective state transfer of chiral molecules through two-step excitation.Utilizing the method of Magnus expansion the system of the unitary operator, the amplitude and phase conditions that need to be met by the microwave field to achieve enantioselective excitation of chiral molecules are derived analytically. Based on the optimal conditions, the coherent control scheme is designed and numerically simulated in a real chiral molecule. The results show that chiral molecules can realize full enantioselective state transfer when the control field satisfies the optimal amplitude and phase conditions simultaneously, and the pulse error in the critical excitation phase has a greater impact on the system when there is some error in the pulse. Our results provide an important theoretical basis for the experimental realization of high-fidelity enantioselective quantum state transfer of chiral molecules, which is valuable for the study of subsequent chiral separation, synthesis and purification.

Key words: chiral molecule; enantioselective excitation; microwave pulses

基于空间注意力机制的人群计数金字塔网络

王晓敏

（德州学院　物理与电子信息学院，山东　德州　253023）

摘　要：近年来，使用深度卷积神经网络(CNN)进行人群计数取得了令人鼓舞的进展。然而，如何有效地解决尺度变化和复杂背景的问题仍然是一个重大挑战。为此，提出了基于注意力机制的多尺度金字塔模块，以获得更准确的人群计数。首先，以一组卷积神经网络作为前端，提取深度信息，且无需额外的运算量。其次，构建特征金字塔模型，通过对感知野的多重扩张卷积，实现多尺度特征的增强，提供更为丰富的上下文信息。此外，为了充分利用这些上下文信息，加入注意力机制，可以有针对性地捕捉人群特征，从而准确估计人群密度。实验结果表明，本文提出的算法在计数准确性、密度图质量等方面都明显优于已有算法。

关键词：人群计数；注意力模块；深度学习；多尺度特征

中图分类号：TP391　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1004-9444（2024）04-0015-06

0　引言

随着世界人口的不断增长和城市化趋势的不断加快，城市地区如地铁站、体育场馆、音乐会、展览中心、阅兵场等往往会快速产生人群。人群生成预测和人群密度估计对人群监测和人群管理具有重要意义。所以人们对使用图像和视频分析方法的自动人群计数进行了大量的研究。人群计数算法也在视频监控、交通监控[1]、场景理解[2]、应急管理[3]等许多关键领域发挥着重要作用。在COVID-19大流行中通过密度估计防止聚集，减少病毒的传播，进一步突出了其重要性[4]。但受遮挡、尺度多变、背景混杂等因素的影响，准确地估计群体数目是一个极具挑战的问题。为了防止公共场所发生拥挤和踩踏事故，可以使用人群计数来实时监控人员进出。然而，先前的人群计数主要依赖人力资源，成本高、效率低。因此，许多研究者尝试将计算机视觉应用于人群计数。特别是随着深度学习的出现，基于卷积神经网络的模型在各种计算机视觉任务中占据了主导地位，包括人群计数，许多基于卷积神经网络的方法在计数精度方面取得了令人印象深刻的成就。尽管结果令人鼓舞，但由于规模变化和复杂的背景，人群计数仍然是一项具有挑战性的任务[5]。并且当复杂背景与前景具有相似的外观时，会严重影响模型准确估计人群密度的能力。

本文设计了一种新的注意力特征金字塔模型来充分捕捉不同维度的输入特征之间的依赖关系。主干网络采用了VGG-16作为骨干网，采用全卷积网络作为前端。在网络中，我们提出了一个特征金字塔模块来捕捉多尺度特征，以提供更广泛的上下文信息。每列具有不同大小的接受域，使用深度语义信息细化多尺度特征。并且，进一步获取纹理特征，避免特征提取过程中图像细节的丢失。除此之外，本文利用注意力机制对输入的各维度之间的信息进行处理，以有效地抑制背景区域对视觉感知的干扰。在此基础上，对各区域进行了重点权重的再分配，使各维度间的相互作用最大化。我们的方法能够精确抑制背景干扰，实现多尺度人群信息的高效提取。利用多个数据集(ShanghaiTech, UCF_CC_50, UCSD)对本文所提出的模型进行验证。实验证明，与已有的算法相比，本文提出的算法具有较高的计算精度和较高的密度图质量。

1　相关工作

在人群计数的早期阶段，传统的基于检测的方法发挥了至关重要的作用[6]。在这些方法中，采用检测头部或行人获得人数计数[7]。然而，基于检测的方法在密集场景中表现不佳，因此基于回归的方法备受关注。基于回归的方法通过直接学习深度特征的映射来计数，深

收稿日期：2023-08-18

作者简介：王晓敏（1998—），女，山东德州人，助教，硕士，主要从事图像处理方向研究。

层特征从浅层特征信息中捕获，包括边缘信息和纹理信息[8]，随后，通过深度特征回归得到人群数量。

近年来，基于卷积神经网络（CNN）的人群计数算法已经取得了令人兴奋的表现，这主要得益于卷积神经网络模型具有强大的特征提取能力。Zhang等[9]采用三尺度卷积核，设计了一种基于卷积神经网络的三分支方法。Sam等人[10]训练了一个分类器来为每个图像选择最合适的回归路径。此外，Sindagi等[11]设计了一种同时捕获局部和全局特征并将其合并的网络结构，可以产生误差较小的密度图。Cao等[12]提出了尺度聚合模块，丰富尺度多样性，增强特征表达能力。Jiang等[13]提出了一种栅格式编码器–解码器结构，用于合并多个解码路径以获得多尺度特征。Wang等[14]提出了一种利用渐进嵌入尺度上下文信息的混合注意力网络（HAN），使网络能够同时抑制噪声并适应头部尺度变化，通过两个并行的空间注意力和通道注意力模块构建混合注意力机制，让网络更多地关注人的头部区域，减少背景物体的干扰，在空间和通道维度上嵌入了一定的尺度–语境，以减轻透视和头部尺度变化引起的计数误差。Zhou等[15]设计了一种新的语义精练空间金字塔网络(SSPNet)，有利于多尺度信息的融合，提高了深层语义特征的表示能力，对多尺度特征进行自适应集成。Xie等[16]提出了一个创新的多尺度注意力重新校准网络MARNet，以获得更准确的人群计数。通过对维度注意块与区域重新校准块两个块的整合，可以有针对性地捕获人群特征，从而准确估计人群密度。针对人群密度分布不均匀的问题，Peng等[17]提出了一种由多个双层金字塔融合模块（DPFM）和密度整流图（DRmap）辅助学习模块组成的密度校正网络（DRNet），将所提出的DPFM嵌入到DRNet中，通过双层金字塔融合实现多尺度人群密度特征的集成，对初始人群密度图进行自适应加权，进一步纠正了不正确的人群密度估计。现有的方法致力于更好地提取多尺度特征并适当融合特征，这也鼓励我们设计一种新的网络结构来应对人群计数的尺度变化。

2 本文方法

本文提出的框架有三个主要部分:前端、空间金字塔多尺度模块和注意力融合模块。如图1所示，前端作为骨干网，用于捕获输入图像的特征，空间金字塔多尺度模块具有5个分支，可从不同大小的感受野中提取多尺度特征。最后，设计注意力融合模块对提取的多尺度特征进行重组。

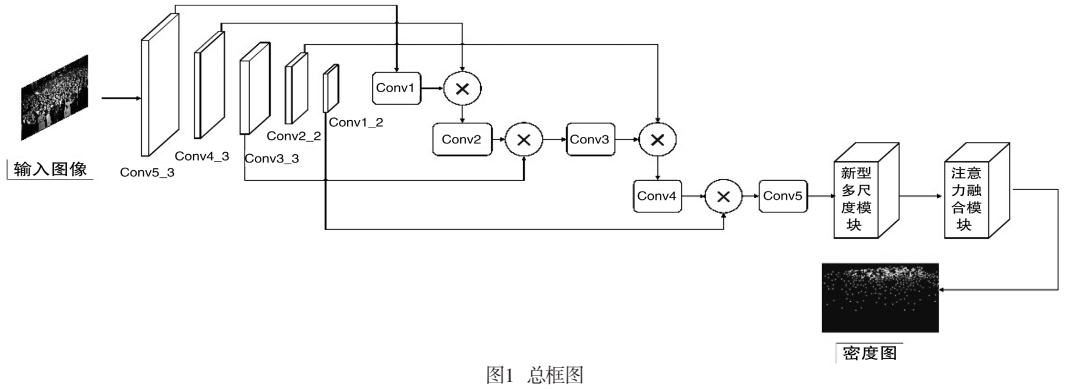


图1 总框图

2.1 骨干网络

骨干网在我们提出的方法中起着关键作用。为更好地发挥迁移学习的功能，本文利用已有的网络，预先训练权重子网。近年来，诸多研究采用VGG–16作为骨干网对图像进行特征提取，取得了较好的效果。在此基础上，本文拟采用基于ImageNet的预训练VGG–16对图像中的特征进行提取[18]。在VGG–16中，选取了5个层次的特征作为骨干网的输出特征，分别命名为Conv1_2、Conv2_2、Conv3_3、Conv4_3和Conv5_3。

2.2 空间金字塔多尺度模块

空间金字塔多尺度模块由前端后的五条平行路径组成，每个尺度分支都有一个卷积网络，并且和来自上一个低分辨率分支进行连接。例如，图1的第三条分支网络Conv3的具体结构如图2所示，它接收来自第二条分支Conv2的特征和骨干网的Conv3_3特征连接，并为第四条分支Conv4生成特征。Conv3的分支结构分别为(3×3 256)、(1×1 256)和上采样，其中，分支结构中采用的都是卷积层，参数分别表示为内核大小以及通道数。以上分支具有不同大小的接受野，形成空间金字塔结构。

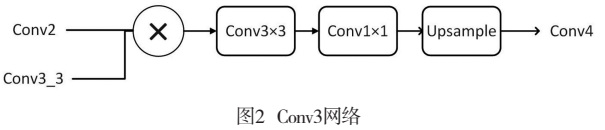


图2 Conv3网络

为了更好地容纳不同尺度的人群，需要提取多尺度的特征信息。在这种情况下，一种常用的方法就是利用多种大小的滤波器对接收域进行编码。本文针对特征提取提出了一种多尺度模块，能够有效地改进分支的输出特性，并提高运算速度。典型的inception是一种平行的结构，包括1×1、3×3、5×5卷积以及池化层。卷积核的尺寸直接影响到对各种目标的识别。本文针对密集人群图像中人头尺寸变化的特点，设计了多尺度结构，如图3所示。该结构首先把附加结构中的池化层用7×7卷积网络进行替代，然后采用2个3×3卷积取代5×5卷积，3个3×3卷积取代7×7卷积，从而在保证相同视野的前提下，在减少参量的情况下，间接地增大了网络的深度。

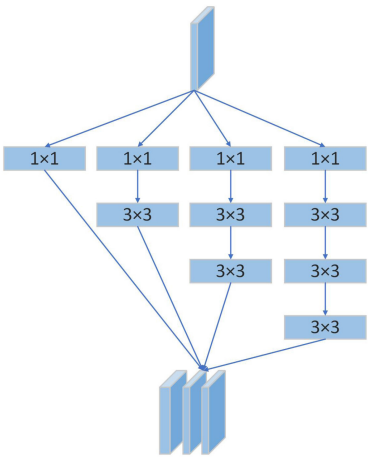


图3 多尺度结构

2.3 注意力融合模块

注意力机制最早出现于自然语言处理领域，并逐步被人们所接受，其目的在于模拟人类的注意机制，从数据中挖掘出显著的特征，从而提高模型的效率。在本文中，主要使用了空间注意力模型[19]，如图4所示。空间注意力机制可以实现变形数据的空间转化，并能自动捕捉变形过程中的关键区域特征。该算法能确保经过剪切、平移、旋转等处理后，图像仍能保持原来的效果，可以确定网络中最重要的部位以便更好地处理。在处理图像时，它可以让网络更准确地理解图像中的细节，在对不同区域进行分类和分割时，可以更好地聚焦到目标区域。

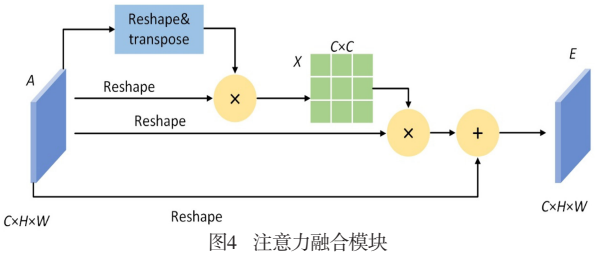


图4　注意力融合模块

在本文，我们把注意力定义为

$$X \in R^{C\times C}: x_{ji} = \frac{\exp(A_i \cdot A_j)}{\sum_{i=1}^{C}\exp(A_i \cdot A_j)} \tag{1}$$

其中，C表示通道数，x_{ji}为第 i 个通道对第 j 个通道的影响，A表示密度图特征值，输出特征 E_j 为

$$E_j = \beta\sum_{i=1}^{C}(x_{ji}A_i) + A_j, E \in R^{C\times H\times W} \tag{2}$$

其中，β 表示尺度系数，通道的结果特征为E，是原始特征和所有通道特征的加权之和。

2.4 损失函数

本文采用欧氏距离作为模型损失函数,度量估计密度图与真实密度图之间的差距。损失函数定义为

$$L = \frac{1}{2N}\sum_{i=1}^{N}\| F(X_i) - G(X_i)\|^2 \tag{3}$$

其中，X_i 是输入图像，$F(X_i)$ 是估计密度图，N 是训练图像数量，$G(X_i)$ 是图像 X_i 的真实密度图。

本文引入了注意力损失函数，即

$$L_{\text{att}} = -\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(A_i^{\text{GT}}\ln(P_i) + (1-A_i^{\text{GT}})\ln(1-P_i)) \tag{4}$$

其中，A_i^{GT} 是注意力真值，P_i 是由激活函数激活的预测注意力图中每个像素的概率。

使用式（5）函数作为总损失函数进行训练，α 权重设置为0.1

$$L_{\text{all}} = L + \alpha L_{\text{att}} \tag{5}$$

3　实验

本文在ShanghaiTech Part_A & Part_B[9]、UCF_CC_50[20]、UCSD[21]三个主流数据集上进行了综合实验。

3.1 评价指标

平均绝对误差(*MAE*)和均方误差(*MSE*)等评价指标在人群计数中得到了广泛的应用。对于一组N张图像，*MAE*和*MSE*表示为

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|a_i - a_i^{\text{GT}}|$$
$$MSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|a_i - a_i^{\text{GT}}|^2} \tag{6}$$

其中，N 代表图片的数量，a_i 代表本文网络得到的估计密度图，a_i^{GT} 表示对应图像的ground truth。

3.2 ShanghaiTech数据集

该数据集分为两部分，总共有330 165个被标注过的人头。Part_A的图像都是从网络采集的目标密集的高分辨率的图片，Part_B里的图像是从商业街道摄像头拍摄的稀疏场景中获取的，包括400幅训练图像和316幅

测试图像。

表1展示了本文方法和一些最新的方法在Shanghai Tech数据集上的对比结果。本文方法在Part_A和Part_B上都取得了较好的预测效果，在Part_A上的*MAE*为56.7，在Part_B上的*MAE*为6.8。

表1 不同方法在ShanghaiTech dataset的实验结果

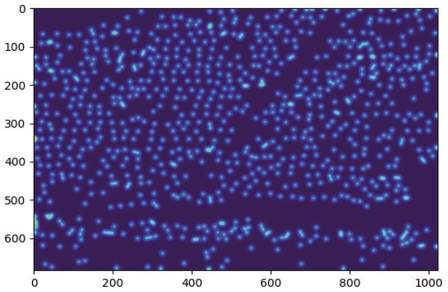
方法	Part_A		Part_B	
	MAE	*MSE*	*MAE*	*MSE*
MCNN[9]	110.2	173.2	26.4	41.3
CPCNN[11]	73.6	106.4	20.1	30.1
MSFNet[22]	63.4	97.2	9.6	14.3
Switching-CNN[10]	90.4	135.0	21.6	33.4
CSRNet[23]	68.2	115.0	10.6	16.0
SCAR[24]	66.3	114.1	9.5	15.2
MRA-CNN[25]	74.2	112.5	11.9	21.3
DPDNET[26]	66.6	120.3	7.9	12.4
DUBNet[27]	64.6	106.8	7.7	12.5
SFANet[28]	59.8	99.3	6.9	10.9
SSPNet[29]	60.7	104.7	7.9	12.3
本文方法	56.7	90.6	6.8	10.3

可以看出，本文方法不仅具有更好的泛化性能，而且比一些CNN方法如SSPNet、SFANet等具有一定的优势。

图5为本文网络估计的人群密度估计图以及原始图像的示例。



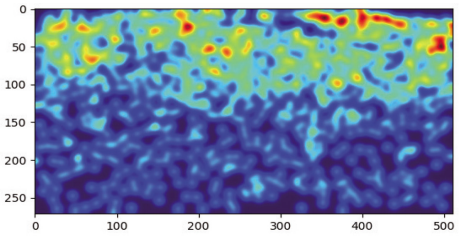
（a）原始图像（827.00）



（b）密度估计图（828.35）



（c）原始图像（1045.00）



（d）密度估计图（1039.63）

图5 原始图像及密度估计图

3.3 UCF_CC_50数据集

UCF_CC_50数据集从互联网上收集了50张人群图片。每张图片中标注的头部数量为94到4543不等。采用5重交叉验证来评估本文方法。

本文方法达到了*MAE*为178.2和*MSE*为233.6，如表2所示，与其他CNN方法相比，取得了更好的结果。实验结果表明，本文方法具有良好的自适应性和模型泛化能力。

表2 不同方法在UCF_CC_50数据集上的实验结果

方法	*MAE*	*MSE*
MCNN[9]	377.6	509.1
MSFNet[22]	257.2	380.8
Switching-CNN[10]	318.1	439.2
CSRNet[23]	266.1	397.5
DUBNet[27]	243.8	329.3
SCAR[24]	259.0	374.0
MRA-CNN[25]	240.8	352.6
SFANet[28]	219.6	316.2
SSPNet[29]	234.1	276.2
本文方法	178.2	233.6

3.4 UCSD dataset

由于UCSD的数据集分辨率较低，将其扩大为960×640，各个标注点也相应地扩大。由表3可以看出，本文方法取得了更优的实验结果。

表3 不同方法在UCSD数据集上的实验结果

方法	*MAE*	*MSE*
MCNN[9]	1.07	1.35
Switching-CNN[10]	1.62	2.10
BidirectionalConvLSTM[30]	1.13	1.43
ACSCP[31]	1.04	1.35
CSRNet[23]	1.16	1.47
SaNet[32]	1.02	1.29
ACSPNet[33]	1.02	1.28
ACM-CNN[34]	1.01	1.29
SFANet[28]	0.82	1.07
FPNet[35]	1.67	3.91
本文方法	0.97	1.27

4 结论

本文设计了一种新的注意力特征金字塔模型，充分捕捉在不同维度的输入特征之间的依赖关系。通过特征金字塔模块来捕捉多尺度特征，以提供更广泛的

上下文信息，避免特征提取过程中图像细节的丢失。利用注意力机制对输入的各维度之间的信息进行处理，以有效地抑制背景区域对视觉感知的干扰。在多个数据集对本文所提出的模型进行验证，证明了本文方法在人群计数方面的优势。

参考文献：

[1] Zhou Y, Yang J X, Li H R, et al. Adversarial learning for multiscale crowd counting under complex scenes[J]. IEEE transactions on cybernetics, 2021, 51(11): 5423−5432.

[2] Wu X, Zheng Y B, YE H. Counting crowds with varying densities via adaptive scenario discovery framework[J]. Neurocomputing, 2020, 397: 127−138.

[3] Sindagi V A, Yasarla R, Patel V M. Jhu−crowd++: Large−scale crowd counting dataset and a benchmark method[J]. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 2022, 44(5): 2594−2609.

[4] Salma K J, Maha H A, Manar Salamah AH. A deep−CNN crowd counting model for enforcing social distancing during COVID−19 pandemic:application to Saudi Arabia's public places[J]. Computers,materials&continua, 2021, 66(2): 1315−1328.

[5] Gao J Y, Wang Q, Li X L. PCCnet: perspective crowd counting via spatial convolutional network[J]. IEEE transactions on circuits and systems for video technology, 2020, 30(10): 3486−3498.

[6] Rodriguez M, Laptev I, Sivic J, et al. Density−aware person detection and tracking in crowds[C]//2011 International conference on computer vision. Barcelona: IEEE, 2011: 2423−2430.

[7] Zeng C B, Ma H D. Robust head−shoulder detection by PCA−based multilevel HOG−LBP detector for people counting[C]//2010 20th International conference on pattern recognition. Istanbul: IEEE, 2010: 2069−2072.

[8] Chan A B, Liang Z S, Vasconcelos N. Privacy preserving crowd monitoring: counting people without people models or tracking[C]//2008 IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Anchorage: IEEE, 2008: 1−7.

[9] Zhang Y Y, Zhou D S, Chen S Q, et al. Single−image crowd counting via multi−column convolutional neural network[C]//2016 IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Las Vegas: IEEE, 2016: 589−597.

[10] Sam D B,Surya S,Venkatesh B R.Switching convolutional neural network for crowd counting[C]//2017 IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Honolulu: IEEE, 2017: 4031−4039.

[11] Sindagi V A, Patel V M. Generating high−quality crowd density maps using contextual pyramid CNNs[C]//2017 IEEE international conference on computer vision. Venice: IEEE, 2017: 1879−1888.

[12] Cao X, Wang Z, Zhao Y, et al. Scale aggregation network for accurate and efficient crowd counting[C]//Proceedings of the European conference on computer vision. Cham: Springer, 2018: 734−750.

[13] Jiang X L, Xiao Z H, Zhang B C, et al. Crowd counting and density estimation by trellis encoder−decoder networks[C]//2019 IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. Long Beach: IEEE, 2019: 6126−6135.

[14] Wang F S, Sang J, Wu Z Y, et al. Hybrid attention network based on progressive embedding scale−context for crowd counting[J]. Information sciences, 2022, 591: 306−318.

[15] Zhou L, Wang P, Li W, et al. Semantic−refined spatial pyramid network for crowd counting[J]. Pattern recognition letters, 2022, 195: 9−15.

[16] Xie J Y, Chen P, Zheng Y J, et al. Multi−scale attention recalibration network for crowd counting[J]. Applied Soft Computing, 2022, 117: 108457.

[17] Peng S F, Yin B Q, Yang Q Q, et al. Exploring density rectification and domain adaption method for crowd counting[J]. Neural computing & applications, 2023, 35(4): 3551−3569.

[18] Deng J, Dong W, Socher R, et al. Imagenet: a large−scale hierarchical image database [C]//2009 IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Miami: IEEE, 2009: 248−255.

[19] Jaderberg M, Simonyan K, Zisserman A, al. Spatial Transformer Networks[C]// Proceedings of the 28th international conference on neural information processing systems. Cambridge: MIT Press, 2015: 2017−2025.

[20] Idrees H, Saleemi I, Seibert C, et al. Multi−source multi−scale counting in extremely dense crowd images[C]//2013 IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Portland: IEEE, 2013: 2547−2554.

[21] Chan A B, Liang Z S, Vasconcelos N. Privacy preserving crowd monitoring: Counting people without people models or tracking[C]//2008 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Anchorage: IEEE, 2008: 1−7.

[22] 左静, 巴玉林. 基于多尺度融合的深度人群计数算法[J]. 激光与光电子学进展, 2020, 57(24): 315−323.

[23] Li Y H, Zhang X F, Chen D M. CSRNet: Dilated convolutional neural networks for understanding the highly congested scenes[C]//2018 IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition.Salt Lake City: IEEE, 2018: 1091−1100.

[24] Gao J Y, Wang Q, Yuan Y. SCAR: Spatial−channel−wise attention regression networks for crowd counting[J]. Neurocomputing, 2019, 363: 1−8.

[25] Zhang Y M, Zhou C L, Chang F L, et al. Multi−resolution attention convolutional neural network for crowd counting[J]. Neurocomputing, 2019, 329: 144−152.

[26] Lian D Z, Chen X N, Li J, et al. Locating and counting heads in crowds with a depth prior[J]. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. 2021, 44(12): 9056−9072.

[27] Oh M H,Olsen P, Ramamurthy K N.Crowd Counting with Decomposed Uncertainty[C]//Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence.Palo Alto: AAAI Press, 2020: 11799−11806.

[28] Zhu L, Zhao Z J, Lu C, et al. Dual Path multi−scale fusion networks with attention for crowd counting[EB/OL]. (2019−02−04)[2023−7−10]. https://arxiv.org/pdf/1902. 01115v1.

[29] Zhou L,Wang P, Li W, et al. Semantic−refined spatial pyramid network for crowd counting[J]. Pattern recognition letters, 2022, 195: 9−15.

[30] Xiong F, Shi X J, Yeung D Y. Spatiotemporal modeling for crowd counting in videos[C]//2017 IEEE international conference on computer vision.Venice:IEEE,2017:5161−5169.

[31] Shen Z, Xu Y, Ni B B, et al. Crowd counting via adversarial cross−scale consistency pursuit [C]//2018 IEEE/CVF

conference on computer vision and pattern recognition. Salt Lake City: IEEE, 2018: 5245-5254.
[32] Cao X, Wang Z, Zhao Y, et al. Scale aggregation network for accurate and efficient crowd counting [C]//Proceedings of the European conference on computer vision.Cham:Springer, 2018: 734-750.
[33] Ma J J, Dai Y P, Tan Y P. Atrous convolutions spatial pyramid network for crowd counting and density estimation[J]. Neurocomputing, 2019, 350: 91-101.
[34] Zou Z K, Cheng Y, Qu C Y, et al. Attend to count: crowd counting with adaptive capacity multi-scale CNNs[J]. Neurocomputing, 2019, 367: 75-83.
[35] 邓远志, 胡钢. 基于特征金字塔的人群密度估计方法[J]. 测控技术, 2020, 39(6): 108-114.

A Crowd Counting Pyramid Network Based on Spatial Attention Mechanism

WANG Xiaomin

(School of Physics and Electronic Information, Dezhou University, Dezhou Shandong 253023, China)

Abstract: In recent years, there has been encouraging progress in using deep convolutional neural networks (CNNs) for crowd counting. However, effectively addressing the issues of scale changes and complex backgrounds remains a major challenge. To this end, we propose a multi-scale pyramid module based on attention mechanism to obtain more accurate crowd counting. Firstly, a set of convolutional neural networks is used as the front-end to extract depth information without the need for additional computational complexity. Secondly, a feature pyramid model is constructed to enhance multi-scale features and provide richer contextual information through multiple dilated convolutions of the perception field. In addition, in order to fully utilize this contextual information, attention mechanisms can be added to capture crowd characteristics in a targeted manner, thereby accurately estimating crowd density. The experimental results show that the algorithm proposed in this article is significantly better than existing algorithms in terms of counting accuracy, density map quality, and other aspects.
Key words: population count; attention module; deep learning; multiscale features

(上接第6页)

[25] Wang X Y, Yu B, Ma A J, et al. Protein-protein interaction sites prediction by ensemble random forests with synthetic minority oversampling technique[J]. Bioinformatics, 2019, 35: 2395-2402.
[26] Zhang Q M, Liu P S, Han Y, et al. StackPDB: Predicting DNA-binding proteins based on XGB-RFE feature optimization and stacking ensemble classifier[J]. Applied soft computing, 2021, 99: 106921.

Identification of DNA Methylation Sites Based on Machine Learning Algorithms

ZHANG Yaqun, LI Na, YU Bo, HAN Kunling, WU Shunjun

(School of Mathematical Sciences, Dezhou University, Dezhou Shandong 253000, China)

Abstract: DNA methylation is one of the research hotspots in epigenetics. This study proposes a new method for predicting methylation sites in DNA sequences, named DPTRS. Firstly, the dinucleotide composition (DNC), pseudo dinucleotide composition (PseDNC) and the trinucleotide composition (TNC) are used to characterize the sequences. Secondly, the obtained information is fused and the repeated edited nearest neighbours (RENN) is used to deal with the imbalance.Thirdly, the dimensionality is reduced by the locally linear embedding (LLE). Finally, support vector machines (SVM) is used to predict the feature subset. The final prediction results are obtained based on the 10-fold cross validation method, and the prediction accuracy on the benchmark dataset is 91.48%. The results show that the DPTRS method can effectively identify methylation sites in DNA sequence.
Key words: DNA methylation; imbalance processing; support vector machine

基于多维度优先级经验回放机制的深度确定性策略梯度算法

荣垂霆，李海军，朱恒伟，刘延旭，于士军

（德州学院　计算机与信息学院，山东　德州　253023）

摘　要：为进一步提高深度确定性策略梯度算法在处理强化学习连续动作任务中的收敛速度，提出了一种基于多维度优先级经验回放机制的深度确定性策略梯度算法。首先，针对经验回放机制中样本数据利用率低的问题，利用时间差分误差指标对样本进行分类；其次，利用稀缺性和新奇性两个指标对样本进行评分，并将稀缺性和新奇性的评分进行加权组合，得到最终的优先级评分；最后，将设计的多维度优先级经验回放机制方法应用在深度确定性策略梯度算法中，在强化学习连续控制任务中对改进算法进行测试，实验结果表明，改进算法的收敛速度有所提升。

关键词：深度确定性策略梯度算法；强化学习；经验回放机制；多维度优先级

中图分类号：TP18　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1004-9444（2024）04-0021-07

0　引言

深度确定性策略梯度算法（deep deterministic policy gradient，DDPG）在进行强化学习的连续动作任务处理中表现出了优异的性能[1-5]。该算法是在经验回放机制（experience replay，ER）中，对其进行随机采样获得一批经验样本，采样时通常会设置一个固定的批量采样（batch size）数值，以确保样本数据之间的独立性。通过经验回放机制的设立，DDPG算法可以利用之前的经验进行训练，从而提高样本的利用率和训练的稳定性，进而学习到最优的策略，提高算法的收敛速度。DDPG算法在使用经验回放机制进行采样时，由于采用的是随机采样的方法，使得经验回放机制中的样本数据利用率大大降低，有些重要性的数据利用完之后就被丢弃，同时一些重要性低但是具有探索价值的数据未引起重视，导致算法的收敛速度减小。

针对上述问题，国内外专家学者进行了算法收敛速度以及稳定性方面的探索。Tom Schaul等人[6]在DDPG算法的基础上提出了基于优先级经验回放的深度确定性策略梯度算法（prioritized experience replay deep deterministic policy gradient，PER-DDPG），该算法引入了优先经验回放机制，使用经验数据的时间差分误差（TD-error）对优先级进行度量，误差越大，经验数据的优先级越高。在经验回放机制中根据经验数据的优先级进行采样，高优先级的经验数据会被更频繁地采样以便智能体可以更快地学习到重要的经验，经实验验证，改进算法的收敛速度有所提升。William Fedus[7]等人根据实验验证，证明了经验回放机制的更大容量可以显著提高某些算法的性能，而其他算法不受容量的影响，这个发现对后面的研究具有重要的意义。Daochen Zha[8]等人针对经验回放机制的重放内存有噪声且噪声很大、累计奖励不稳定的问题，提出了一种新颖的经验回放优化框架（ERO），该框架交替更新两个策略，即智能体策略和重放策略，根据重放数据更新智能体以最大化累计奖励，同时更新重放策略以向智能体提供最有用的经验数据，该框架对各种连续控制任务进行实验，证明了其改进框架的有效性。David Rolnick[9]等人针对强化学习算法中存在的灾难性遗忘问题提出了一种基于重放的方法（CLEAR），CLEAR利用重放中的离线策略学习和动作克隆来增强算法的稳定性，并利用在线策略学习来保持其可塑性。实验证明改进的方法在减少遗忘方面比其他算法表现更好。Guido Novati等人[10]针对经验回放机制中当策略偏离过去的行为时原来的更新方法的准确性可能会下降的问题，引入了记住和忘记经验回放的机制（ReF-ER），它可以通过参数优化策略增强强化学习算法的效率，该机制跳过根据当前策略不太可能的经验计算出的梯度，并且在重放行为的信任区域内调节策略变化，最后改进的机制在强化学习算法中进行实验，验证

收稿日期：2024-04-15

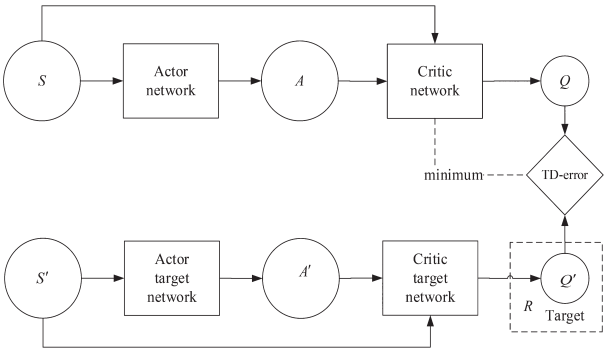
作者简介：荣垂霆（1992－），男，山东聊城人，助教，硕士，主要从事深度强化学习和机器人路径规划方向研究。

了其改进的有效性。Dan Horgan等人[11]为了提高算法在经验回放机制中的学习效率，提出了一种大规模深度强化学习的分布式架构–分布式优先经验回放，该架构将动作与学习解耦，行动者根据共享神经网络选择动作来与自己的环境实例进行交互，并将所得经验积累在共享经验回放记忆中；学习者重放经验样本并更新神经网络，改进的架构极大地提高了算法的学习性能。Baturay Saglam等人[12]在优先经验回放（PER）的基础上，为Actor–Critic方法引入了一种新颖的经验回放采样框架，该框架还考虑了稳定性问题以及PER较差表现背后的最新发现，经过实验验证改进的框架Actor–PER性能优于对比算法。Cong Lu等人[13]针对智能体收集数据有限的问题，提出了一种结合生成建模技术的合成经验回放机制（SynthER）,该方法可以灵活地对智能体收集的经验数据进行采样，并证明了SynthER是一种在本体感受和基于像素的环境跨离线和在线设置中训练强化学习智能体的有效方法。时圣苗等人[14]为了进一步提高经验回放机制的采样效率，提出了分类经验回放方法，采用两种方式对经验样本进行分类，即基于时序差分误差样本分类的DDPG方法和基于立即奖赏样本分类的DDPG方法，并且在两种方法中均使用了两个经验回放池，对产生的经验样本按照重要性程度进行分类存储，经实验验证，改进方法具有更好的性能。Longfei Zhang等人[15]针对智能体收集数据困难的问题，提出了一种新的经验回放架构，由双经验回放体、优先经验回放体和普通经验回放体组成，为不同训练阶段的策略更新提供样本，改进方法在D4RL基准上评估了性能，证明该算法优于最先进的离线强化学习算法。

综上所述，上述针对经验回放机制进行改进的方法虽然使得算法的收敛速度有所提高，但是算法的收敛速度仍有待进一步提升。本文针对此问题，做的主要研究如下：第一，研究DDPG算法的原理并发掘其缺陷问题。第二，针对存在的问题提出了一种多维度优先级的经验回放机制思想，该思想首先对获得的数据按照TD–error进行存储，利用稀缺性和新奇性两个指标为样本进行评分，稀缺性指标通过样本经验数据被频繁采样的频率的反比例关系来进行评分，通过比较新经验与经验回放机制中的经验数据的奖励差异来评估该经验数据的新奇性；然后，定义了一个固定的权衡参数用以调节经验数据的稀缺性和新奇性在经验回放机制中的影响力，并将稀缺性和新奇性的评分进行加权组合，得到最终的优先级评分。第三，将设计的多维度优先级经验回放机制方法应用在DDPG算法中，在强化学习连续控制任务中对改进的DDPG算法进行测试。第四，对改进算法的实验结果进行量化、分析，得出最终结论，并对未来的工作进行了展望。

1 深度确定性策略梯度算法

传统的强化学习方法在处理连续动作空间时往往面临维度灾难的挑战，因为直接在动作空间中进行搜索或者使用表格表示动作价值函数会非常困难。因此，需要一种能够处理高维连续动作空间的方法，DDPG算法便是为解决这一问题而提出的。DDPG是一种用于解决连续动作空间下的深度强化学习问题的算法，它结合了策略梯度方法和深度神经网络的优势，在高维连续动作空间下取得了良好的效果。DDPG算法的框架图如图1所示。



注：S表示在经验回放机制中取得的状态，A表示获得的动作，S'表示在经验回放机制中取得的下一状态，A'表示获得的下一动作。
图1 DDPG算法框架图

在图1中，Actor network、Critic network、Actor target network和Critic target network是算法的4个主要网络，用来生成动作和Q值函数。DDPG算法中用到的主要技术包括策略梯度方法、深度神经网络、经验回放和目标网络，其主要功能描述如下。

a）策略梯度方法。DDPG基于策略梯度方法，其中策略函数（policy function）用于直接映射状态到动作，而不是学习值函数。它通过最大化期望累积奖励来更新策略，使用梯度上升法更新参数。

b）深度神经网络。DDPG利用深度神经网络来近似策略函数和值函数。其中，Actor网络（策略网络）接收状态作为输入，输出对应的动作；Critic网络（值函数网络）接收状态和动作作为输入，输出对应的状态–动作值函数。

c）经验回放。DDPG使用经验回放（experience replay）的方法来提高数据的效率利用率。它存储历史经验，然后随机抽样进行训练，这

样可以打破数据间的相关性，并且利用数据的多次重用来提高样本效率。

d）目标网络。为了稳定训练过程，DDPG使用目标网络（target network）来减缓目标函数的变化。目标网络的参数是Actor和Critic网络参数的副本，在一段时间内固定不变，然后逐渐地与原网络参数同步。

DDPG算法流程如算法1所述：

算法1. 深度确定性策略梯度算法

初始化Actor网络参数 θ^{μ}，Critic网络参数 θ^{Q}，目标网络参数 $\theta^{\mu'}$ 和 $\theta^{Q'}$
初始化经验回放缓冲区D
for 迭代次数 do
　重置环境状态s
　for 步数 $t=1$ to T do
　　从当前策略 i 得到动作 $a=\mu\left(s|\theta^{\mu}\right)$ 并执行到环境中
　　观察奖励 r 和下一个状态 s'
　　将 $\left(s,a,r,s'\right)$ 存储到经验回放缓冲区D中
　　从D中随机采样一批经验 $\left\{\left(s_i,a_i,r_i,s_i'\right)\right\}$ 进行训练
　　计算Actor网络的梯度并更新参数 θ^{μ}
　　计算Critic网络的梯度并更新参数 θ^{Q}
　　更新目标网络参数 $\theta^{\mu'}$ 和 $\theta^{Q'}$
　　end for
end for

2　改进的深度确定性策略梯度算法

DDPG算法在处理强化学习任务时通过选取经验回放机制中的经验样本进行下一步动作的估计，其采样标准是随机采样，因此会造成样本数据利用率低、收敛速度慢的问题。针对这种问题，本节在处理经验样本重要性方面提出了多维度优先级经验回放机制（multi-dimensional priority experience replay，MP-ER）。MP-ER是一种经验回放机制，它是基于多个评估维度动态调整每个经验样本的重放优先级，并结合自适应学习策略以提高DDPG算法的样本效率和学习稳定性，从而提高算法的收敛速度。

2.1　经验回放机制思想

经验回放是强化学习中一种重要的技术，用于改善学习算法的效率和稳定性。它通过存储智能体与环境交互产生的经验样本，并周期性地从存储的经验中随机抽取样本来训练学习模型，从而减少样本之间的相关性，提高学习效率。在强化学习中，智能体与环境交互产生的经验样本通常由状态、动作、奖励和下一个状态组成。经验回放的基本思想是将这些经验样本保存在回放缓冲区（replay buffer）中，并在学习过程中反复利用这些经验样本。经验回放机制的框架图如图2所示。

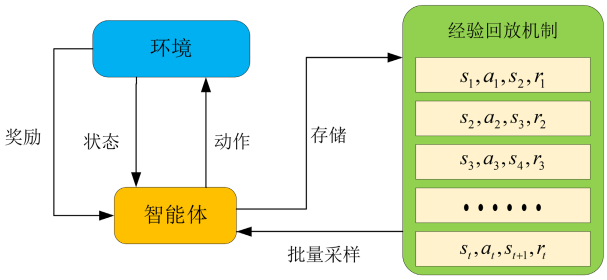


图2　经验回放机制框架图

具体而言，经验回放的步骤包括数据收集阶段、学习阶段和参数更新阶段，具体如下：

a）数据收集阶段。智能体与环境交互，收集到的经验样本（即状态、动作、奖励和下一个状态）被存储在回放缓冲区中。

b）学习阶段。智能体周期性地从回放缓冲区中随机抽取一批经验样本。这些样本可以是连续的经验序列，也可以是随机选择的经验样本。然后，智能体使用这些样本来更新学习模型，例如价值函数或策略网络。

c）参数更新阶段。根据所选的学习算法，使用抽取的经验样本来更新学习模型的参数。

正是由于经验回放机制的如此设计，其具有多种优点，如降低方差，通过随机抽样经验样本，经验回放可以减少训练过程中的方差，使得学习更加稳定；提高数据利用率，经验回放允许代理重复利用之前的经验，提高了数据的利用率，加速了学习过程；独立于实时数据，代理可以在没有实时与环境交互的情况下进行学习，使学习过程更高效，并且适用于一些真实世界中不能直接进行实时学习的场景。

尽管经验回放在强化学习中具有诸多优点，但也存在一些缺点，如采样偏差，由于经验回放是随机抽样的，因此会存在采样偏差，即一些经验可能会被频繁地重复使用，而其他经验则很少被使用，这可能导致训练过程中的不稳定性；时序信息丢失，经验回放机制不考虑经验的时序信息，它只是将经验存储在缓冲区中，并以随机顺序使用，这可能会导致模型对最近的经验和过去的经验一视同仁，忽略了时序信息的重要性；样本相关性，在训练过程中，经验回放机制可能会使训练样本之间的相关性增加，这可能会影响模

型的收敛性和泛化能力。

2.2 多维度优先级的经验回放机制

针对经验回放机制存在的缺点，本文对经验回放机制中的样本重要性设计了一套考虑不同方面的综合评价体系，包括时间差分误差、稀缺性和新奇性三种指标的评价体系。

1）TD-error

TD-error是强化学习中评估智能体（agent）对环境状态价值预测准确性的一个指标。一个较大的TD-error意味着智能体对该状态的价值预测与实际获得的奖励之间存在较大差异，表明该经验可能对学习特定的价值函数非常重要。

本文在设计的评价体系中，将TD-error作为一个重要的维度，以指导经验的优先级排序。其中，神经网络中产生的TD-error公式如（1）所示。

$$\delta = r_{t+1} + \gamma Q'\left(s_{t+1}, \mu'\left(s_{t+1}\middle|\theta^{\mu'}\right) + N_t\right) - Q\left(s_t, a_t\middle|\theta^{Q}\right) \quad (1)$$

其中，r_{t+1}表示智能体与环境交互产生的奖励，γ表示折扣因子，N_t表示噪声，Q表示当前状态下神经网络产生的目标值，Q'表示智能体所期望的目标值。在强化学习中，智能体进行策略学习时总是以贪婪策略进行动作的选取，贪婪策略以TD-error为标准。在公式（1）中可以看出，Q'是一个估计值，并非真实值，因此会产生偏差，这种偏差会随着智能体的学习不断增加，进而产生高估偏差，这对于算法的学习是非常不利的。

2）稀缺性和新奇性

经验回放机制中经验数据的稀缺性指的是某种经验在训练过程中出现的频率低，但对于学习过程是至关重要的，这些经验可能包含了不常见的状态转换或罕见的奖励信号，对于算法探索环境的全面性和避免过拟合至关重要。经验数据的新奇性指的是与已有经验显著不同的经验，这种类型的经验可以提供新的信息，有助于学习算法更好地探索状态空间，避免在已知状态上的过度优化。

在经验回放机制中进行样本采样时，某些经验可能在整个学习过程中出现的频率非常低，这使得稀有经验具有高价值，因为它们提供了学习算法较少见到的信息。

在评价体系中，本节设计了经验数据的稀缺性指标和新奇性指标。在稀缺性指标中，本文设计了稀缺性评分机制，即基于样本经验数据被频繁采样的频率的反比例关系来进行评分，频率越低的经验数据，其稀缺性评分越高。稀缺性指标设计公式如（2）所示。

$$p_1 = \frac{1}{n_i + \varepsilon} \quad (2)$$

其中，p_1表示经验回放机制中的某经验数据的稀缺性评分；n_i表示经验回放机制中的第i个经验被采样的次数；ε表示一个很小的正数，其存在的意义是使得某经验数据的稀缺性评分有意义。

本文还设计了一个新奇性指标，即通过比较新经验与经验回放机制中的经验数据的差异来评估该经验数据的新奇性。本文选取经验数据的奖励差异作为新奇性指标，较大的差异表明该经验数据具有较高的新奇性。新奇性指标设计公式如（3）所示。

$$p_2 = \frac{r_i}{r_i - r_{\max} + \sigma} \quad (3)$$

其中，p_2表示经验回放机制中的某经验数据的新奇性评分；r_i表示新经验获得的奖励；$r_{\max}$表示经验回放机制中的历史经验数据得到的奖励最大值；σ表示一个很小的正数，其存在的意义是使得某经验数据的新奇性评分有意义。

在进行采样时，过度侧重稀缺性和新奇性两者中的任何一方都可能导致算法的学习效率降低，因此需要在稀缺性和新奇性两者之间找到平衡。首先，定义一个固定的权衡参数用以调节经验数据的稀缺性和新奇性在经验回放机制中的影响力；然后，根据设定的权衡参数将稀缺性和新奇性的评分进行加权组合，得到最终的优先级评分。具体计算公式如（4）所示。

$$p = \varphi * p_1 + (1 - \varphi) * p_2 \quad (4)$$

其中，p表示经验数据的最终优先级评分；φ表示设定的权衡参数，通常设为0.7，通过调节权衡参数φ的值可以实现稀缺性和新奇性之间的平衡。

因此，将时间差分误差、稀缺性和新奇性考虑在内设计的多维度优先级经验回放机制的评价方法可以多方面发挥经验数据的重要性，能够发挥经验数据的最大价值，可以提高经验样本数据的利用率，提高算法的收敛速度。

2.3 基于多维度优先级经验回放机制的深度确定性策略梯度算法

为了提高DDPG算法的收敛速度，将对经验回放机制改进的方法应用到DDPG算法中，提出了基于多维度优先级经验回放机制的深度确定性策略梯度算法（deep deterministic policy gradient algorithm based on multi-dimensional priority experience replay

mechanism，MPER-DDPG），改进算法具体描述如算法2所示：

算法2. 基于多维度优先级经验回放机制的深度确定性策略梯度算法

使用权重 θ^Q 和 θ^μ 随机初始化Critic网络 $Q(s,a|\theta^Q)$ 和Actor网络 $\mu(s|\theta^\mu)$

使用权重 $\theta^{Q'} \leftarrow \theta^Q$ 和 $\theta^{\mu'} \leftarrow \theta^\mu$ 分别初始化目标网络 Q' 和 μ'

初始化经验回放机制R容量为S

For *episode*=1， M do

　初始化一个随机噪声 N_t 作为Actor选择动作的噪声

　获取初始观测状态s

　For　t = 1，T do

　　通过当前策略和探索噪声选择动作 $a_t=\mu(s_t|\theta^\mu)+N_t$

　　执行动作 a_t，获得立即奖赏 r_t 和下一状态 s_{t+1}

　　存储经验 (s_t,a_t,r_t,s_{t+1}) 到R中

　　对R中的经验样本依据公式(2)～(4)进行样本优先级 p 的求解

　　If　t>S　then

　　For　j = 1，K　do

　　依据 p 的大小来取样经验 j

　　计算相应的重要性抽样权重 W_j 和priorities

　　根据公式（2）～（4）重新更新样本数据j的优先级

　　End　for

　　最小化损失函数来更新动作值网络：

$$L(\theta^Q)=\frac{1}{M}\sum_i\left(y_i-Q(s_i,a_i|\theta^Q)\right)^2$$

　　计算策略梯度来更新Actor网络：

$$\nabla_{\theta^\mu}(\theta^\mu)\approx\frac{1}{M}\sum_i\nabla_a Q(s,a|\theta^Q)\Big|_{s=s_i,a=\mu(s_i)}\nabla_{\theta^\mu}\mu(s|\theta^\mu)\Big|_{s_i}$$

　　用更新速率 λ 调整Critic函数和Actor函数的参数

　End　for

　End　for

End　for

3　实验

为了验证MPER-DDPG算法的有效性，本文的实验环境为OpenAI Gym，Gym环境中包含了一系列具有连续动作空间的强化学习任务，本文选取了三种不同的任务测试改进算法的有效性，它们分别是Pendulum-v0、MountainCarContinuous-v0和LunarLanderContinuous-v2。实验使用DDPG和PER-DDPG两种算法作为baseline，与本文改进后的MPER-DDPG算法进行对比实验。

3.1　实验参数设置

为保证实验结果的公平性，在进行实验时，改进算法（MPER-DDPG）与对比算法（DDPG、PER-DDPG）所使用的参数值均是相同的。在三种算法中，需要在Actor网络中添加噪声，使用的噪声均是Ornstein-Uhlenbeck噪声分布[16]，因为该噪声的探索效率比较高。本文所设定的奖励折扣因子 γ 均设定为0.99。参数batch_size表示批量采样大小，batch_size对于算法的训练时间以及收敛能力具有重要作用，如果设置过大，则算法的训练时间会大大增加；如果设置过小，随机性更大，算法会难以达到收敛状态[17]。因此，本文对batch_size的设定进行了实验比较，得到的量化结果如表1所示。

表1　不同算法的batch_size的奖励值

算　法	batch_size	奖励值
DDPG	32	−410
DDPG	64	−300
PER-DDPG	32	−300
PER-DDPG	64	−260
MPER-DDPG	32	−220
MPER-DDPG	64	−200

依据批量采样的大小对这三种算法进行比较分析，设定batch_size为32和64两种数值形式，通过比较算法运行500回合之后得到的奖励值来进行算法效果评判，最终得出当batch_size设定为64时，算法的奖励值最大，因此实验中选取的统一的batch_size值为64。

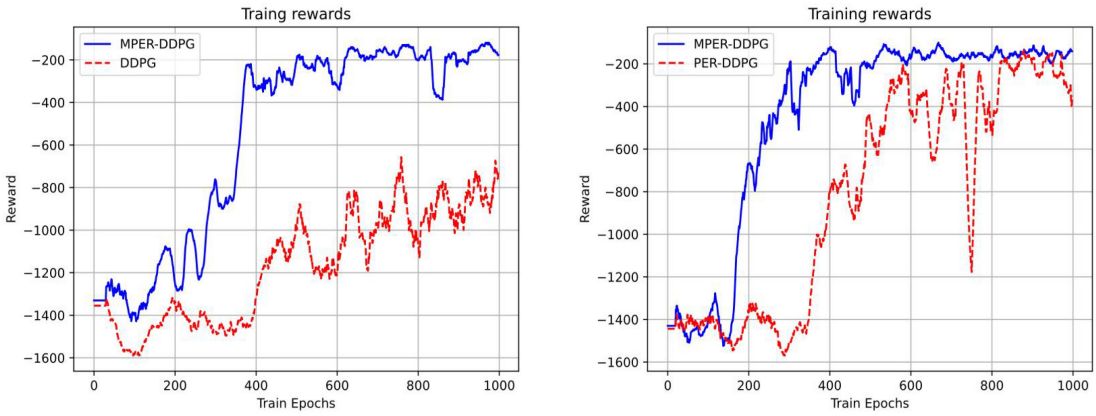
经验回放机制容量参数buffer limit，该参数对于算法收敛状态同样具有重要作用，如果设置过小，算法不易收敛到全局最优值；如果设置过大，会占用大量运行内存，算法运算速度降低。因此，buffer limit的大小对于评价算法的优劣同样具有重要作用。因此，本文将经验回放机制的容量设置为10 000。Actor网络的学习率lr_mu为0.000 5，Critic网络的学习率lr_q为0.001，更新目标网络时用到的 τ 参数tau设置为0.005。涉及到优先经验回放的参数：控制使用优先级的程度的参数 α 设置为prob_alpha=0.6，重要性抽样权重中的参数 β 设置为beta=0.6。

3.2　实验结果及分析

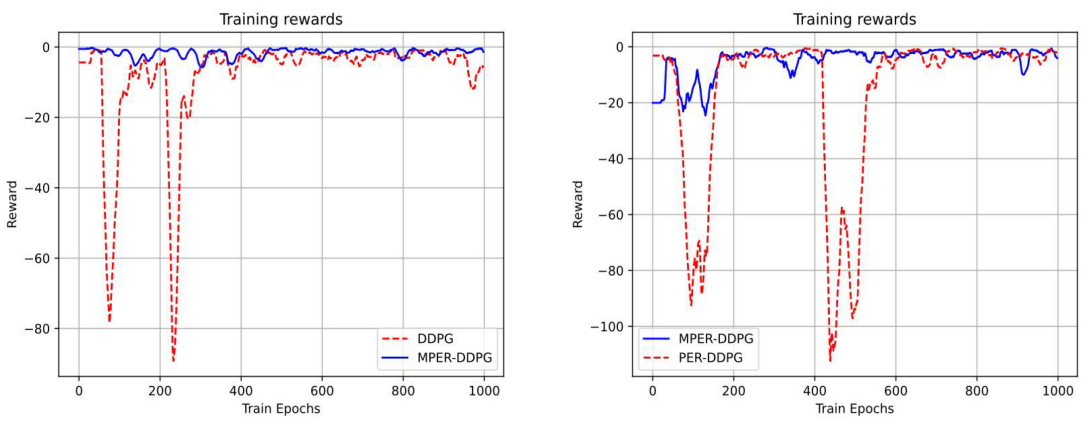
在深度强化学习中对改进算法进行改进效果优劣的评估方式有两种，一种是收敛时间（即收敛速度），另外一种是累计奖励值。对于收敛速度的性能优劣的判别方式是，算法收敛到最优值时所用的时间越少，表明改进算法的性能越好，反之越差。对于累计奖励值指标的判别方式是，算法达到最优值时所获得的累计奖励值越大，表明算法的寻优效果越好[18]。由于本文主要是对算法的收敛速度进行的改进，因此采用的主要评估方式是收敛速度。

图3所示为三种算法在强化学习OpenAI gym三种不同的连续动作空间任务环境中的性能表现，

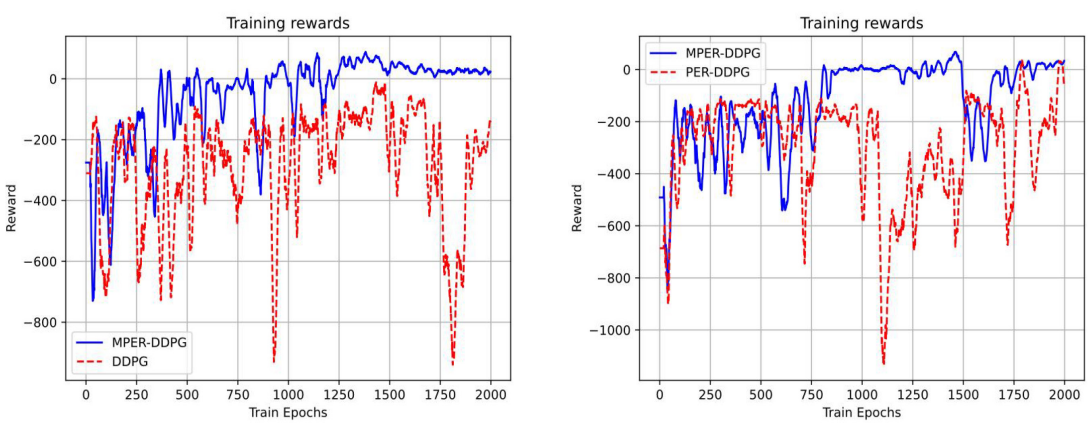
对比算法为DDPG和PER-DDPG两种含有经验回放机制的算法。将改进算法MPER-DDPG算法和DDPG、PER-DDPG算法逐一进行实验得出效果图，如图3所示。



（a）Pendulum-v0 环境下改进算法与两种对比算法效果图



（b）MountainCarContinuous-v0 环境下改进算法与两种对比算法效果图



（c）LunarLanderContinuous-v2 环境下改进算法与两种对比算法效果图

注：Train Epochs 表示回合数值，Reward表示算法获得的累计奖励值。

图3 算法训练效果图

从图3中的曲线可以看出算法逐渐递增并趋于某一稳定的范围。稳定后的奖励值越高，表明该算法的寻优能力较强；曲线在第一次趋于稳定时所用回合数越少，表明该算法收敛速度越快。为了直观感知算法的改进效果，本文将收敛速度量化后计入表2中。

表2　算法收敛速度统计表

任务名称	算法	收敛回合数	提高率/%
Pendulum-v0	DDPG	520	26.9
	PER-DDPG	460	17.4
	MPER-D DPG	380	
MountainCarContinuous-v0	DDPG	280	28.6
	PER-DDPG	240	16.7
	MPER-DDPG	200	
LunarLanderContinuous-v2	DDPG	20520	51.9
	PER-DDPG	400	37.5
	MPER-DDPG	250	

从表2中可以看到，本文提出的改进算法MPER-DDPG在三种强化学习任务中的收敛速度均有所提升。改进算法在每种环境中的提升速度均不同，在Pendulum-v0环境中，改进算法MPER-DDPG的收敛速度与DDPG算法相比，收敛速度提高率高达26.9%；与PER-DDPG算法相比，其收敛速度提高率也高达17.4%。在MountainCarContinuous-v0环境中，改进算法与DDPG算法相比，收敛速度提高率高达28.6%；与PER-DDPG算法相比，其收敛速度提高率也高达16.7%。在LunarLanderContinuous-v2环境中，改进算法在DDPG算法中的提升速度率高达51.9%；与PER-DDPG算法相比，收敛速度提升率也高达37.5%。

通过以上分析，充分表明本文提出的多维度优先级经验回放的设计方法以及采样方法的合理性，对于DDPG算法收敛速度的改进具有很好的效果。算法可以根据三种优先级设计标准进行最终的评分设定，在采样时根据最终优先级评分进行分类采样，可以使得改进算法在短时间内采集到最优样本。同时也有利于智能体开发新的探索空间，对于最优策略的获得有一定的帮助，这种现象在第三种强化学习连续动作空间任务LunarLanderContinuous-v2环境中有所体现，改进算法的累计奖励值相比较DDPG算法和PER-DDPG算法均有所提升。最终通过实验及分析，可以证明本文改进算法的收敛速度得到了提升。

4　结论与展望

本文提出了一种基于多维度优先级经验回放机制的深度确定性策略梯度算法。为了提高算法的收敛速度，本文做了以下工作：首先，针对经验回放机制中样本数据利用率低的问题，利用时间差分误差指标对样本进行分类；其次，利用稀缺性和新奇性两个指标为样本进行评分，并将稀缺性和新奇性的评分进行加权组合，得到最终的优先级评分；最后，将设计的多维度优先级经验回放机制方法应用在DDPG算法中，在强化学习连续控制任务中对改进的DDPG算法进行测试，实验结果表明改进算法在收敛速度方面有所提升。

今后的工作：第一，将改进算法在更多强化学习连续动作空间任务中进行实验，验证算法的有效性及今后的改进方向；第二，将改进算法应用到机器人路径规划任务中，从而实现路径规划、避障等任务，努力实现强化学习任务落地问题。

参考文献：

[1] Riedmiller M, Gabel T, Hafner R, et al. Reinforcement learning for robot soccer[J]. Autonomous robots, 2009, 27: 55-73.

[2] Mnih V, Kavukcuoglu K, Silver D, et al. Playing Atari with deep reinforcement learning[EB/OL]. (2013-12-19)[2024-04-17]. https://arxiv.org/pdf/1312.5602.

[3] Mnih V, Kavukcuoglu K, Silver D,et al. Human-level control through deep reinforcement learning[J]. Nature, 2015, 518(7540):529-533.

[4] Lillicrap T P, Hunt J J, Pritzel A, et al. Continuous control with deep reinforcement learning[C]//Proceedings of the international conference on learning representations. New York: ICLR, 2016.

[5] Silver D, Lever G, Heess N, et al. Deterministic policy gradient algorithms[C]//Proceedings of the international conference on machine learning technologies. China: ICMLT, 2014: 387-395.

[6] Schaul T, Quan J, Antonoglou I, et al. Prioritized experience replay[C]//Proceedings of the international conference on learning representations. New York: ICLR, 2016.

[7] Fedus W, Ramachandran P, Agarwal R, et al. Revisiting fundamentals of experience replay[C]//Proceedings of the international conference on machine learning technologies. China: ICMLT, 2020: 3061-3071.

[8] Zha D, Lai K H, Zhou K, et al. Experience replay optimization[EB/OL]. (2019-06-19)[2024-04-17]. https://arxiv.org/pdf/1906.08387.

[9] Rolnick D, Ahuja A, Schwarz J, et al. Experience replay for continual learning[J]. Advances in neural information processing systems, 2019, 32: 348-358.

[10] Novati G, Koumoutsakos P. Remember and forget for experience replay[C]//Proceedings of the international conference on machine learning technologies. China: ICMLT, 2019: 4851-4860.

[11] Horgan D, Quan J, Budden D, et al. Distributed prioritized experience replay[EB/OL]. (2018-03-02)[2024-04-17]. https://arxiv.org/pdf/1803.00933.

[12] Saglam B, Mutlu F B, Cicek D C, et al. Actor prioritized experience replay[J]. Journal of artificial intelligence research, 2023, 78: 639-672.

[13] Lu C, Ball P, Teh Y W, et al. Synthetic experience replay[C]//Proceedings of the advances in neural information processing systems, Canada: NeurIPS, 2024.

[14] 时圣苗, 刘全. 采用分类经验回放的深度确定性策略梯度

（下转第32页）

基于ADASYN和随机森林的UWB非视距识别方法

胡方勇[1,2]，孙春银[1,2]，夏金凤[2]，刘延旭[2*]

（1. 吉林化工学院　信息与控制工程学院，吉林　吉林　132022；2. 德州学院　计算机与信息学院，山东　德州　253023）

摘　要：室内UWB（超宽带）定位系统中视距、非视距信号不平衡是常见现象，过分依赖平衡数据集进行NLOS（非视距传播）识别面临着数据采集工作量增加和识别性能降低问题。为解决这一挑战，提出ADASYN和随机森林结合的非视距识别方法。应用ADASYN算法将减少视距、非视距信号数据量之间的差距，可实现样本数量平衡；结合随机搜索与五折交叉验证，实现随机森林模型超参数的自动优化以提升模型的整体效率。将所提出的方法与其他常见的机器学习方法进行比较，实验结果表明，所提出方法在具有最优识别性能的同时有效地缩减了调参时间。

关键词：非视距识别；数据不平衡；随机森林；机器学习

中图分类号：TN92　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1004-9444（2024）04-0028-05

0　引言

近年来，超宽带（ultra wide band，UWB）因具有低功耗、高精度和较强的抗干扰能力等优势，被应用于各个领域的室内精确定位和导航[1-5]。在基于超宽带的室内定位系统中，由于墙壁、障碍物等引起的非视距传播（non-line-of-sight，NLOS）环境遮挡，信号经历反射、绕射、散射等现象，导致接收端信号的不可预知变化，显著影响系统的定位性能[6-8]。因此，准确地识别NLOS场景，判断信号收发之间是否存在障碍物，成为超宽带定位领域的一个重要研究方向。当前，NLOS识别技术可以根据其基础数学原理被分为三大类：统计学方法、几何关系法以及机器学习法[9]。

Buhari等[10]基于统计学方法对LOS、NLOS信道进行分类，通过分析接收信号的统计参数，如均方根时延扩展（RDS）、平均剩余时延（MED）、能量比、协方差矩阵均值等来区分视距和非视距信道，并通过联合概率密度函数提高LOS、NLOS信道分类的准确度，实验结果表明对非视距样本的识别准确率高达99%。Zhu等[11]基于几何关系法提出了一种基于多维尺度分析的NLOS识别算法。该算法首先将NLOS信息在多维空间中进行映射，进而准确地识别出含有NLOS信息的异常数据。与文献[10]、[11]不同，Zhang等[12]基于深度学习方法，采用原始通道冲激响应（channel impulse response，CIR）时域数据，提出将多层卷积神经网络（convolutional neural networks，CNN）与通道注意力模块（channel attention module，CAM）结合的策略，最终对非视距信号的识别准确率高达90%。

在实际定位环境中，LOS信号占多数而NLOS信号较少，识别这些关键的NLOS信号构成了典型的数据不平衡分类问题。传统机器学习方法通常无法有效处理这种类别不平衡[13]。因此，通常需要依赖额外采集大量NLOS信号来平衡数据集，这增加了信号收集阶段的人工采集与标注成本。基于此，缪志敏等[14]通过给NLOS信号和LOS信号赋予不同的权重来训练一个带野值的支持向量数据描述（support vector data description，SVDD）学习器，实现对少量NLOS信号的识别。Sang等[15]采用随机欠采样技术将数量较少的类别作为基准类别，通过随机选择其元素，将观察样本更多的类别减少到与基准类别的总数相平衡。最后通过使用三种机器学习技术（SVM、RF、MLP）作为分类器来进行分类，实验结果表明在最佳情况下的$F1$分数可达0.92。

针对当前研究依赖平衡数据集进行非视距识别任务时导致的数据采集工作量增加以及分类性能下降问题，本文提出一种面向不平衡数据的非视距识

收稿日期：2024-05-05

基金项目：德州学院校级科研项目资助（2022XJYC111）。

作者简介：胡方勇（1998—），男，江苏徐州人，硕士研究生，研究方向为超宽带室内定位。*：通信作者，刘延旭（1994—），男，硕士生导师，讲师，博士，研究方向为无人机协同定位、多源融合定位。

别方法。该方法结合ADASYN（adaptive synthetic sampling）算法和随机森林（random forest，RF）算法。首先通过ADASYN算法解决不平衡数据集问题，再利用随机搜索与五折交叉验证的方式实现随机森林的超参数自动寻优解决分类问题。为验证该方法的有效性，本研究首先基于实际场景随机采样出1:1的平衡数据集，将提出的方法与SVM、MLP的算法性能进行比较。此外，为测试该算法在极端不平衡情况下的性能，通过从原始数据中按特定比例提取样本，创建新的不平衡数据集进行实验。实验结果表明，在处理不平衡数据下的UWB非视距识别场景中，提出的方法有更短的训练时间。在处理不平衡数据下的UWB非视距识别场景中，该方法显示出了显著的有效性和适应性。

1　模型构建及原理

1.1　ADASYN算法原理

ADASYN算法以密度分布为标准，根据数据分布动态调整样本权重，同时采用自适应学习过程来实现自适应生成少数类样本并调整分类器决策边界，减少偏差，重点提升对少量难以学习样本的识别能力[16]。算法流程如下。

假设训练数据集D_{tr}，有m个样本$\{x_i,y_i\}$，$i=1,\cdots,m$，其中x_i是n维特征空间$\boldsymbol{X}$中的样本，y_i是与x_i关联的标签。将m_s和m_l分别定义为少数类示例的数量和多数类示例的数量。因此，$m_s\le m_l$且$m_s+m_l=m$。

1）计算类别不平衡程度：$d=m_s/m_l$，其中$d\in(0,1]$。

2）计算少数类需要生成的合成数据总量：$G=(m_l-m_s)\times\beta$，其中$\beta\in[0,1]$是一个参数，用于定义生成合成数据后数据集的平衡程度。当β设定为1时，意味着在数据泛化处理之后，生成了一个多数类样本和少数类样本数量完全相等的平衡数据集。

3）对于每个少数类样本x_i，通过计算n维空间中的欧氏距离，识别出其K个最近邻样本，并据此计算相应的比率$r_i=\Delta_i/K$,其中$i=1,\cdots,m_s$。

4）根据$\hat{r}_i=r_i/\sum_{i=1}^{m_s}r_i$对$r_i$进行标准化，使$\Sigma\hat{r}_i=1$。

5）计算每个少数类样本x_i生成的样本数$g_i=\hat{r}_i\times G$。

6）对每个少数类样本x_i，生成g_i个合成样本，具体为：首先，进行从1至g_i的遍历；然后，从x_i的K个最近邻中随机挑选一个少数类样本x_{zi}，最后根据$s_i=x_i+(x_{zi}-x_i)\times\lambda$生成样本集，其中$(x_{zi}-x_i)$是$n$维空间中的差异向量，$\lambda$是随机数且$\lambda\in[0,1]$。

1.2　基于随机搜索与五折交叉验证的随机森林超参数寻优方法

随机搜索法是一维搜索法，先确定一个大致的范围，然后随机对这个范围内的点进行比较，设定一个迭代次数的上限，如果在迭代次数的范围内找到最优值，则终止迭代，否则加大迭代次数，重新开始[17]。本研究采用五折交叉验证的方式[18]实现随机森林搜索过程中超参数自动寻优。具体步骤如下：

Step1：使用较大步长在设定的参数范围$[x^l,x^u]$内搜索最优解的大致区间。同时，设置迭代次数的上限K，设定计算精度$\varepsilon>0$。初始迭代次数i设为1，设置初始的最优值$fl_{\max}$。

Step2：计算随机点x，$x=x^l+(x^u-x^l)$ random。

Step3：使用五折交叉验证来评估在x参数下的模型性能，如果新得到的$f(x)$优于当前最优值$fl_{\max}$，则更新最优值。

Step4：检查是否达到迭代上限。如果没有，增加迭代次数并返回Step2；如果达到，则进入下一步。

Step5：输出最优参数x和对应的最优性能$fl_{\max}$。

随机森林模型的分类准确率取决于其泛化误差，泛化误差的方差与偏差之间需要达到平衡才能优化模型性能。为此，进行超参数调优是必要的，通过调整随机森林的关键参数来实现性能最优化。随机森林可调节参数和参数重要性如表1所示。

表1　随机森林参数

参数	对模型的影响	影响等级
n_estimators	基分类器数量不影响单棵决策树的复杂度，数量越大模型越稳定	Level-1
max_depth	最大深度越小，模型越简单	Level-2
min_samples_leaf min_samples_split	越小，模型越复杂	Level-3
max_features	越小，模型越简单	Level-4
criterion	gini系数	Level-5

改进的随机搜索方法在随机森林模型的调参中避免了全面探索参数空间并找到最优解，显著地降低了模型训练所需时间。本实验选择优化随机森林模型的关键超参数n_estimators和max_depth，并以模型的得分作为性能评估标准。最终，当n_estimators设置为200，max_depth设置为30时，在平衡数据集下展现出了最佳的分类性能。

2 验证与分析

2.1 数据准备

为验证实验方法的有效性，本研究选择比勒菲尔德大学（Bielefeld University）的开放数据集进行测试[16]。实验在仓库、实验室和宽敞大厅三种场景下进行，其中大厅用于LOS信号测试，仓库和实验室通过人作为障碍物创造非视距NLOS条件，以评估系统在不同条件下的表现。本研究基于采集到的原始近似平衡数据集进行分析，其中，表示LOS信号的数据点共有99 264个，表示NLOS信号的数据点有111 846个。在数据采集阶段，本研究从原始数据集中提取了12个训练特征，包括测量距离、信号中多个谐波的综合幅度、FP信号中第一、第二和第三谐波的幅度、信道脉冲响应的幅度、DW1000芯片模块的前导累积计数、使用公式（1）估算的FP功率（α）、使用公式（2）估算的RX功率（β）、使用公式（3）计算的FP与RX功率差（γ）、DW1000芯片模块报告的标准噪声和最大噪声。这些特征直接用于数据输入和模型训练。

$$\alpha = 10\lg\left(\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{N^2}\right) - A \qquad (1)$$

其中，F_1、F_2和F_3分别代表第一路径信号幅度的第一、第二和第三谐波。这里的N是Decawave公司的DW1000芯片报告的前导累积计数值。A是一个预定义的常数值，当脉冲重复频率（PRF）为16 MHz时，其值为133.77，而在PRF为64 MHz时，其值为121.74。

$$\beta = 10\lg\left(\frac{C2^{17}}{N^2}\right) - A \qquad (2)$$

其中，C指的是DW1000芯片报告的信道脉冲响应功率的值。因此，可以通过计算接收功率和第一路径功率之间的差异，来确定使用阈值方法时的LOS和NLOS条件。采用公式（3）的计算方法可以有效区分LOS和NLOS状态。

$$\gamma = \beta - \alpha \qquad (3)$$

2.2 实验结果及对比分析

在处理视距、非视距二分类问题时，为了综合评估模型的性能，采用召回率（Recall）、准确率（Precision）以及$F1$分数（F1_Score）等关键指标进行模型分类效果的评价。样本被细分为4类：真正例数目（TP）、假正例数目（FP）、假负例数目（FN）以及真负例数目（TN）。基于这4种情况，根据非视距识别场景构建混淆矩阵来计算上述指标，从而全面理解分类模型的性能。相关的分类结果通过混淆矩阵进行展示，如表2所示。

表2 分类结果混淆矩阵

真实情况	预测结果	
	非视距	视距
非视距	正确识别NLOS	漏报
视距	误报	正确识别LOS

准确率P是衡量模型能准确预测出NLOS样本的能力，表示如下

$$P = \frac{TP}{TP + FP} \qquad (4)$$

召回率R是衡量模型识别出所有NLOS样本的指标，召回率越高，漏报情况越少，表示如下

$$R = \frac{TP}{TP + FN} \qquad (5)$$

$F1$分数综合准确率和召回率，是衡量模型在准确识别NLOS，减少误报和漏报的综合效果，$F1$分数越高，漏报、错报情况越少，整体性能越好。

$$F1 = \frac{2PR}{P + R} \qquad (6)$$

本文设计了2种实验方案对提出的模型进行评估。方案1按照1∶1比例从数据集中用随机采样的方法抽取90000组LOS和90000组NLOS数据，研究结果表明基于平衡数据集，几种方法性能近似。方案2为验证该模型在处理其他真实场景中，特别是非视距信号较少且更不平衡的数据集时的性能。从比勒菲尔德大学的公开数据集中按照3∶1、5∶1的比例随机抽取两组数据进行实验，包括90 000组LOS和30 000组NLOS数据，以及90 000组LOS和18 000组NLOS数据。

在方案1中，实验基于随机采样的平衡数据集将所提出的随机森林方法与SVM、MLP[20]方法进行对比。采用准确率、召回率和$F1$分数作为评估指标，同时给出训练时间与测试时间结果，见表3。

表3 数据比例1:1下的模型性能

方法	训练时间/s	测试时间/s	准确率/%	召回率/%	$F1$分数/%
RF	219.06	0.63	98	97	97
SVM	288.76	66.07	89	90	89
MLP	352.43	0.06	97	97	96

表格3的数据显示，尽管所提出的方法在处理视距和非视距样本平衡条件下的识别性能与文献[20]中的MLP方法及SVM方法相近，并未显示出明显的优势，但大幅缩减了训练时间。

为进一增强实验说服力，采用第二种方案。该方案旨在测试模型在具有较少非视距信号且类别不平衡更显著的数据集场景中的性能。遵循与方案1相同的对比策略，并以准确率、召回率及$F1$分数作为主要的性能评估指标。具体测试结果如表4、表5

所示。

表4 数据比例3:1下的模型性能

方法	准确率/%	召回率/%	*F*1分数/%
RF	98	50	66
ADASYN-RF	90	97	93
SVM	97	53	69
KNN	92	82	86
ADASYN-KNN	78	92	82

表5 数据比例5:1下的模型性能

方法	准确率/%	召回率/%	*F*1分数/%
RF	97	44	61
ADASYN-RF	87	97	91
SVM	99	51	67
ADASYN-SVM	50	95	66
KNN	89	59	71
ADASYN-KNN	67	90	76

由表4、表5可知，在使用ADASYN算法生成额外的少数类样本时，SVM和KNN模型会对这些少数类别产生拟合现象，导致模型在处理训练集外的测试数据时总体准确率下降。然而，ADASYN方法显著增强了模型在实际场景中识别和分类少数类样本的能力，因而有效地提高了召回率。进一步，由于*F*1分数是精确率和召回率的调和平均，模型在召回率提高的同时，*F*1分数也得到了相应的提升。

综上所述，尽管ADASYN会对总体准确率产生一定影响，但本文提出的非视距识别模型有效克服了这一问题，同时实现召回率和*F*1分数的双重提升，展现出优异的综合性能和良好的适应性。

3　总结与展望

UWB 定位系统在实际应用常面临信号数据不平衡问题，因此非视距信号的鉴别就转化为一种典型的类别不平衡分类问题，传统的机器学习方法不再适用。本文提出的方法有效解决了类别不平衡导致的识别性能降低问题。此外，通过结合随机搜索和交叉验证，实现了随机森林模型超参数的自动优化，在平衡数据集下与其他方法对比大幅缩减了训练时间。

尽管本文方法在训练时间上已取得一定改善，但依赖大规模数据集上进行非视距识别，仍需人工标注以确保标签准确性，工作量巨大。未来可考虑应用半监督学习，利用少量标注样本辅以大批未标注数据，提高识别效率及性能，减轻人工标注负担。

参考文献：

[1] 王争, 蒋浩晨, 高娟, 等. 超宽带室内定位算法综述[J]. 电子设计工程, 2021, 29(21): 141−145.

[2] Qi L, Liu Y, Yu Y, et al. Current status and future trends of meterlevel indoorpositioning technology: a review[J]. Remote sensing, 2024, 16(2): 398.

[3] Zhou Z. An overview of ultra−wideband positioning technology and its applications[J]. Shsweb of conferences, 2022, 144: 02001.

[4] Perez N A,Montoliu R,Torres S J. Advances in indoor positioning and indoor navigation[J]. Sensors, 2022, 22(19): 7375.

[5] 李英明, 任升莲, 陈义华, 等. 基于无线数据的高精度超宽带定位方法综述[J]. 测控技术, 2022, 41(7): 1−9.

[6] Dardari D, Conti A,Ferner U, et al. Ranging with ultrawide bandwidth signals inmultipathenvironments[J]. Proceedings of the IEEE, 2009, 97(2): 404−426.

[7] Wang F, Tang H, Chen J. Survey on nlosidentification and error mitigation for UWB indoorpositioning[J]. Electronics, 2023, 12(7): 1678.

[8] Yassin A. Recent advances in indoor localization: a survey on theoretical approaches and applications[J]. IEEE communications surveys &tutorials, 2017, 19(2): 1327−1346.

[9] 胡青松, 张赫男, 王鹏, 等. 目标定位中的非视距传播研究综述[J]. 工矿自动化, 2020, 46(7): 16−27.

[10] Mohammed D B,Tri B S,Irfan K,etal.Statistical LOS/NLOS classification for UWB channels[J]. Kiujournal of science, Engineering and technology, 2023, 2(1): 32−38.

[11] Zhu Y, Ma T ,Li Z, et al. NLOS identification and correction based on multidimensional scaling and quasiaccurate detection[J]. IEEE access, 2019, 7: 53977−53987.

[12] Zhang J, Yi Q, Huang L, et al. Research on none−line−of−sight/line−of−sight identification method based on convolutional neural network−channel attention module[J]. Sensors, 2023, 23(20): 8552.

[13] 宋波, 李生林, 刘恩启. 基于类别不平衡分类的超宽带非视距信号识别方法研究[J]. 信息工程大学学报, 2019, 20(2): 147−153.

[14] 缪志敏, 赵陆文, 田世伟, 等. 类别不平衡学习识别UWB定位非视距信号[J]. 信号处理, 2016, 32(1): 8−13.

[15] Sang C L, Steinhagen B, Homburg J D, et al. Identification of NLOS and multipath conditionsin UWB localization using machine learning methods[J]. Applied sciences, 2020, 10(11): 3980.

[16] Krawczyk B. Learning from imbalanced data: open challenges and future directions[J]. Progress in artificial intelligence, 2016, 5(4): 221−232.

[17] Bergstra J, Bengio Y. Random search for hyper−parameter optimization[J]. Journal of machine learning research, 2012, 13(1): 281−305.

[18] Arlot S, Celisse A. A survey of cross−validation procedures for model selection[J]. Statistics surveys, 2010, 4: 40−79.

[19] Sang C L, Steinhagen B, Homburg J D, et al. Identification of nlos and multipath conditionsin UWB localization using machine learning methods[J]. Applied sciences. 2020; 10(11): 3980.

[20] 孙伟, 孙沛伦. 一种基于机器学习分类器的UWB异常信号识别方法[J]. 测绘科学, 2023, 48(5):1−8.

NLOS Identification Method for UWB Based on ADASYN and Random Forest

HU Fangyong[1,2], SUN Chunyin[1,2], XIA Jinfeng[2], LIU Yanxu[2*]

(1. School of Information and Control Engineering, Jilin Institute of Chemical Technology, Jilin Jilin 132022,China; 2. School of Computer and Information Engineering, Dezhou University, Dezhou Shandong 253023,China)

Abstract: The imbalance beween line-of-sight (LOS) and non-line-of-sight (NLOS) signals is a common issue in indoor UWB positioning systems. Relying too heavily on balanced datasets for NLOS identification leads to increased data collection workload and reduced identification performance. To address this challenge, we propose a NLOS identification method that combines the ADASYN and random forest algorithms. The ADASYN algorithm is used to reduce the disparity between LOS and NLOS signal data, achieving sample balance. Random search and five-fold cross-validation are combined to automatically optimize the hyperparameters of the random forest model, enhancing the overall efficiency of the model. The proposed method is compared with other common machine learning methods, and experimental results show that the proposed method not only achieves optimal identification performance but also significantly reduces parameter tuning time.

Key words: NLOS identification; data imbalance; random forest; machine learning

(上接第27页)

方法[J]. 自动化学报, 2022, 48(7):1816-1823.

[15] Zhang L, Feng Y, Wang R, et al. Efficient experience replay architecture for offline reinforcement learning[J]. Robotic Intelligence and Automation, 2023, 43(1): 35-43.

[16] Uhlenbeck G E, Ornstein L S. On the theory of the Brownian motion[J]. Physical review, 1930, 36(5): 823.

[17] Goyal P, Dollár P, Girshick R, et al. Accurate, large minibatch SGD: training imagenet in 1 hour[EB/OL]. (2017-06-08) [2024-04-17]. https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2017arXiv170602677G/abstract.

[18] Bellemare M G, Naddaf Y, Veness J, et al. The arcade learning environment: an evaluation platform for general agents[J]. Artificial intelligence research, 2013, 47: 253-279.

Deep Deterministic Policy Gradient Algorithm Based on Multi-dimensional Priority Experience Replay Mechanism

RONG Chuiting, LI Haijun, ZHU Hengwei, LIU Yanxu, YU Shijun

(College of Computer and Information Engineering, Dezhou University, Dezhou Shandong 253023, China)

Abstract: In order to further improve the convergence speed of the deep deterministic policy gradient algorithm in processing continuous action tasks of reinforcement learning, a deep deterministic policy gradient algorithm based on a multi-dimensional priority experience replay mechanism is proposed. First, to address the problem of low sample data utilization in the experience replay mechanism, the time difference error index is used to classify samples. Secondly, the two indicators of scarcity and novelty are used to score the sample, and the scarcity and novelty scores are weighted and combined to obtain the final priority score. Finally, the designed multi-dimensional priority experience replay mechanism method was applied to the deep deterministic policy gradient algorithm, and the improved algorithm was tested in the reinforcement learning continuous control task. The experimental results showed that the convergence speed of the improved algorithm was improved.

Key words: deep deterministic policy gradient algorithm; reinforcement learning; experience replay mechanism; multi-dimensional priority

基于MFLD的车道线识别方法

段慧林[1,2]，孙健力[1,2]，张建臣[3*]

（1. 吉林化工学院　信息与控制工程学院，吉林　吉林　132022；2. 德州学院　计算机与信息学院，山东　德州　253023；3. 山东电子职业技术学院，山东　济南　250200；）

摘　要：在无人驾驶领域中，车道线检测是一个至关重要且具挑战性的任务。传统的视觉车道线检测方法处理缓慢、操作复杂，需要人工干预，而基于深度学习的卷积神经网络方法能够有效地克服这些问题，为无人驾驶技术的进步提供了关键推动力。基于卷积神经网络进行车道线检测的方法有很多，近年来比较流行的方法中ultra fast lane detection（UFLD）算法在车道线检测方面取得较好的成果。文章以UFLD算法为基础，结合MobileNetV2和CBAM注意力机制，设计出了一种新的模型，命名为mobilenet-fast lane detection（MFLD），该模型在Tusimple检测准确度达到92.8%，相较于UFLD提高了2.3%，同时运行速度达到了129 fps，在CULane数据集检测精度在不同场景下相较于UFLD提升了2.5%、2.5%、2.9%、1.8%、1.0%、2.5%、1.3%、5.1%、6.4%。

关键词：车道线检测；UFLD；注意力机制；深度学习

中图分类号：TP391.41　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1004-9444（2024）04-0033-06

0　引言

随着我国经济的迅速发展和人民生活水平的持续提高，私家车辆的数量呈现激增趋势，为交通安全带来了前所未有的挑战[1]。为保障人民的身心安全、最大程度减少交通事故的发生，全球范围内对车辆驾驶辅助系统[2]的研究工作蓬勃展开。这些系统通过车载传感器捕获的庞大数据流，经由精密算法加工处理，并通过多元反馈方式向驾驶员传递信息，旨在引导其实现更为安全、高效的行车行为。

车道变换（lane change）[3]、车道保持（lane keeping）[4]、车道偏离预警[5]（lane departure warning）、盲点检测（blind spot monitoring）、自适应巡航控制（adaptive cruise control）以及前向碰撞预警（forward collision warning）等系统都属于驾驶辅助技术的范畴，它们通过不同的功能帮助驾驶员在行驶过程中保持安全和稳定，提升驾驶的便利性和舒适性。车道标线检测在驾驶辅助系统中扮演着至关重要的角色，其研究不仅具有重要的理论意义，更有着深远的现实意义，在提升汽车智能化水平、提高驾驶安全性和舒适性方面具有重要价值[6]。

车道线检测是自动驾驶的重要技术之一，其功能是帮助车辆准确检测和识别车道线，提高车辆行驶的稳定性，保障行车人员的安全。在这一技术的实施过程中，涉及到图像采集、图像预处理、特征提取以及车道线拟合等基础步骤[7]，其中，图像采集作为起始步骤，为后续的处理提供了基础数据；图像预处理则旨在消除噪声、增强图像质量，为特征提取做好准备；特征提取阶段是整个过程的核心，通过分析图像中的关键特征，识别和提取出车道线所需的信息；最后，车道线拟合则将提取到的特征进行拟合和建模，得出最终的车道线位置。目前车道线检测主要分为两种方案：传统的检测车道线方法和基于深度学习的检测车道线方法[8]。

传统的车道线检测方法可以分为两类：基于特征的方法和基于模型的方法。基于特征的检测方法往往是根据路面信息与周围环境的变化形成的差异来进行检测，边缘检测和阈值分割是进行这类检测用的常见方法。文献[9]提出以颜色为基准来检测车道线，通过彩色图片中的背景和车道线的分割阈值来实现车道线分割，但是颜色信息易受到阴影的影响，所以当车道线被阴影覆盖时检测效果不佳。

收稿日期：2024-05-05

作者简介：段慧林（1999—），男，山东德州人，硕士研究生，研究方向为车道线检测。*：通信作者，张建臣（1974—），男，博士，副教授，研究方向为人工智能与大数据技术。

HOU等学者提到了结合霍夫变换和Canny边缘检测算法的方法[10]，用于提取可能的车道线候选，并利用计算得到的最大交叉点作为车道线的消失点，以实现对车道线的准确提取。鞠乾翱等人以光照的宽度和强度为检测特征，运用后形态学及阈值分割算法对车道线进行检测提取[11]。如果车道线特征明显，那么基于特征的检测方法能发挥很好的效果，但是该方法鲁棒性差，当车道线磨损、遮挡时，表现效果较差。

基于模型的检测方法[12]，常常使用支持向量机、决策树、随机森林等模型来对图像中的车道线进行准确检测。王珂娜等人在车道线弯曲处做出了处理，首先，通过探测图像中的灰度变化进行初步分析，接着运用基于三次B样条曲线的随机采样一致算法（random sample consensus, RANSAC）技术对车道线的轮廓进行精确拟合[13]。

基于深度学习的车道检测利用深度学习技术，运用深度神经网络模型对车道线进行特征提取，通过反复迭代的训练过程，持续优化模型参数，以确保在各种复杂环境下对车道线进行精准而可靠的识别，从而为驾驶辅助系统提供更加可靠的功能[14]。文献[15]提出了一种建立在深度图像增强技术基础上的车道线检测方法，该方法充分利用了生成对抗网络进行图像增强，同时采用了LaneNet[16]进行图像特征提取，从而在夜间环境下显著提高了车道线检测的效果。文献[17]中提出的一种新的使用全局特征的快速车道线检测算法UFLD（ultra fast lane detection），该算法通过将图像分割成网格，把车道线的位置以及类别在行进方向上进行划分，这种方法提高了检测速度，同时也有效解决了车道线缺失、遮蔽的问题。这种网格化的处理方式不仅提高了车道线检测的效果，而且能够有效应对缺乏车道线的情况，为车道检测任务带来更好的解决方案。

1 网络结构介绍

1.1 UFLD网络结构

UFLD的网络结构主要分为两个部分，分别是主分支和辅助分支，主分支的Backbone骨干网络如图1所示为ResNet18特征提取网络，紧接着是分类预测模块。上分支为辅助分割模块，该模块仅在训练过程中起作用，增强训练中数据图的特征表达，提高模型的表达能力和性能。

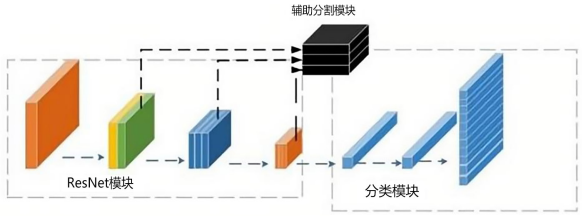


图1 UFLD网络结构图

1.2 MobileNetV2网络结构

MobileNetV2网络包括Bottleneck层（通常由一个深度可分离卷积层组成，用于降低计算复杂度并保持模型性能）、深度可分离卷积（Conv）和平均池化层（Avgpool）等部分[18]，如图2所示MobileNetV2采用深度可分离卷积，以降低模型复杂度和缩短训练时间。通过替代传统卷积的方式，MobileNetV2在保持性能的同时简化了模型结构。其关键的瓶颈层采用倒残差结构[19]（图3），增强了逐通道卷积的特征提取能力。

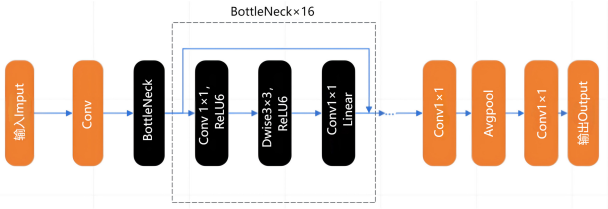


图2 MobileNetV2网络结构

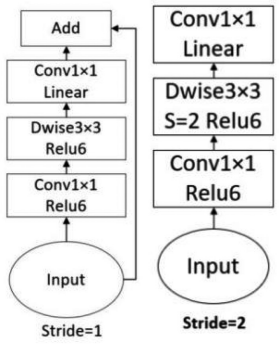


图3 MobileNetV2残差块结构

1.3 CBAM注意力机制

CBAM（convolutional block attention module）是一种用于增强深度卷积神经网络性能的注意力机制[20]。CBAM模块组成图如图4所示。CBAM 主要由两个模块组成：（1）通道注意力模块[21]（channel attention module）。该模块通过计算特征图在通道维度上的平均值和最大值来学习通道间的相关性，并生成一个通道注意力图（channel attention map）。然后，通过使用全局平均池化和全连接层，将通道注意力图映射到一个介于0到1之间的权重向量，用于调整每个通道的重要性。（2）空间注意力模块[22]（spatial attention module）。该模块

利用通道注意力模块生成的通道权重向量，与特征图进行逐元素相乘，从而增强网络对空间维度上重要区域的关注。

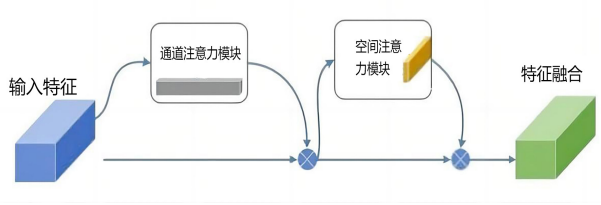


图4 CBAM模块流程图

1.4 改进的网络结构

MFLD模型将UFLD主干网络中特征提取的ResNet-18模块替换为MobileNetV2模块，同时加入CBAM注意力机制，构成了MobileNetV2-CBAM模块，如图5所示。

MFLD模型主网络结构借鉴了MobileNetV2网络结构，使用了深度可分离的卷积网络如图6所示，通过对单一通道进行深度卷积以及逐点卷积来对特征进行提取，首先对每个通道进行空间卷积操作，并且将生成的卷积结果进行组合。然后，深度可分离卷积网络使用单独的卷积核来对组合的结果进行通道卷积，以生成最终的特征图。这个过程类似于标准卷积层，但它只操作输入特征图的深度，而不是在整个空间维度上进行处理。

在特征提取模块后引入CBAM注意力机制，增强深度神经网络模型对重要特征的关注，从而提高模型的性能和泛化能力。CBAM结合了空间注意力和通道注意力两种机制，通过学习的方式动态调整特征图的权重，使网络能够更好地区分和利用重要的特征信息。

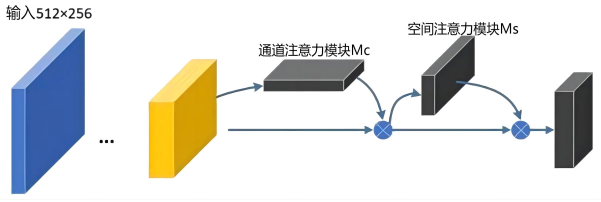


图5 MobileNetV2-CBAM模块

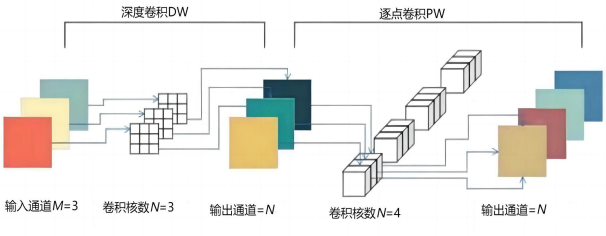


图6 深度可分离卷积网络

2 实验及分析

2.1 损失函数

损失函数是用来衡量模型预测值与真实值之间差异的函数。损失函数通常在训练模型时被最小化，以帮助模型调整参数，提高预测的准确性。本文使用的损失函数以UFLD模型损失函数为基础，损失函数公式如下

$$L_{\text{sim}}=\sum_{i=1}^{C}\sum_{j=1}^{h-1}\| P_{i,j:}-P_{i,j+1:}\|_1 \qquad (1)$$

其中，$P_{i,j:}$ 代表的是对于第 i 条车道线在第 j 个行锚上的预测分布，C 是车道线的最大数量，h 是行锚的数量。此损失函数使模型预测的车道点在相邻行锚上的分布更为相似，从而模拟车道的连续性。这种损失有助于确保模型在图像的不同高度上预测出的车道位置是平滑并且连贯的，而不是断断续续或波动很大。

约束车道线形状损失函数

$$L_{\text{shp}}=\sum_{i=1}^{C}\sum_{j=1}^{h-2}\|(Loc_{i,j}-Loc_{i,j+1})-(Loc_{i,j+1}-Loc_{i,j+2})\|_1 \qquad (2)$$

形状损失通过计算行锚上的车道点位置的二阶差分，并通过L_1范数来衡量这个二阶差分的大小，从而推动模型预测的车道线形状尽量平滑。二阶差分接近于零表示车道线形状接近直线或者变化率一致的曲线，这与实际道路中车道线的特性相符合。

分类损失函数

$$L_{cls}=\sum_{i=1}^{C}L_{CE}(P_{i,j:},T_{i,j:}) \qquad (3)$$

其中，L_{CE} 是交叉熵损失函数，用于衡量两个概率分布之间的差异，$T_{i,j:}$ 表示真实的车道线位置，通过最小化分类损失函数，模型学习在图像的行锚上准确地定位车道。

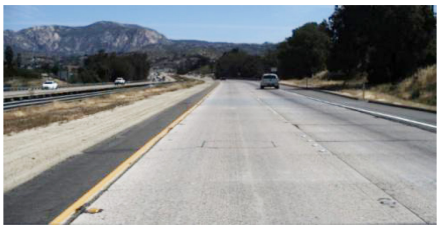
2.2 实验数据集和平台

本文使用车道线领域常用的TuSimple[23]数据和CULane数据集进行深度学习研究。TuSimple的发行公司是图森，图片采集地多为高速公路，车道线较为清晰，并且车道线是通过点进行标注，便于区分，整个车道线数据集的数量约为20 GB，图像分辨率为1280 × 720 像素，由于图片分辨率略高，不利于提高实验效率，将图片分辨率统一调整为512 × 256 像素。这些数据集涵盖了不同车道线情况下的高速公路场景，为车道线检测算法的研究和验证提供了丰富的数据资源。

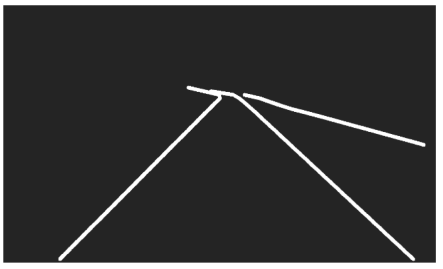
CULane数据集是一个用于车道线检测和分割的大规模数据集，特点是包含了具有挑战性的真

实场景。该数据集包括了北京市不同时间段的交通状况，涵盖了多种天气条件和照明水平，如晴天、雨天、雪天以及白天和夜晚等。除此之外，CULane数据集还包含了8种具有挑战性的车道标记检测场景，例如交通拥堵、阴影遮挡、车道标记缺失和弯曲车道线等。CULane数据集的规模很大，是TuSimple数据集的20倍大小，提供了丰富的数据样本用于训练和评估车道线检测算法的性能。总体来说，CULane数据集是一个具有挑战性、真实性和规模性的车道线检测数据集，对于推动相关算法在真实世界交通场景中的性能表现具有重要意义。

TuSimple数据集车道线的原始图片及车道线的标注图如图7所示。实验环境配置如表1所示。



（a）车道线原始图



（b）车道线标注图

图7 车道线原始图和标注图

表1 实验环境配置

配置环境	名称
操作系统	Windows10
深度学习框架	Pytorch
编译器	Python
GPU	NVIDIA GTX1060 6 GB

2.3 评估标准

本文采用了目标检测中常用的检测标准，包括准确率（Acc）、漏检率（MR）和误检测率（FR）。准确率指预测对的样本占总样本的数量，如公式（4）所示，误检测率指预测为车道线但真实情况不是车道线占真实情况的所以错误识别的比例，如公式（5）所示，漏检率指预测不是车道线但真实情况是车道线的占真实情况所有正确例子的比例，如公式（6）所示。

$$Acc=\frac{TP+TN}{TP+FN+FP+TN} \tag{4}$$

$$FR=\frac{FP}{FP+TN} \tag{5}$$

$$MR=\frac{FN}{TP+FN} \tag{6}$$

其中，TP代表被车道线模型识别正确的样本数，TN代表被模型识别成不是车道线的负样本数，FP代表被识别为车道线的负样本数，FN表示未被模型识别的车道线样本数。

$F1$分数是一种综合评价分类模型性能的指标，常用于衡量二分类或多分类模型的准确率和召回率之间的平衡,是这两者的调和平均数。计算如下

$$F1\text{分数}=\frac{2\times P\times R}{P+R} \tag{7}$$

其中，$P=\frac{TP}{TP+FP}$，$R=\frac{TP}{TP+FN}$。

2.4 消融实验

为了验证本论文所提出的改进方法的作用，消融实验在TuSimple数据集进行，主干网络使用MobileNetV2，1阶代表主干网络为ResNet-18，2阶代表主干网络替换为MobileNetV2，3阶代表在主干网络为MobileNetV2的基础上加入CBAM注意力机制，实验结果如表2所示。

表2 Tusimple数据集上不同阶段的比较

阶段	Acc/%	FR	MR
1阶	88.9	0.0452	0.0356
2阶	91.3	0.0342	0.0314
3阶	92.5	0.0212	0.0211

首先对主干网络进行横向对比，主干网络是ResNet-18时实验准确率达到了88.9%，误检率和漏检率分别为0.045 2和0.035 6；替换主干网络为MobileNetV2后实验准确率提升了2.4%，误检率和漏检率分别降低了0.011 0和0.004 2；在主干网络同为MobileNetV2的前提下，加入CBAM注意力机制，实验准确率相较于未加入注意力机制提升了1.2%，误检率和漏检率分别降低了0.013 0和0.010 3，由此可得，主干网络的替换以及CBAM注意力机制的加入提升了准确率的同时降低了误检率和漏检率，模型的性能得到了一定的提升。

2.5 实验结果分析

为了验证MFLD的检测性能，本文分别对SAD、LaneNet、UFLD与MFLD在TuSimple和CULane的测试结果进行对比，结果如表3和表4所示。

表3　TuSimple测试集评估结果对比

网络	骨干网络	*Acc* /%	速度/fps
SAD	E-Net	92.2	52
LaneNet	VGGNet	93.2	40
UFLD	Res block	90.5	117
MFLD	MobileNet	92.8	129

通过对表3内容对比，可以得到MFLD网络的检测精度相较于原网络UFLD有一定的提升，并且速度方面也有提高。本文网络检测精度为92.8%，比UFLD提升了2.3%，对于数据集的检测速度也提升了，相较于SAD和LaneNet网络的检测精度略有不足，但是速度得到了显著提升。

表4　CULane测试集评估结果对比

类别	Res50-Seg[24]	SCNN[25]	FD-50[26]	Res34-SAD	SAD[27]	ResNet-18(原文)	MFLD（本文）
Normal	87.4	90.6	85.9	89.9	90.1	87.7	90.2
Crowded	64.1	69.7	63.6	68.5	68.8	66.0	68.5
Night	60.6	66.1	57.8	64.6	66.0	62.1	65.0
No-line	38.1	43.4	40.6	42.2	41.6	40.2	42.0
Shadow	60.7	66.9	59.9	67.7	65.9	62.8	63.8
Arrow	79.0	84.1	79.4	83.8	84.0	81.0	83.5
Dazzlelight	54.1	58.5	57.0	59.9	60.2	58.4	59.7
Curve	59.8	64.4	65.2	66.0	65.7	57.9	63.0
Crossroad	2505	1990	7013	1960	1998	1743	2190
Total	66.7	71.6	—	70.7	70.8	68.4	74.8
Runtime(ms)	—	133.5	—	50.5	13.4	3.1	3.6
Multiple	—	1.0x	—	2.6x	10.0x	43.0x	44.3x
速度/fps	—	7.5	—	19.8	74.6	322.5	283.5

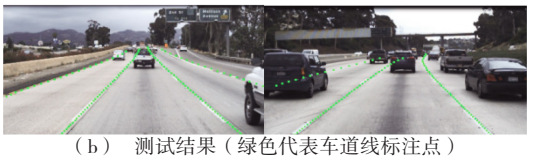
表4展示了针对CULane数据集中的9种场景，在不同算法下的$F1$分数和检测时间的比较，其中测试阈值设为0.5，“—”表示结果不可取。MFLD相较于ResNet-18原文对应的精度，分别在9种环境下都有所提升，Normal场景下MFLD相较于ResNet-18原文提升2.5%，Crowded提升了2.5%，Night提升了2.9%，No-line场景下提升了1.8%，在Shadow下MFLD算法提升了1.0%，Arrow环境下精度提升了2.5%，Dazzlelight场景下提升1.3%，Curve场景下检测精度提升了5.1%，Total检测精度提升了1.4%，检测速度由原来的322.5 fps变为283.5 fps。

2.6　实验效果

MFLD在TuSimple数据集的测试效果图如图8所示。由图可知，当车道线被车辆遮挡时，MFLD仍然能达到很好的检测效果，并且车道线保持着较好的完整性以及连续性。对于道路末端车道线消失问题，MFLD仍能较为准确地刻画出车道线轨迹，通过测试结果图进一步验证了MFLD在车道线检测效果的提升。



（a）　原始图像



（b）　测试结果（绿色代表车道线标注点）

图8　MFLD测试结果

3　结论和展望

本文将MobileNetv2结构与CBAM注意力机制进行融合，将ResNet-18网络替换为MobileNetV2-CBAM结构得到MFLD模型，提高了车道线检测准确度的同时降低了检测时间，通过消融实验验证了改进的效果（检测准确度相较于UFLD模型提高2.3%）。为了进一步验证MFLD的检测性能，本文分别对SAD、LaneNet、UFLD与MFLD在TuSimple的测试结果进行对比，以及针对CULane数据集中的9种场景，将MFLD与不同算法进行了对比，MFLD的检测准确度和检测速度相较于其他模型算法都有一定的提升。

本文提出的车道线检测方法多用于结构化道路，当车道线存在缺失阴影或弯道等情况时依然存有不足。如图9所示，车道线在弯道处存在着缺失以及偏离。如图10所示，车道线缺损情况下，识别出现偏离，这种情况是由于模型鲁棒性有待提高以及车道线环境相对复杂导致。为了提高车道线针对

复杂环境的检测准确性以及车道检测的实时性，接下来可以从以下方面进行提高：（1）鲁棒性的提升。对于非结构化道路，例如车道线缺失、阴雨天气、道路崎岖等情况，首先需要对所使用的数据集的类别进行扩展，增加复杂环境下的车道线的数据量，提高模型的鲁棒性；（2）实时性的提升。针对车道线检测的实时性，可以通过对深度学习网络结构进行修改，通过引入Long Short-Term Memory来学习和记忆过去的车道线信息，并结合当前的输入进行预测或分类，从而提高检测的实时性；（3）使用更轻量化的网络降低计算量从而提高检测的检测速度。

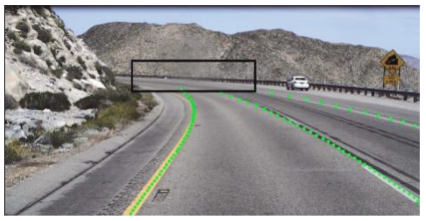


图9 弯道处缺失（绿色代表车道线标注点，黑色为标注缺失部分）

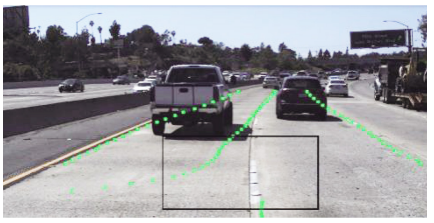


图10 车道线偏离（绿色代表车道线标注点，黑色为标注缺失部分）

参考文献：

[1] Liu G, Li S, Liu W. Lanedetection algorithm based on local feature extraction[C]//2013 Chinese automation congress. Changsha: IEEE, 2013: 59-64.

[2] 陈朝辉. 汽车驾驶辅助系统行人与车辆检测方法研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2023.

[3] 张磊, 彭金栓, 宋臻, 等. 车道变换行为研究进展[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2022, 36(11): 40-50.

[4] 李乙洪, 倪兴泷, 孙仁云. 车道保持辅助系统设计[J]. 汽车实用技术(自然科学), 2024, 49(6): 88-93.

[5] 雷承学, 孟少华, 申彩英, 等. 基于模糊算法的车道偏离预警研究[J]. 现代车用动力, 2023(3): 10-12+42.

[6] 刘彬, 魏为民. 基于深度学习的快速车道线检测方法[J]. 汽车实用技术, 2023, 48(5): 34-39.

[7] 杜中强, 唐林波, 韩煜祺. 面向嵌入式平台的车道线检测方法[J]. 红外与激光工程, 2022, 51(7): 483-490.

[8] 罗健豪. 车道检测方法综述[J]. 汽车实用技术, 2021, 46(9): 36-39.

[9] Sun T Y, Tsai S J, Chan V. Hsi color model basedlane-marking detection[C]//Proceeding of intelligent transportation systems conference. Toronto, ON, Canada: IEEE, 2006: 1168-1172.

[10] Hou C, Hou J, Yu C. An efficient lane markings detectionand tracking method based on vanishingpoint constraints[C]//Proc of the35th chinesecontrol conference(CCC). Chengdu, China: IEEE, 2016: 6999-7004.

[11] 鞠乾翱, 应忍冬, 蒋乐天. 基于机器视觉的快速车道线识别[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(5): 1544-1546+1550.

[12] 任禹潞, 王大殿, 齐智暄. 基于改进卷积神经网络模型的车道线检测方法[J]. 现代信息科技, 2023, 7(21): 140-144.

[13] 王珂娜, 初雪梅, 张维刚, 等. 一种弯道标志线启发式分段搜索算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(8): 689-695.

[14] 张道芳. 基于深度学习的车道线检测算法研究[D]. 贵阳: 贵州民族大学, 2019.

[15] 宋扬, 李竹. 基于深度图像增强的夜间车道线检测技术[J]. 计算机应用, 2019, 39(S2): 103-106.

[16] Wang Z, Ren W Q, QIU Q. LaneNet: Real-time lane detection networks for autonomous driving[EB/OL]. (2023-10-10)[2023-12-01]. http:https://arxiv.org/abs/1807.01726.

[17] Qin Z Q, Wang H Y, Li X, et al. Ultra fast structureaware deep lane dectection[EB/OL]. (2023-10-10) [2023-12-01]. https: //arxiv.org/abs/2004.11757.

[18] 龚凯, 陈垣衡, 侯斐斐, 等. 基于Mobilenetv2-Yolov4模型的行人车辆检测算法[J]. 电脑与信息技术, 2023, 31(4): 1-5+37.

[19] 徐晨苗. 复杂场景下车道线检测与分类方法研究[D]. 陕西: 长安大学, 2023.

[20] 苏雷, 屈炳剑. 基于改进U-Net的遥感影像道路提取算法[J]. 长江信息通信, 2024, 37(3): 83-85.

[21] 蒋汇丰, 王栋, 高山. 基于注意力融合的目标跟踪算法[J]. 光学与光电技术, 2024, 22(2): 83-91.

[22] 郭心悦. 基于深度学习的道路特征提取[D]. 江西: 华东交通大学, 2023.

[23] 韩尚君, 余艳梅, 陶青川. 锚和通道注意力相结合的车道检测算法[J]. 现代计算机, 2022, 28(24): 36-41.

[24] Chen L, Papandreou G, Kokkinos I, et al. Deeplab: semantic image segmentation with deep convolutional nets, atrousconvolution, and fully connected crfs[J]. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 2017, 40(4): 834-848.

[25] Pan X G, Shi J P, Luo P, et al. Spatial as deep: Spatial CNN for traffic scene understanding[C]// Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. New Orleans: IEEE, 2018: 12301.

[26] Philion J. Fastdraw: addressing the long tail of lane detection by adapting a sequential prediction network. [C]// 2019 Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. Hawaii:IEEE, 2019: 11582-11591.

[27] Hou Y N, Ma Z, Liu C X, et al. Learning lightweight lane detection CNNs by self attention distillation[C]//2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV). Seoul: IEEE, 2019: 1013-1021.

（下转第75页）

基于改进YOLOv8的太阳能电池板表面缺陷检测算法

常光超[1,2]，任传成[2*]

（1. 吉林化工学院　信息与控制工程学院，吉林　吉林　132022；2. 德州学院　计算机与信息学院，山东　德州　253023）

摘　要：太阳能电池板表面缺陷检测技术是光伏产业实现智能维护的关键。然而，太阳能电池板表面有很多微小的缺陷，且不同缺陷之间具有很高的相似性，这给准确识别和检测此类缺陷带来了挑战。为了提高太阳能电池板表面微小缺陷的检测精度，同时加强模型对目标缺陷的识别能力，在YOLOv8网络中引入细粒化卷积模块以替代传统的卷积下采样，并且添加多头自注意力机制（MHSA），最后在头部增加一个小目标的检测层，并在太阳能电池板缺陷数据集上进行测试验证。结果表明，改进的YOLOv8在检测五类缺陷的*mAP*@0.5达到88.40%，相比于原始模型提高了5.9%，精确度有一定的提升，改进后的模型在定位微小目标时具有更优越的精准性和检测能力。

关键词：太阳能电池板；缺陷检测；YOLOv8；多头自注意力机制；细粒化卷积

中图分类号：TP391.41　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1004-9444（2024）04-0039-05

0　引言

太阳能发电作为可再生能源发电的重要组成部分，具有可再生、无污染等优点，已经广泛应用在生产和生活中。目前太阳能发电企业生产规模持续扩大，太阳能电池板作为太阳能发电的重要组件，产出量快速增长，工艺要求也越来越高。太阳能电池板在制造与使用过程中，难免会出现断栅、划痕、破裂等[1]质量缺陷，从而降低其发电效率和使用寿命，因此对其进行缺陷检测具有重要意义。

目前，已有多种方法应用在太阳能电池板缺陷检测，以机器视觉为基础的缺陷检测逐渐取代人工检测。近年来，随着人工智能技术的不断进步，利用深度学习目标检测方法也可以实现太阳能电池板缺陷的检测。深度学习目标检测算法通过对众多已标注的图像数据进行学习，能够自动提取和识别图中目标的关键特征[2]。在经过连续多次的迭代训练过程中，算法不断调整和优化其内部参数，进而显著提升对目标的检测性能和识别精度。

文献[3]提出一种将特征融合与注意力机制结合的方法，可以更精确地捕获遥感图像小目标特征。文献[4]提出一种改进的YOLOv5s，用于实现电致发光（EL）图像中的裂纹和碎片检测。文献[5]提出改进YOLOv7的航拍绝缘子缺陷检测，该算法将加权双向特征金字塔替换原先网络，提高多尺度目标的融合度。文献[6]提出新的下采样方式，能够更有效地保留上下文特征信息，并且改进了特征融合网络，成功将浅层信息和深层信息结合在一起，从而显著提升模型的检测准确度。文献[7]设计一种新的算法优化YOLOv8的参数，明显提升检测光伏电池EL图像缺陷的精度。文献[8]提出一种改进YOLOx的钢材表面缺陷检测算法，主要改进之处在于在骨干网络中引入SE（squeeze and excitation）注意力机制和Neck部分加入ASFF（adaptively spatial feature fusion）模块。可见已有大量文献将深度学习目标检测技术应用在众多产品的缺陷检测。

当前，已有的检测方法在对比度低、小瑕疵图像的检测方面尚存在不足。最近提出的YOLOv8目标检测方法是YOLOv8的最新研究成果，其检测准确率有了明显提高。在此基础上，本文首先使用细粒化卷积模块(SPD-Conv)来代替卷积下采样，同时引入多头自注意力机制（MHSA），提高检测太阳能电池板表面缺陷的性能，最后在头部添加一个小目标的检测层，以此来增强模型对微小缺陷的识别能力。

收稿日期：2024-05-05

基金项目：德州学院横向课题（HXKT2022409）。

作者简介：常光超（1998—），男，河北邯郸人，硕士研究生，主要研究方向为图像处理及应用。*：通信作者，任传成（1972—），男，副教授，博士，主要研究方向为图像处理及应用。

1 YOLOv8算法

YOLOv8网络主要包括Backbone、Neck和Head三个部分[9]，其网络结构如图1所示。根据模型的大小可分为YOLOv8n、YOLOv8s、YOLOv8m、YOLOv8l和YOLOv8x五个模型。

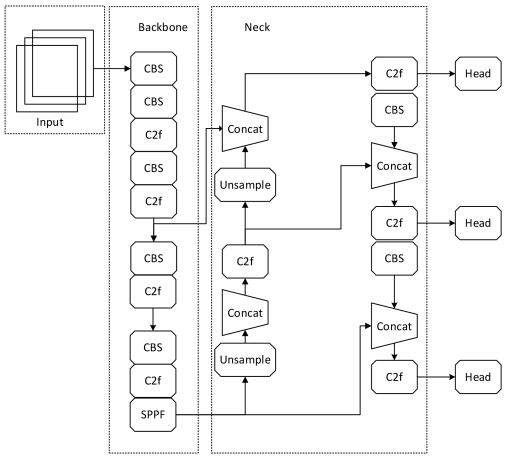


图1 YOLOv8结构图

骨干网络（Backbone）采用了CSPDarknet结构，其中包含了CBS、C2f和SPPF三个模块。CBS模块由卷积层、数据归一化以及激活函数SiLU组成，这些组件相互配合，实现了特征的处理和转换。通过使用CSPDarknet结构，骨干网络能够有效地增强特征信息的传递。YOLOv8使用C2f模块来代替YOLOv5的C3模块，C2f模块由Conv、Split、n个DarkBottleneck和Concat构成。C2f模块是利用全局语义信息和局部目标信息来理解和关注图像中有意义的区域，从而获得更多的梯度流信息。尾部使用更加快速的空间金字塔池化层获取场景中不同层次的特征信息。Neck部分仍采用PAFPN（金字塔自底向上特征网络）结构来实现多尺度的信息提取，融合骨干网络提取的特征。与骨干网络相同，同样将C2f模块代替C3模块，在PAN结构中删去了上采样之后的卷积操作，减少模型的复杂度。Head部分采用的解耦头分为分类和回归任务两个分支，减少了任务之间存在的冲突，并且使用TAL（task alignment learning）动态标签匹配策略[10]。主要的改进是采用了无锚框架Anchor-Free，以提升检测性能，在识别长宽不规则目标方面具有更大优势。

Loss的计算方法采用了正样本分配策略，其中包括分类损失和回归损失的计算。分类损失用于衡量预测框中的目标类别是否准确。YOLOv8采用交叉熵损失作为分类的损失函数，比较模型预测的目标类别分布与实际目标类别分布之间的差异。通过最小化分类损失，模型能够更好地学习到目标类别的特征。预测回归分支中使用CIOU和DFL损失函数，加快网络模型的收敛[11]。

2 改进YOLOv8算法

2.1 细粒化卷积

传统的卷积神经网络在设计上有一定的不足，会造成细粒度的信息损失或者特征学习的低效[12]。当前模型在对小目标、低分辨率图像进行学习时，往往会出现细粒度的信息缺失，很难对其进行有效的特征信息学习。基于该方法，采用细粒化卷积（SPD-Conv）替代YOLOv8模型中的卷积下采样，在保证小特征信息不丢失的情况下，有效地进行细粒度特征提取。在图2中显示SPD-Conv（scale值=2）的结构，当中间特征图X尺寸为$S\times S\times C_1$时，可以对其指定下采样参数scale值，从而得到一组子特征图[13]。

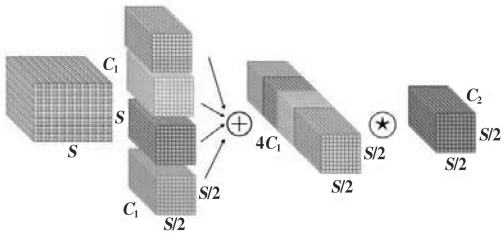


图2 SPD-Conv模块结构图

通过将特征图分割成4个子特征图，每个子特征图的尺寸缩小至$\frac{S}{2}\times\frac{S}{2}\times 4C_1$，接着，采用步长为1的卷积操作减少特征图的通道数量，利用切割特征图与卷积操作相配合的策略，达到下采样的效果，实现了特征的细粒化提取。

2.2 多头自注意力机制

为了提高太阳能电池板缺陷检测的性能，重点关注预期要检测的目标。在快速空间金字塔池化层之后添加MHSA，在图3中可以看到，这里H=4代表多头自注意力的头的数量为4个，Rh代表相对高度位置编码，Rw表示相对宽度位置编码，g、k、r分别代表查询、键、和位置编码，⊕和⊗表示元素求和与矩阵乘法的操作方式，而1×1则表示点卷积[14]。该算法采用全连接层线性拓展特征，并在4个头部之间同时执行自注意机制，每一个头部分别学习一套权值。将每个头部所产生的特征权重通过矩阵乘法运算得到相应的输出。通过对多个头部数据的融合，实现对多个角度特征信息的整合与学习。

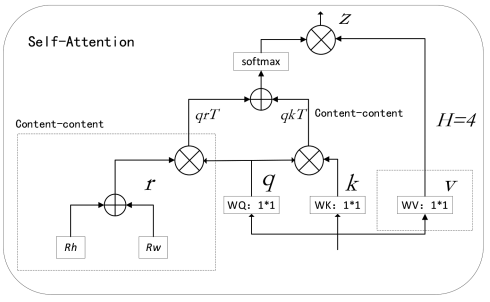


图3 多头自注意力机制

2.3 增加检测层

鉴于太阳能电池板缺陷数据集中存在微小缺陷众多的特点，当前的网络在小目标检测方面的能力较弱。针对这一问题，在YOLOv8的检测架构中，对FPN（特征金字塔网络）结构进行了优化。通过在输出特征图的160 × 160尺寸上增加检测头，可以更好地处理那些难以识别的小型目标。例如，将输入图像的尺寸设定为640 × 640，可以设置4个检测头，分别对应输出特征图的大小为160 × 160、80 × 80、40 × 40和20 × 20，网络结构示意图如图4所示。

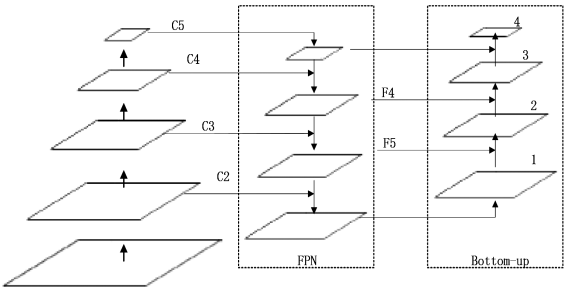


图4 增加检测头

3 实验结果与分析

3.1 数据集及缺陷类别

寻找一个公开可用的数据集来验证改进模型的有效性，该太阳能电池板缺陷数据集来源于文献[15]。在这个数据集中，有5种常见的缺陷类型，包括带有破碎区域的太阳能电池板、带有明显的亮点区域、带有黑色或灰色边框的太阳能电池板、带有划伤区域以及太阳能电池板不通电，表现为黑色区域。数据集中的图像大小为600 像素 × 600 像素。在PV板表面图像中，有3685个缺陷目标。亮点（Hot-spot）在5种缺陷类型中所占的比例最高，为52.97%，微小的目标划痕（Scratch）占33.96%，不通电缺陷（No-ele）占4.31%，模糊的目标黑边框（Black）和破碎的区域（Broken）分别占6.32%和2.42%。本文按照8：1：1比例进行训练集、验证集与测试集划分。

3.2 实验环境的搭建

深度学习的实验环境配置为表1所示。

表1 实验环境配置

配置环境	名　称
操作系统	Ubuntu22.04
CPU	AMD Ryzen 9 3900X 12-Core Processor
GPU	NVIDIA GeForce RTX 2080 Ti
编译器	Python-3.8
深度学习框架	Pytorch-2.1.1

3.3 评价指标

为了评估改进后的YOLOv8模型，采用四个指标进行评价：精确率P、召回率R、平均精度AP和平均精度均值mAP。混淆矩阵为将实际分类与预测分类的关系归纳为一个矩阵。以二分类为例（表2），TP代表将正样本正确地识别为正样本的数量，FN代表将正样本错误地识别为负样本的数量，FP代表将负样本错误地识别为正样本的数量，TN代表将负样本正确地识别为负样本的数量。

表2 混淆矩阵

实际类别	预测类别	
	正例	反例
正例	*TP*	*FN*
反例	*FP*	*TN*

1）P：在模型识别出的缺陷样本中，真实缺陷样本所占的比例。计算公式为

$$P=\frac{TP}{TP+FP} \tag{1}$$

2）R：识别出的缺陷样本在真实样本总数中所占的百分比。计算方法如下

$$R=\frac{TP}{TP+FN} \tag{2}$$

3）AP：识别某种类型缺陷的平均检测精度。

$$AP=\int_0^1 P(R)\,\mathrm{d}R \tag{3}$$

4）mAP：各种缺陷类别平均精度的平均值，计算方法如下

$$mAP=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}AP(i) \tag{4}$$

3.4 实验结果分析

1）单一改进有效性实验

针对上述问题，采用单一改进效果比较实验，将单个改进点和原有模型相结合，将微小目标探测层划分为改进1，细粒化卷积划分为改进2，多注意机制MHSA划分为改进3，针对大量的太阳能电池板进行测试，通过计算两种实验的均值，降低随机误差带来的影响，提高测试结果的稳定性。采用精确率、召回率和mAP@0.5等评估标准对算法进行了评估。

表3 单一改进有效性实验结果

算 法	AP/%					P/%	R/%	mAP@0.5/%
	Hot-spot	Scratch	No-ele	Black	Broken			
Yolov8	90.29	63.98	80.95	92.75	84.51	80.11	82.27	82.50
Yolov8+检测层（改进1）	95.13	74.84	81.36	93.58	87.92	82.47	83.97	86.56
Yolov8+spd（改进2）	92.76	66.59	86.89	92.79	85.44	80.93	83.45	84.89
Yolov8+mhsa（改进3）	91.26	66.29	88.55	93.76	84.77	84.84	84.16	84.93
Yolov8+3个	94.99	73.16	90.72	94.50	88.63	84.94	86.67	88.40

实验结果如表3所示，从表中可以看出，在太阳能电池板数据集上，改进点1对5种类型缺陷的*AP*分别提高了4.84%、10.86%、0.41%、0.83%、3.41%，其中对亮点和划痕缺陷的识别能力都有提升，验证了该方法在小目标检测方面的有效性。改进点2通过细粒化卷积，实现对缺陷的细粒度提取，从表中可以看出精确率和召回率分别提高了0.82%、1.18%，总的*mAP*@0.5提高了2.39%，证明改进点2能够有效地提升模型检测能力。改进点3与原始模型相比，添加多头自注意力机制，使得模型精确率提升了4.73%，召回率提高了1.89%，*mAP*@0.5提高了2.43%，同时改进点3对5种类型缺陷的*AP*分别提高了0.97%、2.31%、7.60%、1.01%、0.26%，其中，对不通电状态下的太阳能电池板缺陷的鉴别能力得到了极大的提高，证明改进后的模型提高了对目标缺陷的关注度。

2）消融实验

通过以上试验，验证了单个方法提高模型检测性能的有效性。然后，基于YOLOv8模型对各改进模块进行消融试验，以检验所建模型的整体有效性。通过引入细粒度卷积，代替原来的卷积下采样，并引入多头注意力机制，在头部添加一个细小的物体检测层，三者融合在一起，形成新的优化模型，与原始模型进行对比实验，采用*mAP*@0.5作为评价指标，消融的实验结果如表4所示。在表格中，“有”表明该模型已添加到相应的模块，“无”表明该模型没有添加相应的模块。通过消融试验，发现该方法可以将太阳能电池板缺陷*mAP*@0.5%提高5.9%，增强了模型的检测能力。

表4 消融实验结果

算法	SPD-Conv	MHSA	检测层	*mAP*@0.5/%
Model1	无	无	无	82.50
Model2	有	无	无	84.89
Model3	有	有	无	85.43
Model4	有	有	有	88.40

3）模型对比实验

为评价所述方法对太阳能电池板表面缺陷的检测效果，将本文方法和FasterR-CNN[16]、SSD[17]、YOLOv5[18]等目标检测算法进行对比实验，结果如表5所示。

表5 模型对比实验结果

算法	P/%	R/%	mAP@0.5/%
FasterR-CNN	82.01	80.68	79.70
SSD	79.30	78.90	69.20
YOLOv5	75.80	72.40	78.83
YOLOv8	80.11	82.27	82.50
本文	84.94	86.67	88.40

对比不同模型试验的结果可知Faster R-CNN网络由于采用双阶段网络以及候选框机制遍历特征图，因此在*mAP*@0.5指标上比YOLO系列有显著提升。SSD传统的单阶段目标探测方法，尽管以VGG网络为骨干，但其网络层数少，难以有效地提取图像中的微小目标。改进后的YOLOv8算法由于加强了网络的特征提取，相较于YOLO系列的算法，在*mAP*@0.5指标上有明显提高。

4 结论

通过实验可知，为了防止在卷积过程中目标特征丢失，采用细粒化卷积（SPD-Conv）来替代网络步长为2的卷积层。配合添加的目标检测层，总体提高了太阳能电池板微小目标缺陷检测的精度，减少查漏率，提升模型检测能力。同时，结合多头自注意力机制，提升了整体信息聚合能力。在太阳能电池板缺陷数据集上使用改进算法进行实验，与原始YOLOv8相比改进算法在*mAP*@0.5提高了5.9%。证明了改进的YOLOv8对太阳能电池板微小目标缺陷有更好的定位能力和检测精度。在未来的工作中，可以实现轻量化网络，并且在检测设备上进行部署研究，可针对不同种类的太阳能电池板缺陷检测进行微调，提高模型的泛化能力。

参考文献:

[1] 赵朗月, 吴一全. 基于机器视觉的表面缺陷检测方法研究进展[J]. 仪器仪表学报, 2022, 43(1): 198-219.

[2] 刘玉淇, 吴一全. 基于机器视觉的太阳能电池片缺陷检测算法综述[J]. 光学精密工程, 2024, 32(6): 868-900.

[3] 张寅, 朱桂熠, 施天俊, 等. 基于特征融合与注意力的遥感图像小目标检测[J]. 光学学报, 2022, 42(24): 140-150.

[4] Xu S, Qian H, Shen W, et al. Defect detection for PV Modules based on the improved YOLOv5s[C]//2022 China Automation Congress(CAC). Xiamen: IEEE, 2022: 1431-1436.

[5] 亢洁, 王勃, 刘文波, 等. 融合CAT-BiFPN与注意力机制的航拍绝缘子多缺陷检测网络[J]. 高电压技术, 2023, 49(8): 3361-3376.

[6] Li X, Wang W, Wu L, et al. Generalized focal loss: learning qualified and distributed bounding boxes for dense object detection[J]. Advances in neural information processing systems, 2020, 33: 21002-21012.

[7] Phan Q B, Nguyen T. A novel approach for PV cell fault detection using YOLOv8 and particle swarm optimization[EB/OL]. (2023-04-24)[2023-04-26]. https://doi.org/10.36227/techrxiv.22680484.v1.

[8] 刘毅, 蒋三新.基于改进YOLOx的钢材表面缺陷检测研究[J]. 现代电子技术, 2024, 47(9): 131-138.

[9] 焦瑜帆, 赵建光. 基于改进YOLOv8的火灾检测算法研究[J]. 长江信息通信, 2024, 37(2): 72-74+89.

[10] 田鹏, 毛力. 改进YOLOv8的道路交通标志目标检测算法[J]. 计算机工程与应用, 2024, 60(8): 202-212.

[11] 赵继达, 甄国涌, 储成群.基于YOLOv8的无人机图像目标检测算法[J]. 计算机工程, 2024, 50(4): 113-120.

[12] Sunkara R, Luo T. No more strided convolutions or pooling: a new CNN building block for low-resolution images and small objects[C]//European conference on computer vision. Tel Aviv: Springer, 2022: 19-23.

[13] 王安静, 袁巨龙, 朱勇建, 等. 基于改进YOLOv8s的鼓形滚子表面缺陷检测算法[J]. 浙江大学学报(工学版), 2024, 58(2): 370-380+387.

[14] 齐向明, 董旭. 改进Yolov7-tiny的钢材表面缺陷检测算法[J]. 计算机工程与应用, 2023, 59(12): 176-183.

[15] Zhang T. GBH-YOLOv5: Ghost convolution with BottleneckCSP andtiny target prediction head incorporating YOLOv5 for PV paneldefect detection[J]. Electronics. 2023, 12(3): 561-576.

[16] Ren S, He K, Girshick R, et al. FasterR-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks[J]. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, 2017, 39(6): 1137-1149.

[17] Liu W, Anguelov D, Erhan D, et al. SSD: Single shot multibox Detector[C]//European conference on computer vision. Amsterdam: Springer, 2016: 21-37.

[18] Jocher G. Yolov5[EB/OL]. (2022-02-20) [2023-03-20]. https://github.com/ultralytics/yolov5.

Solar Panel Surface Defect Detection Algorithm Based on Improved YOLOv8

CHANG Guangchao[1,2], REN Chuancheng[2*]

(1. School of Information and Control Engineering, Jilin institute of Chemical Technology, Jilin Jilin 132022, China; 2. School of Computer and Information, Dezhou University, Dezhou Shandong 253023, China)

Abstract: Solar panel surface defect detection technology is the key to realize intelligent maintenance in the photovoltaic industry. However, because there are many tiny defects on the surface of solar panels, and there is a high degree of similarity between different defects, this poses a challenge to accurately identify and detect such defects. In order to improve the detection accuracy of small defects on the surface of solar panels and strengthen the model's ability to identify target defects, a fine-grained convolution module is introduced into the YOLOv8 network to replace the traditional convolution downsampling, and multi-head self-attention mechanism MHSA is added. Finally, a small target detection layer is added to the head. The test and verification on the solar panel defect dataset show that the improved YOLOv8 has reached 88.40% *mAP*@0.5 in detecting five types of defects. Compared with the original model has increased by 5.9%. The accuracy has been improved to some extent, and the improved model has better accuracy and detection ability when locating small targets.

Key words: solar panels; defect detection; YOLOv8; multi-head self-attention mechanism; SPD-Conv

磁场强化对高岭土除铁过程的影响

李　敏[a]，刘　伟[b*]，陈伟杰[b]，王烟霞[b]，张永正[b]，张秀玲[b]，王志刚[b]

（德州学院　a. 后勤处；b. 化学化工学院，山东　德州　253023）

摘　要：以天然高岭土为研究对象，通过磁场强化技术对其进行除铁增白的实验。采用失重法对高岭土中铁含量的去除效果进行检测，并综合运用X射线粉末衍射（XRD）、红外光谱（IR）、扫描电镜-能谱分析（SEM-EDX）和X射线荧光光谱（XRF）等测试手段，全面评估除铁效果。实验结果揭示，随着磁场强化时间的延长，高岭土中铁的去除量随之增加，尤其在磁场强化1天后，除铁效果最为显著。此外，XRD测试显示磁场强化处理并未对高岭土的微观结构造成破坏。SEM-EDX和XRF测试结果进一步证实了磁场强化在高岭土高效除铁方面具有优越性。

关键词：磁场强化；高岭土；除铁

中图分类号：TD97　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1004-9444（2024）04-0044-04

0　引言

高岭土是一种非常重要的非金属矿产资源，其颜色呈白色且细腻，又称白云土。其分布非常广泛，经探明全球储量可达320亿吨以上[1]。我国高岭土主要分布在广东、福建、江西、江苏和湖南等地区，同时我国也是高岭土的使用大国。高岭土应用非常广泛，主要应用于造纸、陶瓷、橡胶填料、涂料和化工等专业领域，少量用于塑料、油漆、颜料、肥皂等工业部门，其中造纸用高岭土对白度、黏度和粒度有明确指标要求，需要有较高白度和粒度及良好的分散流动性能[2-3]。高岭土具有白度高、遮盖力强、粒度细、吸附速度快等性能。影响高岭土应用的主要因素是白度，由于高岭土中铁等杂质的存在降低了高岭土的白度，影响了高岭土的相关性能，并影响到了高岭土的市场价值，进一步限制了高岭土的广泛应用[4-7]。因此，深入研究高岭土除铁增白技术非常重要。

高岭土的晶体化学式为$2SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot 2H_2O$，其化学组成质量分数为$SiO_2$ 46.54%、Al_2O_3 39.5%、H_2O 13.96%。高岭土类矿物属于1∶1型层状硅酸盐，主要由硅氧四面体和铝氧八面体两种结构单元组成，其中的硅氧四面体以网格层结构排列；硅氧四面体层的顶尖氧为铝氧八面体层和硅氧四面体层所共用[8]。铁是高岭土的主要染色元素，高温煅烧时，铁转化为Fe_2O_3，高岭土矿呈现为黄色或砖红色[9-10]。若要高效去除高岭土中的铁杂质，需要明确杂质铁在高岭土中的赋存状态。目前已知高岭土中铁杂质的赋存状态主要分为两种，一种是存在于高岭石和副矿物中（如云母、钛白矿和伊利石），称为结构铁；另一种是以独立的铁矿物形式存在，称为自由铁，包括表面铁、细粒晶质铁和非晶质铁[11]。研究目的是采取有效的铁去除方法，最终达到理想的增白效果。

高岭土中铁元素的存在状态是决定除铁增白方法的主要影响因素[12]。高岭土除铁增白的方法主要包括物理法（磁选法、浮选法、重选法），化学法（氧化法、还原法、氧化-还原法、酸浸法、氧化焙烧法），微生物法（氧化法、有机酸浸法）这三大方法[13-16]。在此基础上发展出的联用法，在工业上还没有达到规模化应用[17]。对比这三种方法，化学法和微生物法尽管除铁效果比较好，但在除铁过程中会一定程度上破坏高岭土结构，同时会增加工厂技术费用投入，最关键的是处理后由于结构破坏一定程度上限制了高岭土的应用。因此，目前工业中应用最为广泛的还是物理法中的磁选法。

本文旨在改进磁选除铁技术，采用磁场强化对天然高岭土进行除铁增白。通过磁场强化不同天数，利用失重实验并结合X射线粉末衍射

收稿日期：2024-05-16

基金项目：德州学院科学研究基金项目：铝酸钠溶液分解过程后期研究（2019xgrc08）。

作者简介：李敏（1990—），女，山东齐河人，硕士，主要从事矿物加工方向研究。*：通信作者，刘伟（1987—），男，山东昌乐人，博士，主要从事湿法冶金方向研究。

（XRD）、红外光谱（IR）、扫描电镜–能谱分析（SEM–EDX）和X射线荧光光谱（XRF）等测试手段，对高岭土进行除铁增白效果的评价，为高岭土矿的除铁技术改进以及进一步开发利用提供借鉴和参考。

表1 实验仪器

仪器名称	型号(规格)	生产厂家
电热鼓风干燥箱	DHG-9070	上海一恒科学仪器有限公司
电子分析天平	HZK-FA110	福州华志科学仪器有限公司
真空干燥箱	DZF-6020	上海一恒科学仪器有限公司
傅里叶变换红外光谱仪	Nicolet IS50	美国赛默飞世尔科技有限公司
超高分辨率场发射电子显微镜	Merlin Compact	德国蔡司公司
X射线荧光光谱仪	M4 TORNADO	德国布鲁克公司
X射线粉末衍射仪	Bruker D8AA25-XRD	德州布鲁克公司

1　实验部分

1.1　实验仪器和原料

实验所用的主要仪器设备如表1所示，实验原料如表2所示。

表2 实验原料

名称	规格	产地
高岭土	天然矿物	河北石家庄
铁氧体永磁	50 mm*10 mm	/

1.2　磁场强化–失重实验

将1000 g天然高岭土精矿破碎，经过玛瑙研钵中研磨约200目，将样品首先放到鼓风干燥箱中，在120 ℃下干燥4 h；然后再放到真空干燥箱中，于120 ℃干燥2 h；最后把样品存放到干燥器中备用。当采用失重法测试磁场强化技术对高岭土中铁含量的去除效果时，分别准确称取5组50.00 g样品，1组为不做任何处理的空白样；2、3、4、5组分别利用磁铁强化1、2、3、10 天，为尽可能消除环境干扰，磁场强化实验在干燥器中完成。强化结束后利用分析天平称重，计算铁去除量。每组实验平行重复三次实验，最后得到铁的去除量平均值。

1.3　样品测试

采用Bruker D8AA25–XRD粉末衍射仪对高岭土的物相进行分析，测试范围5°～85°，扫描速度5 (°)/min。采用美国赛默飞世尔科技有限公司生产的Nicolet IS50傅里叶变换红外光谱仪对高岭土测试分析，测试波长范围400～4000 cm^{-1}；采用德国蔡司公司的Merlin Compact型超高分辨率场发射电子显微镜观察高岭土表面形貌并进行能谱分析；采用德国布鲁克公司 X射线荧光光谱仪对高岭土进行成分分析。

2　结果与讨论

2.1　高岭土失重实验结果分析

不同磁场强化时间下高岭土中铁的去除量结果如图1所示。

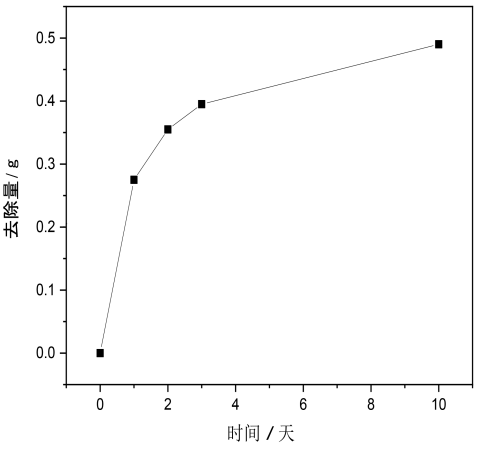


图1　不同强化时间下高岭土中Fe的去除量

从图1 可看出，磁选法除铁效果随着磁场强化时间的延长，高岭土中铁的去除量随之增加，尤其在磁场强化1天后，除铁效果最为显著，去除量为0.275 g，当强化3天后除铁量为0.395 g，随后除铁量趋势变缓，当磁选法强化10天后，除铁量为0.490 g。磁场强化和磁选法除铁原理是一样的，借助磁场作用去除高岭土中的铁。但是随着高岭土铁含量的降低，除铁效果会变差。磁场强化独特之处在于，延长磁场与矿物接触时间，磁铁与矿物进行磁性传递，含铁物质会逐渐被磁铁吸走。这样对高岭土初步除铁后的进一步增白起到非常重要的作用。失重实验很好地证明了延长磁场强化时间对于高岭土除铁是有利的，对于实际工

业高岭土深度除铁、提高高岭土应用价值有非常重要的借鉴意义。

2.2 高岭土X射线粉末衍射数据分析

将对照组、强化1天、2天、3天、10 天后的高岭土样品进行XRD测试，测试结果如图2所示。由于实验过程所用的高岭土属于精矿，通过分析发现该样品的主要物相为石英、多水高岭石、高岭石。从图2可知，不同磁场强化时间下的高岭土样品对应图谱的衍射峰没有发生偏移（或改变），这说明磁场强化除铁过程没有破坏高岭土晶型结构。

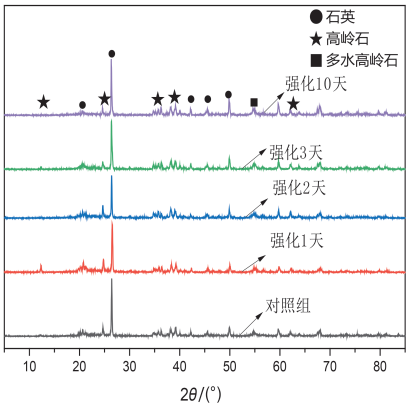


图2 不同强化时间下高岭土的XRD对比图

2.3 高岭土红外光谱测试数据分析

不同磁场强化时间下的高岭土红外光谱测试结果如图3所示。

从图3中可看出，与对照组相比，高岭土经不同强化时间处理后，红外光谱图中的吸收峰没有发生变化（位移），峰位置均一一对应，说明除铁后高岭土结构并没有受到磁场强化的影响。结合XRD分析结果，进一步表明磁场强化不会破坏高岭土整体结构。

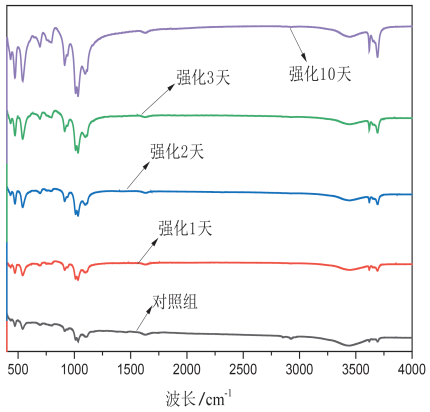


图3 不同磁场强化时间下高岭土的红外光谱对比图

2.4 高岭土扫描电子显微镜&能谱分析数据分析

对照组与磁场强化1、2、3、10天实验组的表面形貌如图4 所示，能谱分析如表4所示。

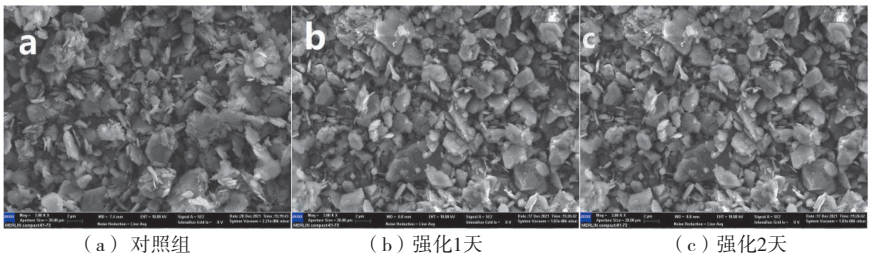
表4 不同磁场强化时间下高岭土的能谱分析铁质量分数结果

样品	对照组	强化1天	强化2天	强化3天	强化10天
Fe质量分数/%	1.34	0.75	0.60	0.27	未检测出

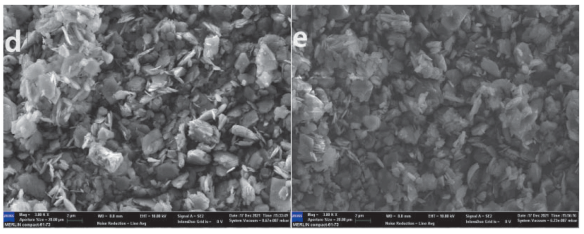
由图4对比分析可知，不同磁场强化时间下的高岭土表面分布比较均匀，说明延长磁场强化时间对整体形貌基本没有影响。由表4数据可知，磁场强化1天铁含量明显降低，随着强化时间延长，铁含量逐渐降低。SEM-EDX测试结果与失重实验结果相匹配，而强化10天后，没有检测出铁元素。测试结果表明延长磁场强化时间对高岭土除铁增白是有利的。

2.5 高岭土成分分析

不同磁场强化时间下高岭土XRF测试结果如表5所示。通过表5可以看出，与未磁场强化样品对比发现，强化1天铁含量降低比较明显。同样，



（a）对照组 （b）强化1天 （c）强化2天



（d）强化3天 （e）强化10天

图4 不同磁场强化时间下高岭土的表面形貌

随着磁场强化时间的延长，铁含量测试结果逐渐降低。XRF测试结果和失重实验结果相吻合。宏观失重实验结果、SEM-EDX测试结果和XRF测试结果相互验证，说明延长磁场强化时间对高岭土铁的去除是有利的，进一步表明了延长磁场强化时间对高岭土增白有效。

表5 不同磁场强化时间下高岭土的主要化学成分质量分数变化情况

	SiO_2/%	Al_2O_3/%	Fe_2O_3/%	TiO_2/%	其他 /%
对照组	63.831	29.965	2.661	1.266	2.277
强化 1 天	64.661	29.789	1.580	1.163	2.807
强化 2 天	65.010	29.965	1.413	1.128	2.484
强化 3 天	65.196	30.025	1.391	1.138	2.250
强化 10 天	65.812	30.077	1.160	1.183	1.768

3　结论

本文利用磁场强化方法对高岭土进行除铁处理，失重实验结果表明，通过延长磁场强化时间可以提高的铁的去除量。强化1天，除铁效果最为显著，除铁量为0.275 g，强化10天，除铁量可达0.490 g，随着磁场强化时间延长除铁效果更好。XRD和IR测试结果表明，高岭土的晶型和结构没有发生改变，高岭土主要物相组成为石英、多水高岭石、高岭石。SEM-EDX和XRF测试结果表明，铁含量变化与失重实验结果相对应，磁场强化没有影响高岭土表面形貌。本文对高岭土除铁技术改进提供一定参考价值。

参考文献:

[1] 冯雪茹, 邓建, 严伟平, 等. 我国高岭土开发现状及综合利用进展[J]. 矿产综合利用, 2022(6): 1-10.
[2] 王晶晶, 王志国, 代雷孟, 等. 高岭土除铁增白酸水处理工艺优化研究[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2022(2): 65-68.
[3] 陈志友, 苏小琼, 柳玉良, 等. 超导磁分离技术用于风化型高岭土除铁研究[J]. 非金属矿, 2020, 43(5): 67-69+102.
[4] R A Hernández Hernández, F Legorreta García, L E Hernández Cruz, et al. Iron removal from a kaolinitic clay by leaching to obtain high whiteness index[C]//IOP conference series: materials science and engineering. Yucatan, Mexico: Institute of Physics, 2012.
[5] 李英华, 巩岩, 葛蕊婷, 等. 河北某高岭土矿除铁工艺比较研究[J]. 非金属矿, 2019, 42(5): 70-72.
[6] 刁润丽, 张条兰. 高岭土除铁增白方法及研究进展[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2016(1): 9-12.
[7] 白露, 莫名理. 印尼勿里洞岛高岭土增白除铁工艺研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2020(3): 159-160.
[8] 王浩. 砂质高岭土的工艺矿物学及选矿试验研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013.
[9] 赵雪淞, 王冬旭, 洪琰, 等. 黑曲霉对煤系高岭土除铁增白试验研究[J]. 非金属矿, 2019, 42(4): 71-73.
[10] 刁润丽, 张晓丽. 高岭土的化学除铁增白方法研究进展[J]. 硅酸盐通报, 2017, 36(8): 2648-2652.
[11] 蔡丽娜, 胡德文, 李凯琦, 等. 高岭土除铁技术进展[J]. 矿冶, 2008, 17(4): 51-54.
[12] 郭春雷, 王维维, 金海龙, 等. 高岭土除铁增白研究进展[J]. 现代矿业, 2019, 35(1): 96-101.
[13] 郭春雷, 马莹, 赵拓, 等. 南方某高岭土除铁增白实验[J]. 矿产综合利用, 2022(4): 183-187+199.
[14] 黄艳芳, 付倩, 董家乐, 等. 我国高岭土矿中铁杂质特征及除铁技术研究进展[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2023, (5): 14-20.
[15] 李航, 管俊芳, 杨成亮, 等. 某砂质高岭土增白试验研究[J]. 金属矿山, 2023, (3): 152-156.
[16] Cameselle C, Ricart M T, Núñez W, et al. Iron removal from kaolin. Comparison between "in situ" and "two-stage" bioleaching processes[J]. Hydrometallurgy, 2003, 68(1-3): 97-105.
[17] 张凌燕, 张丹萍, 王浩, 等. 广东砂质高岭土除铁增白实验研究[J]. 非金属矿, 2013, 36(1): 33-35.

Effect of Magneticfield Enhanced for the Kaolin Iron Removal

LI Min[a], LIU Wei[b*], CHEN Weijie[b], WANG Yanxia[b], ZHANG Yongzheng[b], ZHANG Xiuling[b], WANG Zhigang[b]

(a. Logistics Department; b. School of Chemistry and Chemical Engineering, Dezhou University, Dezhou Shandong 253023, China)

Abstract: This thesis regards kaolin as the research object. The magnetic-filed enhanced for iron removal and whitening of kaolin was studied. The effect of iron removal using the weight-loss method was evaluated. Meanwhile, it also used the XRD, IR, SEM-EDX, XRF methods to assess the iron removal. The experiment results indicated that the quantity of iron removal with magnetic filed enhanced time extension was increasing. The effect of iron removal was obvious using magnetic filed enhanced 1day. Moreover, the XRD results showed that the microstructure of kaolin was not destructed. The SEM-EDX and XRF results provided further evidence that magnetic filed enhanced for iron removal have good effect.

Key words: magneticfield enhanced; kaolin; iron removal

混配体构筑的金属–有机框架及其水蒸气吸附性能研究

吴宇航，王富田，李文洁，武文钰，刘昕奕，杨明康，张新丹，张永正*

（德州学院　化学化工学院，山东　德州　253023）

摘　要：采用4,4',4"–三羧基三苯胺和吡嗪作为混合配体，通过溶剂热法成功合成了一例多孔镍金属–有机框架（MOF）。对所得MOF的结构、形貌、相纯度和孔隙性质进行了详细表征，并考察了其吸附水蒸气的性能。测试结果显示，25 ℃条件下该MOF的水蒸气等温吸附曲线呈现S型，突跃起点的相对压力P/P_0为0.37，吸附量在P/P_0 = 0.4时达到0.41 g/g，脱附曲线与吸附曲线之间未见明显回滞现象。通过静电纺丝技术，将MOF粉末制备成膜，实际环境下的吸附测试结果显示，该MOF在40%相对湿度（21.5 ℃）下的水吸附量为0.40 g/g，且在75 ℃或阳光照射下短时间内可完成吸附–脱附循环。经过10次水吸附–解吸循环后，该材料能够保持初始的吸水性能。

关键词：金属–有机框架；混合配体；水蒸气吸附；稳定性

中图分类号：TP391.4　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1004–9444（2024）04–0048–05

0　引言

在我国能源消耗结构中，制冷设备和供暖系统占据了相当大的比例。为了降低能源消耗，发展环境友好的新型热转换技术显得至关重要[1]。由吸附剂–水工作对组成的吸附式热转换系统是一种具有潜力的制冷和供暖替代方案。该系统的核心在于吸附剂，它利用水作为工作流体，这不仅具有成本低、环境友好的优势，而且能有效利用丰富的低温热源（< 80 ℃，如太阳能和工业废热等）进行工作。因此，开发先进吸水材料是当下材料和化工领域的一个研究热点[2]。

金属–有机框架（metal–organic framework，MOF）代表了一类革命性的多孔材料，它们由金属离子或金属簇与有机配体通过自组装的方式形成。这些材料的独特之处在于它们的孔隙结构不仅多样，而且可以根据需要定制，从而为满足不同类型的应用提供了高度的灵活性[3–4]。MOF材料高度可调节的孔洞表面为分子吸附和存储提供了理想的吸附环境，这一点在气体存储、分离技术以及催化等领域尤为重要。当前，MOF材料在二氧化碳捕获和低碳烃吸附分离等工业应用上的研究，展示了它们在实际工业过程中的巨大潜力和良好前景[5–7]。例如，在二氧化碳捕获方面，Lin等人设计合成的微孔功能性MOF CALF–20能够从烟道气中高效吸附分离二氧化碳[8]，这对于应对全球气候变化和减少温室气体排放具有重要意义。在低碳烃分离方面，朱宝勇教授与陈凯杰教授团队合作，设计并制备出一系列具有强极性笼状孔道的多孔MOF材料，成功实现了从乙烷/乙烯/乙炔三组分混合气体通过一步吸附分离得到高纯度的乙烯气体[9]。该项工作为未来乙烯分离材料的设计和相关多组分化工分离工艺的研发，提供了重要的理论基础和备选材料。

尽管MOF材料在气体吸附方面取得了显著进展，但在水吸附剂方面的研究仍相对滞后，处于初级阶段。这主要是因为缺乏对MOF孔隙性质与水分子之间相互作用的深入理解，以及如何设计出具有高吸水性能和良好循环稳定性的MOF结构[10–11]。目前，大多数水吸附MOF材料研究集中在单一配体构筑的MOF类型上，这类MOF结构相对简单，易于合成和表征[12–13]。但是，它们在孔径和化学功能上的相对单一性限制了其在复杂环境中的应用潜力。相比之下，多元配体MOF因其结构的多样性和孔空间的高度异质性，理论上能够提供更为丰富的化学环

收稿日期：2023–09–26

基金项目：2023年国家级大学生创新创业训练计划项目：柔性氢键给/受体基团调控MOFs水蒸气吸附性能研究（202310448118）；山东省自然科学基金项目：MOF/MOF 表界面构筑及光催化还原CO_2性能（ZR2022QB058）；德州学院横向课题：精制棉生产污水处理及尾气去除技术开发（HXKT2022344）。

作者简介：吴宇航（2003 —），男，山东聊城人，本科，主要研究方向为金属–有机框架构筑与吸附性能研究。*：通信作者，张永正（1988 —），男，山东费县人，副教授，博士，主要研究方向为金属–有机框架构筑与吸附性能研究。

境和更有效的水分子吸附能力[14]。然而，多元配体MOF的合成更具挑战性，需要精确控制不同配体之间的反应以及金属离子的配位几何，以确保最终材料的结构稳定性和可重复性。

鉴于上述调研分析，本研究选取团队开发的一种新型混合配体MOF为研究对象，首先利用水蒸气吸附/脱附测试，评估其粉体的水吸附性质和稳定性，然后采用静电纺丝技术，将该MOF材料制备成膜，在模拟真实环境中，实测其吸附空气中水分子的性能，以及利用低温和阳光照射的脱除再生能力。结果证实，该MOF材料在低相对湿度（RH= 40%，21.5 ℃）下的水吸附能力达到0.40 g/g，在75 ℃或阳光照射下短时间可完成吸附–脱附循环，并且经历10次循环后能够保持初始的吸水性能。该工作为MOF水吸附剂的发展提供一种新的设计指导和材料类型，有助于推进MOF材料作为水吸附剂的应用进展。

1　实验部分

1.1　实验药品

有机配体4,4',4"–三羧基三苯胺（H_3TCA）、吡嗪（PYZ）和金属盐六水硝酸镍（$Ni(NO_3)_2\cdot 6H_2O$）购自北京伊诺凯科技有限公司。有机溶剂N,N'–二甲基乙酰胺（DMA，纯度99.9%）、N,N'–二甲基甲酰胺（DMF，纯度99.9%），无水乙醇（纯度99.9%）和氟硼酸水溶液（HBF_4，纯度52%）购自国药集团化学试剂公司。聚丙烯腈粉末（纯度99.9%）购自上海麦克林生化科技股份有限公司。实验过程所用净化水为娃哈哈纯净水。

1.2　仪器设备

电子天平（BSA124S，赛多利斯科学仪器有限公司），超声波清洗机（F–030S，深圳福洋科技集团有限公司），玻璃耐压瓶（250 mL），微波水热合成仪（XH–8000S，北京祥鹄科技发展有限公司），华为手机（Mate 60），真空干燥箱（DZF–6020型，上海一恒科学仪器有限公司），静电纺丝仪（DP30，云帆（天津）仪器有限公司），X射线单晶衍射仪（Rigaku Supernova），粉末X射线衍射仪（D8A，A25，德国布鲁克），体视显微镜（XYH–3A，上海光学仪器一厂），场发射扫描电子显微镜（S–4800，德国蔡司公司），综合热分析仪（DTG–60，岛津），气体吸附仪（Autosorb–3.0，康塔），蒸气吸附仪（BSD–DVS，贝士德）。

1.3　MOF材料合成与活化

本工作参照张永正等[15]的MOF合成方法制定合成方案。为提升材料产率和制备效率，对合成方案中的溶剂配比、酸调节剂用量以及加热方式进行了调节，优化的详细合成方案如下：

用电子天平称量0.76 g H_3TCA（2 mmol）和0.32 g PYZ（4 mmol）配体，在烧杯中加入100 mL的DMA超声溶解；称取2.03 g $Ni(NO_3)_2\cdot 6H_2O$（7 mmol）溶解于20 mL纯净水。将上述两份溶液混合后加入到250 mL的玻璃耐压瓶，充分搅拌并逐滴加入1.5 mL HBF4（52 wt%）水溶液。随后将耐压瓶密封，置于110 ℃温度的油浴反应20 h，反应期间保持磁力搅拌，磁子转速为600 r/min。反应结束并冷却到室温后，通过过滤收集得到绿色微晶粉末。

制备的MOF粉末经DMA溶液洗涤后，在10 mL无水乙醇搅拌浸泡3天，期间每天更换2次新鲜的无水乙醇溶液。交换完成后，离心去除溶液，所得固体样品在80 ℃真空烘箱干燥5 h，得到干燥的MOF样品2.2 g。基于H_3TCA配体分析，MOF样品的产率为78.6%。

1.4　静电纺丝制备MOF膜

将活化的MOF粉末与聚丙烯腈粉末按一定比例加入到DMF溶液中并搅拌12 h，制成均匀的混合悬浮溶液。将得到的悬浮液转移到5 mL注射器中，注射器的针头与集料板的距离控制在8 ~ 10 cm，推料速度设定值为0.001 ~ 0.002 4 mm/s，接收器转速为10 ~ 100 r/min。在16 ~ 18 kV电压下进行静电纺丝，得到负载有MOF晶体颗粒的薄膜。

1.5　吸附性能测试

在进行吸附测试之前，首先将大约200 mg活化的MOF样品置于吸附仪脱气工作站，在80 ℃温度下真空脱气4 h，然后再开展相关气体和水蒸气的吸附/脱附测试。氮气吸附–脱附等温线在77 K下测试，采用装有液氮的杜瓦瓶来控制测试温度。水蒸气吸附–脱附等温线在298 K下测试，采用循环水浴恒温槽控制测试温度。

2　结果与讨论

2.1　材料结构和形貌表征

采用单晶X射线衍射对所合成MOF晶体的结构进行测定。结构解析显示该晶体结晶于六方晶系，$P6_3/mcm$空间群，晶体的分子结构式为$[Ni_6(OH)_6(TCA)_3(PYZ)_3]_n$，其主要晶体学参数见表1。该MOF的框架结构组成如图1所示，该MOF的金属节点是由6个μ_3-OH基团桥联6个Ni^{2+}离子组成的$[Ni_6O_6]$团簇，六核$[Ni_6O_6]$团簇与脱质子的三羧酸配体TCA^{3-}交替连接形成网格状的二维层，线性配体PYZ连接两个邻近的

[Ni_6O_6]团簇，将相邻的二维层网络支撑为三维多孔框架结构，该框架在晶体学（010）方向存在长方形的一维孔道。去除原子范德华半径，该长方形通道的长和宽分别约为7.2 Å和5.8 Å，属于微孔尺寸。

表1 MOF单晶主要晶体学参数

特征	参数
分子式	$C_{27}H_{21}N_4O_9Ni_3$
分子量	721.58
晶系和空间群	六方，$P6_3/mcm$
a, b, c/ (Å)	17.7030 (7), 17.7030 (7), 17.7123 (13)
晶胞体积Z值	4801.5 (5)，4
密度/(g · cm^3)	0.993
2 θ 角范围/(°)	4.595 ~ 53.172
拟合优度F^2	1.083
R_1^a, wR_2^b [I>2 σ (I)]	R_1 = 0.0359, wR_2 =0.1020
R_1^a, wR_2^b (all data)	R_1 = 0.0515, wR_2 = 0.1085
最大残余峰和空穴 (e/$Å^3$)	0.46，–0.49

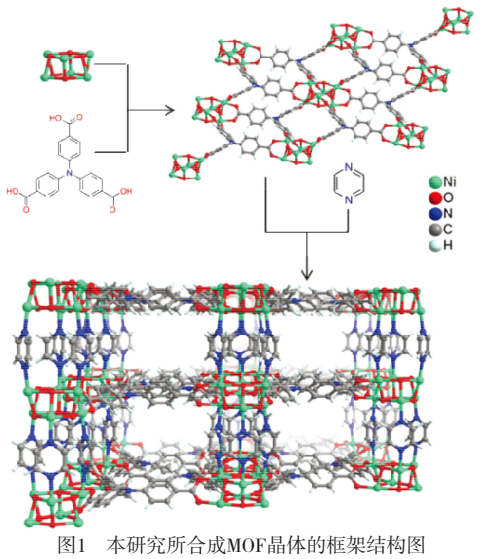


图1 本研究所合成MOF晶体的框架结构图

根据单晶结构解析数据，我们利用Mercury软件模拟得到该MOF晶体的衍射峰。随后为表征所合成MOF粉末样品的晶体结构和相纯度，确认活化前、后的结构变化，进行了粉末X射线衍射（PXRD）测试。如图2a所示，本工作合成的MOF材料的衍射峰与其单晶结构模拟的衍射峰位完全吻合，并且没有杂峰，证明所合成的粉末是纯度极高的目标MOF晶体材料。经乙醇溶剂交换和干燥活化后的MOF样品，其PXRD峰位与原合成样品的一致，表明乙醇溶剂交换和加热活化过程对该材料的框架结构没有产生影响。静电纺丝制备的MOF膜，其PXRD峰位与原合成MOF粉末的峰位一一对应，表明该MOF材料成功负载到聚丙烯腈膜，并且晶体结构保持完整。为确认所制备MOF粉末在聚丙烯腈膜的分布状态，利用扫描电镜进行了观测。如图2b所示，MOF颗粒被聚丙烯腈纤维缠绕包裹，密集分布在膜上，颗粒尺寸大小在0.5 ~ 1.0 μm。

采用热重分析仪对活化后的MOF样品进行了热失重测试，以获取该MOF材料的热稳定性能。如图2c所示，样品热失重曲线显示，在30 ~ 260℃温度范围内，样品质量几乎没有丢失，表明活化后的MOF孔道内几乎不存在DMF、水和乙醇等客体溶剂分子，并且框架结构在该温度区间内保持稳定。在260 ~ 400℃的温度区间内，大约有17.2%的重量损失。由于PYZ配体分子的沸点是115 ℃，在MOF结构中的理论分子质量占比为16.7%，因此我们推测在260 ~ 400℃温度内的重量损失是由PYZ配体分解挥发所造成的。当测试温度超过400 ℃后，样品表现出迅速失重，预示着该MOF组分中剩余成分快速分解挥发。以上热重测试结果表明，该MOF孔道内的溶剂分子，经乙醇溶液交换后，在80 ℃温度干燥后实现了有效脱除，其骨架热稳定性的温度上限为260 ℃。

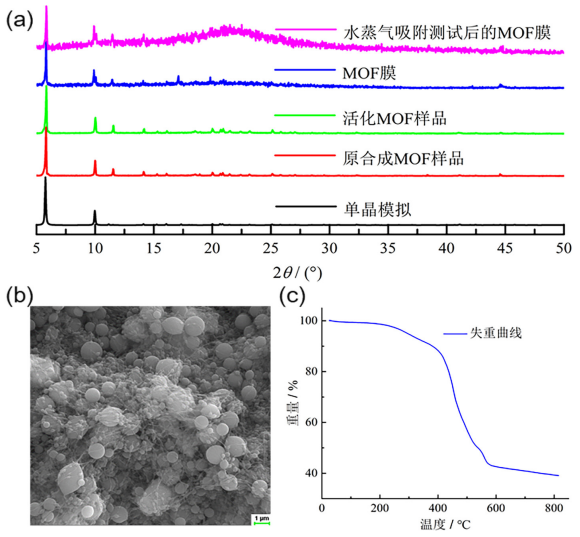


图2（a）所合成MOF材料及其活化样品和MOF膜的粉末X射线衍射谱图；（b）静电纺丝制备MOF膜的扫描电镜图；（c）活化后的MOF热失重曲线

2.2 孔隙性质表征

多孔材料的孔隙特性是决定其水蒸气吸附性能的关键因素。在材料科学中，孔隙性质包括比表面积、孔容和孔径分布等，这些因素共同影响着吸附剂对水蒸气的吸附能力和选择性。比表面积分析是一种广泛采用的方法，用于评估多孔材料的孔隙性质，尤其是其对气体分子的吸附能力。在本研究中，我们对合成的MOF粉体材料进行了详细的孔隙性质分析。如图3所示，77 K氮气吸附测试结果表明，该MOF材料的吸附等温线呈现I型，这是微孔材料的典型特征。在相对压力P/P_0达到0.99时，该MOF材料的最大氮气吸附量达到了283 cm^3/g，这一较高的吸附量表明该材料具有较大的比表面积和孔容，有利于水蒸气的吸附。通过BET（Brunauer–Emmett–Teller）理论

模型对吸附数据进行拟合计算，我们得到了该MOF材料的比表面积为985.2 m^2/g，孔体积为0.44 m^3/g。这些数据进一步证实了材料具有较高的孔隙特征，为水分子的吸附提供了充足的空间。此外，利用Horvath–Kawazoe模型对孔径分布进行计算，结果显示该MOF的孔径主要分布在5.2 ~ 9.1 Å范围内，这一尺寸范围属于微孔材料的范畴。微孔结构的材料在吸附小分子如水蒸气时有利于表现出较高的吸附能力和选择性，因为微孔尺寸与水分子的动力学直径相匹配，有助于分子识别和提高吸附效率。

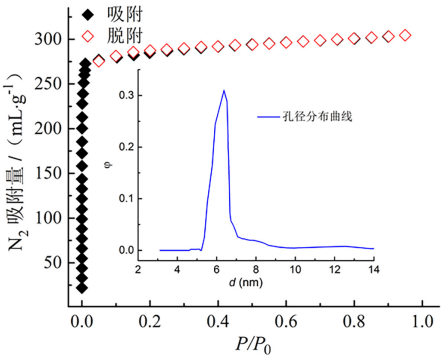


图3　77 K温度下的N_2吸附–脱附等温线及孔径分布曲线

2.3　水蒸气吸附等温线测试

鉴于该MOF材料具备的优异多孔性质，我们利用水蒸气吸附仪进一步测试和评估其吸附水分子的性能。如图4所示，在298 K的温度条件下，该MOF材料的水蒸气吸附等温线呈现出典型的S型特征，揭示该材料在不同相对压力下对水分子的吸附行为。在相对压力P/P_0小于0.37的压力范围内，材料的吸附量非常有限，每克材料吸附水分子的质量不足0.05 g，表明在低分压区间内，MOF材料对水分子的吸附能力较弱。然而，当相对压力超过0.37时，吸附量迅速增加，在P/P_0= 0.4处达到0.41 g/g，在P/P_0=0.95时达到的最大吸附量为0.48 g/g。这一结果表明，该MOF材料在相对湿度环境超过37%的条件下具有高效的水分子吸附能力。此外，脱附测试结果显示，该MOF材料的脱附等温曲线与吸附等温曲线几乎重合，这意味着吸附在孔道内的水分子可以在非常温和的条件下被解析脱附，这一特性对于吸附剂的循环使用和再生具有重要意义。随后，为了进一步验证材料的循环再生性能，我们进行了连续的水蒸气吸附–脱附循环测试。测试结果显示，在3次循环测试中，该MOF材料的水蒸气等温吸附/脱附曲线没有发生明显变化，证明吸附性能与其初始性能基本一致。上述测试结果表明，所合成的MOF材料不仅具备在低湿度环境下捕获水分子的能力，而且具有良好的吸附容量和低能耗的循环再生性能，这对于实际应用中的吸附剂选择和使用具有重要的指导意义。

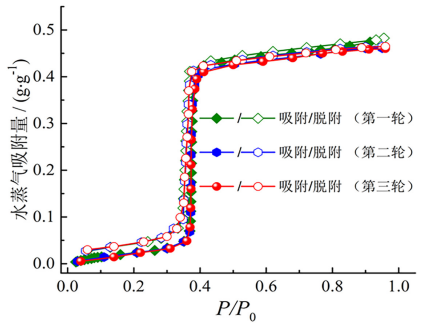


图4　298 K温度下MOF材料在三个循环的水蒸气吸附–脱附等温线

2.4　模拟环境水吸附性能测试

MOF材料通常以粉末形态存在，这在实际应用中带来了成型和操作的挑战。为了克服这一难题，本研究中我们采用了静电纺丝技术，将合成的MOF粉末成功制备成膜状材料。对所制备的MOF膜在负载量上进行了优化，以确保其粉末的负载强度和实际应用的效率。如图5a所示，我们将长约为15 cm，宽约12 cm，MOF负载量为30%质量分数的膜置于一个模拟实际环境的玻璃容器中（图5b），通过改变容器内环境的相对湿度，测试MOF膜的水分子吸附–解吸性能。在21.5 ℃和相对湿度（RH）75%的条件下，该MOF膜在100 min时可以达到吸附饱和，吸附量为0.40 g/g；在21.5 ℃和RH=40%的低湿度条件下，在160 min达到的最大吸附量是0.40 g/g（图5c）。以上测试结果表明，本工作所合成的MOF材料具备在RH≥40%环境中高效捕获水分子的性能。随后，为了验证材料的吸附–解吸水分子的循环和稳定性能，将RH=40%环境下吸附饱和的MOF膜，在75 ℃加热2 h或22~27 ℃温度下阳光照射4 h后，再次进行吸附测试。经过10轮循环测试，该MOF膜的吸附性能与其初始性能相比没有显著改变，其PXRD峰位与原合成MOF膜吻合（图2a），表明该MOF多孔骨架在水环境中具有优异的稳定性。综上水蒸气吸附–解吸测试结果，本研究所合成的MOF材料及其膜器件展现出优异的水分子吸附和解吸性能，具备用作先进水吸附剂的基础特性。

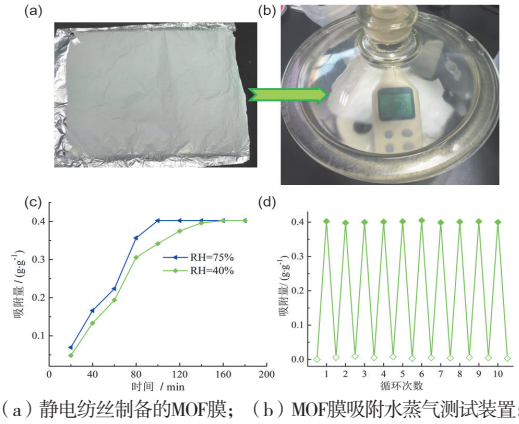


图5（a）静电纺丝制备的MOF膜；（b）MOF膜吸附水蒸气测试装置；（c）MOF膜在不同相对湿度下的水蒸气吸附曲线；（d）MOF膜吸附–解吸水分子循环测试结果

3 结论

选用4,4',4"-三羧基三苯胺和吡嗪作为混合配体，合成一例具有三维多孔结构的新型镍基MOF材料，对其进行了详细的结构和孔隙性质表征。水蒸气吸附-脱附测试显示该MOF材料具有S型的吸附等温线，突跃起始的相对压力P/P_0为0.37，在P/P_0 = 0.4时水分子吸附量达到0.41 g/g。基于该MOF制备的膜材料，在40%相对湿度下（21.5 ℃）的水吸附量达到0.40 g/g，能够利用低温（75 ℃）或者室温阳光照射，在短时间内可完成吸附-解吸循环，并且经多轮循环测试仍能保持初始性能。总之，本研究制备的MOF材料展现出高效、低耗能的水吸附-解吸性能，具有成为新一代先进水吸吸附剂材料的潜力。

参考文献：

[1] 武强, 涂坤, 徐生恒, 等. 我国能源供给与消费优化精准配置探讨: 以浅层地热能与建筑物供暖制冷配置为例[J].中国能源, 2020, 42(5): 4-7.

[2] AlMousawif N, AlDadah R, Mahmoud S. Low grade heat driven adsorption system for coolingand power generation with small-scale radial inflow turbine[J]. Applied energy, 2016, 183: 1302-1316.

[3] 庆达, 王建省, 苏新悦, 等. 金属有机框架材料的制备及应用研究进展[J]. 化工新型材料, 2024, 52(1): 65-70.

[4] 孔祥婧, 李建荣. 绿色化工应用导向的金属-有机框架材料研究概述[J]. Engineering, 2021, 7(8): 170-222.

[5] 孔令聪, 孙雅榕, 谢雨, 等. 金属有机框架材料捕集二氧化碳技术进展及应用[J]. 新疆石油天然气, 2022, 18(2): 78-83.

[6] 李沐紫, 贾国伟, 赵砚珑, 等. 金属有机框架材料对非二氧化碳温室气体捕捉研究进展[J]. 化工学报, 2023, 74(1): 365-379.

[7] 李秀芳, 俱战锋, 袁大强. 基于金属有机框架材料的C2烃类吸附分离研究进展[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2022, 58(4): 608-621.

[8] Lin J B, Nguyen T T T, Vaidhyanathanet R, et al. A scalable metal-organic frameworkas a durable physisorbent for carbon dioxide capture[J]. Science, 2021, 374: 1464-1469.

[9] Zhu B, Cao J, Mukherjee S, et al. Pore engineering for one -step ethylene purification from a three-component hydrocarbon mixture[J]. Journal of the American chemical society, 2021, 143(3): 1485-1492.

[10] 张晋维, 李平, 张馨凝, 等. 水稳定性金属有机框架材料的水吸附性质与应用[J]. 化学学报, 2020, 78(7): 597-612.

[11] Shi L, Kirlikovali K Q, Chen Z, et al. Metal-organic frameworks for water vapor adsorption[J]. Chem, 2024, 10(2): 484-503.

[12] 武恩宇, 钱国栋, 李斌. 铝基金属-有机框架材料的水吸附性能与大气集水应用[J]. 浙江大学学报(工学版), 2022, 56(1): 186-192.

[13] Chen Z, Li P, Zhang X, et al. Reticular access to highly porous acs-MOFs with rigid trigonal prismatic linkers for water sorption[J]. Journal of the american chemical society, 2019, 141(7): 2900-2905.

[14] Qin J S, Yuan S, WangQ, et al. Mixed-linker strategy for the construction of multifunctional metal-organic frameworks[J]. Journal of materials chemistry a, 2017, 5(9): 4280-4291.

[15] Zhang Y, Kong X, Zhou W, et al. Pore environment optimization of microporous metal-organic frameworks with huddled pyrazine pillars for C_2H_2/CO_2 separation[J]. ACS applied materials&interfaces, 2023, 15(3): 4208-4215.

Water Vapour Adsorption Performance of Metal-Organic Framework Constructed by Mixed Ligands

WU Yuhang, WANG Futian, LI Wenjie, WU Wenyu, LIU Xinyi, YANG Mingkang, ZHANG Xindan, ZHANG Yongzheng*

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Dezhou University, Dezhou Shandong 253023, China)

Abstract: A porous nickel metal-organic framework (MOF) was synthesized using 4,4',4"-tricarbonyl triphenylamine and pyrazine as mixed ligands via solvothermal method. The structure, morphology, phase purity, and porosity of the obtained MOF were characterized, and its water vapor adsorption performance was investigated. The adsorption-desorption experiments indicated that the isothermal (25 ℃) water vapor adsorption curve of the MOF exhibited an S shape, with a sharp onset at a relative pressure P/P_0 of 0.37, and an adsorption capacity of 0.41 g/g at P/P_0 = 0.4. There was no significant hysteresis between the desorption and adsorption curves. By employing electrospinning technology, the MOF was fabricated into a membrane, and adsorption tests under simulated actual environmental conditions showed that the MOF had a water adsorption capacity of 0.40 g/g at 40% relative humidity (21.5 ℃), and could complete adsorption-desorption cycles in a short time under 75 ℃ heating or sunlight exposure. The material maintained its initial water absorption performance after 10 cycles of water adsorption-desorption.

Key words: metal-organic framework; mixed ligands; water vapor adsorption; stability

乳腺癌放射治疗研究现状

杨淑佳[1a]，林芸竹[1a]，兰紫玲[1b]，张霏宇[1a]，杨淑慧[2]，高 峰[1a]

（1. 德州学院 a. 健康医学院；b. 药学院，山东 德州 253023；2. 山东第一医科大学 预防医学科学学院，山东 济南 250062）

摘 要：乳腺癌是女性常见恶性肿瘤之一，在女性恶性肿瘤中发病率居于首位，给女性的生命健康带来了严重威胁。目前，针对乳腺癌的治疗包括外科手术治疗、放射治疗、化学治疗、内分泌治疗、免疫治疗、靶向治疗和姑息治疗等多种方式。放射治疗在乳腺癌治疗中扮演着不可或缺的角色，在不同治疗阶段对乳腺癌患者实施针对性的放射治疗，能显著提升临床治疗效果，提高患者生存率，有效抑制癌症复发，同时缓解患者症状，提升生活质量，进而不断优化乳腺癌放射相关的治疗策略。

关键词：乳腺癌；新辅助放疗；术中放疗；术后辅助放疗；挽救性放疗；姑息性放疗

中图分类号：R737.9 **文献标识码：**A **文章编号：**1004-9444（2024）04-0053-05

0 引言

乳腺癌作为女性常见的恶性肿瘤，其发病率占恶性肿瘤总发病率的7%~10%，在女性恶性肿瘤中居于首位。据统计，在全球范围内，2022年女性乳腺癌发病率为11.6%，死亡率为6.9% [1]。在我国，乳腺癌的新发病例增长速度显著，仅2020年女性因乳腺癌死亡人数就达8.21万，且呈上升趋势 [2]。乳腺癌对女性生命健康、心理健康以及家庭社会带来巨大危害，影响患者正常的工作和生活，降低患者的生活质量。研究显示，乳腺癌的发生与高脂肪饮食、饮酒等生活方式密切相关，同时随年龄增长，发病率逐渐上升，高发年龄在40岁及以上 [3]。

乳腺癌的临床表现主要为酒窝征、橘皮样纹路的皮肤改变、乳头不自主溢出液体、乳腺肿块、腋窝淋巴结肿大、乳头乳晕异常、乳腺疼痛等。由于乳腺癌的临床表现多样，早期症状不明显，因此患者容易错过最佳治疗时期[4]。当前，乳腺癌的治疗方式是以手术为主的综合治疗，包括外科手术治疗、放射治疗、化学治疗、内分泌治疗、免疫治疗、靶向治疗以及姑息治疗（见图1）。对于乳腺癌，国际临床Ⅱ期以下以及部分Ⅲ期且无手术禁忌证的患者首选手术治疗。乳腺癌手术切除术一般包括乳腺癌根治术、乳腺癌改良根治术、单纯性乳腺切除术及保乳手术治疗（保乳术）。临床上，常根据患者病情、肿瘤病理类型、疾病分期等相关因素选择合适的手术方式，其中对Ⅰ、Ⅱ期乳腺癌患者多采用乳腺癌改良根治术和保乳术[5]。乳腺癌的治疗现已转向以手术为主导的综合治疗模式。此模式依托多学科协同，遵循循证医学和个性化治疗原则，旨在实现早期诊断和治疗，在此基础上消除肿瘤，延长患者寿命并提高生活品质。

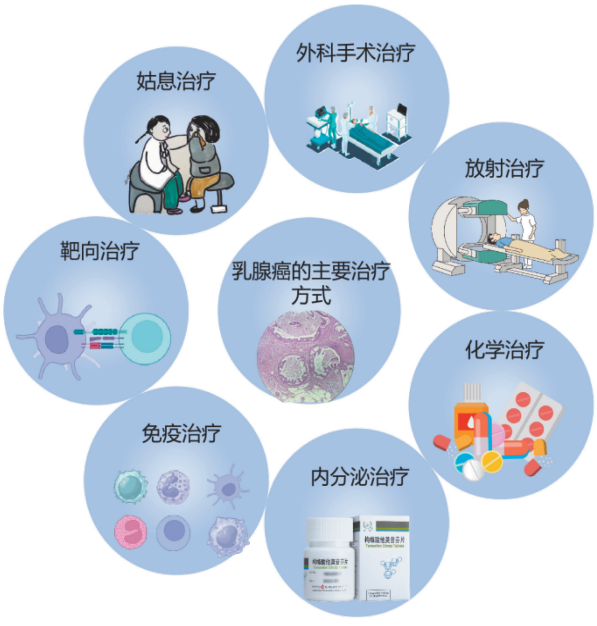


图1 乳腺癌的治疗方式

随着科技的发展和医学水平的提高，放疗在

收稿日期：2023-03-19

作者简介：杨淑佳（1995—），女，山东德州人，助教，硕士，主要从事基础医学工作研究。

乳腺癌治疗中的作用变得越来越重要。乳腺癌放疗的原理是使用射线杀灭癌细胞，从而达到治疗的目的。此外，射线在杀灭肿瘤细胞的同时，可促进机体释放各种免疫因子作用于机体各部位，增强全身免疫应答效应。乳腺癌的放射治疗可分为术前和术后两大类[6]。术前放疗的方式与术后放疗相近，通常采用医用电子直线加速器释放高能X射线或电子线，对患者的锁骨上区、锁骨下区、内乳区和胸壁区进行分区照射。放射治疗疗程通常为每周连续五次，总剂量控制在45~55 Gy，总照射次数为22~33次，以确保治疗效果。然而，放疗过程中可能引发血管壁纤维化，虽能减少肿瘤组织的血供，但也会对正常组织血供产生影响[6-7]。近年来，放射技术取得了显著进步，从二维放疗迈向了三维放疗，基于CT影像的放疗计划系统为患者提供了更为精确的治疗方案，提升了靶体积的覆盖质量，降低了非照射区域器官的剂量，从而提高了治疗效果。

乳腺癌的放疗主要分为新辅助放疗、挽救性放疗、姑息性放疗和术后辅助放疗。新辅助放疗用于术前缩小肿瘤以提高手术效果；挽救性放疗则针对复发或转移病例，控制病情进展；姑息性放疗则适用于晚期患者，以缓解症状、提高生活质量为主要目的；术后辅助放疗可以杀灭术后残存于胸壁和淋巴结引流区的肿瘤细胞，有效降低局部复发率（local recurrence，LRR）和远处转移发生率，提高患者存活率[8]。这些放疗策略需根据患者病情和治疗阶段的不同选择，以提升乳腺癌的综合治疗效果。

1 新辅助放疗

1.1 新辅助放疗

新辅助放疗是乳腺癌综合治疗的重要组成部分，具有较高的临床价值。术前进行新辅助放疗旨在降低肿瘤负荷，缩小肿瘤体积，并降低临床分期，进而提高手术完整切除率及患者总体生存率。在乳腺癌的局部肿块治疗中，新辅助放疗通过射线精准照射肿瘤细胞，破坏其DNA结构，抑制肿瘤细胞的增殖与分裂，有效缩小肿瘤体积。当乳腺癌患者出现淋巴转移时，新辅助放疗能够针对受累淋巴结进行局部照射，杀灭其中的癌细胞，防止癌细胞进一步扩散与转移，为手术治疗和后续化疗创造有利条件。此外，新辅助放疗的干预，不仅能提升手术的成功率，降低手术风险，还能为化疗提供更为有效的药物作用靶点[9-10]。因此，乳腺癌患者早期接受新辅助放疗，对于控制病情进展、提高治疗效果及改善患者生存质量具有重要意义。

1.2 新辅助放疗联合新辅助化疗

近年来，新辅助放疗联合新辅助化疗在乳腺癌治疗领域展现出显著的优势。研究结果表明，这种综合疗法在缩小肿瘤体积、降低肿瘤分期方面效果显著，从而提升手术成功率并延长患者生存期[11]。同时，文献证实两种方式结合使用能有效减少乳腺癌的复发和远处转移，有效延长患者寿命[12]。该疗法还能提高保乳率，为原本需要全乳切除的患者提供进行保乳手术的机会，进而改善患者的生活质量。放疗的局部控制和化疗的全身控制相结合，可使肿瘤在术前体积缩小，降低了手术的难度，提高了手术的成功率[13]。虽然新辅助放疗和化疗可能带来一定的副作用，但相较于晚期治疗，早期应用能够更好地控制肿瘤，减少患者的痛苦。综上所述，新辅助放疗联合新辅助化疗已成为乳腺癌治疗的重要手段，可为乳腺癌患者带来更为积极的治疗效果。

1.3 新辅助放疗联合内分泌治疗

新辅助放疗联合内分泌治疗在乳腺癌临床治疗应用中相对有限。Luminal型乳腺癌也被称为激素受体阳性乳腺癌，新辅助放疗联合内分泌治疗对其可能具有特别的意义，尤其是对于在新辅助化疗后病理完全缓解率低于人类表皮生长因子受体2（human epidermal growth factor receptor 2，HER2）阳性及三阴性乳腺癌的患者更加适用[14]。内分泌治疗被视为降低激素受体阳性早期乳腺癌患者复发及死亡率的关键辅助治疗之一。目前临床实践中乳腺癌内分泌治疗常选用两种主要的治疗手段，一种是选择性雌激素受体调节剂，临床上最常用的是他莫昔芬；另一种是芳香化酶抑制剂类，如来曲唑、阿那曲唑和依西美坦等[14]。在临床实践中，新辅助放疗可能导致心脏毒性这一严重并发症，对患者预后产生显著不良影响甚至危及生命。一些研究表明，内分泌治疗对于心血管功能有一定的影响，新辅助放疗联合内分泌治疗的方式，可减少心脏毒性作用，提高患者的生活质量[16]。

在乳腺癌治疗领域，研究人员积极研发新辅助放疗技术，同时更新治疗理念，积累了药物放疗增敏、同步放化疗新方案选择、放疗与内分泌治疗联合等临床经验，为局部晚期乳腺癌患者量身定制更为优化的综合治疗方案，显著提升了治疗效果。

2 术中放疗

乳腺癌术中放疗常用的治疗技术主要包括靶向术中放疗（targeted intraoperative radio therapy，TARGIT）和术中电子放疗（intraoperative electron

radiation therapy，ELIOT）[17-18]。TARGIT是一种术中放射治疗技术，用于在乳腺癌保乳手术后直接对瘤床进行放射治疗。它使用低能X射线（通常为50 kV），在20～45 min内向瘤床区域传递20 Gy的剂量。这种技术的主要优点是能够在手术过程中立即进行放射治疗，避免了后续多次的外部放射治疗，从而减少了患者的治疗时间和潜在的副作用。然而，由于TARGIT使用的X射线能量较低，其穿透深度有限，因此主要适用于瘤床较浅、肿瘤较小的患者。ELIOT也是一种术中放射治疗技术，但它使用高能电子束（通常为4～12 MeV）向瘤床释放辐射射线。在短短3～5 min内，ELIOT可以向瘤床传递21 Gy的剂量。与TARGIT相比，ELIOT使用的电子束能量更高，因此其穿透深度更深，可以覆盖更广泛的瘤床区域。ELIOT同样具有在手术过程中立即进行放射治疗的优点，由于使用的电子束能量较高，其可能适用于更广泛类型的乳腺癌患者[17]。乳腺癌术中切缘评估也至关重要，为术中、术后放疗提供决策依据，以降低术后复发风险。[18]

3　术后辅助放疗

3.1　保乳术与术后辅助放疗

保乳术（breast-conserving surgery，BCS）是一种保留乳房完整并兼顾治疗效果的手术方式。BCS适用于有保乳意愿，并且肿瘤可完整切除并能够达到阴性边缘的患者[4]。该手术首先切除乳房区域肿瘤，然后再利用置换技术进行乳房重建[19]。保乳术后辅助放疗技术的发展不仅能够确保手术的安全性和乳房的美观性，还能提高多灶性肿瘤以及广泛导管原位癌（ductal carcinoma in situ，DCIS）的治愈可能性[20]。值得一提的是，DCIS是一种非侵入性癌前病变，其特征在于癌细胞仅存在于导管内部基底膜。由于难以确定DCIS是否会发展为浸润性癌症，许多患者和临床医生更倾向于BCS[21]。

所有采用保乳术治疗的患者，均推荐进一步接受辅助放疗。保乳术后全乳腺辅助放疗（whole breast adjuvant radiotherapy，WBRT）可以显著降低接受BCS治疗的患者的局部复发风险与死亡风险，并减少对乳腺组织的切除，保持乳房的美观性，进而减轻患者心理压力，提高患者生活质量[22-23]。数据分析显示，接受WBRT与未接受WBRT的患者在5年内的LRR分别为6.7%、22.9%，在15年内的死亡风险分别为26.1%、41.1%，在15年后的死亡风险分别为47.9%和55.0%[22]。Stoleru团队的研究中，在接受治疗后的13~17年间，只接受BCS的患者LRR在23%~25%，而进一步接受WBRT的患者LRR在9%~20%。通过这些数据可以看出，接受WBRT的患者LRR和死亡风险都有显著降低[23]。此外，患者在放疗过程中出现的皮肤色素沉着及皮炎等问题，在WBRT结束后也会得到有效改善。综上，BCS及术后辅助放疗在临床上得到广泛应用，已经成为治疗早期乳腺癌的首选方式。

3.2　乳腺癌改良根治术与术后辅助放疗

乳腺癌改良根治术（modified radical mastectomy，MRM）有两种手术类型：一种是保留胸大肌、切除胸小肌的Patey术式；另一种是同时保留胸大肌和胸小肌的Auchincloss术式。接受后者术式的患者生存率与前者无明显差异，但后者术式可更好地保护患者肢体的功能和胸廓外形，使患者更快地接受术后辅助放疗及其他术后综合治疗，因此在我国临床上得到广泛应用[24]。

乳腺癌切除术后放射治疗（postmastectomy radiation therapy，PMRT）能够降低患者胸壁及区域淋巴结的LRR和远处复发的风险，同时提高患者生存率，对于部分乳腺癌患者，接受PMRT后甚至可存活20年以上[25-26]。PMRT对于局部晚期乳腺癌患者LRR的降低和无病生存率的提高至关重要[27]。早期乳腺癌临床试验协作组的对比实验结果显示，术后辅助放疗可使患者的LRR降低约$\frac{2}{3}$[28]。在现行的临床治疗中，PMRT也被认为适用于局部区域失败率较高的患者，如Ⅲ期乳腺癌患者，相较于过去几十年的随机对照试验，接受PMRT的患者局部和远处复发率较低，且PMRT对淋巴结阳性患者的总体生存期有所改善。

此外，乳腺癌的放射治疗还包括常规放疗、三维适形放疗、调强放疗、立体定向放疗和质子放疗等多种技术。不同的放疗技术各有优缺点，医生应该根据不同患者的临床特征，制订个性化的治疗方案。

4　乳腺癌转移灶相关放疗

乳腺癌患者常常会出现癌细胞的转移，乳腺癌的转移途径包括局部散播、淋巴道扩散、血道扩散，主要转移到淋巴结、肺、胸膜、骨、肝、脑等部位，其中，骨转移发生率高达46.8%[29-30]。对于发生乳腺癌转移的患者可以考虑挽救性放疗，研究主要集中在优化放疗技术、提高治疗效果和降低副作用上。然而研究表明，对于乳腺癌寡转移病灶（寡转移数目通常定义为影像学诊断为5个或更少的转移），采用转移灶靶向治疗（metastasis-directed

therapy，MDT）可以改善预后，甚至治愈[31]。MDT治疗包括手术、放疗、射频消融术等，其中放疗常用的方式有立体定向放射治疗、立体定向消融放射治疗和低分割图像引导下放射治疗等。传统上认为晚期转移性乳腺癌患者是无法治愈的，临床上主要采用全身治疗和姑息性局部放疗方式，其治疗目标不是治愈癌症，而是缓解患者的症状和改善生存质量。对于乳腺癌脑转移患者，全身药物治疗效果并不理想，需结合放疗和或手术治疗，一般认为放疗是新诊断脑转移的常规初始治疗[32-35]。此外，对于雌激素受体（estrogen receptor, ER）、孕激素受体（progesterone receptor, PR）和HER2阳性的乳腺癌患者，内分泌治疗可以作为一种有效的辅助治疗方案，与其他治疗方法结合使用，以达到更好的治疗效果[32]。

5 小结

综上所述，随着放疗技术的发展，放疗已被广泛应用于乳腺癌新辅助放疗、术中放疗、术后辅助放疗、挽救性放疗和姑息性放疗等，合理地使用放疗可以有效提高乳腺癌治疗的效果，包括提升手术效果、降低复发率和控制病情发展等。尤其是对于存在手术禁忌证或拒绝手术的患者，单独使用放射治疗可能成为一种有效的替代治疗方案，值得进一步研究。然而，放射治疗在杀灭肿瘤细胞的同时，也可能会带来一定的副作用，如放射性肺炎、放射性皮肤损伤、放射性心脏损伤等局部不良反应以及乏力、骨髓抑制等全身不良反应，甚至会诱发二次致癌，尤其是联合化学治疗时，可能会引起累积副作用。因此，在临床治疗中，对乳腺癌患者进行治疗决策时，应充分考虑患者的病理、病情、身体状况等因素，选择最优的治疗方式。

参考文献：

[1] Bray F, Laversanne M, Sung H, et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries [J]. CA: a cancer journal of clinicians, 2024, 74(3): 229-63.

[2] Qi J, Li M, Wang L, et al. National and subnational trends in cancer burden in China, 2005-20: an analysis of national mortality surveillance data [J]. Lancet public health, 2023, 8(12): e943-e955.

[3] Kolak A, Kaminska M, Sygit K, et al. Primary and secondary prevention of breast cancer [J]. Annals of agricultural and environmental medicine, 2017, 24(4): 549-553.

[4] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 乳腺癌诊疗指南（2022年版）[J]. 中国合理用药探索, 2022, 19(10): 1-26.

[5] 范媛媛, 练剑锋. 乳腺癌辅助放疗研究进展 [J]. 中国辐射卫生, 2023, 32(2): 193-7.

[6] 李婷婷, 许庆勇. 初诊Ⅳ期乳腺癌原发灶局部区域治疗进展 [J]. 肿瘤学杂志, 2021, 27(12): 997-1000.

[7] 杨思琦, 宋启斌, 龚虹云. 局部晚期乳腺癌术前放疗研究进展 [J]. 中国医药导报, 2019, 16(23): 41-44.

[8] 李楠, 李平. 局部晚期乳腺癌新辅助放疗研究进展 [J]. 肿瘤预防与治疗, 2020, 33(4): 359-63.

[9] Caudle A S, Yang W T, Krishnamurthy S, et al. Improved axillary evaluation following neoadjuvant therapy for patients with node-positive breast cancer using selective evaluation of clipped nodes: implementation of targeted axillary dissection [J]. Journal of clinical oncology, 2016, 34(10): 1072-1078.

[10] Untch M, Konecny G E, Paepke S, et al. Current and future role of neoadjuvant therapy for breast cancer [J]. Breast, 2014, 23(5): 526-537.

[11] Garg A K, Buchholz T A. Influence of neoadjuvant chemotherapy on radiotherapy for breast cancer [J]. Annals of surgical oncology, 2015, 22(5): 1434-1440.

[12] Kirova Y, Loap P. Customising radiotherapy in stage II breast cancer after primary chemotherapy [J]. The lancet oncology, 2022, 23(9): 1118-1119.

[13] Mann G B, Skandarajah A R, Zdenkowski N, et al. Postoperative radiotherapy omission in selected patients with early breast cancer following preoperative breast MRI (PROSPECT): primary results of a prospective two-arm study [J]. Lancet, 2024, 403(10423): 261-270.

[14] 郑思悦, 陈楚莹, 陈佳艺, 等. 乳腺癌的术前放疗: 差异化人群, 差异化目标 [J]. 实用肿瘤杂志, 2021, 36(2): 99-104.

[15] Wang Y, Min J, Deng X, et al. Discovery of novel covalent selective estrogen receptor degraders against endocrine-resistant breast cancer [J]. Acta pharmaceutica sinica B, 2023, 13(12): 4963-4982.

[16] Ishitobi M, Suzuki O, Komoike Y, et al. Phase II study of neoadjuvant anastrozole and concurrent radiotherapy for postmenopausal breast cancer patients [J]. Breast cancer, 2014, 21(5): 550-556.

[17] 徐晓帆, 薛玉, 王璐, 等. 术中放疗与术后放疗在早期乳腺癌保乳手术中的应用比较 [J]. 医学研究生学报, 2021, 34(9): 947-952.

[18] 黄蔚, 李恒宇, 丁晓毅. 晚期乳腺癌介入诊疗的价值及应用 [J]. 外科理论与实践, 2022, 27(5): 411-415.

[19] Weber W P, Soysal S D, Fulco I, et al. Standardization of oncoplastic breast conserving surgery [J]. European journal of surgical oncology, 2017, 43(7): 1236-1243.

[20] Niinikoski L, Leidenius M H K, Vaara P, et al. Resection margins and local recurrences in breast cancer: comparison between

conventional and oncoplastic breast conserving surgery [J]. European journal of surgical oncology, 2019, 45(6): 976-982.

[21] Goodwin A, Parker S, Ghersi D, et al. Post-operative radiotherapy for ductal carcinoma in situ of the breast [J]. The cochrane database of systematic reviews, 2013(11): CD000563.

[22] Speers C, Pierce L J. Postoperative radiotherapy after breast-conserving surgery for early-stage breast cancer: a review [J]. JAMA oncol, 2016, 2(8): 1075-1082.

[23] Stoleru L S, Stoleru S. Radiation therapy following breast conserving surgery for ductal carcinoma in situ: yes or no? [J]. Chirurgia (Bucur), 2017, 112(4): 403-412.

[24] 刘力, 刘国文, 谭米多. 乳腺癌的综合治疗现状 [J]. 中国肿瘤外科杂志, 2013, 5(1): 60-63.

[25] Lyons J A, Sherertz T. Postmastectomy radiation therapy [J]. Current oncology reports, 2014, 16(1): 361.

[26] Bazan J G, White J. Imaging of the axilla before preoperative chemotherapy: implications for postmastectomy radiation [J]. Cancer, 2015, 121(8): 1187-94.

[27] Awadeen A, Fareed M, Elameen A M. The impact of postmastectomy radiation therapy on the outcomes of prepectoral implant-based breast reconstruction: a systematic review and meta-analysis [J]. Aesthetic plastic surgery, 2023, 47(1): 81-91.

[28] Dewar J A. Postmastectomy radiotherapy [J]. Clinical oncology (royal college of radiologists(Great Britain)2006), 18(3): 185-190.

[29] Petri B J, Klinge C M. Regulation of breast cancer metastasis signaling by miRNAs [J]. Cancer metastasis reviews, 2020, 39(3): 837-886.

[30] 翟士军, 张玉娜, 米宝明, 等. SPECT/CT融合骨显像对乳腺癌骨转移的诊断价值 [J]. 中国辐射卫生, 2016, 25(6): 746-748+752.

[31] Kent C L, McDuff S G R, Salama J K. Oligometastatic breast cancer: where are we now and where are we headed? a narrative review [J]. Annals of palliative medicine, 2021, 10(5): 5954-5968.

[32] 河南省肿瘤诊疗质量控制中心乳腺癌专家委员会. 河南省肿瘤诊疗质量控制中心晚期乳腺癌专家共识 [J]. 中华肿瘤防治杂志, 2023, 30(24): 1486-1497.

[33] 中国医师协会放射肿瘤治疗医师分会. 乳腺癌放射治疗指南(中国医师协会2020版) [J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2021, 30(4): 321-342.

[34] Ramakrishna N, Temin S, Lin N U. Recommendations on disease management for patients with advanced human epidermal growth factor receptor 2-positive breast cancer and brain metastases: ASCO clinical practice guideline update summary [J]. Journal of oncology practice, 2018, 14(8): 505-507.

[35] Tsao M N, Xu W, Wong R K, et al. Whole brain radiotherapy for the treatment of newly diagnosed multiple brain metastases [J]. The cochrane database of systematic reviews, 2018, 1(1): CD003869.

The Current Research Status of Radiation Therapy for Breast Cancer

YANG Shujia[1a], LIN Yunzhu[1a], LAN Ziling[1b], ZHANG Feiyu[1a], YANG Shuhui[2], GAO Feng[1a]

(1. a. School of Health Medicine; b. School of Pharmacy, Dezhou University, Dezhou Shandong 253023, China; 2. School of Preventive Medicine Sciences, Shandong First Medical University, Jinan Shandong 250062, China)

Abstract: Breast cancer is one of the common malignant tumors in women, ranking first in the incidence of malignant tumors in women, posing a serious threat to women's lives and health. At present, the treatment of breast cancer includes surgical treatment, radiation therapy, chemotherapy, endocrine therapy, immunotherapy, targeted therapy, and palliative treatment. Radiation therapy plays an indispensable role in the treatment of breast cancer. Targeted radiation therapy for breast cancer patients at different stages of treatment can significantly improve clinical treatment effects, increase patient survival rates, effectively inhibit cancer recurrence, relieve patient symptoms, improve quality of life, and further optimize radiation-related treatment strategies for breast cancer.

Key words: breast cancer; neoadjuvant radiotherapy; intraoperative radiation herapy; postoperative adjuvant radiotherapy; salvage radiotherapy; palliative radiotherapy

2014—2022年德州市德城区乙型病毒性肝炎流行病学特征分析

张宝珍，罗婷婷*

（德州市德城区疾病预防控制中心　免疫预防科，山东　德州　253018）

摘　要：为了制定德城区乙型病毒性肝炎（简称“乙肝”）的预防控制策略，文章对2014—2022年的乙肝流行病学资料进行了描述性统计分析。结果显示，2014—2022年德州市德城区共报告了2843例乙肝病例，年均报告发病率为41.59／10万。值得注意的是，自2019年以来，乙肝的年均报告发病率呈现出逐年下降的趋势。城区的乙肝发病率（75.83/10万）明显高于农村地区（35.92/10万），男性的年均报告发病率（53.12/10万）也高于女性（29.28/10万）。在职业分布上，农民是发病人群的主体，占比达到了43.33%。这些数据表明，近年来德城区在乙肝防控方面取得了显著成效，但仍需要继续加强儿童乙肝疫苗接种工作，并进一步提高成人乙肝疫苗接种率。同时，应重点关注城区居民及男性人群的乙肝防控工作。

关键词：乙型病毒性肝炎；传染病；发病率；流行病学特征

中图分类号：R512.62　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1004-9444（2024）04-0058-04

0　引言

乙型病毒性肝炎（以下简称“乙肝”）是由乙肝病毒感染引起的以肝脏炎性病变为主并造成全身多脏器损害的一种传染病。主要经血液、性接触、母婴传播，无特效治疗方法，乙肝易慢性化，甚至发展为肝硬化、肝癌，严重影响患者身心健康和生活质量。在我国，乙肝发病率高，在报告的法定传染病中一直位居前列；危害大，成为影响广大人民群众健康生活的重要公共卫生问题。为掌握德州市德城区乙肝流行状况及影响因素，分析乙肝流行病学特征，为继续做好德城区乙肝防控工作提供数据支持，现对2014—2022年德州市德城区上报的乙肝病例相关情况进行统计分析。

1　对象与方法

1.1　对象

乙肝病例报告资料来源于中国疾病预防控制中心传染病监测信息报告管理系统；人口资料来源于德州市德城区历年统计年鉴；接种率资料来自山东省免疫规划信息系统。

1.2　诊断和分类标准

按照《乙型病毒性肝炎诊断标准》（WS 299—2008）进行乙肝诊断[1]，对“确诊的急性乙肝病例”和“确诊的慢性乙肝病例”分类诊断并进行网络报告。

1.3　方法

收集中国疾病预防控制中心传染病监测系统的病例资料，根据“现住址”进行统计（包括“临床诊断病例”和“实验室确诊病例”的“已终审卡”数据），利用描述流行病学方法分析2014—2022年德州市德城区乙肝的发病时间、城乡（地区）和人群（年龄、性别、职业）分布情况。

1.4　统计学处理

用SPSS 27.0软件分析数据，组间率或构成比的比较采用χ^2检验，以$P<0.05$为差异有统计学意义。

2　结果

2.1　发病概况

2014—2022 年德州市德城区累计报告乙肝发病2843 例、死亡4 例，年均报告发病率为 41.59/1 0 万、死亡率为0.06／10万，病死率为0.14%，报告发病率有显著性差异，差异有统计学意义（$\chi^2=183.202$，$P<0.001$）；2015年年均报告发病率最低，为28.71／10万；2019年发病率最高，为62.57／10万，之后年度报告发病率呈现逐年下降趋势（见表 1 ）。

收稿日期：2024-04-19

作者简介：张宝珍（1973—），女，山东宁津人，主管医师，研究方向为常见传染病防治及免疫规划。*：通信作者，罗婷婷（1995—），女，山东乐陵人，主管医师，研究方向为常见传染病防治及免疫规划。

表1　2014—2022年德州市德城区乙肝报告发病情况及性别分布情况统计表

年份	人次	发病数	发病率（1/10万）	男性人数	男性发病数	男性发病率（1/10万）	女性人数	女性发病数	女性发病率（1/10万）	男女性别比
2014	682 291	207	30.34	350 438	147	41.95	331 853	60	18.08	2.45
2015	686 229	197	28.71	350 658	132	37.64	335 571	65	19.37	2.03
2016	692 793	231	33.34	357 581	154	43.07	335 212	77	22.97	2.00
2017	698 824	275	39.35	360 909	177	49.04	337 915	98	29.00	1.81
2018	699 248	358	51.20	361 121	260	72.00	338 127	98	28.98	2.65
2019	696 855	436	62.57	380 588	276	72.52	316 267	160	50.59	1.73
2020	700 326	356	50.83	375 405	234	62.33	324 921	122	37.55	1.92
2021	961 856	440	45.74	481 540	288	59.81	480 316	152	31.65	1.89
2022	1 017 404	343	33.71	511 550	207	40.47	505 854	136	26.89	1.52
	χ^2=183.202, P<0.001					χ^2=232.803, P<0.001				
合计	6 835 826	2843	41.59	3 529 790	1875	53.12	3 306 036	968	29.28	1.94

2.2　时间分布

2014—2022年乙肝每月均有发病，发病无明显季节性。全年发病人数从春季向秋冬季逐渐减少，发病高峰主要集中在每年的1月（292 例）、3月（280 例）、6月（255 例），这3个月发病人数共占全年发病总数的29.09%；9月份发病数（182 例）最少，占发病总数的6.40%（见图1）。

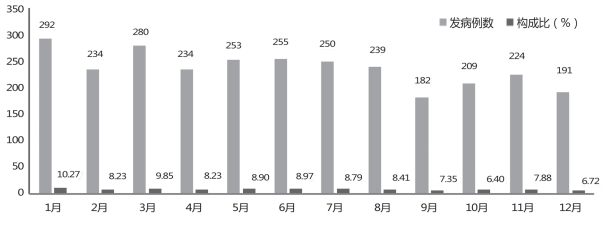


图1　2014—2022年德州市德城区乙肝病例报告时间分布

2.3　地区分布

德州市德城区全区共计11个街道办事处和乡镇，其中每个镇街均有乙肝病例报告，把德城区各办事处、乡镇划分为城区、城乡结合部、农村进行统计分析。其中城区年均发病率为75.83/10万、农村年均发病率为35.92/10万、城乡结合部年均发病率为32.23/10万，可知发病率城区最高，农村最低，各镇街年均报告发病率差异有统计学意义（χ^2=449.817，P<0.001）（见表 2 ）。

表2　2014—2022年德州市德城区乙肝病例报告地区分布

地 区	人次	发病数	发病率(1/10万)	构成比(%)
城 区	1 283 126	973	75.83	34.22
城乡结合部	3 381 428	1090	32.23	38.34
农 村	2 171 272	780	35.92	27.44
	χ^2=449.817，P<0.001			
合计	6 835 826	2843	41.59	100

2.4　人群分布

1）性别分布。2014—2022年德州市德城区上报的乙肝病例中，男性有1875例（占发病总数65.95%），女性有968例（占发病总数34.05%），男性年均报告发病率为53.12/10万，女性年均报告发病率为29.28/10万，男性发病率高于女性，不同性别乙肝发病率差异显著有统计学意义（χ^2=232.803，P<0.001）（见表1）。

2）年龄分布。2014—2022年德州市德城区上报的乙肝病例中，30～74岁人群发病人数为2548例，占发病总数的89.62%。其中，60～74岁人群发病数656例（占发病总数23.07%），发病率最高，为77.89/10万；其次45～59岁人群发病数1034例（占发病总数36.37%），发病率居第 2 位，为66.50/10万；30～44岁人群发病数858例（占发病总数30.18%），发病率居第3位，为47.82/10万；15岁以下人群发病数3例，发病率最低，为0.23/10万。不同年龄组乙肝发病率差异显著有统计学意义（χ^2=1 191.642，P<0.001）（见表3）。另据德城区预防接种资料调查统计，2014—2022年德州市德城区18岁以上成年人人数为5 409 189 人，18岁以上接种乙肝疫苗为83 143人，年均接种率为1.53%。

表3　2014—2022年德州市德城区乙肝病例年龄分布

年龄组/岁	人次	发病数	发病率（1/10万）	构成比/%
0～14	1 319 041	3	0.23	0.11
15～29	1 066 228	204	19.13	7.18
30～44	1 794 317	858	47.82	30.18
45～59	1 554 875	1034	66.50	36.37
60～74	842 172	656	77.89	23.07
75及以上	259 193	88	33.95	3.10
	χ^2=1 191.642，P<0.001			
合计	6 835 826	2843	41.59	100

3）职业分布。2014—2022年德城区乙肝病例以农民为主，共1232例，占发病总人数的43.33%，显著高于其他职业的人群；其次是家务和待业人员426例、离退休人员342例，分别占发病总人数的14.98%、12.03%（见图2）。

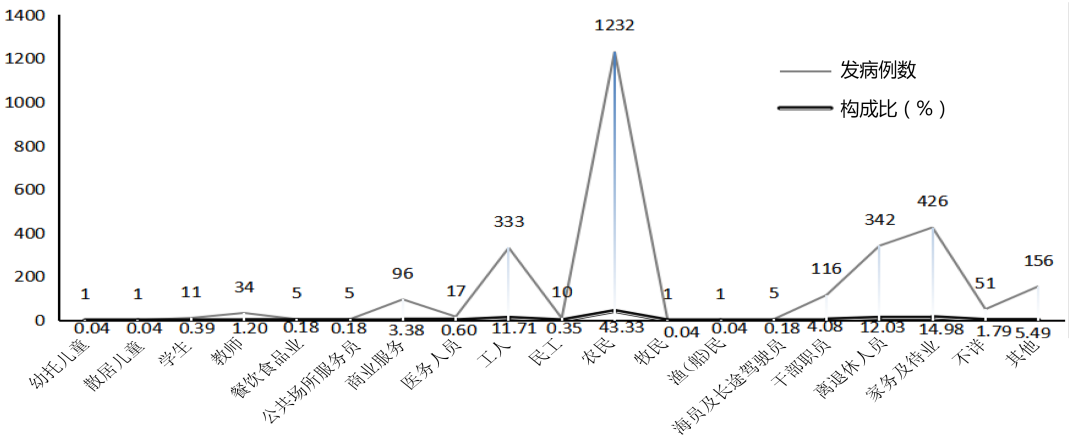


图2 2014–2022年德州市德城区乙肝病例报告职业分布

3 讨论

本调查结果显示，2014—2022年德州市德城区乙肝年均报告发病率41.59/10万，低于全国[2]（77.29/10万）、济南市[3]（68.74/10万）；2019年发病率最高，为62.57／10万，2019年之后呈逐年下降趋势。德城区2014—2022年乙肝年均发病率（41.59/10万）较2008—2013年（33.10/10万）[4]有所上升，这与德城区加强对基层医疗机构医务人员传染病监测和预测预警的能力提升有关。近年来德城区多次邀请省市级专家对常见法定传染病的发现、诊断、报告要求及流行病学史、临床表现、实验室检查等内容进行培训，加强对各医疗机构法定传染病上报质量的现场指导督导以及漏报调查，普及各医疗机构信息化的应用，使法定传染病的检索更加方便快捷，同时也规范了传染病与突发公共卫生事件报告管理工作。

从调查数据来看，德城区乙肝发病无明显季节性，与曹晓菊[4]、唐莹[5]等的研究一致。城区报告发病率明显高于农村及城乡结合部，可能是由于城区流动人口较多，人群社交活动频繁，导致感染乙肝的风险较大。

从年龄上看，德城区乙肝发病人群主要集中在30～74岁[3-7]，主要原因可能是30岁以上的人群暴露于相关危险因素较多，比如性传播、输血、美容等。表3显示，45～59岁人群发病率（66.50/10万）和60～74岁人群发病率（77.89/10万）最高，原因可能是这类人群历经高强度的体力或脑力劳动，随着年龄增长机体免疫力下降，成为乙肝感染的高危人群；而0～14岁年龄组发病率（0.23/10万）处于最低水平，原因有以下几个方面：一是德城区自1992年开始将乙肝疫苗纳入计划免疫管理，医院产科为新生儿接种乙肝疫苗至今已有30年；二是2002年开始实施新生儿免费接种乙肝疫苗，并且2017年对乙肝表面抗原阳性母亲所生新生儿12 h内免费接种乙肝免疫球蛋白。以上措施的落实，有效控制了小年龄组人群的发病率，这表明德城区免疫规划儿童乙肝疫苗的接种工作成效显著。从成人乙肝疫苗接种情况分析，2014—2022年德城区18岁以上成人乙肝疫苗的年均接种率为1.53%，乙肝疫苗接种率处于较低水平，表明德城区成人乙肝免疫空白人群占据了很大的比例，不能形成广泛的免疫屏障[8]。因此，今后须重点加强18岁以上成人乙肝疫苗的预防接种工作，以提高其接种率，降低乙肝发病风险。

德城区乙肝报告病例在人群性别分布上，男性发病率高于女性，与山东、河南等地的情况基本一致[3-5]，可能是成年男性是社会活动的主体，外出机会较多，自我保健意识较差，部分男性还接触一些高风险行为，如吸食毒品、同性性行为等，感染机率大；二是因为成年男性生活方式多元化以及生活习惯不良，如吸烟、酗酒、熬夜等生活习惯导致肝功能下降[5-6]。有研究表明饮酒可以促进乙肝病毒的复制，因此乙型病毒型肝炎更易于慢性化，另外，性激素的差异导致女性免疫力高于男性，男性更易受到病毒的感染与侵害[7]。因此，成年男性如未能提前接种乙肝疫苗，就没有相应的特异性保护，这提示德城区应将成年男性作为乙肝感染高危人群关注，加强乙肝防控工作，以减少发病的风险。

职业分布以农民、家务及待业为主，乙肝发病数明显高于其他职业人群，与巴中市和绵阳市的研

究结果一致[9-11]，可能是因为农民对乙肝的防治知识了解不足，卫生防病意识薄弱，乙肝疫苗接种率低，再加上从事高强度体力劳动，导致过度劳累以及饮食营养摄入量不足引起机体免疫力降低。

基于德城区乙肝流行特征和相关影响因素的分析，一是应继续加强儿童乙肝疫苗的常规接种工作，加强新生入托入学预防接种证查验、查漏补种，确保维持高水平的合格接种率；二是制定成人乙肝疫苗免疫策略和实施方案，多措并举扩大乙肝疫苗接种范围，提高成人乙肝疫苗接种覆盖率，抑制德城区成人乙肝高发态势；三是进一步加强对重点人群、高危人群乙肝防治知识的健康教育宣传力度，根据不同职业特点，实行相应的乙肝防制措施，提高农民、家务及待业人员的自我保护意识，提高疫苗接种率；四是加强医疗机构乙肝病例诊断报告培训，提高监测报告能力，高度重视成人乙肝防控管理，加强慢性乙肝病人管理，定期健康体检，做到乙肝病毒感染早发现、早报告、早治疗，杜绝医源性传播，减少乙肝发病风险。

参考文献：

[1] 中华人民共和国卫生部. 乙型病毒性肝炎诊断标准: WS 299 – 2008 [S]. 北京: 人民卫生出版社, 2008.

[2] 唐云丽, 李泽颖. 2005–2022年永州市乙型病毒性肝炎流行病学分析[J]. 实用预防医学, 2023, 30(9): 1073–1077.

[3] 贺玉静, 蔡俊丽, 邹丽萍, 等. 2016–2020年山东省济南市乙型病毒性肝炎流行病学特征分析[J]. 预防医学论坛, 2022, 28(12): 920–922+926.

[4] 曹晓菊. 2008～2016年德州市德城区乙型病毒性肝炎流行特征分析[J]. 预防医学论坛, 2017, 23(11): 858–862.

[5] 唐莹, 王凤双, 肖雷, 等. 2010–2019年北京市顺义区乙型病毒性肝炎流行病学特征分析[J]. 预防医学情报杂志, 2021, 37(6): 749–753.

[6] 张艺馨, 曹杰, 雷杰, 等. 2017年度山东省医疗机构法定传染病报告质量分析[J]. 预防医学论坛, 2018, 11(11): 813–816.

[7] 袁磊, 张水军. 性别与性激素对乙肝病毒易感性及其免疫应答的影响[J]. 河南医学研究, 2019, 28 (10): 1919–1921.

[8] 黄耀. 2011–2019年铜山区病毒性肝炎流行病学分析[J]. 中国校医, 2021, 35(8): 593–595+604.

[9] 甘超, 吴朝学, 夏茹翔. 2018–2022年巴中市恩阳区乙型病毒性肝炎流行病学特征分析[J]. 职业卫生与病伤, 2023, 38(5): 286–290.

[10] 张先德, 周彪, 彭秀, 等. 2012–2021年绵阳市涪城区乙型病毒性肝炎流行病学特征分析[J]. 医学动物防制, 2023, 39(5): 478–481.

[11] 张薇, 邓炯, 彭秀, 等. 绵阳市涪城区2012–2021年病毒性肝炎流行病学特征分析[J]. 医学动物防制, 2023, 39(7): 668–671+675.

Epidemiological Characteristics of Hepatitis B in Decheng District, Dezhou City from 2014 to 2022

ZHANG Baozhen，LUO Tingting*

（Department of Immunology and Prevention, Decheng District Center for Disease Control and Prevention, Dezhou Shandong 253018, China）

Abstract: By analyzing the epidemiological characteristics of hepatitis B in Decheng District, this study aims to better formulate prevention and control strategies for hepatitis B in the region. Descriptive statistical analysis was conducted on the epidemiological data of Hepatitis B from 2014 to 2022. The results showed that a total of 2843 cases of hepatitis B were reported in Decheng District, Dezhou City from 2014 to 2022, with an average annual reported incidence of 41.59/100 000. It is worth noting that since 2019, the average annual reported incidence of hepatitis B has shown a downward trend year by year. The incidence of hepatitis B in urban areas (75.83/100 000) is significantly higher than that in rural areas (35.92/100 000), and the average annual reported incidence of men (53.12/100 000) is also higher than that of women (29.28/100 000). In terms of occupational distribution, farmers are the main group of the diseased population, accounting for 43.33%. These data indicate that the prevention and control of hepatitis B in Decheng District have achieved remarkable results in recent years. It is necessary to continue to strengthen childhood HBV vaccination and further increase the vaccination rate among adults, with a focus on the urban population and males for effective HBV prevention and control.

Key words: hepatitis B; infectious disease; incidence rate; epidemiological characteristics

侧卧位通气在有创机械通气患者中的研究进展

牟静静，单欣凝，谷馨雨，朱亚飞，任 吉，孙 洁，李 娜，张 琳

（德州学院 健康医学院，山东 德州 253023）

摘 要：深入探讨侧卧位通气在有创机械通气患者中的应用，总结了侧卧位通气在有创机械通气患者中的适应证、禁忌证、启动时机、中止及终止时机，并进一步探讨了侧卧位通气的实施与护理、并发症以及在技术上面临的护理难点与问题，并且提出了操作中面临突发情况的参考依据，改善患者临床结果。

关键词：侧卧位；有创机械通气；急性呼吸窘迫综合征

中图分类号：R473.5 **文献标识码：**A **文章编号：**1004-9444（2024）04-0062-05

有创机械通气(invasive mechanical ventilation，IMV)是机械通气的一种，主要指应用呼吸机，建立人工气道(包括气管套管、气管插管等)进行机械通气，是急性呼吸衰竭患者常用的开放气道手段[1]。20世纪80年代早期，Remolina等人提出侧卧位可改善单侧肺损伤患者的氧合情况，故临床上通常采用侧卧位结合有创机械通气的方法[2-3]。侧卧位通气（lateral position ventilation，LPV）于2018年被收录到《呼吸病学名词》，是指患者出现呼吸急促、呼吸困难时，通过侧卧的体位进行有创或无创机械通气的方法[4]。而LPV作为一种通气方式，具有较好的舒适性，不仅能有效提高患者血氧分压（PaO_2），改善呼吸功能，且便于护理、对血流动力学的影响小[4-5]。然而，现阶段LPV结合有创机械通气技术尚无统一的护理操作标准，在临床实践中缺乏明确指引。本文就LPV在有创机械通气患者中的应用进行综述，以期为LPV与有创机械通气结合提供实施依据。

1 侧卧位通气技术概述

1.1 适应证

针对呼吸衰竭患者，根据急性呼吸窘迫综合征(acute respiratory distress syndrome，ARDS)诊断标准，建议IMV时采用侧卧位，可以降低风险[6-7]。满足以下条件的患者，可考虑使用侧卧位通气技术进行治疗[8-11]：治疗过程中无明显不适，可接受有创机械通气时间>72 h；患者接受治疗前氧合指数，即氧分压/吸入氧浓度(PaO_2/FiO_2)为150～200 mmHg，且血流动力学稳定；患者诊断为呼吸衰竭。

1.2 禁忌证

目前已知的禁忌证如下[12-13]：血流动力学不稳定；患一侧严重压力性损伤、胸腔积液等疾病；或存在经口鼻吸痰禁忌证，如鼻中隔偏曲、鼻腔狭窄、鼻气道阻塞、鼻骨骨折等；口腔分泌物或痰液过多，难以引流，易误吸；存在腹部手术史；上消化道出血、严重呕吐、肠梗阻等；不宜行体位治疗者如术后强迫体位、特殊麻醉等。

2 侧卧位通气技术的应用

2.1 启动与终止的时机

1）启动时机

患者采用经口气管插管进行有创机械通气治疗，注射咪达唑仑注射液(或丙泊酚)使患者充分镇静，消除人机对抗。先采取仰卧位，后改为侧卧位。若患者出现呼吸困难、呼吸窘迫或氧合指数下降等症状，可考虑立即启动侧卧位通气治疗。进行治疗前，需对患者血压、心率等正常生命体征进行实时监测，血氧饱和度（SpO_2）维持在90%左右[14]。同时，考虑到有创机械通气的特殊性，需要医护人员提前对患者进行心理辅导，使其接受插管治疗，以免发生患者急躁恐惧、非预期拔管等不良事件。

2）中止与终止时机

启用侧卧位通气技术时，需严密监测患者生命体征和氧合指数的波动。一旦患者出现急躁、氧合指数大幅下降、呼吸机频繁报警、非计划性拔管

收稿日期：2024-02-03

作者简介：牟静静（1993—），女，山东禹城人，助教，硕士，主要研究方向为临床护理。

等，需根据患者状况进行干预或停止侧卧位通气[15]。此外，若患者发生血流动力学不稳定、心率异常升高、肺部呼吸障碍等不良反应，应立即中断[16]。另外，需评估患者的舒适程度。医护人员应与患者建立相互信任、沟通良好的关系，积极与患者交流，安抚患者情绪，实施过程中若患者出现疼痛、焦虑等不适，医护人员应及时指导并终止[17]。患者IMV联合侧卧位通气治疗后病情明显好转，并通过急性生理学和慢性健康状况评价Ⅱ(acute physiology and chronic health evaluationⅡ，APACHEⅡ)评分评估，则可顺利撤机[18]。

2.2　侧卧位通气的实施与护理

1）实施前评估与体位变换

入院后，患者经评估符合侧卧位通气治疗标准且自愿接受的，应尽快实施侧卧位通气[19]。相关医护人员应熟练掌握侧卧位通气的基本护理方法及相关知识。对于侧卧位通气的准备工作，医护人员需在患者仰卧位时充分吸除其气管内的分泌物，若患者清醒，在翻身前须进行心理辅导，简单介绍侧卧位通气，使其能配合相关治疗。实行侧卧位通气时，肩与骨盆必须保持在同一平面上，相关医护人员可指导患者侧卧（以左侧为例），两臂屈肘，下腿稍直、上腿弯曲，一手放于枕旁，一手放于胸前，躯干背部及臀部尽量向左侧倾斜并用枕头顶住与床面之间形成夹角，左腿伸直,右腿呈右旋90°并膝关节屈曲，双上肢置于可调节的托手架上，外展不超过90°。同时，可在两膝之间、胸腹部、背部放置软枕，以此来稳定卧位，提高患者舒适度。一般推荐患者使用左侧卧位，以防压迫心脏，造成供氧不足。此外，在进行体位变换时应遵循防止压迫病患部位的原则，即侧卧方向需根据胸部影像检查结果决定，若肺部病变不一致则选择病重侧在上[19]，后改为仰卧位，交替进行，以防压伤患侧，造成患者不适。若两侧肺部病变一致则左右两侧交替侧卧[11]。建议采用45°侧卧位，即体位转换顺序为：45°左侧卧位、45°半坐卧位、45°右侧卧位[20]。在进行侧卧位时，受压的皮肤部位，如耳廓、肩部、髋部、双膝两侧、足踝两侧等骨隆突处，需要做好压疮风险评估及相关护理工作。体位改变时须保证气管导管、呼吸机管路等装置的通畅，防止其脱落。床单如有潮湿，应及时更换，使患者保持干净舒适的状态。

2）实施过程中的监测

在实施侧卧位通气前，医护人员应经过相关培训，熟练掌握侧卧位的操作。同时，医护人员进行操作前应对患者进行心理辅导，告知患者摆放体位的目的和重要性，便于缓解患者的紧张情绪，并且告知患者在摆放体位时，若有不适须及时告知医护人员进行调整，以保证患者生命体征平稳[7]。在此之外，需持续监测患者血压、心率（HR）和血氧饱和度[3]，记录治疗前后2、12、24 h及3、5 d不同时间点的心率、呼吸频率、二氧化碳分压($PaCO_2$)、机体氧合指数、ROX（呼吸频率–氧合指数）指数等检测指标[11]。记录初始仰卧位、侧卧位1 h、转仰卧位1 h后患者的平均动脉压(MAP)、HR、SpO_2并分别采集动脉血，进行血气分析，检测动脉血氧分压(PaO_2)、动脉血二氧化碳分压($PaCO_2$)，计算氧合指数并持续监测。研究表明，侧卧位通气治疗时间越长，患者氧合指数恢复越好。因此可在患者可承受范围内，尽量延长侧卧位通气时间。同时，评估患者对侧卧位的耐受程度，当患者心率超过120 次/min、心律失常、高血压时应及时停止操作并报告医生，在无相对禁忌证的情况下，可增加患者体位改变频次[7]。注意观察患者是否存在气流过强、口鼻干燥、幽闭感及皮肤损伤的不良反应[21]。最后，医护人员要注意观察患者皮肤状况，是否出现红肿、压疮，并及时采取措施。

3　侧卧位通气的优势

侧卧位作为一种常见的手术体位，操作省力、舒适性好，并且能够集中局部受压面积，充分暴露手术视野，使手术顺利进行[22]。相比于其他体位，侧卧位具有显著优势。首先，侧卧位能够改善患者的氧合。临床上发现，侧卧位通气后SpO_2、PaO_2、PaO_2/FiO_2明显上升，变换体位后1 h，患者仍能维持较高的PaO_2/FiO_2，且不影响CO_2清除，说明侧卧位显著改善了患者的氧合状况[3]。其次，侧卧位能够促进痰液引流，控制感染。侧卧位通过改变膈肌的运动方式和位置，使气道炎症分泌物易于排出，不仅能够增加患者排痰量，提高吸痰耐受性，而且降低了气道黏膜损伤的可能性，降低了患者感染的风险[3, 8–9]。另外，侧卧位依从性高，实施安全，在治疗和护理过程中采用此卧位，能够减少并发症，缩短治疗时间，降低住院期间病死率[9]。

4　并发证的预防与处理

侧卧位结合有创机械通气患者，容易因不适应无法建立良好的耐受性，从而产生压疮、胃胀气等不良反应[23]。对此，医护人员需要强化压疮的护理，包括为患者经常更换体位，并对患者长期受压部位皮肤进行评估，观察有无红肿、皮损等现象，若有异常，

须进行皮肤针对性护理甚至停止通气[24]。体位变换时，要遵循人体力学原理，选择适合角度，增大受力面积以减轻单位面积皮肤的受压，可有效降低压疮的发生。对于胃胀气，采取预防为主的原则，呼吸机压力设置不宜太高，吸气压低于24 cmH_2O，以免气流过大导致人机对抗，出现腹胀等不良反应。告知患者尽量避免使用口呼吸，减少吞咽动作，预防胃胀气，必要时行胃肠道减压[25]。侧卧位通气过程中，若患者无意识或氧合指数持续下降至危险值，则立刻应用咪达唑仑注射液 (或丙泊酚) 静脉泵入, 使患者充分镇静，防止发生非预期拔管，造成医疗创伤。稳定10 min后，在1 ~ 2 名医护人员的协作下，将患者置于侧卧位，注意患者手的位置，避免压迫气管插管及胸廓。同时，药物也可缓解其不适症状。

5 侧卧位通气技术面临的护理难点与问题

5.1 侧卧位通气改变体位时的问题

临床上对于侧卧位翻身，多采用左侧卧位、半坐卧位、右侧卧位的顺序交替，由护理人员每3 ~ 5 h为患者翻身1次[26-27]。对于侧卧位结合有创机械通气的患者，由于管道限制，频繁翻身不仅影响患者睡眠，而且增加了器械相关性不良事件的风险，如导管脱落、机器报警等[28-29]。因此，侧卧位通气翻身对技术、人力、器材等方面要求较高，根据患者的具体情况，每3 ~ 5 h翻身1次，于颈下部垫厚枕，腰后垫固定厚枕，腹部同时垫软枕，使患者下肢弯曲并保持腹肌放松[9]。同时在改变体位时，要注意不能压迫患者伤处。在翻转过程中，注意患者生命体征是否平稳[3]，若患者出现心率急速升高或骤停等特殊情况，应停止操作，及时报告医师[18]。还要注意防范动静脉、气道置管等高危管道滑脱的发生，最大限度地降低侧卧位通气的不良反应[30]。

5.2 侧卧位通气持续时间和体位的选择

研究表明，患者的氧合指数与患者进行侧卧位通气时间成正比[30]，即在患者可忍受范围内，应尽量延长侧卧位通气时间，以达到较好的通气效果[31]。通常情况下，侧卧位应根据两肺病变程度采用左侧卧位或右侧卧位。若左侧肺部病灶弥漫明显，则选择右侧卧位进行通气；反之，则选择左侧卧位。若出现两肺病灶弥漫相似或两肺病灶弥漫都较为严重的情况，则采用左、右两侧交替卧位。侧卧位通气时采用软枕托起患者臀部和腰背部。若治疗期间患者出现血流不稳定、烦躁、心率加快等情况，立刻恢复仰卧位通气[32]。

5.3 侧卧位通气中出现呼吸急促、心脏骤停的急救措施

因侧卧位通气技术目前尚未成熟，在临床上使用具有一定的风险，包括在转换体位过程中，可能会出现中心静脉导管、各类引流管脱管等严重并发症[33]，在侧卧位状态下，患者可能由于血流动力学的改变导致氧合指数骤降。因此，护理人员应熟练掌握气管插管术，在患者氧合指数骤降或心脏骤停时，及时开放气道和静脉通路。同时，可在通气前对患者进行指导，若通气过程中出现任何不适，及时报告医生，也可在患者床头贴明指示标志，紧急情况下，呼叫医护人员进行正确操作。

5.4 侧卧位通气过程中气管插管的护理

1）气管插管时的心理和环境护理

对于急性呼吸窘迫综合征的治疗，临床上常采用侧卧位结合有创机械通气的方法，为患者建立人工气道，实现辅助呼吸。然而有创机械通气刺激性较强，患者易产生不适感，在操作前需要对患者进行心理辅导，改善患者的身心状态，提高患者的配合度[34]。由于气管插管，患者的语言功能受到影响，需要医护人员给予更多关心和帮助，克服心理障碍[35]。其次，由于侧卧位通气在气管插管过程中需要充分暴露声门，因此须加强病房内环境管理。确保无菌、清洁，严格控制设备噪音，避免强光直射，确保温度湿度适宜。

2）气管插管时的护理

进行气管插管时，首先要找到插管的准确位置，其次对管道进行有效固定，可采用Y型胶布固定法，保证患者舒适度的同时避免插管随意移动[35]。为避免呼吸道干燥、分泌物干结、痰块阻塞呼吸道等，对于吸入的气体需要进行加温加湿处理。临床上常采用间断推注湿化法、持续滴注湿化法等，痰多且黏稠的患者，必要时应用纤维气管镜对分泌物稀释和吸引。同时，吸入的气体温度须保持在32 ~ 36 °C，避免气体在管道内形成冷凝液引发呼吸及相关肺炎[36]。在通气过程中，医护人员要做好护理巡视，严格检测患者生命体征指标，结合其病情调整呼吸机参数[34]。对于侧卧位通气的器材，如气管插管、吸痰管等，需要选用一次性物品，并及时更换[36]。由于封闭气道后口咽分泌物、食物残渣等易聚集于气管插管气囊上方，因此气囊放气前应彻底吸出口鼻分泌物，进食前气囊应充气，防止食物或液体误入气道[36]。对于吸痰管壁滞留的大量痰液，在吸痰前，可给予生理盐水或2%碳酸氢钠2 ~ 5 ml冲洗[35]。

3）气道吸痰护理

为防止分泌物阻塞气道，影响患者通气效果，

需对患者定期进行吸痰护理。在吸痰过程中，护理人员要注意观察患者的生命体征和肢体语言，判断患者是否出现不适。因吸痰时易引发低氧血症，故吸痰前后给予纯氧1～2 min，吸痰时间为5～10 s为宜[35]。若吸痰过程中血氧饱和度下降幅度超过5%或心律异常，应立即停止并进行相应处理。同时，注意观察痰液浓稠度。Ⅰ度痰 (稀痰) 如米汤或泡沫样，提示感染较轻。若痰量过多，提示气管滴药过量，湿化过度，可减少滴入量和次数。Ⅱ度痰(中度黏液) 外观较Ⅰ度黏稠,需加强抗感染措施。白色黏痰可能与气道湿化不足有关，需注意加强雾化吸入或气管内滴药，避免痰痂堵塞人工气道。Ⅲ度痰(重度黏痰)的外观明显黏稠，常呈黄色[36]。吸痰时医护人员注意严格无菌操作，避免交叉感染[37]。

5.5　侧卧位通气实施过程中的营养支持

在急性呼吸窘迫综合征这种高度炎症的状态下，合理的营养支持至关重要。患者的营养需求随着病情的变化和状况需不断调整，每天总热量104～126 kJ/kg，每天补充蛋白质1.8～2.0 g/kg[38]。同时，护理时要注意，应优先选择易食易消化且富含蛋白质的食物，如鸡蛋、牛奶等。其次，应准确记录食品的出入量，了解患者每日进食情况，适当调整饮食。可视患者状况给予患者肠外营养为主，经口进食为辅的营养支持方案。为确保足够的能量摄入，可以增加进餐次数，多补充高蛋白、高热量食物。注意在进餐时，停止侧卧位[39]。最后，护理过程中要体现人文关怀，提高患者舒适度。

6　小结

LPV是一种舒适、操作简单、便于护理且并发证少的治疗方法，在临床上应用广泛，对于呼吸道及其相关呼吸疾病的研究具有深刻的意义。LPV与有创机械通气相结合可以改善患者的氧合情况，从而减少患者肺部的并发证，提高撤机成功率。同时，LPV作为新型易行的通气手段，在有创机械通气中的应用需要护理人员建立长时间的监测清单，记录患者的呼吸驱动、呼吸肌肌力和耐力等。在实施过程中，需要患者与护理人员建立相互信任、沟通良好的医患关系，有利于更好、更有效地实施通气。对于通气过程中可能出现的非计划拔管、心脏骤停、窒息等情况，需要建立完备的应急措施，以确保患者的安全，使这项技术趋于成熟。

参考文献：

[1] 何凤鸣, 冯灵, 刘燕华, 等. 气道管理在老年有创机械通气患者中的应用进展[J]. 老年医学与保健, 2023, 29(2): 425-428.

[2] Remolina C, Khan AU, Santiago TV, et al. Positional hypoxemia in unilateral lung disease[J]. The new England journal of medicine, 1981, 304(9): 523-525.

[3] 李全业, 张国培, 向斌, 等. 急性呼吸窘迫综合征患者行侧卧位通气的疗效[J]. 临床荟萃, 2015, 30(1): 51-53.

[4] 慈延斌. 有创-无创序贯性机械通气抢救重症呼吸衰竭的临床研究[J]. 中外医疗, 2018, 37(30): 57-59.

[5] 王春刚,王志峰,颜洪顺. 侧卧位通气与机械振动排痰对ARDS患者呼吸指标、炎症指标的影响[J]. 中外医学研究, 2021, 19(1): 156-158.

[6] Meyer N J, Gattinoni L, Calfee C S. Acute respiratory distress syndrome[J]. Lancet, 2021, 398(10300): 622-637.

[7] 朱丽, 李云, 奚慧琴, 等. 1例新型冠状病毒肺炎危重型患者行体外膜氧合治疗中的气道管理[J]. 上海交通大学学报(医学版), 2021, 41(3): 406-408.

[8] 冉雪莲, 高永婵, 刘普瑰, 等. 不同侧卧护理对重症肺炎伴糖尿病患者呼吸频率和氧合指数的影响研究[J]. 贵州医药, 2023, 47(2): 305-306.

[9] 周岐龙, 潘鹏飞, 卢花, 等. 侧卧位通气治疗新型冠状病毒肺炎重症患者的临床研究[J]. 中华重症医学电子杂志(网络版), 2021, 7(1): 21-27.

[10] 周鸿丽, 欧阳婷, 白毅平, 等. 单肺通气期间使用不同呼气末正压通气值对呼吸力学和血流动力学的影响[J]. 浙江医学, 2019, 41(16): 1754-1759.

[11] 石朝积, 王勤, 冉春艳, 等. 经鼻高流量氧疗联合侧卧位治疗ARDS的研究[J]. 现代医药卫生, 2022, 38(24): 4259-4262+4266.

[12] 付祥真, 罗霖, 刘奎, 等. 不同病因急性呼吸窘迫综合征患者侧卧位与俯卧位通气治疗效果分析[J]. 中国全科医学, 2021, 24(23): 2919-2926.

[13] 侯晓敏, 彭焕椽, 朱丽瑜, 等. 改良70°侧卧位用于达芬奇机器人辅助下肾部分切除手术的效果[J]. 护理学杂志, 2023, 38(8): 44-46.

[14] 秦娅蓝, 向建华, 胡明冬, 等. HFNC联合侧卧位通气治疗危重型COVID-19 2例[J]. 中华肺部疾病杂志(电子版), 2020, 13(4): 560-564.

[15] 王娟, 边爽, 唐小苗, 等. 有创机械通气并发气胸的临床诊疗进展[J]. 临床与病理杂志, 2021, 41(11): 2722-2729.

[16] 吴宗辉,丁慧强, 梅海霞, 等. 同步间歇指令通气模式下肺内、外源性急性呼吸窘迫综合征通气治疗的效果比较[J]. 中国现代医学杂志, 2022, 32(20): 66-71.

[17] 蔡凌云, 曾妃, 梁江淑渊, 等. 1例二次肺移植患儿的护理[J]. 中华护理杂志, 2023, 58(22): 2721-2725.

[18] 李洋, 刘雷, 李阔, 等. 撤机后序贯经鼻高流量湿化氧疗对肺癌根治术后呼吸衰竭患者的影响[J]. 中国现代医学杂志, 2022, 32(5): 7-12.

[19] 杜玲玲, 陈小军, 陈其章, 等. 老年急性肺损伤/急性呼吸窘迫综合征患者侧卧位通气疗效观察[J]. 中国老年学杂志, 2007, (7): 676-678.
[20] 黎爱珠, 王鑫, 祝梦婷, 等. 不同角度侧卧位在老年重症肺炎患者中的应用效果[J]. 当代护士(上旬刊), 2021, 28(11): 131-132.
[21] 邹晖, 叶正龙, 梅程清, 等. 高流量氧疗对急性左心衰竭患者有创机械通气拔管后血氧参数、肺功能及呼吸耐受性的影响[J]. 贵州医科大学学报, 2023, 48(5): 603-608.
[22] 姚倩, 赵潇潇, 鲁玉巧. 新型安置架下舒适体位护理在侧卧位手术患者中的应用[J]. 齐鲁护理杂志, 2024, 30(4): 131-134.
[23] Kacmarek R M. Noninvasive respiratory support for postextubation respiratory failure[J]. Resipiratory care, 2019, 64(6): 658-678.
[24] 贾雪, 李慧, 王娟. ICU长期卧床患者压力性溃疡预防中采用综合护理干预的价值[J]. 吉林医学, 2023, 44(2): 527-530.
[25] 卢小芹. 无创通气治疗慢性阻塞性肺疾病合并呼吸衰竭患者的临床护理[J]. 中国现代医生, 2010, 48(24): 45-46.
[26] 周艳, 郭方达, 林晶晶, 等. 智能体压测量床垫的设计和应用[J]. 中华护理杂志, 2023, 58(12): 1533-1536.
[27] 李飞, 严莲, 宋美璇, 等. 气垫床翻身间隔时间对ICU压疮高危患者影响的Meta分析[J]. 护理学杂志, 2018, 33(2): 95-98.
[28] 李桂红, 唐娟. 不同翻身间隔时间对ICU难免压疮发生率的影响[J]. 护理研究, 2017, 31(32): 4141-4143.
[29] 国家卫生健康委将阿兹夫定片纳入《新型冠状病毒肺炎诊疗方案（第九版）》[J]. 中国病毒病杂志, 2022, 12(4): 283.
[30] 俞丹红, 袁孝忠, 周煦燕, 等. 两种肺隔离技术对患者呼吸力学及血流动力学的影响[J]. 浙江医学, 2020, 42(9): 932-934+952.
[31] 钟东影, 梁倩, 黄彩云. 不同体位对慢性肺源性心脏病患者机械通气下潮气量变化的影响[J]. 中国当代医药, 2018, 25(28): 32-35.
[32] 施晓伟.不同体位对COPD联合Ⅱ型呼吸衰竭患者经鼻高流量湿化氧疗预后的影响[J]. 中国现代医生, 2023, 61(16): 111-113.
[33] 赵林芳, 王雅萍. 上腔静脉综合征致PICC非预期拔管的护理体会[J]. 中华护理杂志, 2012, 47(10): 941.
[34] 洪雅莉. 舒适护理在ICU呼吸衰竭有创机械通气患者中的作用[J]. 中国医药指南, 2024, 22(13): 43-45.
[35] 王佑招. 重症监护病房气管插管有创机械通气患者舒适护理的临床应用[J]. 世界最新医学信息文摘, 2017,17(93): 229.
[36] 孙君红, 刘喜红. 机械通气58例有创气道的护理[J]. 中国医药导报, 2009, 6(25): 82+85.
[37] 王丹进, 胡巧苗, 李爱丹. ICU机械通气患者气管内吸痰时插管深度的改进[J]. 解放军护理杂志, 2014, 31(8): 74-76.
[38] 尚昀晛, 韩雪莉, 曾巧玲, 等. 1例门腔静脉半转位肝移植术后患者并发胆漏及十二指肠漏的护理[J]. 中华护理杂志, 2021, 56(2): 260-264.
[39] Behrens S, Kozeniecki M, Knapp N, et al. Nutrition support during prone positioning: an old technique reawakened by COVID-19[J]. Nutrition in clinical practice, 2021, 36(1): 105-109.

Research Progress of Lateral Decubitus Position in Patients with Invasive Mechanical Ventilation

MOU Jingjing, SHAN Xinning, GU Xinyu, ZHU Yafei, REN Ji, SUN Jie, LI Na, ZHANG Lin

(School of Health Medicine, Dezhou University, Dezhou Shandong 253023, China)

Abstract: This article aims to explore the application of lateral position ventilation in patients with invasive mechanical ventilation. By reviewing the relevant literature at home and abroad, this article summarizes the indications, contraindications, starting time, stopping time, stopping time, implementation and nursing, complications, and nursing difficulties and problems faced by the lateral position ventilation in patients with invasive mechanical ventilation. At the end, a reference basis for unexpected situations in the operation is put forward to improve the clinical outcome of patients.

Key words: lateral position ventilation; invasive mechanical ventilation; acute respiratory distress syndrome

基于ACRI的中国–东盟–美国NTMs政策差异对各国部门全球价值链的影响研究

左 力

（德州学院 商学院，山东 德州 253023）

摘 要：基于中国、东盟国家和美国部门间非关税措施（NTMs）双边数据构建的额外合规要求指标（ACRI）及其对中国–东盟–美国的全球价值链（GVC）的影响研究，结果表明，ACRI对前向GVC关联度会产生显著的负向影响，但是不会对后向GVC关联度产生显著影响，同时部门间显示出比较明显的差异性。基于此，提出企业应积极推行规范化和标准化生产和经营，深入了解进口国文化、消费习惯以及工业配套体系，建立海外生产基地及拓展海外销售渠道，以规避ACRI对价值链前向关联度的消极影响；充分利用ACRI对价值链后向关联度影响不显著这一特点，积极提升全球价值链中的后向关联度；对于NTMs监管相对宽松的部门，应通过技术创新积极拓展海外市场。

关键词：额外合规要求指标；非关税措施；全球价值链

中图分类号： F742 **文献标识码：** A **文章编号：** 1004–9444（2024）04–0067–09

0 前言

几十年来，全球关税自由化、技术进步和经济一体化程度显著提高，贸易关税的降低减少了政策壁垒方面的贸易成本，而技术进步和经济一体化降低了运输、信息和合同执行等方面的贸易费用。例如，随着各类多边和双边贸易协定的签订，东盟与中美两国达成多项关税互惠协定。东盟与中美两国的关税壁垒已经大为降低，但是非关税措施（以下简称NTMs）正在变得更加普遍，导致贸易成本仍然很高。非关税措施被广泛定义为除普通关税外的可能对国际货物贸易、贸易数量或价格或两者都产生经济影响的政策措施。据TRAINS数据库数据统计，2010—2019年间东盟对中国和美国实施的双边NTMs数量比2000—2009年间分别增长了251%和245%。可以说以NTMs为主的贸易壁垒正成为影响东盟地区贸易便利化的主要因素。伴随区域全面经济伙伴关系协定（RCEP）的正式签署、“一带一路”倡议与《东盟互联互通总体规划2025》对接加速推进，东盟已超越美国和欧盟成为中国最大贸易伙伴，中国–东盟区域价值链重塑迎来新的机遇。同时，自奥巴马政府出台“亚太再平衡”战略，美、日等国企业已经重新布局其在东盟的生产网络，并开始转移生产基地，这不但会重塑产业链、供应链、价值链的三链秩序，还将引起新一轮投资争夺战[1]。

结合当前各国NTMs正在变得更加普遍这一现象，为探究中国–东盟–美国NTMs之间的差异性对各国部门全球价值链的影响，本文首先构建了反映中国、东盟部分国家和美国在部门间额外合规要求指标（ACRI），然后利用Robust回归分析方法分别检验ACRI与各国部门前向GVC（global value chain）指数和后向GVC指数之间的相关性，并结合研究结论提出相关政策建议。

1 研究综述

1.1 国外研究现状

NTMs对供应链或全球价值链的影响越来越受到研究人员的关注[2–3]。非关税措施会影响企业的固定成本或可变成本，在半成品多次跨越国际边界的供应链中，贸易成本边际增加的影响远大于单一国际交易的情况[4]。有研究认为，非关税措施可以促进更多的贸易[5–6]，特别是在集约型边际上[7–8]。由于非关税措施可以确保某些标准，这些标准可能

收稿日期：2024–01–30

基金项目：山东省社科规划专项基金（22CKFJ01）；德州学院博士基金（2020xjrc228）。

作者简介：左力（1973—），男，山东德州人，博士，副教授，研究方向为国际贸易理论与方法。

表明产品质量更高，从而降低交易成本，这反过来可以提高贸易价值和交易量[9-10]。最新研究则显示NTMs对价值链的影响体现出两面性[11-14]。例如，Kim的研究表明，NTMs的不和谐阻碍了全球价值链的后向参与，但是会积极影响全球价值链中的前向参与；他建议，应统一非关税措施，而不仅仅是消除非关税措施[15]。Korwatanasakul等研究表明非关税措施和关税对后向全球价值链参与都有负面影响，而且非关税措施的影响大于关税措施，并提出降低政策壁垒（特别是非关税措施）可以促进全球价值链参与[16]。Brandt等认为，NTMs可能不会与后向GVC参与产生负面关系，他们的研究结果表明，对中间投入的保护水平降低并不会导致国内增值率下降（或者外国增加值没有上升）[17]。此外，Webb等还在一般均衡（CGE）模型框架下研究了非关税措施对东盟供应链的影响[18]。

1.2 国内研究现状

国内学者的研究结果也发现，在不同发展程度的国家之间、不同的部门之间，NTMs的政策实施效果呈现差异性。例如，梁俊伟等研究表明贸易伙伴对华频繁发起NTMs，使得中国出口的密度边际扩张，但广度边际收缩[19]。韩剑等研究表明NTMs更能增加中国向发达国家出口和从发展中国家进口[20]。刘斌等研究表明制造业投入服务化与服务贸易壁垒的交互作用主要是通过缩短生产步骤和提高中间品价格两种渠道降低全球价值链分工水平[21]。张朝帅等基于服务贸易壁垒与制造业服务化矛盾的视角分析了遭受服务贸易壁垒对制造业全球价值链升级的影响[22]。

1.3 研究评述

综上所述，本文认为已有研究在以下方面为本课题提供了有益的启示：东盟已经成为全球价值链中的核心环节；发达国家和发展中国家采取的NTMs的贸易效应因其在全球价值链上的位置而存在差异；贸易伙伴之间的NTMs之间的差异性是直接或间接影响双边在区域价值链中位置的重要因素。

虽然关于关税与全球价值链参与之间关系的研究很普遍，但过去只有少数文献评估了非关税措施对全球价值链的影响，尤其是关于东盟NTMs对中国–东盟区域价值链的影响研究成果非常少，并且已有关于国家间NTMs监管差异的研究多用多边数据（multilateral data），而本文试图通过利用中国、美国和东盟国家之间的双边数据（bilateral data）构建国家间NTMs监管差异指标，这也成为本文重点关注的问题及创新点。同时，考虑到中国、美国和东盟国家涉及的国家数量较少，因此本文重点研究了相关国家部门层次的NTMs监管差异对全球价值链（前向关联度和后向关联度）的影响。

2 研究方法

2.1 研究变量

1）研究部门划分

因为GVC划分的标准是国际贸易标准分类法（SITC），而NTMs划分的依据是HS编码，为了使二者统一，本文选取了11个RCEP成员国和美国，借助海关编码进出口数据将货物产品分成相应的14个部门（不包括武器、弹药及其零件附件生产部门）。表1对此分类进行了说明。

表1 部门匹配

部门编号	对应部门	HS编码（章）	SITC编码
1	农林牧渔	1～16	0、2、4
2	食品饮料烟草	17～24	0、1
3	采矿业	25～27	2、3
4	化学化工	28～38	5、7、8
5	橡胶和塑料	39～40	2、6、8
6	皮革、鞋类	41～43	2、6
7	木材及软木制品	44～46	6
8	纸浆、造纸及印刷	47～49	6
9	纺织	50～67	5、6、8
10	粗金属及金属加工	68～83	6、7、8
11	电器和光学设备	84～85、90～92	7、8
12	运输设备	86～89	7、8
13	零售贸易（机动车与摩托车除外）家居用品维修	94～96	7、8
14	艺术品，收藏品及古物（办公用品）	97	8

2）变量设置

本文以GVC前向关联度和GVC后向关联度为被解释变量，以*ACRI*（额外合规要求指标）、关税、部门增加值、国家等为解释变量。*ACRI*用以量化出口商在服务外国市场时可能面临的额外监管要求。*ACRI*的值越高，表明目的国和原产国的非关税措施之间的差异越大，监管强度越大，进口国承担的额外监管负担越重。

借鉴Nabeshima等[23]的研究方法，定义：

$$ACRI = 1 - \text{余弦相似度} \quad (1)$$

当$ACRI=0$时，表示出口到目的国没有额外的监管负担，目的国没有对原产国的进口实施监管，或者目的国的进口法规与原产国的相同。当$ACRI>0$时，对原产国的出口商施加额外的监管负担。可能的原因在于：（1）原产国的进口法规与目的国的进口条例不一致；（2）原产国未对目的国实施任何进口法规（$ACRI=1$）。因此，原产国的出口商必须完全适应目的国的规定。

利用余弦相似度，本文首先构建一个向量，该向量表示目的国对原产国实施的关于产品进口的非关税措施监管模式

$$\boldsymbol{F}_{jh}^{D}=(F_{jh1}^{D},\cdots,F_{jhk}^{D},\cdots,F_{jhK}^{D}) \quad (2)$$

其中，F_{jhk}^{D} 是度量类型组 k 中有效的非关税措施的数量。该国内监管模式向量（$\boldsymbol{F}_{jh}^{D}$）由原产国 j 针对所有国家的进口实施的一系列非关税措施（贸易伙伴之间不存在歧视）近似得出。

本文构建了另一个向量，该向量表示目的国 i 对研究对象各国 j 的某一产品 h 的进口监管模式

$$\boldsymbol{F}_{ijh}^{F}=(F_{ijh1}^{F},\cdots,F_{ijhk}^{F},\cdots,F_{ijhK}^{F}) \quad (3)$$

其中，F_{ijhk}^{F} 是类型分组 k 内有效的技术措施的数量。

使用一组对一国和对其他各国监管模式向量（$\boldsymbol{F}_{jh}^{D}$ 和 $\boldsymbol{F}_{ijh}^{F}$），本文接下来对目的国 i 实施的产品 h 有效措施相对于原产国 j 的国内监管制度的附加合规性要求进行近似。我们假设有效措施的程度越大，额外的合规要求就越大。为了量化有效措施的水平，本文应用余弦相似性来衡量出口到外国公司所面临的一系列国内和国外措施的国内监管向量与其他向量的接近程度。如上所述，对一国调节矢量是 $\boldsymbol{F}_{jh}^{D}$，后一个向量 $\boldsymbol{F}_{ijh}$ 是通过将国内和国外向量的每一对元素聚合而构建的，如下所示

$$\boldsymbol{F}_{ijh}=(F_{jh1}^{D}+F_{ijh1}^{F},\cdots,F_{jhk}^{D}+F_{ijhk}^{F},\cdots,F_{jhk}^{D}+F_{ijhK}^{F}) \quad (4)$$

本文假设向外国出口的公司也始终为国内市场服务，因此需要遵守国内和国外措施。$\boldsymbol{F}_{jh}^{D}$ 和 $\boldsymbol{F}_{ijh}^{F}$ 的余弦相似性计算如下

$$\cos\theta_{ijh}=\frac{\boldsymbol{F}_{jh}^{D}\cdot\boldsymbol{F}'_{ijh}}{\|\boldsymbol{F}_{jh}^{D}\|\|\boldsymbol{F}_{ijh}\|}=\frac{\sum_{k=1}^{K}F_{jhk}^{D}F_{ijhk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{K}\left(F_{jhk}^{D}\right)^{2}}\sqrt{\sum_{k=1}^{K}F_{ijk}^{2}}} \quad (5)$$

其中，$\cos\theta_{ijh}$ 使用两个调节模式向量及其幅值的内积表示。θ 是向量之间角度的度量，取值在0°（相同）和90°（正交）之间，因为两个向量都只由具有正整数值的元素组成。由式（1）可知余弦相似性越低，组合向量（$\boldsymbol{F}_{ijh}$）与国内调节向量（$\boldsymbol{F}_{jh}^{D}$）越不相关，即目的国 i 的有效措施程度越大。

2.2　数据来源

中国、东盟各国、美国的关税数据来源于WTO官网，中国、东盟各国以及美国的部门增加值和GVC指数来源于亚洲开发银行（ADB），NTMs数据来源于WTO的TRAINS数据库中的研究对象之间的双边NTMs数据（Bilateral）。此外，数据年份选择为2000～2022年。

2.3　计量模型

由于研究过程中发现大量数据缺失，所以本文采用Robust回归分析方法，对计量模型进行检验。计量模型如下

$$GVC_{Fij}=\beta_0+\beta_{ij}ACRI_{ij}+\beta_{ij}TRIF_{ij}+\beta_{ij}AV_{ij}+\varepsilon_{ij} \quad (6)$$

$$GVC_{Bij}=\beta_0+\beta_{ij}ACRI_{ij}+\beta_{ij}TRIF_{ij}+\beta_{ij}AV_{ij}+\varepsilon_{ij} \quad (7)$$

其中，GVC 表示因变量，ε 表示误差项。GVC_{Fij} 代表某国家 i 的第 j 个部门的前向 GVC，GVC_{Bij} 代表某国家 i 的第 j 个部门的后向 GVC。自变量为 $TRIF$ 表示部门关税，AV 是部门增加值，$ACRI$ 额外合规要求指标。

2.4　数据处理

计算过程中，本文对部门增加值取自然对数；对国家和部门做哑变量处理，部门编码*部门 $ACRI$ 表示部门与部门 $ACRI$ 的交互项；在计算部门 $ACRI$ 时，本文用HS 2位码作为部门代码，用HS 4位码所遭受的NTMs数量拟合部门 $ACRI$；同时，考虑国际通行做法，将针对出口产品的NTMs排除在外[15,17,23]。由于大量数据缺失，在实际计算过程中，本文利用2000～2022年累积的截面数据进行回归。

3　实证分析结果

3.1　ACRI计算结果

将海关编码数据按照对应的部门进行数量统计，由于文莱、柬埔寨、老挝、缅甸部分数据缺失，无法进行统计，因此不计入计算。将2000～2022年东盟、美国对中国，东盟、中国对美国，中国、美国对东盟进口各部门产品实施NTMs措施的数据构建为 $\boldsymbol{A}$ 向量，将2000～2022年中国、东盟、美国对其他各国进口各部门产品实施NTMs措施的数据构建为向量 $\boldsymbol{B}$，按照上文所写的技术路线进行计算得出相关数据，见表2、表3、表4。

1）美国和东盟对中国的分部门 $ACRI$

表2计算结果显示，中国农业、食品和粗金属及金属加工部门遭受的监管强度最为强烈，而化学化工、皮革鞋类、木材及软木制品、电子光学设备以及零售业遭受的监管强度较轻。东盟部分国家对中国进口部门实施的监管强度远大于美国对中国的监管强度，但表现出部门间的差异。其中，越南和马来西亚对中国的粗金属及金属加工部门实施了更高的NTMs监管强度；泰国对中国的农业、食品和电气光学设备部门实施了更高的监管强度；菲律宾对中国的农业和食品部门实施了更高的监管强度；印尼

对中国在农业、纺织和粗金属及金属加工部门实施了更高的监管强度；新加坡对中国在农业、橡胶塑料、粗金属及金属加工和运输设备等部门都施加了较强的监管强度。总体来看，美国和东盟部分国家对中国实施的NTMs主要集中于初级部门和低端技术制造部门[①]，并且东盟部分国家对中国实施的NTMs监管强度要大于美国对中国的监管强度。

表2 美国、东盟对中国分部门*ACRI*

	美国	越南	泰国	菲律宾	马来西亚	印尼	新加坡	平均
农　业	0.1717	—	0.8019	0.6043	—	0.8536	0.8733	0.6610
食品业	0.1350	—	0.9688	0.9309	—	—		0.6782
采矿业	0.0037	—	—	—	—	—		0.0037
化学化工	0.0776	0.2901	0.3107	—	—	0.2344		0.2282
橡胶和塑料	0.0005	0.2414	—	—	0.2414	0.2414	0.5613	0.2572
皮革、鞋类	0.0155	—	—	—	—	—		0.0155
木材及软木制品	0.0164	—	—	—	—	—		0.0164
纸浆、造纸及印刷	0.0618	—	0.3665	—	—	—		0.2142
纺织业	0.0465	—	0.4399	—	—	0.6518		0.3794
粗金属及金属加工	0.1830	0.8393	0.7189	0.43008	0.8315	0.8372	0.8012	0.6630
电气和光学设备	0.0084	—	—	—	—	—		0.0084
运输设备	0.1166	—	—	—	0.0110	—	0.7584	0.2953
零售业(汽车和摩托车除外)、家居用品维修	0.1008	—	—	—	—	—		0.1008
平　均	0.0721	0.4569	0.6011	0.6551	0.3613	0.5639	0.7310	0.4916

注：“—”代表数据缺失

2）中国、东盟国家对美国的分部门*ACRI*

表3计算结果显示，食品、纺织、粗金属及金属加工、运输设备、零售业（汽车和摩托车除外）及家居用品维修部门是中国对美国实施监管的重点部门，而对化学化工、橡胶塑料、木材及软木制品和纸浆造纸及印刷部门的监管较弱。菲律宾对来自美国农业、食品和纺织部门的进口商品实施了较强的监管强度；泰国对来自美国农业、食品部门的进口商品实施了较强的监管强度；马来西亚对来自美国食品、化学化工部门的进口商品实施较强的监管强度；越南对来自美国农业、化学化工部门的进口商品实施了较强的监管强度；新加坡对来自美国农业、化学化工、运输设备和零售业（汽车和摩托车除外）及家居用品维修部门实施了较强的监管强度。

与表2数据比较，中国对美国实施的NTMs监管平均强度要大于美国对中国的监管强度，考虑到特朗普时期美国对中国实施的高关税政策，这也可以在一定程度上理解为中国政府对美采取的一种反制措施，以弥补在关税对抗方面的非对称性。泰国和新加坡对中国实施的NTMs监管强度要大于其对美国的监管平均强度，越南和菲律宾对中国实施的NTMs监管强度要小于其对美国的监管平均强度，马来西亚对中国实施的NTMs平均监管强度与其对美国的监管平均强度大致相当。

表3 中国、东盟国家对美国分部门*ACRI*

	中国	菲律宾	泰国	马来西亚	越南	新加坡	平均
农　业	0.3564	0.4807	0.4162	0.2688	0.8734	0.4232	0.4698
食品业	0.6468	0.9119	0.8609	0.7404	—		0.7900
化学化工	0.2032	—	0.1319	0.3579	0.5352	0.3309	0.3118
橡胶塑料	0.3492	—	—	—	—	0.3325	0.3409
木材及软木制品	0.0707	—	—	0.0219	—		0.0463
纸浆、造纸及印刷	0.1025	—	—	—	—		0.1025
纺　织	0.5880	0.8434	—	—	—		0.7157
粗金属及金属加工	0.4753	—	—	—	0.5661		0.5207
运输设备	0.5206	—	—	—	—	0.7840	0.6523
零售业(汽车和摩托车除外)及家居用品维修	0.4961	—	—	—	—	0.7312	0.6137
平　均	0.3809	0.7453	0.4697	0.3473	0.6582	0.5204	0.5203

注：“—”代表数据缺失，表3中没有印尼，这是因为印尼未公布上述部门对美国实施的NTMs数据，也就无从计算印尼对美国间的*ACRI*。

① 亚洲开发银行（ADB）将农业归为初级产品部门，将食品饮料烟草、纺织品和纺织制造、木材及软木制品、纸浆造纸及印刷、橡胶和塑料等部门归为低端技术制造部门，将化学化工、运输设备归为中高端技术制造部门，将零售业（汽车和摩托车除外）及家居用品维修归为商业服务部门。参见亚洲开发银行（ADB-MRIO-WWZ-Decomposition，2007—2021）。

表4　中国、美国对东盟分部门*ACRI*

		越南	泰国	菲律宾	马来西亚	印尼	新加坡	平均
中国	农　业	—	0.8019	0.6044	—	0.8536	0.6412	0.7253
	食品业	—	0.9689	0.9310	—	—	0.8756	0.9252
	化学化工	0.2901	0.3107	—	—	0.2344	0.1981	0.2583
	橡胶和塑料	0.2414	—	—	0.2414	0.2414	—	0.2414
	纸浆、造纸及印刷	—	0.3666	—	—	—	—	0.3666
	纺织业	—	0.4399	—	—	0.6518	—	0.5459
	粗金属及金属加工	0.8393	0.7190	0.4301	0.8315	0.8372	—	0.7314
	运输设备	—	—	—	0.0110	—	—	0.0110
	平　均	0.4569	0.6012	0.6551	0.3613	0.5637	0.5716	
美国	农　业	0.8734	0.4162	0.4807	0.2688	—	0.3423	0.4763
	食　品	—	0.8609	0.9119	0.7404	—	0.8231	0.8341
	化学化工	0.5352	0.1319	—	0.3580	—	0.1014	0.2816
	木材及软木制品	—	—	—	0.0219	—	—	0.0219
	纺　织	—	—	0.8434	—	—	—	0.8434
	粗金属及金属加工	0.5661	—	—	—	—	—	0.5661
	平　均	0.6582	0.4697	0.7453	0.3473	—	0.4223	0.5286

注：“—”代表数据缺失

3）中国、美国对的东盟分部门*ACRI*

表4计算结果显示，中国对来自越南粗金属及金属加工部门的进口商品，来自泰国农业、食品、粗金属及金属加工部门的进口商品，来自菲律宾农业、食品部门的进口商品，来自马来西亚粗金属及金属加工部门的进口商品，来自印尼农业、纺织和粗金属及金属加工部门的进口商品，来自新加坡农业和食品部门的进口商品均实施了较强的监管强度。美国对来自越南农业、化学化工和粗金属加工部门的进口商品，来自泰国、马来西亚和新加坡食品部门的进口商品，来自菲律宾食品和纺织部门的进口商品均实施了较强的监管强度。

整体来看，中国对越南和菲律宾实施的NTMs平均监管强度低于美国对两国实施的监管强度，中国对泰国和新加坡实施的NTMs平均监管强度高于美国对两国实施的监管强度，中国对马来西亚实施的NTMs平均监管强度与美国实施的监管强度大致相当。

3.2　回归分析结果

回归分析所使用的样本数量如表5。

表5　样本情况汇总

项 目	样本数	占比/%
有效样本	35	100
排除无效样本	0	0
总计	35	100

从国家层面，样本国家涉及中国、美国、新加坡、马来西亚、越南、泰国、菲律宾和印尼，看似只有8个国家，但是对于*ACRI*指数来讲，a国对b国的*ACRI*与b国对a国的*ACRI*是不一样的；在部门层面，a国对b国 *i* 部门实施的NTMs与b国对a国的 *i* 部门实施的NTMs也不一样，导致在 *i* 部门a国与b国之间的*ACRI*，以及b国与a国的之间*ACRI*也不一样。理论上讲应该有72个（8国×9部门）样本，但是由于缺少印尼对美国实施的部门NTMs数据，以及木材及软木制品、橡胶和塑料及造纸部门的数据，实际上得到有效7个国家（美国作为国家哑变量基准不参与回归）、5个部门（食品、运输设备、纺织、化学化工、农林牧渔）的*ACRI*数据，即7国×5部门为35个样本。

在回归分析过程中，本文通过筛选，发现两组模型的检验结果比较理想：一组是部门（哑变量）、部门与*ACRI*的交互项（部门编码*部门*ACRI*，哑变量）、部门增加值（Ln_部门增加值）和部门关税对部门GVC前向关联度的影响关系模型，称为模型一；一组是部门与*ACRI*的交互项（部门编码*部门*ACRI*，哑变量）和国家（哑变量）对部门GVC后向关联度的影响关系模型，称为模型二（见表6和表9）。

1）*ACRI*对部门GVC前向关联度的影响

根据模型一，部门*ACRI*（以交互项部门*部门*ACRI*表示）和部门增加值会对部门GVC前向关联度产生显著的负向影响，而部门关税则不会对部门GVC前向关联度产生显著的影响。这是由于NTMs主要是针对进口产品实施的，因此对指向出口的GVC前向关联度会影响显著。同时，如果某部门的增加值主要来源于出口，随着其国内增加值的扩大，其必然会受到进口国越来越强烈的*ACRI*的影响；而如果该部门其增加值包含了更多的国外增加值（比如进口国创造的增加值），则其受到进口国*ACRI*的影响要低得多。近年来各国关税税率已经普遍大为降低，其对指向出口的部门GVC前向关联度的影响自然也随之降低。

与粗金属及金属加工部门（哑变量基准）比较，纺织、化学化工、农业、食品业等部门会对部门GVC前向关联度产生显著的正向影响关系，而运输设备部门不会对部门GVC前向关联度产生显著影响关系。这有可能是受到部门增加值的结构影响。如表7数据所示，出口国的贱金属及其制品部门的国内增加值占比低于纺织、化学化工、农业、食品业等部门，但高于运输设备。即，纺织、化学化工、农业、食品业等部门的出口更容易受到进口国实施的NTMs的影响；相反，运输设备部门国内增加值占比与粗金属及其制品部门的差异并不明显，因此其受到的NTMs影响与粗金属及其制品部门相比并不明显。

根据模型二，部门*ACRI*（以交互项表示）会对部门GVC前向关联度产生显著的负向影响；相对于美国（哑变量基准），新加坡、马来西亚、越南等国会对部门GVC前向关联度产生显著的正向影响，但是泰国、菲律宾、印尼、中国并不会对部门GVC前向关联度产生显著影响。

表6 Robust回归分析结果（部门GVC前向关联指数）

模型		回归系数	标准误	*t*	*p*	R^2	调整R^2	*F*
	常　数	1.140	0.293	3.896	0.000***			
	部门*部门*ACRI*	−0.021	0.030	−2.654	0.006***			
	Ln_部门增加值	−0.041	0.015	−2.706	0.007***			
	部门关税	−0.001	0.004	−0.310	0.756			
模型一	食　品	0.123	0.081	2.521	0.0102**	0.461	0.296	*F*(8,26)=2.784，*p*=0.023
	运输设备	0.088	0.081	1.080	0.280			
	纺　织	0.330	0.096	3.443	0.001***			
	化学化工	0.317	0.083	3.820	0.000***			
	农林牧渔	0.282	0.117	2.416	0.016**			
	常　数	0.273	0.085	3.215	0.001***			
	国家*部门ACRI	−0.058	0.018	−3.275	0.001***			
	泰　国	0.050	0.102	0.497	0.619			
	新加坡	0.224	0.105	2.121	0.034**			
模型二	菲律宾	0.150	0.101	1.482	0.138	0.464	0.299	*F*(8,26)=2.816, *p*=0.022
	马来西亚	0.294	0.101	2.906	0.004***			
	越　南	0.235	0.101	2.324	0.020**			
	印　尼	0.091	0.106	0.861	0.389			
	中　国	0.015	0.108	0.142	0.887			

注：***表示1%显著水平，**表示5%显著水平，*表示10%显著水平。

表7 部门增加值结构①

	粗金属及金属制品/%	纺织及纺织制品/%	化学化工/%	农业/%	食品业/%	运输设备/%
国内增加值占比	68.22	76.24	73.56	88.12	82.41	69.39
国外增加值占比	31.78	23.76	26.44	11.88	17.59	30.61

表8 国家增加值结构

国　家	国内增加值占比/%	国外增加值占比/%
美　国	85.08	14.92
中　国	86.93	13.07
印　尼	82.22	17.78
菲律宾	76.72	23.28
泰　国	68.20	31.80
新加坡	54.66	45.34
马来西亚	62.10	37.90
越　南	51.00	49.00

由表8数据可以看出，相对于美国（哑变量基准），新加坡、马来西亚和越南出口的国内增加值占比较低，说明这些国家有可能中间品自给率不足，需要大量进口，因此这些国家有可能会对进口产品实施比较强的NTMs监管，表现出对GVC前向关联度影响较大，只不过这种影响呈现出积极的一面，即监管差异有利于中间品的引入，其最终目的在于拓展其产品在国际市场的出口。而中国、印尼和菲律宾出口的国内增加值占比较高，这些国家中间品自给率较为充足，相对于美国，这些国家没有表现出为了扩大最终出口而采取更强烈的监管措施以限制某些中间品进口的动机。

2）*ACRI*对部门GVC后向关联度的影响

如表9，根据模型一，部门增加值会对部门GVC后向关联度产生显著的负向影响关系，但是，部门关税和部门*ACRI*（以交互项表示）不会对部门GVC后向关联度产生显著影响。这是由于部门增加值的增加尤其是本国贡献的增加值的增加会减少对其他国家中间品的依赖，从而降低GVC后向关联效应，因此部门增加值会对部门GVC后向关联度产生显著的负向影响关系。关税主要是对GVC前向关联环节中的进口商品施加影响，因此对以向上游扩张为核

① 部门增加值结构根据亚洲开发银行总出口增加值分解数据整理得到，具体方法将2007年至2021年各国各年度的分部门增加值占比求平均值得到。

表9　Robust回归分析结果（部门GVC后向关联度）

模型		回归系数	标准误	t	p	R^2	调整R^2	F
模型一	常数	1.236	0.253	4.887	0.000**	0.665	0.562	F (8,26)=6.444, p=0.000
	部门关税	0.004	0.004	1.210	0.226			
	Ln_部门增加值	–0.050	0.013	–3.825	0.000***			
	部门ACRI	0.063	0.137	0.461	0.645			
	食品业	0.268	0.061	4.397	0.000***			
	运输设备	–0.012	0.064	–0.187	0.851			
	纺织业	0.413	0.084	4.902	0.000***			
	化学化工	0.357	0.067	5.302	0.000***			
	农业	0.210	0.087	2.418	0.016**			
模型二	常数	0.204	0.102	2.001	0.045**	0.461	0.296	F (8,26)=6.444, p=0.000
	国家*部门ACRI	–0.314	0.166	–1.898	0.058*			
	泰国	0.192	0.108	1.768	0.077*			
	新加坡	0.276	0.112	2.475	0.013**			
	菲律宾	0.239	0.108	2.221	0.026**			
	马来西亚	0.415	0.110	3.787	0.000***			
	越南	0.418	0.107	3.992	0.000***			
	印尼	0.063	0.114	0.553	0.580			
	中国	0.105	0.116	0.907	0.365			

注：***表示1%显著水平，**表示5%显著水平，*表示10%显著水平。

心内容的GVC后向关联度影响不大可以理解。分部门来看，与粗金属及金属加工部门（哑变量基准）比较，食品饮料烟草、纺织、化学化工、农林牧渔等部门会对部门GVC后向关联度产生显著的正向影响关系，但是，运输设备并不会对部门GVC后向关联度产生显著影响。这需要考虑增加值结构的问题，由于食品饮料烟草、纺织、化学化工、农林牧渔等部门较粗金属及金属加工部门国外增加值占比较低，说明该部门对全球价值链的依赖程度更高，强监管并不利于其利用进口技术或原材料向上游扩张。还有一种可能的原因是，食品饮料烟草、纺织、化学化工、农林牧渔等部门较粗金属及金属加工部门效率更高，更能适应NTMs的监管策略。

根据模型二，国家与部门*ACRI*的交互项（国家*部门*ACRI*）不会对部门GVC后向关联度产生显著影响关系（虽通过10%的显著性水平检验，但未通过5%的显著性水平检验）。关于这一点，模型一中的结论再次得到验证。从国家来看，相对于美国（基准哑变量），新加坡、马来西亚、菲律宾、越南会对部门GVC后向关联度产生显著的正向影响关系（均通过5%或1%的显著性水平检验），但是泰国（虽通过10%的显著性水平检验，但未通过5%的显著性水平检验）、印尼和中国并不会对部门GVC后向关联度产生显著影响关系。这有可能是由于新加坡、马来西亚、菲律宾、越南出口的国外增加值占比较高，相对于美国，这些国家具备一定工业基础，但是或者由于本国资源的缺失，或者由于工业技术体系的不完备，这些国家更有动机参与到全球价值链的上游中去，监管的目的必然是包含指向提升GVC后向关联度。

4　结论与建议

利用ACRI数据对各国全球价值链的影响研究所得到的主要结论如下：

整体上，美国和东盟部分国家对中国实施的NTMs主要集中于初级部门和低端技术制造部门，并且东盟部分国家对中国实施的NTMs平均监管强度要大于美国对中国的监管强度，美国对中国实施的NTMs平均监管强度要小于中国对美国的监管强度。中国对东盟部分国家实施的NTMs平均监管强度要大于中国对美国的监管强度。中国对越南和菲律宾实施的NTMs平均监管强度低于美国对两国实施的监管强度，中国对泰国和新加坡实施的NTMs平均监管强度高于美国对两国实施的监管强度，中国对马来西亚实施的NTMs平均监管强度与美国对马来西亚实施的监管强度大致相当。

从部门角度，东盟部分国家对中国的粗金属及金属加工、纺织、农业、食品、电气光学设备橡胶塑料和运输设备等部门都施加了较强的监管措施。东盟部分国家对美国的监管重点主要集中于农业、食品、纺织部门、化学化工部门、运输设备和零售业（汽车和摩托车除外）及家居用品维修部门。中国对美国进口部门实施的监管重点集中于食品、纺织、粗金属及金属加工、运输设备、零售业（汽车和摩托车除外）及家居用品维修部门。美国对东盟部分国家的监管重点集中于农业、化学化工、粗金属及加工、食品部门、纺织等部门。中国对东盟部分国家实施的NTMs监管主要集中于对越南的粗金属及金属加工部门，对泰国的农业、食品和粗金属及金属加工部门，对菲律宾的农业和食品部门，对马

来西亚的粗金属及金属加工部门，对印尼的农业、纺织和粗金属及金属加工部门，以及对新加坡的农业和食品部门。

实证研究结果表明：（1）部门*ACRI*和部门增加值会对部门GVC前向关联度产生显著的负向影响，而部门关税则不会对部门GVC前向关联度产生显著的影响。（2）相对于粗金属及金属加工部门（哑变量基准），纺织、化学化工、农业、食品业等部门会对部门GVC前向关联度产生显著的正向影响关系，而运输设备部门不会对部门GVC前向关联度产生显著影响关系。（3）相对于美国（哑变量基准），新加坡、马来西亚、越南等国会对部门GVC前向关联度产生显著的正向影响，但是泰国、菲律宾、印尼、中国并不会对部门GVC前向关联度产生显著影响。（4）部门*ACRI*（以交互项表示）和部门关税不会对部门GVC后向关联度产生显著影响，而部门增加值会对部门GVC后向关联度产生显著的负向影响关系。与粗金属及金属加工部门（哑变量基准）比较，食品饮料烟草、纺织、化学化工、农林牧渔等部门会对部门GVC后向关联度产生显著的正向影响关系，但是，运输设备部门并不会对部门GVC后向关联度产生显著影响。（5）相对于美国（哑变量基准），新加坡、马来西亚、菲律宾、越南会对部门GVC后向关联度产生显著的正向影响关系，但是泰国、印尼和中国并不会对部门GVC后向关联度产生显著影响关系。

基于上述结论，本文提出：一是对*ACRI*会产生显著负面影响的部门（例如纺织、化学化工、农业、食品业等）积极推行规范化和标准化生产和经营，同时深入了解进口国文化、消费习惯以及工业配套体系，建立海外生产基地及拓展海外销售渠道，以规避*ACRI*对价值链前向关联度的消极影响；二是处于全球价值链低、中端的部门（例如食品、纺织、木材及软木制品、纸浆造纸及印刷、橡胶和塑料等）应充分利用*ACRI*对价值链后向关联度影响不显著这一特点，积极提升在全球价值链中的位置，提高其在价值链中的后向关联度，以缓冲NTMs带来的消极影响；三是处于价值链中、高端的部门（如化学化工和运输设备）应利用NTMs监管相对宽松的优势，通过技术创新大力拓展海外市场。

参考文献：

[1] 杨悦. 东盟对中美竞争的认知与应对[J]. 国际问题研究, 2021(4): 42-60.

[2] Cadestin C, Gourdon J, Kowalski P. Participation in global value chains in Latin America. OECD trade policy papers [EB/OL]. (2016-10-11)[2024-01-01]. http://www.oecd-ilibrary.org/content/workingpaper/5jlpq80ts8f2-en.

[3] Kowalski P, Lopez G J, Ragoussis, et al. Participation of developing countries in global value chains [EB/OL]. (2015-04-01)[2024-01-01]. http://www.oecd-ilibrary.org/content/workingpaper/5js33lfw0xxn-en.

[4] Ferrantino M J. Using supply chain analysis to examine the costs of non-tariff measures (NTMs) and the benefits of trade facilitation [EB/OL]. (2012-02-01)[2024-01-01]. http://hdl.handle.net/10419/57603, 2012-02-01.

[5] Rindayati W, Kristriana O W. Impact analysis of non-tariff measures (NTMs) on Indonesian tuna exports to major destination countries[J]. Journal manajemen&agribisnis, 2018, 15(2): 172-185.

[6] Xiong B, Beghin J. Disentangling the demand-enhancing effect and trade-cost effect of technical measures in agricultural trade among OECD countries[EB/OL]. (2011-09-01)[2024-01-01]. https://ageconsearch.umn.edu/record/116898/files/AgEcon_Disentangling.pdf.

[7] Baier S L, Bergstrand J H. Bonus etus OLS: a simple method for approximating international trade cost effects using the gravity equation[J]. Journal of international economics, 2012, 77(1): 77- 85.

[8] Pramila C, Jasmin G. The impact of sanitary and phytosanitary measures on market entry and trade flows[J].The world economy, 2016, 39(3): 444-473.

[9] Beghin J, Anne-Celia D, Stéphan M, et al. Welfare costs and benefits of nontariff measures in trade: aconceptual framework and application[J]. World trade review, 2012, 11(3): 356-375.

[10] Knut B, Axel M, John S, Wilson. Mutual recognition of accreditation: does it matter to trade? evidence from the food, beverage, and tobacco Industry[J]. Frontiers of economics and globalization, 2013, 2: 291-310.

[11] Beghin J, Anne-C é lia D, St é phan M.Trade restrictiveness indices in the presence of externalities: an application to non-tariff measures[J]. Canadian journal of economics, 2015, 48(4): 1513-1536.

[12] Darhyati A T, Suharno S, Rifin A. Impact of non-tariff measure on Indonesian cacao exports[J]. International journal of agriculture system, 2017, 5(2): 175-184.

[13] El-Enbaby H, Hendy R, Zaki C. Do SPS measures matter for margins of trade? evidence from firm-level data[J]. Applied economics, 2016, 48(21): 1949-1964.

[14] Jordaan C. Impact of non-tariff measures on trade in Mauritius[J]. Foreign trade review, 2017, 52(3): 185-199.

[15] Kunhyui K. Non-tariff measures and the global value chain participation[J]. Journal of economics, business and management, 2021, 9(1): 1-8.

[16] Korwatanasakul U, Baek Y. The effect of non-tariff measures on global value chain participation[J]. Global economic review, 2021, 50(3): 1-20.

[17] Loren B, Morrow P M. Tariffs and the organization of trade in China[J]. Journal of international economics, 2017,104(C): 85-103.

[18] Webb M, Strutt A, Gibson J, et al. Modelling the impact of

non–tariff measures on supply chains in ASEAN[J]. The world economy, 2020, 43: 2172–2198.
[19] 梁俊伟, 魏浩. 非关税措施与中国出口边际[J]. 数量经济技术经济研究, 2016, 33(3): 3–22+77.
[20] 韩剑, 张倩洪, 冯帆. 超越WTO时代自贸协定的贸易创造效应: 对关税与非关税措施贸易影响的考察[J]. 世界经济研究, 2018(11): 51–64+136.
[21] 刘斌, 赵晓斐. 制造业投入服务化、服务贸易壁垒与全球价值链分工[J]. 经济研究, 2020, 55(7): 159–174.
[22] 张朝帅, 韦倩青. 服务贸易壁垒对制造业GVC升级的影响研究: 基于跨国面板数据的实证分析[J]. 技术经济, 2021, 40(12): 85–95.
[23] Nabeshima K, Obashi A. Impact of regulatory burdens on international trade[J]. Journal of the Japanese and international economies, 2021, 59(3): 1–12.

A Study on the Impact of China–ASEAN–U.S. NTMs Policy Differences on Global Value Chains in Various Sectors Based on ACRI

ZUO Li

(School of Business, Dezhou University, Dezhou Shandong 253023, China)

Abstract: The results of the study of the Additional Compliance Requirements Index (ACRI) and its impact on the China–ASEAN–U.S. global value chain (GVC) based on the bilateral data of NTMs between China, ASEAN countries and the United States show that ACRI has a significant negative impact on forward GVC, but not on backward GVC, and there are obvious differences between sectors. Based on this, this paper proposes that enterprises should actively promote standardized and standardized production and operation, have an in–depth understanding of the culture, consumption habits and industrial supporting systems of importing countries, establish overseas production bases and expand overseas sales channels, so as to avoid the negative impact of ACRI on the forward correlation of the value chain, make full use of the fact that ACRI has no significant impact on the backward correlation of the value chain, and actively improve their position in the global value chain.
Key words: indicators of additional compliance requirements; non–tariff measures; global value chains

(上接第38页)

Lane Line Detection Method Based on MFLD

DUAN Huilin[1,2], SUN Jianli[1,2], ZHANG Jianchen[3*]

(1. School of Information and Control Engineering, Jilin Institute of Chemical Technology, Jilin Jilin 132022, China; 2. School of Computer Science and Information, Dezhou University, Dezhou Shandong 253000, China; 3. Shandong Vocational College of Electronics, Jinan Shandong 250200, China)

Abstract: In the field of autonomous driving, lane detection is a crucial and challenging task. Traditional visual lane de–tection methods are slow, complex, and require manual intervention, whereas convolutional neural network (CNN)–based deep learning methods can effectively overcome these issues, providing a key impetus for the advancement of autonomous driving technology. There are many methods for lane detection based on convolutional neural networks, and among the popular methods in recent years, the Ultra Fast Lane Detection (UFLD) algorithm has achieved good results in lane de–tection. This paper designs a new model named MobileNet–Fast Lane Detection (MFLD) based on the UFLD algorithm, combined with MobileNetV2 and the Convolutional Block Attention Module (CBAM) attention mechanism. This model achieves a detection accuracy of 92.8% on the Tusimple dataset, improving by 2.3% compared to UFLD, while the operat–ing speed reaches 129 FPS. On the CULane dataset, the detection accuracy improves by 2.5%, 2.5%, 2.9%, 1.8%, 1.0%, 2.5%, 1.3%, 5.1%, and 6.4% in different scenarios compared to UFLD.
Key words: lane detection; UFLD; attention mechanism; deep learning

元宇宙赋能智慧图书馆：内涵特征、应用场景与建设路径

陈秀英，李志超，于成华，李粤红

（德州学院　图书馆，山东　德州　253023）

摘　要：元宇宙的出现给图书馆的智慧化发展带来了新的理念和技术支撑，必将重塑智慧图书馆的建设路径。图书馆应抓住机遇，紧跟元宇宙时代变革，加强智慧图书馆建设。文章从元宇宙和智慧图书馆的关系入手，探讨元宇宙赋能智慧图书馆的内涵特征，构建元宇宙技术下智慧图书馆的应用场景，在分析元宇宙视域下智慧图书馆建设存在问题的基础上，从设施、技术、资源、人才、监管等5个方面提出智慧图书馆的建设路径。

关键词：元宇宙；智慧图书馆；技术赋能；应用场景；建设路径

中图分类号：G250.7　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1004-9444（2024）04-0076-07

随着数字孪生、虚拟现实、人工智能、区块链等新技术的发展，元宇宙成为互联网近年来最火爆的概念之一。元宇宙作为一种虚实结合的新型互联网业态，将深刻影响并彻底改变人类社会的生产、生活和学习方式，受到了科技界、金融界和文化教育界等各个领域的高度关注。图书馆作为知识服务与数字资源管理的研究机构，也高度关注元宇宙的发展，并探索图书馆事业与元宇宙结合所带来的发展图景。

2021年3月发布的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035年远景目标纲要》中首次提及智慧图书馆建设内容，将智慧图书馆建设上升到国家战略层面。这标志着国家高度重视智慧图书馆的建设与发展，智慧图书馆将迎来新的发展阶段。智慧图书馆历经20年的发展，虽然取得了一定的成就，但图书馆要走向全面的智慧化需要新的理念、方法和技术，元宇宙的出现为智慧图书馆的发展提供了新的思路和技术支持。因此，促进元宇宙与智慧图书馆的融合，把智慧图书馆建设成为元宇宙生态的一部分具有必要性和可行性。

本文以元宇宙为视角，在分析元宇宙和智慧图书馆关系的基础上，研究图书馆与元宇宙融合的内涵特征，构建元宇宙技术赋能智慧图书馆的应用场景，提出智慧图书馆的建设路径，以期为元宇宙和智慧图书馆的相关研究提供参考借鉴。

1　元宇宙赋能智慧图书馆的内涵特征

图书馆与元宇宙具有密切联系，两者可以融合发展。元宇宙赋能智慧图书馆具有可行性，图书馆借助元宇宙理念技术可构建虚实融合的元宇宙图书馆空间，为读者提供实时沉浸式的智慧服务。

1.1　元宇宙与图书馆的关系

通过文献梳理发现，元宇宙与图书馆具有密切联系。从图书馆学理论角度看，吴建中[1]认为，图书情报界之所以关注元宇宙，不仅与这个行业特有的信息与数据管理技能有关，而且与将交流置于重要位置的图书馆核心价值有关。马费成[2]认为，图书情报学科与元宇宙存在三大共通之处，即对数据要素化的认知、智慧智能的探索、知识服务和用户体验的追求。刘春燕[3]认为，元宇宙与图书馆具有相同的契合点，二者所提供的服务方式和内容载体有共通之处，均提供了一个连接用户与内容的虚拟平台，并通过数字化手段为用户提供多种服务体验，从而增加用户基数，通过提高用户黏性获益。两者的不同之处在于，图书馆提供内容中心化服务，主要围绕提升用户阅读体验，而元宇宙平台提供内容不受业务限制，覆盖范围广泛。从技术的角度看，元宇宙与图书馆技术体系均涉及 VR/AR（virtual reality/augmented reality）、云计算、人工智能和区块链等，二者技术积累与演进方向类似，具有高度的亲缘性。因此，元宇宙与图书馆学理论

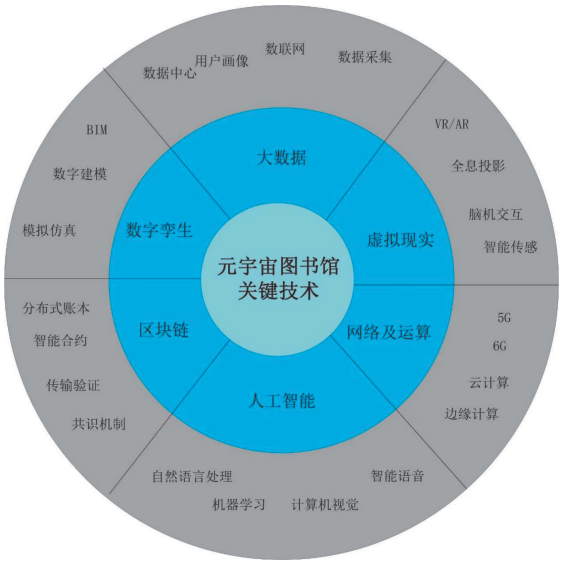
收稿日期：2024-04-07
基金项目：德州市哲学社会科学研究课题：元宇宙视域下智慧图书馆建设路径研究（2023DZZS034）。
作者简介：陈秀英（1972－），女，山东临邑人，副研究馆员，主要从事图书馆学理论和读者服务研究。

逻辑相似，技术体系趋同，二者建立了相辅相成、合作共赢的天然联系，可以促进两者融合发展。

1.2　元宇宙赋能智慧图书馆的内涵特征

图书馆与元宇宙的结合，催生了元宇宙图书馆、图书馆元宇宙等概念。赵志耘等[4]认为元宇宙与图书馆是可以相互赋能并共同发展的。元宇宙可以通过其自身理念和技术赋能图书馆建设，即元宇宙图书馆，同时，可应用图书馆丰富的馆藏资源与知识组织体系赋能元宇宙建设，即图书馆元宇宙。

图书馆与元宇宙的融合是智慧图书馆发展的趋势。要实现两者的融合，就是利用元宇宙理念与技术，构建虚实高度互融互通的知识管理和服务生态体系，生成一个平行且独立于现实图书馆、满足用户信息资源和知识服务需求的图书馆元宇宙空间，其具有虚实融合、沉浸式体验、具身社交、多元协作的内容创造和去中心化的经济系统等主要特征。它是在元宇宙环境下依托数字孪生、虚拟现实、区块链等技术构建的智慧图书馆，是图书馆智慧服务拓展到虚拟空间的新形态，不仅深度融合了现实空间和虚拟空间，而且拥有丰富的信息资源，可以更好地满足用户知识服务的需求。元宇宙智慧图书馆突破了时间、空间和资源的限制，扩展了图书馆的服务领域与边界，推动图书馆服务业态转型升级，产生了线上线下深度融合的智慧服务新模式，为用户提供动态交互、虚实结合、实时沉浸式的空间体验。



注：BIM为building information modeling。
图1　元宇宙图书馆关键技术

本研究认为，智慧图书馆具有与元宇宙相同的核心特征：技术整合、虚实结合、沉浸式体验和具身社交。

1）技术整合

智慧图书馆以5G/6G、大数据、虚拟现实、数字孪生、区块链和人工智能等多种新型技术为支撑（见图1），与元宇宙深度融合，通过整合多学科技术，在元宇宙图书馆构建完整的经济系统和全面的文明体系，使用户不受时空限制进行学习、社交、创作和交易等活动，并获得沉浸式体验。如5G/6G、云计算和边缘计算能够提供强大的网络传输和计算能力，实现网络低延迟和大规模数据的实时处理，保障元宇宙图书馆平台运行流畅。在图书馆虚实界面，利用虚拟现实技术为用户提供沉浸式的交互体验。通过数字孪生技术生成现实世界的镜像，实现虚实世界的融合共生和数据传递。区块链等技术应用于数字资源的生产、管理与共享，支持用户认证和价值流通变现，确保资源的安全性和可追溯性。元宇宙借助大数据和人工智能技术，能够为智慧图书馆提供“最强大脑”，为用户提供个性化和智能化服务。在内容生产方面，图书馆可利用人工智能技术实现数据信息的智能生产，通过创建模型和数据训练保证内容生产的质量。

2）虚实结合

元宇宙图书馆是虚实结合的空间，用户能够依托虚实交互界面和虚拟现实技术，实现信息在虚拟与现实图书馆空间的高度互通。用户也可以根据现实需要，以多重身份在虚拟与现实图书馆之间穿梭互动。

3）沉浸式体验

沉浸式体验是元宇宙图书馆的重要属性，虚拟现实技术（VR/AR）的发展，使元宇宙图书馆实现沉浸式变为现实。用户通过数字化身借助人机交互设备能够体验真实图书馆无法获得的信息和感受。

4）具身社交

社交属性是元宇宙图书馆的重要特征。元宇宙图书馆是立体式、沉浸式的具身互联网，能够丰富社交场景，为用户提供全景式的社交感知体验。

此外，元宇宙智慧图书馆能全面感知图书馆人、机、物、环境等要素及彼此之间的关联关系[5]，并且借鉴了元宇宙创建读者分享模块，搭建虚拟交流平台和构建经济系统[6]等理念特性。因此，元宇宙智慧图书馆还具有全域感知、多元协作的内容创造和去中心化的经济系统等特征。

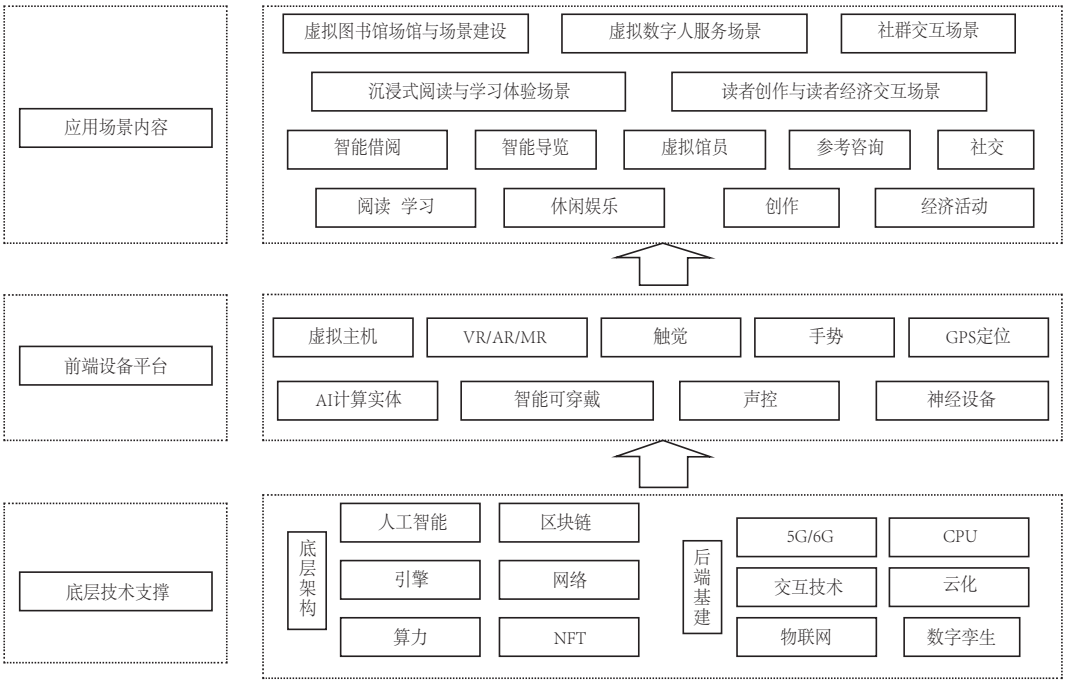
2　元宇宙技术下智慧图书馆的应用场景构建

2.1　元宇宙智慧图书馆的应用场景技术框架

元宇宙给智慧图书馆带来了新的场景，本研究以读者为中心，在充分了解读者需求的基础上，结

合元宇宙的特征和已有的研究，构建出智慧图书馆在元宇宙环境下的应用场景技术框架。技术赋能下智慧图书馆应用场景的基本框架主要由底层技术支撑、前端设备平台和应用场景内容三部分构成（见图2）。

为满足读者智能借阅、咨询、社交、阅读学习、休闲娱乐和自由创作等需求，元宇宙赋能下的智慧图书馆主要有虚拟图书馆场馆与场景建设、虚拟数字人服务、社群交互、沉浸式阅读与学习体验、读者创作与读者经济交互等五大应用场景。



注：MR为mix reality; GPS为global positioning system; NFT为non-fungible token; CPU为central processing unit。
图2 元宇宙智慧图书馆应用场景技术框架

2.2 应用场景分析

1）虚拟图书馆场馆与场景建设

在虚拟场馆建设方面，图书馆依托数字孪生技术、VR技术和人工智能技术构建线上的虚拟场馆和场景建设，对现有的实体图书馆进行虚拟化，将图书馆的馆藏和服务突破时空限制延伸到虚拟图书馆，同时还可增加虚拟导览、虚拟书架、用户浏览、虚拟展览等服务项目。读者穿戴 VR/AR 设备，可以随时随地进入任何一个虚拟图书馆进行浏览、参观，全景观、全方位查看图书馆的环境、资源和设施，并和在实体图书馆一样，与图书馆工作人员交流互动，进行信息咨询、资料查询、图书借阅和参加阅读活动等。由于虚拟图书馆提供与线下图书馆相同质量的服务，读者可以达到身临其境的体验效果。另一方面，图书馆也可利用AR技术在当前的实体场馆中进行虚拟信息叠加，将图书馆的实体空间变为虚实融合空间，实现图书馆实体与元宇宙的“无缝”连接，为读者提供更丰富的图书馆空间活动和体验。通过拓展现实技术实现现实场景的虚拟化、实景体验的线上化。

2）虚拟数字人服务场景

在图书馆智慧服务中，最能体现元宇宙赋能色彩的就是虚拟数字人服务。虚拟数字人是指存在于虚拟世界中、通过人工智能等多种数字技术打造的虚拟数字形象，它具备人的外貌特征、面部表情和肢体动作，具有一定的感知、语言表达能力和交互能力。元宇宙环境下，智慧图书馆可以构建具有自身特色的虚拟数字人提供智慧服务。虚拟数字人作为图书馆服务性NPC(非玩家角色)，能够替代馆员从事参考咨询等工作。作为用户专属的参考咨询馆员，能智能解答常见的用户咨询问题，向用户提供智能检索、虚拟导览、阅读推荐、资料查询和资源付费等全流程服务。同时，虚拟数字人具有自主学习能力，通过分析用户需求，向用户提供个性化的定制和推送服务。此外，虚拟数字人也可为用户提供情景陪伴服务，以朋友、书童的角色，与用户建立情感连接，和用户一起阅读、学习和研究，提供24小时一对一伴读服务。

3）社群交互场景

在元宇宙环境中，智慧图书馆能为读者提供沟

通的社交网络，建立沉浸式的社群交互场景。读者凭借虚拟化身进入图书馆提供的虚拟交流平台，可以与其他读者、馆员和图书馆资源进行深度交互，形成虚实融合的多层次社交网络结构，实现读者之间、读者与图书馆元宇宙之间的非线性交互。读者不仅是社交活动的发起者，也是参与者。沉浸式体验是元宇宙的核心特征，读者借助VR/AR设备在真实世界和虚拟世界中交替穿梭，不仅可以根据自己的兴趣爱好选择进入虚拟社群，参与社群组织的各种活动，与共同兴趣的群体进行交流，也可以进入自由交流的虚拟空间，发挥自身的想象力和创造力，与其他读者交流互动。

4）沉浸式阅读与学习体验场景

元宇宙图书馆构建了一个虚拟与现实高度融合的阅读空间，为读者提供沉浸式的阅读与学习体验。利用数字孪生、云计算、虚拟现实、AI（artifical intelligence）视觉等技术，对图书馆的馆藏文献信息资源进行编辑处理，使其成为智能资源进入虚拟空间，让读者能够不限地域、不限时间地徜徉其中并与其智能交互，改变了传统纸质图书阅读或网上数字阅读简单枯燥的阅读方式。通过元宇宙的无线连接，在虚拟图书馆阅读，读者看到的不仅是文字和图片，而且是读者所需要的与书中内容相关的所有知识、场景、人物与事件，读者可以随时进入到虚拟场景中进行学习。这样一种虚实相融的新型图书馆阅读场景，可以提高读者沉浸式阅读与学习体验。

5）读者创作与读者经济交互场景

元宇宙是开放、共享的空间，支持用户生成内容（UGC），图书馆在元宇宙平台创建用户分享模块，读者可以在元宇宙空间对馆藏资源进行创作，建立自己的知识空间，并通过虚拟知识空间发布数字原生作品。不同读者发布的数字作品构成了不同的知识空间，它们又与元宇宙环境中图书馆的数字知识资源产生了高度关联，这些数字产品都将成为元宇宙图书馆的重要组成部分。同时，图书馆还可以在元宇宙构建自己的经济系统，对用户活动进行管理。经济系统的关键在于，利用区块链技术将读者在虚拟数字空间活动中创作的数字产品确权，设置在智慧图书馆中流通的数字货币，并明确交易规则。用户能够在图书馆售卖自己的数字作品并获得收益。元宇宙图书馆的开放式创造特征和经济系统的安全稳定运行是智慧图书馆未来稳步发展的动力，它不仅激励用户在虚拟平台上开展创作，也提高用户使用元宇宙图书馆的积极性。

3　元宇宙智慧图书馆建设面临的问题

元宇宙给智慧图书馆带来了新的机遇，必将加速图书馆的智慧化进程。但对元宇宙的研究与实践处于起步发展阶段，具有较多的不确定性，甚至存在很多风险，要实现元宇宙与图书馆的全面融合和广泛应用，保障智慧图书馆健康有序发展，还需要理念创新、技术创新和制度创新。当前元宇宙智慧图书馆建设主要面临以下问题。

3.1　技术基础薄弱

元宇宙作为一个依托于现实世界的数字虚拟世界，其构建需要先进的技术和完善的硬件设备。现阶段图书馆的网络运行算力，如5G/6G、云计算等技术还无法支持大规模的元宇宙建设。数字孪生、AR/VR、区块链、人工智能等底层技术与元宇宙图书馆实际应用需求存在较大差距。技术局限性是智慧图书馆发展面临的瓶颈，图书馆要实现全面的智慧服务还需要颠覆性的技术创新。

3.2　数字资源建设困难

元宇宙智慧图书馆需要大量的数字资源支持。目前，图书情报机构普遍存在资源整合标准缺失、服务形式受限、资源确权困难等问题。从资源整合角度看，图书馆资源来源广泛、种类繁多、形态多样、分散无序，如何高效整合多源信息，构建不同类型信息资源的语义网络，以满足读者在虚拟空间的不同场景需求，是图书馆建设需要重点考虑的问题。从资源生产角度看，元宇宙中产生的数字资源知识产权如何界定， 网络数据安全如何保障等都是智慧图书馆未来面临的问题。

3.3　馆员人才结构不合理

人才是智慧图书馆建设的核心，元宇宙智慧图书馆建设是系统工程，需要具有转型意识、创新理念和技术知识的图书馆员参与其中，才能推动其建设与发展。从图书馆的现实情况看，我国大多数图书馆存在专业技术人才缺乏，图书馆员创新能力不足，无法胜任元宇宙图书馆服务等问题。图书馆应该提早规划，为元宇宙智慧图书馆的建设储备优秀人才。

3.4　法律法规不完善

智慧图书馆的建设涉及到数据安全与隐私保护、产权保护等一系列法律法规问题，需要用法律手段保障其健康发展。目前关于元宇宙的法律法规并不完善，没有建立起专门针对元宇宙智慧图书馆的法律体系，如何在虚拟世界建立完善的法律机制和监管机制，确保资源的合法性和安全性，是元宇宙智慧图书馆建设必须面对的问题。

4 元宇宙视域下智慧图书馆的建设路径

元宇宙既是机遇也是挑战，针对元宇宙环境下智慧图书馆建设存在的问题，应该从以下五个方面入手，实现智慧图书馆的建设与发展。

4.1 加强新型基础设施建设，为智慧图书馆建设提供硬件保障

元宇宙智慧图书馆建设是一项规模宏大、技术先进的复杂工程，它需要规模更大、算力更强的新型基础设施建设。基础设备设施是构建智慧图书馆的物理基础，是接收网络信号，处理、转换信息和发送信息，开展信息服务的重要平台。因此图书馆应加大资金投入，重视与元宇宙相关的新型基础设施建设。

首先，搭建智慧图书馆虚拟现实平台。利用虚拟仿真技术为读者创造虚实融合、具有真实沉浸感的场景，使读者不受时空限制，进行学习、社交、办公、创作、娱乐等活动。其次，还要配备必要的配套设施，为沉浸式体验提供硬件保障。智慧图书馆需要更先进的通信网络技术。5G 以及未来的 6G 技术具有高速率、低延迟、低耗能以及可连接设备规模大等特点，能为读者提供低延迟、零等待的服务。同时，云计算和边缘计算等设备为大量数据的处理提供算力支持，保证数据的实时更新，低成本支撑元宇宙的实时性。因此，图书馆要加大投入5G/6G 通信网络与云计算等基础设施建设，加强图书馆智能楼宇和智能设备的建设，提升图书馆的运行效率，增强用户和图书馆智能楼宇交互，满足用户多元化需求。此外，增加VR导航、虚拟漫游和3D阅读功能，使用户沉浸式体验在图书馆空间的智能导航、游览和阅读等活动。设置虚拟馆员进行馆藏资源的讲解与引导，与读者交流互动，并提供全天候、实时的在线服务。让读者线上游览图书馆全景空间，全面了解图书馆的布局、服务和资源，仿佛置身于真实的图书馆。

4.2 关注元宇宙核心技术研发，丰富新技术在智慧图书馆的应用实践

元宇宙是由虚拟现实、数字孪生、人工智能、区块链、5G/6G等多种核心技术构成的集合体，核心技术的集群开发与综合应用是元宇宙走向成熟的根基[7]。为解决技术瓶颈问题，图书馆应紧跟元宇宙发展趋势，加强与相关企业和科研机构的合作，密切关注元宇宙核心技术的研发进展，丰富新技术在智慧图书馆的应用实践。

首先，智慧图书馆要密切关注业界相关技术演进，加快技术推广，逐步建立一支兼具业务素质、研发能力与技术能力的跨界融合人才队伍，促进不同领域、不同行业与图书馆业务的研发合作，实现虚拟现实技术、数字孪生、人工智能、区块链等技术和智慧图书馆的融合。其次，对于图书馆来说，向相关行业精准表达自身的需求也会促进行业技术的创新与发展，有利于研制出适合图书馆用户需求的数字产品。最后，智慧图书馆积极尝试元宇宙核心技术，丰富新技术在图书馆的实践。如尝试构建数字孪生图书馆，在虚拟空间开展数字化、虚拟化和沉浸式服务。利用人工智能技术创建用户专属的虚拟数字人，为用户提供虚拟馆员服务。在阅读场景方面，智慧图书馆可利用VR/AR技术提供集文字、图像、音频、视频、动画等为一体的全媒体阅读场景。在图书馆馆藏文献数字化的基础上，也可尝试利用虚拟现实技术和数字孪生技术，构建古籍文献和特色文献虚拟仿真的立体化资源模型，让珍贵的资源展现出来，供用户检索与阅读使用等。

4.3 汇聚和整合多种信息资源，便于智慧图书馆数字资源开发与利用

随着数字技术的发展，数字资源价值受到广泛关注，使得图书馆越来越重视数字资源建设。随着元宇宙时代的到来，如何用元宇宙赋能图书馆的资源开发和整合，使这些资源数字化、虚拟化、场景化、智慧化，为智慧图书馆提供立体化和可视化的资源支持，便于读者沉浸式使用，是创新智慧图书馆服务的根本。

1）推进馆藏资源数字化，汇聚多源信息资源

元宇宙拓宽了图书馆数字资源建设的渠道。图书馆的数字资源迅速上升，主要包括元宇宙图书馆用户创作的数字内容、用户行为数据资源和图书馆在虚拟空间产生的3D虚拟数字资源。因此智慧图书馆要汇聚多源信息资源，丰富数字资源建设体系。首先，加强馆藏资源开发建设。文献资源数字化是建设智慧图书馆的重要基础性工作，图书馆要加快推进馆藏文献资源数字化，重点购买中外文数据库，在此基础上，深度开发网络信息资源。其次，汇聚元宇宙用户创作的数字内容。元宇宙是一个开放、共享、可创作的世界。UGC成为图书馆数字资源的重要生长点，应鼓励用户在图书馆创作平台大规模生产自己的数字作品，把UGC纳入智慧图书馆资源建设体系。再次，注重用户行为数据的收集、分析和管理。用户与虚拟环境、虚拟物品和虚拟人进行交流互动，会产生大量的行为数据，被记录下

来的数据可成为图书馆开展智慧服务的重要数据资源。最后，重视3D虚拟空间资源建设。元宇宙环境下，虚拟环境、虚拟物品和虚拟数字人都成为图书馆在虚拟空间产生的3D数字资源。通过数字孪生技术建立与现实图书馆相互映射的虚拟图书馆，利用虚拟生命技术构建与用户在虚拟空间交流互动的虚拟数字人，丰富智慧图书馆3D虚拟空间资源。

2）促进数字资源整合与重组，便于数字资源流通与利用

图书馆资源来源广泛、种类繁多、形态多样、分散无序，没有形成知识服务体系，不能满足读者快捷获取知识的需求，需要对数字资源进行整合与重组。向安玲等[8]认为，元宇宙作为整合性技术，为数字资源的多模态融合、可视化呈现、交互操作和价值转化提供了想象空间，并从知识重组角度，提出了元宇宙时代数字资源管理的技术优化路径。

要实现数字资源在元宇宙场景的重构，需要搭建多模态数字资源整合平台。首先，利用数字孪生技术对多种形态的数字资源进行细颗粒度的标引和逻辑关联构建，构建大规模的实体关系网络，形成数字资源知识、事理图谱，使之以孪生形态在元宇宙中重构，通过空间映射完成数字资源在更高维度空间的整合[9]。其次，利用本体技术和图谱技术，构建不同数字资源间的实体和场景关联，实现跨场景、跨时空、跨资源、跨模态的融合。通过知识重组，生成实用性和便捷性更高的情景式知识资源，以便为读者提供多元化、沉浸式的知识检索服务。最后，在资源利用方面，智慧图书馆可以发挥专长，建立可视化资源检索系统，使读者在元宇宙场景入口的虚实交互界面实现资源的检索、浏览和互动。

4.4　优化馆员人才结构，创新元宇宙智慧图书馆服务方式

元宇宙智慧图书馆的建设与发展应将馆员的人才引进和能力建设作为首要任务。

1）引进高素质人才，增加人才储备

图书馆要提早规划，吸纳具有技术能力和业务素质的优秀人才。有针对性地引进具有转型意识、创新理念和元宇宙核心技术的专业人才，重点关注VR/AR/MR/XR（XR为extended reality）、人机交互、人工智能、数字孪生和区块链等新兴技术领域人才。同时，提高馆员准入门槛，在招聘人才时，注重考察应聘者的用户需求分析能力、数据管理能力、数字资源服务能力、技术研发能力等专业素养，通过吸收兼具技术能力和业务素质的复合人才，为智慧图书馆建设提供人才储备。

2）提升智慧馆员能力，创新图书馆服务方式

首先，元宇宙给智慧图书馆带来了全新的数字化环境，图书馆要适应新技术、新环境的发展，必须转变传统的管理模式和服务方式，这就对馆员的管理和服务能力提出了更高的要求。面对新技术、新环境、新空间、新载体，馆员需要一个学习适应的过程，应该对全员进行业务知识和元宇宙技术素养等方面的培养，不断加强新知识、新技术的学习和应用以适应元宇宙服务环境，提升智慧服务能力。其次，提升馆员的数据管理服务能力。元宇宙环境下的图书馆追求高质量的知识服务，智慧图书馆要求智慧服务必须满足读者的知识需求，针对不同类型、不同层次的信息需求提供不同维度的智慧资源。这需要对用户进行智慧识别，精准把握用户的显性和隐性需求，图书馆员需要对用户数据进行采集，利用数据挖掘技术深度分析，为图书馆针对不同用户提供智慧服务提供数据支持。最后，创新图书馆服务方式。元宇宙的虚拟仿真使智慧图书馆的服务更精准全面，虚拟馆员和虚拟参考咨询将是智慧图书馆的主要服务方式。因此，图书馆员要创新图书馆服务方式，以实体馆员和虚拟馆员双重身份为读者提供服务。

4.5　完善元宇宙智慧图书馆监管机制，营造良好的数字生态环境

1）加强图书馆虚拟空间治理

虚拟世界并非“法外之地”，需要和现实世界一样用法律手段来约束用户行为。为保障国家数据安全和网络安全，国家层面需要完善监督管理规范，应制定元宇宙世界相关法律法规，构建公正、规范、有效的法律体系。图书馆行业协会和社会组织联合图书馆界专家学者，针对元宇宙图书馆中可能遇到的知识产权问题、数据安全与隐私保护问题、信息资源共建共享等问题制定行业标准和相关规范，打造元宇宙赋能的智慧图书馆数据治理体系。图书馆依据行业标准和国家法律法规规范元宇宙虚拟空间的建设，根据图书馆业务流程，制定相应的规章制度，规范用户在虚拟图书馆的行为活动，并需保障各项制度得到充分实施。利用区块链技术建立数字身份监管体系，提高馆员和用户对知识产权、数据安全与个人隐私信息的保护意识，通过完善的监管机制，确保元宇宙数字市场有序运行，营造良好的图书馆数字生态运行环境。

2）加强图书馆数据安全与隐私保护

智慧图书馆应发挥元宇宙的技术优势，为数据隐私安全保护助力。利用区块链技术分布式存储的特点，避免中心式存储数据被篡改和被盗用[10]。区块链

的不可篡改特性可以保证数据的完整性和可信性，提高数据的安全性和可用性。利用区块链技术的匿名公钥加密、去中心化和智能合约等特征，多角度保护用户的个人隐私[11]。

3）加强数字资源版权保护

在元宇宙图书馆中需要在区块链技术的支持下对数字产品进行确权，形成安全、封闭的版权链。利用哈希算法对数字作品进行身份认证，并应用加密技术确立数字作品与生产者的对应关系，通过共识机制确保数字产品电子身份不可篡改[12]，完成数字资源在区块链上的确权。利用区块链可追溯、难篡改、弱中心等技术特点，对数字资源实施全时全域的版权保护[10]。另外，对UGC二次使用问题，应加快完善版权合理使用制度，司法层面要尽快明确UGC转换性使用的统一解释，加强数字作品的产权认证和保护。

5 结语

博尔赫斯说：“如果有天堂，那一定是图书馆的模样。”元宇宙时代的到来，为元宇宙赋能智慧图书馆开拓了广阔的发展空间，为图书馆事业带来颠覆性的变革，也将促进我国数字经济高质量发展。尽管元宇宙赋能智慧图书馆有很多不确定性，甚至存在很多风险，但其无疑也给图书馆带来了新的机遇。图书馆人应当把握时代机遇，谨慎规避风险，积极拥抱元宇宙新技术，把智慧图书馆建成“天堂”的模样。

参考文献：

[1] 吴建中. 元宇宙，让图书馆更智慧[J]. 图书馆杂志，2023，42(1)：4-9.

[2] 马费成. 图书情报学与元宇宙：共识 共创 共进[J]. 中国图书馆学报，2022，48(6)：4-5.

[3] 刘春燕. 智慧图书馆实践探索：一个元宇宙视角[J]. 大众文艺，2022(7)：148-150.

[4] 赵志耘，林子婕. 元宇宙与智慧图书馆：科技赋能文化新路径[J].图书情报知识，2022，39(6)：6-12.

[5] 张兴旺，毕语馨，郑聪. 图书馆与元宇宙理论融合:内涵特征、体系结构与发展趋势[J].图书与情报，2021(6)：81-89.

[6] 刘喜球，杨亚非. 元宇宙视域下赋能智慧图书馆的探索[J]. 图书馆研究，2023，53(2)：87-96.

[7] 文伟. 元宇宙赋能智慧图书馆服务：重大变革、问题挑战及实现策略[J]. 图书馆理论与实践，2023(5)：120-128.

[8] 向安玲，高爽，彭影彤，等. 知识重组与场景再构：面向数字资源管理的元宇宙[J]. 图书情报知识，2022，39(1)：30-38.

[9] 陈婷婷. 元宇宙视域下图书馆数字资源建设的现实审视与创新路径[J]. 河南图书馆学刊，2023,43(12)：81-83.

[10] 李欣，王昊. 元宇宙视域下智慧图书馆建设路径探析[J]. 图书馆学刊，2023，45(3)：80-86.

[11] 梁洁纯，许鑫. 临境图开：元宇宙视域下图书馆“第三空间”建设[J]. 图书馆论坛，2023，43(2)：98-107.

[12] 田丽梅，廖莎. 元宇宙视域下智慧图书馆的创新与发展研究[J]. 图书馆，2022(5)：54-59.

Metaverse Empowers Smart Library：Connotation Characteristics, Application Scenarios and Construction Path

CHEN Xiuying , LI Zhichao, YU Chenghua , LI Yuehong

（Library, Dezhou University, Dezhou Shandong 253023, China）

Abstract: The emergence of the metaverse has brought new ideas and technological support to the intelligent development of libraries, which will inevitably reshape the construction path of smart libraries. Libraries should seize opportunities, keep up with the changes in the metaverse era, and strengthen the construction of smart libraries. Starting from the relationship between the metaverse and smart libraries, this article explores the connotation and characteristics of the metaverse empowering smart libraries, constructs application scenarios for smart libraries under metaverse technology, analyzes the problems in the construction of smart libraries from the perspective of the metaverse, and proposes the construction path of smart libraries from five aspects: facilities, technology, resources, talents and supervision.

Key words: metaverse; smart library; technology empowerment; application scenarios; construction path

信息时代高校档案数字化转型发展研究

温艳秋

（德州学院　档案馆，山东　德州　253023）

摘　要：随着大数据、5G等先进信息技术不断推广，高校档案数字化转型面临深刻变革。数字中国战略实施以来，高校档案数字化转型成为高校教育改革发展优先项目，需要在高校数字档案资源、内容、 体系等多方面进行多重构建，在现有档案网络化基础上进一步建立起档案数字化共享平台，服务档案资源有效流动的内外共享体系，对于研究信息时代高校档案数字化转型发展具有现实意义。

关键词：信息时代；高校档案；数字化转型

中图分类号：G270.7　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1004-9444（2024）04-0083-04

0　引言

中共中央办公厅、国务院办公厅印发《“十四五”全国档案事业发展规划》明确提出“档案信息化发展保障机制进一步完善，档案信息化建设进一步融入数字中国建设，新一代信息技术在档案工作中的应用更为广泛，信息化与档案事业各项工作深度融合，档案管理数字化、智能化水平得到提升，档案工作基本实现数字转型。”[1]当前高校档案数字化发展在内部信息化发展方面已经取得积极成果，包括高校档案信息化服务、信息化检索等，但与数字化发展要求的互联互通、共享要求还存在一定差距，需要进一步结合数字化转型要求，加快推进高校档案数字化建设。

1　高校档案数字化发展现状分析

1.1　高校档案资源、内容数字化不足

信息时代，高校档案管理积极推进数字化转型，在档案资源、内容数字化方面取得积极进展，但与档案资源和内容标准相比还存在一定差距。一方面，档案资源数字化发展中，部分高校新增档案资源并未实现全部电子化。以德州学院为例，2010年至今，每年移交到档案馆的电子文件，符合归档要求的仅在2%左右，大多未达到《电子文件归档与电子档案管理规范》（GB/T 18994—2016）、《电子档案移交与接收办法》[2]的要求。以文书类电子文件为例，归档的只是一份电子文稿文件，缺少定稿、签发单、审批过程信息、电子签章、元数据等，因此不能成为电子档案，需要重新整理后进行数字化。另一方面，存量档案资源数字化建设一直较为缓慢，高校之间差距巨大，重点高校存量档案数字化率均达到或接近100%，远远超过大部分地方高校存量档案的数字化率。以德州学院为例，目前存量档案数字化率仅为12%，远低于相关标准要求，而且在存量档案资源数字化建设方面缺乏主动性，投入力度较小。还有档案内容数字化不足也是客观存在的问题。高校档案内容数字化建设基本以提供检索内容为主，即档案可以通过检索获取简要信息，但具体内容则无法实现数字化展示，需要到档案馆调取。档案内容数字化模式虽然有一定保密性要求，但部分需要公开的档案信息依然没有数字化内容，档案服务能力受到限制[3]。

1.2　高校档案协同度、智能化发展不足

信息时代，高校档案数字化应与相关单位联通，建立档案平台并实现档案资料在一定范围内自由流动、调取、查阅、应用。但实际上高校档案协同度、智能化发展存在严重不足。一方面，高校档案协同度不足。高校档案数字化建设中，高校虽然已经初步完成档案内容信息化建设但并没有与其他院校、相关单位进行有效联通，导致信息协同度不高。如其他机构需要高校档案时，只能通过检索服

收稿日期：2024-04-18

作者简介：温艳秋（1971—），女，山东德州人，副研究馆员，研究方向为档案管理。

务了解是否有相关档案而无法在线调取，需要开具相关纸质资料后到高校档案管理单位申请，然后才能得到纸质版材料或下载电子材料，整体耗费时间长，不符合高校数字化建设要求[4]。另一方面，高校档案智能化发展不足。高校档案数字化建设目的是服务高校和相关单位，为其他单位提供决策支持和基础资料数据，需要进行必要的档案汇总和相关资料整理，但目前高校档案数字化服务只能提供单一的档案内容，相关档案无法提供，影响档案服务能力。

1.3 高校档案数字化人员队伍建设不足

信息时代，高校档案数字化转型要求档案管理人员具有互联网思维，适应数字化发展需要，但现有高校档案数字化人员队伍建设存在不足。一方面，高校档案数字化技术人员数量不足。高校档案数字化建设需要足够的信息技术人员支持，需要加强网络化、智能化发展建设，并投入较多的技术力量，但现有的档案管理技术人员只能承担对档案管理网络的维护以及简单的档案数字化功能开发，无法支持档案数字化深度开发和平台化建设，影响档案数字化管理质量[5]。另一方面，高校档案数字化服务人员技术思维和认知不足。高校档案数字化发展需要从业人员具有数字化思维和服务能力，但实际上，现有的档案管理人员大多是传统档案管理思维，无法有效适应和支持数字化档案建设，在服务方面没有互联互通意识，也缺乏主动参与数字化建设的思想，无法有效支撑档案数字化管理体系。

2 信息时代高校档案数字化转型发展必要性

2.1 符合数字化发展趋势

数字中国建设已经成为社会发展共识，推动各级单位、机构数字化发展成为社会关注重点。新一代信息技术在档案数字化转型发展方面提供了有效支持，同时也提出具体要求。高校档案需要积极适应数字化发展要求，从信息技术提升档案服务角度出发，不断加快数字化建设工作，不断推动档案资源数字化、档案内容数字化、档案管理数字化。积极适应档案数字化的内外部变化，既要通过数字化提升内部档案管理工作质量和服务能力，同时也要紧跟档案数字化发展潮流，积极与其他数字化档案管理机构对接，实现数字档案互联互通的发展目标。总之，高校档案数字化转型发展既有外部数字化驱动，同时也是高校自身数字化建设的重要组成部分[6]。

2.2 符合高校发展要求

高校档案管理存在一定滞后性，包括档案管理信息材料搜集不理想、材料归档不及时、盲目应付上级单位档案考核等情况，无法服务现代化高校发展要求。档案数字化建设发展符合现代高校教育体系要求，可以加强档案管理和服务能力，解决档案管理存在的内容归档不及时、档案不完整等问题，同时可以发挥档案管理优势，服务高校发展大局，为高校教育、教学等各方面决策提供资料支持，助力现代高校制度建设和推进。

3 信息时代高校档案数字化转型发展策略

3.1 提高重视，推动档案资源数字化建设

信息时代，高校档案资源数字化建设应进一步引起重视，确保增量档案数字化率100%，制定存量档案数字化率发展规划、目标并推动存量档案数字化率不断提升。高校档案资源数字化建设需要在高校内部形成统一意见，严格按照相关标准执行，确保数字化建设符合实际情况[7]。

高校档案数字化转型发展过程中，确保档案资源数字化建设需要做好以下工作：（1）高校应做好存量档案数字化资源摸底工作，了解存量档案数字化建设存在的问题，包括技术问题、资金问题等，结合存量档案实际情况制定数字化目标和建设方案。（2）高校围绕存量档案数字化建设问题及时进行调研和学习工作，积极学习其他高校、企事业单位在存量档案数字化建设方面的经验，开阔档案数字化建设视野，逐步理清思路，制定可行性方案并优化档案数字化建设思路。（3）提高政治站位，切实将高校档案数字化专项放在高校优先发展项目。高校应认真学习《“十四五”全国档案事业发展规划》存量电子化要求（见图1）和省市档案管理规定，结合具体数字化建设要求进行数字化转型规划，持续推进存量档案数字化建设，同时明确责任，确保档案数字化转型真正落实。（4）高校档案数字化建设应形成审议决议，在高校内部明确建设要求，引导高校内部资源服务档案信息化建设，确保新增档案资料100%数字化、存量档案资料有计划、有目标数字化发展。

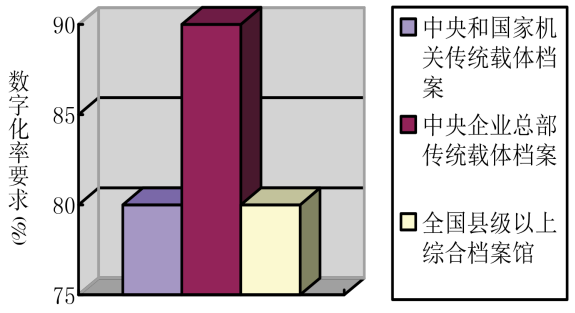


图1 《“十四五”全国档案事业发展规划》存量电子化要求

3.2 完善内容，推动档案内容数字化建设

档案内容数字化是档案部门将数字档案资源转换为可供阅读、分析和处理的档案数据资源的过程，可以为档案部门业务工作智慧化转型奠定基础。高校档案数字化建设过程中应积极加快档案内容建设工作，确保档案内容可读性，同时提供档案服务，加强档案利用效能。

高校档案内容数字化转型建设需要做好以下工作：首先，实现档案内容可检索、可阅读。高校档案内容数字化建设过程中，除了提供常规档案内容检索服务外，还应提供关键词检索、模糊检索等服务，确保检索人员可以通过少量关键信息获取到相关档案内容，提升档案内容服务能力。此外档案内容除关键信息展示外，还应做好档案全文内容的可读性，确保档案内容符合阅读要求。进行档案内容可检索、可阅读建设时还需要做好档案涉密管理权限建设，根据搜索人员的权限提供对应内容，防止档案信息意外泄露[8]。其次，档案内容可调取、可下载。高校档案内容数字化建设时，根据档案管理条例、保密条例等要求，档案内容应在规范下提供下载、调取服务，方便检索人员应用。例如浙江大学向校友提供毕业合影网络下载服务，通过网络平台向社会共享珍贵历史档案。可调取、可下载服务让档案内容最大限度发挥作用，避免不必要的内容服务障碍。最后，档案内容应进一步结构化归档。根据归档要求进行合理分类，确保档案信息在分类中呈现。此外归档后的信息应实现数字化编辑等服务，为后续档案信息加工、应用提供支持。

3.3 加强协同，推动档案平台数字化建设

加强协同，推动档案数字化平台建设是现代档案管理要求。加强协同建设主要是构建档案信息资源共享平台、档案信息化管理平台等，确保档案信息可以在平台内自由流动，推动一体化发展，提升档案服务能力[9]。加强协同建设需要高校推动数字化基础建设和体系建设，解决协同建设发展难题。

首先，高校协同发展过程中应积极加强基础设施建设工作，在相关部门支持下积极完善档案管理信息系统，坚持平台化思路，实现与其他机构的有效对接，解决信息系统接口、标准不统一的现状。平台化的发展需要高校档案建立共享机制，将档案信息内容融入数字化平台，同时解决接口问题，实现检索、内容共享发展。其次，高校档案数字化管理需要完善体系内容。高校档案数字化转型过程需要完善体系制度，逐步探索统一化的管理方案，对现有的档案管理模式、管理业务进行持续优化，从而减少档案信息资源共享平台建设中的人为障碍。最后，高校档案平台数字化建设需要制定明确计划，既要根据近三年高校档案数字化平台建设发展情况（见表1）逐步推动，也要结合地区实际，主动与地方档案管理机构、上级档案机构建立联系，促进档案平台体系化转型。

表1 近三年高校档案数字化平台建设发展情况

2021年	2022年	2023年
开发基础电子档案信息系统，对接地方档案管理要求	完善档案数字化管理体系，与上级档案建立联系	实现档案内容、资源互联互通，档案利用服务走向网络化

3.4 探索智能，推动档案服务数字化建设

信息时代，高校档案数字化转型需要探索智能发展模式，推动大数据、人工智能技术应用于档案服务工作。智能发展是数字化转型发展趋势，也是提升档案服务能力的有效方案，需要加强智能化建设。

智能化发展需要加强大数据应用，提升档案信息服务能力。一方面，高校档案管理过程中，通过档案资源、内容电子化方式，为档案管理提供有效支持。高校档案智能化管理服务中，档案信息服务提供关键词搜索，档案需求方可以通过关键词快速对档案信息类目和档案信息内容进行归类、分析，从中选择符合要求的档案，从而实现档案整理的自动化、智能化[10]。另一方面，高校档案管理智能发展需要不断完善服务内容，开发智能服务功能。高校档案管理中，档案管理信息化需要提供信息化能力，即档案数字化可以将高校内部档案资源和校外档案资源共享，提供综合档案服务，可以跨层级、跨部门、跨院校进行综合信息服务，方便档案需求方了解档案内容。此外，智能化服务还可以对搜集到的档案信息进行大数据分析、加工、整理、归纳，提供总结性报告，提升档案服务质量和水平。

3.5 加强人力，推动档案队伍数字化建设

信息时代，高校档案数字化转型发展必须建立一支可靠的数字化服务人才梯队，加强人力资源建

设工作，保障档案数字化转型顺利实施。加强人力资源建设需要从技术和人员管理等多方面入手，提升服务保障能力。

推动档案队伍数字化建设、发展需要建立信息技术团队和管理服务团队。一方面技术团队应覆盖档案管理数字化各方面需求，包括档案数据库建设、档案信息分析、档案数据挖掘等。结合档案数字化要求，高校应成立一支专业的技术团队，服务数字化档案建设，技术团队可以由高校现有档案技术人员和计算机专业教师组成，也可以通过外部聘请方式引入高端技术人才，加快档案数字化转型速度，提升数字化发展质量。另一方面管理服务团队需要具备数字化视野和数字化意识。高校档案部门需要对高校档案管理人员进行培训，从数字化发展趋势、发展价值、发展模式和应用等多方面入手提升档案管理人员数字化认识。同时档案部门应积极组织档案人员数字化操作培训，提升人员技术能力，设置奖惩制度，对多次考核不合格的人员采取调岗等措施，保证数字化档案服务能力不断提升。

4 结语

实现档案资源数字化、档案内容数据化、档案平台体系化、档案管理智能化是数字中国建设进程中高校档案管理部门主动适应内外部环境变化的积极表现，也是完成档案管理现代化的重要举措。高校应充分认识高校档案数字化转型发展的重要性，结合高校档案管理实际，不断推动数字化转型升级，提升数字化档案管理质量和档案服务能力。

参考文献：

[1] 中共中央办公厅，国务院办公厅.“十四五”全国档案事业发展规划[EB/OL].(2021-06-08)[2021-08-20]. https://www.saac.gov.cn/daj/toutiao/202106/ecca2de5bce44a0eb55c890762868683.shtml.

[2] 中华人民共和国国家档案局. 电子档案移交与接收办法[EB/OL]. (2012-12-03) [2018-01-08]. https://www.saac.gov.cn/daj/tzgg/201212/fe663e208cf544c8a49632db04567b83.shtml.

[3] 杜红林，黄夏基. 智慧校园背景下高校档案信息化工作现状与建议[J]. 内蒙古科技与经济，2023(22): 64-66.

[4] 朱丽红. 数智驱动下高等院校档案工作的数字化转型探究[J]. 办公自动化，2023，28(22): 43-46+32.

[5] 闫江涛，郭瑞. 新时代高校档案管理工作研究：以山西大学档案管理为例[J]. 办公室业务，2023(13): 125-127+131.

[6] 刘姝林，杨军. 新时代高校档案信息化建设的实践与趋势：以山西财经大学为例[J]. 忻州师范学院学报，2023，39(5): 91-95.

[7] 谭春锦，陈祯. 广西地区本科高校档案信息化存在的问题及应对举措浅谈[J]. 办公室业务，2023(20): 140-142.

[8] 杨和平. 大数据背景下优化高校干部人事档案数字化建设路径探索[J]. 凯里学院学报，2023，41(5): 83-90.

[9] 赵梦琪. 新时期广西壮族自治区高校的档案管理与利用：以广西警察学院为例[J]. 兰台内外，2023(26): 40-42.

[10] 胡程. 高校档案工作数字化转型与大数据分析的融合应用研究[J]. 办公自动化，2023，28(17): 36-38.

Research on the Development of Digital Transformation of University Archives in the Information Age

WEN Yanqiu

(Center of Archives, Dezhou University, Dezhou Shandong 253023, China)

Abstract: With the continuous promotion of advanced information technologies such as big data and 5G, the digital transformation of university archives is facing profound changes. Since the implementation of the digital China strategy, the digital transformation of university archives has become a priority project in the reform and development of university education, which requires multiple construction in many aspects such as digital archive resources, digital archive content and digital archive system. On the basis of the existing archive network, a digital file sharing platform is further established to serve the internal and external sharing system of the effective flow of archive resources. Therefore, it is of practical significance to study the development of digital transformation of university archives in the information age.

Key words: information age; university archives; digital transformation

立德树人视域下“一院一品”思想政治教育模式构建

王 思，董 卉

（德州学院 能源与机械学院，山东 德州 253023）

摘 要：将立德树人融入高校的教育工作是高校思想政治工作的根本逻辑，“一院一品”思想政治教育模式构建是提升思想政治教育工程的一个有效方法。构建“一院一品”模式就是将思想政治教育建设品牌化、运作项目化、发展可持续化。在这个过程中要遵循找准定位、与时俱进、因材施教的原则，具体的实施策略就是打造科学的品牌理念，整合教育资源，凝练品牌特色。

关键词：一院一品；立德树人；项目化；思想政治教育

中图分类号：G641 **文献标识码：**A **文章编号：**1004-9444（2024）04-0087-04

0 引言

教育是国之大计、党之大计。立德树人是贯穿其中的根本逻辑，要落实立德树人根本任务，实现教育的“四为服务”价值追求，就要遵循教育规律、思想政治工作规律和学生成长规律，完善“大学工”“大思政”“大教育”格局[1]，推动思想政治教育因事而化、因时而进、因势而新[2]，而构建“一院一品”是提升思想政治教育工程的一个有效模式。

1 “一院一品”思想政治教育模式内涵

1.1 品牌化建设

思想政治教育品牌是学院思想政治教育活动全部内容的抽象集合，是对具有一定社会影响力和公众认可度的思想政治教育活动项目进行加工提炼形成的精品。每一个思想政治教育品牌都是学院思想政治教育活动长期积累的结果，是基于思想政治教育发展规律之上的探索与创新，因此构建思想政治教育品牌具有以下功能：

1）标杆作用

品牌化建设使教育供给者明确了目标，为教育活动指引着前进的道路和方向。2022年德州学院能源与机械学院构建“科创改变未来”思想政治教育品牌，基于这个能够口口相传的品牌，学院各项思政教育活动都围绕着激发学生的创新意识、培养学生的创新精神、提高学生创新能力这几个方面展开。学院将科技文化竞赛、科技文化创新活动、大学生创新创业训练项目、专利申请、论文发表等落实到每位学生的课堂中、生活中、活动中和志愿服务中。

2）特色内涵

特色代表了品牌所要传达的内容以及包含的与众不同的价值。[3]思想政治教育品牌可以结合专业、地域、资源等优势，充分发挥自身特点，使品牌优势和效果具有不可替代性。“科技改变未来”品牌结合了工科专业特点和学校培养应用型人才的目标，促使能源与机械学院连续三年获得学校创新创业工作第一名的好成绩。

3）宣传示范

品牌具有价值引领和文化聚合的精神内涵，品牌化建设的良性运转为学院打造了属于自己的“金名片”。思想政治教育品牌创建与发展的目标是追寻思想政治教育规律，探寻思想政治教育发展路径，积累思想政治教育经验。这张“金名片”不仅可以扩大学院的知名度和影响力，同时对思想政治教育发展本身具有反哺和指导作用。

1.2 项目化运作

思想政治教育品牌构建的形式是项目化运作，“一院一品”模式的本质就是将大学生思想政治教育项目化。项目化概念起源于管理学，它的优势是在确保时间、经费、人员等条件下，以尽可能高的效率完成预定目标。[4]以项目集约化思维选准思想政治教育发展重要议题，以项目实施化思维操作思

收稿日期：2023-05-26

作者简介：王思（1991－），女，山东日照人，讲师，硕士，主要研究方向为思想政治教育。

想政治教育薄弱环节，以项目评价化推进思想政治教育内涵发展，因此，思想政治教育品牌项目化运作具有以下特征：

1）具体化和科学化

“一院一品”项目聚焦学生成长成才的关键要素，以十大育人体系为基础，深度挖掘各项工作的育人要素和育人逻辑，将抽象的思想政治教育通过项目管理具体化、科学化。比如“科技改变未来”品牌项目实施首先确定项目目标为培养和提高学生的科技创新能力；其次是进行项目计划，设计一系列提高学生创新能力和创造积极性的活动；再次是项目实施，调动学生积极性，协调各部门发挥作用，确保资金以及其他物质上的保障等；最后是进行经验总结，在每次完成项目之后，应及时地对项目进行自评和总结，为下一次的项目实施积累经验。

2）目的性和凝聚性

“一院一品”构建是以具体的项目带动人力与物力的整合，使资金得到合理使用、资源得到优化配置、部门得到有效协调、人员主动合作，为思想政治教育搭建平台。[5]在这个平台上，党政，群团，专业教学、社会实践单位之间相互连接、交互，有利于破除当前形势下学校思想政治教育专业建设和思想政治“两张皮”，学院党政工团各自为政、思想不统一的问题，为学院开展思想政治教育明确目标、凝心聚力。

1.3 可持续发展

“一院一品”建设不仅促使职能部门、教学单位、群团组织形成合力，达成思想政治教育的统一目标，同时它形成的文化也会变成学院的软实力和可持续发展的不竭动力，依靠各学院历史和人文积淀，展示各学院学科特色和环境文化布置亮点，融思想性、教育性、时代性、艺术性为一体，成为校园“立德树人，以文化人”的无形力量。从这个方面讲，“一院一品”既是思想政治教育过程，也是新一轮的思想政治教育孵化的过程。[6]思想政治品牌的构建过程中，根据学生需求和学校人才培养需求不断地加以调整和完善，继而保持品牌战略发展的长期性和可持续性，滚动式发展优势品牌和具有潜力的品牌，不断提升思想政治教育效果。

2 “一院一品”品牌战略在思想政治教育中应用的原则

2.1 找准定位

在“一院一品”思想政治教育模式的构建中，二级学院作为主体，都希望思想政治教育品牌能全方位地发展、不断扩大影响力。但是品牌的构建受资金、专业、学生层次、现实环境等因素的制约，因此二级学院一定要合理地评估自身条件，找准最佳定位。这包括以下四个方面：一是在人的方面，包括教师和学生，要根据师生比、师资条件、学生层次的情况，合理地确定学生思想政治教育的目标；二是在专业方面，根据学院的科研、实践现状，打造与水平相适应的品牌特色；三是在地域环境方面，利用好地域优势和已经形成规模的校园文化场所，专注自身条件不盲目跟风；四是在社会服务方面，加强与相关社会机构、企业合作。

2.2 与时俱进

品牌战略不是一成不变的，思想政治教育品牌需要随着党的方针政策的指向、社会的进步和学校整体战略部署的变化而与时俱进。[7]高校的思想政治教育要具备敏锐的政治意识和市场意识，对社会热点、社会需求能够迅速反应，及时响应党中央、团中央重大政策调整，具有相应的思想政治教育项目快速开发机制，使思想政治教育品牌能准确把握时代特征，始终站在时代前列和实践前沿。

2.3 因材施教

一个学院的学生千人千面、百人百性，学生层次、擅长学科等情况不同，因此，品牌战略部署要加以区别。针对不同人群，要有与之相匹配的思想政治教育模式。例如春考班的学生实践动手能力强，应着重实践育人；本科学生在大一、大二期间的校园活动丰富，应加强社团活动、文体活动等方面的育人职能；专升本学生的校园融入感不强，应加强爱校教育力度，提高校园文化育人的能力，增加专升本学生与学校荣辱与共的体验感等。

3 “一院一品”思想政治教育模式构建策略

3.1 以立德树人为核心，打造科学的品牌理念

“一院一品”的品牌理念和核心价值是一切思想政治教育活动的根源和关键，是“一院一品”的精髓和生命，对正确实施思想政治教育、认清思想政治教育目标、树立和传播品牌形象起着决定性作用。在学校，立德树人无处不在、无时不有、无人不参与，以立德树人为核心，就是在综合考虑二级学院思想政治教育现状、学生整体情况、教学和教师等情况的基础上，思考如何把思想政治教育贯穿教育教学的全过程和各环节。打造特色鲜明的思想

政治教育品牌理念，既要凝练立德树人这个核心追求，遵循“三全育人”的基本原则，又要结合二级学院历史文化传统以及独特的专业学科特点，通过品牌定位，从深层次向外界展示“一院一品”的这个品牌是什么、为了谁、怎么做，反映出二级学院思想政治教育品牌的核心价值和品牌文化。

长安大学自2019年“一院一品”项目启动以来，各院结合立德树人的核心和院系办学特色、专业特点，凝练出一批具有鲜明特色的亮点工程。公路学院打造“培养大学生团队意识”理念的“知行同路”品牌；电控学院打造“培养学生创新能力”理念的“助创育人”品牌；材料学院打造“助力学生就业科研”理念的“材智未来”品牌等。这些内容丰富、品味高雅的品牌理念，体现在思想政治教育过程中，形成了“一院一品”的独特内涵，得到学生们的认同和喜爱，学生在参与过程中得到了文化、情感和价值上的满足。

3.2　以“三全育人”为主线，为品牌构建整合资源

思想政治教育品牌要想打磨成精品，脱颖而出，就要根据自身历史文化、资源环境的不同，充分发挥二级学院党委的政治核心作用，以“三全育人”格局为主线，坚持显性教育和隐形教育相统一，挖掘校园内蕴含的一切思想政治教育元素，整合资源，整体谋划，最大限度地发挥各类资源的作用，以专业化突出品牌优势，达到最佳育人效果。

1）以“全员育人”思维整合思想政治教育的实施者

发挥二级学院党委的领导作用，从三个方面整合思想政治教育队伍，一是党委书记、支部书记、团委书记、辅导员组成的思政育人队伍，二是由系主任、教研室主任、班主任、任课教师组成的教学育人队伍，三是由后勤部门组成的服务育人队伍。三个队伍在品牌建设过程中应该将工作方向和工作目标不断向学生思想政治教育这个“圆心”聚焦，相互配合，将“一院一品”建设的每个环节和每个细节都落到实处。同时，二级学院党委要积极号召和组织党支部、学工办、工会、共青团、学生会、各类师生社团等改变各自为政、互不沟通交流的现状，加强常态化协作和分工负责机制，构建同向同行、协同发力的学院思想政治工作责任体系，开展内容丰富、形式多样的思想政治教育活动，从而充分发挥二级学院各级组织在师生思想政治教育中的凝聚、引导和服务作用。

2）以“全过程全方位育人”思维整合思想政治教育阵地和一切教育教学活动

思想政治教育工程质量的唯一评价标准就是有效性，要保证思想政治教育有效就离不开充分利用和发挥思想政治工作阵地作用这个基本问题。传统的思想政治教育模式在阵地建设方面存在以下几个问题：一是贪多求全，没有重心；二是过分追求形式，造成资源浪费、阵地削弱荒废；三是各自为营，形成内耗，降低了思想政治工作实效。

要打造优质的思想政治教育品牌，就要发挥二级党委的领导作用，本文拟从以下几个方面整合阵地资源：

首先，在不同节点，针对不同学生，有针对性地进行思想政治工作的阵地建设。例如，在新生入学时，结合入党启蒙、爱国爱校主题活动，加强思想理论阵地建设；在毕业生离校时，结合毕业氛围，加强文化设施阵地建设；在举办文化艺术节期间，结合党的最新理论知识、方针政策，加强新闻媒体、网络文化阵地建设。

其次，以学生为主体，注重实效。思想政治教育不是简简单单地开一次会、举办一次讲座、读一篇文章、搞一次活动，而是要从实际出发，以提高学生兴趣、便于学生理解、解决学生困难为主线，结合阵地自身的特点和客体特征，通过一定形式让正确的思想观念入脑入心，达到教育目的。以网络思政课为例，教师通过网络平台将思政课内容上传至共享空间，学院不用将学生统一召集在教室，学生利用碎片化时间进行学习，学习中的自由度更高，这就是“以学生为主体”的体现。同时，可以要求学生在网络上参与互动，在线下进行书面的感悟交流等，提高学习效果。

最后，综合利用，形成合力。综合利用各个阵地，就是在打造“一院一品”的过程中，将特点和效能不同的阵地形成合力，强化功能互补，把思想政治教育与课堂教学、实践实训、党团活动、志愿服务、社团活动、就业创业等紧密结合起来，产生“1+1＞2”的效果。以扬州大学新闻与传媒学院“产教研创”项目为例，一方面要巩固课堂主阵地，夯实学生的专业基础，另一方面以工作坊、新媒体、实践等阵地作为补充，通过开展各个活动使学生汲取党史精神，学习理论知识，达到培养学生创意创新能力、科学研究能力、实践动手能力的育人目的。

3.3　以“十大育人体系”为依据，提炼品牌特色

“十大育人体系”是实现立德树人目标的一个途径，是为了进一步落实育人工作而提出的育人内容。“十大育人体系”内容丰富，包含了高校工作的方方面面，要打造思想政治教育品牌，可以从以下几个方面着手：

1）将立德树人思想适宜地融入“十大育人体系”之中

要打造思想政治教育亮点工程，就是要讲求“放盐”的艺术，何时放“盐”才能精准发力，提高思想政治教育的吸引力，放多少“盐”才能咸淡适中，让学生在美味可口的思想政治教育大餐中汲取营养。在育人活动的设计中，要以立德树人为一切目标导向，课程不仅仅为传授科学知识，资助不仅仅为扶助困难学生，科研不仅仅为进行科学研究，实践不仅仅为增强动手能力……明确立德树人是所有育人活动的根本目标，才能恰如其分地“放盐”，做到真正的润物细无声。

2）加强 “十大育人体系”之间的结构联系，提升相互作用

“十大育人体系”的内容不是割裂的，而是交叉融合的，没有一项育人内容是可以单一存在的，例如心理健康节活动包含着心理育人、服务育人、组织育人内容，贫困资助包含着资助育人、管理育人、心理育人内容。在品牌的构建中，一定要建立各个育人内容的联动机制，发挥相互促进、相互补充的作用。

3）用创新思维丰富“十大育人体系”的内涵

全国高校在开展思想政治教育时，几乎都涵盖了“十大育人体系”的全部内容，但是“十大育人体系”的内容不是一成不变、停滞不前的，要打造具有鲜明特色的思想政治教育品牌，就要去丰富“十大育人体系”的内涵。例如心理育人不仅可以应用于心理健康活动中，还可以应用于学生的课堂学习、社会实践、党团活动；网络育人不仅可以应用在网络课程的教授中，还可以应用于鼓励学生创作网络文化产品、参与网络文明建设等方面。

4 结语

构建“一院一品”思想政治教育模式要以立德树人为核心，以党的方针政策为指导，因地制宜、凝练特色，打造科学的品牌理念；以“三全育人”为主线，为品牌构建整合资源，最终实现学院资源配置的优化；以“十大育人体系”为依据，提炼品牌特色，最终达到提升思想政治教育效果的目的。在实施思想政治教育过程中，各项活动都要以学院品牌为核心，协同配合，及时总结经验并不断完善改进，在促进品牌发展的过程中确保思想政治教育自觉适应社会发展和时代要求。

参考文献：

[1] 易晓颖, 迟沅帅, 饶湖常. 新时代高校思想政治教育的逻辑构成与实践路径: 基于习近平青年思政教育观的研究[J]. 西北成人教育学院学报, 2020(2): 105-109.
[2] 杨兴林. 关于高校立德树人问题的思考[J]. 重庆高教研究, 2018, 6(1): 118-127.
[3] 程仙平. 社区教育品牌生成路径与对策研究[J].成人教育, 2016, 36(9): 27-30.
[4] 余朴莲. 电信企业渠道运营项目化管理应用研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2010.
[5] 刘思善, 李毓彤. 大学生素质教育项目化管理体系的构建[J]. 广西青年干部学院学报, 2006(6): 30-31+47.
[6] 蔡朝旦. 思想政治教育政策过程论[D]. 武汉: 华中师范大学, 2018.
[7] 赵国安, 宁帆. 高等教育院校继续教育品牌战略研究[J]. 继续教育研究, 2014(8): 7-9.

Construction of Ideological and Political Education Mode of “One Department, One Project ” from the Perspective of Strengthening Moral Education and Cultivating People

WANG Si, DONG Hui

(School of Energy and Mechanical Engineering, Dezhou University, Dezhou Shandong 253023, China)

Abstract: The construction of ideological and political education mode of “One Department, One Project” is an effective way to promote the ideological and political education project. The mode of “One Department, One Project” is to make ideological and political education brand construction, project operation and sustainable development. In this process, we should follow the principle of locating accurately, keep pace with the times and teach students according to their aptitude. The specific implementation strategy is to build scientific brand concept, integrate educational resources, and condense brand characteristics.

Key words: One Department One Project; strengthening moral education and cultivating people; project operation; ideological and political education

工程教育认证下“三双三融”实验教学改革探究

——以德州学院环境工程专业“环境监测实验”课程为例

王爱丽[1]，商书波[1]，杨　飞[1]，李新征[2]，王　芳[1*]

（1. 德州学院　化学化工学院，山东　德州　253023；2. 德州市交通运输局，山东　德州　253057）

摘　要：为了进一步落实环境工程专业工程教育认证的培养目标，德州学院“环境监测实验”教学团队基于产教融合提出并构建了以学生为主体的“环境融合”的“双地”模式、“教学融合”的“双师”模式、“角色融合”的“双元”模式的“三双三融”实验教学改革模式，制定了“知识-技能-素质三位一体”的课程目标评价体系，既可以保障项目实训过程中学生各项能力的培养和对课程目标的客观评价，又可以提高学生环境监测的实战能力。

关键词：工程教育认证；产教融合；三双三融；知识-技能-素质三位一体

中图分类号：G642　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1004-9444（2024）04-0091-05

0　引言

工程教育认证的核心理念是成果教育（OBE），认证要求工科专业实验教学重视培养学生工程素养和工程实践能力。环境监测实验作为环境工程专业的核心课程，具有很强的实践综合性。各高校环境工程专业为培养出新时代的高素质环境监测技术人才，十多年来一直对环境监测实验课程开展研究，但因教师实践经验不足、与企业沟通不到位、教师对环境监测人才的市场需求认识不够深入等问题，实践教学中仍存在许多问题。如实验内容涉及面窄[1-5]，以验证性实验为主[3,6]；实验过程以在室内对污染物的分析测试为主，基本不涉及实际的布点采样、污染物的预处理以及监测结果的评价，不能完整地对实验项目进行学习[1-2]；加大了过程性考核的比重，但对组内互评及组间讨论等发挥学生主体作用的考核评价涉及较少[7-9]，无法培养出符合专业认证标准下的环境监测应用型人才。环境监测实验实践教学内容急需进一步优化和调整。

德州学院环境工程专业的“环境监测实验”课程已开设近二十年，目前与多家企业签订了合作育人框架协议。为了进一步落实符合工程教育认证标准的培养目标和具体教学目标，教学团队基于产教融合构建了以学生为主体的“环境融合”的“双地”模式、“教学融合”的“双师”模式、“角色融合”的“双元”模式的“三双三融”项目式实验教学模式。该模式既落实了中国工程教育专业认证标准的指标点，丰富了课程教学内涵，又提高了学生环境监测的实战能力，具有非常重要的研究意义。

1　“环境监测实验”工程教育认证培养目标

我国工程教育认证制度着眼于提高学生设计和解决实际复杂工程问题的能力，“环境监测实验”工程教育认证培养目标根据环境工程专业毕业要求指标点，提出学生知识、技能和素质的具体要求，在教学过程中通过全面考评体系设计教学目标达成评价，从而实现持续改进。[10]

在专业教师和企业导师的合作下，德州学院“环境监测实验”课程教学团队根据毕业生岗位需求进行分析，确定了典型工作任务，主要为制定环境监测方案、环境监测现场实施（布点采样、样品保存）、分析测试环境样品（实验室理化分析与仪器分析、操作维护等）、检测报告编制（报告编制、质量控制）四大模块[8,11]。本校环境监测课程

收稿日期：2023-07-04

作者简介：王爱丽（1977 —），女，山东夏津人，副教授，博士，研究方向为环境监测及水污染控制。*：通信作者，王芳，（1980 —），女，山东德州人，副教授，博士，研究方向为环境工程教学与科研。

表1 “环境监测实验”工程教育认证培养目标

培养目标	具体目标	具体要求	对应毕业指标点
知识目标	目标1：监测方案制定	掌握水和废水、空气和废气、固废、土壤等不同环境介质环境监测方案的制订原则	1
	目标2：采样、现场监测	掌握环境监测布点、采样、样品保存和现场监测的基本原则及方法	1
	目标3：实验室分析	掌握环境样品的预处理和分析方法；熟悉原子吸收、分光光度法、电感耦合等离子体发射光谱法、离子色谱法和气相色谱法等现代仪器的测定原理和方法；熟悉环境监测过程中的质量保证要求	4.1 5.1
	目标4：报告编制	掌握实验数据的处理及实验结果的分析和归纳方法；熟悉环境监测相关的质量控制标准、技术规范和监测方法标准	4.2 6.1
技能目标	目标1：监测方案制定	能够针对复杂工程中的环境质量监测和污染源监测等实际情况进行问题识别，运用不同环境介质中监测方案制订原则及相应监测方案	4.1
	目标2：采样、现场监测	能够针对复杂工程中的环境质量监测和污染源监测等实际情况进行布点采样、样品保存和现场监测	4.1 4.2
	目标3：实验室分析	能运用不同环境介质监测技术原理判断复杂环境工程问题中涉及的环境监测技术需求，选择合理有效的监测技术；能正确使用分光光度计、原子吸收等常用的仪器和设备；能够根据监测指标的特点选择使用合适的分析仪器进行分析和计算	4.2 5.1
	目标4：报告编制	能应用与环境质量和污染物排放相关的法律、法规、标准、规范对监测数据进行统计分析并进行环境质量评价；能够针对环境工程实际问题进行系统分析，具备依据监测对象特点判断应执行何种标准和规范的能力	4.2 6.1
素质目标		学生能够在监测实验中严格遵守实验室的各项规章制度进行分工配合，团队协作，具有一定的安全意识，具有科学监测、诚实守信的意识，具有一定的责任意识和低碳环保意识	8 9

注：毕业指标点：1 掌握数学、自然科学、工程基础和环境工程专业知识，并能将其用于解决环境污染防治、环境评价与规划中的复杂工程问题；4.1 能够根据环境工程的对象特征，基于科学原理，通过文献研究、调研，选择研究路线，设计实验方案，开发、选择与使用恰当的技术、资源、现代工程工具和信息技术工具，包括对复杂工程问题的预测与模拟，并能够理解其局限性；4.2 能够应用环境工程专业知识，根据所设计的实验方案，构建实验系统，安全地开展实验，科学地采集实验数据，并能对实验结果进行分析和解释，通过信息综合得到合理有效的结论；5.1 了解环境工程专业常用的现代仪器、信息技术工具、工程工具和模拟软件的使用原理和方法，能够选择这些仪器、工具和软件对复杂工程问题进行分析、计算与设计，并理解其局限性；6.1 了解环境工程专业相关领域的技术标准体系、知识产权、产业政策和法律法规，理解不同社会文化对环境工程活动的影响；8 具有人文社会科学素养、社会责任感，能够在工程实践中理解并遵守工程职业道德和规范，履行责任；9 具有团队意识和协作精神，能够在多学科背景下的团队中承担个体、团队成员以及负责人的角色。①

体系对工程教育专业认证的毕业要求中的“工程知识、问题分析、研究”等能力的培养具有支撑作用，基于四大教学模块的课程教学目标见表1。

2 “三双三融”项目式实验教学模式的提出

产教融合能很好地解决当前实验内容设置的不足和缺陷，可以打破产业与课堂的鸿沟。“环境监测实验”教学团队以产教融合为载体，以学生适应“学生”和“员工”双角色为目的，以专业教师和企业导师为指导，以学校实验室和企业工作场所为实训环境，提出并构建了以学生为主体的“环境融合”的“双地”模式、“教学融合”的“双师”模式、“角色融合”的“双元”模式的“三双三融”项目式实验教学改革模式。

2.1 基于“环境融合”的“双地”模式

“环境融合”是产教融合的保障。通过产教融合把学生的实验场所扩大到企业的实际工作场景，形成“环境融合”的“双地”模式。针对实际的环境监测项目，学生可以在校内实验室完成部分分析测试，在取样现场完成布点、取样等工作，在“双地”模式下完成全流程的监测，既培养了学生的知识、技能，又提高了学生的职业素养。

2.2 基于“教学融合”的“双师”模式

“教学融合”是产教融合的核心。开展“引企入教”，使得学生既可以在专业教师的教学过程中获得环境监测理论知识，又可以在企业导师的引领下进行全流程的环境监测实操训练，形成专业教师和企业导师“教学融合”的“双师”模式，既可以满足企业用人需求，又符合环境工程教育认证对人才的要求。

① 参见德州学院环境工程专业人才培养方案2020版。

2.3 基于“角色融合”的“双元”模式

“角色融合”是产教融合的关键。通过“双地”的实训、“双师”的共同引领，学生可以在真实职业情境下全面提升知识、技能、素养，领悟“员工”角色。“角色融合”的“双元”模式，可以推动学生转变思想观念，协调“学生”和“员工”双元角色转换，使其以严格的行业、职业标准和职业态度对待学习以及工作，促进其在学、在岗、在行、在状态，进一步培养和强化学生职业角色意识。

3 “三双三融”项目式实验教学模式的构建

3.1 “环境融合”的“双地”模式的构建

针对学生对环境监测概念认知模糊的现状，通过“环境融合”，结合第三方检测公司实际工作环境，设计了涵盖水、大气、固废、土壤、噪声等多要素的全流程环境监测实训项目，旨在提升学生针对复杂环境工程问题制定污染物监测方案的能力（表2）。基于环境监测方案制定、环境监测现场实施、环境样品分析测试 、检测报告编制四大模块，按照监测流程把无联系的单一实验每个知识点联系起来，形成完整的实验课[2]。把教学内容与实际工作相衔接，使学生理解毕业的要求，培养环境监测人员必须具备的职业素养，明确“环境监测实验”课程开设的目标，深刻领悟环境监测“学生”角色和“员工”角色的不同，从而激发学生的学习热情[13]，以期培养出更多合格的环境监测专业技术人才，从而适应社会及行业的发展。

表2 “环境监测实验”实训项目

项目类型	子项目	推荐监测指标
水质污染监测/（$mg·L^{-1}$）	地表水质量监测	悬浮物、色度、浊度、CODcr、DO、BOD_5、氨氮、TN、TP、高锰酸盐指数
	污染源监测	Pb、Cr、Cd、挥发酚等
大气污染监测/（$mg·m^{-3}$）	气态污染物监测	SO_2、NO_2、CO、O_3、甲醛、VOCs等
	颗粒态污染物监测	TSP、PM_{10}、$PM_{2.5}$
土壤污染监测/（$mg·L^{-1}$）	有机物、重金属	酞酸酯、Pb、Cr、Cd、Hg
噪声污染监测/dB	交通噪声监测	累计百分数声级
	生活噪声监测	等效连续A声级、最大A声级

3.2 “教学融合”的“双师”模式的构建

在产教融合培养过程中为实现学校与企业的无间隙对接，培养学生的专业技能和基本素养，专业教师和企业导师通过校企联合确定实训项目并共同授课，共同培养为企业量身定制的环境监测人员。同时在项目化实训中引入整理(seiri)、整顿(seiton)、清扫(seiso)、清洁(seiketsu)、素养(shitsuke)、安全(safety)、节约(saving)“7S”管理[14]，对参与实验的学生、仪器设备、实验药品、实验安全以及环境条件等方面进行有效管理和结合，达到安全、高效、优质、低耗的实验管理及教学效果[15]，让学生提前习惯现代企业的管理模式，提升学生的综合素质，为将来尽快适应企业岗位打下坚实的基础[16]。整个项目化实训过程在专业教师和企业导师的双重作用下，形成了“7S”管理支撑的“创情景，引任务”“定方案，精采样”“解国标，配标液”“重操作，测数据”和“析报告，评规范”的“双师五阶”递进式实训角色转化模式。通过“7S”支撑下的“双师五阶”递进式实训角色转换模式的学习，学生具备了一定的专业技能和综合素质，对环境监测岗位职业角色有了深刻的体会。

3.3 “角色融合”的“双元”模式的构建

大学生毕业后作为环境监测职业的新手，如果在校期间接受项目实训，掌握环境监测所需的知识、技能，那么毕业后可以快速地适应角色。学生在项目实训过程中一般要经历角色领悟、角色认同、角色实现和角色发展四个阶段。其中角色认同和角色实现是角色转换的关键。

1）在角色领悟阶段，学生在学校学习化学相关基础知识；在企业参观实习，了解环境监测岗位工作过程；领悟监测人员应该具备的实验室安全、化学检验基础知识。

2）在角色认同阶段，学生在学校学习采样、现场检测等相关的理论知识；企业导师指导制定监测方案、现场监测实施方法、采样规范和现场监测规范；认同环境监测人员的相关工作，虚心学习，树立岗位意识，对职业角色形成初步的认知。

3）在角色实现阶段，大胆实践，加强协作意识，形成职业角色意识。学生在学校通过环境监测项目训练学习样品的预处理、样品检测、数据处理、报告编制等相关知识。学生通过学校和企业双方共同培养，参与环境监测样品的测试、报告的编制。

4）在角色发展阶段，学生通过学校的就业指导和环境监测实训项目的学习，了解到环境监测涉及到的职责主要包括采样、检测和报告编制。企业根据环境监测对重点岗位的内容和要求进行解读。学生结合自身的特点完成选择采样、检验分析、报告编制等相关工作。

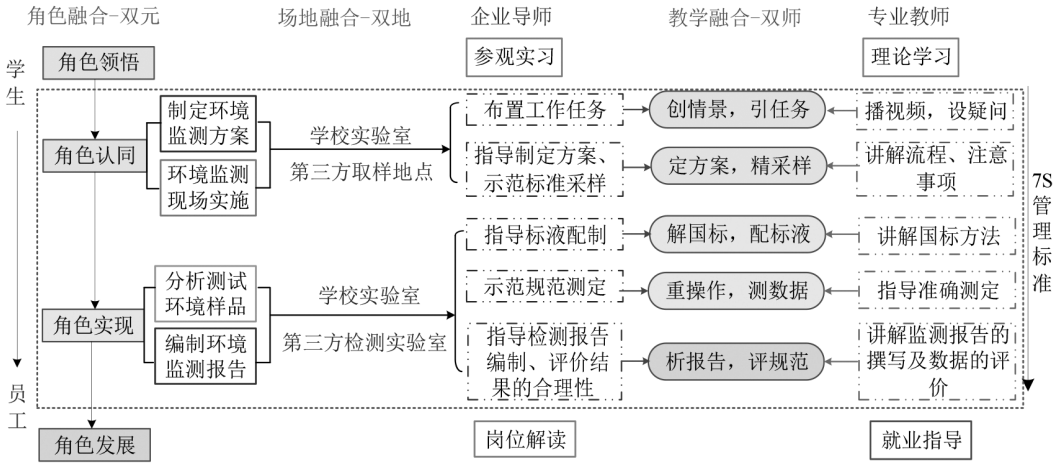


图1 “三双三融”项目式实验教学模式

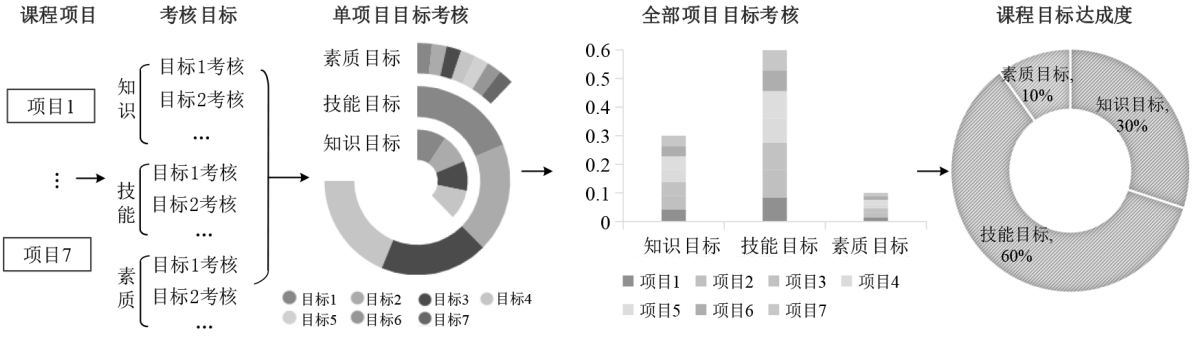


图2 “知识–技能–素质三位一体”课程目标评价体系

在企业和学校共同作用下，学生完成角色的转换，实现了知识、技能和和职业素养的培养。“三双三融”项目式实验教学模式见图1。

4 课程目标达成度评价

为了培养出符合岗位需求的环境监测技术人才，根据工程教育认证下的毕业指标点教学团队制定了“知识–技能–素质三位一体”的课程目标评价体系（图2）。整个实训过程中对项目的教学实施过程、学生掌握的基本情况进行跟踪、反馈并改进，完成该课程目标的达成评价，保障学生知识、技能和素质能力的培养，从而建立有效的评价、反馈和持续改进机制[13]。

从量化角度进行评价，课程项目知识点主要采用过程化考核方式，即通过学习通在线预习、自测、专题讨论等方式完成考核评价；项目技能目标的考核主要通过课程对应的实训项目过程中专业教师和企业导师打分进行评价；职业素养的考核主要通过组间互评、专业教师和企业导师打分进行评价。具体计算方法如下

1）单项目目标考核

项目i知识目标考核 = Σ知识分目标考核i×权重

项目i技能目标考核 = Σ技能分目标考核i×权重

项目i素质目标考核 = Σ素质分目标考核i×权重

其中，i为项目编号，分别为1, 2, 3, 4, 5, 6, 7。

2）全部项目目标考核

知识目标考核 = Σ项目i知识目标考核×权重

技能目标考核 = Σ项目i技能目标考核×权重

素质目标考核 = Σ项目i素质目标考核×权重

3）课程目标达成度

$$\text{课程知识目标达成度} = \frac{\text{全部项目知识目标考核}}{\text{内适基准值}}$$

$$\text{课程技能目标达成度} = \frac{\text{全部项目技能目标考核}}{\text{内适基准值}}$$

$$\text{课程素质目标达成度} = \frac{\text{全部项目素质目标考核}}{\text{内适基准值}}$$

课程目标达成度 = 课程知识目标达成度×30% + 课程技能目标达成度×60% + 课程素质目标达成度×10%

其中内适基准值取决于企业对毕业生的要求，

环境工程专业近几年的就业满意度调查表明，当学生课程学习的综合评价80分以上时，能在企业表现出较强的岗位适应性和较好的个人发展。基于此确定“环境监测实验”的知识目标、技能目标和素质目标达成度的内适基准值分别为70分、80分和85分。课程目标达成度评价计算参数见表3和表4。

表3　各项目及权重计算参数表

项目类型	水质污染监测		大气污染监测		土壤污染监测	噪声污染监测		合计
子项目	项目1	项目2	项目3	项目4	项目5	项目6	项目7	
	地表水质量监测	污染源监测	气态污染物监测	颗粒态污染物监测	有机物、重金属	交通噪声监测	生活噪声监测	
权重	0.14	0.16	0.16	0.14	0.16	0.12	0.12	1.00

表4　各目标及权重计算参数表

目标/权重	分目标/权重
知识目标/0.300	目标1：掌握监测流程/0.075
	目标2：监测布点原则与采样方法/0.075
	目标3：指标测定方法、原理、步骤、注意事项/0.075
	目标4：数据的处理与评价方法/0.075
技能目标/0.600	目标1：监测方案制定/0.150
	目标2：采集点布设、采样及保存、现场监测/0.150
	目标3：标准溶液的配制、指标的测定/0.150
	目标4：实验数据的处理及评价、报告编制/0.150
素质目标/0.100	目标1：整洁条理/0.014
	目标2：严谨守信/0.015
	目标3：安全意识/0.014
	目标4：团队协作/0.015
	目标5：遵守规章/0.014
	目标6：责任意识/0.014
	目标7：低碳环保/0.014

针对实训项目进行学生个体分析和班级整体分析，分别得到“环境监测实验”课程的学生个人和整个班级的教学目标达成度。以此可针对学生每个人的学习薄弱环节有针对性地进行后期指导，又可以对学生整体掌握课程知识、技能的薄弱环节开展集体讨论并进一步提出改进的措施。

5　结语

本文基于工程教育认证，结合德州学院环境工程专业的毕业指标点制定了“环境监测实验”知识–技能–素质课程目标。为了进一步落实课程目标，教学团队基于产教融合构建了以学生为主体的“环境融合”的“双地”模式、“教学融合”的“双师”模式、“角色融合”的“双元”模式的“三双三融”项目式实验教学改革模式。针对该模式教学团队制定了“知识–技能–素质三位一体”的课程目标评价体系。“三双三融”项目式实验教学改革模式的实训和“知识–技能–素质三位一体”的课程目标的达成度评价，可以保障项目实训过程中学生知识、技能和素质能力的培养和客观评价，既落实了中国工程教育专业认证标准的指标点，丰富了课程教学内涵，又提高了学生环境监测的实战能力。

参考文献：

[1] 豆小敏, 王毅力, 梁文艳, 等. 基于环境工程专业认证标准的“环境监测实验”课程教学改革: 以北京林业大学为例[J]. 中国林业教育, 2020, 37(4): 67−71.

[2] 程聪, 吴来燕, 王松波, 等. 工程教育认证和新工科背景下环境监测实践教学改革[J]. 广东化工, 2019, 46(12): 192+194.

[3] 关共凑, 魏兴琥, 徐颂. 环境监测实验教学改革的探索与实践[J]. 实验科学与技术, 2016, 14(5): 155−157+166.

[4] 贺君, 宋来洲, 王秀丽, 等. 基于“OBE”和“新工科”理念的《环境监测》实验教学改革[J]. 高教学刊, 2020(20): 144−146.

[5] 德吉, 布多, 旦增, 等. 西藏大学环境监测实验教学改革研究[J]. 实验技术与管理, 2011, 28(3): 24−28.

[6] 邓焕广, 张菊, 董杰, 等. 应用型地方高校环境监测实验课程教学改革与探索[J]. 中国教育技术装备, 2020(20): 114−116.

[7] 吴岩, 杜立宇, 王展, 等. 以能力培养为核心的环境监测实验教学体系建设[J]. 实验室科学, 2020, 23(4): 107−109+113.

[8] 詹亚力, 王赫名, 陈春茂. 信息技术背景下的课程建设思考与实践: 以“环境监测”课程为例[J]. 中国大学教学, 2021(Z1): 54−58+86.

[9] 严丽丽, 胡婷莛, 饶品华, 等. 一流本科教育引领下的环境监测实验教学改革探索[J]. 广东化工, 2021, 48(7): 286−287.

[10] 赵竹子, 叶招莲, 马帅帅, 等. 工程教育认证下《环境监测》教学模式探索[J]. 广州化工, 2022, 50(7): 180−182+188.

[11] 白晓龙, 花海蓉, 姚进一, 等. 产教融合背景下“环境监测”课程教学改革与实践[J]. 职业技术, 2022, 21(3): 20−25.

[12] 曾燕艳, 王玥婷, 梁志辉, 等. 环境监测课程中基于项目化教学的应用型人才培养实践探索[J]. 东莞理工学院学报, 2022, 29(1):117−121.

[13] 刘奕祯，周崇松，刘卉，等. “工程教育专业认证＋新工科建设”背景下环境监测课程教学改革的研究[J]. 湘南学院学报, 2021, 42(5): 96−100.

[14] 秦传高, 郑忠义, 熊丽萍, 等. 7S 管理模式在化工实验实训室管理中的应用研究[J]. 山东化工, 2021, 50(11): 230−231.

[15] 杨丹, 陈劲, 周克清. 7S管理在安全工程专业实验室管理中的应用[J]. 教育教学论坛, 2019(48): 11−12.

（下转第105页）

地方本科高校第二课堂育人模式的创新探索

孙晨晨[a]，朱　超[b]，董晓婷[c]，冯立顺[b]

（德州学院　a. 商学院；b. 药学院；c. 外国语学院，山东　德州　253023）

摘　要：第二课堂是高素质应用型人才培养的有效途径，创新第二课堂育人模式是提高应用型人才培养质量的有力举措。文章围绕“第二课堂成绩单制度”的实施，强调发挥第二课堂与第一课堂的协同育人作用，在思政教育、科研训练、创新创业、文体活动、社会实践和志愿服务等方面探究第二课堂的创新模式，提升第二课堂的立德树人作用，为地方本科高校培养高质量应用型人才提供有价值的参考。

关键词：第二课堂；创新育人模式；应用型人才培养；协同育人

中图分类号：G641　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1004-9444（2024）04-0096-05

0　前言

习近平总书记在全国高校思想政治工作会议上指出，要重视和加强第二课堂建设。[1]第二课堂是第一课堂的有益补充，是对课程教学的延伸和拓展，是在校大学生拓展知识结构、开拓社会视野、增强实践能力、提高综合素质的有效途径，也是高校开展思政育人工作的主要阵地，两者共同构成更加完善的人才培养体系。共青团中央多次发文部署“第二课堂成绩单”制度的实施，规范引导第二课堂教学活动的开展[2]。推进高校第二课堂建设，是构建“三全育人”工作新格局、落实立德树人根本任务的重要一环。第二课堂创新模式的探究，有利于在校生的社会实践能力和综合素质的提升，同时营造积极进取的学习氛围和富有活力的校园文化，从而对学生的全面发展产生积极影响。

地方本科高校从学术型到应用型的转型发展是国家高等教育发展的整体部署，是顺应时代发展要求和市场对人才需求的变化[3]。应用型人才培养成为高校服务地方经济发展的必然选择。培养高素质应用型人才是地方高校的核心任务，也是地方高校可持续发展的关键因素[4]。因此，越来越多的地方本科高校通过优化配置校内教学资源，充分合理利用校外资源，在高质量完成第一课堂教学任务的同时，开展丰富多彩的课外教学活动，即“第二课堂”教学活动，全面提升应用型人才的综合素养[5]。

本文将围绕第二课堂成绩单制度的实施，强调充分发挥第二课堂与第一课堂的协同育人作用，在思政教育、科研训练、创新创业、文体活动、社会实践和志愿服务等方面探究创新模式，为地方本科高校培养高质量应用型人才提供新思路。

1　第二课堂与第一课堂协同育人培养体系构建路径

1.1　第二课堂与第一课堂协同育人培养体系构建的前提

明确第二课堂与第一课堂之间的关系，是构建两个课堂协同育人培养体系的基础和前提。从教学内容上来看，第一课堂以教授知识、技能为主要教学目标与教学任务，而第二课堂则以提升素质、能力为主要内容；从教学方式上来看，第一课堂以传统的课堂讲授为主，第二课堂则以讲授、研讨、情境模拟、实践等丰富多样的形式进行。虽然两个课堂在形式、内容、途径上有所不同，但育人目标一致，育人功能互为补充[6]。第二课堂不仅是第一课堂

收稿日期：2023-12-01

基金项目：山东省教育教学研究课题：基于计划行为理论的大学生就业心理及其行为研究（2023JXQ016）；2021年德州学院校级教学改革研究项目：课程思政融入第二课堂的创新模式研究（dzuzd21-03）；2023年本科教学改革研究项目：基于OBE理论的数字技术赋能应用型护理专业人才培养体系的构建（Z2023140）。

作者简介：孙晨晨（1988—），女，山东济南人，讲师，硕士，主要从事高校思想政治教育研究。

的延伸和补充，同时也是衍生与升华，和第一课堂构成完整的教育体系。第二课堂的实践教育指导理论创新，从而实现第一课堂的进一步提升。充分合理利用第一课堂的课外时间，打破时空限制，将第二课堂融入大学生活的方方面面，把第二课堂的更多形式和内容写进人才培养方案，对第二课堂项目和活动进行“课程化”建设，实现两个课堂有机融合，助力应用型人才培养。

1.2　第二课堂与第一课堂协同育人培养体系实施的关键

打造多元主体的协同育人队伍是实施第二课堂和第一课堂协同育人培养体系的关键。建立“学校–学院–班级”三级网络工作队伍，打造由教育专家、专任教师、辅导员、学生团队组成，各参与主体相互协作的协同育人队伍。学校层面由校领导牵头教务处、团委、学生处等相关职能部门，负责总体规划和设计第二课堂和第一课堂协同育人培养体系；学院层面，成立第二课堂和第一课堂协同育人培养体系工作组，由二级学院党委副书记、副院长、团委书记、教学秘书等组成，负责本学院第二课堂和第一课堂协同育人培养体系的指导和实施；班级层面，成立第二课堂和第一课堂协同育人培养体系工作小组，由班长、团支书、主要学生干部、学生代表组成，在学院工作组及辅导员、班主任的指导下，负责本班第二课堂和第一课堂协同育人培养体系的具体实施。

1.3　第二课堂与第一课堂协同育人培养体系运行的保障

科学的教育评价体系是建设健康的教育评价文化的必要条件。两个课堂协同育人培养体系需要完善的教学效果评价体系的辅助，激励教师积极发挥作用，激发学生的学习兴趣。构建基于“互联网+大数据”的动态评价体系，既要注重培养过程评价，又要注重以学生为主体的培养质量评价。通过考量用人单位评价、毕业生评价、学生高质量就业情况等综合指标，以行业企业需求为导向，调整应用型人才培养方案，落实第二课堂“课程化”，突出实践性、广泛性、趣味性，创新两个课堂相互融合的课程体系，有效提升应用型人才的培养质量。

1.4　第二课堂与第一课堂协同育人培养体系的初步构建

第一课堂是利用传统的课堂教学，执行人才培养方案中的教学计划，实现人才培养目标，是专业理论知识学习的主要途径。第二课堂是第一课堂之外的教学活动，涵盖思政教育、科研训练、创新创业、文体活动、社会实践、志愿服务等，是第一课堂的延伸，注重专业理论知识向应用实践能力的转化，能够促进学生的全面发展，从而培养出高素质的应用型人才。本文提出第一课堂与第二课堂协同育人培养模式（图1），从学生入学开始，一直延伸到学生毕业，第一课堂通过设置专业课程、选修课程、实践课程、毕业论文等方式，保障人才培养方案实施的规范性，不断提高人才培养质量；第二课堂创新教学模式，通过开展思政教育、科研训练、创新创业、文体活动、社会实践、志愿服务等方式，突出实践性、广泛性、趣味性，提升学生综合素质。做好第二课堂和第一课堂协同育人的顶层设计，构建两个课堂相互融合的协同育人培养体系，完善教育教学评价体系，以规范的培养过程，培养高质量应用型人才。

2　第二课堂育人模式创新探索

“第二课堂成绩单”制度赋予了第二课堂丰富的内涵。第二课堂中，学生的学习偏重于自主学习，但教师的作用不能被忽视。教师的引导作用是激发

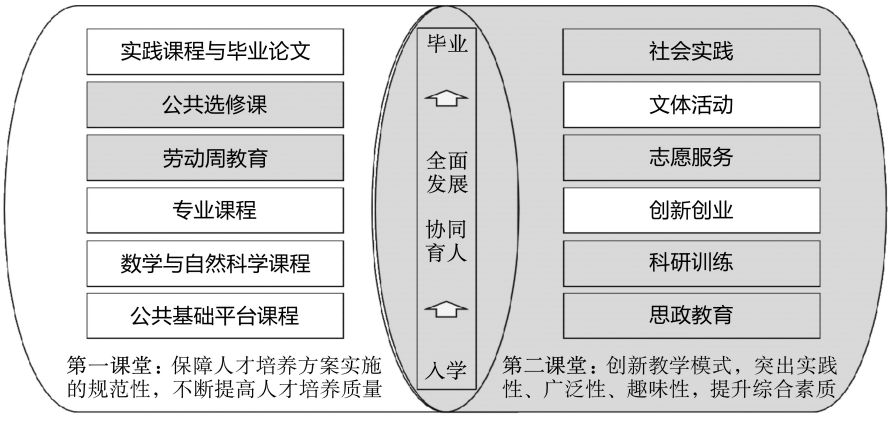


图1　第一课堂与第二课堂的协同育人培养模式

学生学习兴趣的关键因素，特别是“双师型”教师在第二课堂教学过程中更应突出自身作为引导者的角色，大胆展示专业知识和人格魅力，为保障实现学生个性化培养的目标，在挖掘学生的学习潜力、促进学生全面发展过程中产生积极的影响。因此，在两个课堂协同育人体系中充分发挥学生的主动性和教师引导的积极性，有利于高素质应用型人才的培养。

第二课堂的实施过程要注重把握专业特点的方向性、综合素养的协调性、组织管理的系统性和形式内容的时效性[7]。为了更好地发挥第二课堂育人实效，在育人目标、教学内容、教学途径、师生交互方式上创新第二课堂教学模式，与第一课堂协同实现理论教学与实践育人的互融互通，从而完善两个课堂的协同育人培养体系。

2.1 将课程思政有效融入第二课堂

落实立德树人根本任务，构建“三全育人”的大思政格局，是贯彻落实党的二十大精神和高校思想政治工作会议精神的必然要求，为高校第二课堂的实施指明了方向。第二课堂课程思政是完善“三全育人”体系的重要手段，是高校育人的重要载体，理应承担起课程思政实施的任务，同时也为“三全育人、立德树人”的本质、方法、载体的不断探寻和研究提供鲜活的载体和路径[8]。将课程思政融入第二课堂中，在各项活动开展中巩固强化大学生的社会主义核心价值观，引导大学生形成正确的世界观、人生观、价值观，将自身发展与中华民族伟大复兴紧密联系起来，有利于巩固第一课堂思政教育成果，实现课程思政在第二课堂中立德树人的作用。

本文提出着力打造“多平台、多模块、多环节、多元素”的第二课堂课程思政全覆盖创新模式（图2），合理设计多模块、有效规划多环节、深入挖掘多元素、积极搭建多平台，将课程思政贯穿第二课堂并实现全面覆盖，拓展课程思政的实施载体、提升立德树人效果。

2.2 创设以科研训练为主线的新型第二课堂

学生在科研训练过程中通过参与指导老师的科研项目和其他各类科研活动，掌握综合运用专业知识技能的本领，在解决实际问题中锻炼实践能力，培养创新思维，严谨科学态度，最终达到人才培养方案设定的知识目标、能力目标和情感目标，巩固完善第一课堂的理论教学成果。

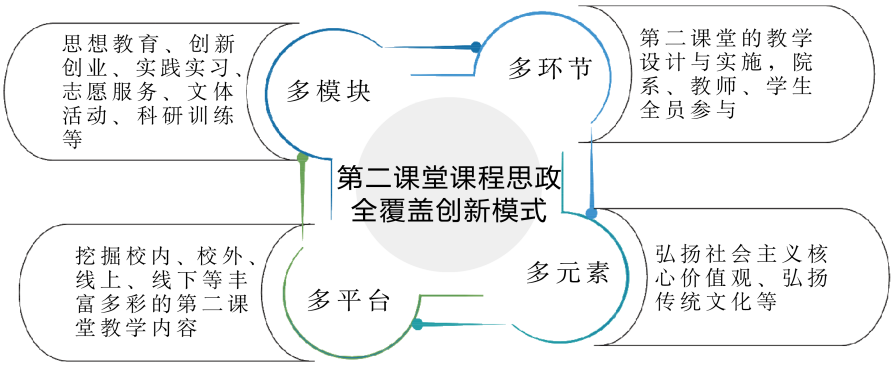


图2 第二课堂课程思政全覆盖创新模式

新乡医学院针对生药学专业一二年级的大学生设立了第二课堂科研活动，通过查阅文献、仪器操作，让学生熟悉科研流程，旨在开发学生潜能、激发学生兴趣[9]。陆军军医大学设计了新型第二课堂，包括“基础–临床相结合”“建立学习制度”“培养科研兴趣”“确立目标，突出实践”“鼓励创新”，培养生物医学工程专业本科生在医学领域的独立思考能力，充分锻炼和提升其发现问题、解决问题的能力和综合创新能力[10]。结合其他院校第二课堂科研活动开展情况及德州学院实际，根据专业特点，建立以解决行业企业实际问题为目标的科研训练项目。学生围绕科研训练项目把专业知识整合起来，形成完整的、系统的知识架构，并在指导老师的带领下开展科研参观活动，提升专业知识技能的综合运用能力。

2.3 创新第二课堂的教学模式

推行创新创业教育以来，高校成为创新创业教育开展的重要平台，许多高校成立了创新创业学院、大学生就业创业赋能中心、大学生创新创业园、大学生创新创业指导中心、创业谷、众创空间等。此外，国家级大学生创新创业训练计划平台、大学生创新创业管理共享平台、大学生创新创业云平台等都成为大学生创新创业教育的重要平台和信息载体。第二课堂是高校创新创业教育的重要阵地。高校可以从管理机制、教学方法和评价体系等方面进行探究，开展引导式教学、任务式教学、互

动式教学，构建形式多样、方式灵活的新型创新创业教育第二课堂。根据专业特点和学生特点建立动态的课程体系，针对性地指导学生增强专业知识和实践能力。创新创业类社团、科研小组等是双创“第二课堂”实践活动的重要载体。在社团中，不同年级、不同专业、不同学科背景的学生可以相互交流、相互促进、相互提升，有利于培育创新创业团队[11]。同时，社团的自主管理能够提高整个社团的实践能力。充分利用多媒体和网络资源，开发和运用自媒体开展双创“第二课堂”教学，图文并茂、效果直观，能够有效提升信息时代大学生双创教育的参与度。

2.4　用优秀传统文化激活第二课堂

中华优秀传统文化是中华民族最为深厚的文化软实力，是文化自信的重要来源。丰富多彩的文体活动，是大学生强身健体、展现青春风貌的有效途径。优秀传统文化第二课堂教育应强调理论联系实际、学以致用，让学生在参与活动的过程中提升综合素养和能力。高校应融合校内外育人资源，提升优秀传统文化第二课堂教育的系统性，同时营造线上线下育人场域，提升优秀传统文化第二课堂教育的渗透性。通过引领阅读古典名著、开设传统文化讲堂、成立兴趣社团、民族礼仪教育、传统节日纪念等一系列活动，引导大学生体验民风民俗，打造书香校园，传承优秀传统文化成果[12]。例如，通过举办“中国传统文化进校园、进教室、进宿舍”系列活动，把中华诗词、民间故事、传统手工艺、地方特色文化、戏曲、武术等展现给学生，成立相应社团提高学生的参与度，让学生在喜闻乐见的活动中接受人文精神的熏陶，同时在实践中提升审美能力，把中华优秀传统文化继承好、发扬好。

2.5　开展实习实践和志愿服务相结合的第二课堂

实习实践和志愿服务有利于锻炼学生的专业技能，加强学生的社会适应能力，提升学生的综合素养[13]。开展实习实践和志愿服务相结合的第二课堂就要创新开展机制，提高学生积极性，减少功利性。要把握专业特点，根据不同专业特点引导学生参与相关实习实践活动和志愿服务活动。要与合作单位建立较为长期、稳定、共赢的合作关系，建设实习实践基地、就业基地等，通过顶岗实习、参观走访、社会调查等，将实践活动拓展到校外，开拓学生社会观察领域，提高学生的职业技能和社会适应能力，让学生在实习实践中提升自身综合素质。在志愿服务方面，加强对大学生志愿者的教育、管理和培训力度，加强志愿服务的组织、指导、协调和评价，实行志愿服务项目化管理，进行过程监督管理，结合专业特色，开展好暑期“三下乡”社会实践等重要志愿服务活动，创建特色志愿服务品牌。

3　总结

培养适合地方经济社会发展需求的高素质应用型人才是地方本科院校的根本任务，是保证地方院校可持续发展的关键因素。构建全面发展的应用型人才培养体系要求实现两个课堂的深度融合，既要充分发挥第一课堂的基本理论知识的传授功能，又要突显第二课堂在人才培养中的立德树人作用。构建第二课堂和第一课堂协同育人培养体系，注重专业理论知识向应用实践能力的转化，创新探索第二课堂育人模式，将课程思政、科研训练、创新创业、优秀传统文化、实习实践和志愿服务等有效融入第二课堂，激活第二课堂活性，不断创新第二课堂教学模式。积极推进落实“第二课堂成绩单”制度，做好顶层设计，做到统筹规划、明确分工、完善机制、优化配置、积极引导、全员参与、保障实施等，以学生为主体，充分发挥教师特别是“双师型”教师的引导作用来激发学生的学习兴趣，让学生在自主学习中真正提高自身的综合素养，成为适应地方经济社会发展需求的高质量人才。

参考文献：

[1] 中国青年报.团中央学校部负责同志就在高校实施共青团“第二课堂成绩单”制度答记者问[EB/OL].（2018-07-05）[2022-10-26].http://zqb.cyol.com/html/2018-07/05/nw.D110000zgqnb_20180705_1-03.htm.

[2] 习近平在中央党校建校80周年庆祝大会暨2013年春季学期开学典礼上的讲话[EB/OL].(2013-03-04)[2022-10-15].https://www.ccps.gov.cn/xxsxk/zyls/201812/t20181216_125682_1.shtml.

[3] 共青团中央. 高校共青团“第二课堂成绩单”制度试点工作实施办法[EB/OL].（2016-09-18）[2023-06-21]. http: //tw.hebtu.edu. cn/a/2016/ 11/24/20161124190727.html.

[4] 高晓玲, 徐梅. 应用型人才培养背景下“第二课堂成绩单”制度的实践探索: 以成都工业学院为例[J]. 吉林工程技术师范学院学报, 2020, 36(4): 24-26.

[5] 邵妍. 浅谈地方本科院校应用型人才培养模式下的第二课堂建设[J]. 吉林省教育学院学报(中旬), 2012, 28(8): 83-84.

[6] 吴疆鄂, 唐明毅, 聂清斌. 高校共青团“第二课堂成绩单”运行机制探究[J]. 学校党建与思想教育, 2019(10): 91-93.

[7] 彭巧胤, 谢相勋. 再论第二课堂与第一课堂的关系[J]. 学校

党建与思想教育, 2011(5): 45-46.
[8] 刘玉洁. 应用型高校第二课堂教育有效路径探析[J]. 传播力研究, 2019(31): 268.
[9] 黄彪, 唐廷圆, 王刚, 等. 基于复合型科技人才培养的第二课堂课程思政探索[J]. 产业与科技论坛, 2020(13): 146-147.
[10] 张来宾, 吕洁丽, 白素平, 等. 在本科生中开展生药学科研训练的实践[J]. 继续医学教育, 2016(4): 35-36.
[11] 李建美, 康菲, 肖煜峰. 新模式第二课堂教学法提升生物医学工程本科生创新能力[J]. 中华肺部疾病杂志(电子版), 2021(6): 847-848.
[12] 谢学, 包中华. 优秀传统文化第二课堂与大学生人文素养培育研究[J]. 常熟理工学院学报, 2014(6): 19-21.
[13] 周子煦. 浅析社会实践活动与志愿服务的有效结合途径选择[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2018(23): 199.

Innovative Exploration of Education Mode in the Second Classroom for Training High Quality Applied Talents

SUN Chenchen[a], ZHU Chao[b], DONG Xiaoting[c], FENG Lishun[b]

(a. School of Business; b. College of Pharmacy; c. School of Foreign Languages, Dezhou University, Dezhou Shandong 253023, China)

Abstract: The second classroom is an effective way to cultivate high-quality applied talents, and innovating the second classroom education model is a powerful measure to improve the quality of applied talent cultivation.This article focuses on the implementation of "the second classroom transcript" system, emphasizing the collaborative role of the second classroom and the first classroom in educating students. It explores the innovative models of the second classroom in aspects such as ideological and political education, scientific research training, innovation and entrepreneurship, cultural and sports activities, social practice, and volunteer service, and enhances the role of the second classroom in cultivating morality and talent. It provides valuable reference for local undergraduate universities to cultivate high-quality applied talents.

Key words: second classroom; innovative education mode; applied talents training; collaborative education

版权声明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社、国家哲学社会科学学术期刊数据库、北京万方数据库、重庆维普资讯有限公司、超星域出版数据库、中教汇据(北京)科技有限公司以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文,相关稿酬不再另行支付,作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意我刊上述声明。

德州学院学报编辑部

基于“OBE+三因”双理念下价值共创教学模式研究与应用

——以德州学院“市场营销学”课程为例

卜庆娟[1]，李朝辉[1]，曹 冰[1]，李寒英[2]

（1. 德州学院 商学院，山东 德州 253023；2. 德州克代尔集团，山东 德州 253079）

摘 要：教学模式改革是现代教育关注的一个重点话题，高校商科课程的教学模式应该紧跟时代发展。市场营销学是市场营销专业的核心专业课程之一，其教学效果直接关系到学生专业技能及职业素质的培养，对学生学业生涯和职业生涯均有重要的影响。然而，实践中出现了两大现象：学生对课程认知片面，对营销就业岗位热情低，学习内驱力不足；学生学习的参与度低，互动频率低，互动质量差。为此，提出价值共创教学模式，该模式基于“OBE（outcomes-based education）+三因”双理念，以互动为核心，以“三共”为共创目标的新型教学模式。“市场营销学”课程在该模式的指导下，学生的学习效果有了显著提升。

关键词：教学模式；价值共创；互动；市场营销学；OBE

中图分类号：G45 **文献标识码：**A **文章编号：**1004-9444（2024）04-0101-05

教学模式改革是现代教育关注的一个重点话题，高校商科课程的教学模式应该紧跟时代发展。市场营销学是市场营销专业的核心专业课程之一，其教学效果直接关系到学生专业技能及职业素质的培养，对学业生涯和职业生涯均有重要的影响。“市场营销学”是一门建立在经济科学、行为科学和现代管理理论之上的应用科学，是工商管理类专业的核心课程，更是市场营销专业的基础课程，其核心体系包括绪论、市场分析、营销战略和营销策略共4部分核心内容，具体内容涉及营销战略、市场调研、消费者及组织购买行为等庞杂知识且具有一定的复杂性。在“市场营销学”的课程教学中存在一些问题，例如，核心知识体系比较陈旧、理论与实践存在鸿沟、思政内容植入不系统等问题。也有很多学者探究了相关问题解决方法[1-2]，但没有形成可以普遍推广的模式。为此，本文基于当前教学中存在的三大痛点问题，构建了基于“OBE（outcomes-based education）+三因”双理念的价值共创教学模式，并分析了实施的效果。

1 教学中的痛点问题

1.1 学生对课程认知片面，对营销就业岗位热情低，学习内驱力不足

大部分学生认为市场营销专业未来就是走向销售岗位，相比于公务员、教师等岗位或跨专业考研，销售岗位的辛苦让其畏惧。基于对未来就业的考虑，很多学生缺乏对市场营销学课程的积极性。

通过市场营销学课程的学习，老师会积极纠正学生对市场营销专业和对该课程的错误认知，让其认识到营销的就业岗位绝不仅仅是销售，其内职业生涯和外职业生涯的发展空间都非常大。即便如此，很多学生仍然认为，营销工作需要有一定的天赋和高情商才能胜任。在这种情况下，学生对市场营销学课程学习的内驱力不足，更愿意把精力放在数学、英语等考研课程上，或者较早地为公务员、事业编等考试做准备。

1.2 学生学习的参与度低，互动频率低，互动质量差

营销专业的学生不但要学好文化课，更需要锻炼综合素质与能力，对创新能力、沟通能力都有较高的要求，这些素质与能力的储备都需要学生具备主动沟通意识，并积极参与课堂各种活动和互动交流。但是，作为普通高等院校的营销专业学生，目前还处于被动学习中，在课堂上主要表现在：课堂气氛不够活跃，主动参与和主动思考的意识低，上课回答问题不积极，需要老师点名提问；因课时少、学生人数多，导致课堂师生互动的频率较低；因为没认真听课或者懒得思考等因素导致课堂互动质量差且效率低，学生要么长时间回答不上来，即使在老师的反复引导下也仅仅是简单回答，要么直

收稿日期：2024-02-27

作者简介：卜庆娟（1976－），女，山东德州人，教授，博士，主要研究方向为市场营销。

接回答不知道；在课下，学生被动应付各项作业，不到期末考试，学生基本不会主动找老师，即使期末主动找老师也仅仅是询问有关考试的相关事宜，应付考试的目的十分明显。

1.3 教师授课压力大，完成教学目标与“迎合”学生之间的矛盾凸显

市场营销学作为市场营销专业的核心课程，不仅是后续学习其他专业课的基础，更是学生整体把握营销体系和知识的一门重要课程。因此，掌握该课程的核心知识体系和提升营销的综合素养对学生而言非常重要。老师既要努力在有限的课时里完成核心知识体系的授课任务，又要注重学生营销综合素养的培养与提升，更要注重给学生安排任务的量。部分学生课堂上和课下的兴趣点都在娱乐上，如果学生在学习上感受到压力，效果往往适得其反，不仅学习目标没有达到，还促使学生产生应付作业任务和投机取巧的不良行为，也就偏离了价值共创的轨道，产生了价值共毁的结果。

2 构建价值共创教学模式

以学生为中心，通过多种形式的有效互动共同创造学生需求的价值，是当前课堂教学改革的趋势。价值共创教学是学生与学生之间、学生与教师之间通过各种形式的互动共同创造学生个性化学习体验的过程，该模式包括“三个三”，涵盖教学模式的指导思想、共创手段和共创目的。

2.1 价值共创教学模式的理念：三个三

1）第一个“三”是指3个要素，即OBE的3个要素。

OBE的3个要素是以学生为中心、以学生体验价值为导向、以持续改进为重点[3]，它是价值共创教学模式的指导思想。OBE教学理念的3个要素为价值共创教学模式的总指导理念，强调在教学改革创新的过程中任何时候、任何阶段、任何方式都始终坚持以这3个要素为指导思想。

2）第二个“三”是3个因素，即三因理念的3个因素。

三因理念的3个要素是因事而化、因时而进、因势而新[4]，它是价值共创教学模式在具体操作环节的指导思想。在“市场营销学”的教学过程中，无论是在思政元素和思政内容的提炼上，还是在课程知识点的凝练和营销案例的选择上，都应该顺应时代环境，选择合适的内容和方式方法。结合社会发展及形势变化，不断创新教学手段、搭建平台渠道，打造学生真心喜爱、获益颇丰的教学课堂，从而增强学生的学习获益感和满意度，提升学生学习的内驱力。

3）第三个“三”是3个“共同”，即共识、共情和共振。

“三共”是价值共创教学模式的目标。共识是指学生与老师在价值共创教学模式上达到理性上的共同认识；共情是指学生与老师在教学目标、手段和内容等方面达到情感上的认同；共振是学生的“学”与老师的“教”在行动上的协同合作。

2.2 价值共创教学模式的行为方式：价值共创

在课堂教学中，教师的“教”是手段，学生的“学”才是目的、根本。教师通过“教”服务于学生的“学”，如果教师的“教”不能使学生学到知识、提升能力，那么这种“教”就是失败的。所以，课堂是学生与教师共同创造学生所需求价值的平台，该平台的主体是学生，教师是学生“学”的支持者和服务者。

2.3 价值共创课堂教学模式的行为结果：学生个性化体验价值

在多年的教学观察和与学生的沟通中发现：学生能认识到学习的重要性，并希望在课堂上学到有价值的知识；他们更喜欢生动有趣的课堂，希望在娱乐状态下轻松地学习；他们也希望多与教师沟通，增进师生感情，通过课堂讨论加深同学友谊。价值共创课堂教学模式是师生共创学生个性化学习体验的一种教学模式，学生获得的价值为体验价值，包括知识价值、娱乐价值和社会价值。知识价值是学生对课堂所学内容的感知有用性，娱乐价值是学生对教师“教”的内容及手段等的趣味性感知，社会价值是学生对课堂学习促进人际交往的有用性感知。

2.4 价值共创课堂教学模式的实现方式：互动

互动是一个范畴很广的概念，可以根据不同的标准进行分类。首先，根据是否需要借助于互联网这一技术，可分为线上互动和线下互动。线上互动是借助手机等移动设备而实现在网络上的互动，例如通过手机二维码点名，完成课堂作业等；线下互动是指除线上互动之外的课堂互动，例如教师与学生的面对面沟通与交流。其次，按照互动的对象，可分为学生之间的互动、师生之间的互动、学生与教材的互动、学生与多媒体的互动、学生与手机的互动等。第三，根据是否具有交互性，可分为交互性互动和非交互性互动。学生之间、师生之间的互动属于交互性互动，学生与手机、教材、多媒体之间的互动为非交互性互动，在非交互性互动中，手机、教材、多媒体等没有主动权，主动权掌握在学

生手中。

对教师而言，不仅要充分发挥线下互动的优势，也要利用线上互动的技术与手段，多采用交互式互动可以有效激发和提升学生的学习兴趣，引领其逐步深入思考相关问题，从而提升学生对个性化体验价值的感知。通过非交互式互动来增加教学手段，扩展学生的知识面，从而提升学生对知识价值、娱乐价值的感知。

价值共创教学模式示意图如1所示。图1不仅揭示了价值共创教学模式中“三个三”之间的相互关系，更进一步明确了价值共创的内容、手段和方法。

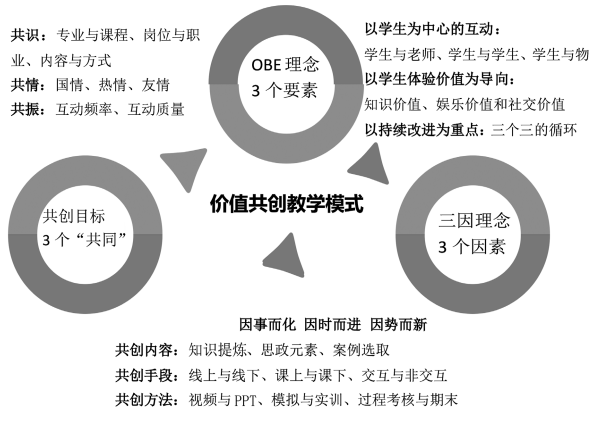


图1　价值共创教学模式的示意图

3　价值共创课堂教学模式下“市场营销学”课程设计

根据社会对市场营销人才需求的特点，结合市场营销专业后续开设课程及普通高校学生实际水平，在54个学时的条件下，提炼出了4部分共12个模块的核心内容，具体如表1所示。

3.1　总体目标

依据价值共创教学模式，达成的总体目标为：（1）掌握现代市场营销的基本理论、基本原理和基础知识；（2）具备市场调研、市场分析、市场开拓的能力，能胜任企业市场调研、策划与实施及营销管理等工作，具备较强的实践能力，突显市场营销专业人才培养的特色；（3）具有高度的社会责任感、较高的营销素养，在工作中面临不同的情况能够应对自如；（4）具有创新意识和创新思维，具有现代营销的思维和理念。

3.2　其他目标

1）能力目标

学生需具备一定的技术能力，包括市场环境分析能力、市场策划与调研能力、市场开拓能力，能胜任企业市场调研、策划与实施及营销管理等工作，使学生具备较强的实践能力和数据分析能力；学生具备创新思维和创业能力，能够发现市场机会，创造创新产品和服务，帮助企业提高市场占有率和竞争力；学生具备良好的团队合作和领导能力，能够协调团队合作，领导团队完成市场营销任务。培养学生与不同的人群有效地沟通，包括顾客、合作伙伴、同事和上级。

2）素质目标

塑造现代营销人才的基本职业素质；提升营销实践中为人类可持续发展的忧患和优化意识；倡导并推行社会营销观念，强化社会责任意识；提升真善美的素养，为满足人类更美好的生活而努力的营销素养。会营销思想和观念；深刻领悟大国工匠精神，将营销战略与工匠精神结合，培养艰苦奋斗和持续努力的思想和精神；培养价值共创的思想与能力，珍惜友情，提升爱国情怀。

3.3　手段和方法

严抓课堂，提升学习效率，充分利用课下时间，使有学习意愿的学生有机会深入学习；充分利用线上资源，课堂上学生多共享，课下老师多共享；课堂上多采用师生互动，课下多采用学生之间互动的方式共创价值，课下老师多提供资源，学生线上学习；课上老师通过分享慕课视频的方式，让学生掌握基本知识，通过PPT的展示来进行知识的系统化和深化；课堂通过模拟的方式让学生体验相关角色，领悟专业知识；课下，学生通过短期兼职或参与科技文化竞赛的方式进行实训；过程性考核占比60%，考勤和课后作业用于保障学生对基本知识的掌握；任务性作业在于培养学生能力与素养的，如营销类的科技文化竞赛可以作为任务性作业，老师将课程内容与竞赛项目相结合，使学生高质量地完成作业，提升培养质量。

4　教学模式创新取得的成果

价值共创教学模式已经在德州学院商学院三届学生中开展，随着执行水平的不断提高，教学模式的理念和方法等各个方面也逐渐成熟，取得的效果也逐渐提升，主要体现在以下三个方面。

4.1　学生层面而言，价值共创目标在不同程度上得以实现

使全体学生在专业和课程的认知上达成共识，认识到了市场营销的专业特点和未来就业的良好前

表1 “市场营销学”课程体系设计

章 节		知识目标
绪论	营销与营销学	认识到营销的重要性及其价值；掌握市场营销及其相关的概念；了解市场营销学的发展历史等。
	营销哲学的演变	掌握营销观念、客户观念、整体营销观念和社会营销观念等概念的联系与区别；熟悉营销组合的概念及其扩充与演变；了解社会责任、宏观营销、绿色营销等概念。
	战略计划与营销管理	掌握营销和顾客价值、企业规划总体战略的实现步骤；理解规划经营战略；深刻理解市场营销管理与市场营销组合。
市场分析	营销环境分析	了解营销环境的构成要素；掌握营销环境分析的方法；判断当下的宏观环境。
	营销调研与市场需求预测	了解营销调研系统和调研程序；掌握营销策划和问卷调查等相关方法和知识。
	消费市场及其购买行为	了解影响消费行为的因素及主要心理过程；把握购买决策过程；理解行为决策理论与行为经济学等。
营销战略	目标市场营销战略	掌握市场细分、目标市场选择、市场定位的相关知识及方法。
	市场竞争战略	掌握基本竞争战略；了解其他竞争战略等。
营销策略	创造价值	理解整体产品概念和新产品的内涵；掌握产品组合策略；掌握产品生命周期；理解品牌、品牌价值和品牌资产的内涵，体会其重要性；掌握品牌策略。
	体现价值	了解影响定价的因素；掌握企业制定价格的依据及方法；掌握企业调整价格、发起和应对价格变化等策略。
	交付价值	理解分销渠道的职能与类型；掌握分销渠道策略；掌握物流与供应链管理。
	传播价值	了解整合营销传播的内涵和组成；掌握四大促销手段的方法。

景，充分意识到了“市场营销学”课程在专业课程体系及未来就业中的重要性。课程第一节课，老师不讲营销知识，而是讲述自己设计与制作的“说说我的营销学”，不仅讲透专业特色及课程的重要性，更是结合就业实际为学生的学习生涯和职业生涯进行了规划，从需求侧的视角激发学生学习的内驱力。使绝大部分学生在体验上达成共情，能够爱上专业、爱上课程，在友情和爱国情怀上得到进一步提升。通过课上与课下各种形式的持续互动，不仅使学生体验到了营销激动人心和着迷的地方，也增进了师生之间、学生之间的友谊，更通过课程内的思政元素和热点内容提升了学生的家国情怀，实现了热情、友情、爱国情怀之间的良性循环。

大部分学生在行为上能够共振，积极参与和完成相关任务。95%以上的学生能够做到学期课程全勤，极个别学生请假，出勤是学生学习的基本保障，极高的出勤率彰显了学生对课程和老师的高度认可；100%的学生能够高质量地完成课堂和课后作业，保障了课堂听课和课后复习这两个重要环节，实现了人才培养的基本目标；50%以上的学生能够高质量地完成任务性作业，例如科技文化竞赛作品等，在优秀学生身上实现了人才培养的高层次目标。

4.2 教师层面讲，积累了丰富经验，引领作用不断增强

通过价值共创教学模式的实施，精炼了课程内容，优化了互动方式。参考营销领域内著名学者编著的教材，综合自身多年的教学经验、学生关注的重点及社会对营销人才的需求等多方面的因素，动态精炼课程内容，提炼了12章的核心知识体系，并固化每章的核心知识点，由此内生思政内容。根据实施的效果，不断调整和升级互动的方式方法，例如，由教师提问到鼓励学生发问，由教师的分享到学生的共享，由一对多的作业指导到一对一的任务性作业指导等。

价值共创教学模式可将成果浓缩于教研论文与项目之中。结合教学创新实践，教学团队撰写完成《价值共创教学模式研究与应用——以“市场营销学”为例》教研论文一篇，并围绕该主题撰写了教研项目申请书，努力申请校级及省级教研项目。

价值共创教学模式弱化互动中教师“讲”的分量，强化学生“学”的效果，提升教师的引领作用。例如，逐渐缩减教师上课讲授的时间，以知识点小视频代替教师对核心知识点的讲述，通过抛给学生感兴趣的问题继而引导学生寻找答案的方式引领学生学习，在互动过程中，学生不仅收获了知识，提升了能力和素养，还增进了友谊。

虽然价值共创教学模式在实践中取得了一定的成效，但仍有诸多不成熟的地方，需要在今后的实施过程中动态调整，由于学生的差异，其实施效果也因人而异，更多的一对一互动和引领将是该模式进一步提升效果应该努力的方向。

参考文献：

[1] 张璐, 张文雪, 崔敏杰, 等.“知识本位”到“素养为重”：指向深度学习的案例行动学习法[J]. 高等工程教育研究, 2024(1): 130−137.

[2] 蒋峻松, 乔智, 罗婧瑜, 等. 本科“审计学”课程“SPOC+课堂+虚拟仿真实验”三混合教学模式探讨: 以云南大学会计学专业为例[J]. 东南大学学报(哲学社会科学版), 2023(25): 42−46.

[3] 凤权. OBE教育模式下应用型人才培养的研究[J]. 安徽工程大学学报, 2016, 31(3), 81.

[4] 习近平. 把思想政治工作贯穿教育教学全过程开创我国高等教育事业发展新局面［EB/OL].(2016-12-09)www.moe.gov.cn/jyb_xwfb/gzdt_gzdt/201612/t2016128_291306.html.

[5] 盛妍艺, 晋琳琳, 季六祥, 等. 创新迭代、价值共创与产学研用数字化协同创新[J]. 自然辩证法研究, 2023, 39 (11), 87: 95.

Research and Application of Value Co-creation Teaching Model Based on the Dual Concept of OBE+Three-Factors

——Taking “Marketing” of Dezhou University Course as an Example

BU Qingjuan[1], LI Chaohui[1], CAO Bing[1], LI Hanying[2]

(1. School of Business, Dezhou University, Dezhou Shandong 253023, China; 2. Dezhou Kedaier Group, Dezhou Shandong 253079, China)

Abstract: The research of teaching mode is a key topic of concern in modern education, and the teaching mode of business courses in universities should keep up with the times. Marketing is one of the core professional courses in the field of marketing, and its teaching effectiveness is directly related to the cultivation of students' professional skills and professional qualities, which have an important impact on both academic and career development. However, two major phenomena have emerged in practice: students have a one-sided understanding of the curriculum, low enthusiasm for marketing and employment positions, and insufficient learning motivation; The participation of students in learning is low, the frequency of interaction is low, and the quality of interaction is poor. Therefore, a value co-creation teaching model is proposed, which is a new teaching model based on the dual concept of “OBE+three factors”, with interaction as the core and “three co-creation” as the goal. The course of Marketing has significantly improved the learning effectiveness of students under the guidance of this model.

Key words: teaching mode; value co-creation; interaction; marketing; OBE

(上接第95页)

[16] 宋从从, 王春利, 孙建梅. 7S管理在高职院校《基础化学》实践教学中的应用[J]. 河南化工, 2016, 33(9): 55-57.

Research on the Experimental Teaching Reform of “Three Double and Three Integrations” under the Certification of Engineering Education

——Taking “Environmental Monitoring Experiment” of Dezhou University Environmental Engineering Education as an Example

WANG Aili[1], SHANG Shubo[1], YANG Fei[1], LI Xinzheng[2], WANG Fang[1]*

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Dezhou University, Dezhou Shandong 253023, China; 2. Dezhou Municipal Transportation Bureau, Dezhou Shandong 253057, China)

Abstract: In order to further implement the training objectives under the certification of engineering education of environmental engineering, an experimental teaching reform model of “three double and three integrations” was proposed and constructed by the teaching team of “Environmental Monitoring Experiment”, namely, the “double places” model of “environmental integration”, the “double teachers” model of “teaching integration” and the “dual” model of “role integration”. The trinity of “knowledge-skill-quality” curriculum objective evaluation system has been formulated, which can not only guarantee the training and objective evaluation of students' abilities in the process of project training, but also improve students' practical ability of environmental monitoring.

Key words: engineering education certification; integration of industry and education; three double and three integrations; trinity of knowledge-skill-quality

新建应用型本科高校课程考核质量提升路径探究

王　娜

（山东华宇工学院，山东　德州　253038）

摘　要：课程考核是衡量教师教学水平和检验学生学习效果的重要手段，科学、规范的考核可以客观反映教学质量的整体情况。文章基于持续改进理念，采用抽检法和对比法，对H校近两学期的课程考核材料进行校内抽检，依据检查结果剖析影响新建应用型本科高校课程考核质量的可能因素，提出课程考核这一主要教学环节的质量提升策略。

关键词：课程考核；质量提升；持续改进

中图分类号： G642　　**文献标识码：** A　　**文章编号：** 1004-9444（2024）04-0106-05

0　研究背景

随着高等教育大众化战略的实施，人才培养质量提升问题日益引起全社会的广泛关注。为适应蓬勃发展的新一轮科技革命及产业变革，主动服务区域经济社会发展，新建应用型本科高校迫切需要基于“创新型、应用性、开放式”的教育新理念，探索全面提高人才培养质量的新模式。教育部在本科教学工作合格评估指标及本科教育教学审核评估指标中均明确要求，高校要遵循教育规律，建立健全教学质量保障体系，保障教学运行平稳有序，教学各环节质量稳步提升[1]。课程考核作为本科教学过程中极为重要的一环，具有衡量教师教学质量和检验学生学习效果的双重作用，其质量提升自然成为教学改革的重中之重。

然而，传统的课程考核以闭卷考试为主，其考试内容重专业理论轻实践能力、重期末成绩轻专业素养、重概念背诵轻知识掌握，不能很好地适用于应用型人才培养。因此，高校教师必须从考核目的、考核形式、考核内容、成绩构成比例等方面对课程考核机制进行全方位、多元化的改革和完善，引导学生既重视专业理论学习，更重视应用知识和实操能力的锻炼，使学生在知识、能力、素质等领域得到全面发展[2-3]。本研究基于H校近两学期的课程考核材料进行了校内抽检，旨在深入诊断课程考核教学环节可能存在的问题。通过对这些问题的深入分析，本研究提出解决问题的合理建议与举措，以优化课程考核工作，为同类院校课程考核工作提供借鉴思路。

1　研究方法

H校建立了相对完善的本科教学质量保障体系，其中规定本科教学各环节质量提升工作由教学质量监控与评估中心全面负责。在抽检工作进行之前，教学质量监控与评估中心根据教务处发布的所有关于课程考核的制度、文件，制定了“课程考核质量检查标准”（见表1）及“课程考核质量评价表”（见表2），在考核命题、试卷分析（分析报告）、平时成绩、阅卷评分、材料归档五个方面明确了考核材料检查的具体要求，为后续抽检工作提供了依据。

1.1　抽检法

基于科学性、全面性、比例性与可操作性原则，在H校2022—2023学年第一学期期末563 门课程考核材料中，抽取了177 门课程的224 本（套）期末考核材料进行检查，抽检材料的课程覆盖率为31.44%，包含了全部通识课程与大部分专业核心

收稿日期：2024-03-20

基金项目：山东省教育厅2022年本科教学改革研究项目：基于“专业认证理念”的应用型本科高校教学质量保障体系的研究与实践（M2022138）。

作者简介：王娜（1991—），女，山东德州人，高级工程师/讲师，硕士，主要从事本科教学质量评估与研究。

课程（见图1），涵盖了该校所有教学单位（见图2）；以考核形式作为区分，抽检材料囊括了以“平时考核+期末考试”形式考核的试卷材料以及以“大作业”“调查报告”“课程设计”“实训操作”“答辩”等形式考核的非试卷材料（见图3）。

表1 H校课程考核质量检查标准

类别	检查项目	检查标准
试卷类	考核命题	命题过程管理规范，程序符合学校要求。
		知识考查覆盖面宽，内容构成比例符合大纲要求，题目数量适宜。
		题型选择符合课程性质特点及教学目标要求，中、高能力测试题型及分值所占比例适宜。
		内容构成比例一致，题型、题量相同，难度相当。
		参考答案及评分标准规范、合理、准确。
	阅卷评分	参考答案及评分标准执行严格、统一，判分准确，无随意更改现象。
		小题与大题记分规范，分数合成准确无误，更改处有签名。
	试卷分析	对学生答卷诊断准确，问题成因分析客观，能充分利用考试反映的信息，评估教与学的效果。
		教学内容与教学方法的改进意见明确、具体、针对性强。
非试卷类	考核命题	考核方案科学，成绩构成合理，具有可操作性，符合教学大纲要求。
		评分标准赋分合理，准确无误，格式规范。
	评阅	采用报告、大作业等考核形式的课程，阅卷过程中要有评语，有按照评分标准记载的分项得分。
		采用作品、设计、实验、操作、口语、听力、体能等考核形式的课程，依据标准评分，评价准确。
		学生提交的非试卷考核材料重复率不超过30%。
	分析报告	分析报告认真、客观、准确。
		对考核内容和方式有分析，分析内容与考核成绩要一致。
		教学反思有针对性，并对今后课程教学、考核方式和学生学习提出改进措施和建议。
试卷类、非试卷类	平时成绩	符合教学大纲，平时成绩构成科学合理。
		实验成绩未单列的课程，在平时考核成绩登记表中要有实验成绩记录；实验成绩占比合理。
		平时考核成绩分布合理，统计准确。
		平时考核成绩记录清楚，过程性材料保存齐全、装订规范。
	材料归档	按规范顺序装订，不缺项，不漏签。

表2　H校课程考核质量评价表

开课单位		课程名称			
班级		任课教师		材料份数	
检查项目		分值		得分	
考核命题		40分			
试卷分析（分析报告）		20分			
平时成绩		20分			
阅卷评分		10分			
材料归档		10分			
总分		100分			
注：各分项得分，9（18、36）≤优≤ 10（20、40），（16、32）8 ≤良 <9（18、36），（14、28）7 ≤中 <8（16、32），（12、24）6 ≤合格 <7（14、28），不合格 <6（12、24）。					
综合评价 1.存在的问题 2.改进的意见及建议 专家签名：					

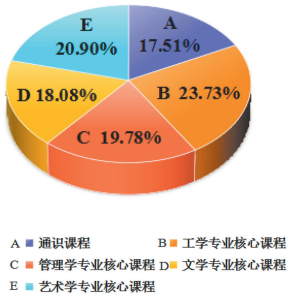


图1 各类课程抽检数量占比

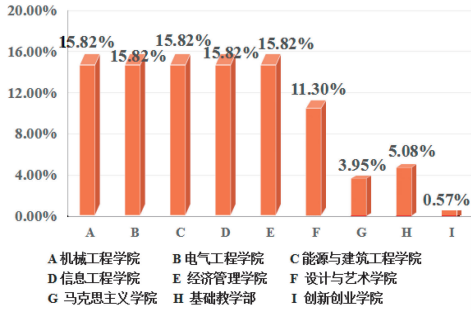


图2 各教学单位抽检课程数量占比

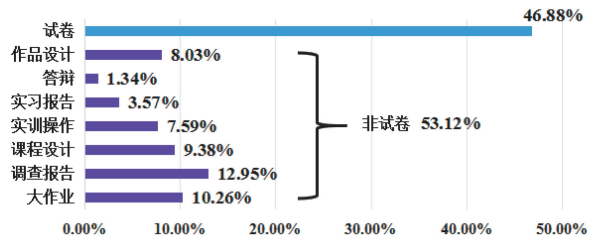


图3 各种考核形式抽检课程数量占比

为保证检查尺度统一，组织12 名校内教学督导员及8 名骨干教师，分为命题质量组（检查命题质量）、分析报告组（检查试卷分析）、平时成绩组（检查平时成绩）以及评阅装订组（检查评阅质量与装订质量）四组，依据“课程考核质量检查标准”，有针对性地对抽取的课程考核材料进行了检查，以课程为单位填写了“课程考核质量评价表”并进行了分项赋分。

抽检工作结束后，通过本科教学质量保障体系中的教学质量反馈改进系统，将学校教学管理层面的问题及意见、建议上报给教务处，课程考核材料存在的共性、典型及重点问题清单反馈至各教学单位。各教学单位依据问题清单进行整改，教学质量监控与评估中心会同教务处进行持续督查跟踪。

1.2 对比法

经过一学年的考核材料存在问题整改工作后，在H校2023—2024学年第一学期期末考核材料中，抽取与2022—2023学年第一学期检查相同的177 门课程的224 本（套）期末考核材料，聘请相同的督导员及骨干教师，依据既定的“课程考核质量检查标准”进行检查，以课程为单位填写“课程考核质量评价表”并进行分项赋分，按组归纳出典型问题与共性问题，对比分析两个学期H校课程考核材料的质量及抽检材料得分。

2 研究结果

2.1 问题统计

抽检结果显示，H校的课程考核教学环节管理规范，材料整体质量较高，但部分课程在特定方面依然存在问题，仍需进一步改进。分类汇总两次抽检发现的重点或突出问题，得到该校课程考核材料重点问题清单（见表3）。

2.2 数据分析

依据“课程考核质量评价表”中的各分项得

表3 H校课程考核材料重点问题清单

抽检项目	抽检课程数	存在该问题课程数	重点问题	备注
考核命题	59	7	考核目标不够明确，考核题目较简单，不足以完全体现课程的教学目标。	非试卷类材料问题
		5	评分标准赋分不够合理，评分标准太笼统不够细致。	
		3	考核成绩构成不够合理，成绩构成与教学大纲中的学时分配不一致，重点内容赋分较少。	
试卷分析（分析报告）	78	19	任课教师对命题分析、统计数据解读、学生作答情况分析、教学反思等内容描述不准确、不具体、不深入。例如命题分析文不对题，写成了课程简介；学生作答情况分析按照大题进行分析，未按照知识点进行分析；教学反思未针对考核成绩反映出的问题提出具体的建议或举措，缺少具体的教学改进思路。	试卷、非试卷类材料共性问题
		13	统计数据分析中，未掌握标准差、难度、区分度等概念的标准区间；正偏态分布描述不够准确。	试卷类材料问题
平时成绩	85	7	平时成绩项目构成不够合理，不能体现课程对于平时学习的要求，未能体现课程特点。	试卷、非试卷类材料共性问题
		6	平时成绩偏高且区分度较小，与期末考核成绩偏差较大。	
		4	平时考核方案中评分标准描述不清晰、不严谨、不具体、未量化。	
阅卷评分	48	12	批阅不规范，缺少评分依据，扣分点、得分点不明确；学生得分差距较大，评语相近，评语与实际成绩不符。	非试卷类材料问题

注：因部分课程调研项目不止一项，故分项目的调研门数相加不等于总调研课程门数。

分及每门课程总得分，统计两次抽检共计448 本（套）课程考核材料“考核命题”“试卷分析（分析报告）”“平时成绩”“阅卷评分”“材料归档”五个项目的分项得分率，可以看出H校的课程考核材料的“试卷分析（分析报告）”项目比较薄弱（图4）。以考核形式作为区分，分别统计两次抽检试卷形式考核和非试卷形式考核课程材料的得分率，可以得知，该校非试卷形式考核课程材料得分率低于试卷形式考核材料。经过整改后，课程考核材料的得分率有了较为明显的提升（图5）。

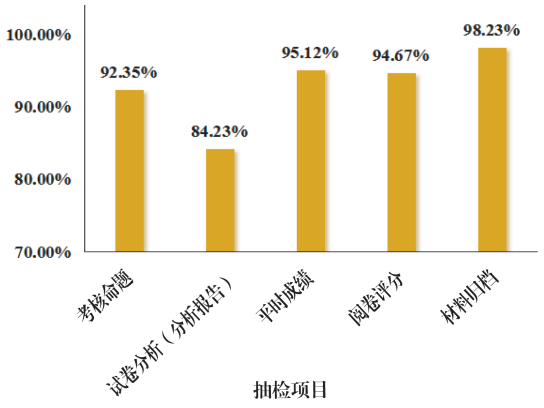


图4 抽检项目分项得分率

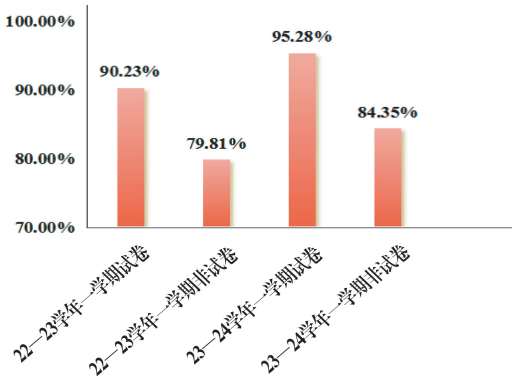


图5 两次抽检不同考核形式课程得分率

2.3 存在问题原因分析

在上述H校的课程考核材料重点问题清单及不同考核形式课程得分率对比图中，可以很直观地看出H校教师的课程考核试卷分析（分析报告）能力相对比较薄弱，这可能是由于H校新入职的青年教师占比较高，其教学工作相关经验不足等造成的。相对于传统的试卷考核形式而言，非试卷形式课程考核存在问题较多，其材料质量偏低，造成这一现象的原因可能是H校的课程考核形式改革还在进行中，以非试卷形式考核课程的考核机制及操作流程尚不完善。

3 课程考核质量提升策略

依据抽检结果，针对影响新建应用型本科高校课程考核质量的可能因素，提出以下几点建议。

3.1 教师卷面分析能力还需进一步加强

卷面分析是课程考核必不可少的重要材料之一。教师之所以要进行卷面分析，为的就是充分利用考核反映的信息，评估教与学的效果，从而帮助任课教师及时发现教师教和学生学中存在的问题，并在今后的教学中采取相应的措施加以改进。为确保卷面分析不流于形式，卷面分析应基于“全、实、真、精”四字进行。所谓“全”，就是要按分析表中的各项内容与要求，一项不落地进行填写。所谓“实”，就是要务实，深入细致分析学生对课程知识如基本概念、基本原理、基本技能的掌握情况，对学生普遍失分多和普遍得分高的题目进行具体分析，找出学生答案中存在的共性问题，分析真实原因，“对症下药”；全方位、多角度剖析教师自身在教学过程、命题考核和学生学习中存在的问题与产生问题的根本原因，准确找到自己在教学中存在的不足，并积极寻求解决的思路与举措。所谓“真”，就是分析评价要准确、中肯，以成绩分析数据为依据，从数据中找问题，针对问题分析原因，根据原因确定改进措施。所谓“精”，就是填写内容要有价值，对改进教学方法、提高教学质量有实质性帮助，不一定要面面俱到，篇幅也不一定太长。

3.2 非试卷形式课程考核还需进一步优化

现阶段，一些专业核心课程仅靠闭卷考试已不能完全检测出学生在本专业领域内应具备的研究、设计、制造与应用方面的能力，此类课程可采取课程设计、作品设计、布置大作业、实训操作等非试卷形式进行课程考核，使学生充分发挥其创造性思维并展示其个性特征。采用非试卷形式进行考核，任课教师一定要杜绝“放水”做法，要认真研究专业人才培养方案与课程建设标准，依据课程教学大纲制定详细具体、可操作性强、有明确评分标准的考核方案，明确考核要求，提出考核标准，注意选取综合、典型、开放、复杂程度较低的工程实例作为考核题目[4]，按照方案严格执行考核程序，使考核能够最大程度检验学生的知识水平和应用能力，发挥出其应有的价值。

3.3 高校课程考核质量持续提升意识还需进一步强化

学生中心、产出导向和持续改进是工程教育认证的核心理念，其中持续改进是保障教育教学质

量不断提升尤为重要的一环，教育教学改革也是需要长期探索的持续进程，组成教学过程的教学环节持续改进同样也是动态的复杂过程[5]。因此，课程考核工作也需要不断查漏补缺，逐步完善。高校可以依据教学质量保障体系，充分发挥教学质量监控的调节功能，积极开展课程考核自查自纠，查找问题、发现问题，并将问题及时反馈至相关责任人（责任单位）；教学单位、任课教师要明确“以评促建、以考促教、以教促学”的基本关系，以积极的心态配合学校的督查，分析问题并整改问题；整改过后，学校应适时组织复查，持续跟踪改进过程，总结改进成效，分析薄弱环节，通报改进结果，形成“监控、评价、反馈、改进”的严密逻辑闭环，促使课程考核质量不断提升。

4 结语

作为教学过程中十分重要的组成部分，课程考核不仅对学生的学习起着监督、引导和检验成效的重要作用，同时也不断促进和激励任课教师进行教学反思，以提高教学质量为己任。现阶段，很多教师对课程考核的认识还不够深刻，仅把考核当成是评价学生学习的工具，局限于前辈教师流传下来的“经验”，忽略了考核所具有的评价教学的功能，这样势必弱化了“以考促教”的导向作用。课程考核既需要遵照基本的考核要求，更需要以提高人才培养质量为核心，基于OBE（outcome based education）教育理念，进行考核形式、考核内容等方面的大胆创新。只有全过程持续推进、全方位持续贯通，按照实际情况守正创新，不断自查自纠，推动持续改进的良性循环，课程考核才能促进学生发展与教师成长。如何探索出一条让学校、教师、学生三者在教学与考核中相互促进、协调发展、良性循环之路，则成为高等教育工作者需要长期研究的课题。

参考文献：

[1] 中华人民共和国教育部. 教育部关于印发《普通高等学校本科教育教学审核评估实施方案（2021—2025年）》的通知[EB/OL].(2021-01-21)[2023-10-15].http://www.moe.gov.cn/srcsite/A11/s7057/202102/t20210205_512709.html.

[2] 胡向东. 论中国传统考试文化的创造性转换: 建设中国式考试现代化的文化视角[J]. 中国考试, 2023(2): 1-10.

[3] 武兵. 新时代应用型本科高校大学生职业素养教育研究[J]. 德州学院学报, 2022, 38(6): 87-92.

[4] 孙娜. 浅谈高校工科教育考试方法改革[J]. 湖北函授大学学报, 2016, 29(6): 19-20.

[5] 张蕴, 李莎, 芦智龙. OBE 理念“持续改进”原则下高校思政课教学质量监控的路径取向[J]. 重庆第二师范学院学报, 2022, 35(4): 93-97.

Research on the Improvement Path of Curriculum Examination Quality in New Application-Oriented Undergraduate Colleges

WANG Na

（Shandong Huayu University of Technology, Dezhou Shandong 253038, China）

Abstract: Curriculum examination is not only an important mean to measure teachers' teaching level but also a test of students' learning effect, a scientific standardized examination may objectively reflect the whole situation of the teaching quality. Based on the concept of continuous improvement, this paper adopts sampling method and comparison method to conduct on-campus sampling of course assessment materials of H School in the past two semesters, analyzes the possible factors affecting the curriculum examination quality in newly built application-oriented undergraduate colleges. According to the inspection results, propose quality improvement strategies for the curriculum examination.

Key words: curriculum examination; quality improvement; continuous improvement

征稿启事

《德州学院学报》是经国家新闻出版署批准，由山东省教育厅主管，德州学院主办的综合类学术期刊，双月刊，面向国内外公开发行。

第1，3，5期刊登人文社会科学类文章，开设的栏目有地域文化研究，鲁北发展研究，海上丝路研究，哲学·政治学研究，法学·社会学研究，文学·艺术研究，历史文化研究和高校教学研究，其中“地域文化研究”为全国地方高校学报特色栏目，分为“苏禄王及中菲关系研究”“董仲舒研究”“运河文化研究”“德州世家名人研究”“德州风物研究”等专题。第2，4，6期刊登自然科学类文章，开设的栏目有数理科学，化学与化工，生命·医药科学，信息科学，动力·能源与交通，生态与资源环境，经济·管理学研究，体育与运动科学，食品经济管理研究，生物物理前沿，高校教学研究，鲁北发展研究，天体物理大数据。

欢迎校内外学者赐稿，来稿请发至邮箱。

人文社会科学类文章投稿邮箱：xb8985646@126.com；

自然科学类文章投稿邮箱：dzxyxbzrb@163.com。

德州学院学报 **DEZHOU XUEYUAN XUEBAO**

双月刊 1985年创刊 Bimonthly, Started in 1985

第40卷 第4期 总第196期 2024 Vol.40 No.4 Sum No.196 2024

主管单位 山东省教育厅

主办单位 德州学院

主　　编 李甲亮

编辑出版 德州学院学报编辑部

地　　址 山东省德州市大学西路566号

邮政编码 253023

电　　话 0534-8985646 8985581

电子信箱 xb8985646@126.com
dzxyxbzrb@163.com

国外发行 中国出版对外贸易总公司
（北京782信箱）

印　　刷 德州联英印刷制版有限公司

Managed by Shandong Provincial Education Department

Edited and Published by Editorial Department of Journal of Dezhou University

Address No.566,Daxuexi Road,Dezhou Shandong,China

Postcode 253023

Telephone 0534-8985646 8985581

E-mail xb8985646@126.com
dzxyxbzrb@163.com

Distributed by China National Publishing Industry Trading Corporation
(P. O. Box782,Beijing,China)

中国标准出版物号：ISSN 1004-9444 / CN37-1372/Z

ISSN 1004-9444

9 771004 944249 08>

定价：20.00元