

ISSN 1672-3708

CN 33-1306/Z

# 台州学院学报

JOURNAL OF TAIZHOU UNIVERSITY

总第248期 | VOL.46 NO.6



6.2024

TAIZHOU XUEYUAN XUEBAO

# 台州学院·建筑工程学院

## 学院简介

台州学院建筑工程学院成立于2009年，现设有土木工程、给排水科学与工程、道路桥梁与渡河工程、建筑学4个全日制本科专业。其中：土木工程专业为省一流专业建设点，实施校企联合培养的“三明治”人才培养新模式；道路桥梁与渡河工程专业为省级（新兴）特色专业、省级“十三五”优势特色专业和省级一流专业建设点；给排水科学与工程、建筑学专业为校级一流专业建设点。学院自2020年起与美国新墨西哥州立大学合作创办土木工程（中外合作）本科专业。

学院现有教职工94人，其中：专任教师73人，教授（含教授级高级工程师）8人，副教授（含高级工程师、副研究员）24人，博士50人，在站博士后研究人员17人，硕士生导师12人，“双师双能型”教师占90%以上，校外兼职教授89人；教育部“新世纪优秀人才”、浙江省“新世纪151人才工程”、浙江省“高校领军人才培养计划”，以及台州市专业技术拔尖人才、“500精英”人才、“211人才”等共20人。



建筑工程学院办公大楼

## 产教融合

学院建有浙江省建筑业现代化台州产业学院和台州学院大树文物与历史建筑学院，以生产企业（工程项目）为实践基地协同育人，获批的企业课题经费多年位居全校前列。学院联合企业参编行业标准国家级1项、省部级2项；为企业提供科技服务1 000多项，经费达7 100多万元；获授权专利300多项；完成科技成果转化20项，金额超过500万元；协助骨干企业创建7个省级博士后工作站和创新站，学院20余位博士先后进站参与研发工作；协助20余家企业申报浙江省科



台州学院大树文物与历史建筑学院

技进步奖等省部级奖项，其中多家企业成功获奖；助力台州市成功创建国家装配式建筑范例城市和国家智能建造试点城市；以建筑信息模型（BIM）中心建设、校企协同育人模式等为代表的“台州智能建造经验”获住房和城乡建设部全国推广；入选产教融合理论实践成果典型案例国家级3项、省级2项。

06

Vol.46 No.6

# 台州学院学报

JOURNAL OF TAIZHOU  
UNIVERSITY (总第248期)

中国人文学社会科学引文数据库(CHSSCD)来源期刊

万方数据——数字化期刊群全文收录期刊

维普中文期刊全文数据库收录期刊

中国知网全文数据库收录期刊

主管单位 台州学院  
Authority Taizhou University

主办单位 台州学院  
Sponsor Taizhou University

主编 李钧敏  
Editor-in-chief Li Junmin

副主编 邵凯云  
Deputy Editor Shao Kaiyun

编辑出版 台州学院学报编辑部  
Edited by Editorial Board of Journal of Taizhou University

地址 浙江省临海市东方大道605号  
Address No. 605, Dongfang Avenue, Linhai, Zhejiang Province

邮编 317000  
Postcode

网址 <https://journal.tzc.edu.cn>  
The URL

印刷单位 台州印刷厂(有限公司)  
Printed by Taizhou Printing House (Co., Ltd.)

国内发行 台州学院学报编辑部  
Domestic Distributor Editorial Board of Journal of Taizhou University

国外发行 中国出版对外贸易总公司(北京782信箱 邮编:100011)  
Overseas Distributor China National Publishing Industry Trading Corporation (P. O. Box 782, Beijing 100011, China)

电子邮箱 [xbb@tzc.edu.cn](mailto:xbb@tzc.edu.cn)  
E-mail

电话 0576-85137169  
Tel.

# 目次

## 数学与建模

基于回归方法的玻璃文物成分鉴定..... 郑 钊, 陈 煜, 林建豪, 夏志乐 | 01

网球比赛的走势预测..... 陈佳慧, 王琮蓉, 蒋洪涛, 李韶伟 | 08

## 材料科学

冷喷压力对不同基板上单道单层冷喷纯铜涂层的影响

..... 王 晗, 李微微, 裘天乐, 郇菊敏, 徐飞龙, 邵 玲, 薛 娜 | 14

高吸水树脂对混凝土的影响及其调控试验

..... 王睿欣, 于凯圣, 杨可悦, 钟林谚, 林 伟, 李能至, 张之骋, 袁 骥 | 23

## 计算机科学

一种基于改进 SSD 的输液器导管涂胶缺陷检测方法

..... 谢俊杰, 陈瑞源, 王 俊, 张石清, 罗 坚, 郑 龙 | 29

基于无趣项挖掘的双视图去流行度偏差推荐

..... 彭仕鑫, 张力生 | 36

基于改进YOLOv5的交通标志检测与识别..... 刘昕宇, 薛波, 林梦成 | 47

基于改进PSO-PID的无刷直流电机矢量控制

..... 靳凯, 肖平, 吕傲宁 | 56

## 建筑学

基于绿色建筑技术的幼儿园整体优化设计

——以台州市椒江区心湖幼儿园为例

..... 滕蕊, 施雯静, 黄凌顶, 王波, 颜丰 | 63

## 教育·教学

计算机编程教育现状分析与教学改革策略..... 王丹丹 | 73

论中学数学讲授法中的互动..... 张晓贵 | 80

OBE理念下“软件工程”课程思政教学案例设计

..... 夏洁武, 李金忠, 彭蕾, 刘欢 | 87

《台州学院学报》2024年总目次..... | I

# CONTENTS

Compositional Identification of Glass Artifacts Based on Regression and Machine Learning .....Zheng Dang, Chen Yu, Lin Jianhao, Xia Zhile	01
Trend Prediction of Tennis Matches .....Chen Jiahui, Wang Congrong, Jiang Hongtao, Li Shaowei	08
Influence of Spraying Pressure on Single-pass and Single-layer Cold-sprayed Pure Cu Coatings Deposited on Different Substrates .....Wang Han, Li Weiwei, Qiu Tianle, Gao Jumin, Xu Feilong, Shao Ling, Xue Na	14
Research on High-Absorbency Resin Concrete Based on Mix Proportion Optimization .....Wang Ruixin, Yu Kaisheng, Yang Keyue, Zhong Linyan, Lin Wei, Li Nengzhi, Zhang Zhicheng, Yuan Ji	23
A Method for Detecting Adhesive Defects of Infusion Catheter Based on Improved SSD .....Xie Junjie, Chen Ruiyuan, Wang Jun, Zhang Shiqing, Luo Jian, Zheng Long	29
A Dual-view De-popularity Bias Recommendation Method Based on Uninteresting Item Mining .....Peng Shixin, Zhang Lisheng	36
Traffic Sign Detection Algorithm Based on Improved YOLOv5 .....Liu Xinyu, Xue Bo, Lin Mengcheng	47
Optimization Method for Brushless DC Motor Vector Control Based on Improved PSO-PID .....Jin Kai, Xiao Ping, Lü Aoning	56
Research on the Overall Optimization of Kindergartens Based on Green Building Technology — Take Xihu Kindergarten as an Example .....Teng Rui, Shi Wenjing, Huang Lingding, Wang Bo, Yan Feng	63
Analysis of the Current Situation of Computer Programming Education and Research on Teaching Reform Strategies .....Wang Dandan	73
On Interactivity in Secondary School Mathematics Lecture Method .....Zhang Xiaogui	80
Case Design of Ideological and Political Teaching of the "Software Engineering" Course Under the OBE Concept .....Xia Jiawu, Li Jinzhong, Peng Lei, Liu Huan	87
Complete Contents of <i>Journal of Taizhou University</i> in 2024 .....	I

# 基于回归方法的玻璃文物成分鉴定

郑 镔, 陈 煜, 林建豪, 夏志乐

(台州学院 电子与信息工程学院, 浙江 台州 318000)

**摘要:** 基于全国大学生数学建模竞赛赛题中的玻璃文物数据, 采用 Lasso 回归、向后逐步回归、普通最小二乘法(OLS)的稳健标准误差回归等回归模型, 构建高钾玻璃与铅钡玻璃的线性回归方程, 预测表面风化文物在风化之前的化学成分质量分数, 以鉴定玻璃文物的成分。结果表明, 该模型的预测结果较合理。

**关键词:** 玻璃文物; 风化; 多元回归

DOI:10.13853/j.cnki.issn.1672-3708.2024.06.001

## 0 引言

古代玻璃容易受到埋藏环境的影响导致风化, 使成分比例发生变化, 从而影响对其类别的判断。玻璃文物成分鉴定研究有助于揭示古代玻璃工艺的发展, 为考古学研究、防范文物伪造提供重要线索, 同时为改善文物存放环境提供指导。该研究是人类认识历史深刻而重要的洞见。杨磊等<sup>[1]</sup>通过支持向量机来鉴定玻璃文物的化学成分, 但对非线性问题没有通用解决方案。张星园等<sup>[2]</sup>通过 CatBoost 模型为玻璃文物分类, 但随机数的设定对预测有较大影响。邓天宇等<sup>[3]</sup>利用了中心对数比变换方法, 但该方法可能造成化学成分间的大量负相关。陈志豪等<sup>[4]</sup>通过层次聚类模型进行玻璃文物分类, 但存在聚类为链状的风险。

本文依据 2022 年全国大学生数学建模竞赛 C 题<sup>[5]</sup>所提供的数据, 基于多种回归方法, 探讨解决以下问题: 分析表面有风化和无风化的两类玻璃文物样品化学成分质量分数的统计规律, 利用风化点的测试数据预测玻璃文物风化前的化学成分质量分数, 并提出具备通用性与精确性的玻璃文物成分鉴定方法。

## 1 玻璃文物化学成分质量分数统计规律<sup>[6]</sup>

根据赛题中数据<sup>[5]</sup>得到高钾玻璃与铅钡玻璃的风化与未风化的平均化学成分质量分数图(图 1)以及各化学成分的描述性统计结果(表 1)。

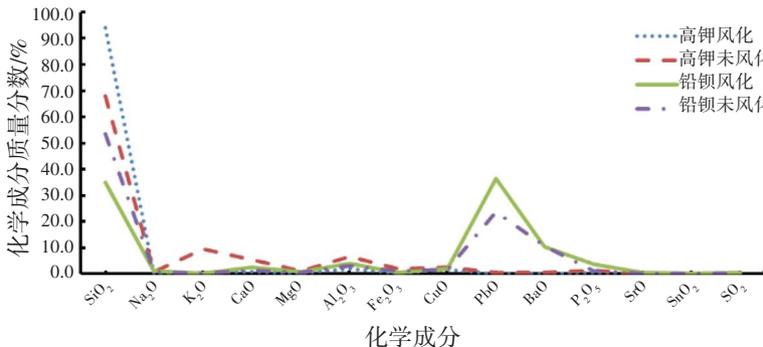


图 1 4 类文物平均化学成分质量分数图

收稿日期: 2024-07-10

基金项目: 2023 年度浙江省高等学校课程思政教学研究项目

作者简介: 郑 镔(2003— ), 男, 浙江温州人, 2021 级数学与应用数学(师范)专业本科生; 夏志乐(通信作者)(1979— ), 男, 江苏连云港人, 讲师, 博士, 主要从事模糊控制、优化与建模研究。

表1 玻璃文物化学成分的描述性统计表

项目	化学成分														%
	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	PbO	BaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SrO	SnO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	
最小	3.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
最大	96.77	7.92	14.52	8.70	2.73	14.34	6.04	10.57	70.21	35.45	14.13	1.12	2.36	15.95	
均值	49.02	0.79	1.85	2.53	0.68	4.04	0.85	1.95	24.46	7.78	2.68	0.26	0.08	0.60	
中位	51.33	0.00	0.20	1.66	0.64	3.41	0.32	1.07	23.02	6.65	1.04	0.23	0.00	0.00	
偏度	0.18	2.39	2.07	1.01	0.60	1.59	2.04	2.13	0.26	1.62	1.45	1.03	5.52	5.17	
峰度	2.15	8.57	5.70	3.11	2.82	5.49	8.05	7.96	2.03	5.45	4.20	3.66	35.05	28.72	
标差	24.32	1.65	3.88	2.32	0.65	3.07	1.18	2.24	19.51	8.42	3.54	0.27	0.34	2.70	

从图1中可以看出:文物的化学成分质量分数分布并不均匀, SiO<sub>2</sub>质量分数远超其余化学成分的质量分数,且该成分质量分数最高的是高钾风化文物。

根据表1的统计结果,从均值角度分析可知:玻璃文物中 SiO<sub>2</sub>、PbO 的化学成分占比较大,其他的化学成分占比较少;从标准差角度分析可知, SiO<sub>2</sub>、PbO 的成分起伏较大,其他成分(不包括 BaO)都较为稳定;所有化学成分的偏度均为正值,这表明分布曲线向右偏移;峰度都大于0,即峰度系数越大,峰形越陡峭。

为了分析每一类别玻璃文物的化学成分分布,在65个文物采样点<sup>[5]</sup>中,每个文物类别各取4个采样点,得出玻璃文物的化学成分分布曲线图(SiO<sub>2</sub>样本量过大,作图时剔除),如图2~5所示。

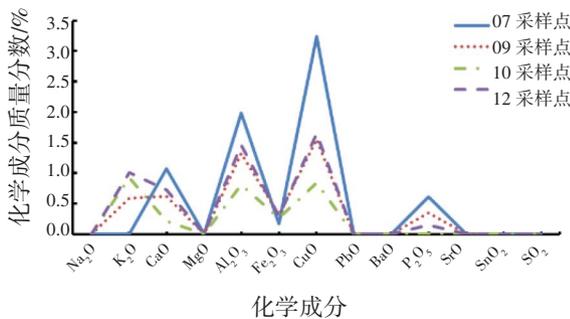


图2 高钾风化成分分布曲线图

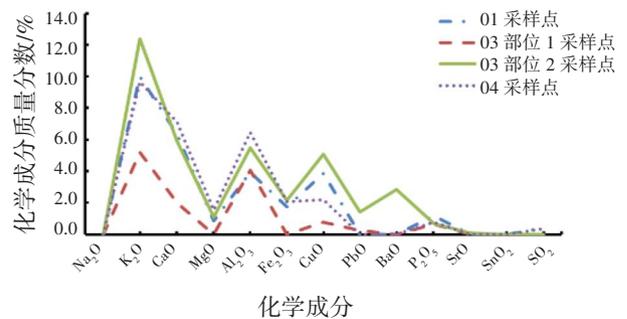


图3 高钾未风化成分分布曲线图

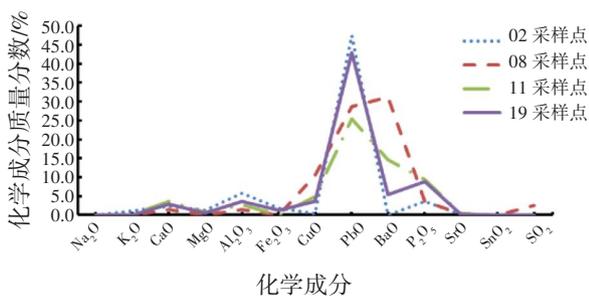


图4 铅钡风化成分分布曲线图

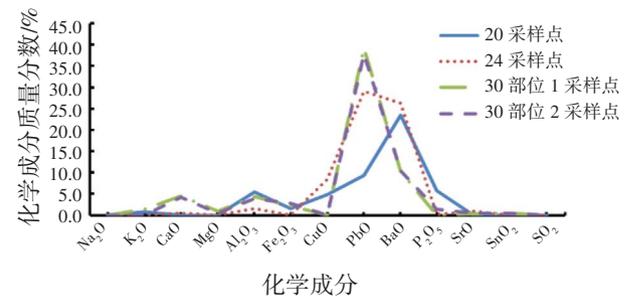


图5 铅钡未风化成分分布曲线图

通过观察图2~5,4大类别存在明显的不同之处:高钾风化和未风化的成分曲线图存在 CaO(或 K<sub>2</sub>O)、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CuO 和 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的4个波峰,其中高钾风化成分中 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CuO 居多,而高钾未风化成分中 CaO(或 K<sub>2</sub>O)、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 居多;铅钡风化的化学成分质量分数整体较为平稳, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、BaO 的质量分数较高,且波动明显;铅钡未风化的曲线图与铅钡风化的类似。

## 2 利用多元线性回归<sup>[7]</sup>模型预测化学成分质量分数

根据赛题中数据得到化学成分变量类型,如表 2 所示。在此基础上,对两类玻璃分别构造线性回归模型进行分析求解。考虑到大部分数据取自一般风化层,故剔除了严重风化点数据,取训练一般风化点的数据进行线性回归。

表 2 化学成分变量类型表

变量类型	变量名称	指标类型
因变量	无风化化学成分质量分数	定量
自变量	风化化学成分质量分数	定量

针对赛题给定的数据,将风化与无风化的成分质量分数进行匹配,设未风化前的化学成分指标为因变量,风化后的化学成分指标为自变量。以表 2 中的分类类型为依据,针对铅钡玻璃得出以下线性关系:

$$y = Ax + b + \mu, \quad (1)$$

其中: $x = (x_1, x_2, \dots, x_{14})^T$ ,  $y = (y_1, y_2, \dots, y_{14})^T$ ,  $x, y$  分别表示线性回归的自变量与因变量; $b = (\beta_{1,0}, \beta_{2,0}, \dots, \beta_{14,0})^T$ , 表示回归的常数项; $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_{14})^T$ , 表示所有对模型有影响的其他量。系数矩阵  $A$  为

$$A = \begin{pmatrix} \beta_{1,1} & \beta_{1,2} & \cdots & \beta_{1,14} \\ \beta_{2,1} & \beta_{2,2} & \cdots & \beta_{2,14} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \beta_{14,1} & \beta_{14,2} & \cdots & \beta_{14,14} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

下面以  $y_1$  ( $\text{SiO}_2$ ) 为例,得出回归的过程。

### 2.1 Lasso 回归<sup>[7]</sup>

考虑到自变量较多,可能存在多重共线性<sup>[8]</sup>的影响,因此文中引入 Lasso 回归进行变量筛选。与普通最小二乘法(OLS)<sup>[8]</sup>回归不同的是,该模型对回归系数设置了“惩罚项”,其回归系数满足以下关系:

$$\hat{\beta} = \arg \min \left[ \sum_{i=1}^n (y_i - x_i' \hat{\beta})^2 + \lambda \sum_{i=1}^k |\hat{\beta}_i| \right]. \quad (3)$$

利用 Stata 软件进行十折交叉验证法,选择 Lasso 回归的最佳参数如表 3 所示,回归迭代得到的最优特征参数  $\lambda = 1.111 17$ ,此时均方预测误差为 17.880 00。在此基础上,得到 Lasso 回归的结果如表 4 所示。

表 3 Lasso 回归迭代表

迭代次数	$\lambda$	均方预测误差	预测偏差
1	96.643 88	61.115 35	18.566 20
2	88.058 30	60.908 68	18.744 98
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
49	1.111 17	17.880 00	12.212 71

表 4 Lasso 回归结果表

NaCl	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	CuO	PbO	SrO	$\text{SnO}_2$	$\text{SO}_2$	常数
5.22	1.93	0.24	-0.16	-14.27	-0.05	5.58	60.77

### 2.2 多重共线性的 VIF 检验

利用筛选出来的变量(表 4)进行 OLS 回归,并针对多重共线性进行了方差膨胀因子(variance inflation factor, VIF)检验<sup>[8]</sup>,定义方差膨胀因子为

$$F_{VI,m} = \frac{1}{1 - R_{k,m}^2}, \quad (4)$$

其中: $k$ 为自变量个数; $m$ 为自变量序号; $R_{k,m}^2$ 表示将第 $m$ 个自变量作为因变量,对剩下的 $k-1$ 个自变量回归得到的拟合优度; $F_{VI,m}$ 的值越大,说明第 $m$ 个变量和其他变量的相关性也越大。

通过 VIF 检验的结果如表 5 所示。从表 5 可以看出: $F_{VI} = \max\{F_{VI1}, \dots, F_{VI7}\} = 33.06 > 10$ ,说明该模型仍然具有多重共线性的影响,可以采用向后逐步回归将  $\text{SnO}_2(x_{13})$  这一化学成分进一步剔除。

表 5 VIF 检验表

检验项	$x_8$	$x_{14}$	$x_9$	$x_{13}$	$x_7$	$x_2$	$x_{12}$	$F_{VI}$ 平均值
$F_{VI,m}$	33.06	19.61	11.36	10.27	4.20	2.95	1.61	11.87
$1/F_{VI,m}$	0.03	0.05	0.09	0.10	0.24	0.34	0.62	—

### 2.3 异方差的 White 检验<sup>[8]</sup>

利用 Stata 软件给出了表 4 中数据的残差与拟合值的散点图如图 6 所示。通过图 6 较难直接看出异方差的存在,可以采用 White 检验进行异方差检验,得到  $\chi^2(9) = 10$ ,显著性概率  $P = 0.351 > 0.050$ ,说明该模型存在异方差,因此采用基于 OLS 的稳健标准误差<sup>[8]</sup>模型进行回归消除异方差。

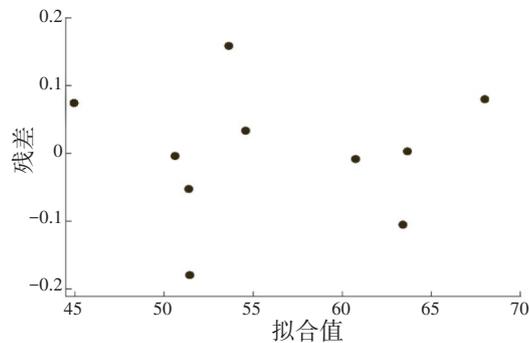


图 6 拟合值与残差散点图

### 2.4 基于 OLS 的稳健标准误差回归

利用 Stata 软件进行 OLS 的稳健标准误差回归,得到的回归值  $P=0.000 < 0.050$ ,因此在 95% 的置信水平下,拒绝回归系数为 0 的原假设,从而通过了联合显著性检验,该模型的拟合优度为 0.999 8,说明该模型的回归效果非常好。

接着,对于回归系数  $\beta_i (i = 1, 2)$  分别进行显著性  $t$  检验,得到回归系数表,如表 6 所示。由表 6 可知:所有自变量在 95% 置信水平下,回归系数均显著异于 0,并且对于  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CuO}$ 、 $\text{SO}_2$ ,每增加 1 百分点的质量分数,将会分别增加 5.47、2.23、0.35、5.42 百分点的  $\text{SiO}_2$  质量分数;每增加 1 百分点的  $\text{PbO}$ 、 $\text{SrO}$  质量分数,将会分别减少 0.15、14.49 百分点的  $\text{SiO}_2$  质量分数。

表 6 回归系数表

回归变量	系数	标准误差	$t$	$P >  t $	95% 的置信区间
$x_2$	5.472 136	0.058 089	94.20	0.000	[5.287 271, 5.657 001]
$x_7$	2.234 406	0.050 645	44.12	0.000	[2.073 231, 2.395 582]
$x_8$	0.351 551	0.072 393	4.86	0.017	[ 0.121 163, 0.581 939]
$x_9$	-0.152 480	0.002 672	-57.07	0.000	[ 0.160 987, -0.143 980]
$x_{12}$	-14.498 500	0.413 170	-35.09	0.000	[15.813 340, -13.183 600]
$x_{14}$	5.422 015	0.298 400	18.17	0.000	[4.472 374, 6.371 655]
常数	60.089 310	0.127 426	471.56	0.000	[59.683 780, 60.494 840]

## 2.5 剩余变量的回归结果

在铅钡玻璃中,所有未风化化学成分作为因变量的线性回归结果如下:

$$y = A_1 x + b_1, \quad (5)$$

其中: $y = (y_1, y_2, \dots, y_{14})^T$ ,  $x = (x_1, x_2, \dots, x_{14})^T$ , 常数项  $b_1$  为

$$b_1 = (60.08, 7.05, -14.01, 4.01, 1.24, 17.7, 41.11, -21.96, -0.68, 5.46, -3.28, -2.55, 0.40, 0.01)^T. \quad (6)$$

系数矩阵  $A_1$  为

$$A_1 = \begin{pmatrix} 0.00 & 5.47 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 2.23 & 0.35 & -0.15 & 0.00 & 0.00 & -14.49 & 0.00 & 5.42 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.12 & 0.00 & -13.02 & 0.00 & -2.29 \\ 0.11 & -0.04 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.20 & 0.57 & 0.04 & 0.13 & 0.30 & 0.14 & 0.00 & 0.00 & -1.17 \\ 0.00 & 0.12 & -0.54 & 0.00 & -0.17 & 0.00 & 0.00 & 0.26 & -0.12 & 0.00 & -0.09 & 7.75 & -1.03 & -1.67 \\ 0.00 & 0.00 & -1.30 & 0.00 & 0.00 & -0.26 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & -0.31 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ -0.38 & 0.08 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & -0.57 & 0.79 & 0.57 & -0.44 & -0.65 & -0.80 & 0.00 & 0.00 & -0.77 \\ 0.09 & 0.04 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.78 & 0.00 & 0.81 & 0.39 & 0.03 & 0.10 & 0.00 & 0.00 & -0.78 \\ 0.00 & -0.02 & 1.60 & 0.00 & 0.41 & 0.00 & 0.00 & -0.41 & 0.27 & 0.00 & 0.00 & 2.78 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.20 & -0.08 & 0.00 & -12.30 & 0.00 & -0.21 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 12.11 & 0.00 & 0.00 \\ 0.01 & 0.16 & 0.16 & 0.00 & 0.00 & 0.07 & 0.01 & 0.03 & 0.03 & 0.04 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & -0.21 \\ 0.00 & -0.01 & -0.01 & 0.00 & 0.00 & -0.01 & -0.07 & -0.04 & 0.00 & -0.01 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.33 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.01 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

在高钾玻璃中,所有未风化化学成分作为因变量的线性回归结果如下:

$$y = A_2 x + b_2, \quad (8)$$

其中: $y = (y_1, y_2, \dots, y_{14})^T$ ,  $x = (x_1, x_2, \dots, x_{14})^T$ , 常数项  $b_2$  为

$$b_2 = (450.92, -78.92, -1.35, -555.96, 2.53, -6.32, -123.53, 262.62, 148.53, 280.78, 15.29, 1.75, -0.41, -21.31)^T. \quad (9)$$

系数矩阵  $A_2$  为

$$A_2 = \begin{pmatrix} -3.89 & 0.00 & -6.48 & 0.00 & 0.00 & -6.40 & 0.00 & -3.39 & 0.00 & 0.00 & -1.77 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.77 & 0.00 & -0.43 & -0.20 & 0.00 & 0.00 & 15.74 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 10.67 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.31 & 4.02 & -6.04 & 0.00 & 22.71 & 2.37 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 5.57 & 0.00 & 11.23 & 0.00 & 0.00 & 9.27 & 0.00 & 4.55 & 0.00 & 0.00 & 23.79 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & -0.28 & 1.93 & 0.00 & -3.22 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & -1.90 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.24 & 0.00 & -6.78 & -2.71 & 0.00 & 0.00 & 5.59 & -2.60 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 2.45 & 0.00 & -4.11 & 0.00 & 0.00 & 4.50 & 0.00 & 3.46 & 0.00 & 0.00 & -21.01 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ -2.67 & 0.00 & 0.93 & 0.00 & 0.00 & -2.88 & 0.00 & 0.07 & 0.00 & 0.00 & -13.37 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ -1.50 & 0.00 & 1.84 & 0.00 & 0.00 & -3.26 & 0.00 & -2.18 & 0.00 & 0.00 & 7.03 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ -2.83 & 0.00 & -0.47 & 0.00 & 0.00 & -4.50 & 0.00 & -1.09 & 0.00 & 0.00 & -8.63 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & -1.48 & 1.15 & 0.00 & -32.10 & -2.54 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ -0.01 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & -0.63 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & -0.32 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.21 & 0.00 & 0.26 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.10 & 0.00 & 0.00 & 0.22 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{pmatrix}. \quad (10)$$

## 2.6 利用线性回归的结果对风化前的成分预测

对于表面无风化的文物,其检测值可直接认为是风化前的化学成分质量分数,若有多部位取样,则认为其算术平均值为风化前的化学成分质量分数;对于表面风化的文物,存在严重风化的明显风化层、一般

风化层和未风化层。若某个文物存在未风化层,则直接认为未风化层的化学成分质量分数即为未风化前的化学成分。基于 2.5 中的回归结果对表面风化文物(未取未风化点样本)的风化前化学成分质量分数进行预测,结果如表 7 和表 8 所示。

表 7 铅钡玻璃预测结果表

文物编号	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	PbO	BaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SrO	SnO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
2	54.35	4.58	-0.42	1.64	-0.44	2.58	1.40	5.27	9.14	12.91	0.98	0.05	0.09	0.00
8	68.00	0.18	0.00	1.34	1.24	8.56	0.41	0.33	52.77	3.50	1.20	0.12	0.23	0.02
11	52.59	4.05	0.04	3.83	0.78	9.61	0.91	-1.08	26.92	4.85	1.20	0.30	-0.08	0.00
19	55.01	5.24	-0.03	0.01	1.09	4.05	0.96	4.53	14.73	11.48	0.98	0.32	0.02	0.00
26	63.41	0.69	0.92	2.98	1.24	8.29	0.81	0.74	22.57	2.74	2.17	0.25	0.00	0.01
34	51.38	5.43	0.35	0.00	0.92	2.86	0.00	2.72	24.06	11.47	-0.62	0.00	0.00	0.00
36	63.66	5.53	0.11	0.78	1.06	4.43	0.00	0.54	20.22	10.38	-0.62	0.27	0.00	0.00
38	55.08	2.93	0.34	1.21	1.24	1.98	1.10	3.71	23.28	9.72	1.69	0.31	0.01	0.00
39	42.25	0.00	-0.05	1.06	1.24	-1.76	1.65	6.10	23.96	9.90	4.11	0.09	0.09	-0.01
40	39.95	-0.97	0.06	0.13	1.24	4.69	2.48	8.10	33.06	10.98	4.96	0.20	0.10	-0.01
41	50.61	2.14	0.00	0.63	-0.05	3.63	1.55	1.12	25.09	7.91	2.41	0.20	0.00	0.00
43	47.68	0.48	-0.92	1.77	1.00	1.02	3.83	6.16	26.46	8.95	3.44	0.19	-0.03	0.00
48	60.75	4.70	0.20	2.14	0.42	12.69	0.77	0.43	14.81	4.98	-0.25	0.26	0.00	0.01
51	52.45	5.07	-1.10	-1.33	0.90	3.10	1.14	3.24	15.09	12.11	0.92	0.18	0.12	0.00
52	53.92	2.39	-0.66	1.06	1.10	2.58	-0.21	1.65	21.36	9.06	2.05	0.28	0.09	0.00
54	39.17	-3.54	-0.13	3.16	0.49	0.02	2.11	6.66	31.53	5.45	7.38	0.32	0.09	0.00
56	54.08	8.97	0.55	-1.29	1.24	4.55	1.33	0.04	28.37	12.60	-3.28	0.13	0.00	0.00
57	53.62	9.20	0.90	1.45	1.24	3.32	-0.72	1.56	26.02	13.23	-3.28	0.14	-0.08	0.00
58	53.63	4.88	0.00	0.50	0.59	5.15	0.00	2.99	18.58	9.95	-0.37	0.33	0.00	0.00

表 8 高钾玻璃预测结果表

文物编号	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	PbO	BaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SrO	SnO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
7	65.18	2.10	22.03	8.27	0.52	6.18	0.42	1.07	0.11	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
9	62.47	3.38	14.52	8.23	0.66	9.23	0.50	0.47	1.62	0.00	0.15	0.00	0.01	0.00
10	59.81	0.00	12.28	5.41	1.64	10.05	6.04	2.18	0.35	0.97	4.50	0.12	0.02	0.00
12	61.71	0.00	7.68	5.87	1.11	5.50	2.16	5.09	1.41	2.86	0.71	0.09	0.01	0.00
22	61.58	0.00	12.37	7.35	1.77	7.50	2.62	3.27	0.00	0.00	0.94	0.06	0.00	0.47
27	67.65	0.00	10.95	0.00	1.98	11.15	2.39	2.51	0.20	1.38	4.18	0.11	0.00	0.00

分析表 7 与表 8 可以得出:预测结果中大部分数据大于 0,考虑到负数数据接近于 0,可将其直接用 0 替代。因此,该模型的预测结果是合理的。在此基础上可以得出预测结果的百分比之和图像,如图 7 和图 8 所示。从图 7 和图 8 可以看出:大部分预测数据处在 85%~105% 的有效范围之内,进一步说明了本模型的准确性。

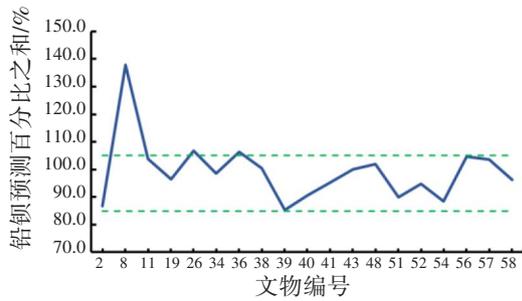


图7 铅钡预测百分比图

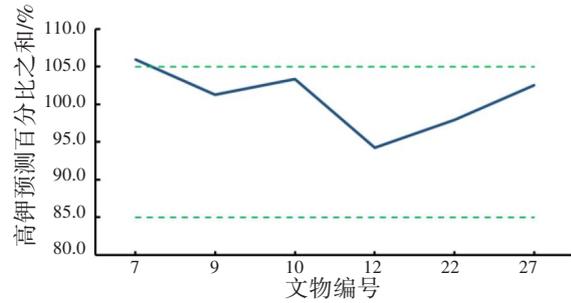


图8 高钾预测百分比图

### 3 结语

本文基于赛题中给定数据,采用 Lasso 回归、向后逐步回归、OLS 的稳健标准误差回归等多种回归方法,建立了高钾玻璃与铅钡玻璃的线性回归模型,并对数据中表面风化文物在风化之前的化学成分质量分数进行了预测。预测结果表明,该模型的预测结果较为合理,可为玻璃文物的成分鉴定提供一定的参考。

#### 参考文献:

- [1]杨磊,魏彤,宗毅恒.古代玻璃制品的成分分析与鉴别问题的数学模型[J].北京印刷学院学报,2023,31(9):61-66.
- [2]张星园,孟怡辰,罗建龙,等.基于 CatBoost 的玻璃成分与风化关系实证探究[J].玻璃,2023,50(8):15-23.
- [3]邓天宇,邱奕琿,池正昊.于 CLR 的玻璃文物成分分析与分类模型[J].数学建模及其应用,2023,12(2):41-51.
- [4]陈志豪,季晶敏.基于层次聚类模型的古代玻璃制品成分分析与鉴定[J].现代信息技术,2023,7(8):122-125.
- [5]中国工业与应用数学学会.2022 年高教社杯全国大学生数学建模竞赛 C 题[EB/OL].(2023-05-12)[2023-12-05].[http://www.mcm.edu.cn/html\\_cn/node/388239ded4b057d37b7b8e51e33fe903.html](http://www.mcm.edu.cn/html_cn/node/388239ded4b057d37b7b8e51e33fe903.html).
- [6]杨楠,宋航,李维文.基于统计检验的两类玻璃风化规律挖掘与影响分析[J].应用数学进展,2022,11(11):7925-7935.
- [7]司守奎,孙玺菁.数学建模算法与应用[M].北京:国防工业出版社,2011.
- [8]伍德里奇.计量经济学导论:现代观点[M].5 版.北京:中国人民大学出版社,2015.

## Compositional Identification of Glass Artifacts Based on Regression and Machine Learning

Zheng Dang, Chen Yu, Lin Jianhao, Xia Zhile

(School of Electronics and Information Engineering, Taizhou University, Taizhou 318000, China)

**Abstract:** Based on the data of glass artifacts of the CUMCM, regression models such as Lasso regression, backward stepwise regression and robust standard error regression by ordinary least squares (OLS) were used to give linear regression equations for high-potassium and lead-barium glasses, and to identify the chemical composition content of surface weathered artifacts prior to weathering.

**Keywords:** glass artifacts; weathering; multiple regression

# 网球比赛的走势预测

陈佳慧, 王琮蓉, 蒋洪涛, 李韶伟

(台州学院 电子与信息工程学院, 浙江 台州 318000)

**摘要:**以2023年温布尔登网球锦标赛的比赛数据为例,利用因子分析和逻辑回归方法刻画了球员“状态”的变化并预测网球比赛的走势。首先,确定9个评价指标,运用主成分分析法从中提取出4个共性因子,实现了球员“状态”的可视化;其次,采用游程检验方法检验比赛的随机性,证明球员“状态”决定了比赛的走势;最后,对“关键点”数据集进行斯皮尔曼相关分析,并运用逐步剔除回归分析法构建模型,预测比赛走势。

**关键词:**因子分析;游程检验;相关性检验;回归模型

DOI:10.13853/j.cnki.issn.1672-3708.2024.06.002

## 0 引言

网球是一项历史悠久且备受欢迎的体育运动,温布尔登网球锦标赛(Wimbledon Championships,以下简称“温网”)以其超过140年的历史和崇高声望,成为网球四大满贯赛事之一,温网冠军是网球球员们梦寐以求的至高荣誉。温网也在引领着体育的科技创新,如鹰眼系统和智能数据分析等。作为研究极端压力下运动员身心状态的宝贵案例,温网的比赛数据具有重要的研究价值。

已有的研究涵盖了多种数据分析方法和模型的应用<sup>[1]</sup>,如基于历史战绩的简单统计模型,基于复杂网络理论的球员关系分析模型,基于机器学习的分类和回归模型,以及基于博弈本质特性的定性探究模型等。袁宾峰<sup>[2]</sup>分析了2018年澳大利亚网球公开赛世界排名前三的女子运动员的接发球技战术,他将运动员分为进攻型、相持型和防守型3种类型,并提供了详细的技术特征和统计标准;朱保州<sup>[3]</sup>依据2021年温网数据,分析张之臻在发球技术和应变能力方面存在的不足,反映了数据分析技术对体育比赛的实际影响;而Charles<sup>[4]</sup>认为发球技术是影响运动员战术效果的关键因素,通过发球的速度、旋转和落点的变化,运动员能够创造更多执行战术的机会,从而提高比赛中的战术灵活性和成功率。

尽管现在大数据和机器学习发展迅速,但由于受到双方的技战术水平、心理和情绪变化、环境等诸多因素的影响,目前还没有实现对网球比赛结果的精准预测。本文拟构建基于因子分析和逻辑回归的预测方法,实现对网球比赛走势的预测。

## 1 模型建立

### 1.1 评价指标

查阅相关文献,并结合已有数据集,确定影响网球比赛成绩的9项指标<sup>[5-6]</sup>分别为:①是否为发球方( $X_1$ );②一发得分率( $X_2$ );③一发成功率( $X_3$ );④二发得分率( $X_4$ );⑤非受迫性失误数( $X_5$ );⑥双误的总数

收稿日期:2024-08-11

作者简介:陈佳慧(2003—),女,浙江宁波人,2021级数学与应用数学(师范)专业本科生;王琮蓉(共同第一作者)(2003—),女,浙江台州人,2021级数学与应用数学(师范)专业本科生;李韶伟(通信作者)(1979—),男,浙江仙居人,讲师,博士,主要从事数学建模方面研究。

( $X_6$ );⑦破发成功率( $X_7$ );⑧跑动的距离( $X_8$ );⑨ACE球(直接得分的发球)个数( $X_9$ )。

选择编号为“2023-Wimbledon-1301”(以下简称“1301”)比赛的数据,基于上述9项指标建立球员表现的评估模型,对球员1(Carlos Alcaraz)和球员2(Nicolas Jarry)在这场比赛中的表现分别进行评估。

### 1.2 建模思路

为了刻画比赛中球员的表现和比赛的势头:首先对影响比赛的9项评价指标进行抽样适合性(Kaiser-Meyer-Olkin, KMO)检验和巴特利特(Bartlett)球形检验,确定各指标是否适合做因子分析;接着,利用主成分分析法将9项指标分成4个共性因子,并得到共性因子的得分系数,用以计算各个球员的综合比赛因子得分;最后,以当前球员的得分为因变量,各技术战术指标为自变量,构建因子得分模型。建模思路如图1所示。

为了更深入地探究是否有一些指标可以帮助确定比赛势头的转化时机:首先,定义影响比赛走势变化的重要节点——关键点,并对双方球员在关键点上的数据进行斯皮尔曼相关分析,以评估9项指标间的相关程度。接着,将各项评价指标作为自变量,球员是否赢得本局作为因变量,进行多元线性回归分析得到标准回归系数。标准回归系数越大,表明该指标对比赛走势变化的影响力就越大。最后,对9项评价指标进行相关性降序排列,从而得到回归预测方程。建模思路如图2所示。

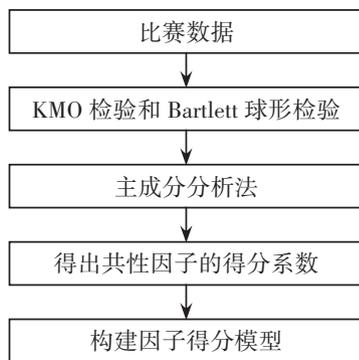


图1 构建球员“状态”评估模型

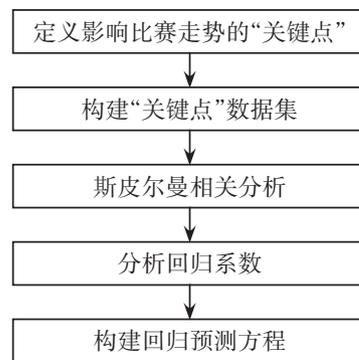


图2 比赛“势头”的预测回归模型

### 1.3 相关性检验

对各种评价指标采用 KMO 检验和 Bartlett 球形检验,测得的 KMO 检验系数为 0.769(大于 0.5),显著性概率  $P=0.000<0.050$ ,表明该数据有结构效度,适合进行因子分析。

### 1.4 因子得分模型

本文利用主成分分析法从上述9项指标中提取出了4个共性因子,共性因子1~4的方差贡献率分别为49.949%、18.657%、12.372%、11.237%,特征值分别为4.495、1.679、1.113、1.011,如表1所示。

表1 旋转变换之后的方差

成分	特征值	方差贡献率/%	累积贡献率/%
1	4.495	49.949	49.949
2	1.679	18.657	68.606
3	1.113	12.372	80.978
4	1.011	11.237	92.215

利用最大方差法<sup>[7]</sup>对初始成分矩阵进行正交变换,可深入解释4个共性因子的实际意义。表2中的数据表明了各指标与共性因子之间的密切关系,其相关系数越大,相关性越高。

表2 成分矩阵的正交变换结果

球员1的指标变量	因子1	因子2	因子3	因子4
是否为发球方( $X_1$ )	-0.056	0.003	0.054	0.994
一发得分率( $X_2$ )	0.029	0.948	-0.106	-0.002
一发成功率( $X_3$ )	-0.398	0.844	0.061	0.010
二发得分率( $X_4$ )	0.847	-0.097	0.306	-0.088
非受迫性失误数( $X_5$ )	0.978	-0.145	-0.043	-0.019
双误的总数( $X_6$ )	0.879	-0.064	-0.223	0.061
破发成功率( $X_7$ )	-0.028	-0.049	0.974	0.059
跑动的距离( $X_8$ )	0.981	-0.139	-0.046	-0.043
ACE球个数( $X_9$ )	0.961	-0.104	0.003	-0.075

通过分析正交变换矩阵,共性因子1中的各指标系数按降序依次为:跑动的距离( $X_8$ )、非受迫性失误数( $X_5$ )、ACE球个数( $X_9$ )、双误的总数( $X_6$ )和二发得分率( $X_4$ ),将共性因子1命名为“控球能力因子”。在各指标中:跑动的距离事关球员体能和击球稳定性;非受迫性失误数( $X_5$ )多则反映球员的稳定性差;ACE球个数多说明球员的发球能力强。共性因子2的指标系数按降序为一发得分率( $X_2$ )和一发成功率( $X_3$ ),反映了球员1发球的实际得分情况,将共性因子2命名为“发球得分因子”。在共性因子3的各指标变量中,系数最大的指标是破发球成功率( $X_7$ ),故将共性因子3命名为“破发能力因子”。在共性因子4的各指标变量中,系数最大的指标为是否为发球方( $X_1$ ),将共性因子4命名为“发球优势因子”。确定了4个共性因子后,得出共性因子的得分系数,如表3所示。

表3 共性因子的得分系数

球员1的指标变量	因子1	因子2	因子3	因子4
是否为发球方( $X_1$ )	0.035	0.002	-0.014	0.991
一发得分率( $X_2$ )	0.120	0.622	-0.032	0.009
一发成功率( $X_3$ )	0.007	0.512	0.102	-0.011
二发得分率( $X_4$ )	0.201	0.060	0.298	-0.068
非受迫性失误数( $X_5$ )	0.222	0.021	-0.023	0.030
双误的总数( $X_6$ )	0.207	0.050	-0.189	0.117
破发成功率( $X_7$ )	0.014	0.030	0.879	-0.004
跑动的距离( $X_8$ )	0.223	0.025	-0.024	0.006
ACE球个数( $X_9$ )	0.222	0.049	0.025	-0.030

根据表3中的数据,结合表1中数据,得到因子得分模型如下:

$$F = \frac{1}{92.215} (49.949F_1 + 18.657F_2 + 12.372F_3 + 11.237F_4), \quad (1)$$

其中:

$$\begin{aligned} F_1 &= 0.035X_1 + 0.120X_2 + 0.007X_3 + 0.201X_4 + 0.222X_5 + 0.207X_6 + 0.014X_7 + 0.223X_8 + 0.222X_9, \\ F_2 &= 0.002X_1 + 0.622X_2 + 0.512X_3 + 0.060X_4 + 0.021X_5 + 0.050X_6 + 0.030X_7 + 0.025X_8 + 0.049X_9, \\ F_3 &= -0.014X_1 - 0.032X_2 + 0.102X_3 + 0.298X_4 - 0.023X_5 - 0.189X_6 + 0.879X_7 - 0.024X_8 + 0.025X_9, \\ F_4 &= 0.991X_1 + 0.009X_2 - 0.011X_3 - 0.068X_4 + 0.030X_5 + 0.117X_6 - 0.004X_7 + 0.006X_8 - 0.030X_9. \end{aligned}$$

### 1.5 数据可视化

根据上述因子得分模型,代入“1301”比赛数据中的球员各指标数据,求出双方球员的综合单打得分,用最小二乘法拟合并绘制图形,展示比赛的走势,如图3所示。图3直观展示了两球员在比赛进程中不同时间点的表现得分(即状态对比)。从图中可以看出,前50球内双方球员的表现得分势均力敌,互有胜

负,表现得分以相近速率增长;但自第 50 球之后,球员 1 的表现得分增长速率显著提高,逐渐与球员 2 拉开差距,并最终获得比赛的胜利。

以球员 1 比赛的表现得分数据与双方比赛的表现得分数据之和的比率来刻画球员的实时“状态”,记为  $M(t)$ ,即

$$M(t) = \frac{F_1(t)}{F_1(t) + F_2(t)}, \quad (2)$$

其中,  $F_i(t)$  ( $i = 1, 2$ ) 为比赛的双方球员的表现得分。当  $M(t) > 0.5$  时,表示球员 1 的状态大于对手,情况对球员 1 有利;当  $M(t) < 0.5$  时,表示球员 1 的状态小于对手,情况对球员 1 不利;当  $M(t) = 0.5$  时,比赛焦灼,双方球员的势头相当。

以球员 1 为例,计算得到其  $M(t)$  的拟合图形如图 4 所示。由图 4 可知,球员 1 在开局的前 50 球内状态波动较为明显,但在 50 球之后,其状态逐渐趋于平稳,并在比赛中占据了优势地位。

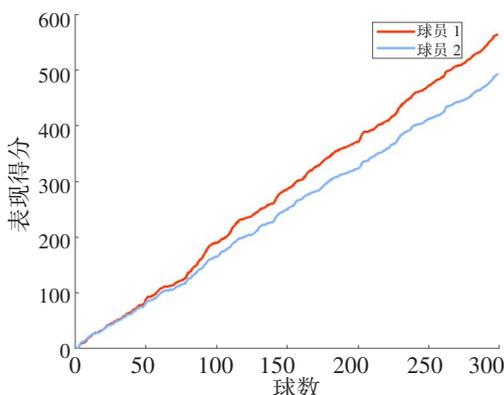


图3 双方球员表现得分的拟合图

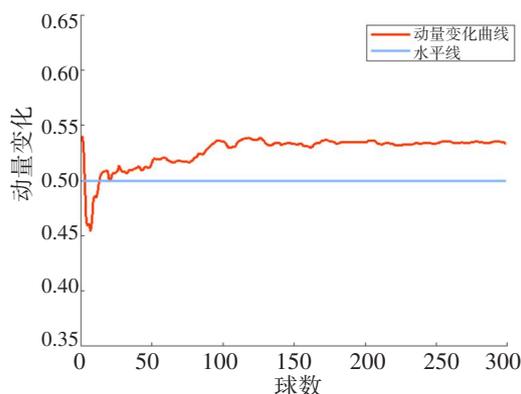


图4 球员1的“状态”拟合图

## 2 随机性检验

为了评估一场比赛的结果是否是随机的,我们通过游程检验测试了比赛数据的随机性。以编号为“1301”的比赛为例,对球员的数据进行随机性分析,结果显示  $P=0.00 < 0.05$ ,这表明网球单打比赛的数据不是随机的。选取球员 1 其他几个具有代表性球员的比赛,通过同样的检验和比较,其数据均满足  $P < 0.05$ ,说明这些比赛的结果也不是随机的。

综上所述,球员在球场上的表现数据并不随机,比赛的结果反映了双方球员的实力,意味着球员唯有通过赛场外持续不断的训练,努力提升自身的能力,才能获得比赛的胜利。

## 3 模型优化

### 3.1 优化思路

因子分析法能够实时刻画评价球员的“状态”,但不能预测比赛的“势头”。由于马尔可夫模型预测<sup>[8]</sup>在网球比赛走势的预测上有局限性(其前提是假设未来状态只与当前状态有关,忽略了其他可能影响比赛走势的因素),基于前人的研究成果以及网球比赛走势预测的实际情况,我们选择逐步剔除回归分析法<sup>[9]</sup>来预测网球比赛的走势。

### 3.2 关键点的定义

为了确定比赛势头扭转的时刻,需要寻找球员“状态”变化的时刻,并总结其数据特征。基于文献[1-4],网球比赛中的“关键点”(表 4)是比赛势头变换的重要节点。

表4 定义网球比赛的“关键点”

分类	优势转折分	平衡分	劣势转折分
常规比赛	40:0、40:15、40:30、AD:40	40:40	0:40、15:40、30:40、40:AD

本文从“1301”比赛数据中提取出上述“关键点”数据,记录为数据集“Key Points\_Data set”,便于后续分析研究。

### 3.3 斯皮尔曼相关分析

对数据集“Key Points\_Data set”做斯皮尔曼相关分析<sup>[9]</sup>,定义其相关系数 $\rho$ :

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}, \quad (3)$$

其中: $d_i$ 表示第*i*个数据对的秩值之间的差值; $n$ 表示观察到的样本总数。

若 $\rho > 0.05$ ,可以认为无显著差异,即指标间没有相关性;若 $\rho < 0.05$ ,则存在显著差异,即指标间具有相关性。对选定的9项评价指标做斯皮尔曼相关分析后,得到其相关系数如表5所示。

表5 9项评价指标之间的相关系数

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$
$X_1$	1.000	-0.017	0.138	-0.054	0.061	-0.022	0.260	-0.011	0.019
$X_2$	-0.017	1.000	0.059	-0.197	-0.418	-0.156	-0.241	-0.410	-0.449
$X_3$	0.138	0.059	1.000	-0.409	0.074	-0.158	0.039	-0.165	-0.039
$X_4$	-0.054	-0.197	-0.409	1.000	0.447	0.503	0.128	0.642	0.540
$X_5$	0.061	-0.418	0.074	0.447	1.000	0.835	0.322	0.947	0.964
$X_6$	-0.022	-0.156	-0.158	0.503	0.835	1.000	0.021	0.877	0.816
$X_7$	0.260	-0.241	0.039	0.128	0.322	0.021	1.000	0.259	0.333
$X_8$	-0.011	-0.410	-0.165	0.642	0.947	0.877	0.259	1.000	0.957
$X_9$	0.019	-0.449	-0.039	0.540	0.964	0.816	0.333	0.957	1.000

### 3.4 回归预测模型的构建与分析

将之前确定的9项评价指标作为自变量,将处理后的数据集“Key Points\_Data set”作为因变量,通过逐步剔除回归分析法建立回归预测模型。经检验,回归模型的拟合优度值 $r^2$ 为0.117,这表明自变量与因变量之间的相关性较好,回归方程模型和系数如表6所示。

表6 回归方程模型和系数

指标	非标准化系数		标准化系数	$t$	$P$
	$\beta$	标准化因子	$\beta$		
常数	0.425	0.149	—	2.856	0.004
是否为发球方( $X_1$ )	0.325	0.046	0.325	7.069	0.000
一发得分率( $X_2$ )	-0.592	0.382	-0.144	-1.549	0.122
一发成功率( $X_3$ )	0.435	0.425	0.100	1.023	0.307
二发得分率( $X_4$ )	0.392	0.293	0.102	1.335	0.183
非受迫性失误数( $X_5$ )	-0.014	0.008	-0.336	-1.654	0.099
双误的总数( $X_6$ )	0.051	0.025	0.184	2.010	0.045
破发成功率( $X_7$ )	-0.107	0.105	-0.050	-1.019	0.309
跑动的距离( $X_8$ )	-0.000	0.000	-0.301	-1.096	0.274
ACE球个数( $X_9$ )	0.054	0.030	0.427	1.829	0.068

从表6中的数据可以看出:是否为发球方( $X_1$ )和双误的总数( $X_6$ )指标显著, $P < 0.05$ ;虽然ACE球个数( $X_9$ )和非受迫性失误数( $X_5$ )的 $P$ 值均略高于0.05,但综合情况分析表明,这两个指标的重要性比其他指标更显著,因此我们保留这两个指标,得到回归预测方程:

$$Q = 0.425 + 0.325X_1 - 0.014X_5 + 0.051X_6 + 0.054X_9。$$

综上所述,是否为发球方( $X_1$ )、双误的总数( $X_6$ )、ACE球个数( $X_9$ )、非受迫性失误数( $X_5$ )这些因素与预测结果最为相关,其相关性依次为: $X_1 > X_6 > X_9 > X_5$ 。

## 4 预测精确度

选用2023年温网比赛中Carlos Alcaraz与Novak Djokovic的男单比赛、Marketa Vondrousova与Ons Jabeur的女单比赛等多场具有代表性的比赛数据,利用本文的预测模型刻画球员状态并预测比赛结果,得出的预测结果与比赛的最终结果高度一致,预测准确率达87.50%。对其他网球比赛,预测准确率也能保持在80%以上。这一结果表明,本文预测模型可靠,预测结果可信。

## 5 结语

本文的预测模型在一些体育比赛中能表现出良好的适配性,尤其是在评估网球比赛中球员的状态变化方面,为比赛的进一步研究和应用提供了一定的参考。但在不同的体育比赛中,该模型存在不一致的适配性:(1)在一些类似于网球比赛的场地比赛中具备较强适配性。即使考虑到比赛规则有所不同、赛事历史、规模和重要性等因素,模型仍能涵盖比赛关键指标,适配性显著。(2)在其他一些比赛项目中的适配性存在明显不足。如羽毛球比赛,需要关注球员的移动速度、正反手和拦截技术等指标,而某些网球特有的指标(如破发球)在此并不适用,两者的基本指标出现明显差异;又如在篮球等多人运动中,模型适配性进一步受到限制,因为需考虑球员个人能力(如弹跳力、抢断等)以及团队配合能力等多重指标。

### 参考文献:

- [1]王伟,张春合,周曙. 博弈论视角下职业网球竞赛特征探析[J]. 武术研究,2024,9(4):139-143.
- [2]袁宾峰. 优秀女子单打网球运动员接发球技战术研究:以2018年澳大利亚网球公开赛为例[D]. 广州:广州体育学院,2019.
- [3]朱保州. 我国优秀男子网球运动员张之臻单打技战术分析[D]. 武汉:武汉体育学院,2022.
- [4]CHARLES A. Improve Your Tennis IQ[M]. 罗文,译. 北京:人民体育出版社,2007:12-15,23.
- [5]蒋启飞,郑贺. 男子网球单打技术与综合实力回归预测模型构建分析[J]. 吉林体育学院学报,2015,31(2):39-43.
- [6]郭立亚,袁毅,关晓燕,等. 世界顶级网球男子单打比赛制胜技术因素分析[J]. 北京体育大学学报,2010,33(2):122-124.
- [7]白银川,刘卫军,许奎元,等. 我国优秀48kg女子摔跤运动员孙亚楠里约奥运会赛前训练特征研究[J]. 北京体育大学学报,2017,40(9):105-111.
- [8]张蓉. 网球比赛的赛果预测及球员分析[D]. 昆明:云南大学,2022.
- [9]于群,霍筱东,何剑,等. 基于斯皮尔曼相关系数和系统惯量的中国电网停电事故趋势预测[J]. 中国电机工程学报,2023,43(14):5372-5381.

# 冷喷压力对不同基板上 单道单层冷喷纯铜涂层的影响

王 晗, 李微微, 裘天乐, 郜菊敏, 徐飞龙, 邵 玲, 薛 娜

(台州学院 浙江省工量刀具检测与深加工技术研究重点实验室, 浙江 台州 318000)

**摘要:** 在不同喷涂压力下, 采用冷喷涂技术将纯铜颗粒沉积到 AZ31B 镁合金板和 6061 T6 铝合金板上, 形成单道单层纯铜涂层。通过扫描电子显微镜观察涂层横截面和显微组织, 借助光学显微镜测量涂层厚度, 利用三维轮廓仪检测涂层表面粗糙度和形貌, 使用剪切强度测试装置测量涂层与基板之间的剪切强度, 研究不同喷涂压力对涂层厚度、表面粗糙度和剪切强度的影响。结果显示: 随着喷涂压力的增加, AZ31B 镁合金基板和 6061 T6 铝合金基板上的涂层厚度都逐渐增加, 且铝合金基板上的涂层厚度高于镁合金基板上的涂层厚度; 涂层表面粗糙度值也随着喷涂压力的增加而逐渐增加, 铝合金基板上的涂层表面质量更好。此外, 涂层与基板之间的剪切强度也随着喷涂压力的增加而逐渐增加, AZ31B 镁合金基板与纯铜涂层结合强度高于 6061 T6 铝合金基板与纯铜涂层结合强度。

**关键词:** 冷喷涂; 纯铜涂层; 厚度; 表面粗糙度; 剪切强度

DOI:10.13853/j.cnki.issn.1672-3708.2024.06.003

## 0 引言

AZ31B 镁合金和 6061 T6 铝合金都属于轻金属, 具有较小密度、较轻重量、较高比强度和良好导热性等性能, 完美符合轻量化设计要求<sup>[1-2]</sup>, 广泛应用于各种工业结构件(如: 汽车零件、机件壳罩和船舶设备等)<sup>[3-4]</sup>。但是镁合金和铝合金的耐磨性和耐腐蚀性都较差, 影响了其零部件的使用寿命。因此亟须提高镁合金和铝合金表面的耐腐蚀性能, 常用的一种方法是在镁合金和铝合金表面涂敷一层保护层。

铜及其合金较高的热传导率和导电性、优异的弹性和延展性, 以及在海洋环境中铜比镁和铝具有更优异的耐腐蚀性<sup>[5-7]</sup>及耐磨性<sup>[8]</sup>等性能, 使得铜涂层被广泛应用。在基板表面制备铜涂层的技术有多种, 例如: 热喷涂技术<sup>[9]</sup>、化学沉积技术<sup>[10]</sup>和冷喷涂技术<sup>[11]</sup>等。热喷涂技术(包括火焰喷涂、电弧喷涂、激光熔覆<sup>[12]</sup>等)通过热源将喷涂材料加热至半熔融或熔化状态, 再喷涂到基板表面。热喷涂技术的高温环境会导致涂层过热, 铜被氧化<sup>[13]</sup>。化学沉积技术一般有化学镀和电镀等, 但是化学沉积技术受工艺参数影响较大, 镀覆过程复杂, 涂层厚度不易控制<sup>[14-15]</sup>。

冷喷涂是一种新型的表面涂层技术, 在常温或较低的温度下, 压缩气体(氮气、氦气等)通过德拉瓦尔型喷嘴将粉末颗粒加速到超音速后, 颗粒一层层高速冲击到基板上形成致密涂层。由于加工温度低, 冷喷涂不会引起粉末原料的熔化、氧化和相变<sup>[16]</sup>, 适用于航空航天、汽车、生物医学等各个行业。据报道, 冷喷

收稿日期: 2024-07-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(52201187); 浙江省“尖兵”研发攻关计划项目(2023C0082); 浙江省教育厅一般科研项目(Y202249336); 台州市科技计划项目(22gya18, 21gya23, 2002gy06, 23gyb06)

作者简介: 王 晗(2003—), 男, 浙江湖州人, 2022级材料成型及控制工程专业本科生; 李微微(通信作者)(1979—), 女, 浙江台州人, 讲师, 主要从事高端合金表面工程研究。

涂特别适用于高反射率金属,如铜和铝等<sup>[17]</sup>,因此,由冷喷涂技术制备的铜涂层引起人们的广泛关注。Fukumoto 等<sup>[18]</sup>采用冷喷涂法在工业纯铝上沉积铜粉颗粒,研究了沉积层、界面和基板的特征及微观结构发展,结果表明:冷喷涂铜颗粒与铝基板界面发生互扩散,形成反应相,高速颗粒的冲击引起铝的动态再结晶和晶粒细化,导致铝基板近表面硬度升高。Cao 等<sup>[19]</sup>为探究影响冷喷涂铜涂层导热性能的主要因素,采用冷喷涂制备铜涂层并对涂层作退火处理,结果表明:孔隙率是影响铜涂层导热性能的主要因素。Wu 等<sup>[20]</sup>为探讨冷喷涂法制备铜-铬复合材料的可行性,对其沉积行为进行了分析,结果表明:颗粒参数如形貌、尺寸分布和变形能力等决定了不同的沉积行为。Chen 等<sup>[21]</sup>采用冷喷涂增材制造技术制备了韧性好、强度高的铜块,研究冷喷涂技术下获得铜涂层的显微组织演变、强化和延性机制,结果表明:由冷喷涂技术获得的铜涂层具有独特的非均质组织,具有双峰晶粒结构和广泛的无限循环环状孪生分布晶粒。Mebdoua 等<sup>[22]</sup>对冷喷涂铜涂层进行数值分析和实验研究,包括粒子速率、温度、气体压力和材料性质等,结果表明,颗粒碰撞速率对其形貌有显著影响。

采用冷喷涂在镁合金表面或者铝合金表面制备纯铜涂层,喷涂后得到的材料既具有镁或铝的轻便性,又有铜的良好导热性和较好的耐腐蚀性。目前研究铜基涂层的冷喷涂文章,大多研究涂层硬度、耐腐蚀性、导热性等,这些性能往往都是在多道多层喷涂基础上研究的,对于单道单层涂层的特性却未深入研究。本文在同一喷涂温度不同喷涂压力下,研究单道单层冷喷涂纯铜涂层的特性,如涂层截面形状、涂层厚度、涂层显微组织、涂层表面粗糙度和涂层剪切强度,从而为设置冷喷涂多道多层铜基涂层的喷涂工艺参数提供参考。

## 1 实验材料及方法

从东莞市豪钛金属材料有限公司和江苏安南赛金属制品有限公司分别采购的 AZ31B 镁合金板和 6061 T6 铝合金板作为喷涂基板,尺寸均为 100 mm × 100 mm × 3 mm,其化学成分如表 1 所示。采用日本日立公司生产的场发射扫描电子显微镜(SEM,S-4800)观察从南官市春旭金属材料厂采购的由水雾化生产的纯铜粉末颗粒形貌及大小,SEM 的二次电子图像分辨率为 1 nm。从图 1 可以看出,粉体颗粒近球形,表面较光滑圆润,颗粒尺寸平均值为 17.4 μm。

表 1 AZ31B 镁合金板和 6061 T6 铝合金板相关元素的原子数分数(%)

合金板	元素									
	Fe	Cu	Si	Cr	Mn	Ti	Zn	Ni	Al	Mg
镁合金板	0.003	0.006	0.16	—	0.32	—	0.61	0.001	3.050	Bal.
铝合金板	≤0.700	0.150~0.400	0.40~0.80	0.04~0.35	≤0.15	≤0.15	≤0.25	—	Bal.	0.80~1.20

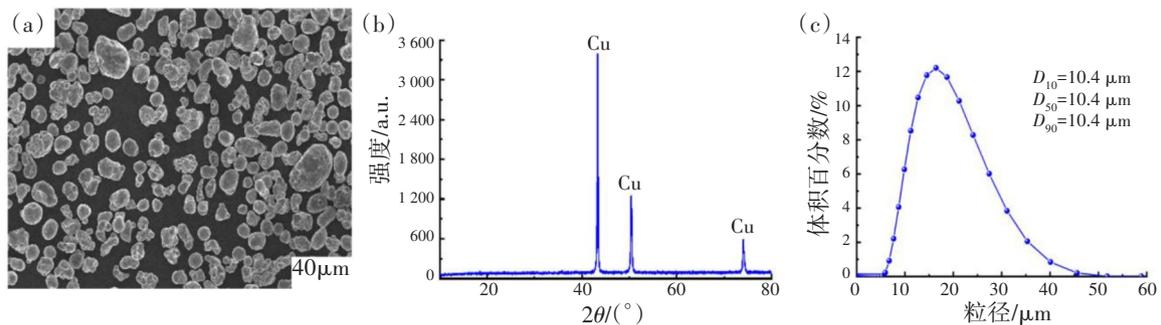


图 1 纯铜粉末 SEM 图

在冷喷涂前,采用 36 目棕刚玉砂分别对 AZ31B 镁合金板和 6061 T6 铝合金板进行喷砂处理,喷砂后将基板置于酒精溶液中超声清洗 20 min,干燥后测得板材表面粗糙度 Ra 值分别为 3.82 μm 和 3.97 μm。

喷砂处理的目的是去除基板表面氧化层,采用高压冷喷涂系统 PCS-100(日本 Plasma Giken 公司)将纯铜颗粒分别沉积到 AZ31B 镁合金基板和 6061 T6 铝合金基板上。高压冷喷涂系统示意图如图 2 所示,图中气瓶存有氮气,加热的氮气可以用于获得更高的气体流速,从而提高粉末颗粒速率。驱动气流经过德拉瓦尔型喷嘴,将热能转化为动能使其膨胀并加速至超音速。另一束气流是将粉末颗粒从喂料装置输送至喷嘴中,颗粒在高速气流推动下撞击基板,并发生塑性变形黏附到基板上形成涂层。冷喷涂的主要喷涂参数如表 2 所示,喷涂温度、气体流量、喷涂速率、喷嘴到基板的距离及喷涂层数都保持一致,改变喷涂压力得到 AZ31B 镁合金基板和 6061 T6 铝合金基板上的纯铜涂层。

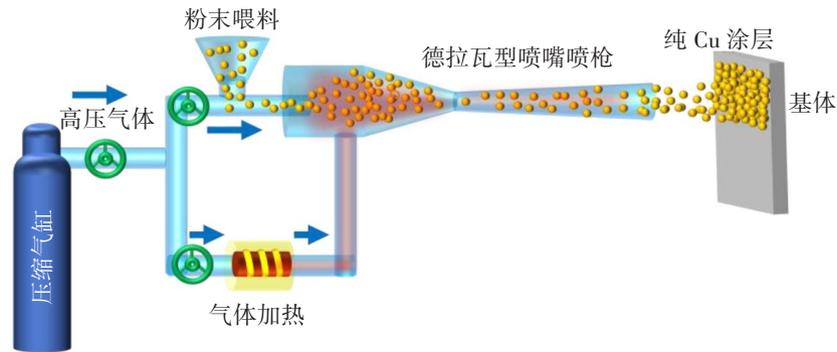


图 2 高压冷喷涂系统示意图

表 2 不同基板上纯铜涂层的冷喷涂参数

涂层试样	基板	喷涂温度/ $^{\circ}\text{C}$	喷涂压力/ $\text{MPa}$	气体流量/ $(\text{L}\cdot\text{min}^{-1})$	喷涂速率/ $(\text{mm}\cdot\text{s}^{-1})$	喷嘴到基板的距离/ $\text{mm}$	喷涂层数/层
1	AZ31B	600	4.0	180	50	20	1
2	AZ31B	600	4.5	180	50	20	1
3	AZ31B	600	5.0	180	50	20	1
4	AZ31B	600	5.5	180	50	20	1
5	6061 T6	600	4.0	180	50	20	1
6	6061 T6	600	4.5	180	50	20	1
7	6061 T6	600	5.0	180	50	20	1
8	6061 T6	600	5.5	180	50	20	1

用线切割方法将冷喷涂样品切割成  $10\text{ mm}\times 10\text{ mm}\times 3\text{ mm}$  的试样。采用热压镶嵌法将试样镶嵌在电木粉中,试样断面依次采用 600、1 200、2 000、2 500 目的碳化硅砂纸打磨,再用 200 nm 氧化铝抛光液抛光至镜面。采用 SEM 观察涂层横截面的显微组织,利用德国布鲁克公司分辨率为 0.2 nm 的 ConrourX-100 3D 光学轮廓仪检测纯铜涂层表面粗糙度,比较分析喷涂参数对不同基板上纯铜涂层表面粗糙度的影响;利用 Zeiss Axio scope A1 光学显微镜测量涂层最高处厚度。根据文献[23]改装的剪切强度测试装置<sup>[24]</sup>如图 3 所示,线切割机将试样切割成  $15\text{ mm}\times 5\text{ mm}\times 3\text{ mm}$ ,并将弧形涂层一半切割后置于剪切强度装置上,采用 XBD5105 微机控制电子万能试验机在基板上施加力,测量涂层与基板之间的剪切强度,采用 SEM 观察其断面形貌。

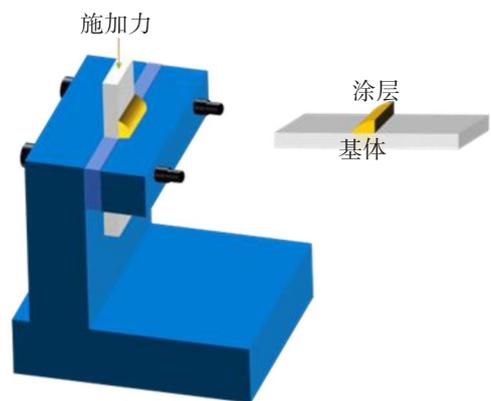


图 3 剪切强度装置

## 2 结果与分析讨论

在喷涂温度为 600 °C 和喷涂压力为 5.5 MPa 下沉积到 6061 T6 铝合金基板上的单道单层纯铜涂层截面形貌如图 4 所示,从图 4 可看出,单道单层纯铜涂层横截面形状近似呈椭圆弧状,纯铜涂层与基板紧密结合,涂层组织致密。形成椭圆弧状截面的主要原因是:空气阻力使得喷嘴口的中心压强比外侧稍大,导致粉末颗粒从喷枪嘴喷出后呈散射状。喷嘴中心颗粒速率高于周边散射状颗粒速率<sup>[25]</sup>,致使靠近喷嘴中心的颗粒沉积效率高,最后形成中间越来越厚、两侧越来越薄的涂层。

图 5(a~d)为喷涂温度 600 °C,喷涂压力分别为 4.0 MPa、4.5 MPa、5.0 MPa 和 5.5 MPa 时 AZ31B 镁合金基板上纯铜涂层的显微组织。从图 5(a~d)可以看出,不同喷涂压力下镁基板上涂层孔隙非常少,涂层致密。图 5(e~h)为喷涂温度 600 °C,喷涂压力分别为 4.0 MPa、4.5 MPa、5.0 MPa 和 5.5 MPa 时 6061 T6 铝合金基板上纯铜涂层的显微组织。从图 5(e~h)可以看出,铝合金基板上的纯铜涂层致密性较好,但有少量孔隙,特别是在 600 °C、4.0 MPa 的冷喷条件下,孔洞尤为明显。从图 5 可以看出,不同喷涂压力下的纯铜涂层与两种基板之间存在明显分界线,且分界线弯曲不平直。分界线处无明显孔隙,表明涂层与基板紧密结合。冷喷涂层是从第一批的变形纯铜颗粒黏结在基板开始,后续再变形纯铜颗粒是黏结在前一批已沉积的颗粒上逐步形成的<sup>[26]</sup>。后堆叠颗粒不能完全填补已沉积涂层表面的凹坑,微小的孔隙势必会在涂层中产生。已沉积纯铜颗粒由于受到后续颗粒的碰撞而继续变形并冲击基板,AZ31B 基板硬度 67HV0.1 比 6061 T6 基板硬度 110HV0.1 小,镁基板较铝基板软,镁基板易吸收冲击力,孔隙少。

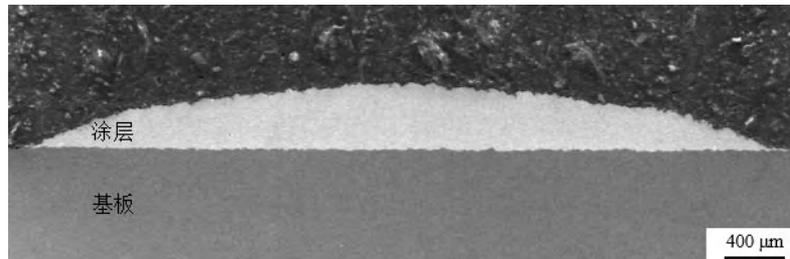
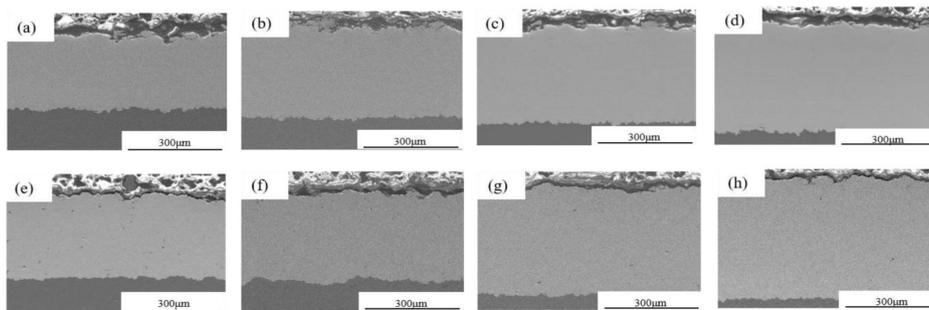


图 4 6061 T6 铝合金基板上的单道单层冷喷纯铜涂层横截面(600 °C,5.5 MPa)



说明:AZ31B 镁合金基板:(a)4.0 MPa;(b)4.5 MPa;(c)5.0 MPa;(d)5.5 MPa;6061 T6 铝合金基板:(e)4.0 MPa;(f)4.5 MPa;(g)5.0 MPa;(h)5.5 MPa。

图 5 不同喷涂压力对不同基板上单道单层冷喷纯铜涂层显微组织的影响(600 °C)

在喷涂温度为 600 °C、喷涂压力分别为 4.0 MPa、4.5 MPa、5.0 MPa 和 5.5 MPa 时沉积到 AZ31B 镁合金和 6061 T6 铝合金基板上的冷喷纯铜涂层厚度的变化如图 6 所示。当喷涂压力为 4.0 MPa 时,两种基板上的涂层厚度值均最小,AZ31B 镁合金基板上涂层厚度为 245 μm,6061 T6 铝合金基板上涂层厚度为 252 μm。随着喷涂压力的增加,两种基板上涂层厚度都基本呈线性增加。当喷涂压力达到 5.5 MPa 时,镁基板和铝基板冷喷涂层厚度分别为 372 μm 和 392 μm。这是由于喷涂颗粒速率是影响涂层厚度的关

键因素,相同的材料属性具有相同的冷喷最低临界速率和冷喷速率窗口范围<sup>[27]</sup>。颗粒速率  $V_p$  与喷涂压力  $P_0$  的关系如下<sup>[28]</sup>:

$$V_p = \frac{1}{\frac{1}{M} \sqrt{\frac{M_w}{\gamma RT} + 0.85 \sqrt{\frac{D}{x} \sqrt{\frac{\rho_p}{P_0}}}}},$$

式中: $M$ 为无量纲局部马赫数; $M_w$ 为气体分子质量; $\gamma$ 为比热比; $R$ 为理想气体常数; $T$ 为气体温度; $D$ 为颗粒直径; $x$ 为喷嘴到基板距离; $\rho_p$ 为颗粒密度。当 $V_p$ 超过临界速率时,颗粒碰撞基板一侧发生了严重的塑性变形,并伴随着绝热剪切失稳颗粒黏附在基板上。随着 $P_0$ 增加, $V_p$ 也增加,塑性变形和热软化更明显,颗粒更容易沉积在基板上,纯铜涂层越来越厚。从图6可看出,两种基板上喷涂压力为5.5 MPa时获得的涂层厚度比喷涂压力为4.0 MPa时获得的涂层厚度分别高出100  $\mu\text{m}$ 多。在相同喷涂压力下,6061 T6铝合金基板上涂层厚度值比AZ31B镁合金基板涂层厚度值略大。由于两种基板软硬程度不同,颗粒撞击软基板时嵌入基板更深,后续颗粒的夯实作用加强了前述颗粒砸入基板的深度,使得软基板涂层厚度比硬基板涂层厚度薄<sup>[29]</sup>。

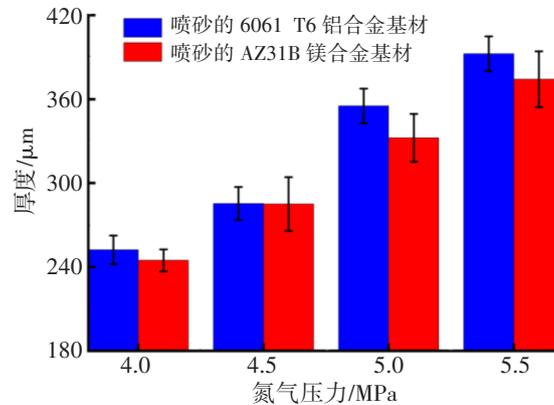


图6 不同喷涂压力对不同基板上单道单层冷喷纯铜涂层厚度的影响

三维轮廓仪测得不同喷涂压力下AZ31B镁合金基板和6061 T6铝合金基板上冷喷纯铜涂层的表面粗糙度Ra值变化如图7所示。从图7可以看出,当喷涂压力为4.0 MPa时,AZ31B镁合金基板和6061 T6铝合金基板上的涂层Ra值分别为9.12  $\mu\text{m}$ 和8.96  $\mu\text{m}$ 。随着喷涂压力的增加,涂层表面粗糙度值逐渐增加。当喷涂压力达到5.5 MPa时,Ra值上升更明显,此时AZ31B镁合金基板和6061 T6铝合金基板上的涂层Ra值分别为10.93  $\mu\text{m}$ 和10.86  $\mu\text{m}$ ,表面越来越不光滑。由于喷涂压力增加,颗粒速率也增加。高速颗粒的动能在撞击基板时,颗粒的动能一部分因摩擦产生热量导致接触区域温度升高,粒子软化、塑性变形产生机械互锁;另一部分动能撞击在基板/涂层时产生回弹力。当互锁力大于回弹力时,纯铜颗粒沉积在基板上<sup>[30]</sup>。另外,喷涂压力越大,颗粒速率越大,沉积颗粒越多,撞击反弹的颗粒越少<sup>[31]</sup>。相反地,喷涂压力小,颗粒速率低,夯实反弹的颗粒多,使原有沉积颗粒产生更扁平的变形,表面粗糙度值变小,表面相对光滑。比较图6和图7可知,随着喷涂压力增加,涂层厚度越厚,涂层表面粗糙度值越大,表面越粗糙,涂层厚度与涂层表面质量成反比关系。同样对于较软的AZ31B镁合金板涂层,具有“锤击效应”<sup>[32]</sup>的反弹颗粒进一步促进已沉积首层颗粒嵌入基板中,凸起和凹陷更凸显,表面更粗糙。

在喷涂温度为600  $^{\circ}\text{C}$ 、喷涂压力为4.0 MPa时下沉积到AZ31B镁合金基板和6061 T6铝合金基板上的纯铜涂层表面粗糙度形貌如图8所示。红色为凸起部分,蓝色为冲蚀坑。AZ31B镁合金基板和6061 T6铝合金基板上的涂层都观察到纯铜涂层表面起伏明显,凸起部分主要集中在涂层中部,沉积的纯铜颗粒

多,这与图4是一致的。此外还可以观察到红色凸起部分没有紧密挤挨在一起,因为纯铜颗粒大小不完全一致、速率不一致,部分颗粒沉积基板/涂层上,部分纯铜颗粒反弹。某些局部区域纯铜颗粒黏附越来越多;另一些局部区域,并未有连续不断的纯铜颗粒黏结,使得此区域形成低洼地带。

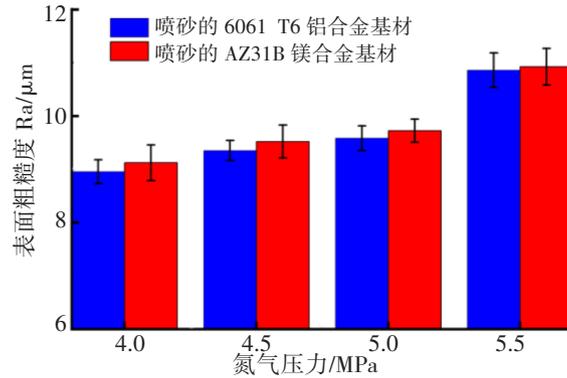


图7 不同喷涂压力对不同基板上单道单层冷喷纯铜涂层粗糙度的影响

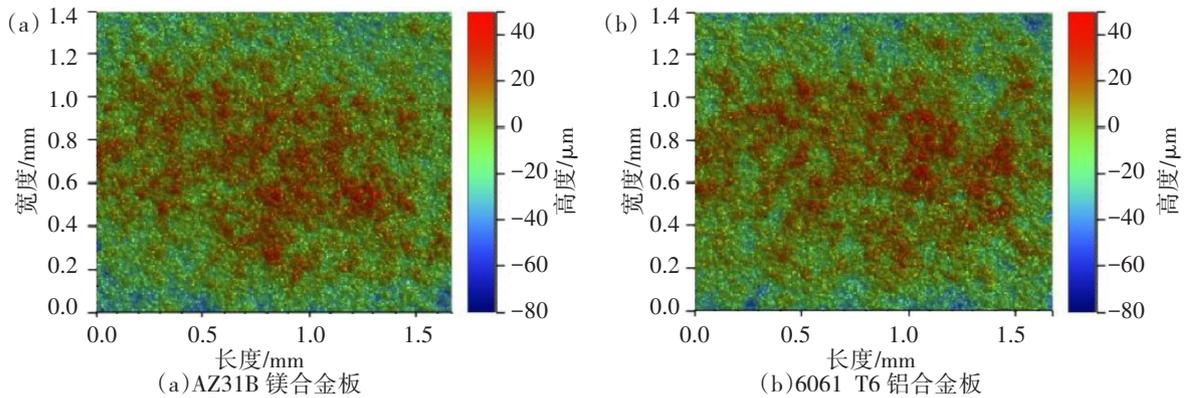


图8 不同基板板上单道单层纯铜涂层表面粗糙度形貌(600 °C,4.0 MPa)

在喷涂温度为600 °C时,不同喷涂压力下纯铜涂层分别与AZ31B镁合金基板和6061 T6铝合金基板之间的剪切强度如图9所示。从图9可以看出,当喷涂压力为4.0 MPa时,AZ31B镁合金基板和6061 T6铝合金基板的剪切强度分别为50 MPa和26 MPa。随着喷涂压力的增加,两种基板上纯铜涂层的剪切强度都逐渐增加,特别是当喷涂压力从5.0 MPa上升到5.5 MPa时,剪切强度明显增加。当喷涂压力达到5.5 MPa时,AZ31B镁合金基板和6061 T6铝合金基板的剪切强度分别为75 MPa和37 MPa。在相同喷涂温度和喷涂压力下,AZ31B镁合金基板与涂层的剪切强度明显高于6061 T6铝合金基板与涂层的剪切强度。由于AZ31B镁合金基板软,相比于较硬的6061 T6铝合金基板,超音速颗粒撞击在镁基板上,第一批颗粒更容易嵌入基板中,后续颗粒对已沉积颗粒起捶打作用,纯铜颗粒与基板的孔隙越来越少,加强了纯铜颗粒和AZ31B镁合金基板的结合<sup>[33]</sup>。此外,在相同喷涂温度下,随着喷涂压力增大,纯铜颗粒与两种基板的剪切强度都增加,这是由于增大喷涂压力可以提高颗粒速率,以致颗粒具有更强的撞击力,从而涂层与基板的结合力更高。

在喷涂温度为600 °C和喷涂压力为4.0 MPa时,AZ31B镁合金基板和6061 T6铝合金基板上纯铜涂层剪切强度测试断面形貌如图10所示。从图10可看出,一颗颗凸起为纯铜颗粒,断裂发生在颗粒界面处。由于冷喷涂层大部分是机械结合,结合力较弱,裂纹在孔隙处形核并扩展到颗粒界面。图10(a)和图10(c)分别为涂层与基板断裂后AZ31B镁合金和6061 T6铝合金基板上纯铜涂层一侧断面形貌。凸出纯铜颗粒大小基本一致,说明不同基板上纯铜变形量区别不大。与图10(c)比较,图10(a)突出纯铜颗粒有部分

被削平,表明纯铜颗粒与镁基板除了存在黏合断裂,还有内聚断裂<sup>[34]</sup>。图 10(b)和图 10(d)分别为涂层与基板断裂后 AZ31B 镁合金和 6061 T6 铝合金基板一侧断面形貌图。图 10(d)比图 10(b)的凹坑更明显,图 10(d)坑洞尺寸略大,很少有完整、独立的坑洞,凸起颗粒很少。从图 10(b)能观察到一个个独立的、较深的坑洞。由于 AZ31B 镁合金较软,相同喷涂速率的粉末颗粒更容易撞击进入基板中,颗粒与基板紧紧地黏附,界面互锁强。较硬的 6061 T6 铝合金基板不能消耗高速纯铜颗粒更多的动能,最后导致纯铜颗粒与 6061 T6 铝合金基板的结合力稍差些,这与从图 9 中得出的结论是一致的。

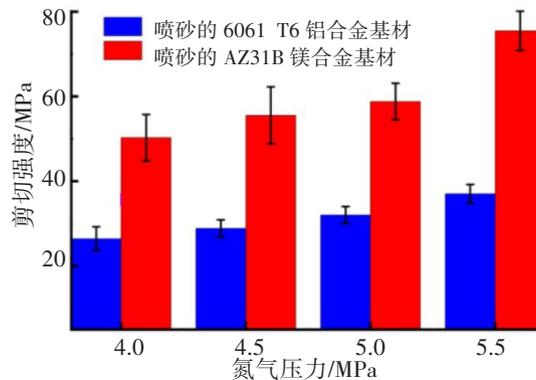
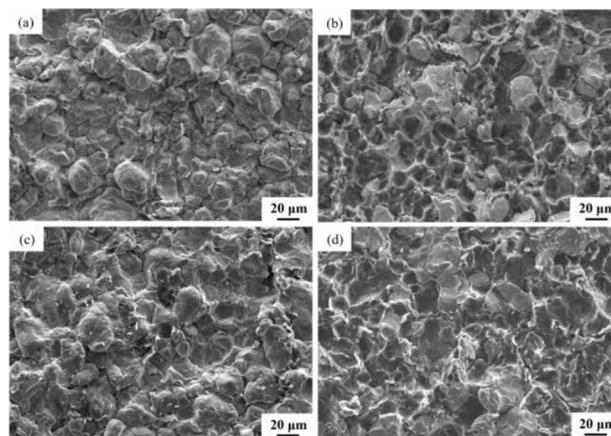


图 9 不同喷涂压力对不同基板上单道单层冷喷纯铜涂层剪切强度的影响



(a)AZ31B 镁合金基板上纯铜涂层侧;(b)AZ31B 镁合金基板侧;  
(c)6061 T6 铝合金基板上纯铜涂层侧;(d)6061 T6 铝合金基板侧

图 10 不同基板上单道单层纯铜涂层剪切强度测试后的断面形貌(600 °C,4.0 MPa)

### 3 结语

本文采用冷喷涂技术成功地将纯铜颗粒沉积在 AZ31B 镁合金和 6061 T6 铝合金基板上获得单道单层纯铜涂层,研究了不同喷涂压力(4.0 MPa、4.5 MPa、5.0 MPa、5.5 MPa)对涂层厚度、显微组织、表面粗糙度、剪切强度的影响,得出以下结论:

(1)在喷涂温度为 600 °C 时,喷涂压力从 4.0 MPa、4.5 MPa、5.0 MPa 到 5.5 MPa 依次递增时,冷喷涂制备 AZ31B 镁合金和 6061 T6 铝合金基板上纯铜涂层的厚度、表面粗糙度值和剪切强度均随着喷涂压力的增加而逐渐增加。

(2)在相同喷涂温度和喷涂压力下,AZ31B 镁合金基板上的纯铜涂层比 6061 T6 铝合金基板上的纯铜涂层厚度小,表面粗糙度值大,剪切强度大。这是由于冷喷涂时纯铜颗粒嵌入较软的 AZ31B 镁合金基板的深度更深,以致结合力更好,但是凹坑深也将导致涂层表面更粗糙。

## 参考文献:

- [1] DAAVARI M, ATAPOUR M, MOHEDANO M, et al. Quasi-in vivo corrosion behavior of AZ31B Mg alloy with hybrid MWCNTs-PEO/PCL based coatings[J]. *Journal of Magnesium and Alloys*, 2022, 10(11):1217-3233.
- [2] KAMBOJ M, CHETRY A, KURIEN C, et al. Computational study on the potential of aluminium alloy as a candidate material in automotive leaf spring[J]. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 2023, 21(2):406-417.
- [3] DZIUBINSKA A, SURDAKCI P, MAJERSKI K. The analysis of deformability, structure and properties of AZ61 cast magnesium alloy in a new hammer forging process for aircraft mounts[J]. *Materials*, 2021, 14(10):2593.
- [4] AFIFAH B, OMAR M, HASHIM H, et al. Recent development in graphene-reinforced aluminium matrix composite: review[J]. *Reviews on Advanced Materials Science*, 2021, 60(1):801-817.
- [5] SZALA M, LATKA L, WALCZAK M. Comparative study on the cavitation erosion and sliding wear of cold-sprayed Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Cu/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coatings, and stainless steel, aluminium alloy, copper and brass[J]. *Metals*, 2020, 10(7):856.
- [6] ZHANG L Y, ZHANG Y C, WU H S, et al. Structure and corrosion behavior of cold-sprayed Cu/Ni composite coating post-treated by ultrasonic shot peening[J]. *Sn Applied Sciences*, 2020, 2(2):1-14.
- [7] FENG L, GHANG J R, LI D T, et al. Corrosion resistance of low pressure cold sprayed Cu-Zn composite coatings [J]. *Rare Metal Materials and Engineering*, 2020, 49(6):1029-2038.
- [8] LI W Y, WU D H, XU K W, et al. A comparative study on the employment of heat treatment, electric pulse processing and friction stir processing to enhance mechanical properties of cold spray additive manufactured copper [J]. *Surface and Coatings Technology*, 2021, 409:126887.
- [9] ATKA L, PAWOWSKI L, WINNICKI M, et al. Review of functionally graded thermal sprayed coatings [J]. *Applied Sciences*, 2020, 10(15):5153.
- [10] PEDRAZZETTI L, GIBERTINI E, BIZZONI F, et al. Graphene growth on electro formed copper substrates by atmospheric pressure CVD[J]. *Materials*, 2022, 15(4):1572.
- [11] MAEV R, LESHCHYNSKY V, STRUMBAN E, et al. Structure and mechanical properties of thick copper coating made by cold spray[J]. *Journal of Thermal Spray Technology*, 2016, 25(1/2):113-122.
- [12] ZHU L D, PAN S H, YUAN H C, et al. Research on remanufacturing strategy for 45 steel gear using H13 steel powder based on laser cladding technology[J]. *Journal of Manufacturing Processes*, 2020, 49:344-354.
- [13] KO K, CHOI J, IEE H. Pretreatment effect of Cu feedstock on cold-sprayed coatings [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2014, 214(8):1530-1535.
- [14] 王玥, 冯立明. 电镀工艺学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2018.
- [15] 吴玉程. 现代化学镀技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2022.
- [16] 王慧鹏, 李鹏, 王喜茂, 等. 冷喷涂温度对 Cu-Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub> 复合涂层微观组织及摩擦学性能的影响[J]. *材料导报*, 2024, 38(15):13030288.
- [17] WEI Y K, LUO X T, CHU X, et al. Solid-state additive manufacturing high performance aluminum alloy 6061 enabled by an in-situ micro-forging assisted cold spray[J]. *Materials Science and Engineering A*, 2020, 776:139024.
- [18] FUKUMOTO S, OHTA K, YANAGIMOTO T, et al. Characteristics and microstructural development of cold-sprayed copper characteristics and microstructural development of cold-sprayed copper coating on aluminum [J]. *Materials Transactions*, 2019, 60(4):602-610.
- [19] CAO K, YU M, LIANG C M, et al. Study on thermal conductivity of cold sprayed Cu coating [J]. *Surface Engineering*, 2020, 36(10):1058-1066.
- [20] WU X K, ZHOU X L, CUI H, et al. Deposition behavior and characteristics of cold-sprayed Cu-Cr composite deposits [J]. *Journal of Thermal Spray Technology*, 2012, 21(5):792-799.
- [21] CHEN C Y, XIE Y C, Yin S, et al. Ductile and high strength Cu fabricated by solid-state cold spray additive manufacturing[J]. *Journal of Materials Science & Technology*, 2023, 134:234-243.
- [22] MEBDOUA Y, FIZI Y, BOUHELAL N. Cold sprayed copper coating, numerical study of particle impact and coating characterization[J]. *The European Physical Journal Applied Physics*, 2016, 74(2):24608.
- [23] WANG Q, KEVIN S, NICK B, et al. The influence of ceramic particles on bond strength of cold spray composite

- coatings on AZ91 alloy substrate[J]. *Surface and Coatings Technology*, 2010, 205(1):50–56.
- [24] 邵玲, 朱流, 薛娜, 等. 一种涂层剪切强度的测试装置及测试方法: CN202310755307.1[P]. 2023-09-26.
- [25] 恒勇. AZ91D 镁基板上冷喷涂 Al 及 Al-Mg17Al12 复合涂层的研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2012.
- [26] LUO X T, LI C X, SHANG F L, et al. High velocity impact induced microstructure evolution during deposition of cold spray coatings: A review[J]. *Surface & Coatings Technology*, 2014, 254:11–20.
- [27] SCHMIDT T, GARTNER F, ASSADI H, et al. Development of a generalized parameter window for cold spray deposition [J]. *Acta Materialia*, 2006, 54(3):729–742.
- [28] WU J W, FANG H Y, YOON S, et al. Measurement of particle velocity and characterization of deposition in aluminum alloy kinetic spraying process[J]. *Applied Surface Science*, 2005, 252(5):1368–1377.
- [29] 孟宪明. 冷喷涂制备 304 不锈钢-IF 钢复合钢板及其轧制共变形行为研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2011.
- [30] GOYAL T, WALIA R S, SIDHU T S. Surface roughness optimization of cold-sprayed coatings using taguchi method [J]. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2012, 60:611–623.
- [31] LI Y J, LUO X T, LI C J. Dependency of deposition behavior, microstructure and properties of cold sprayed Cu on morphology and porosity of the powder[J]. *Surface and Coatings Technology*, 2017, 328:304–312.
- [32] CHEN H L, CHU C X, ZHANG X R, et al. Corrosion behavior and microstructure of Cu-based composite coatings deposited by cold spraying[J]. *Metals*, 2022, 12(6):955.
- [33] MARZBANRD B, TOYSERKANI E, JAHED H. Characterization of single- and multilayer cold-spray coating of Zn on AZ31B[J]. *Surface and Coatings Technology*, 2021, 416:127155.
- [34] NESHASTEHRIZ M, SMID I, SEGALL A E, et al. On the bonding mechanism in cold spray of deformable hex-BN-Ni clusters[J]. *Journal of Thermal Spray Technology*, 2016, 25(5):982–991.

## Influence of Spraying Pressure on Single-pass and Single-layer Cold-sprayed Pure Cu Coatings Deposited on Different Substrates

Wang Han, Li Weiwei, Qiu Tianle, Gao Jumin, Xu Feilong, Shao Ling, Xue Na

(Zhejiang Provincial Key Laboratory for Metric & Cutting Tools Test & Deep Processing Technology Research, Taizhou University, Taizhou 318000, China)

**Abstract:** Under different spraying pressures, pure copper particles are deposited on AZ31B magnesium alloy plate and 6061 T6 aluminum alloy plate to form a single layer of pure copper coating. By observing the cross section and microscopic tissue of the coating, measuring the coating thickness with an optical microscope, detecting the surface roughness and morphology of the coating with a three-dimensional profilometer, and measuring the shear strength between the coating and the substrate with a shear strength testing device, the influence of different spraying pressure on the coating thickness, roughness and shear strength is studied. The results show that, the coating thickness increases on both AZ31B magnesium alloy substrate and 6061 T6 aluminum alloy substrate, and the coating thickness on aluminium alloy substrate is higher than the coating thickness on magnesium alloy substrate. The coating surface roughness value also increases gradually with the increase of spraying pressure, but the surface quality of the coating on the aluminium alloy substrate is better compared to the aluminium alloy substrate. In addition, the shear strength between the coating and the substrate also increases gradually with the increase of spraying pressure, accompanied by the combination strength of AZ31B magnesium alloy substrate with pure copper coating is higher than that of 6061 T6 aluminium alloy substrate with pure copper.

**Keywords:** cold spray; pure Cu coating; thickness; surface roughness; shear strength

# 高吸水树脂对混凝土的影响及其调控试验

王睿欣<sup>1</sup>, 于凯圣<sup>1</sup>, 杨可悦<sup>1</sup>, 钟林谚<sup>2</sup>, 林伟<sup>3</sup>, 李能至<sup>1</sup>, 张之骋<sup>1</sup>, 袁骥<sup>1</sup>

(1.台州学院 建筑工程学院, 浙江 台州 318000;

2.台州四强新型建材有限公司, 浙江 台州 318000; 3.天颂建设集团有限公司, 浙江 温岭 317500)

**摘要:**为了研究高吸水树脂对混凝土强度和工作性能的影响,设计4组试验,并分析每组的强度特征和工作性能。结果表明:掺加高吸水树脂的混凝土强度下降了10%~20%;新拌混凝土的坍落度和扩展度随着时间增长而减小,且减小速度较快,30 min坍落度损失达19.1%,60 min坍落度和扩展度损失约47.6%;高吸水树脂的较优掺量为0.3%;微珠能减小混凝土因掺入高吸水树脂而引起的强度和工作性能的损失,在工程上可以与高吸水树脂复掺使用。文中所得研究成果可为实际工程提供一定的参考依据。

**关键词:**高吸水树脂;强度;工作性能

DOI:10.13853/j.cnki.issn.1672-3708.2024.06.004

## 0 引言

目前混凝土养护一般采用覆膜或者养护剂<sup>[1]</sup>,但对于墙体而言,养护膜比较难以安装且工序复杂。养护剂的养护方式是通过喷涂或者涂刷在混凝土表面,形成不透水的封闭薄膜,降低水分蒸发。虽然养护剂在一定程度上能防止水分蒸发,但是它无法补水,涂刷也比较麻烦,有的养护剂还会对混凝土的外观造成不良影响<sup>[2]</sup>。为了解决混凝土开裂问题,目前有一种新型的养护方式,就是采用内养护剂,把内养护剂掺入混凝土中,改善混凝土内部环境,其中,高吸水树脂就是一种理想的内养护剂<sup>[3-5]</sup>。高吸水树脂在搅拌过程中能吸收大量水分,当混凝土硬化后,它可为混凝土内部源源不断地提供水分,促使水泥充分水化。此外,目前混凝土工程出现裂缝很多的现象,这是由于收缩引起的。混凝土中的高吸水树脂在混凝土硬化后可以源源不断释放出水分,缓解混凝土在潮湿、干燥环境中的体积变化,减少混凝土开裂<sup>[6-9]</sup>。内养护剂还有助于减轻混凝土中的钢筋锈蚀,增强耐久性,延长混凝土结构的使用寿命<sup>[10]</sup>。需要注意的是,在工程上应用时,应根据混凝土的用途和设计要求,合理选择高吸水树脂的类型和掺量,因为高吸水树脂的特性有可能随着混凝土配合比的不同而有所变化。目前,高吸水树脂对混凝土强度以及工作性能的影响尚不明确,研究高吸水树脂的掺量对混凝土的强度和工作性能的影响,可为工程应用提供参考依据。本文设计了4组配合比的混凝土试件,并对各组试件的强度和工作性能进行了对比分析,从机理上阐释了高吸水树脂对混凝土性能的影响。

## 1 试验

### 1.1 试验原材料

水泥采用海螺牌 PO42.5;砂子采用混合砂子,其中机制砂占60%,小黄砂占40%,机制砂为中砂,细

收稿日期:2024-07-06

基金项目:2023年台州市第二批工业类科技计划项目(23gyb03)

作者简介:王睿欣(2002—),女,浙江宁海人,2021级土木工程(中外合作办学)本科生;袁骥(通信作者)(1983—),男,湖南新化人,高级工程师,博士,主要从事新材料新结构的研究。

度模数为 2.6, 小黄沙细度模数为 2.2; 石子采用级配碎石, 其中 16~25 mm 的石子占 70%, 5~16 mm 瓜子片石子占 30%; 粉煤灰采用三门电厂的二级粉煤灰; 矿粉采用 S95 级矿粉; 高吸水树脂采用 40 目的高吸水树脂。微珠<sup>[11-12]</sup>采用天津筑成新材料有限公司生产的微珠, 表观密度为 2 520 kg/m<sup>3</sup>, 堆积密度为 760 kg/m<sup>3</sup>; 减水剂采用聚酸减水剂, 固含量为 20%。高吸水树脂及微珠示意图如图 1 所示。

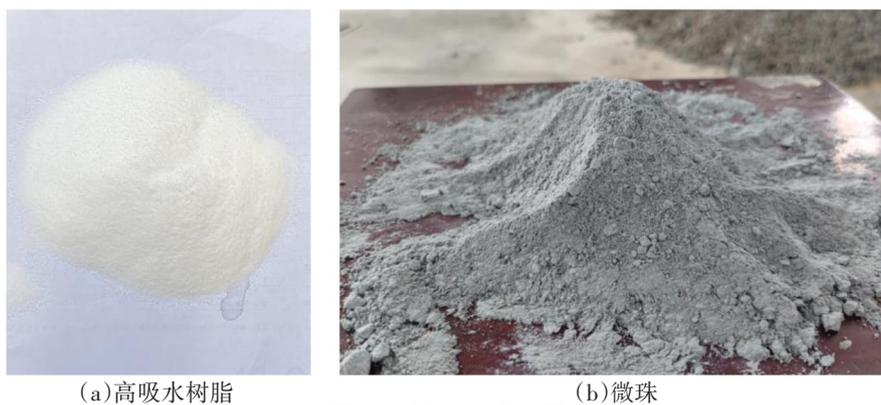


图 1 部分材料示意图

## 1.2 试验配合比设计

本次试验目的是研究高吸水树脂的掺量以及对混凝土强度和工作性能的影响, 共设计了 4 组试件, 其中 1#混凝土为对照组, 不添加高吸水树脂; 2#混凝土添加 0.2% 的高吸水树脂; 3#试件添加 0.3% 的高吸水树脂; 4#试件添加 0.2% 的高吸水树脂, 同时采用微珠取代粉煤灰, 4 组试件的配合比设计如表 1 所示。设计第 4 组的目的是采用微珠来调节混凝土因加入高吸水树脂而损失的强度和工作性能。

表 1 4 组试件的配合比设计

编号	水泥/kg	粉煤灰/kg	微珠/kg	矿粉/kg	膨胀剂/kg	砂/kg	石/kg	减水剂/kg	水/kg	高吸水树脂/kg	备注
1	280	31	0	50	28	730	1065	10	170	0.00	对照组
2	280	31	0	50	28	730	1065	10	170	0.75	树脂 0.2%
3	280	31	0	50	28	730	1065	10	170	1.08	树脂 0.3%
4	280	0	31	50	28	730	1065	10	170	0.75	树脂 0.2%

## 1.3 试件制备

试件制备过程步骤如下:

(1) 按照配合比计算出水泥、粉煤灰、碎石、砂、水、减水剂、高吸水树脂以及额外水的用量, 并且准确称量。

(2) 为了保证高吸水树脂在混凝土中分布均匀, 将原材料按一定的顺序倒入后, 并将干燥的高吸水树脂粉撒入搅拌机内, 干搅 2 min。

(3) 将称好的基础拌和水倒入搅拌机搅拌 2 min, 使高吸水树脂充分吸收拌和水, 然后倒入减水剂与额外水的混合液中继续搅拌 2 min。

(4) 将搅拌好的拌和物一次性加入试模内, 并将试模置于振动台上振动成型, 振动过程中要用抹刀刮去多余拌和物, 反复刮抹直至混凝土表面泛浆为止。

(5) 每组试件成型为 100mm × 100mm × 100mm 试块 6 组, 养护龄期分别为 3 d、7 d 和 28 d, 对比各组混凝土的强度与和易性情况。

(6) 试件按照两种方式养护: ①自然环境暴露(湿度为 30% 左右, 温度为 18 °C 左右); ②恒温恒湿室

(湿度为 95% 左右,温度为 20 °C左右)。

4 组试件制备的新拌混凝土密度如表 2 所示,从表 2 中可知,新拌混凝土密度基本相当,其状态如图 2 所示。

表 2 4 组新拌混凝土密度

组号	密度/(kg/m <sup>3</sup> )
1#	2 400
2#	2 360
3#	2 380
4#	2 390



图 2 新拌混凝土示意图

## 2 结果分析

### 2.1 强度分析

4 组试件养护 28 d 后,在万能试验压力机上测试所得到的强度,结果如表 3 所示,强度对比如图 3 所示。对比第 1 组与第 2、3、4 组试验数据可以发现:在标准养护条件下,第 2、3、4 组的强度比第 1 组低;在室外不浇水养护的情况下,第 2、3、4 组的强度也比第 1 组低。这说明加入高吸水树脂后,由于高吸水树脂会吸水,混凝土拌和时需要额外掺入自来水供高吸水树脂吸收,但是由于高吸水树脂在混凝土内部吸水速度较慢,多余的自来水参与了水化反应,造成实际水胶比增大,使混凝土强度降低;第 4 组混凝土掺入了微珠,但 28 d 强度也比第 1 组的空白对照组低。在标准养护条件下,与第 1 组相比较,第 2、3、4 组混凝土 28 d 强度分别低了 18.1%,13.7%、3.9%;在室外养护条件下,与第 1 组相比较,第 2、3、4 组混凝土 28 d 强度分别低了 10.1%,11.5%、5.3%;高吸水树脂的加入明显降低了混凝土的强度,第 4 组采用微珠代替粉煤灰能在一定程度上减小因为高吸水树脂掺入而损失的强度。

表 3 4 组试件的强度测试值对比

单位:MPa

组号	编号	3 d				7 d				28 d			
		标养		室外		标养		室外		标养		室外	
		测试值	平均值										
1#	①	30.1		22.0		42.3		30.0		63.1		43.2	
	②	28.8	29.6	21.6	21.5	44.5	43.6	31.6	31.2	60.4	61.9	43.8	43.4
	③	29.9		20.9		44.0		32.0		62.2		43.2	
2#	①	24.4		19.2		34.6		25.2		51.2		39.6	
	②	25.8	25.1	18.0	18.4	35.8	35.8	25.8	26.1	50.3	50.7	39.1	39.0
	③	25.1		18.0		37.0		27.3		50.6		38.3	
3#	①	26.5		20.1		35.9		29.3		53.6		38.6	
	②	27.9	27.5	19.4	19.6	36.9	37.0	28.0	28.4	53.6	53.4	38.0	38.4
	③	28.1		19.3		38.2		27.9		53.0		38.6	
4#	①	27.3		20.5		40.3		28.4		58.9		39.9	
	②	27.5	27.9	22.2	21.6	38.6	39.8	28.6	29.1	58.3	59.5	41.4	41.1
	③	28.9		22.1		40.5		30.3		61.3		42.0	

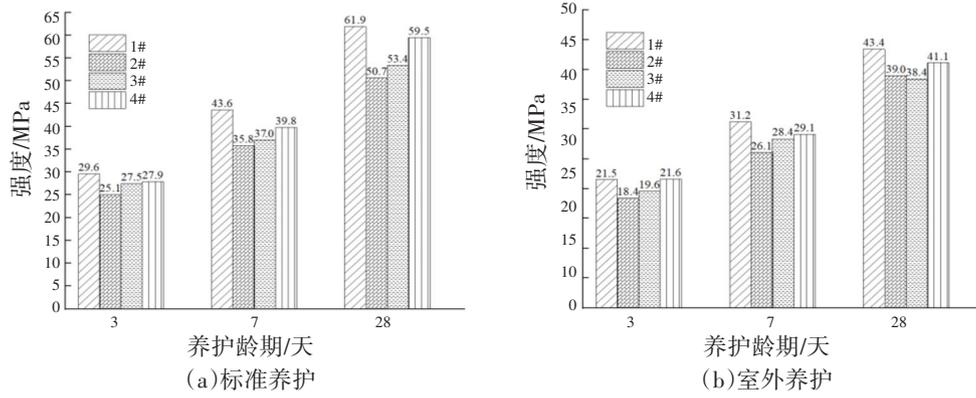


图3 4组试件的强度对照

### 2.2 工作性能分析

工作性能是决定混凝土在浇筑、捣实和抹面时容易程度的性能,本文试验中选择流动性(坍落度和扩展度)作为判断混凝土工作性能的指标。图2为新拌和的混凝土,从图2可知,新拌和的混凝土和易性好,不抓底。本试验分别测试了4组混凝土刚搅拌好以及30 min和60 min后的坍落度及扩展度,测试值如表4所示,坍落度和扩展度的对比如图4所示,坍落度、扩展度随时间的变化关系如图5所示。从图4可知,4#新拌混凝土的坍落度和扩展度最大,这是因为微珠的滚珠效应发挥作用,微珠具有减水效果,它促使混凝土的工作性能得以提升;第2组和第3组在60 min后,坍落度和扩展度都低于第1组,这是因为高吸水树脂具有吸水能力,它从混凝土中吸走了一部分水分,从而降低了混凝土的初期可塑性和工作性能;初始的时候第1组混凝土的坍落度和扩展度略低于第2组和第3组,这是由于测试误差导致。从图5可知,第2组混凝土的坍落度和扩展度随着时间延长损失最大,30 min坍落度损失了19.1%,扩展度损失了5.6%;60 min坍落度损失了47.6%,扩展度损失了53.7%,这说明第2组混凝土不适合长距离输送。第4组混凝土坍落度和扩展度损失较小,微珠弥补了因高吸水树脂加入而导致的混凝土工作性能的损失。从试验结果来看,混凝土中高吸水树脂的较优掺量为0.3%。

表4 4组试件的工作性能测试值对比

单位:mm

组号	初始		30 min		60 min	
	坍落度	扩展度	坍落度	扩展度	坍落度	扩展度
1#	190	490	190	490	185	485
2#	210	540	170	510	110	250
3#	195	610	215	610	180	450
4#	215	630	220	640	210	500

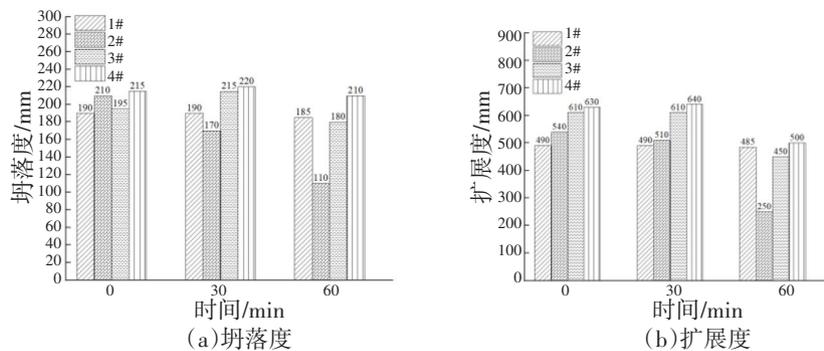


图4 4组试件的坍落度和扩展度对比

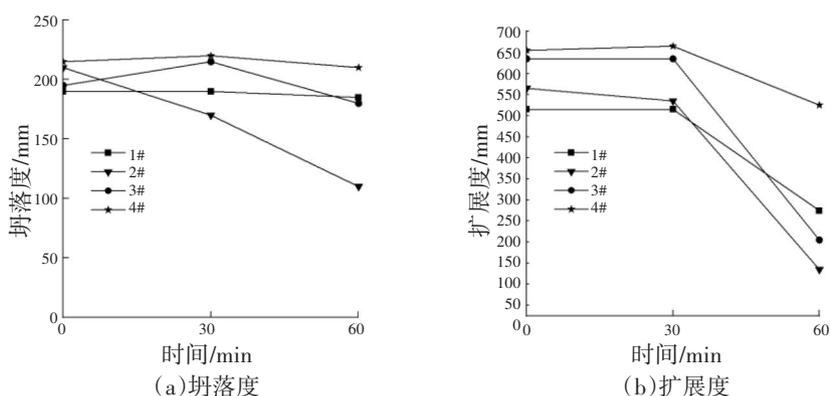


图5 时间对4组试件的坍落度和扩展度的影响

### 2.3 机理分析

高吸水树脂对混凝土强度影响的主要原因集中在以下3个方面:第一,高吸水树脂吸收了混凝土中水分,导致混凝土中水灰比的增加,从而影响了混凝土的强度。第二,高吸水树脂释放的水分可导致混凝土中的孔隙率升高<sup>[13]</sup>。高吸水树脂的存在可能影响混凝土的均质性和内部结构,导致混凝土结构致密性减弱,这可能在一定程度上降低混凝土的整体强度,加入高吸水树脂的混凝土试件被劈开后的示意图如图6所示,从图6可以看见高吸水树脂释水后留下的小孔。第三,高吸水树脂的加入会影响水泥的水化反应,水泥水化是混凝土硬化的关键过程,任何影响水泥水化的因素都有可能影响混凝土的最终强度。



图6 加入高吸水树脂的混凝土试件被劈开后示意图

高吸水树脂影响混凝土工作性能的主要原因是高吸水树脂吸收混凝土中的水分,导致混凝土的流动性降低。高吸水树脂吸收水分后,加快了混凝土的失水速度,导致混凝土表面过早凝固,使得混凝土在浇筑和表面修整时变得更加困难。

在工程中使用高吸水树脂,需要仔细调整混凝土的配合比,以平衡水分吸收和释放的效果,确保混凝土的流动性和工作性能达到所需的标准。

## 3 结语

本文通过在混凝土中加入高吸水树脂,研究高吸水树脂对混凝土的强度和工作性能的影响,得到了以下结论:

- (1)高吸水树脂的加入降低混凝土的强度,掺入高吸水树脂后,强度降低了10%~20%。

(2)高吸水树脂的加入降低了混凝土的工作性能,随着时间的增长,混凝土坍落度和扩展度损失较大,不适合长距离输送。

(3)混凝土中高吸水树脂的较优掺量为 0.3%。

(4)在条件允许的情况下,工程上可以采用微珠来调节混凝土因为高吸水树脂加入而损失的强度工作性能,通过高吸水树脂和微珠的复掺使用来达到工程应用的目的。

#### 参考文献:

- [1]刘雪. 国内外混凝土养护方法比较分析[J]. 黑龙江科技, 2010(31):321.
- [2]李美利,钱觉时,徐姗姗,等. 养护条件对混凝土表面层性能的影响[J]. 建筑材料学报, 2009, 12(6):724-728.
- [3]孔祥明,李启宏. 高吸水性树脂对水泥砂浆体积收缩及力学性能的影响[J]. 硅酸盐学报, 2009, 37(5):855-861.
- [4]高美蓉,秦鸿根,庞超明. 高性能混凝土内养护技术的研究现状[J]. 混凝土与水泥制品, 2009(3):9-13.
- [5]杨海涛,卞洪健,刘娟红. 水泥基材料中 SAP 的吸水、释水和再膨胀行为综述[J]. 材料导报, 2023, 37(4):1-7.
- [6]逢鲁峰. 掺高吸水树脂内养护高性能混凝土的性能和作用机理研究[D]. 北京:中国矿业大学, 2016.
- [7]张珍林. 高吸水树脂对高强混凝土早期减缩效果及机理研究[D]. 北京:清华大学, 2013.
- [8]王发洲,吴文选. 预湿轻集料与高吸水性树脂的内养护效果比较[J]. 武汉理工大学学报, 2010, 14(32):21-25.
- [9]万广培,李化建,黄佳木. 混凝土内养护技术研究进展[J]. 混凝土, 2012(7):51-55.
- [10]范伟丽. 养护条件对混凝土强度及耐久性的影响[J]. 河南水利, 2006, 50(5):34-36.
- [11]袁骥. 基于泡沫颗粒改性的 EPS 混凝土设计制备与性能研究[D]. 北京:北京科技大学, 2022.
- [12]彭文兵,潘冠言,方敏辉,等. 微珠对 EPS 混凝土工作性能和力学性能的影响[J]. 山西建筑, 2023, 49(18):128-130.
- [13]汪首元,闫金萍,李昊,等. 掺加高吸水树脂(SAP)的混凝土孔结构及其耐久性[J]. 公路, 2023(5):295-300.

## Research on High-Absorbency Resin Concrete Based on Mix Proportion Optimization

Wang Ruixin<sup>1</sup>, Yu Kaisheng<sup>1</sup>, Yang Keyue<sup>1</sup>, Zhong Linyan<sup>2</sup>, Lin Wei<sup>3</sup>,

Li Nengzhi<sup>1</sup>, Zhang Zhicheng<sup>1</sup>, Yuan Ji<sup>1</sup>

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Taizhou University, Taizhou 318000, China;

2. Taizhou Four Strong New Building Materials Co. Ltd., Taizhou 318000, China;

3. Tiansong Construction Group Co. Ltd., Wenling 317500, China)

**Abstract:** In order to investigate the influence of high water-absorbent resin on the strength and workability of concrete, four sets of experiments are designed to study its strength characteristics and workability. The results show that the addition of high water-absorbent resin reduces the strength of concrete by 10%~20%. The slump and slump flow of fresh concrete decrease rapidly as time goes on, with a slump loss of 20% at 30 minutes and a slump flow loss of approximately 50% at 60 minutes. The optimal addition amount of high water-absorbent resin is 0.3%. Microspheres can reduce the strength and workability losses caused by the addition of highly absorbent resins in concrete. They can be used in conjunction with highly absorbent resins in engineering applications. The research findings of the study can provide a certain reference basis for practical engineering.

**Keywords:** high-absorbency resin; strength; workability

# 一种基于改进 SSD 的输液器导管涂胶缺陷检测方法

谢骏杰<sup>1a</sup>, 陈瑞源<sup>1b</sup>, 王俊<sup>1a</sup>, 张石清<sup>1a</sup>, 罗坚<sup>2</sup>, 郑龙<sup>2</sup>

(1. 台州学院 a. 电子与信息工程学院; b. 医学院, 浙江 台州 318000;

2. 迈得医疗工业设备股份有限公司, 浙江 玉环 317607)

**摘要:** 在医疗器械的装配过程中, 适量的导管涂胶可以有效避免导管的移位或脱落, 为了确保输液治疗的安全性和稳定性, 对导管涂胶的缺陷检测是医疗器械检测中必不可少的环节。然而现有的导管涂胶技术大多采用自动化控制胶水量的方法实现导管涂胶, 缺少了涂胶缺陷检测的步骤, 仍然存在导管涂胶不规范的隐患。一种基于深度学习的导管涂胶缺陷检测方法可以解决上述问题, 该方法使用单发多框探测器(single shot multibox detector, SSD)目标检测算法实现对导管涂胶的缺陷检测。同时采用深度残差网络 ResNet101 作为特征提取网络, 提高了模型的特征建模能力, 进一步提升了缺陷检测算法的准确性。实验结果表明, 所提方法优于当前主流的缺陷检测算法, 实现了高精度的导管涂胶缺陷检测, 进一步推动了导管涂胶技术的发展。

**关键词:** 导管涂胶; 改进 SSD; ResNet101; 缺陷检测

DOI:10.13853/j.cnki.issn.1672-3708.2024.06.005

## 0 引言

随着医疗器械的发展, 导管被广泛应用于各种医疗器械中, 如尿管、气管、输液器等。导管的使用通常需要使用胶水与其他部件固定, 从而避免器械使用过程中导管的移位或脱落。其中导管涂胶的胶水量是影响导管正常使用的一个关键因素。胶水过多会导致导管堵塞, 胶水过少则会导致导管移位或脱落。现有的导管涂胶技术通常采用自动化方式<sup>[1]</sup>控制输出的胶水量, 然而对于涂胶处的缺陷检测主要依赖人工检测, 这种检测方式耗时耗力, 同时依赖于人的主观判断, 难以实现统一的检测标准。

近年来, 随着人工智能技术的快速发展, 基于深度学习的目标检测方法被广泛应用于缺陷检测领域<sup>[2]</sup>。早期的方法如基于区域的卷积神经网络(region-based convolutional neural network, R-CNN)<sup>[3]</sup>, 快速 R-CNN(Fast R-CNN)<sup>[4]</sup>, 更快的 R-CNN(Faster R-CNN)<sup>[5]</sup>, 掩码 R-CNN(Mask R-CNN)<sup>[6]</sup>等算法在缺陷检测领域表现出了优秀的性能, 但其训练过程繁琐, 且需要较高的时间和空间成本。随后, 只看一次(you only look once, YOLO)<sup>[7]</sup>算法提出了一种回归的方式同时提升了目标检测的速度与精度, 然而其针对小目标的检测效果欠佳。SSD<sup>[8]</sup>算法继承了 YOLO 的回归方式, 并融合 R-CNN 系列算法中的锚框(anchor box)机制, 进一步提升了目标检测的性能。同时, SSD 采用多分辨率特征图预测的方式, 提升了对不同尺寸目标的检测精度。尽管 SSD 在目标检测任务中取得了优异的速度和性能, 但其使用的 VGG<sup>[9]</sup>网络深度不足, 限制了 SSD 算法性能的进一步提升。

本文基于 SSD 设计了一种导管涂胶缺陷检测方法, 实现了高精度的检测结果。同时, 由于直接增加

收稿日期: 2024-07-03

基金项目: 浙江省大学生科技创新活动计划(新苗人才计划)项目(2023R474003)

作者简介: 谢骏杰(2002—), 男, 江西吉安人, 2021级数据科学与大数据技术专业本科生; 张石清(通信作者)(1980—), 男, 湖南衡阳人, 教授, 博士, 主要从事人工智能研究。

VGG 网络的深度容易引发梯度消失现象,导致模型性能下降。采用 ResNet101<sup>[10]</sup>作为特征提取网络,进一步提升 SSD 算法的性能,实现了优于其他检测算法的导管涂胶缺陷检测效果,主要贡献包括以下两个方面:

(1)涂胶缺陷数据集搭建。由于目前尚未有公开的涂胶缺陷数据集,本文通过摄像头采集若干输液器的涂胶图像,并对涂胶端的缺陷进行标注,同时通过对图像进行水平翻转和裁剪等几何变换,增加了涂胶缺陷数据集的样本数量,从而满足训练要求。

(2)基于 SSD 的缺陷检测算法设计。在 SSD 算法的基础上设计了一种导管涂胶缺陷检测框架,该框架可以有效兼容其他目标检测算法。

## 1 相关研究

### 1.1 缺陷检测

缺陷检测作为工业生产和质量控制的关键环节,在保证产品质量,保障消费者安全中起到重要作用。传统的缺陷检测方法,受限于技术手段和检测速度,已经难以满足现代生产中对高精度和高效率的需求。如汽车涂胶检测中,涂胶工艺是确保汽车零部件连接强度和密封性能的关键步骤。涂胶过程中可能出现的漏涂、断胶等缺陷问题,会严重影响汽车零部件的性能和整车的安全性。视觉检查或简单的自动化系统等传统的涂胶缺陷检测方法,往往存在效率低下和视线盲区等问题,其检测效果不佳。随着深度学习技术的引入,基于目标检测的涂胶缺陷检测方法<sup>[11]</sup>显著提升了汽车涂胶缺陷检测的效率和精度。近年来,基于深度学习的缺陷检测被逐渐应用于医疗器械的检测中,如在一次性注射器针头生产过程中出现的倒装、弯钩等缺陷的检测任务中,基于深度学习的方法可以有效避免因工人失误引起的误检漏检<sup>[12]</sup>等情况,显著提高检测准确率。

### 1.2 目标检测算法

目标检测算法致力于从图像或视频中识别并精确定位感兴趣的目标。早期的目标检测算法主要采用滑动窗口的方式实现,通过在图像上的逐个位置滑动一个固定尺寸的窗口,并对每个窗口区域内的图像特征进行提取和分类。该方法结构简单,易于部署,然而其复杂度较高,在处理大规模图像数据时需要消耗大量的计算资源。为了解决计算复杂度高的问题,选择性搜索算法提出了一种新的区域提议技术,通过融合图像中的相邻子区域,高效地生成一系列高质量的候选区域。该算法在保证候选区域质量的同时有效地提高了计算效率。随着深度学习技术的蓬勃发展,目标检测算法取得了显著的进步。Girshick 等提出的 R-CNN<sup>[3]</sup>采用卷积神经网络对候选区域进行特征提取及分类,显著提高了行人、车辆等 80 个类别目标的检测准确率,该方法首次将卷积神经网络引入目标检测方法中,极大推动了深度学习方法在目标检测领域的应用,其后续改进版本 Fast R-CNN<sup>[4]</sup>和 Faster R-CNN<sup>[5]</sup>在特征空间内实现候选区域提议操作,进一步提升了检测算法的效率和性能。近年来,YOLO<sup>[7]</sup>(you only look once)系列算法提出了一种新的单阶段目标检测范式,将复杂的目标检测任务简化为一个回归问题,通过逐像素预测边界框和类别概率,实现了高效、精确的目标检测。随后 YOLOv2、YOLOv3 和 YOLOv4 等后续版本在性能和速度上不断优化,受到了研究人员的广泛关注。此外,Liu 等提出的 SSD<sup>[8]</sup>通过在多个尺度的特征图上进行检测,提升了对不同尺寸目标的检测精度。SSD 融合了单阶段检测的速度优势和多尺度检测的准确性,使得算法在计算效率和检测精度之间取得了很好的平衡。综上所述,本文基于 SSD 设计了一种缺陷检测算法,实现了高效、精确的导管涂胶缺陷检测。

## 2 提出的方法

本文提出的涂胶缺陷检测方法包括数据集介绍和算法设计两部分,其中:数据集介绍部分主要包括数据集构建方法及数据预处理方法;算法设计主要包括 SSD 算法介绍及基于 ResNet101 的算法改进方法。下面分别对两部分内容进行说明。

### 2.1 数据集介绍

#### 2.1.1 数据集构建

由于目前尚未有公开的相关涂胶缺陷检测数据集,本文共采集了 140 张输液器涂胶图像,用于算法的训练及测试。数据集采用 labelImg 工具标注,标注内容包括涂胶部分矩形边界框及类别,类别包含涂胶量正常、涂胶量过少和涂胶量过多 3 种。图 1 显示了不同类别的示例,矩形框表示涂胶部分,其中,图 1(a)和图 1(b)显示了两个涂胶量正常的图像样本,图 1(c)显示了涂胶量过多的图像样本,图 1(d)显示了涂胶量过少的图像样本。数据集按 4:1 的比例划分训练集和测试集,训练集包括 112 张输液器涂胶图像,其中包含 56 张正常涂胶图像,28 张涂胶过少图像及 28 张涂胶过多图像。测试集共计 28 张输液器涂胶图像,其中包含 14 张正常涂胶图像,7 张涂胶过少图像及 7 张涂胶过多图像。测试集与训练集互不重叠,因此可以用于验证涂胶缺陷检测算法的有效性。

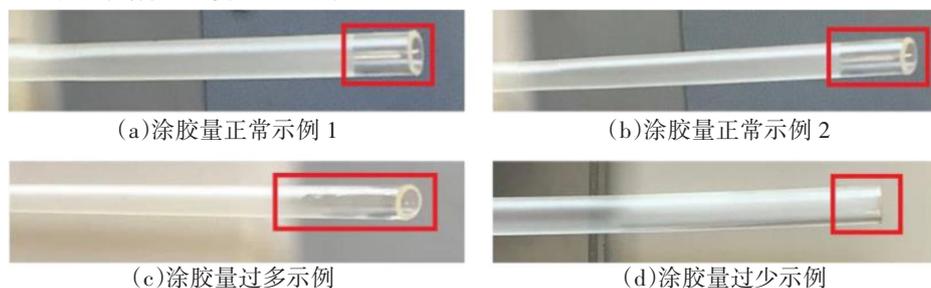


图 1 涂胶缺陷检测数据集示例图

#### 2.1.2 数据集预处理

由于数据集样本量偏少,本文采用旋转、翻转、缩放等 10 种几何变换方式对数据集进行增强,增强后的数据集样本情况如表 1 所示。此外,由于输液器涂胶缺陷与邻域的图像背景纹理相似,直接对原始图像特征提取难度较大,因此对输液导管的涂胶图像进行预处理,提高图像质量。其中预处理包含对比度增强及图像去噪两部分内容,图像对比度增强方法首先分别对涂胶图像的 RGB(红绿蓝)分量做灰度直方图均衡化,再将 3 个图像分量合并得到对比度增强的涂胶图像。图像去噪方法将对对比度增强后的图像通过高斯滤波进行平滑后得到。最后,为保持与 SSD 算法的输入图像尺寸一致,采用对滤波图像进行基于等间隔采样的方式调整图像分辨率,在降低分辨率的同时有效地保留了完整的图像信息。

表 1 涂胶缺陷数据集样本分布情况

类别	训练集/张	测试集/张
正常	560	140
过多	280	70
过少	280	70
总数	1 120	280

### 2.2 基于 SSD 改进的涂胶缺陷检测算法

#### 2.2.1 SSD 算法介绍

SSD 是一种用于目标检测的深度学习算法,其通过单阶段(one-stage)预测同时实现目标框的定位和

分类。相较于传统的两阶段(two-stage)方法,SSD 在不同层卷积神经网络的输出特征进行预测,使模型能够有效地检测不同大小的目标,适应多尺度的目标分布。具体来说,SSD 对于不同分辨率的特征图同时生成多个具有不同尺寸和宽高比的预定义锚框,再并行预测每个预定义锚框的尺寸和类别。该结构可以帮助模型对各种目标形状进行检测。对于每个锚框,SSD 通过卷积层同时预测目标的类别和位置信息。此外,为了解决数据集中目标与背景比例不平衡的问题,SSD 引入了困难样本挖掘(hard negative mining),帮助模型提高对负样本的分类准确度。

### 2.2.2 基于 ResNet101 改进的 SSD 算法

SSD 算法以 VGG 网络(如 VGG-16)作为特征提取网络,VGG-16 网络模型共 16 层,其网络深度不足,难以充分提取导管涂胶特征,从而导致缺陷检测性能不佳。为了获取更鲁棒的导管涂胶特征,本文通过加深网络的方式提升特征网络的建模能力,然而现有方法证明,直接使用相同的层结构堆叠 VGG 的方式容易引起梯度弥散、模型训练过拟合等现象,反而降低了算法性能。因此,本文采用深度残差网络 ResNet101 替代原始 SSD 网络中的 VGG-16 作为算法的特征提取网络。ResNet101 在不同层之间引入了残差块(residual block),帮助网络层通过残差路径直接传递损失,在加深网络的同时,有效地解决了梯度弥散的问题。此外,ResNet101 通过在大规模图像分类数据集(如 ImageNet)上进行预训练,再将其迁移到其他任务上进行微调,在多个计算机视觉任务中取得了出色的表现。

ResNet101 的详细结构如图 2 所示,本文所提出的算法在 ResNet101 的最顶层 Res5c 之后依次添加了 Conv2、Conv3、Conv4、Conv5 以及 Pool6。其中,Conv2、Conv3、Conv4、Conv5 均包含 256 个  $1 \times 1$  的卷积核和 512 个  $3 \times 3$  的卷积核。随后,该算法采用多尺度的目标检测方法,同时对 Res3b3、Res5c、Conv2、Conv3、Conv4、Conv5、Pool6 输出的 7 种不同尺度的特征图预测检测框。其中:低层的特征图包含较多的细节信息,适合用于小目标的检测;高层的特征图有助于平滑分割效果,更适用于大目标的检测。因此,采用多尺度特征图的融合能够帮助网络有效地应对不同尺度的目标检测。具体来说,多尺度特征融合首先将 7 种不同尺度下的特征图检测结果同时经过非极大值抑制,再将输出的预测结果取平均值,从而得到多尺度融合后的检测结果。

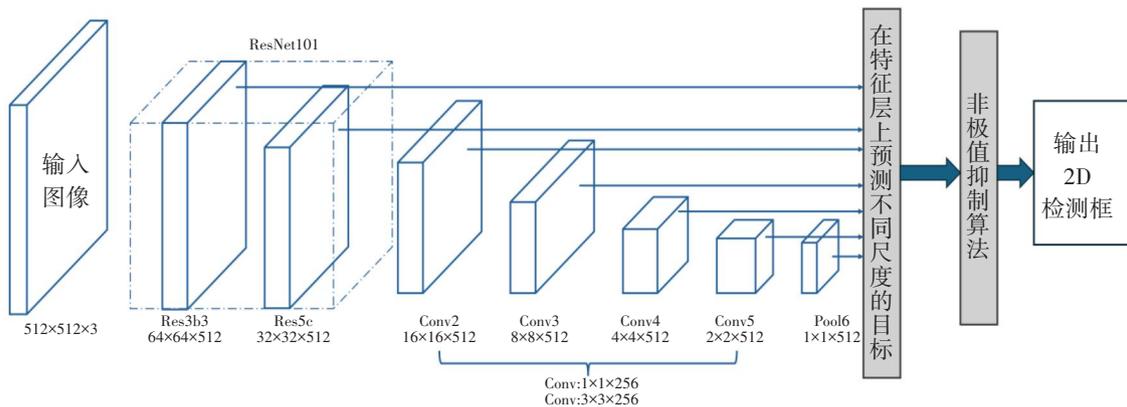


图 2 ResNet101 网络结构图

在模型训练阶段,对于任意一张图像,将其对应的所有有效特征图分别通过候选区域提议方法生成对应的锚框,然后对所有锚框分别进行回归和分类预测。最后,对所有锚框预测的回归结果与标注框采用 Smooth L1 loss 计算回归损失,损失函数为:

$$L_{\text{loc}}(x) = |d_i - t_i|, \quad (1)$$

其中: $d_i$  表示预测的回归结果; $t_i$  表示标注框。对所有锚框预测的分类结果与类别标签采用 softmax loss

计算的分类损失,得到损失函数如下:

$$L_{\text{conf}} = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^C x_{ij} \log(p_{ij}), \quad (2)$$

其中: $N$ 表示锚框的数量; $C$ 表示类别的数量; $p_{ij}$ 表示预测的分类结果; $x_{ij}$ 表示类别标签。最后算法的损失函数由回归损失和分类损失两部分加权得到。训练阶段采用反向传播算法训练模型,使得损失函数的值最小。

## 3 实验与分析

### 3.1 实验环境

本实验采用 ubuntu18.04 操作系统,CPU 型号为 Xeon(R) Silver 4214R,GPU 为 12 GB 显存的 RTX 3080 Ti,使用的深度学习框架为 PyTorch1.8.1,Python 版本为 3.8,Cuda 版本为 Cuda11.1。训练过程中使用 SGD(stochastic gradient descent)进行优化。

### 3.2 性能评估指标

本节内容评估了所设计的涂胶缺陷检测网络模型的检测效果,由于涂胶部分通常呈矩形,因此本文采用交并比(intersection over union,IOU)作为评价指标。文中所提算法计算每个预测框和标注框的最佳杰卡德系数(Jaccard)的公式如下:

$$J(X,Y) = \frac{|X \cap Y|}{|X \cup Y|} \in [0,1], \quad (3)$$

其中: $J(X,Y)$ 表示 Jaccard 指标; $X,Y$ 分别表示预测框与标注框内所有像素的集合。当 Jaccard 指标大于预设阈值时,则该预测框为负样本。算法训练阶段,设置负样本与正样本的比例为 3:1,损失函数  $L$  由分类损失和回归损失两部分加权求和得到,计算公式如下:

$$L = \frac{1}{N} [\beta L_{\text{conf}} + \alpha L_{\text{loc}}(x)]. \quad (4)$$

### 3.3 实验结果分析

#### 3.3.1 模型性能分析

为了验证本文提出的涂胶缺陷检测模型的有效性,使用改进后的模型与 YOLOv5,Faster R-CNN,以及原始的 SSD 模型进行对比,结果如表 2 所示。从表 2 可以发现:相较于其他目标检测算法,本文提出的算法取得了最优的性能,在涂胶检测数据集中测试的平均 IOU(mIOU)为 87.1%。由此可知,本算法在输液器导管涂胶缺陷检测方面优于其他算法。

表 2 不同模型的 IOU 和 mIOU 结果

模型	IOU/%			mIOU/%
	正常	过多	过少	
YOLOv5	87.4	84.3	81.7	84.5
Faster R-CNN	86.7	84.8	80.6	84.0
SSD	85.2	82.1	79.2	82.2
改进的 SSD	90.3	86.7	84.2	87.1

#### 3.3.2 不同特征提取网络的消融实验分析

为了验证 ResNet101 对于算法改进的效果,使用构建好的数据集对 VGG-16、ResNet50 及 ResNet1013 种不同的特征提取网络进行消融实验,结果如表 3 所示。从表 3 可以发现:相较于原始的 VGG-16,使用 ResNet101 作为特征提取网络在缺陷检测结果上取得了显著的提升,其中在 3 个类别的测

试结果上均取得了不同程度的提升,且平均 IOU 提升了 6.0%。

表 3 消融实验结果

模型	IOU/%			mIOU/%
	正常	过多	过少	
VGG-16	85.2	82.1	79.2	82.2
ResNet50	86.4	84.5	83.4	84.8
ResNet101	90.3	86.7	84.2	87.1

### 3.3.3 模型复杂度分析

通过与 Faster-R-CNN、SSD 等模型的参数量及帧率对比,验证了该模型在运行效率上的优势,对比结果如表 4 所示。综合表 3 和表 4 可以发现:相比于直接堆叠网络层数的 SSD 算法,本文提出的缺陷检测算法同时取得了性能和效率的提升。

表 4 模型参数量及速度对比结果

模型	参数量/MB	帧率/(帧/s)
Faster R-CNN	53.73	10.97
SSD	38.76	26.86
改进的 SSD	23.38	30.64

## 4 结语

针对输液器导管涂胶缺陷检测的挑战,本文提出了一种基于深度学习的缺陷检测算法。该算法在传统的 SSD 网络基础上进行改进,采用 ResNet101 作为特征提取网络,显著增强了检测的准确性。该算法实现了对导管涂胶缺陷的自动化检测与智能判断,有效推动了深度学习在输液器导管涂胶缺陷检测领域的应用。这一创新成果不仅可以提高输液器生产装配的效率,同时为医疗器械质量控制提供了新的技术支撑,具有重要的实际应用价值和广阔的发展前景。

### 参考文献:

- [1]迈得医疗工业设备股份有限公司. 一种导管涂胶的控制方法:CN201510642538.7[P].2016-03-02.
- [2]方毅. 基于改进 SSD 的输电线路防振锤缺陷检测[J]. 自动化与仪器仪表,2023(7):227-230.
- [3] GIRSHICK R, DONAHUE J, DARRELL T, et al. Region-based convolutional networks for accurate object detection and segmentation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2016,38(1),142-158.
- [4] GIRSHICK R. Fast R-CNN[C]// Proceedings of the IEEE international conference on computer vision. Boston:IEEE, 2015:1440-1448.
- [5] REN S Q, HE K M, GIRSHICK R B, et al. Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2017,39(6):1137-1149.
- [6] HE K, GKIOXARI G, DOLLÁR P, et al. Mask R-CNN [C]//Proceedings of the IEEE international conference on computer vision. Venice:IEEE,2017:2961-2969.
- [7] REDMON J, DIVVALA K S, GIRSHICK R B, et al. You only look once: Unified, Real-Time object detection [C]// Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Las Vegas:IEEE,2016:779-788.
- [8] LIU W, ANGUELOV D, ERHAN D, et al. Ssd: Single shot multibox detector [C]//Computer Vision - ECCV 2016: 14th european conference. Amsterdam:Springer International Publishing,2016:21-37.
- [9] HE K, ZHANG X, REN S, et al. Deep residual learning for image recognition [C]//Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Las Vegas:IEEE,2016:770-778.
- [10] DING X H, ZHANG X Y, MA N N, et al. RepVGG: Making VGG-style convnets great again [C]//Proceedings of the

IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition.[S. l.]:IEEE,2021:13733-13742.

[11]朱立忠,李肖静,李文欣.基于Faster-RCNN的汽车涂胶缺陷检测[J].沈阳理工大学学报,2021,40(3):29-34.

[12]张宝愿.基于HALCON的注射器针头缺陷检测系统研究[D].西安:西安工业大学,2021.

## A Method for Detecting Adhesive Defects of Infusion Catheter Based on Improved SSD

Xie Junjie<sup>1a</sup>, Chen Ruiyuan<sup>1b</sup>, Wang Jun<sup>1a</sup>, Zhang Shiqing<sup>1a</sup>, Luo Jian<sup>2</sup>, Zheng Long<sup>2</sup>

(1. a. School of Electronics and Information Engineering; b. School of Medicine, Taizhou University, Taizhou 318000, China;

2. Maider Medical Industry Equipment Co., Ltd., Yuhuan 317607, China)

**Abstract:**In the assembly process of medical devices, applying an appropriate amount of catheter glue can effectively avoid the displacement or detachment of the catheter. To ensure the safety and stability of infusion treatment, the defect detection of catheter glue is an indispensable part of medical device testing. However, most of the existing catheter gluing technologies use automated control of the amount of glue to realize the catheter gluing, lacking the steps of gluing defect detection, and there are still hidden dangers of non-standard catheter gluing. In order to solve the above problems, this paper proposes a deep learning-based catheter coating defect detection, which uses SSD (Single Shot MultiBox Detector) object detection algorithm to achieve the defect detection of catheter coating. At the same time, ResNet101 is used as the feature extraction network, which improves the feature modeling ability of the model and further improves the accuracy of the defect detection algorithm. The experimental results show that the method proposed is superior to the current mainstream defect detection algorithms, achieving high precision defect detection of catheter coating, which further promotes the development of catheter coating technology.

**Keywords:**duct coating; improved SSD; ResNet101; defect detection

---

(上接第13页)

## Trend Prediction of Tennis Matches

Chen Jiahui, Wang Congrong, Jiang Hongtao, Li Shaowei

(School of Electronics and Information Engineering, Taizhou University, Taizhou 318000, China)

**Abstract:**Taking the match data of 2023 Wimbledon Tennis Championship as an example, the factor analysis and logistic regression method have been employed to describe the change of players' "state" and predict the trend of the match. Firstly, 9 evaluation indexes are determined, of which 4 ones are extracted as common factors by principal component analysis to realize the visualization of players' "state". Secondly, the randomness of the game is tested by the run test method, and the "state" of the players determines the trend of the game. Finally, Spearman correlation analysis is carried out on the "key points" data set, and stepwise elimination regression analysis is used to build a model to predict the trend of the game.

**Keywords:**factor analysis; run test; correlation test; regression model

# 基于无趣项挖掘的双视图去流行度偏差推荐

彭仕鑫, 张力生

(重庆邮电大学 软件工程学院, 重庆 400065)

**摘要:**流行度偏差是推荐系统中普遍存在的问题,它导致流行项目被过度推荐,而非流行项目则被忽视。现有对于流行度偏差去偏的研究主要通过推荐结果进行重排序,或者在训练过程中融合正则化,以提升非流行项目的曝光率,但是数据稀疏和不区分用户对流行项目和非流行项目的偏好成为进一步研究的阻碍。针对此问题提出的基于无趣项挖掘的双视图流行度偏差去偏推荐方法,主要解决两个问题:(1)通过挖掘无趣项缓解数据稀疏和用户选择偏差对推荐结果的影响;(2)通过双视图学习提升非流行项目曝光率,同时兼顾不同用户对流行和非流行项目的偏好。为了验证方法的有效性,在3个公开数据集上进行了分析与对比,实验结果表明,此方法在提升非准确率性能的同时,能有效缓解流行度偏差。

**关键词:**推荐系统;流行度偏差;无趣项;双视图学习

DOI:10.13853/j.cnki.issn.1672-3708.2024.06.006

## 0 引言

在推荐系统中用户的关注度有限导致更容易点击平台展示的项目<sup>[1]</sup>,而平台展示的项目通常是比较流行的,导致收集到的数据存在不平衡现象,即非流行项目的交互数据稀疏。而使用这种用户对流行项目交互多、对不流行项目交互少的数据集去训练推荐模型,会使得流行的项目被更加频繁地推荐,因而变得更加流行,从而导致流行度偏差进一步放大,使得流行的项目被优先推荐。这种流行的项目被过度推荐,而用户可能感兴趣的不太流行的项目被推荐不足的现象称为流行度偏差。流行度偏差的存在会使推荐系统产生马太效应,即流行的项目被推荐的频率越来越高,而非流行的项目被推荐的频率会变得越来越低。因此对于去流行度偏差的研究非常有必要。

为了减少流行度偏差的影响,Mansoury等<sup>[2]</sup>、Abdollahpouri等<sup>[3]</sup>从推荐项目中选择曝光率低但是相关性高的来生成非流行项目比例较高的推荐列表;Yang等<sup>[4]</sup>通过降低流行项目在模型训练过程中的权重来缓解流行度偏差;Liu等<sup>[5]</sup>使用无偏差的统一数据来指导模型学习无偏嵌入,迫使模型丢弃项目流行度,进而排除其对推荐结果的影响;张帅等<sup>[6]</sup>提出基于自监督学习的去流行度偏差推荐方法。然而,现有的研究没有同时考虑非流行项目交互数据稀疏,以及从用户和项目两个角度看待流行度偏差问题。因为非流行项目的交互数据稀疏是进一步扩大流行度偏差影响的根本原因,并且不同的用户对非流行项目的偏好度是不同的,如果不加区分地一味提高非流行项目在推荐列表中的比例,会影响用户的体验。

为了应对上述问题,本文提出基于无趣项挖掘的双视图学习的去流行度偏差推荐方法(de-popularity bias based on uninteresting item mining and dual-view learning, UIM-DVL),该方法通过填充缺失负样本解决了非流行项目交互稀疏的问题,并在提高非流行项目在推荐列表中比例的同时,兼顾用户对非流行项目的不同偏好度,主要贡献包括以下3个方面:

收稿日期:2024-06-30

作者简介:彭仕鑫(1998—),男,四川宜宾人,硕士研究生;张力生(1965—),男,四川宜宾人,教授,主要从事软件建模及形式化和数据挖掘研究。

(1)设计无趣项挖掘模块。考虑用户活跃度、活跃期间的项目流行度以及时间因素对用户不感兴趣的项目进行挖掘。通过挖掘无趣项可以增强表征用户的负面偏好,更加准确地采样负样本。

(2)提出双视图学习模块。可以将项目划分为两个不同的视图,然后在不同的视图下学习用户的兴趣。该模块使用的负样本是从无趣项中的流行项目中采样,可以在训练过程中将用户不感兴趣的流行项目排除在更远的潜在空间之外。

(3)设计实验。在3个公开数据集上与现有流行度偏差的去偏模型进行对比,实验从对基尼系数、精确度和归一化折损累计增益指标的评估,验证了提出方法的有效性。

## 1 相关工作

流行度偏差是推荐系统中一个常见的问题,即推荐系统倾向于向用户推荐训练数据集中流行的项目<sup>[7]</sup>。然而,流行的项目更有可能被用户从其他渠道熟知,所以推荐非流行项目对用户来说更加有意义,并且可以避免流行项目对市场的垄断,增加推荐的惊喜性、多样性和新颖性。

现在已经有许多方法可分析和减轻推荐系统中的流行度偏差。第一类研究基于逆倾向加权,核心思想是重新加权训练损失中的交互。例如:Lee等<sup>[7]</sup>提出的BISER方法通过自逆倾向加权的方式去除暴露偏差来缓解流行度偏差;Zhu等<sup>[8]</sup>提出考虑用户偏好的流行度补偿去偏方法,分别对损失函数和预测评分进行流行度补偿,使得低流行度的项目有排列在推荐列表较前位置的可能。但是,逆倾向加权的方法忽略了流行度是如何影响每个交互的,因此第二类研究通过排名的调整来解决流行度偏差。例如:Abdollahpouri等<sup>[3,9]</sup>提出一种提高长尾项目排名的基于正则化的方法和一种重新排序的方法;Patro等<sup>[10]</sup>为了增加非流行项目曝光的机会,同时考虑用户满意度和非流行项目的曝光率,经过重排推荐结果得到最终的推荐结果。这类方法需要在推荐准确性和非流行项目覆盖率之间权衡。若是单纯将推荐推向长尾,很可能会带来精度的大幅下降。第三类研究是通过寻找流行度偏差的因果关系来解决的。例如,Zheng等<sup>[11]</sup>提出的差异影响消除-因果熵最小化(DICE)去偏框架是一个学习用户兴趣表示和从众性表示的因果推断解纠缠去偏处理框架,通过考虑将用户兴趣和从众性解纠缠来探究用户与项目产生的交互究竟是代表用户的兴趣还是由于从众性产生的;Zhang等<sup>[12]</sup>通过因果推断的方法将模型训练中有害的混杂流行度偏差消除,将推荐分数调整为期望的流行度偏差;Wei等<sup>[13]</sup>从因果角度看待流行度偏差,提出“如果模型只是用项目属性,最终的排名分是多少”的反事实假设,并通过反事实推理来消除流行度偏差的影响。

尽管推荐系统中现有的流行度偏差研究已经相对完善,但上述算法中大多通过将推荐推向长尾项目来实现去偏,没有同时考虑非流行项目数据的稀疏对推荐产生的影响,以及用户对流行项目的偏好程度。

## 2 问题分析

### 2.1 非流行项目的交互数据稀疏

本文的项目流行度是指与项目产生交互的用户数,按照项目流行度降序排序,可以从MovieLens 1M数据集的项目流行度分布呈现看出比较明显的长尾分布,如图1所示,在其他数据集中也可以看到相同的现象。本文根据Himan等<sup>[14]</sup>的工作来划分流行项目和非流行项目,即将流行度在前20%的项目定义为流行项目,其余项目定义为非流行项目,并根据划分结果统计流行项目和非流行项目在交互数据集中出现的频数,得出如表1所示的统计结果。

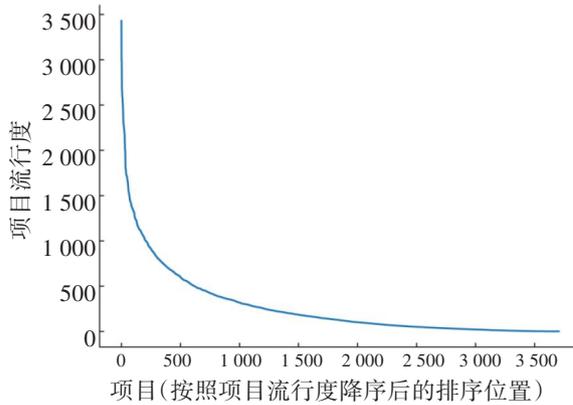


图1 MovieLens 1M 数据集项目流行度分布

表1 MovieLens 1M 数据集中流行项目和非流行项目的分布

项目类别	项目数	数据集中出现的频数
流行项目	741	651 777
非流行项目	2 965	348 432
总数	3 706	1 000 209

根据统计结果可以看出,流行项目的交互数占比约为 65%,而非流行项目的交互数占比约为 35%,所以在数据集中流行项目和非流行项目之间的分布是不均匀的,非流行项目的交互数据相对较稀疏,因此,在推荐系统的数据集中就存在比较严重的流行度偏差。

### 2.2 推荐系统中存在的流行度偏差

通过在 MovieLens 1M 数据集上使用基于贝叶斯个性化排序的矩阵分解算法(matrix factorization-bayesian personalized ranking, MF-BPR)<sup>[15]</sup>和最先进的轻量级图卷积协同过滤推荐算法(LightGCN)<sup>[16]</sup>,同时统计两种算法推荐结果中不同流行度的项目被推荐的次数,得到如图 2 所示的结果。从图 2 可以看出,在两种算法的推荐结果中都表现出少数流行度高的项目被推荐的频率都比较高,而大多数流行度低的项目推荐频次较低,表明两种算法都偏向于推荐流行的项目,这表明 MF-BPR 算法存在比较严重的流行度偏差。

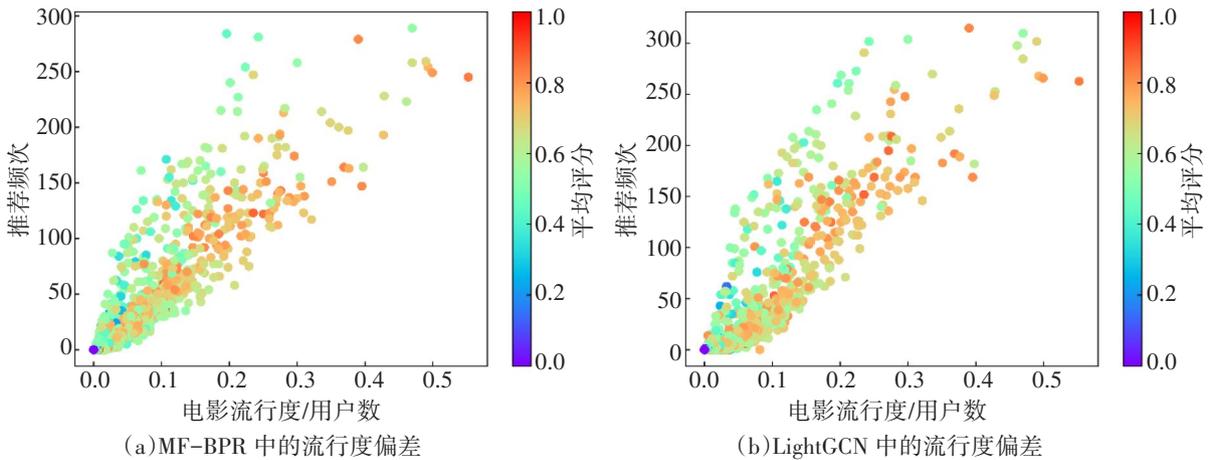


图2 两种推荐算法的推荐结果中不同流行度的项目被推荐的次数

## 3 方法

### 3.1 算法总体流程

为了缓解流行度偏差问题,本文提出一种基于无趣项挖掘的双视图去流行度偏差的项目推荐方法 UIM-DVL。该方法主要分为两部分:第一部分是无趣项挖掘。通过挖掘用户不感兴趣的项目,可以更好地表征用户的负面偏好。综合考虑用户的活跃程度、项目的受欢迎程度和时间因素,利用加权矩阵分解技术,从用户未评分数据中挖掘出用户不感兴趣的项目,即识别出这些项目为无趣项。第二部分是双视图学

习。在识别出用户的无趣项之后,为了将与用户不匹配的流行项目推到潜在空间更远的地方,将无趣项中的流行项目作为负样本,使其不出现在用户的推荐列表之中。为了更准确地捕捉用户兴趣,并将流行项目对非流行项目的潜在干扰降至最低,并将项目分为两个视图:流行项目视图和非流行项目视图。然后,在这两个视图上分别进行学习,从而独立地揭示用户在每个视图上的兴趣偏好,避免了在学习用户表征时流行项目对非流行项目的影响。通过两个模块的处理可以得出一个不受负样本表征不足和流行度偏差影响的推荐,从而实现通过将用户不感兴趣的流行项目作为负样本进行流行度偏差的去偏。

### 3.2 无趣项挖掘

基于历史交互数据对使用前偏好矩阵进行加权矩阵分解,进而实现无趣项挖掘,也就是“用户看见但是没有交互”的项目是否完全表现出用户对其已没有兴趣了。无趣项挖掘的整体流程如图3所示。

为了更加准确地挖掘用户不感兴趣的项目,由于不同活跃度的用户可以接触的项目范围存在差异,因此,在构建加权矩阵分解使用的权重矩阵时,除了考虑项目流行度之外,还需要考虑用户的活跃程度。此外,项目的流行度是随时间演变的,因此,本文不再使用全局的项目流行度,而是使用用户活跃期的项目流行度。综上所述,文中加权矩阵分解使用的权重矩阵是基于用户的活跃度和用户活跃期的项目流行度共同构建的,这为缺失项的预测提供了一个非均匀的加权方案。

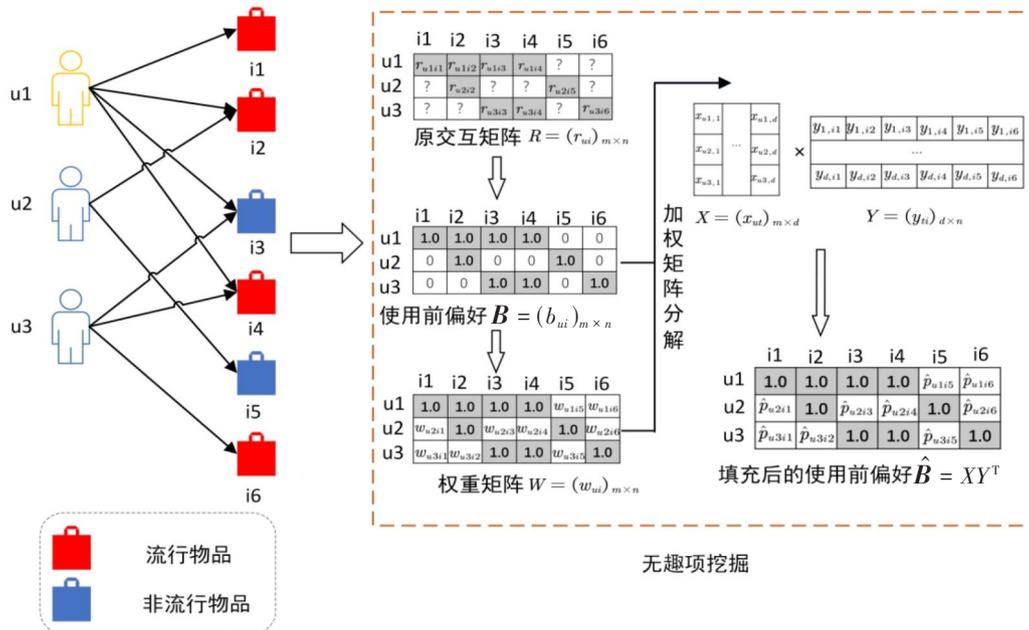


图3 无趣项挖掘流程

#### 3.2.1 初始使用前偏好矩阵

根据原交互矩阵  $R = (r_{ui})_{m \times n}$  来构建初始使用前偏好矩阵  $B = (b_{ui})_{m \times n}$ ,其中  $m$  为用户的总数量;  $n$  为项目的总数量;  $r_{ui}$  表示用户  $u$  对项目  $i$  的评分或者产生的交互。在本文中,将有过交互的项目视为正样本,并将其使用前偏好设置为 1;所有缺失项视为负样本,使用前偏好设置为 0,即

$$b_{ui} = \begin{cases} 0, & r_{ui} = \text{null} \\ 1, & r_{ui} = \text{value} \end{cases} \quad (1)$$

#### 3.2.2 构建加权矩阵

上面已经讨论了得出的缺失项并不都是负样本,因此,本文基于原交互矩阵  $R = (r_{ui})_{m \times n}$  构建一个权重矩阵  $W = (w_{ui})_{m \times n}$ ,其中  $w_{ui} \in [0,1]$ 。对于有交互的项目将做特殊处理,设置其权重  $w_{ui} = 1$ ,表示其一定不会是负样本;对于缺失项,其权重将代表项目  $i$  对于用户  $u$  来说是负样本的置信度,权重越高,被视为

负样本的置信度越高。

在前面已经分析了构建权重矩阵需要使用用户活跃期的项目流行度(popularity degree, PD)和用户活跃度(activity degree, AD),其中:AD以 $A_u$ 定义,作为该用户的交互项目数量,即 $A_u = \sum_{i=1}^n a_{ui}$ ,如果 $r_{ui} = \text{null}$ ,则 $a_{ui} = 0$ ,否则 $a_{ui} = 1$ ;定义用户 $u$ 与项目 $i$ 的交互时间为 $t_{ui}$ ,用户活跃期为 $[t_{\min}, t_{\max}]$ , $t_{\min}$ 表示用户最早交互的时间, $t_{\max}$ 表示用户最后交互的时间, $t_{ui} \in [t_{\min}, t_{\max}]$ ;PD以 $D_i$ 定义,作为在该时间段内项目被交互的次数,即 $D_i = \sum_{u=1}^m d_{ui}$ ,如果 $r_{ui} = \text{null}$ ,则 $d_{ui} = 0$ ,否则 $d_{ui} = 1$ 。为了降低极少数高度活跃用户或极其流行的项目可能带来的偏差,本文采用对数函数对用户的活跃度和项目的流行度进行平滑处理。经过平滑处理之后,再对这些值进行最大值归一化,以确保它们在整体分布中的影响可以得到适当的控制,具体算法如下:

$$\hat{A} = \frac{\log(A_u + 1)}{\max(\log A + 1)}, \quad (2)$$

$$\hat{D} = \frac{\log(D_i + 1)}{\max(\log D + 1)}. \quad (3)$$

最终的权重矩阵 $W_{ui}$ 是通过将 $\hat{D}$ 和 $\hat{A}$ 进行线性加权得到的,即

$$W_{ui} = \begin{cases} 1, & b_{ui} \neq \text{null}, \\ \varepsilon \hat{A}_u + (1 - \varepsilon) \hat{D}_i, & b_{ui} = \text{null}, \end{cases} \quad (4)$$

其中, $\varepsilon$ 是权重参数,取值为 $[0,1]$ 。

### 3.2.3 计算使用前偏好

将初始使用前偏好矩阵 $B$ 和已经构建的权重矩阵 $W$ 进行加权矩阵分解。通过加权矩阵分解将矩阵 $B$ 分解为两个低秩矩阵 $X$ 和 $Y$ ,其中, $X \in R^{k \times m}$ 和 $Y \in R^{k \times n}$ 分别表示用户和项目的隐因子矩阵,而 $k$ 表示所选取的特征数量。在加权矩阵分解中,采用了与原始矩阵分解算法相同的损失函数,定义目标函数:

$$J = \sum_{u=1}^m \sum_{i=1}^n w(\text{pre}_{ui} - \hat{r}_{ui})^2 + \lambda \left( \sum_{u=1}^m \|x_u\|^2 + \sum_{i=1}^n \|y_i\|^2 \right), \quad (5)$$

其中:向量 $x_u$ 和 $y_i$ 分别代表矩阵 $X$ 的第 $u$ 行和矩阵 $Y$ 的第 $i$ 行,对应于用户 $u$ 和项目 $i$ 的隐因子向量; $\hat{r}_{ui} = x_u y_i^T$ ;  $\lambda$ 为正则化参数,用于控制模型的复杂度,防止过拟合;通过计算 $\hat{B} = XY^T$ 得到初始使用前偏好矩阵 $B$ 的近似矩阵 $\hat{B}$ 。在矩阵 $\hat{B}$ 中,每个元素 $\hat{b}_{ui}$ 代表用户对项目的使用前偏好程度。 $b_{ui} \in [0,1]$ ,这个值越接近1,表明用户在看到该项目时产生交互的可能性越高,从而反映了用户的使用前偏好。

### 3.2.4 无趣项挖掘

根据计算出的关于缺失项的使用前偏好,识别出用户不感兴趣的项目,定义为无趣项。为了控制被识别为无趣项的比例,本文通过设计一个阈值 $\alpha$ ,对每个用户未观看且使用前偏好最低的 $\alpha\%$ 部分的项目识别为用户的无趣项。 $\alpha$ 这个参数非常敏感,如果设置得太高,可能会错误地将用户实际感兴趣的项目识别为无趣项;相反,如果设置得太低,则无法充分利用无趣项带来的优势。通过在识别的无趣项中进行负采样,可以避免将无趣项错误地推荐给用户,有效缓解历史交互数据中缺乏表征明确的负样本的问题,达到增强负样本数据的效果。

本文提出的无趣项挖掘的数据增强方法,结合了用户活跃期间项目的流行度和用户的活跃度。因此,该方法在一定程度上可以缓解流行项目和非流行项目之间分布的差异和负样本不足的问题。

## 3.3 双视图学习

根据 Zheng 等<sup>[11]</sup>的研究,用户的交互行为受到两个主要的因素影响:用户自身对项目的兴趣 $P_{\text{interest}}$

以及项目本身的流行度  $P_{\text{popularity}}$ 。这意味着用户选择交互某个项目的行为  $P_{\text{watch}}$  并不仅取决于该用户对项目的兴趣  $P_{\text{interest}}$ , 其也会受到项目的流行度  $P_{\text{popularity}}$  的影响, 形式化后的公式如下:

$$P_{\text{watch}} = P_{\text{interest}} + P_{\text{popularity}} \quad (6)$$

对于一些流行度高的项目, 用户可能实际并不感兴趣(即  $P_{\text{interest}}$  值比较小), 但因为这些项目的流行度  $P_{\text{popularity}}$  很高, 导致这些项目仍然被频繁地推荐给用户, 从而增加了被点击的概率。当使用贝叶斯个性化排序(bayesian personalized ranking, BPR)优化时, 如果不对用户兴趣  $P_{\text{interest}}$  和项目流行度  $P_{\text{popularity}}$  进行区分处理, 流行度  $P_{\text{popularity}}$  的影响就可能干扰到对用户兴趣  $P_{\text{interest}}$  的学习, 导致无法准确捕捉到用户的真实兴趣, 需要采取一定的措施来减少项目流行度的干扰。

为了在学习用户和项目的隐式表征时避免流行项目对非流行项目的干扰, 本文参考张帅等<sup>[6]</sup>提出的减轻流行度偏差的自监督学习模型(SSLAB)的主任务部分, 构建如图4所示的双视图学习推荐模块, 使用经过无趣项挖掘并从识别的无趣项中进行负采样得到的新交互数据来学习这些隐式表征。通过将项目划分为流行项目和非流行项目两个不同的视图, 并在两个视图下分别学习用户的兴趣, 可以有效地隔离并识别用户的真实兴趣, 从而避免项目流行度的影响。

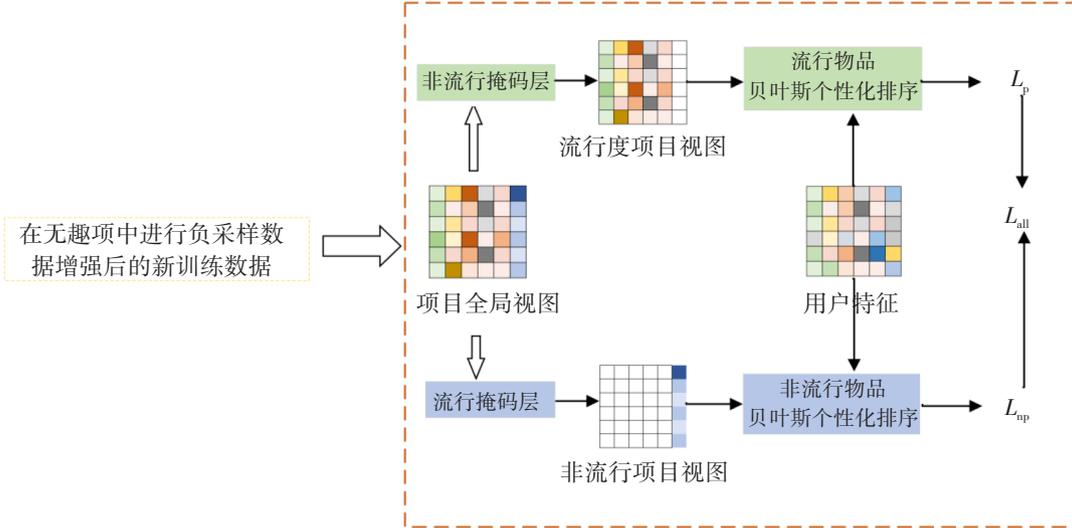


图4 双视图学习推荐

最终, 将项目按照流行度分为流行项目视图和非流行项目视图, 分别构建 BPR 优化目标, 然后综合两个目标, 得到最终的损失函数:

$$L = - \sum_{(u, i, j) \in D_p} \log \sigma(\hat{R}_{ui} - \hat{R}_{uj}) - \sum_{(u, i, j) \in D_{np}} \log \sigma(\hat{R}_{ui} - \hat{R}_{uj}) = - \sum_{(u, i, j) \in D_p} \log \sigma(X_u^T Y_i - X_u^T Y_j) - \sum_{(u, i, j) \in D_{np}} \log \sigma(X_u^T Y_i - X_u^T Y_j) + \lambda(\|X\|^2 + \|Y\|^2), \quad (7)$$

其中: 集合  $D_p$  代表的是正样本  $i$  与负样本  $j$  均为流行项目的训练集; 集合  $D_{np}$  则代表正样本  $i$  和负样本  $j$  都是非流行项目的训练集;  $X_u$  和  $Y_i$  分别代表用户  $u$  和项目  $i$  通过隐因子模型得到的隐式表征;  $\lambda$  为控制模型复杂度的正则化系数。

## 4 实验

实验将在几个推荐系统研究中常用的数据集上验证方法的有效性, 以及对涉及的超参数进行分析。实验主要分为两个部分: 第一部分在经典的 MF-BPR 模型<sup>[15]</sup>上验证我们方法中去流行度偏差的有效性;

第二部分是超参数分析,阐述超参数对推荐性能的影响。实验将回答以下两个问题:

问题 1:UIM-DVL 方法与其他方法对比,可以在保持相关性的同时实现更好的用户体验吗?

问题 2:方法中的超参数对推荐的性能有什么影响?

## 4.1 实验设计

### 4.1.1 数据集

本文使用 MovieLens 100K(ML-100K)、MovieLens 1M(ML-1M)和 Douban\_Movie(Douban)这 3 个公开的项目数据集进行实验,这 3 个数据集都是不均匀数据集,如图 1 和图 5 所示。从两图中可以发现:少部分项目占据了大量交互,而大部分项目的交互很少,即数据集中存在较强的流行度偏差。将数据集中交互数少于 5 的用户去除后的统计数据如表 2 所示,可以看出数据集比较稀疏,由此得出这几个数据集满足实验条件。将数据集根据用户分层和时间先后切分,选择前 80% 作为训练集,后 20% 作为测试集。

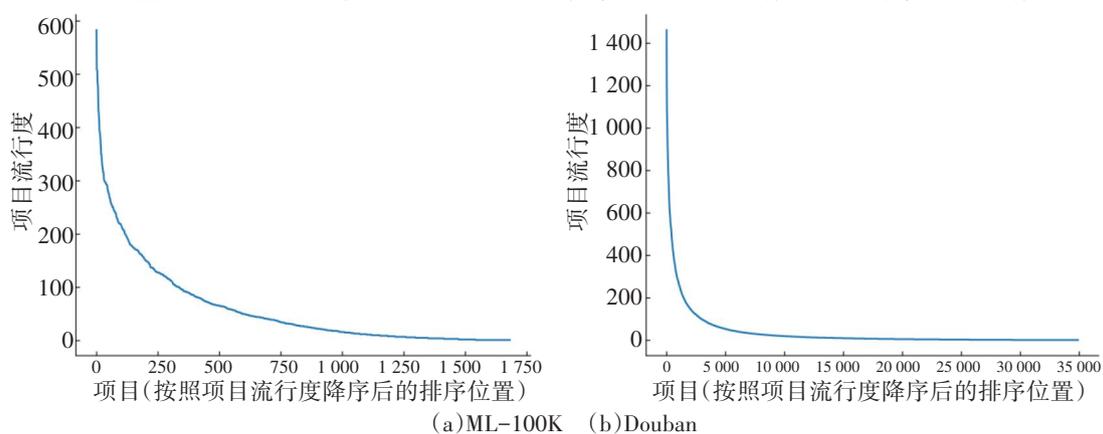


图 5 数据集中的项目流行度分布

表 2 数据集统计

数据集	ML-100K	ML-1M	Douban
用户数	943	6 040	1 888
项目数	1 682	3 706	95 737
交互数	100 000	1 000 209	226 537
稀疏度/%	93.7	95.53	99.87
时间跨度	1997-09-20 至 1998-04-22	2000-04-25 至 2003-02-28	2005-07-12 至 2018-08-02

### 4.1.2 评估指标

为了观察推荐算法的性能,实验中将采用精确率(Precision)、召回率(Recall)、基尼系数(Gini)和归一化折损累计增益(NDCG)4 种评价指标对推荐算法进行评估。精确率是用来衡量推荐结果中存在用户喜欢的项目的比例,比例越高,精确率越高,创造的收益也越高;召回率衡量了推荐系统能够识别和推荐用户可能感兴趣的项目的能力;基尼系数可以用来衡量系统中存在的流行度偏差;归一化折损累计增益是一种衡量排序质量的指标。

## 4.2 实验结果与分析

使用 MF-BPR<sup>[15]</sup>作为基础模型,对比最流行(Most-Pop)、随机(Random)、与模型无关的反事实推理(MACR)<sup>[13]</sup>、流行度偏差去混淆与调整(PDA)<sup>[12]</sup>、DICE<sup>[11]</sup>、SSLAB<sup>[6]</sup>模型,以及本文提出的 UIM-DVL 方法,分别在 ML-100K、ML-1M 和 Douban 3 个公开的项目数据集上进行实验,用精确率(Precision)、召回率(Recall)、基尼系数(Gini)以及归一化折损累计增益(NDCG)对其进行性能的评估,实验结果如表 3 所

示。结果表明,在保持较好的相关性的基础上,UIM-DVL方法在所有数据集上都实现了较好的去偏效果。

表3 在基准模型为MF-BPR上的实验结果对比

数据集	方法	Top 10				Top 50			
		Precision	Recall	Gini	NDCG	Precision	Recall	Gini	NDCG
ML-100K	Most-Pop	0.084 6	0.051 4	0.987 4	0.091 6	0.068 0	0.198 5	0.954 2	0.137 3
	Random	0.016 0	0.008 1	0.243 2	0.018 4	0.013 7	0.034 1	0.116 7	0.025 0
	MF-BPR	0.154 0	0.116 4	0.836 1	0.182 6	0.103 4	0.361 3	0.750 8	0.252 0
	MACR	0.137 3	0.106 7	0.837 3	0.163 4	0.097 2	0.340 6	0.760 2	0.234 1
	PDA	0.159 8	0.116 2	0.877 8	0.192 7	0.106 0	0.360 0	0.786 8	0.256 8
	DICE	0.126 6	0.097 9	0.813 1	0.153 7	0.092 0	0.320 8	0.723 1	0.221 5
	SSLAB	0.085 2	0.061 4	0.784 8	0.102 6	0.065 3	0.2 25 9	0.225 9	0.150 5
	UIM-DVL	0.156 7	0.113 8	0.802 3	0.183 4	0.103 0	0.3 57 9	0.720 1	0.247 8
ML-1M	Most-Pop	0.099 6	0.036 9	0.994 1	0.108 2	0.075 3	0.144 3	0.978 6	0.125 4
	Random	0.009 3	0.002 7	0.144 0	0.009 3	0.009 7	0.013 6	0.069 4	0.012 8
	MF-BPR	0.107 5	0.062 4	0.762 2	0.120 1	0.084 4	0.219 6	0.717 7	0.165 3
	MACR	0.090 0	0.052 9	0.650 1	0.098 0	0.078 6	0.202 8	0.673 1	0.147 7
	PDA	0.114 7	0.069 9	0.871 6	0.129 9	0.088 4	0.234 8	0.780 2	0.177 2
	DICE	0.090 6	0.050 9	0.738 3	0.100 4	0.071 8	0.179 3	0.692 5	0.137 2
	SSLAB	0.057 8	0.033 8	0.683 9	0.064 4	0.046 4	0.119 0	0.622 7	0.089 9
	UIM-DVL	0.105 4	0.058 9	0.746 7	0.117 8	0.082 1	0.211 7	0.697 9	0.164 8
Douban	Most-Pop	0.017 2	0.020 8	0.999 9	0.027 8	0.008 4	0.048 9	0.144 5	0.030 9
	Random	0.000 1	0.000 1	0.821 8	0.000 1	0.000 2	0.000 3	0.077 9	0.000 2
	MF-BPR	0.009 3	0.013 6	0.987 8	0.015 0	0.006 9	0.040 3	0.121 7	0.022 5
	MACR	0.007 7	0.009 9	0.990 9	0.024 9	0.007 0	0.042 9	0.115 8	0.032 4
	PDA	0.013 2	0.017 6	0.999 3	0.020 6	0.008 8	0.050 4	0.142 7	0.028 2
	DICE	0.007 9	0.014 8	0.988 7	0.013 8	0.006 2	0.041 8	0.121 3	0.021 8
	SSLAB	0.007 6	0.011 5	0.963 7	0.011 8	0.004 0	0.026 7	0.114 2	0.015 0
	UIM-DVL	0.009 1	0.012 4	0.964 7	0.014 2	0.006 1	0.038 9	0.113 4	0.022 1

(1)在所有方法中,Most-Pop方法的基尼系数都是最高的,并且精确率和召回率相对较低,即在推荐列表中流行项目的比例较高,使得用户对流行项目和非流行项目的偏好程度严重偏离,并且造成相关性降低,最终的推荐失去个性化;而Random方法的基尼系数最低,相关性也比较低,即在推荐列表中流行项目和非流行项目相对较均衡,但是由于是随机推荐,导致没有考虑用户的偏好程度,使得最终的相关性较低。

(2)在几种对比方法中,基于自监督学习的SSLAB方法虽然可以较大程度缓解流行度偏差,但是精确率下降较大,这是因为SSLAB方法通过在训练的同时解决数据集中非流行项目的数据稀疏问题,这使得输入模型的数据不可避免地携带着一些固有偏差,并且在训练时将流行项目和非流行项目分别训练,导致给用户推荐的项目中容易产生带有固有偏差的非流行项目,即给用户推荐了不感兴趣的非流行项目,导致推荐结果的精确率较低。

(3)UIM-DVL方法在大多数情况下,其基尼系数比采用因果推理方法表现更优,但不如基于自监督学习的SSLAB方法。和SSLAB方法相比,UIM-DVL方法有着更好地精确率和召回率,这是因为UIM-DVL方法是对负样本采样进行了优化,在采样的过程中更好地表征用户不感兴趣的项目,以此将其排除

在给用户最终的推荐列表之外;而 SSLAB 方法对于训练数据的处理只考虑了用户对流行项目和非流行项目拥有不同的偏好,却没有考虑到训练数据中本身就带有偏差,将这种带有偏差的数据输入到推荐模型中训练,得到的模型在一定程度上就不可避免地带有偏差。UIM-DVL 方法在实现了较高精确率和召回率的情况下,得到了较好的去流行度偏差性能。

综上所述,本文提出的 UIM-DVL 方法可以以较小的精确率损失为代价,实现较优的去偏性能,即 UIM-DVL 方法与其他方法相比,可以在保持相关性的同时获得更好的用户体验,回答了问题 1。

### 4.3 超参数分析

为了更好地评估去偏效果,这里使用用户流行度偏好一致性来展示去偏结果。以  $\Delta G$  来计算不同用户组推荐列表中平均流行度的变化,在本文没有对用户进行分组,因此组别设置为 1。当  $\Delta G$  大于 0 时,说明推荐算法放大了流行度偏差,具体计算公式如下:

$$G_p = \frac{\sum_{i \in R_u} \varphi(i)}{|R_u|}, \quad (8)$$

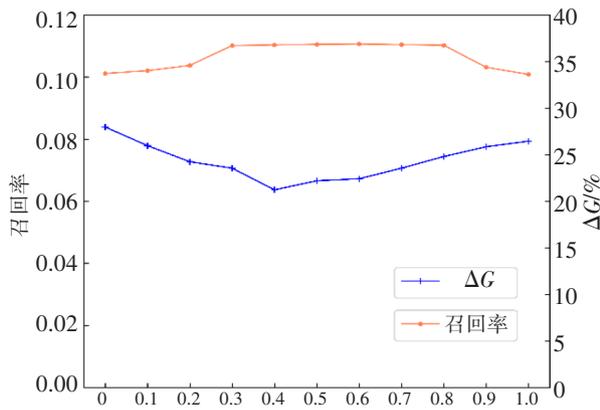
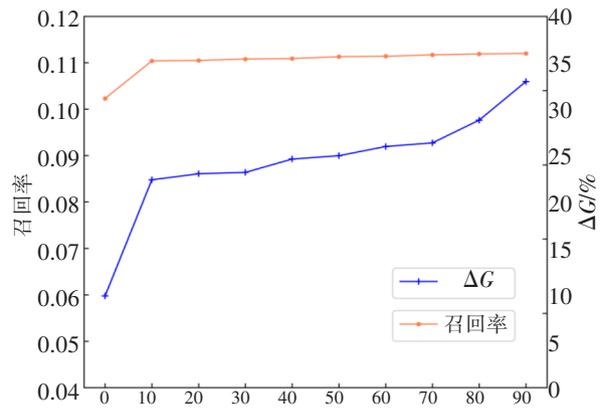
$$G_r = \frac{\sum_{i \in \hat{R}_u} \varphi(i)}{|\hat{R}_u|}, \quad (9)$$

$$\Delta G = \frac{G_r - G_p}{G_p}, \quad (10)$$

其中: $\varphi(i)$  表示项目  $i$  的流行度; $R_u$  表示用户  $u$  的交互记录; $\hat{R}_u$  表示用户  $u$  的推荐列表; $G_p$  和  $G_r$  分别表示用户交互历史中和用户推荐列表中的平均流行度。

对于 UIM-DVL 方法来说,有两个超参数需要进行敏感性分析,即参数  $\varepsilon$  和参数  $\alpha$ 。参数  $\varepsilon$  是用户活跃度和项目流行度的权重系数,取值范围为 0~1,设置增量为 0.1,观察其在 Recall@10 和  $\Delta G$ @10 的推荐性能和去偏性能,实验结果如图 6 所示。由图 6 可以看出,随着权重系数  $\varepsilon$  的增加,推荐性能先上升再下降,在  $\varepsilon = 0.4$  左右时达到最佳,之后逐渐下降。结果表明:对缺失数据进行加权时,同时使用用户活跃度和项目流行度比使用单一的用户活跃度和项目流行度能获得更好的性能。相对来说,用户活跃度发挥更重要的作用,在  $\varepsilon$  值较大时,即用户活跃度的权重更大时,推荐效果更好的同时也能获得较好的去偏性能。从结果中也能分析出,使用单一的用户活跃度( $\varepsilon = 1.0$ )比使用单一的项目流行度( $\varepsilon = 0$ )的效果更好。

参数  $\alpha$  是控制被识别为无趣项的个数,取值范围是 0~90,设置增量为 10,然后观察其在 Recall@10 和  $\Delta G$ @10 的推荐性能和去偏性能,实验结果如图 7 所示。由图 7 可以看出,随着参数  $\alpha$  的增加,推荐性能总体上升。结果表明: $\alpha$  在达到 10 之后,召回率随着  $\alpha$  的增加而平稳提高。产生这种趋势的原因是  $\alpha$  在达到 10 以后已经填充了足够的负样本,缓解了训练数据中缺乏对应负样本的问题。随着  $\alpha$  的增加,会进一步将无趣项从推荐中排除,有利于提高推荐性能。但是去偏性能在  $\alpha$  达到 70 之后出现较大趋势的下降,可能的原因是排除的无趣项中非流行项目太多,导致最终的推荐又倾向于流行项目。

图6 参数  $\epsilon$  分析图7 参数  $\alpha$  分析

## 5 结语

本文针对推荐系统中存在的流行度偏差现象,提出基于无趣项挖掘的双视图去流行度偏差推荐方法(UIM-DVL)。提出的去偏方法主要包括两部分:第一部分是根据用户活跃度和用户活跃期的项目流行度构建权重矩阵,进而实现用户无趣项的挖掘,通过挖掘用户的无趣项缓解历史交互数据缺乏负样本的问题;第二部分分别从流行项目和非流行项目两个不同的视图中捕获用户的真实兴趣。

通过在3个真实数据集上与几个最先进的去流行度偏差方法进行对比,还进行了敏感参数的分析并选取最优的超参数,结果表明:本文提出的UIM-DVL方法在保持推荐相关性的同时,可以实现较好的去偏效果,进而提升用户的体验。虽然本文使用局部项目流行度代替了全局流行度,但是仍然无法完全体现出项目流行度具有动态性这一特性。因此,下一步的工作将引入动态项目流行度来解决流行度偏差的问题。

### 参考文献:

- [1] ZHU Z, HE Y, ZHAO X, et al. Popularity bias in dynamic recommendation[C]//Proceedings of the 27th ACM sigkdd conference on knowledge discovery & data mining. New York: Association for Computing Machinery, 2021:2439-2449.
- [2] MANSOURY M, ABDOLLAHPOURI H, PECHENIZKIY M, et al. A graph-based approach for mitigating multi-sided exposure bias in recommender systems[J]. ACM Transactions on Information Systems(TOIS), 2021, 40(2):1-31.
- [3] ABDOLLAHPOURI H, BURKE R, MOBASHER B. Managing popularity bias in recommender systems with personalized re-ranking[J]. arXiv:1901.07555, 2019, 4:1-6.
- [4] YANG L, CUI Y, XUAN Y, et al. Unbiased offline recommender evaluation for missing-not-at-random implicit feedback[C]//Proceedings of the 12th ACM conference on recommender systems. New York: Association for Computing Machinery, 2018:279-287.
- [5] LIU D, CHENG P, DONG Z, et al. A general knowledge distillation framework for counterfactual recommendation via uniform data[C]//Proceedings of the 43rd International ACM sigir conference on research and development in Information Retrieval. New York: Association for Computing Machinery, 2020:831-840.
- [6] 张帅, 高旻, 文俊浩, 等. 基于自监督学习的去流行度偏差推荐方法[J]. 电子学报, 2022, 50(10):2361.
- [7] LEE J, PARK S. Bilateral self-unbiased learning from biased implicit feedback[C]//Proceedings of the 45th International ACM sigir conference on research and development in information retrieval. New York: Association for Computing Machinery, 2022:29-39.
- [8] ZHU Z, HE Y, ZHAO X, et al. Popularity-opportunity bias in collaborative filtering[C]//Proceedings of the 14th ACM international conference on web search and data mining. New York: Association for Computing Machinery, 2021:85-93.

- [9] ABDOLLAHOPOURI H, BURKE R, MOBASHER B. Controlling popularity bias in learning-to-rank recommendation [C]// Proceedings of the eleventh ACM conference on recommender systems. New York: Association for Computing Machinery, 2017: 42–46.
- [10] PATRO G K, BISWAS A, GANGULY N, et al. Fairrec: Two-sided fairness for personalized recommendations in two-sided platforms [C]// Proceedings of the web conference 2020. New York: Association for Computing Machinery, 2020: 1194–1204.
- [11] ZHENG Y, GAO C, LI X, et al. Disentangling user interest and conformity for recommendation with causal embedding [C]// Proceedings of the web conference 2021. New York: Association for Computing Machinery, 2021: 2980–2991.
- [12] ZHANG Y, FENG F, HE X, et al. Causal intervention for leveraging popularity bias in recommendation [C]// Proceedings of the 44th international ACM sigir conference on research and development in information retrieval. New York: Association for Computing Machinery, 2021: 11–20.
- [13] WEI T, FENG F, CHEN J, et al. Model-agnostic counterfactual reasoning for eliminating popularity bias in recommender system [C]// Proceedings of the 27th ACM SIGKDD conference on knowledge discovery & data mining. New York: Association for Computing Machinery, 2021: 1791–1800.
- [14] HIMAN A, MASOUD M, ROBIN B, et al. The unfairness of popularity bias in recommendation [C]// Proceedings of the workshop on recommendation in multi-stakeholder environments co-located with the 13th ACM conference on recommender systems. New York: Association for Computing Machinery, 2019.
- [15] RENDLE S, FREUDENTHALER C, GANTNER Z, et al. BPR: Bayesian personalized ranking from implicit feedback [J]. arXiv:1205.2618, 2012.
- [16] HE X, DENG K, WANG X, et al. LightGCN: simplifying and powering graph convolution network for recommendation [C]// Proceedings of the 43rd international ACM SIGIR conference on research and development in information retrieval. New York: Association for Computing Machinery, 2020: 639–648.

## A Dual-view De-popularity Bias Recommendation Method Based on Uninteresting Item Mining

Peng Shixin, Zhang Lisheng

(School of Software Engineer, Chongqing University of Posts and Telecommunication, Chongqing 400065, China)

**Abstract:** Popularity bias is a common problem in recommender systems, which causes popular items to be over-recommended and non-popular items to be ignored. The existing research on popularity bias debiasing mainly improves the exposure of non-popular items by reordering the recommendation results or integrating regularization in the training process, but data sparseness and indistinguishability of users' preferences for popular items and non-popular items have become obstacles to further research. Aiming at this problem, a two-view popularity bias debiasing method is proposed based on uninteresting item mining, which mainly solves two problems: (1) Mitigate the impact of data sparsity and user selection bias on recommendation results by mining uninteresting items; (2) Dual-view learning is used to ensure that the exposure of non-popular items is improved while taking into account the preferences of different users for popular and non-popular items. In order to verify the effectiveness of the method, analysis and comparison are carried out on three public datasets. The experimental results show that the proposed method can effectively alleviate the popularity deviation while improving the non-accuracy performance.

**Keywords:** recommendation system; popularity bias; uninteresting item; dual-view learning

# 基于改进 YOLOv5 的交通标志检测与识别

刘昕宇, 薛波, 林梦成

(江苏理工学院 机械工程学院, 江苏 常州 213001)

**摘要:**针对无人驾驶时识别不同道路环境下小型交通标志准确率低、检测速度慢的问题,提出一种基于改进 YOLOv5 的目标识别算法。为了减小模型体积,提高模型推理速度,该算法用 Ghost 模块替换原有的网络架构,在特征融合阶段结合通道注意力机制,以帮助模型更好地聚焦于图像中的关键信息。为了增强对小目标的特征提取能力,对原 C3 模块进行改进,引入滑动窗口模块(Swin Transformer Block, STB),并采用中国交通标志数据集 TT100K 进行对比验证。结果表明:文中提出的方法识别准确率为 92.6%,比原始 YOLOv5 算法提升了 0.7%;平均准确率均值达到 93.5%,比 YOLOv5 算法提高了 2.5%。

**关键词:**交通标志识别;目标检测;注意力机制

DOI:10.13853/j.cnki.issn.1672-3708.2024.06.007

## 0 引言

无人驾驶是一种自动驾驶技术,它可使车辆在没有人类驾驶员的情况下自行操作<sup>[1]</sup>。无人驾驶技术是通过使用各种感知技术,如雷达、激光雷达、摄像头和 GPS 等,对周围环境进行扫描和分析的一项技术,它为交通运输带来重大的改变和创新,如降低交通事故风险、优化交通等,因此无人驾驶技术受到越来越多的关注。无人驾驶中的重要问题是对交通场景的检测,交通标志检测是其中的重点问题。交通标志<sup>[2]</sup>是在道路上为驾驶员和行人提供指示和提示的符号、标志和图形,它可以帮助驾驶员规范交通行为,保障道路交通运营的安全、条理和高效。因此,交通标志的识别对于无人驾驶汽车能够更好地适应不同的道路和交通环境至关重要。

目前对交通标志检测有基于区域的卷积神经网络<sup>[3]</sup>(region with CNN features, R-CNN),单发多框探测器<sup>[4]</sup>(single shot multibox detector, SSD)<sup>[4]</sup>、只看一次(you only look once, YOLO)等模型,与 R-CNN 和 SSD 模型相比,YOLOv5 模型利用自适应锚框计算和多语义融合检测机制,能使复杂的高低层的语义信息快速融合。卢俊哲等<sup>[5]</sup>改进了 YOLOv5 注意力机制和网络架构等方面,提高了模型的检测性能和效率。杨祥等<sup>[6]</sup>通过增加一个小目标检测头改进 YOLOv5,引入增强交并比损失函数(enhanced intersection over union, EIou)来替换完全交并比(complete intersection over union, CIou),从而解决漏检、误检问题。Wali 等<sup>[7]</sup>对交通标志的检测、跟踪和分类进行了全面综述,对在各种复杂和挑战性的环境中进行交通标志检测的策略原理和步骤进行总结归纳。李娇等<sup>[8]</sup>在 YOLOv5 模型的浅层特征图层增加 1 次 concat 操作,将浅层特征信息结合中间特征图层作为一个检测头,有利于提高小目标交通标志的识别率,但没有解决交通标志漏检的问题。

收稿日期:2024-07-03

基金项目:国家自然科学基金项目(62003151);江苏省基础研究计划项目(BK20191035)

作者简介:刘昕宇(1999—),女,江苏徐州人,硕士研究生;薛波(通信作者)(1982—),男,江苏徐州人,副教授,博士,主要从事统计信号处理与机器学习等研究工作。

为了提高对小目标的识别精度,通常会采取引入注意力机制、更换激活函数和损失函数等策略,然而这些改进往往会增加网络模型的复杂性。截至目前,还没有针对交通标志检测的小目标深度学习算法应用于无人驾驶领域。因此,在无人驾驶交通标志检测领域,实现高效高精度的轻量化设计仍然是一个待解决的关键问题。本文结合现有主流检测算法 YOLOv5,提出一种针对识别小目标的检测算法,以期实现对交通标志的快速、高精度检测。

## 1 YOLOv5 模型简介

YOLO<sup>[9]</sup>的问世,开创了单阶段目标检测的先河。YOLOv3<sup>[10]</sup>被用作另一组经典检测算法来优化 YOLO 算法损失函数,简化了网络模型,并再次显著提高了可检测性,比 RetinaNet 算法模块检测快 3.8 倍<sup>[11]</sup>。随后,研究人员进一步优化了 YOLO 系列算法,发布了 YOLOv4<sup>[12]</sup>、YOLOv5<sup>[13]</sup>算法,并不断优化和更新。YOLOv5 网络模型如图 1 所示。

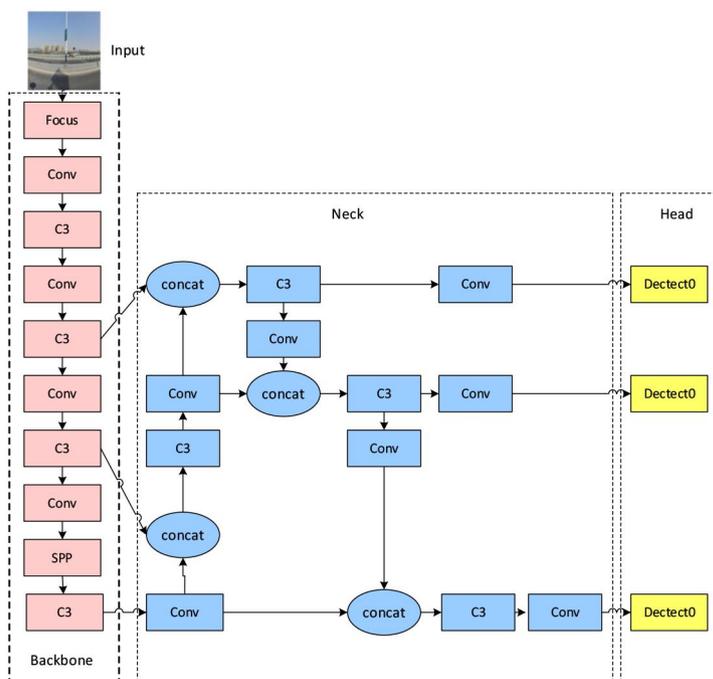


图 1 YOLOv5 网络结构

YOLOv5 网络结构输入部分使用的处理方式有自适应锚框计算、图片预处理和 Mosaic 数据增强<sup>[14]</sup>等。YOLOv5 的骨干网络包括切片结构(Focus)、空间金字塔池化结构(SPP)等模块。在颈部网络采用 FPN+PAN 结构,延续了 YOLOv4 的优点,但是 YOLOv4 的普通卷积在网络特征融合方面有些不足,因此 YOLOv5 采用了跨阶段局部(CSP)结构。在输出阶段采用了广义交并比损失(GIoU Loss)<sup>[15]</sup>作为目标边界框回归的损失函数,该函数在目标检测任务中表现出良好的性能。

## 2 YOLOv5 网络结构的改进

本文选择 YOLOv5 算法作为基础网络,采用 Ghost 模块替换原有的网络架构,减小了模型体积,提高了训练速度;在 Backbone 特征融合阶段加入注意力机制,增强了对小目标的特征提取能力;对原 C3 模块进行改进,引入 STB 模块。改进后的 YOLOv5 网络结构如图 2 所示。

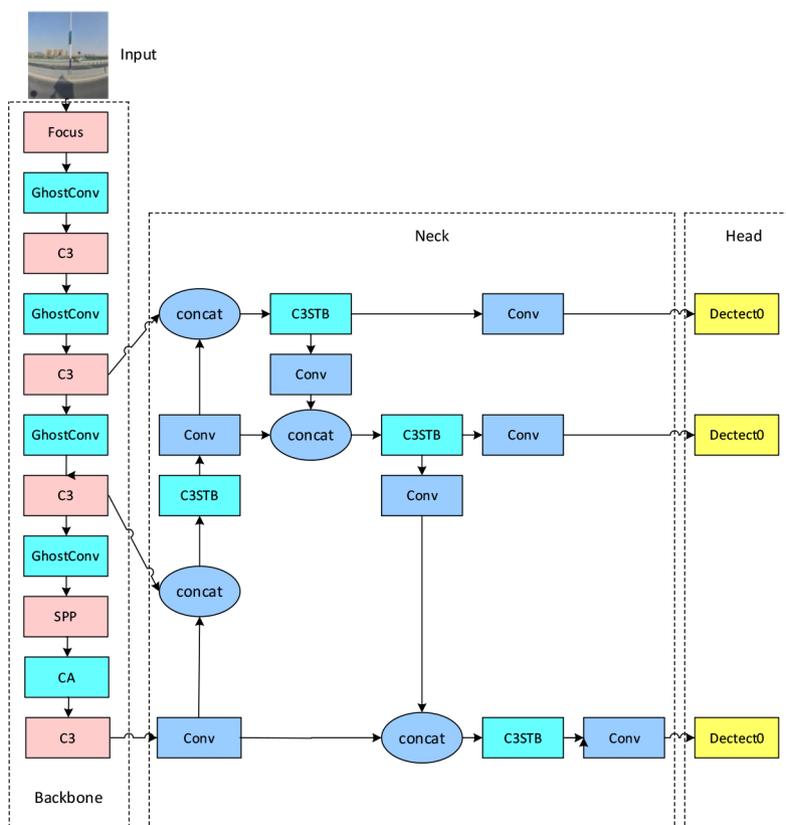


图2 改进后的YOLOv5网络结构

### 2.1 Ghost 模块

使用 Ghost 模块替换 YOLOv5 骨干网络中的 Conv 模块, Ghost 模块原理如图 3 所示。第一个普通卷积用来降低通道数量,减少网络参数量;第二个卷积是采用深度可分离卷积中的深度卷积;然后将两个卷积进行拼接操作。

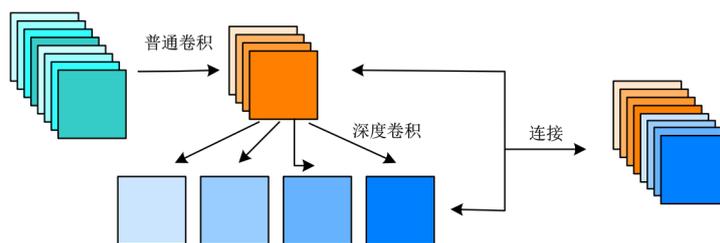


图3 Ghost 网络结构

Ghost 模块可以有效地减少参数量,对于一个  $N$  通道的输入向量,先经过  $\frac{M}{2}$  个  $(1 \times 1 \times N)$  的普通卷积核,再经过  $\frac{M}{2}$  个  $(3 \times 3 \times \frac{M}{2})$  的普通卷积核,计算量为

$$a = \frac{NM}{2} + \frac{9M^2}{4} \quad (1)$$

如果经过一个 Ghost 模块完成相同的工作,需要的参数量为

$$b = \frac{NM}{2} + \frac{9M}{4} \quad (2)$$

在 Ghost 模块运行时,因为输入通道和输出通道数相同,即  $N = M$ ,所以得到的比值如下:

$$\frac{b}{a} = \frac{2N + 9}{2N + 9M} = \frac{2}{11} + \frac{9}{11N} \quad (3)$$

当输入向量通道数很大时,两种方法的卷积方式参数量的比值为 0.18,减少了计算量,进而减小了整个模型的计算复杂度。

## 2.2 引入 CA 注意力机制模块

注意力机制有多种类型,包括通道注意<sup>[16]</sup>、空间注意<sup>[17]</sup>和混合注意<sup>[18]</sup>等。Hou 等<sup>[19]</sup>的研究成果表明:虽然注意力机制可以使模型性能得到提升,但易丢失位置数据;而注意力机制(channel attention, CA)可以捕获不同的空间方向的跨通道信息和位置信息,CA 模块的流程如图 4 所示。

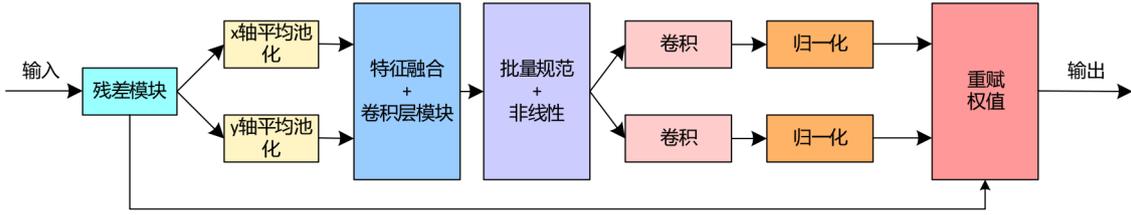


图 4 CA 模块结构图

首先,输入一个特征图,该特征图维度为  $c \times h \times w$ ,从高度和宽度方向进行全局信息提取,得到两个一维特征编码向量,计算公式如下:

$$z_c^h(h) = \frac{1}{W} \sum_{0 \leq i \leq w} x_c(h, i), \quad (4)$$

$$z_c^w(w) = \frac{1}{H} \sum_{0 \leq i \leq h} x_c(i, w) \quad (5)$$

随后,对上述带有高度和宽度方向信息的向量进行拼接,计算公式如下:

$$f = \delta \left( F_1 \left( \left[ z^h, z^w \right] \right) \right) \quad (6)$$

以  $f^h$  与  $f^w$  分别代表在横向(水平)和纵向(垂直)方向空间信息的中间特征映射,  $\sigma$  表示 Sigmoid 激活函数;最终,采用恰当的缩减比进行权重分配,并扩展出两个向量:

$$g^h = \sigma \left( F_h \left( f^h \right) \right), \quad (7)$$

$$g^w = \sigma \left( F_w \left( f^w \right) \right) \quad (8)$$

将  $g^h$  和  $g^w$  分别作为注意力权重,得到具有高度和宽度方向注意力权重的特征式如下:

$$y_c(i, j) = x_c(i, j) \times g_c^h(i) \times g_c^w(i) \quad (9)$$

在主干的末端添加 CA 注意力机制(如图 5 所示),可以使算法的检测精度达到最高。

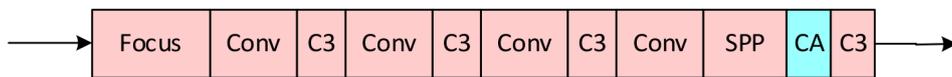


图 5 CA 添加的位置

## 2.3 C3 模块的改进

优化后的骨干网络模型降低了计算负载和模型尺寸,但可能会对准确性产生一些影响。为了解决这个问题,在 C3 模块中引入 STB 模块<sup>[20]</sup>(如图 6 所示),将其整合为 C3STB 模块。这种改进增强了目标的特征表示能力,并提高了模型的泛化能力。

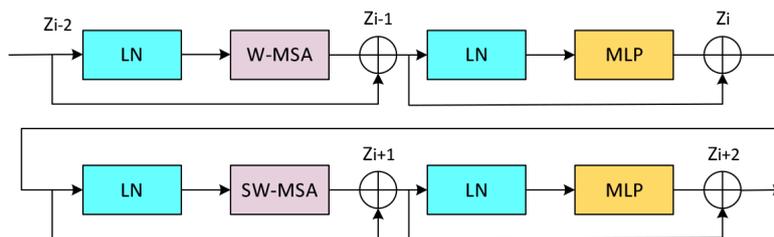


图6 两个连续的STB模块

图6展示了STB结构,STB结构包括多层感知机(MLP)、移位窗口多头自注意力模块(SW-MSA)和窗口多头自注意力模块(W-MSA)。多层感知机和多头自注意力模块以残差连接,交替使用移位窗口和窗口自注意力模块,上一行方框采用W-MSA模块,下一行方框采用SW-MSA模块。在W-MSA和SW-MSA之间加入层归一化(Layer Normalization, LN),使训练更加稳定,并在每个模块后使用一个残差连接。

为了解决交通标志识别中的小目标丢失问题,引入一种新的方法C3STB模块,即通过将连续的STB集成到C3模块中,具体的C3STB模块结构参考图7。利用滑动窗口注意力机制(MSA)成功地提升了模型对全局信息和上下文信息的捕捉能力,使C3STB模块的模型在小目标检测方面表现出明显的优势。另外,优化后的C3STB模块采用一种局部窗口划分策略,用来控制各窗口间信息的交互。这种方式不仅可以降低计算量,还可以进一步优化模块的性能。

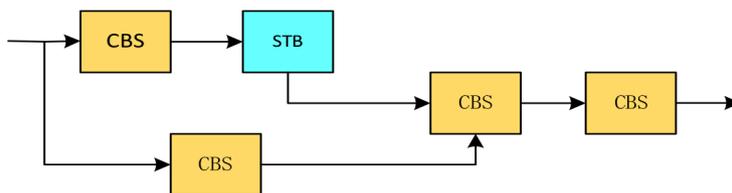


图7 C3STB模块结构

### 3 实验与结果分析

#### 3.1 实验环境及参数设置

本文实验均在Ubuntu 18.04.5 LTS操作系统下进行, GPU型号为RTX 3090,内存为30 GB, CUDA版本为11.1.105, CUDNN版本为8005, OpenCV版本为4.6.0。整个过程采用自适应随机梯度下降法训练300个训练周期,将批量大小(batch size)值设为16,初始学习率设为0.01, OneCycle学习率设为0.1,权重衰减系数设为0.0005。

#### 3.2 实验数据集

为了进行本文的实验,我们选用了Tsinghua-Tencent 100K(TT100K)数据集<sup>[21]</sup>,其具有诸多优点,包括种类丰富、像素清晰、语义信息丰富等。然而在TT100K数据集中,也存在一些问题,其中包括:不同交通标志之间的背景差异、尺寸差距较大,还存在一些模糊不清的交通标志以及一些小目标交通标志,这些都会对识别造成一定的影响。

##### 3.2.1 数据集筛选

TT100K数据集是一个包含45种交通标志的数据集,对这些交通标志的数量分布进行统计分析,结果显示:该数据集包含了23182个独特的交通标志样本,每种交通标志的数量都超过了100个,但有超过一半的交通标志的数量少于300个。值得注意的是,我们将长宽均值不超过32的交通标志视为小目标<sup>[22]</sup>。

### 3.2.2 数据集预处理

为了评估图像降噪效果,本文选取图像间结构相似度(SSIM)、峰值信噪比(PSNR)和可学习感知图像块相似度(LPIPS)作为评价指标,分析结果如表1所示。实验结果表明:高斯滤波在SSIM、PSNR和LPIPS比较中均取得了最优值,因此本文选择高斯滤波作为对训练集图像进行降噪处理的方法。

表1 不同降噪方式的图像品质评价参数比较

降噪方式	PSNR	SSIM	LPIPS
blur	30.061 623	0.915 869	0.050 672
高斯滤波	48.336 311	0.993 533	0.003 286
Median	35.561 005	0.906 775	0.095 196
L-Mean	35.766 753	0.958 372	0.066 562

基于Python脚本实现图像增强技术,对TT100K数据集进行操作,将原始图像转化为更便于进行分析的形式。图像进行增强处理前后的效果对比如图8所示。

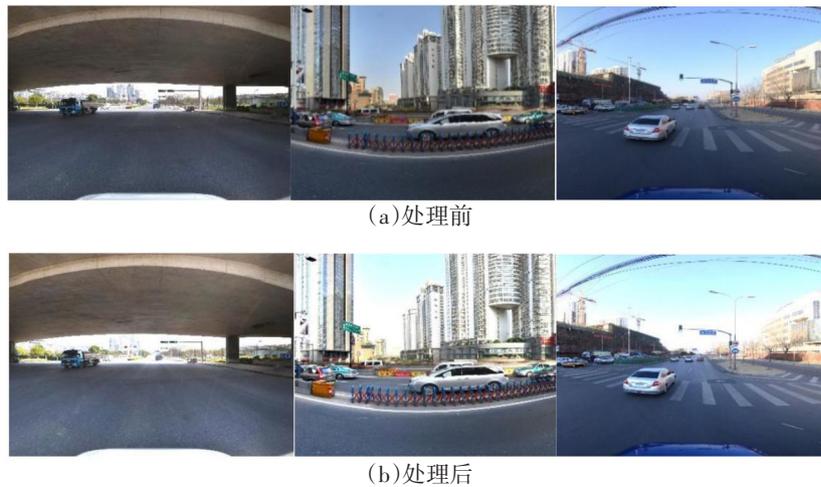


图8 图像增强处理前后的效果对比

### 3.3 模型性能衡量指标

本文选用精确率 $P$ (Precision)、召回率 $R$ (Recall)及平均准确率均值 $m_{A_p}$ (mean average precision)作为评价模型检测精度的衡量指标。 $P$ 是为了衡量了模型错检情况; $R$ 表示全体样本中的所有正类样本中正确预测的样本数; $m_{A_p}$ 是取 $m$ 个类别的 $A_p$ 平均值,用来评价检测模型的平均精度,计算公式如下:

$$P = \frac{T_p}{T_p + F_p}, \quad (10)$$

$$R = \frac{T_p}{T_p + F_N}, \quad (11)$$

$$m_{A_p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{p_i}. \quad (12)$$

其中: $T_p$ 指预测到正确交通标志样本的数量; $F_p$ 指错误预测到正确交通标志样本的数量; $F_N$ 表示错误预测到非正确交通标志样本的数量。

### 3.4 消融实验

为了评估不同处理步骤对交通标志识别模型预测准确率的影响,我们在测试集上比较了本文改进模型与原模型的表现。实验结果(表2)显示,每个改进步骤都对识别效果有积极的影响,使得识别准确率得

到了提升。通过应用不同算法的组合,平均准确率达到了最优水平。

表 2 各步骤精度对比数据

模型	数据扩充	CA	C3 STB	图像增强	$m_{A_p}@0.5/\%$
YOLOv5	—	—	—	—	74.1
YOLOv5	√	—	—	—	90.7
YOLOv5-CA	√	√	—	—	91.2
改进 1	√	√	√	—	93.2
改进 2	√	√	√	√	93.5

### 3.5 与其他主流算法对比实验

本文进行了改进模型与 YOLOv5 模型和其他常规目标检测方法的对比实验,具体对比数据如表 3 所示。通过在扩充后的数据集上进行训练,文中改进模型的精确率达到了 92.6% 的高水平。同时,本文模型在召回率和  $m_{A_p}$  值方面也有了明显提升。

表 3 多种模型对比数据

模型	精确率/%	召回率/%	$m_{A_p}@0.5/\%$
Faster R-CNN <sup>[23]</sup>	81.5	85.6	82.6
FA-SSD <sup>[24]</sup>	85.1	93.2	92.6
YOLOv3 <sup>[25]</sup>	90.6	95.2	91.7
YOLOv4 <sup>[12]</sup>	91.3	94.0	92.5
YOLOv5 <sup>[13]</sup>	91.9	85.5	91.0
改进后	92.6	91.8	93.5

### 3.6 实验结果与分析

改进模型在训练集上的识别效果如图 9 所示。通过对比可以看出:改进后的 YOLOv5 算法相比原始的 YOLOv5 算法对交通标志的检测有所提升,提高了 YOLOv5 算法对交通标志的平均识别精度。



(a) 改进前效果图 (b)改进后效果图

图 9 改进前后模型识别效果对比

为了更直观验证改进后 YOLOv5 模型的检测效果,本文对不同场景下交通标志检测分别进行了验证,检测结果对比如图 10 所示。

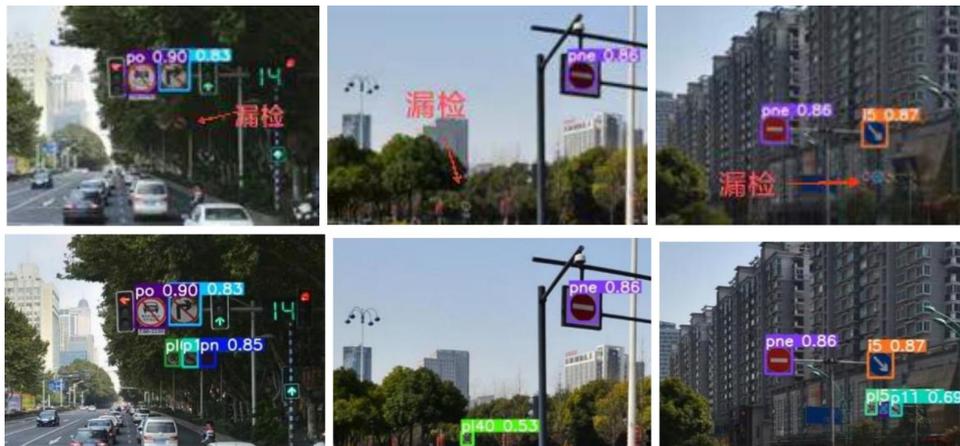


图 10 漏检图像检测结果对比

## 4 结语

本文提出一种基于改进 YOLOv5 算法的交通标志检测方法,该方法用轻量化网络模型替换原有的网络模型,并且在特征融合阶段添加 CA 注意力机制,引入 STB 结构改进原有 C3 模块,这些改进旨在提高小目标交通标志的检测效率,进而解决交通标志过程中遇到的漏检、识别准确率低等问题。同时,在常用的交通标志数据集 TT100K 上进行了大量实验,取得了良好的结果。实验结果表明:文中提出的改进算法可以提高小目标交通标志识别效果,为交通标志检测领域的研究提供了一种新的思路和方法,对提高自动驾驶汽车的视觉感知能力具有一定帮助。

### 参考文献:

- [1]BADUE C, GUIDOLINI R, CARNEIRO R V, et al. Self-driving cars: A survey[J]. *Expert Systems with Applications*, 2021, 165: 1-34.
- [2]SATILMIŞ Y, TUFAN F, ŞARA M, et al. CNN based traffic sign recognition for mini autonomous vehicles[M/OL]// *Advances in intelligent systems and computing, information systems architecture and technology: Proceedings of 39th international conference on information systems architecture and technology-ISAT 2018*. New Delhi: Springer, 2019: 85-94 [2023-10-06]. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-99996-8\\_8](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-99996-8_8).
- [3]GIRSHICK R, DONAHUE J, DARRELL T, et al. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation [C/OL]//2014 IEEE conference on computer vision and pattern recognition, Columbus, OH, USA. Piscataway: IEEE, 2014: 580-587 [2023-10-06]. <http://dx.doi.org/10.1109/cvpr.2014.81>.
- [4]LIU W, ANGUELOV D, ERHAN D, et al. SSD: Single shot multiBox detector[M/OL]// *Computer Vision-ECCV 2016, lecture notes in computer science*. New Delhi: Springer, 2016: 21-37 [2023-10-06]. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-46448-0\\_2](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-46448-0_2).
- [5]卢俊哲, 张毓怡, 刘世鹏, 等. 面向复杂环境中带钢表面缺陷检测的轻量级 DCN-YOLO[J]. *计算机工程与应用*: 2023, 59(15): 318-328.
- [6]杨祥, 王华彬, 董明刚. 改进 YOLOv5 的交通标志检测算法[J]. *计算机工程与应用*: 2023, 59(13): 194-204.
- [7]WALI S B, ABDULLAH M A, HANNAN M A, et al. Vision-based traffic sign detection and recognition systems: Current trends and challenges.[J]. *Sensors*, 2019, 19(9): 2093.
- [8]李娇, 葛艳, 刘玉鹏. 基于改进 YOLOv5 的昏暗小目标交通标志识别[J]. *计算机系统应用*, 2023, 32(5): 172-179.
- [9]REDMON J, DIVVALA S, GIRSHICK R, et al. You only look once: Unified, real-time object detection[C/OL]//2016 IEEE conference on computer vision and pattern recognition (CVPR), Las Vegas, NV, USA. Piscataway: IEEE, 2016: 779-788 [2023-10-06]. <http://dx.doi.org/10.1109/cvpr.2016.91>.
- [10]HUANG R, PEDOEM J, CHEN C. YOLO-LITE: A real-time object detection algorithm optimized for Non-GPU computers[C/OL]//2018 IEEE international conference on big data, Seattle, WA, USA. Piscataway: IEEE, 2018: 2503-2510 [2023-10-06]. <http://dx.doi.org/10.1109/bigdata.2018.8621865>.
- [11]LIN T Y, GOYAL P, GIRSHICK R, et al. Focal loss for dense object detection[C/OL]//2017 IEEE international conference on computer vision (ICCV). New York: IEEE Communications Society, 2017: 2980-2988 [2023-10-06]. <http://dx.doi.org/10.1109/iccv.2017.324>.
- [12]BOCHKOVSKIY A, WANG C Y, LIAO H Y. YOLOv4: Optimal speed and accuracy of object detection[J]. *Cornell University-arXiv*, 2020: 1-17.
- [13]WU T H, WANG T W, LIU Y Q. Real-time vehicle and distance detection based on improved YOLOv5 network[C/OL]//2021 3rd world symposium on artificial intelligence (WSAI). Guangzhou: Shanghai University of Finance and Economics Press, 2021: 24-28 [2023-10-06]. <http://dx.doi.org/10.1109/wsai51899.2021.9486316>.
- [14]ZHAO B Y, WU Y F, GUAN X R, et al. An improved aggregated-mosaic method for the sparse object detection of remote sensing imagery[J]. *Remote Sensing*, 2021, 13(13): 2602.

- [15] LIN T Y, GOYAL P, GIRSHICK R, et al. Focal loss for dense object detection [C/OL]//2017 IEEE international conference on computer vision (ICCV), Venice. Piscataway: IEEE, 2017: 2980–2988 [2023–10–06]. <http://dx.doi.org/10.1109/iccv.2017.324>.
- [16] DESPLANQUES B, THIENPOND T J, DEMUYNCK K. ECAPA–TDNN: Emphasized channel attention, propagation and aggregation in TDNN based speaker verification [C/OL]//Interspeech 2020. Shanghai: ISCA, 2020: 1–5 [2023–10–06]. <http://dx.doi.org/10.21437/interspeech.2020-2650>.
- [17] JADERBERG M, SIMONYAN K, ZISSERMAN A, et al. Spatial transformer networks[J]. Neural Information Processing Systems, Curran Associates, 2015: 1–9.
- [18] REN Q, LI M, LI H, et al. A novel deep learning prediction model for concrete dam displacements using interpretable mixed attention mechanism[J]. Advanced Engineering Informatics, 2021, 50: 101407.
- [19] HOU Q, ZHOU D, FENG J. Coordinate attention for efficient mobile network design. [C/OL]//2021 IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition (CVPR), Nashville, TN, USA. Piscataway: IEEE, 2021: 13713–13722 [2023–10–06]. <http://dx.doi.org/10.1109/cvpr46437.2021.01350>.
- [20] YANG S, SONG F, JEON G, et al. Scene changes understanding framework based on graph convolutional networks and swin transformer blocks for monitoring LCLU using high-resolution remote sensing images[J]. Remote Sensing, 2022, 14(15): 3709.
- [21] ZHU Z, LIANG D, ZHANG S, et al. Traffic-sign detection and classification in the wild [C/OL]//2016 IEEE conference on computer vision and pattern recognition (CVPR), Las Vegas, NV, USA. Piscataway: IEEE, 2016: 2110–2118 [2023–10–06]. <http://dx.doi.org/10.1109/cvpr.2016.232>.
- [22] 刘颖, 刘红燕, 范九伦, 等. 基于深度学习的小目标检测研究与应用综述[J]. 电子学报, 2020, 48(3): 590–601.
- [23] REN S, HE K, GIRSHICK R, et al. Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks [J/OL]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1137–1149 [2023–10–06]. <http://dx.doi.org/10.1109/tpami.2016.2577031>.
- [24] LIM J S, ASTRID M, YOON H J, et al. Small object detection using context and attention [C/OL]//2021 International conference on artificial intelligence in information and communication (ICAIIIC). Piscataway: IEEE, 2021: 181–186 [2023–10–06]. <http://dx.doi.org/10.1109/icaaiic51459.2021.9415217>.
- [25] REDMON J, FARHADI A. YOLOv3: An incremental improvement[J]. arXiv: Computer Vision and Pattern Recognition, 2018: 1–6.

## Traffic Sign Detection Algorithm Based on Improved YOLOv5

Liu Xinyu, Xue Bo, Lin Mengcheng

(School of Mechanical Engineering, Jiangsu Institute of Technology, Changzhou, 213001, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of low accuracy and slow detection speed in identifying small traffic signs on roads in different environments during driverless driving, a target recognition algorithm based on improved YOLOv5 was proposed. In order to reduce the model volume and improve the model inference speed, this algorithm uses the Ghost feature module to replace the original network architecture. Fusion and channel attention mechanisms are combined at the feature module level to help the model better focus on key information in the image. In order to enhance the feature extraction ability of small targets, the original C3 module was improved, the STB module (Swin Transformer Blocks) was introduced, and the Chinese traffic sign data set TT100K was introduced for comparison and verification. The results showed that the recognition accuracy of the method proposed in the paper was 92.6%, an increase of 0.7%; The value reached 93.5%, an increase of 2.5%.

**Keywords:** traffic sign recognition; object detection; attention mechanism

# 基于改进 PSO-PID 的无刷直流电机矢量控制

靳凯<sup>a</sup>, 肖平<sup>a</sup>, 吕傲宁<sup>b</sup>

(安徽工程大学 a. 机械与车辆工程学院; b. 智能汽车线控底盘系统安徽省重点实验室, 安徽 芜湖 241000)

**摘要:** 无刷直流电机作为家用电器和精密仪器的动力源器件, 在实际控制系统中通常采用传统的比例-积分-微分 (proportion integral differential, PID) 控制, 但传统的 PID 控制精度较低, 对外界干扰较为敏感, 无法满足使用的精准要求。针对这一问题, 一种利用粒子群算法来实现无刷直流电机矢量控制的方法被提出: 首先, 搭建无刷直流电机数学模型; 其次, 利用仿真软件对电机矢量控制系统模型进行搭建, 再利用改进粒子群算法对电机 PID 控制器参数进行优化, 以实现无刷直流电机系统的精确控制; 最后, 以 STM32F407 单片机搭建实验平台, 并进行实验验证。结果表明: 该方法与传统矢量控制相比, 在稳态为 800 r/min 和 1500 r/min 时输出的最大超调量分别降低了 32.30% 和 38.09%, 调整时间分别优化了 15.25% 和 5.66%; 在负载阶段的最大转速差缩减了 29.28 r/min, 调整时间优化了 8.08%, 抗干扰能力和系统稳定性显著提高。

**关键词:** 矢量控制; 无刷直流电机; 粒子群算法; STM32F407 单片机

DOI:10.13853/j.cnki.issn.1672-3708.2024.06.008

## 0 引言

无刷直流电机因其高效率、高功率密度、低维护需求和精准控制等特点, 在众多领域都有广泛的应用价值。在工业自动化中, 无刷直流电机被广泛应用于各种机械设备, 如机器人、输送带、泵和风扇等, 能够提供可靠的动力传输和精确的运动控制, 从而有效提升了生产效率和产品质量。吴为等<sup>[1]</sup>提出一种基于复矢量的电流环解耦控制策略, 实现控制器的零点与被控对象的极点完全解耦, 提高了电流环的控制性能。李绪镇<sup>[2]</sup>提出了一种三次谐波电机矢量控制方案, 优化了逆变器输出的三次谐波电流, 从而减少了电压恢复时间和转矩波动, 提高了电机的效率。唐敬亮等<sup>[3]</sup>提出使用旋转变压器获取无刷直流电机转子绝对位置数据, 并采取矢量控制实现精准控制, 稳态误差减小, 稳定性增强。徐扬等<sup>[4]</sup>设计了一套基于 STM32F411 芯片的无刷直流电机矢量控制系统, 通过人为调节比例-积分 (PI) 控制器参数的方法实现对电机的转速进行精准的控制。随着无刷直流电机技术的不断演进, 该技术在智能化领域中应用前景广泛, 其高效率 and 可靠性使其成为众多应用环境下的首选。传统 PID 控制器参数的调节依赖于人的经验, 导致其鲁棒性和精度不足, 因此已有学者提出对 PID 控制器参数进行寻优<sup>[5-7]</sup>。本文旨在通过粒子群算法 (particle swarm optimization, PSO), 对无刷直流电机矢量控制系统进行优化, 并通过调整 PID 控制器参数来提升系统性能, 从而进一步提高矢量控制系统的效率。

## 1 无刷直流电机数学模型

无刷直流电机的主要组成包括定子、永磁转子、功率逻辑开关和位置信号处理电路、位置传感器等。在静止坐标系中建立定子的三相绕组电压方程:

收稿日期: 2024-07-20

基金项目: 安徽省重点研究与开发计划项目 (2022A05020007); 芜湖市“赤铸之光”重大科技成果工程化项目 (2023zc07)

作者简介: 靳凯 (2000—), 男, 安徽滁州人, 硕士研究生; 肖平 (通信作者) (1973—), 男, 安徽铜陵人, 教授, 博士, 主要从事新能源汽车的线控转向等研究。

$$u_x = R_C I_x + \frac{d\psi_x}{dt}, \quad (1)$$

其中:  $x = A, B, C$ ;  $u_x$  为相绕组电压;  $R_C$  为相绕组电阻;  $\psi_x$  为三相绕组全磁链。

$$\psi_A = S_{AA} I_A + M_{AB} I_B + M_{AC} I_C + \psi_f \cos \theta, \quad (2)$$

$$\psi_B = M_{AB} I_A + S_{BB} I_B + M_{BC} I_C + \psi_f \cos \left( \theta - \frac{2\pi}{3} \right), \quad (3)$$

$$\psi_C = M_{AC} I_A + M_{BC} I_B + S_{CC} I_C + \psi_f \cos \left( \theta + \frac{2\pi}{3} \right), \quad (4)$$

其中:  $S_{AA}, S_{BB}, S_{CC}$  分别为 A, B, C 绕组自感;  $M_{AB}, M_{BC}, M_{AC}$  分别为 A, B, C 绕组互感;  $\psi_f$  为定子电枢绕组最大磁链。

## 2 无刷直流电机矢量控制

### 2.1 克拉克变换(Clark transformation)

为了将电机的数学模型进行简化并减少计算量,采用克拉克变换,即一种降维解耦的过程,将三相电流  $I_A, I_B, I_C$  转换为两个正交电流  $I_\alpha, I_\beta$ , 从而减少需要控制的变量。根据基尔霍夫电流定律,并将三相波形抽象为  $120^\circ$  矢量,使其映射至二维坐标系中。

$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} \cos 0^\circ & -\cos 60^\circ & -\cos 60^\circ \\ \sin 0^\circ & \sin 60^\circ & -\sin 60^\circ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix}, \quad (5)$$

其中,  $K$  为等幅值系数,其值为  $2/3$ 。

### 2.2 帕克变换(Park transformation)和反帕克变换(Rev-Park transformation)

帕克变换是将非线性变量转化为线性变量的工程,即建立旋转状态下的数学模型。将  $I_\alpha, I_\beta$  转换到随转子旋转的坐标系中,得

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Rev-Park 变换是通过从 PI 控制器得到线性的  $U_d, U_q$ , 将其转化为非线性  $U_\alpha, U_\beta$ , 然后将二者形成电压空间矢量,并输入至空间矢量脉宽调制进行解算,得

$$\begin{bmatrix} U_\alpha \\ U_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_d \\ U_q \end{bmatrix}. \quad (7)$$

### 2.3 前馈解耦策略

考虑到  $I_d$  和  $I_q$  之间的相互耦合,为了简化系统结构并降低系统的耦合程度,以及使  $dq$  轴的电流环设计一致,在电流内环中引入了前馈解耦。通过对无刷直流电机数学模型进行克拉克和帕克变换,将其转换至  $dq$  轴,实现了  $dq$  轴的静态解耦。在矢量控制下,当  $I_d$  为 0 时,只需控制  $I_q$  的值即可实现对电机的控制。此时的电机电压方程如下:

$$U_d = R_C I_d + L_d \frac{dI_d}{dt} - \omega_e L_q I_q, \quad (8)$$

$$U_q = R_C I_q + L_q \frac{dI_q}{dt} - \omega_e (L_d I_d + \psi_f). \quad (9)$$

从图 1 中可以观察到,通过前馈解耦能够降低  $I_d$  和  $I_q$  的幅值,经过数据计算,幅值降低了 25.89%,使  $I_d$  和  $I_q$  得到了矫正。在两个速度阶跃的响应中,电机的响应速度更快,电流波形更加稳定,这有助于改善系统的控制性能。

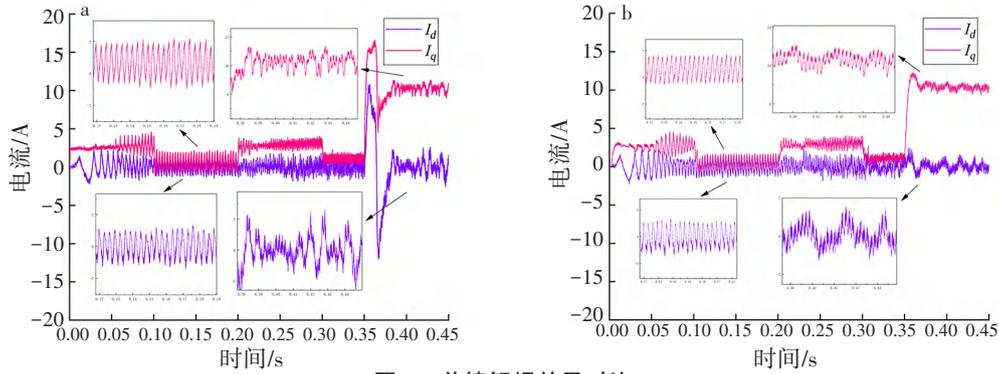


图1 前馈解耦效果对比

### 3 空间矢量脉宽调制原理

空间矢量脉宽调制是现代电机控制惯用的高效控制方法, 本文将其分为电压矢量作用顺序、电压矢量作用时间和扇区判断 3 个部分<sup>[8]</sup>。通过对逆变器 6 个开关的控制, 空间矢量脉宽调制旨在实现高速动态响应的情况下, 同时精确控制逆变器所输出的波形, 从而减少电机控制系统中的谐波次数, 降低电机的转矩, 并提高控制系统的性能。

#### 3.1 电压矢量作用时间

对于电压矢量作用时间计算, 具体求解以第二扇区为例, 如图 2 所示, 当参考矢量  $U_s$  旋转至第二扇区时, 由  $U_6$ 、 $U_2$  和  $U_0$  合成参考电压矢量<sup>[9]</sup>, 公式如下:

$$T_s = T_2 + T_6 + T_0, \quad (10)$$

$$T_s U_s = T_2 U_2 + T_6 U_6 + T_0 U_0, \quad (11)$$

其中:  $T_s$  为一个开关周期;  $U_6$  和  $U_2$  为基本电压矢量;  $U_0$  为零电压矢量;  $T_2$  和  $T_6$  为  $U_s$  分量的作用时间;  $T_0$  为  $U_0$  的作用时间;  $\theta$  为  $U_s$  与  $\alpha$  轴之间的夹角。已知  $U_6$  与  $\alpha$  轴之间的夹角为  $60^\circ$ 。

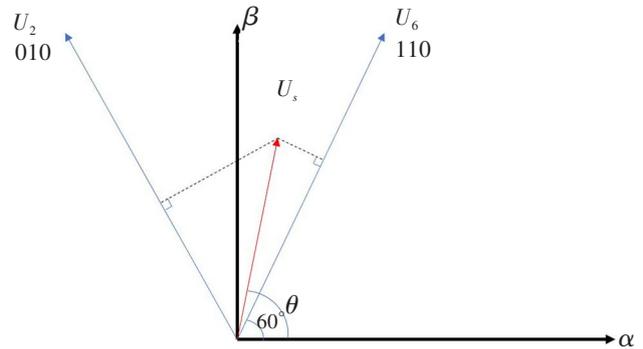


图2 第二扇区计算矢量关系

$$|U_s| \times \cos\left(\theta - \frac{\pi}{3}\right) = |U_6| \times \frac{T_6}{T_p} + |U_2| \times \frac{T_2}{T_p} \times \cos\frac{\pi}{3}, \quad (12)$$

$$|U_s| \times \sin\left(\theta - \frac{\pi}{3}\right) = |U_2| \times \frac{T_2}{T_p} \times \sin\frac{\pi}{3}, \quad (13)$$

其中,  $T_p$  表示一个脉宽调制(PWM)周期。

由式(12~13)求解出第二扇区的作用时间  $T_2$ 、 $T_6$  ( $U_{dc}$  为固定工作电压), 依次得到所有扇区的作用时间  $T_a$ 、 $T_b$ , 如表 1 所示。

$$T_2 = \frac{\sqrt{3}|U_s|T_p}{U_{dc}} \sin\left(\theta - \frac{\pi}{3}\right) = \frac{\sqrt{3}T_p}{U_{dc}} \left(-\frac{\sqrt{3}}{2}U_\alpha + \frac{1}{2}U_\beta\right), \quad (14)$$

$$T_6 = \frac{\sqrt{3}|U_s|T_p}{U_{dc}} \sin\left(\frac{2\pi}{3} - \theta\right) = \frac{\sqrt{3}T_p}{U_{dc}} \left(\frac{\sqrt{3}}{2}U_\alpha + \frac{1}{2}U_\beta\right). \quad (15)$$

表 1 各扇区矢量作用时间

扇区	$T_a$	$T_b$
I	$\sqrt{3} T_p (\sqrt{3} U_\alpha - U_\beta) / 2U_{dc}$	$\sqrt{3} T_p U_\beta / 2U_{dc}$
II	$-\sqrt{3} T_p (\sqrt{3} U_\alpha - U_\beta) / 2U_{dc}$	$\sqrt{3} T_p (\sqrt{3} U_\alpha + U_\beta) / 2U_{dc}$
III	$\sqrt{3} T_p U_\beta / U_{dc}$	$-\sqrt{3} T_p (\sqrt{3} U_\alpha + U_\beta) / 2U_{dc}$
IV	$\sqrt{3} T_p U_\beta / U_{dc}$	$-\sqrt{3} T_p (\sqrt{3} U_\alpha - U_\beta) / 2U_{dc}$
V	$-\sqrt{3} T_p (\sqrt{3} U_\alpha + U_\beta) / 2U_{dc}$	$-\sqrt{3} T_p (\sqrt{3} U_\alpha - U_\beta) / 2U_{dc}$
VI	$\sqrt{3} T_p (\sqrt{3} U_\alpha + U_\beta) / 2U_{dc}$	$\sqrt{3} T_p U_\beta / U_{dc}$

### 3.2 电压矢量作用顺序

在本文中为了减少谐波次数和功率管切换次数,采用了七段式空间矢量脉宽调制(space vector pulse width modulation, SVPWM),对零矢量进行灵活放置。零矢量的放置从其开始至结束,矢量排列为左右对齐。

### 3.3 扇区判断

空间矢量脉宽调制的关键一步是判断参考矢量  $U_s$  所在扇区。参考矢量  $U_s$  在规定的逆时针方向运行,设  $J = U_\beta, K = \sqrt{3} / 2U_\alpha - 1/2U_\beta, L = -\sqrt{3} / 2U_\alpha - 1/2U_\beta$ 。为了方便观察,规定  $J, K, L$  大于 0 时为 1,小于 0 时为 0。由此得到  $N$  与扇区关系如表 2 所示。

表 2  $N$  与扇区对应关系表

扇区	$J$	$K$	$L$	$N$
I	1	1	0	3
II	1	0	0	1
III	1	0	1	5
IV	0	0	1	4
V	0	1	1	6
VI	0	1	0	2

在表 2 中,  $N = J + 2K + 4L$ ,根据计算出的  $N$  值判断参考矢量  $U_s$  所在扇区。最终经过空间矢量脉宽调制叠加 3 次谐波调制得到马鞍波,相比于正弦脉冲宽度调制,空间矢量脉宽调制能够显著提高母线电压利用率(约为 1.155),从而改善了电机动态响应。根据前面介绍的空间矢量脉宽调制控制原理,建立磁场定向控制系统,其闭环系统框图如图 3 所示。

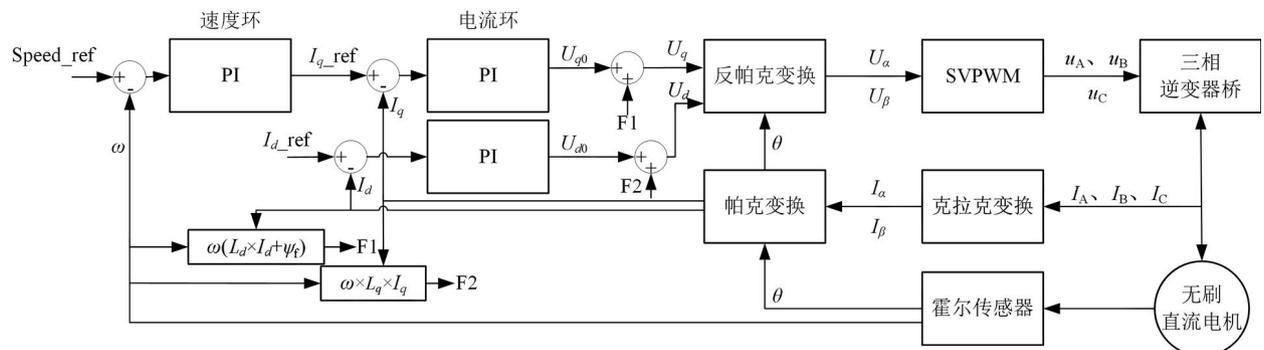


图 3 磁场定向控制框图

### 4 优化粒子群算法权重策略

PSO 是一种经典的启发式优化算法,通常用于解决参数优化领域<sup>[10-12]</sup>。PSO 具有参数调节少、易实现、全局搜索能力强和适用性广泛等优势。但其参数设置敏感度高,相较于其他算法具有较少的参数,而这些参数的设置对算法的性能有着显著影响,须经过调节才能获得良好的效果。当  $\omega$  (惯性权重)较大时,全局搜索能力强,局部搜索能力弱;相反,当  $\omega$  较小时,全局搜索能力弱,局部搜索能力强,易陷入当前局部最优。因此,提出一种抛物线形式递减的惯性权重策略,实现算法在电机运转时自动调节。

$$\omega(t) = (\omega_{\max} - \omega_{\min}) \left(1 - \frac{t}{T}\right)^n + \omega_{\max} \quad (16)$$

其中: $\omega_{\max}$  和  $\omega_{\min}$  分别为  $\omega$  最大值和最小值; $t$  为当前迭代步; $T$  为最大迭代步; $n$  为非线性调整常数。

针对无刷直流电机矢量控制,构建一种改进 PSO 算法,以增强其全局搜索能力,避免局部最优解的出现,并有效提升性能<sup>[13-15]</sup>。通过合理调整惯性权重策略,进一步提高算法性能。

### 5 仿真实验

图 4 为采用粒子群算法优化磁场导向控制系统(PSO-FOC)的仿真图,从图中可以看出,该控制系统包含克拉克变换、帕克变换、反帕克变换和 SVPWM、PSO-FOC 和磁场导向控制(FOC)的控制仿真参数。电机运行工况如图 5 所示,仿真用时为 0.45 s,直流侧电压  $U_{dc} = 311 \text{ V}$ ,并在 0.35 s 时刻负载 10.00 N·m 转矩情况下进行仿真测试。在实验阶段采取两个速度阶段进行,即 0~800 r/min 和 800~1 500 r/min。

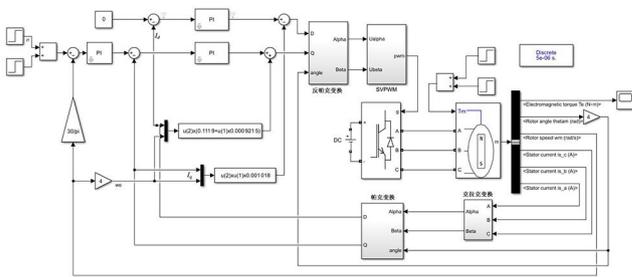


图 4 PSO-FOC 控制系统仿真

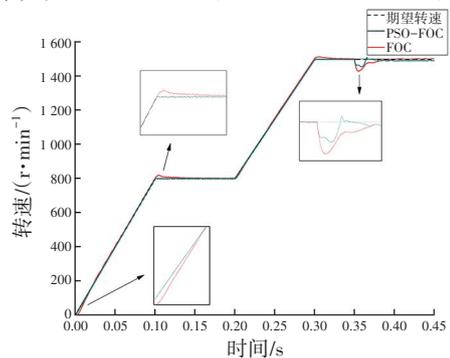


图 5 电机运行工况

将仿真中的数据收集,如表 3 和表 4 所示,由数据分析得出:在稳态为 800 r/min 时最大超调量降低了 32.30%,调整时间优化了 15.25%;在稳态为 1 500 r/min 时最大超调量降低了 38.09%,调整时间优化了 5.66%。在 0.35 s 时刻增加负载,电机转矩上升至 11.90 N·m 周围并发生脉动,最大转速差缩减了 29.28 r/min,调整时间优化了 8.08%。综合对比两种控制方式,PSO-FOC 的超调量更小,调整时间更短,在负载作用的情况下抗干扰能力更强。

表 3 转速为 800 r/min 和 1 500 r/min 时的稳态值数据对比

控制系统	800 r/min 稳态值		1 500 r/min 稳态值	
	最大超调量 $\sigma_p$	调整时间 $t_s/s$	最大超调量 $\sigma_p$	调整时间 $t_s/s$
FOC	18.988	0.118	12.344	0.318
PSO-FOC	12.855	0.100	7.642	0.300

表 4 负载阶段值数据对比

负载阶段	FOC	PSO-FOC
最大转速差 $n_r/(r/min)$	72.270	42.990
调整时间 $t_s/s$	0.396	0.364

对上述两种控制方式下的电机电压、电流和转矩进行分析,如图 6 所示,图 6(a,b,c)为 PSO-FOC 算法仿真结果,图 6(d,e,f)为 FOC 算法仿真结果。a 和 d 图为电机三相电流经过克拉克变换得到  $I_\alpha, I_\beta$  电流; b 和 e 图为经过 PSO-PI 控制器得到的  $U_d, U_q$ ; c 和 f 图为电机转矩。

对图 6 中的数据进行收集得到 PSO-FOC 和 FOC 控制下电机的电流、电压和转矩,如表 5 和表 6 所示,并通过计算得出优化效果,如表 7 所示。

综合表中数据表明,本文采用的 PSO-FOC 算法能够使得无刷电机的三相电流更加稳定,转速收敛速度更快,输出转矩波动减小。

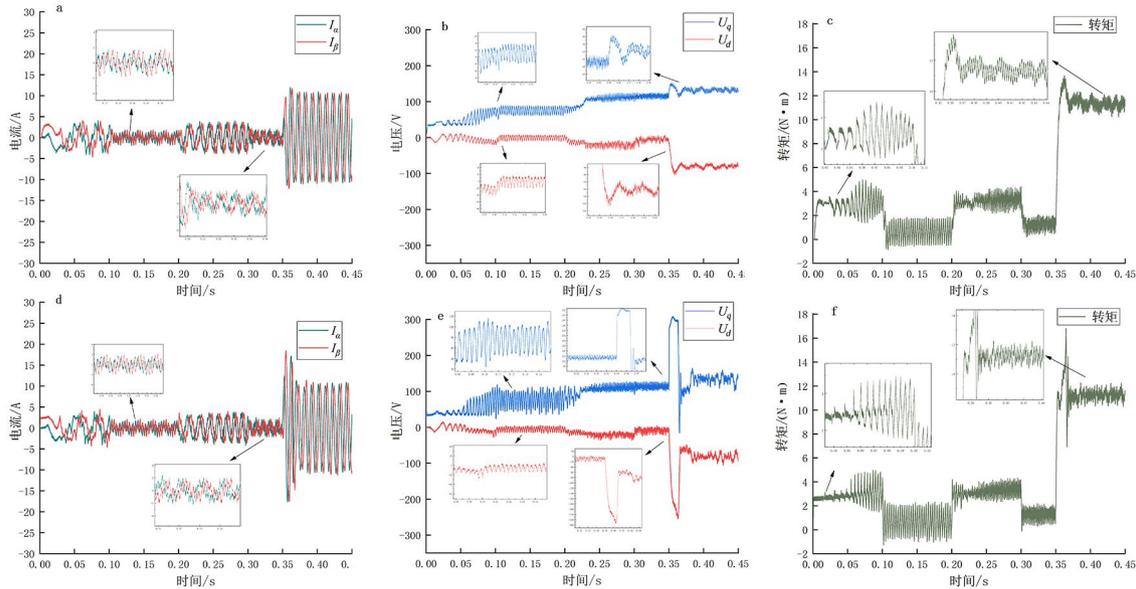


图 6 仿真结果对比

表 5 图 6(a,b,c)的 PSO-FOC 仿真数据

数据项	$I_\alpha/A$	$I_\beta/A$	$U_d/V$	$U_q/V$	转矩/ $N \cdot m$
稳态 800 r/min	2.918	1.954	92.032	2.168	2.318
稳态 1 500 r/min	2.482	1.787	87.540	3.776	1.559
负载阶段	8.773	9.210	126.277	1.352	12.957

表 6 图 6(d,e,f)的 FOC 仿真数据

数据项	$I_\alpha/A$	$I_\beta/A$	$U_d/V$	$U_q/V$	转矩/ $N \cdot m$
稳态 800 r/min	3.046	2.052	113.187	5.105	3.634
稳态 1 500 r/min	2.491	2.078	127.257	6.331	2.181
负载阶段	17.158	18.472	308.368	2.172	16.803

表 7 PSO-FOC 和 FOC 的优化对比

对比项	$I_\alpha$	$I_\beta$	$U_d$	$U_q$	转矩	%
稳态 800 r/min	4.20	4.78	18.69	57.53	36.21	
稳态 1 500 r/min	0.36	14.00	31.21	40.36	28.52	
负载阶段	48.87	50.14	59.05	37.75	22.89	

实验平台如图 7 所示。实验采用的电机参数包括:极对数为 2,转子惯量为  $11.90 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$ ,线电阻为  $(0.42 \pm 0.10) \text{ ohms}$  ( $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ),线电感为  $(1.12 \pm 0.20) \text{ mH}$  ( $1\text{kHz}$ ),反电动势  $4.27 \text{ V}/(\text{k} \cdot \text{r}/\text{min})$ ,功率管为绝缘栅双极型晶体管(insulated gate bipolar transistor, IGBT),最大母线直流电压为  $24 \text{ V}$  的无刷直流电机。使用

Workbench 软件进行电机转速检测,结果如图 8 所示,进一步验证了在 800 r/min 和 1 500 r/min 两个速度下能够实现较小的超调量和快速的稳态响应。

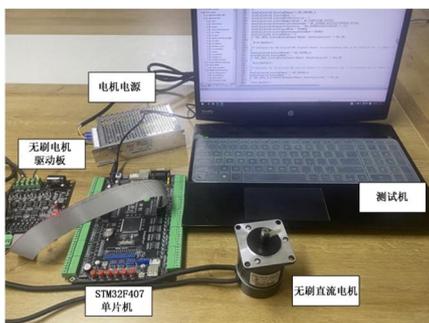


图 7 实验平台

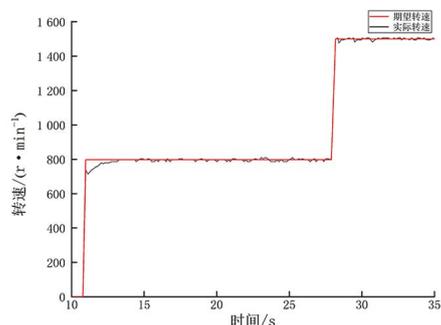


图 8 实物电机转速

## 6 结语

本文探讨了粒子群优化算法与矢量控制结合在无刷直流电机矢量控制系统中的应用。在充分发挥 PID 控制器在矢量控制系统中结构简单、适用范围广等优点的基础上,首先通过前馈解耦实现静态解耦,接着通过 PSO 算法对 PID 控制器进行参数优化,并且引入抛物线形式递减的权重避免 PSO 算法陷入局部最优解或后期迭代速度慢的情况,最后通过在 MATLAB/Simulink 环境下搭建仿真模型及进行仿真实验。实物验证以功率为 100 W 的无刷直流电机为对象,STM32F407 单片机为主控板,搭建实物实验平台进行测试。结果表明:PSO-FOC 算法相较于传统的 FOC 算法,在稳态为 800 r/min 和 1 500 r/min 时输出的最大超调量分别降低了 32.30% 和 38.09%,调整时间分别优化了 15.25% 和 5.66%,在承受负载时输出转矩波动减少了 22.89%,动态响应效果更好,进一步证明了文中所采取的 PSO-FOC 算法的有效性以及控制系统具有的良好控制效果。

### 参考文献:

- [1] 吴为,丁信忠,严彩忠. 基于复矢量的电流环解耦控制方法研究[J]. 中国电机工程学报,2017,37(14):4184-4191.
- [2] 李绪镇. 三次谐波励磁同步电动机矢量控制技术[D]. 沈阳:沈阳工业大学,2023.
- [3] 唐敬亮,张正铨,裴建岗,等. 一种基于直流永磁无刷电机矢量控制的电传油门台设计与实现[J]. 微电机,2023,56(12):48-55.
- [4] 徐扬,张兰红,陈永楼. 基于 STM32F411 的无刷直流电机 FOC 控制系统设计[J]. 微特电机,2023,51(5):61-65.
- [5] 张淑芳,宋香明,朱彬华. 结合改进 PSO-BP 神经网络的无刷直流电机控制[J]. 南开大学学报(自然科学版),2021,54(4):62-67.
- [6] 代睿,曹龙汉,何俊强,等. 基于微粒群算法的无刷直流电机单神经元自适应控制[J]. 电工技术学报,2011,26(4):57-63.
- [7] 耿文波,周子昂. 改进粒子群算法优化的 BLDCM 调速系统研究[J]. 控制工程,2019,26(9):1636-1641.
- [8] 马利红. 双三相永磁同步电机矢量控制及 SVPWM 算法的研究[D]. 成都:西华大学,2023.
- [9] 夏长亮,仇旭东,王志强,等. 基于矢量作用时间的新型预测转矩控制[J]. 中国电机工程学报,2016,36(11):3045-3053.
- [10] 杨博雯,钱伟懿. 粒子群优化算法中惯性权重改进策略综述[J]. 渤海大学学报(自然科学版),2019,40(3):274-288.
- [11] 蒋鸣东,刘岩. 基于粒子群算法的电机控制策略研究[J]. 太原学院学报(自然科学版),2024,42(2):56-60.
- [12] 远世明,杨明发. 基于改进型粒子群算法的无刷直流电机速度控制研究[J]. 电气开关,2021,59(1):34-38.
- [13] 田海林,宋珂炜,董铂龙,等. 基于粒子群神经网络的无刷直流电机控制方法[J]. 电力电子技术,2019,53(12):106-110.
- [14] 史麦瑞,隋雨伯,王晨宇,等. 基于 PSO 算法优化模糊 PID 的 BLDCM 仿真研究[J]. 信息记录材料,2024,25(3):208-209.
- [15] 王延年,范昊,李鹏程,等. 基于 PSO 的 GPC-PID 的细纱机锭速控制算法[J]. 西安工程大学学报,2023,37(2):9-16.

# 基于绿色建筑技术的幼儿园整体优化设计

## ——以台州市椒江区心湖幼儿园为例

滕蕊,施雯静,黄凌顶,王波,颜丰

(台州学院 建筑工程学院, 浙江 台州 318000)

**摘要:**在追求绿色、环保、节能的时代背景下,幼儿园的整体优化设计尤为重要。基于绿色建筑技术,对台州市椒江区心湖幼儿园(以下简称心湖幼儿园)进行了整体的优化设计。经过实地走访,发现心湖幼儿园在通风、采光、能耗和噪声控制等方面的实际设计中存在不足,这些问题将直接影响孩子们的学习环境和身心健康。为了解决这些问题,研究团队运用软件模拟技术,对心湖幼儿园的通风、采光、能耗和噪声等进行了深入研究。通过模拟分析,找到了针对性的优化方案,如设计反光板,种植绿植,采用光伏建筑一体化等。经过优化后,幼儿园的自然采光率、通风效果等得到了显著提升,能耗和噪声水平明显降低。通过运用绿色建筑技术,实现了幼儿园环境的优化改善,为孩子们创造了一个更加舒适、健康、节能的学习环境。

**关键词:**绿色建筑;幼儿园;斯维尔;模拟;改造

DOI:10.13853/j.cnki.issn.1672-3708.2024.06.009

## 1 幼儿园绿色建筑研究目的及意义

### 1.1 研究目的

幼儿园的接纳对象主要为3~6岁儿童,此阶段儿童身体与心理特征独特,容易受环境的影响。为了保证儿童身心的健康发育,须对幼儿园建筑室内环境秉持高标准的要求。目前绿色建筑研究大多针对大型建筑,而对于规模较小的幼儿园建筑的相关研究仍处于滞后状态,特别是关于幼儿园整体优化的研究十分欠缺。因此,本文基于绿色建筑技术对心湖幼儿园整体优化效果进行分析,以期推动幼儿园绿色优化的相关研究与实践。

### 1.2 研究意义

幼儿园绿色建筑研究的意义在于促进环保与可持续发展,绿色建筑是一种环保、可持续的建筑方式,通过减少能源消耗、降低环境污染等方式促进可持续发展。在幼儿园建设中采用绿色建筑形式,不仅可以提高室内环境质量,还有利于幼儿的身心健康,提高幼儿学习效率。同时,绿色建筑技术在幼儿园中的应用可以为幼儿教育提供更好的物质条件和精神环境,将绿色建筑的理念渗透到幼儿教育中,培养孩子们的环保意识和可持续发展观念,推动幼儿教育的发展。综上,幼儿园绿色建筑可以为孩子们创造更加健康、舒适的学习和生活环境,促进他们全面发展,具有重要研究意义。

收稿日期:2024-06-02

基金项目:国家级大学生创新创业训练计划项目(202310350051);台州市科技计划项目(22gyb14);台州学院大学生创新创业训练计划项目(S202310350263)

作者简介:滕蕊(2001—),女,湖南衡阳人,2020级建筑学专业本科生;颜丰(通信作者)(1988—),男,浙江台州人,副教授,博士,主要从事绿色建筑技术研究。

### 1.3 国内外研究现状和发展动态

#### 1.3.1 国内研究现状

近年来,国内外对绿色建筑在幼儿园建设中的研究越发深入。绿色建筑的定义是在整个建筑寿命周期内最大限度地节约资源(包括节能、节地、节水、节材)、保护环境、减少污染,为人们提供健康、适用和高效的使用空间,使他们与自然和谐共生<sup>[1]</sup>。在幼儿园建设中应用绿色建筑技术不仅有助于提高幼儿的生活质量,还有助于培养幼儿的生态意识和责任感,为可持续发展的教育奠定基础。

国内研究者从不同角度探讨了绿色建筑在幼儿园建设中的理念、方法和实践。其中,清华大学建筑学院院长李振辉提出了“幼儿园+AEIOU原则”的绿色建筑设计思想,强调以儿童为中心,关注地球环境保护,注重实例、元素和操作系统等5个方面,以满足幼儿的生理、心理和社会需求<sup>[2]</sup>。

研究表明,室内空气质量、绿色建材和能源节约也是幼儿园绿色设计的重点。室内空气质量直接影响幼儿的健康和舒适,绿色建材可以减少对环境的污染和对资源的消耗,而能源节约则可以降低运行成本和碳排放<sup>[3]</sup>。我国已经制定了相关的标准和规范,以指导教育机构提高幼儿保健和生活安全水平,推动绿色建筑的发展<sup>[4]</sup>。

#### 1.3.2 国外研究现状

国外研究者也在不断地探索和实践绿色建筑技术在幼儿园建设中的应用,尤其在欧洲、北美和澳大利亚等地已广泛将绿色建筑技术应用于幼儿园设计中,为幼儿营造了更舒适安全的环境。这些地区也制定了绿色建筑标准和评价体系来规范监督幼儿园建筑的设计、施工和运营。此外,澳大利亚教育部还制定了“幼儿园建筑指南”,提供了幼儿园绿色建筑实践的指导资料和案例,涵盖了场地规划、建筑布局、室内外空间、设施设备、节能节水等方面<sup>[5]</sup>。国外的研究也证实了绿色建筑技术的应用有利于儿童的身体健康和认知表现,2018年英国皇家建筑师学会的一篇文章就探讨了绿色建筑对幼儿园儿童的影响:绿色建筑可以改善室内空气质量、降低噪声、增加自然光照、提高温度舒适度等,促进儿童的健康、幸福感和学习成绩<sup>[6]</sup>等。

## 2 研究对象及研究方法

### 2.1 研究对象及其基本情况

本文以心湖幼儿园为例,提出以绿色建筑技术为基础的改造方案。心湖幼儿园最初是一处供台州学院学生使用的实践厂房,后被改造为心湖幼儿园。幼儿园坐落于台州学院椒江校区西北角(如图1所示),建筑坐南朝北。东南方向靠乌龟山,西北方向有一处约两层的玻璃建筑物,南北方向为平地 and 操场,开阔且四周无遮挡(如图2所示)。



图1 校园坐标

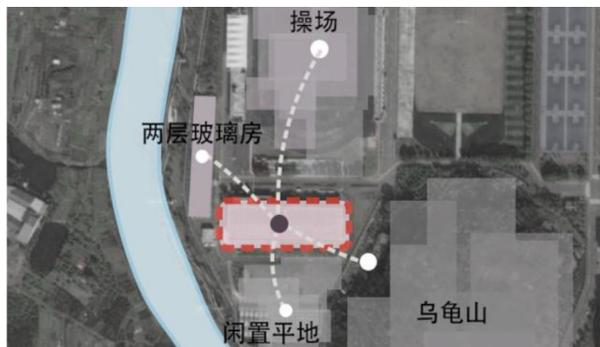


图2 心湖幼儿园周边建筑

## 2.2 实地调研

团队通过实地调研、测量和访谈(如图 3~4 所示),深入了解心湖幼儿园现状和使用者需求。采访对象包括教职工和幼儿家长,内容涵盖了环境满意度、室内光线、噪声、空气环境和建筑耗能感受 5 个方面。



图 3 基地现状



图 4 心湖幼儿园主入口

在访谈中,团队发现心湖幼儿园改造存在许多问题,如:冬季空气不流通、自然采光不足、有噪声的出现等,这些问题在不同程度上影响了幼儿身心健康和生活质量。同时相关管理人员还指出:由于部分教室的自然光不足导致需要长时间的辅助照明,使幼儿园的运营成本提高。综上,本项目以幼儿园采光、通风、能耗、噪声等客观参数为立足点,辅以实地采访的主观感受,总结了幼儿园空间中采光、通风、能耗、噪声等可能存在的问题,对教室整体环境的改善有一定参考价值。

## 2.3 改造方向

心湖幼儿园平面是一个长 90 m,宽 40 m 的较为狭长的长方形(如图 5 所示),在 40 m 的进深平面中间区域极易出现空间利用率低、采光和通风效果不佳等问题。采光、通风不仅关系到孩子们的身心健康和学习效率,还直接影响到幼儿园的安全性和运营成本。综合上文并结合客观与实际,基于绿色建筑技术,选择采光、通风、能耗、噪声作为改造方向是必要的。

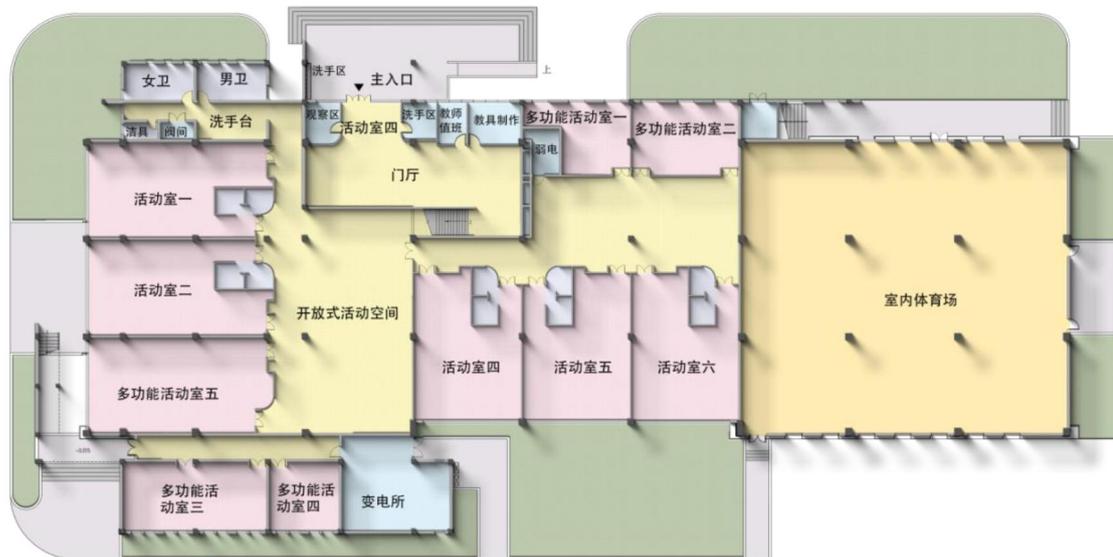


图 5 心湖幼儿园一层平面图

## 2.4 研究框架

本项目的研究框架如图 6 所示,主要包括推断心湖幼儿园优化方向、软件模拟及针对问题提出的改进措施等方面,最终得出可行的整体优化方案。

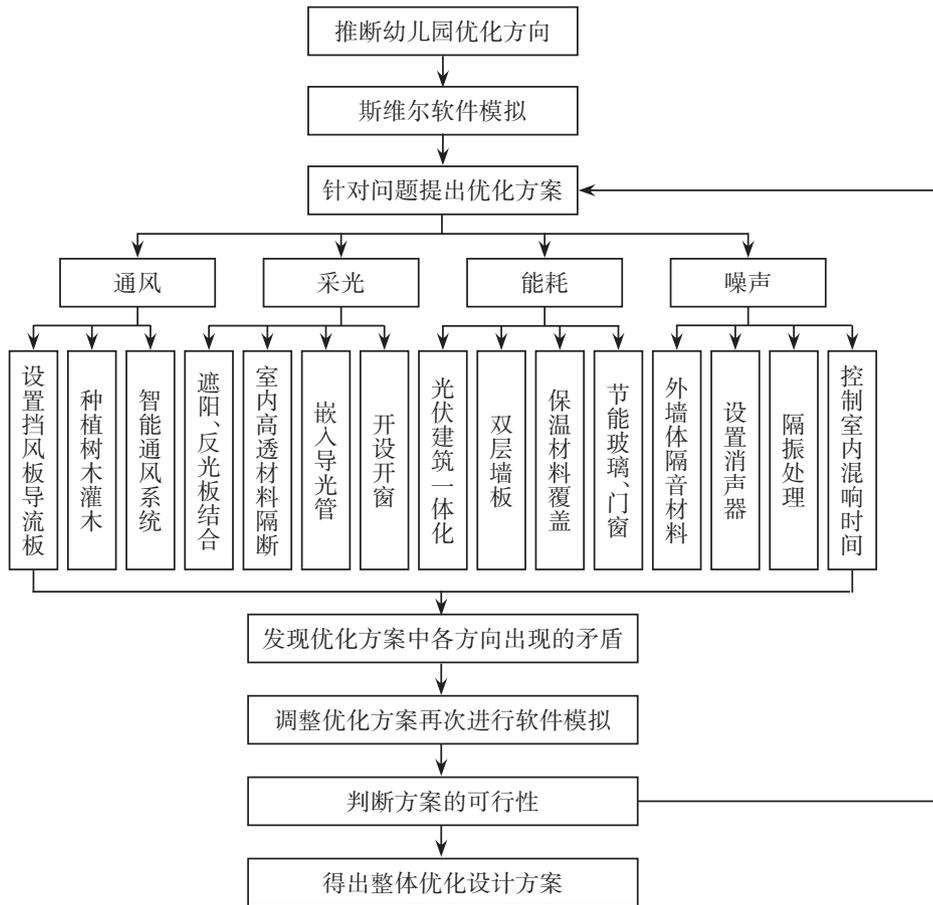


图6 研究框架图

### 3 数据分析及优化方案

#### 3.1 通风模拟及优化方案

##### 3.1.1 冬季室外风环境模拟分析

通过冬季水平面风速云图(图7)可得,全区风速较低,地区内气流较为平稳,环境舒适度良好。但通过风速放大系数云图(图8)中的数据发现,建筑周围出现了风速放大系数大于2的超限区域。心湖幼儿园迎风面的平均风压为4.07 Pa(图9),背风面的平均风压为4.03 Pa(图10),两者风压差为0.04 Pa,满足规范标准。

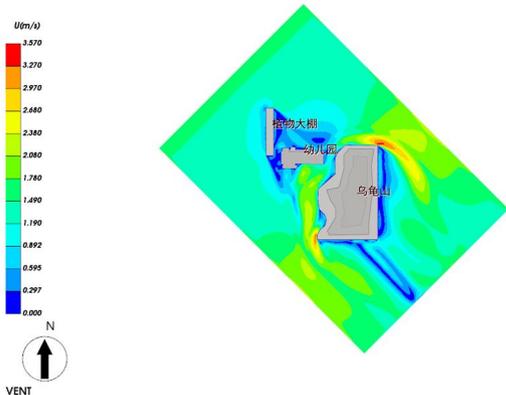


图7 计算域内1.5 m高度水平面风速云图

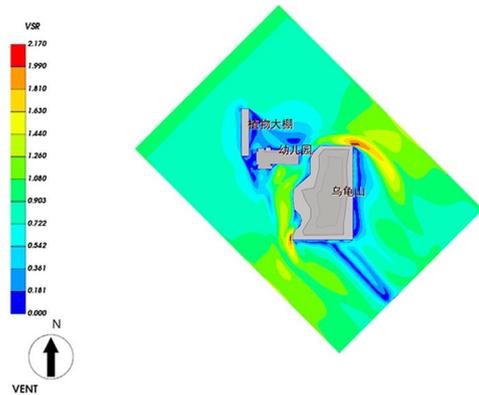


图8 1.5 m高处风速放大系数云图

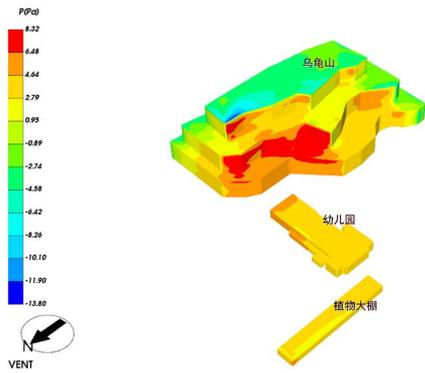


图9 建筑迎风面平均风压云图

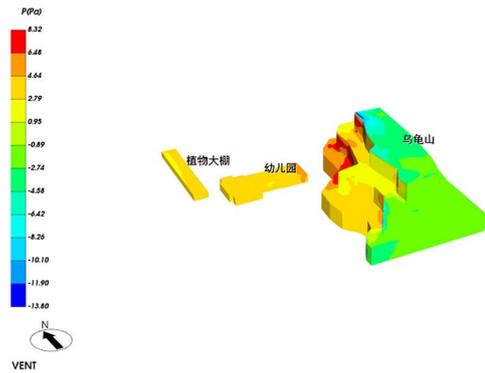


图10 建筑背风面风压云图

### 3.1.2 夏季室外风环境模拟分析

夏季水平面风速矢量图(图 11)和夏季水平面风速云图(图 12)数据显示计算域内没有明显的旋涡产生,但人行区出现了风速小于 0.20 m/s 的超限区域,因此不满足绿标要求。

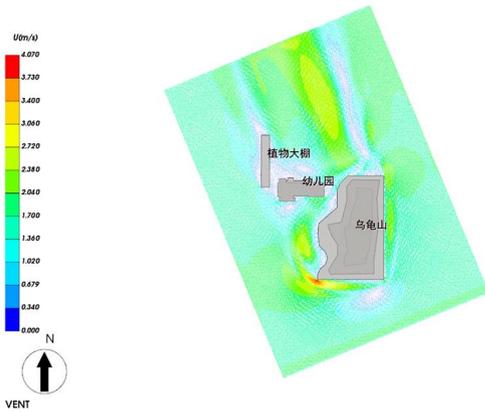


图11 1.5 m 高度水平面风速矢量图

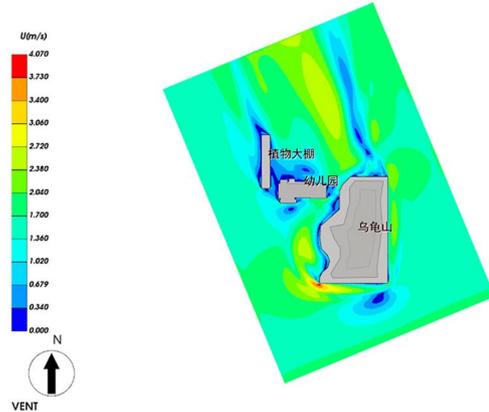


图12 1.5 m 高度水平面风速云图

夏季工况下存在外窗表面风压小于 0.50 Pa 的外窗区域(如图 13~14 所示):心湖幼儿园可开启外窗 229 扇,室内外风压差大于 0.50 Pa 的外窗有 110 扇,所占比例为 48.03%,不满足标准要求。

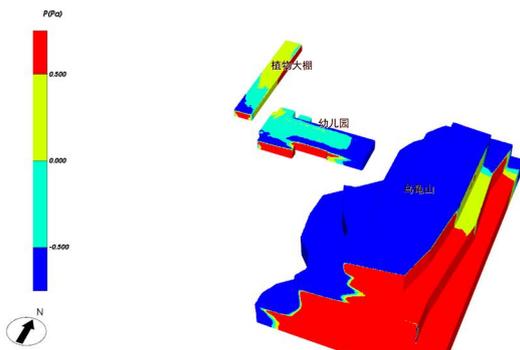


图13 建筑迎风面外窗表面风压云图

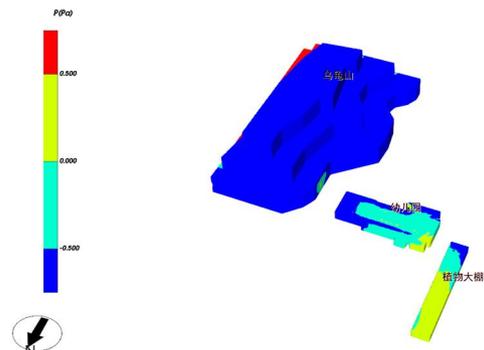


图14 建筑背风面外窗表面风压云图

### 3.1.3 通风模拟问题分析

冬季:人行区没有出现风速大于 5 m/s 的区域,儿童娱乐区没有出现风速大于 2 m/s 的区域;人行区出现风速放大系数大于等于 2 的区域,结果不达标。

夏季:人行区存在无风区;外窗室内外表面的风压差小于 0.50 Pa,结果不达标。

### 3.1.4 通风优化方案

为了综合改善风场中存在的问题,可以采取以下一系列措施:针对冬季强风,设计季风防护设施,如

挡风墙或导流板以此减少冬季风速放大效应;考虑夏季通风需求,通风塔或通风口的设计应能引导风流,增加人行区的风速;同时合理利用植被缓冲区,在建筑周围设置树木或灌木,既可以降低冬季风速,又能增强夏季空气流通;在后期改造时避开易产生涡旋的结构,并使用可调节的外窗设计,必要时也可安装智能通风系统。室内通风则可通过设置导风板改变窗口附近的风压或风向,从而达到聚集或引入气流的目的;同时,可以利用滑轨和旋转轴,改变导风板的位置,甚至转换导风板为挡风板,以适应不同风向,从而减少进入室内的风量,适应不同季节。

## 3.2 采光模拟及优化方案

### 3.2.1 采光模拟数据及分析图

一次模拟中采光总计达标面积比例为 52%(如图 15~16 所示),达标率相对较低。



图 15 一层采光分析彩图

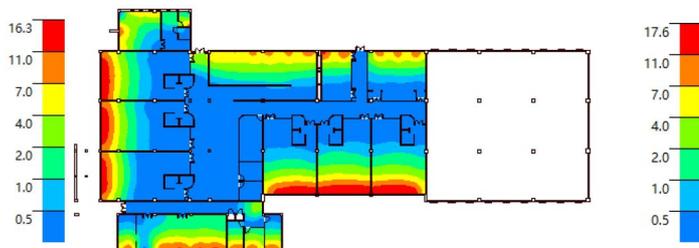


图 16 二层采光分析彩图

### 3.2.2 采光模拟结论及不足

由图 15~16 可知,心湖幼儿园普通教室的采光基本满足要求,但开放式活动空间以及廊道的采光极差,不能满足基本要求。

### 3.2.3 采光改造方案

通过设置外反光板(如图 17 所示)增加进入室内的光线和提高大进深空间的光照均匀程度,但可能会导致光线过多进入室内而产生眩光等问题。遮阳板保证了热环境的同时也影响了建筑的采光,故可采用遮阳板与反光板结合的策略:遮阳板分上部采光高侧窗和下部观景窗,上部高侧窗采用高反射率材料;同时,光滑程度要适当,防止在天花上产生光斑;室外反光板采用铝制板材或者外包铝板。

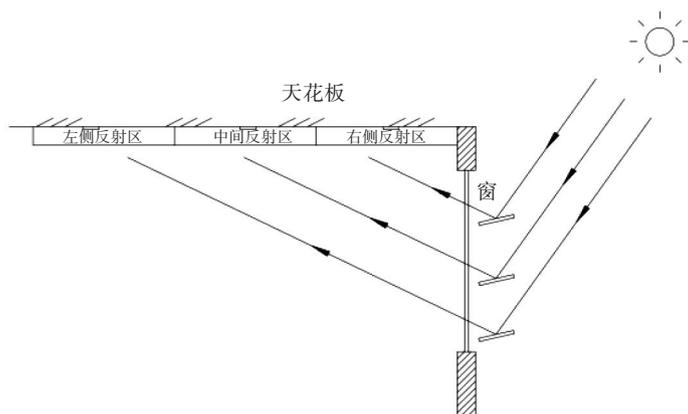


图 17 外反光板原理图

室内采用高透光材料如透明玻璃、聚碳酸酯(PC)板等材质的隔断墙,在增加采光量的同时保持视野清晰和光线均匀;装修材料上选择高反射性的颜色,以增加光线的反射和散射,提高室内亮度;在屋顶设置天窗,打通一二层平面,采用玻璃幕墙隔断连接打通处,将阳光引入一、二层室内,增加室内自然光线的强度和范围。

### 3.2.4 采光二次模拟数据及分析图

二次模拟采光总计达标面积比例为 70%, 采光分析如图 18~19 所示。



图 18 一层平面采光



图 19 二层平面采光

### 3.2.5 二次采光模拟结论及二次优化方案

由前后两次采光模拟结果可知:心湖幼儿园采光总计达标面积比例由 52% 上升至 70%。但因建筑平面进深过长,中间仍存在光照不足的现象。考虑到设置天窗在横向空间内中的局限性,在第二次改造中引入光导管(如图 20~21 所示),将光线引入室内,以改善二次模拟中仍存在缺陷的空间。

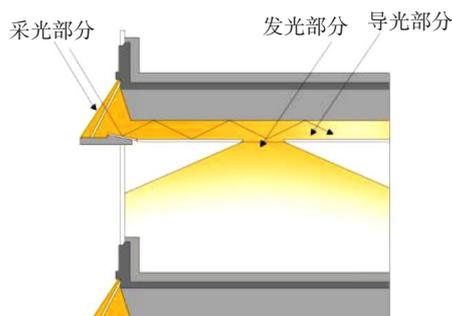


图 20 反光板原理图

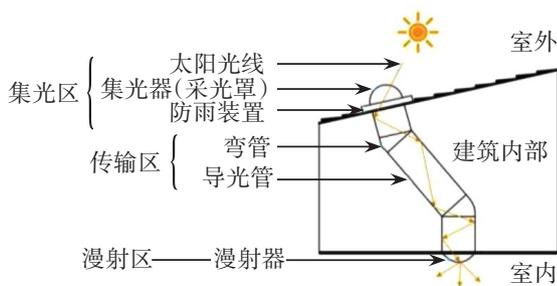


图 21 导光管原理图

## 3.3 能耗分析及优化方案

### 3.3.1 能耗分析

由于建筑改造原本的缺陷,在建筑中部功能区域出现了自然光照不足的现象(如图 22 所示)。因此,心湖幼儿园需要长时间开启人工照明,以确保室内光线充足,满足孩子们的活动和学习需求(如图 23 所示)。但长时间的人工照明会显著增加幼儿园的能源成本,对运营造成经济压力。



图 22 心湖幼儿园走道(无灯)



图 23 心湖幼儿园某教室(照明)

因心湖幼儿园由厂房改造,所以建筑最初围护结构的保温隔热性能不佳,未能达到幼儿建筑的标准,会导致建筑在冬季热量散失过快,在夏季热量进入过多,增加了供暖和制冷系统的能耗,对建筑的能耗产

生了直接的影响。

### 3.3.2 能耗优化方案

心湖幼儿园处于一个较为开阔地带,四周无较高的建筑以及高山遮挡,具有较充沛的太阳能。因此,可通过太阳能热水器以及太阳能光伏发电两种技术与屋顶、立面等建筑构件结合,形成建筑一体化设计,如图24所示,并用光伏器件代替部分建材发电。



图24 光伏建筑一体化应用方式示意图(源自“玻璃工业网”)

在建筑外墙设置由内外两层墙板组成的双层墙板,双层墙体的外墙成为遮阳挡热的墙体,内外墙体之间形成了一个隔热层,有效减缓了热量的传递。在冬季,它可以阻止室内热量向外散失,保持室内温暖;在夏季,则可以阻挡外界热量进入室内,降低室内温度。有助于降低建筑能耗,提高能源利用效率。屋顶则可采用保温材料进行覆盖,如保温棉、保温板等,以减少热量的传递。

同时,选用节能玻璃、节能门窗等,提高建筑外围保护结构的保温隔热性能。如采用双层或三层中空玻璃,以提高窗户的保温性能。此外,窗户的密封性能也至关重要,以避免冷空气的渗透和热量的散失。

## 3.4 噪声分析及优化方案

### 3.4.1 噪声分析

噪声主要有两个来源:一是来自建筑北临操场(图25),操场上的活动过于嘈杂影响教学质量和幼儿的专注度;二是来自东侧的实践基地(图26),在学生使用器械时会产生大分贝的噪声。



图25 北侧操场



图26 室内体育场(现为大学生实践基地)

如果幼儿建筑与操场、体育场之间没有有效的隔音措施,其产生的噪声可能会干扰到建筑内的教学活动。

### 3.4.2 噪声优化方案

心湖幼儿园建筑主要功能房间的噪声来源分为室外、室内两部分。室外可通过增强建筑物围护结构的隔声能力——外墙体上设置由聚苯乙烯泡沫塑料颗粒为主,水泥、水或其他原料为辅构成建筑材料隔声。室内主要从4个方面入手:一是对噪声大的空间进行建筑构件上的隔声处理,防止干扰周围教室;二是对设备进行降噪消声,设置消声器减少噪声传播;三是对建筑进行隔振处理,切断声音传播,避免固体传播造成室内噪声干扰;四是控制园中大型活动场所的混响时间,防止共振让人产生不适。

## 4 项目总结

### 4.1 改造与预期

在整体改造中,采光优化是难度最大的,通过二次模拟得出的数据可知:建筑内开放式活动空间以及廊道的采光得到了较大程度的改善,达到了基本的预期。但是通过改造后,建筑内仍有小部分空间可能会出现自然光照过强以及眩光的现象,因此在后期实施改造时,应综合考虑两者间的联系,对利弊进行取舍,为幼儿生活学习提供最佳的舒适环境。

### 4.2 节能措施

本项目在通风、采光、能耗、噪声 4 个方面的节能措施以及预期达到的效果,如表 1 所示。

表 1 节能措施与预期效果汇总

项目	措施	预期效果
室外风环境	设计季风防护设施,如挡风墙或导流板	减少冬季风速放大效应
	在建筑周围设置树木或灌木	冬季降低风速 夏季增强空气流通,提高人行区风速
	设计能引导风流的通风塔或通风口	增加夏季人行区的风速
	建筑使用可调节的外窗设计以及安装智能通风系统	使夏季人行区的风速适宜
室内通风	设置导风板	改变窗口附近的风压或风向,从而达到聚集或引入气流的目的,改善室内通风
	设置导风板,同时利用滑轨和旋转轴,改变导风板的位置,甚至转换导风板为挡风板	适应不同风向,从而控制进入室内的风量,适应不同季节
采光	遮阳板与反光板结合	增加进入室内的光线 提高大进深空间的光照均匀程度
	室内隔断墙采用高透光材料	增加室内的采光量 保持清晰的视野,让室内光线更加均匀
	选择具有高反射性的室内装修材料和颜色	增加光线的反射和散射,提高室内亮度
	在屋顶或高处设置天窗,打通一二层;采用玻璃幕墙隔断	将阳光引入室内深处,增加室内自然光线的强度和范围
	在墙壁中嵌入导光管	将光线引入室内
能耗	利用太阳能热水器以及太阳能光伏发电两种技术与屋顶、立面等结合形成建筑一体化设计	光伏器件代替部分建材发电,降低建筑能耗
	在建筑外墙设置双层墙板	减缓热量的传递,有助于降低建筑能耗,提高能源利用效率
	屋顶采用保温材料进行覆盖	减少热量的传递,有助于降低建筑能耗
	选用节能玻璃、节能门窗	增强窗户的密封性能,以避免冷空气的渗透和热量的散失
噪声	外墙体上设置特殊建筑材料,与双体墙板进行拼接形成完整的建筑结构墙板	增强建筑物围护结构的隔声能力
	对于噪声较大的使用空间进行建筑构件上的隔声处理	防止其对周围教室的噪声干扰
	对设备设置消声器等装置	减少噪声的传播
	对建筑进行隔振处理,在建筑构件上切断或降低声音的传播	避免固体传播造成室内噪声干扰
	对幼儿大型室内活动场所,控制室内混响时间	防止产生共振让人体感到不适

### 4.3 总结思考

本文以心湖幼儿园为例,基于绿色建筑技术对幼儿园整体优化改造进行探究。借鉴传统改造手法,剖析当今新技术,以计算机模拟作为辅助,总结适用的改造策略。设计优化中以儿童使用安全度、舒适度、丰富度和绿色建筑推广实施为主要目的,以期对今后幼儿园的整体优化绿色改造提供一定的参考价值。

心湖幼儿园绿色建筑改造在当下仍缺乏相应的指导规范,各地规范差别也较大,若能出台全国性较为系统的规范进行总体指导,会让幼儿园绿色建筑产生质的改变。同时,我国幼儿园绿色改造正处于发展萌芽阶段,此阶段的设计团队应该认真学习在同样条件下,发达国家幼儿教育的教育理念及绿色改造和设计方法,这样对于未来发展中可能会遇到的问题有一定的预估,并针对幼儿园现有情况作出选择性学习应用。

#### 参考文献:

- [1]侯兴华,何飞.高校校园绿色建筑技术应用研究[J].山西建筑,2016,42(24):180-182.
- [2]徐汉忠.碳中和趋势下医院项目绿色建筑技术的应用探讨[J].建筑技术开发,2022,49(23):171-173.
- [3]王冠.低碳理念融入建筑设计工作的路径分析[J].住宅与房地产,2023(15):74-76.
- [4]汤忠惠.绿色建筑理念在学校建筑设计中的应用研究[J].工程技术研究,2023,8(21):190-192.
- [5]LI X,FONG P S W,DAI S L,et al. Towards sustainable smart cities: An empirical comparative assessment and development pattern optimization in China[J]. Journal of Cleaner Production,2019,215:730-743.
- [6]CHUKWU D U,OMEJE H,OKEREKE G K,et al. Lecturers' perception of green building technology:Implications to sustainable construction and environmental education in Anambra state,Nigeria[J]. Ecology,Environment and Conservation,2022.

## Research on the Overall Optimization of Kindergartens Based on Green Building Technology

— Take Xihu Kindergarten as an Example

Teng Rui, Shi Wenjing, Huang Lingding, Wang Bo, Yan Feng

(School of Civil Engineering and Architecture, Taizhou University, Taizhou 318000, China)

**Abstract:** At present, in the pursuit of green, environmental protection and energy saving in the context of the era, the overall optimization design of the kindergarten is particularly important. Based on green building technology, the overall optimization design of Xihu Kindergarten is carried out and found that there are deficiencies in ventilation, lighting, energy consumption and noise control in the actual design process of the kindergarten, which directly affect the children's learning environment and physical and mental health. In order to solve these problems, the research team has applied software simulation technology to conduct an in-depth study of ventilation, lighting, energy consumption and noise in kindergartens. Through the simulation analysis, targeted optimization solutions have been found, such as setting up reflectors, planting green plants, and photovoltaic building integration. After optimization, the natural lighting rate and ventilation effect of the kindergarten have been significantly improved, and the energy consumption and noise level have also been significantly reduced. Through the application of green building technology, the optimization and improvement of the kindergarten environment are realized, and a more comfortable, healthy and energy-saving learning environment is created for the children.

**Keywords:** green buildings; kindergarten; thsware; simulation; remodel

# 计算机编程教育现状分析与教学改革策略

王丹丹

(台州学院 电子与信息工程学院, 浙江 台州 318000)

**摘要:** 计算机编程类课程的教学是一项充满挑战的任务,其内容的广泛性、概念的抽象性以及语法规则的严格性,都对教学质量提出了极高的要求。为了深入理解并应对这些挑战,对中国知网3700余篇计算机编程相关研究论文进行了深入分析,采用关键词提取、关键词共现图谱分析和关键词时间线演变等研究方法,全面探讨了近20年中国计算机编程教学策略的演变过程,并对当前教学实践中存在的问题进行了深入地剖析。研究结果不仅揭示了教学策略随时间的发展趋势,而且还识别出了教学实践中的一些关键挑战,并针对这些挑战提出一系列具体的教学改革策略,以期为我国计算机编程教学改革提供有益的参考,为教育实践和创新方向提供清晰的指引。

**关键词:** 计算机编程;关键词共现图谱;时间线演变;教学策略

DOI:10.13853/j.cnki.issn.1672-3708.2024.06.010

## 0 引言

随着科技的进步,我国对科技人才的渴求日益增长。为此,国务院发布了《新一代人工智能发展规划》,教育部、工业和信息化部、中国工程院联合发布了《关于加快建设发展新工科实施卓越工程师教育培养计划2.0的意见》等政策,以加快新工科人才的培养,尤其是大数据、人工智能等关键领域的专业人才<sup>[1]</sup>。计算机编程课程作为这些新兴学科的核心课程,不仅为学生学习先进技术、处理复杂问题提供了必要的理论和实践支持,而且在培育高质量工程技术人才方面起到了至关重要的作用<sup>[2]</sup>。因此,强化计算机编程类课程的设置和教学方法的创新尤为迫切。

计算机编程类课程是技术性极强的专业课程,其内容涉及广泛、概念抽象,并且对语法规则有严格的要求,这些因素使得课程面临高质量、灵活教学的挑战<sup>[3]</sup>。本文对近年来计算机编程类课程的教学模式和方法进行了多角度分析,揭示了当前教学实践中的局限性和挑战性,并在此基础上,提出了一系列创新且实用的教学改革策略,以促进计算机编程教育的进步和发展。

## 1 数据采集方法及分布

为了确保研究数据的质量和广度,本文采取了多维度的数据采集策略。运用中国知网(CNKI)这一权威数据库,采取主题检索和中英文文献扩展的方法,全面搜集了1996年1月1日至2024年7月2日以来与计算机编程教学策略相关的文献资料。检索主题为:“计算机编程 + C语言 + Python + Java + C++” AND“教学模式”。搜索条件中的运算符“+”表示各关键词之间“或”的关系,“AND”表示“与”的关系。需要

收稿日期:2024-07-02

基金项目:教育部人文社会科学研究项目(24YJCZH285);教育部产学合作协同育人项目(231100461225050);浙江省教育科学规划课题(2024SCG176);浙江省自然科学基金探索项目(LQ24F020014)

作者简介:王丹丹(1985—),女,黑龙江七台河人,高级实验师,博士,主要从事人工智能、大数据分析等研究。

注意的是,在使用运算符“+”时,关键词前后应保持适当的空格。通过精细化检索条件的设定,确保了数据的针对性和专业性。在检索过程中,不仅关注了学术期刊和学位论文,还包括了图书等更为丰富的文献类型,以期从不同角度和层次全面了解教学改革的发展脉络。

在收集到的3700余篇研究论文中,学术期刊文章占据了较大的比例,达到了3000余篇,这反映了计算机编程相关教学研究成果的广泛学术传播和深远影响。同时,学位论文有300余篇,这些高质量的论文提供了教学实践中的具体案例和深层次分析。此外,会议论文和图书则为本研究提供了坚实的理论基础和丰富的教学经验。从时间分布上看,自1996年至今,关于计算机编程教学策略的研究呈现出明显的上升趋势,特别是在2021年,受教育信息化的驱动,相关研究论文数量达到了344篇。尽管在后期的研究中,论文数量有所波动,但整体仍然保持在较高水平,这表明计算机编程教学改革是一个持续受关注且充满活力的领域。1996—2024年计算机编程教学策略相关论文年度发文量趋势如图1所示。

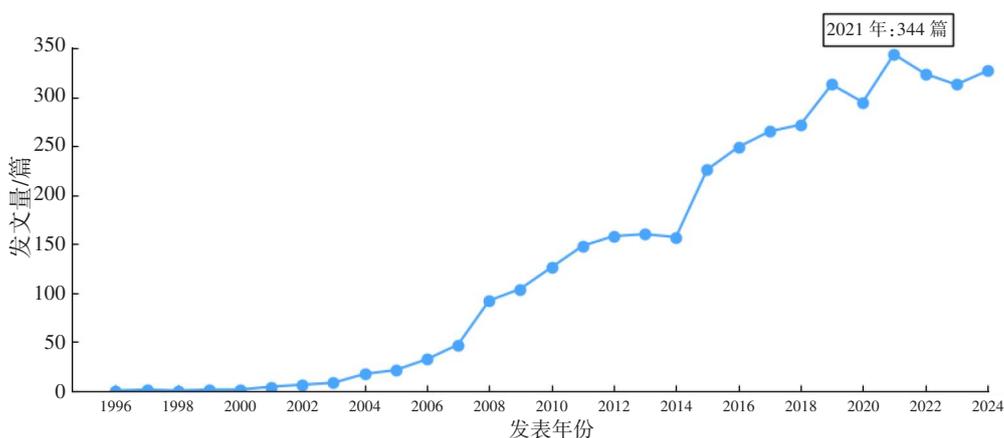


图1 1996—2024年计算机编程教学策略相关论文年度发文量趋势

本文广泛搜集并分析了涉及多个层面的关于计算机编程教学探索的论文,这些论文覆盖了C语言、Python、Java等核心编程课程。论文内容不仅深入探讨了各种教学理念与方法,如成果导向教育(outcome-based education, OBE)<sup>[4]</sup>、案例教学法<sup>[5]</sup>、项目驱动学习<sup>[6]</sup>等,还涉及了线上线下<sup>[7]</sup>、翻转课堂<sup>[8]</sup>、混合式教学<sup>[9]</sup>等新兴教学模式,同时涵盖了对教学改革、教学模式以及教学方法的多方面探讨,从不同视角反映了计算机编程教育的最新发展。研究论文的主题分布如图2所示。

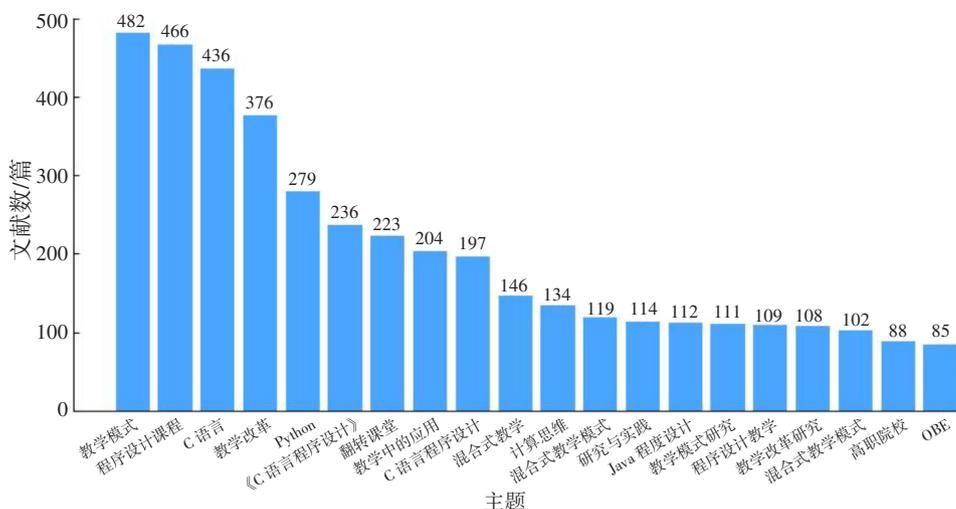


图2 研究论文的主题分布

## 2 数据分析与可视化

为了深入理解编程语言的教学现状和发展趋势,本文以 C 语言为例,筛选出主题为“C 语言”的 436 篇相关学术论文进行细致的文献分析。在这些文献中,共提取出 250 多个关键词,并采用 Citespace 软件通过构建关键词共现图谱以及进行时间线演变分析,对 2001—2024 年 C 语言教学方法的种类、特征以及演化规律进行了全面研究。

### 2.1 关键词提取

本文的关键词数据分析覆盖了 20 余年的文献资料,深入探讨了教学改革这一学术领域内的热点问题。在分析过程中,发现“翻转课堂”和“任务驱动”<sup>[10]</sup>尤为受到学者的青睐,其在文献中出现的频次高达 20 次以上。显然,这些教学方法凭借其独特的互动性和实践性,已经成为教学改革领域的一大亮点,为众多研究提供了丰富的研究素材和理论支撑。此外,通过分析发现,与“教学模式”紧密相连的关键词多达 90 多项,包括“任务驱动”“计算思维”“思维导图”“渐进体验”“翻转课堂”等。这表明,计算机基础课程建设与教学方法的革新是相辅相成的,而计算机课程的教学模式和方法的创新,是推动教学改革不可或缺的动力。

在提升教学效果和质量的探索中,学者们提出了诸多新颖的教学方法和理念,例如“翻转课堂”“实践能力”“计算思维”等。这些方法和理念的提出,不仅丰富了教学改革的内涵,也为提高教学效率和学生的综合素质提供了新的路径。特别是在当前社会主义教育的大背景下,将课程思政元素融入教学内容,更是体现了教育的人文关怀和社会责任。值得一提的是,随着教育技术的不断进步和创新思维的引入,更多具有前瞻性的教学模式开始涌现,如“渐进体验”“分层教学”“文化自信”“思维导图”以及与“大数据”“人工智能”相关的技术等。这些新兴的教学方法都在试图突破传统的教学范式,以更加适应现代教育需求和学生的个性化学习。具体关键词信息如表 1 所示。

表 1 关键词详细信息

序号	频次	首次出现时间/年	关键词
1	50+	2001	教学模式、C 语言
2	20+	2001—2014	教学改革、程序设计、翻转课堂、教学方法、任务驱动、教学
3	10+	2005—2015	实践教学、实验教学、微课、案例教学、计算思维、自主学习等
4	5+	2005—2022	课程改革、应用型、教学质量、函数、创新、课程思政、项目驱动、线上线下、学习兴趣、新工科、阶梯递进、对分课堂等
5	5-	2001—2024	综合素养、渐进体验、文化自信、分层教学、创客教育、大数据、实例教学、元宇宙、智慧课堂、核心素养、深度学习、思维导图、人工智能、雨课堂、趣味教学、创新研究、异步教学等

### 2.2 关键词共现图谱分析

关键词共现图谱可视化地揭示了 C 语言教学研究中的热点问题和主要研究方向,能够直观显示各个关键词之间的联系和权重。在如图 3 所示的关键词知识图谱中,关键词的大小代表了在多篇文献中的出现频率,越大则表明该关键词受到了越多的关注和讨论。关键词之间的连线则揭示了关键词对之间的共现关系,即在文献中被共同提及的频次。

从图 3 可以发现几个显著的特点:(1)传统的 C 语言教学方法如“任务驱动”“案例教学”“实验教学”和“实践教学”依然是教学过程中的基础和核心,为学生提供了坚实的基础和实用的技能。这些方法注重实践和应用,使学生能够在实际操作中学习和掌握 C 语言编程的原理和技巧。(2)新兴的教学模式如“翻

转课堂”“课程思政”“对分课堂”和“分层教学”等正在逐渐崛起,成为教育研究的新焦点。这些模式试图打破传统的教学范式,通过创新的教学策略和环境,提高学生的学习兴趣和效果。(3)“教学模式”这一关键词与其他关键词有着最为紧密的关联。这表明,无论是在传统教学方法还是新兴教学模式的探索中,教学改革都是一个贯穿始终的主题。该关键词与“案例教学”“程序设计”“计算思维”以及“教学实践”等关键词的紧密联系,进一步强调了在 C 语言教学过程中,不仅要关注知识的传授,还要重视能力的培养与思维的发展。

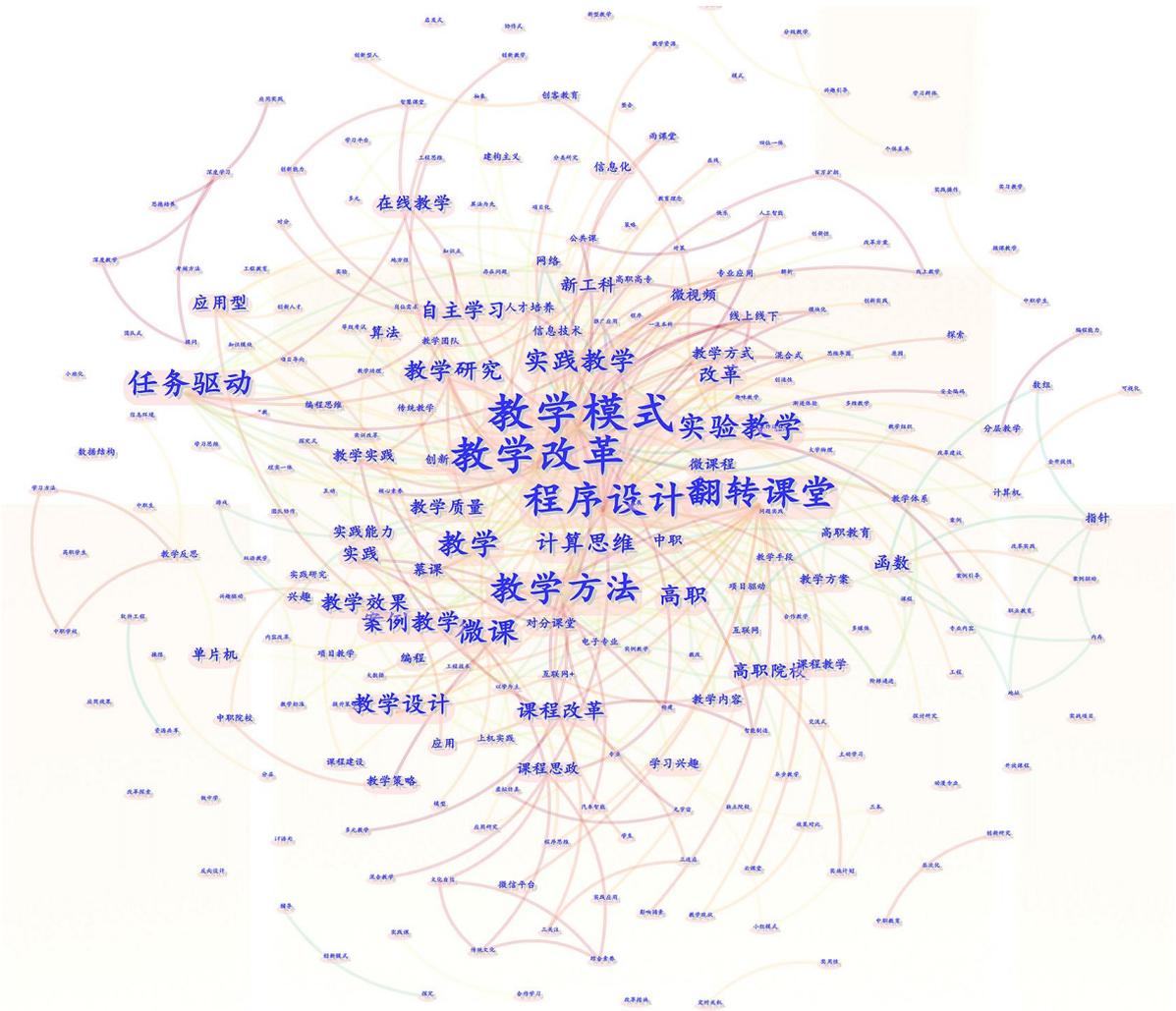


图 3 关键词知识图谱

### 2.3 关键词时间线演变分析

为了更深入地理解和阐释 C 语言教学改革的发展脉络与演进轨迹,本文采用用户指定相关性聚类 (user-specified relevance clustering, USR) 分析方法对相关领域的文献进行主题分类。通过对关键词的聚类处理,划分了九个主要簇群,分别是“计算机”“教学改革”“程序设计”“案例教学”“兴趣”“实践教学”“翻转课堂”“案例教学法”“案例驱动”。这些簇群不仅揭示了 C 语言教学研究的热点领域,也体现了教学方法与教学理念的多样性。通过时间线演变分析,追踪了这些教学主题随时间的推移而发生的动态变化。如图 4 所示的时间线分布图,每一条时间线都代表了一个特定的簇群,其由左至右的延伸正对应着时间的流逝。

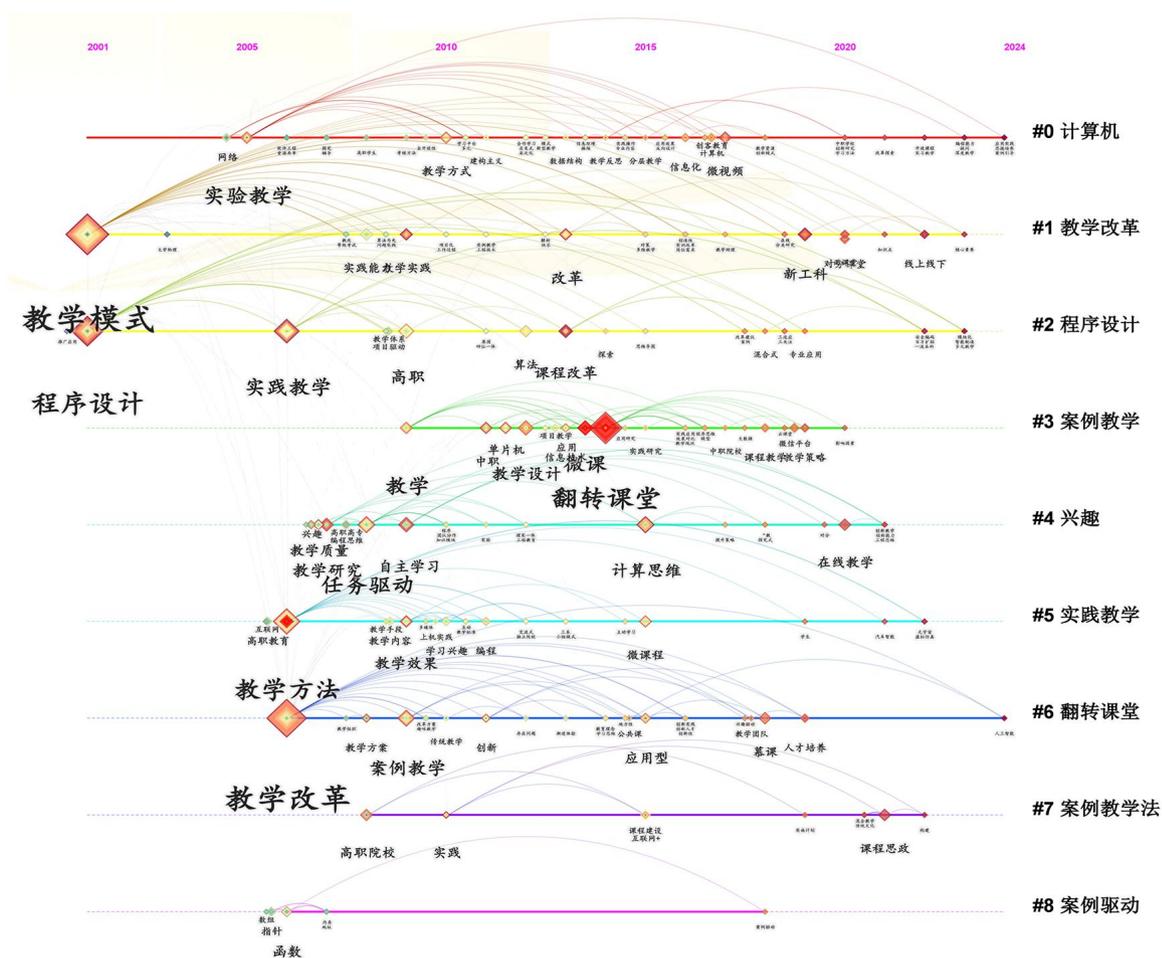


图4 主题时间线分布

在图4中,通过菱形点的大小和关键词字体的加粗程度,可以直观地识别出在各个时期受到特别关注的教学主题。通过细致观察,可以辨识出C语言教学改革的几个主要阶段:

(1)在早期阶段,计算机课程教学主要集中在基础的程序设计和算法教育上,同时辅以案例教学法来增强学生的理解与应用能力。随着教育技术的革新和教育理念的更新,从2010年开始,教学方法开始引入“阶梯递进”“趣味教学”“渐进体验”“翻转课堂”等新的教学模式,以及强调一体化和层次化的教学设计。

(2)到了2015年,教学领域出现了更多的创新,例如“计算思维”<sup>[11]</sup>“分层教学”<sup>[12]</sup>“思维导图”<sup>[13]</sup>以及“微课教学”<sup>[14]</sup>等。这些新的教学方法都旨在激发学生的学习兴趣,培养他们的创新能力和实际问题解决能力。自2016年以来,C语言编程课程的教学更加注重与职业岗位需求的对接,强调实际案例的分析与编程实践。同时,“雨课堂”“线上线下”融合的教学工具以及混合式教学模式的出现,为教学提供了更加多元化和灵活性的选择。此外,教学中开始注重融入思政元素,旨在培养学生的社会主义核心价值观,增强他们的国家文化自信。

总结来看,C语言教学的改革旅程清晰地反映出了从传统语法与结构教学向实践导向、创新能力和计算思维培养的转变。同时,授课方式从单一的传统课堂向多元化的混合式教学转变,这一变化不仅标志着教育理念的进步,也体现了对教学目标的深层次理解和教学方法的灵活运用。

### 3 教学局限性与挑战

自2006年以来,计算机编程类课程引起了众多学者的关注,国内大量专家和学者对授课方式及学习方法提出了多种提升策略。然而,课程教学仍然面临着诸多挑战,主要包括以下3方面:

(1)学生基础水平和接受能力差异较大,难以满足个性化培养需求。在当前教育背景下,学生之间的专业基础水平和接受能力存在显著差异。这使得授课教师在制定教学内容和习题时,难以满足每个学生个性化的培养需求。由于学生在编程知识的理解和掌握程度上不尽相同,固定的习题模式和统一的教学内容难以满足差异化的培养需求,从而影响了个别学生的学习效果。

(2)课堂时长与教师精力有限,难以解答所有学生疑问。在当前教学框架下,课堂时长的限制和教师精力的有限性使得教师难以逐一解答每位学生的问题。这种情况导致了学生与教师之间的互动偏少,学生在面对编程练习中的难题时,往往难以获得及时的帮助。长期下来,学生可能会感到困惑和挫败,进而影响其学习的积极性和主动性。

(3)教学环境单一,传统授课方式影响学习效果。目前,计算机编程类课程通常采用传统的课堂授课方式,这种方式以教师为中心,缺乏足够的互动和参与性,导致教学效果较为一般。传统的授课方式难以激发学生的学习兴趣,满足学生多样化的学习需求。因此,需要探索新的教学模式和方法,以创造更加生动、互动的学习环境,提高计算机编程类课程的教学质量。

### 4 教学改革策略

针对当前计算机编程类课程教学局限性,本文提出采用个性化学习方案推荐、构建数智教师和“多场景”教学模式,以期突破限制,提升教学效果。具体实施方案如下:

(1)实施个性化学习方案推荐,加强薄弱环节辅导。建立一个系统化的个性化学习方案生成机制,充分考虑学生间的个体差异,提供符合实际情况和兴趣的学习路径与资源,利用智能算法和数据分析,为每位学生量身打造独一无二的学习计划,以此提高学生的学习效率和动力。

(2)构建数智教师与交互式问答学习平台,解决学习困惑。借助大模型实现对学生学习过程中的即时指导,数智教师能够提供灵活的学习时间选择,以及复习和互动交流的机会,从而增强学生的学习体验。这一方案旨在确保每位学生在遇到问题时,都能获得必要的支持和解答,进而在整个教学过程中提升学生学习积极性和参与度。

(3)融入“多场景”教学模式,构造沉浸式学习环境。通过与企业合作,共同开发实践课程,并利用虚拟现实和全景展示技术,为学生提供更加真实和多样化的学习场景。学生不仅能够通过理论学习掌握编程知识,还能在模拟的实战环境中亲自操作,体验真实的工作流程,深化对专业知识的理解和应用。

### 5 总结

本文对CNKI上检索出的3700余篇计算机编程类相关研究论文进行了深入分析。通过关键词提取、关键词共现图谱分析以及关键词时间线演变研究,对20余年中国计算机编程教学策略的演变历程进行了全面梳理,对当前教学实践中的挑战进行了深入剖析,并提出了可行的教学改革策略。通过本文的研究,期望为我国计算机编程教学改革提供有益的参考,推动教学实践与技术创新的进一步融合,为培养更多优秀的计算机编程人才贡献力量。

**参考文献:**

- [1] 顾小清,李世瑾,李睿. 人工智能创新应用的国际视野:美国 NSF 人工智能研究所的前瞻进展与未来教育展望[J]. 中国远程教育,2021(12):1-9.
- [2] 华晓锋,陈月芬,陈荣钦.“新高考”背景下 C 语言程序设计课程教学改革与实践:以台州学院为例[J]. 台州学院学报,2024,46(3):77-81.
- [3] 郭飞飞,拓明福,李超.Python 语言程序设计课程“四维六阶段”混合式教学探索[J]. 计算机教育,2024(6):141-145.
- [4] 杜少波,李静. 融入 OBE+课程思政的 Java 程序设计课程教学研究[J]. 高教学刊,2024,10(15):116-119.
- [5] 乔善平,黄艺美,吴鹏,等. 基于案例驱动的 Java 程序设计课程教学模式改革与实践[J]. 计算机教育,2024(3):95-100.
- [6] 廖俊国,梁伟,韩雪,等. 学以致用项目驱动式教学研究:以财务管理专业 Python 语言程序设计课程为例[J]. 高教学刊,2024,10(4):58-61.
- [7] 赵春霞,赵营颖,张赟. 软件工程课程线上线下混合式教学模式探讨[J]. 中国教育技术装备,2022(2):62-64.
- [8] 汪云路,王慧,邱洪君. 基于翻转课堂模式推行高阶性实验的实践:以《信息隐藏技术》为例[J]. 大众科技,2021,23(9):99-101.
- [9] 白琳. 数据驱动的数据库课程混合式教学模式创新[J]. 科技风,2023(36):134-136.
- [10] 张翔. 交互式一体机环境下中职计算机专业案例教学模式的构建与思考[J]. 学周刊,2022(26):3-5.
- [11] 孙文杰,李睿,段继豪,等. 基于科学计算思维与创新能力的培养的教学探索:以 C 语言程序设计为例[J]. 大学教育,2023(14):54-57.
- [12] 其曼古丽·加马力丁. 高职院校单片机 C 语言程序设计课程分层教学法研究[J]. 电脑知识与技术,2020,16(32):156-157.
- [13] 谭静雯. 思维导图在计算机编程思维教学中的应用研究[J]. 信息与电脑(理论版),2021,33(4):217-220.
- [14] 张娟,蒋云峰,潘志方,等. 基于微课的综合项目设计法在 C 语言实验课程中的应用[J]. 现代职业教育,2021(6):100-101.

## Analysis of the Current Situation of Computer Programming Education and Research on Teaching Reform Strategies

Wang Dandan

(School of Electronics and Information Engineering, Taizhou University, Taizhou 318000, China)

**Abstract:** Teaching computer programming courses is an inherently challenging task, given the breadth of the content, the abstraction of concepts, and the strictness of grammatical rules, which all require a high standard of teaching quality. To gain a deeper understanding and address these challenges, an in-depth analysis is firstly conducted of over 3 700 related research papers on computer programming from CNKI (China National Knowledge Infrastructure). It employs research methods such as keyword extraction, keyword co-occurrence graph analysis, and timeline evolution to comprehensively explore the evolution of computer programming teaching strategies in China over the past 20 years. Moreover, an in-depth analysis is also conducted of the current issues in teaching practice. The results not only reveal the developmental trends of teaching strategies over time but also identify some key challenges in teaching practice. In response to these challenges, a series of targeted teaching reform strategies are proposed, which provide valuable references for the reform of computer programming teaching in our country and offer clear guidance for educational practice and innovative directions.

**Keywords:** computer programming; keyword co-occurrence map; timeline evolution; teaching strategies

# 论中学数学讲授法中的互动

张晓贵

(合肥师范学院 数学与统计学院, 安徽 合肥 230601)

**摘要:**讲授法在数学教学中的运用价值已经越来越被认可,而互动在数学讲授法的运用中扮演着极为重要的角色。文章分别从对讲授法的误解、社会互动理论和学生的数学学习3个方面提出在中学数学讲授法使用中注重互动的必要性,并举例说明了互动在中学数学讲授法中起到的作用。最后,基于互动对中学数学教师运用数学讲授法提出了几点建议。

**关键词:**数学教学;讲授法;互动

DOI:10.13853/j.cnki.issn.1672-3708.2024.06.011

## 0 引言

讲授法是指教师通过口头语言向学生描绘情境、叙述事实、解释概念、论证原理和阐明规律的教学方法<sup>[1]</sup>。在世界各国的教育改革的进程中,讲授法几乎都是受到冲击的对象,在我国课程改革初期,它同样受到了比较大的打击,一度成为落后教学方法的代表。但这种认识正在逐步改变中,一些学者和教师从理论分析以及实践运用方面论证了讲授法在教学中所发挥的重要作用,得到了诸如“讲授法是一种高级的教学方法”以及“讲授法不同于‘注入式’、不悖于‘启发式’”等结论<sup>[2]</sup>。可以说,讲授法已经被越来越多的学者和教师所认可。

讲授法是一种在几乎所有的学科教学中都可以使用的教学方法,但由于不同的学科有其自身的特点,因此不同学科的教师在使用讲授法时既要体现其共性也要体现学科自身的特点。就中学数学而言,数学教师在教学中运用讲授法不但要体现讲授法的一般特点,还要体现数学学科的特点,将这种一般性和特殊性结合起来,最大限度地发挥讲授法的功能,形成具有数学学科特点的数学讲授法。那么,中学数学教师如何在教学中运用数学讲授法呢?为了能够运用好数学讲授法,教师应将讲授中的互动放在非常重要的位置。所谓数学讲授法中的互动就是教师在运用讲授法时应该注意到教师和学生以及学生和学生之间的基于数学教学内容的互动。本文从两个方面对数学讲授法的互动进行了探讨,首先回答了中学数学讲授法中要注重互动的原因,其次基于互动,对中学数学教师运用数学讲授法提出一些建议。

## 1 中学数学讲授法为什么要注重互动

### 1.1 从对讲授法的误解看注重互动的必要性

对讲授法最主要的误解是将其与注入式教学画等号,由于注入式教学与启发式教学是相对立的,因此,这也就将讲授法与启发式教学相对立了。由于启发式教学被广泛认可,导致到目前为止在一定程度上仍然存在对讲授法的种种责难。所谓注入式教学是指教师在教学过程中将学生看成是知识的容器,忽视他们的知识基础、接受能力和情感态度,不断地向他们灌输知识并要求他们记住这些知识。与注入式教学

收稿日期:2024-08-13

基金项目:合肥师范学院2022年度校级重点科研项目(2022JCJYZD11)

作者简介:张晓贵(1965—),男,安徽肥东人,教授,博士,主要从事数学教育研究与教学。

相反的启发式教学则是指遵循教学规律,充分调动学生学习主动性和积极性的一种教学类型。注入式和启发式是教学思想,它们体现在一定的教学方法中,而讲授法是一种具体的教学方法,可以有体现注入式的讲授法,也可以有体现启发式的讲授法。注入式教学的主要特点是教师和学生之间的关系是单向的,即教师作用于学生而学生被动地受作用于教师。而启发式教学的主要特点是强调了教师和学生的相互作用,正如很早就有学者指出:启发式教学是教师向学生提出足以鼓舞学生思维的问题,使学生自觉地、深思熟虑地按照教师所指示的方法去探求问题的实质或结论并作出回答<sup>[3]</sup>,由此可以看出教师和学生之间的互动。虽然讲授法和注入式教学是两个不同的概念,但将二者画等号也并非无中生有,如果教师在讲授时没有互动,那么讲授法很大程度上就会沦为注入式的教学方法。举一个简单的例子,以下是“三角形概念”这一节的教学片段,教师分别以启发式和注入式两种讲授法对三角形的概念进行教学:

#### (1)启发式讲授法。

教师(指着屏幕上出现的几个三角形状的物体):同学们仔细观察一下这几个物体的形状,请大家想一想,还能说出哪些这样形状的物体?

有几个学生列举出一些他们知道的三角形状的物体。

教师:他们回答得非常好,那么这些物体都具有什么样的特征呢?请大家从数学的角度来思考。

学生在独立思考或讨论之后纷纷说出了自己的答案。

教师:有的同学说这些物体都是三条线段组成的,有的说是将三条线段连在一起组成,这些说法都有一定的合理性。那么三角形这个概念究竟是如何定义的呢?它的准确定义是:由同一平面内不在同一直线上的三条线段首尾顺次连接所组成的封闭图形叫三角形。请大家理解一下这个定义为什么比大家说的更合理呢?

学生在独立思考或讨论之后纷纷说出了自己的理解。

教师:看来大家都明白了这个定义为什么更加合理了。那么接下来我们看看如何用数学符号来表示三角形。

#### (2)注入式讲授法。

教师(指着屏幕上出现的几个三角形状的物体):同学们,这些物体是我们经常看到的,我们可以将它们进行抽象,得到数学中的一个重要的概念——三角形。所谓三角形就是由同一平面内不在同一直线上的三条线段首尾顺次连接所组成的封闭图形。下面我们看看如何用数学符号来表示三角形。

不难看出,在以上启发式讲授法中,师生之间发生了多次互动,而在注入式讲授法中,师生之间则没有互动发生。讲授法运用中师生之间的互动可以分为教师和学生之间的互动以及学生和学生之间的互动,当然,无论哪种都是基于数学知识的互动。在运用讲授法时,学生与学生之间的互动是他们就教师所提出的问题进行的合作交流,这种互动有助于他们更好地理解教师所阐述的教学内容和解答教师所提出的问题,例如在上面的例子中,教师在运用启发式讲授法过程中就发生了两次学生和学生之间的互动,但本文中主要考虑教师和学生之间的互动。师生之间的互动大致可以分为两种形式:基于知识讲解的互动和基于问题的互动。基于知识讲解的互动是指教师对教学内容进行解释和分析,在讲解中,教师会根据学生的表情、听课状态等反馈对自己的讲授进行调整,从而使得学生更好地理解知识。基于问题的互动可以进一步粗略地分成两种形式:一是教师提出问题,学生思考但不直接口头回答,教师自己给出问题答案。教师不断地提出需要学生思考的问题,如“接下来可以怎么办?”“这个问题你是怎么想的?”“此外,还有什么方法可以解决该问题呢?”等等,正是在这些富有启发性问题刺激下,学生才会始终保持积极思考,并以某种方式反馈给教师或者将自己思考所得和教师提供的答案进行对比。二是教师提出问题,学生思考

并及时作出明确的反馈,教师做出评价。无论是哪种形式,都存在着教师和学生之间的互动。

## 1.2 从社会互动理论看注重互动的必要性

社会互动理论属于社会学理论,它自身也包括几个理论,如符号互动论、拟剧论、本土方法论和会话分析等,其中以符号互动论最具代表性。这些理论虽然有所区别,但是它们都关注人们的社会互动和交往,以及在互动中个体对有意义符号的运用,通过互动感知对方对自身的反馈,从而实现自我意识,确定自身角色,实现社会化<sup>[4]</sup>。不难发现,社会互动理论的核心正是人们之间的互动,不妨从符号互动论来看人们之间的互动在其中的核心地位。符号互动论有相当丰富的思想,其最基本的思想是3条基本原理:第一,我们是依据我们对事物所赋予的意义而对其采取行动的;第二,我们所赋予的事物的意义是源于社会互动;第三,在任何情况下,为了赋予某种情境以意义并决定如何采取行动,我们必须经历一个内在的阐释过程,即我们与我们自己交流<sup>[5]</sup>。其中:原理一是社会互动的条件;原理二是在社会互动中意义的学习;原理三是在互动中出现新情况的处理。可见,互动在符号互动论中处于核心地位,整个理论都是围绕着社会互动而进行阐述的。从社会互动理论的角度看,正是在互动过程中,学习才得以实现,没有互动就没有学习。

从社会互动理论看数学教学,那就是教师和学生之间以及学生和学生之间基于数学知识进行互动,在这种互动中,互相感知对方对自身的反馈,从而实现对于数学教和学的自我意识,确定自己在教学中的角色或身份。也就是说,整个数学教学过程是以社会互动为基础的,师生互动的过程就是数学学习的过程,也就是数学教学目标实现的过程。就讲授法来说,它只是数学教学过程中某个或某些活动中运用的教学方法,当然也应该基于师生的社会互动。没有社会互动的讲授法,教师不能从学生那里感受到自己讲授的效果,不知道自己的讲授是否有助于学生对于所阐述的数学知识的理解,不知道自己所提出的数学问题是否有助于学生数学思维的提升,也不知道自己的讲解能否引发学生对于数学的兴趣和对数学的美的感受,等等,这样的教学其实就是注入式,在这样的教学中即使不能说学习不会发生,起码也是低效的学习。因此,从社会互动理论看,中学数学讲授法中注重互动是必要的。

## 1.3 从学生的数学学习看注重互动的必要性

以上两点实际上并没有特别强调学科的特点,也就是对于任何学科都适用,如语文教学、科学教学等都是如此,那么如果从数学学科的特殊性上看情况又是如何的呢?

### 1.3.1 注重互动的数学讲授法有利于学生更好地理解数学

当教师就数学内容进行讲授时,学生能够理解是至关重要的。此时,师生之间的互动在确保学生能够理解教师的讲授上扮演着重要的角色。在讲授中,教师发出信息,学生接收信息,但学生并非一定能够理解所接收到的信息。学生需要将接收到的数学信息与自己数学认知结构中的相关知识之间建立联系,即用数学认知结构中的知识来理解所接收到的信息;如果这里的联系出现了问题,那么,学生就无法理解教师所发出的信息。要确保学生能够对教师所讲授内容的理解,关键的一点是在讲授中有互动。教师和学生之间的互动可以保证教师及时发现学生在理解上所存在的困难,以便对自己的讲授进行调整,从而使得学生能够理解。教师是可以发现学生在理解上所存在问题的,根据符号互动论的第二原理,教师从以往和学生互动的经验,可以发现学生对于自己所讲内容是否理解以及理解的程度。一旦从学生的反馈中发现他们在理解上出现问题,教师会采用适当的对策进行讲授上的调整,如从不同的角度来阐明和用更为通俗的语言进行描述等。

相对其他学科而言,教师基于互动的讲授对于数学学科来说更有利于学生对于数学教学内容的理解。由于数学内容本身是抽象的,这种抽象性正是不少学生对数学知识难以理解的原因。为了使学生更好

地理解知识,教师在讲授时会运用诸如将抽象知识直观化甚至用通俗的事物进行比喻等策略。更重要的是,由于教师和学生的互动,教师还可以及时地对讲授的方式加以改变,从而确保学生能够对讲解内容的理解。显然,教师对于数学知识这样的讲解所取得的效果是学生自己阅读教材或其他的教学方法难以达到的。

当然,并不是教师在讲授时只要有互动就可以促进学生的数学理解,只有那些教师能够密切关注学生的反馈并及时进行讲授调整的互动才能促进学生的数学理解。如果将互动分为高质量互动和低质量互动的話,那么,教师密切关注学生的反馈并及时进行讲授调整的互动就属于高质量的互动,而对于学生的反馈偶尔进行回应或调整不够的互动则属于低质量的互动。

### 1.3.2 注重互动的讲授法有利于促进学生数学思维的发展

发展学生的思维能力是所有学科教学的重要目标之一,“为思维而教”也是古今中外教育家们所极力倡导的重要的教学任务。但是,发展思维能力对于数学教学来说,其重要性要远胜于其他学科。数学是思维的科学,思维是数学学习的核心所在。数学思维不仅包括逻辑思维还包括非逻辑思维,不仅包括正向思维还包括逆向思维,不仅包括收敛思维还包括发散思维。良好的数学思维能力不但有利于学生的数学学习,对于他们作为人的成长也是极为重要的。数学课程的教学目标尽管是多维的,但发展学生的数学思维能力无疑是其核心目标之一。如果讲授法只是能够使得学生更好地理解数学知识而不能有力地促进学生数学思维的发展,那么在数学教学中讲授法的运用就不是一个非常值得提倡的教学方法。思维和知识之间有密切的关系,思维基于知识但又限于知识。知识是对某种已经存在、已经决定过的事情的了解和“知道”。思维是创造,是对尚未发生过的事情作出决定;思维需要细心而周到的教育指导,才能充分实现其机能<sup>[6]</sup>。显然,讲授法在帮助学生更好地理解知识的过程中也会涉及学生的思维活动,此外它还应该能够很好地促进学生数学思维的发展。

如何在教学中促进学生思维的发展?促进学生思维的发展就是要让学生运用思维来解决问题,即学生思维发展是在其运用思维解决问题的过程中实现的。思维起源于疑惑,是一个不断提问、不断解答、不断追问、不断明朗的过程……;解决问题是最自然的、复杂的、有意义学习的思维活动<sup>[7]</sup>。就数学教学来说,学生的数学思维就是要从某些条件推出某些结果或可能的结果的过程,或者从某些结论推出某些条件或可能的条件的过程。因此,要促进学生数学思维的发展就是要给学生进行推理的机会。当然数学中的推理是用来解决数学问题的,那就是说要给学生解决数学问题的机会。就中学数学讲授法来说,教师在讲授过程中,除了对数学内容进行讲解外,还应该围绕所讲解的数学内容,向学生提出各种问题(包括解答数学题),并且让学生有机会运用推理对这些问题进行思考,甚至通过进一步的追问,将学生的思维活动引向深入。在这个过程中,教师向学生提出问题是教师对学生的作用,学生进行推理从而解决教师所提出的问题并且向教师进行反馈,是学生对教师的作用。由此,师生之间的互动得以形成。为了解答教师所提出的问题,学生可以进行独立思考,也可以相互合作,思考的方式可以不同,但学生积极的思维是不可或缺的。

以下将以一个例子来说明教师如何在讲授法中通过提出问题引起互动以促进学生的数学思维发展。在一节复习课中,教师要对一道数学题运用讲授法来探讨其解法<sup>[8]</sup>,题目如下:

设  $a \in \mathbf{R}$ , 当  $x \in (-a-1, +\infty)$  时, 不等式  $(2x-a+1)\lg(x+a+1) \geq 0$  恒成立, 则  $a =$ \_\_\_\_\_。

教学过程如下:

教师:请大家认真阅读该题,你能想到有哪些方法可以解决它?

有些学生独自思考,有些学生在合作交流。教师通过和部分学生的交流了解了学生思考的情况。

教师:我想不少同学已经想到了解答的方法,有的同学可能想到用代数的方法,有的同学可能会想到用几何的方法,实际上代数和几何的方法都可以用来解答本题。

(教师提出有哪些方法可以解答的问题,学生思考,教师给出答案,形成了师生之间第一次互动,该互动促进了学生的数学思维,这里的思维主要是发散思维)。

教师:首先,我们看如何用代数的方法来解该题。上述不等式中两部分乘积大于等于零,由此你能想到什么?

学生:说明这两部分应该都大于等于零或者都小于等于零。

教师:完全正确。

(教师提出从两部分乘积大于等于零能想到什么的问题,学生反馈,形成了师生之间的第二次互动,该互动促进了学生的数学思维,这里的思维主要是逻辑思维)。

教师:接下来请大家以独立或小组合作方式从代数的角度来解决该题。

学生开始解题,教师和部分学生进行交流。

学生1给出解答: $x \in (-a-1, +\infty), (2x-a+1)\lg(x+a+1) \geq 0$

$$\Leftrightarrow x \in (-a-1, +\infty) \text{ 时, } \begin{cases} 2x-a+1 \geq 0 \\ x+a+1 \geq 1 \end{cases} \text{ 或 } \begin{cases} 2x-a+1 \leq 0 \\ x+a+1 \leq 1 \end{cases} \text{ 即 } \begin{cases} x \geq (a-1)/2 \\ x \geq -a \end{cases} \text{ 或 } \begin{cases} x \leq (a-1)/2 \\ x \leq -a \end{cases}, \text{ 要使得}$$

结论成立必须要使  $(a-1)/2 = -a$ , 即  $a = 1/3$ 。

教师问全班学生该同学做得对不对,从代数角度还有没有其他不同的解法?学生纷纷表示该同学做得正确,他们都是用该方法解答的,教师对该解答进行了肯定。

(教师提出了如何从代数的角度来解答本题的问题,学生解答并反馈,教师对解答进行了评价,形成了师生之间的第三次互动,该互动促进了学生的数学思维,这里的思维主要是逻辑思维)。

教师:下面我们再用几何的方法来解答该题。刚才学生1给出的解法中首先得到了  $\begin{cases} 2x-a+1 \geq 0 \\ x+a+1 \geq 1 \end{cases}$  或  $\begin{cases} 2x-a+1 \leq 0 \\ x+a+1 \leq 1 \end{cases}$ , 我们也可以得到这样的结论即  $\begin{cases} a \leq 1+2x \\ a \geq -x \end{cases}$  或  $\begin{cases} a \geq 1+2x \\ a \leq -x \end{cases}$ , 那么如何借助于几何方法进行有效分析,请大家以独立或小组合作的方式尝试用几何方法来解。

学生开始解题时,教师观看个别学生的解答并和有些学生进行一些交流。

学生2:做出函数  $y = 2x + 1$  和  $y = -x$  的图像,由图中两条直线的交点,可得  $a = 1/3$ 。

教师:做得非常好,你能解释一下你是如何想到这样做的吗?

学生2对他的解答进行了解释,其他同学都认为学生2的解释和做法是正确的。

(教师提出如何从几何的角度来解答本题的问题,学生解答并反馈,教师对解答进行评价,形成了师生之间的第四次互动,该互动促进了学生的数学思维,这里的思维主要是逻辑思维)。

教师:最后,请大家再思考一下,有没有其他类似的几何方法来解这道题?

学生3:我进行了函数构造,将函数  $y = 2x - a + 1$  和函数  $y = \lg(x + a + 1)$  的图像画出来,要使结论成立,只需要  $(a-1)/2 = -a$ , 即  $a = 1/3$ 。

教师:好,该同学直接将问题转化为几何图形中的图像表示,要使得两部分的乘积大于0,只要观察图像,使得两函数在  $x$  轴上的交点重合即可,使其在定义域内两部分的乘积恒大于0,这种解答方式既直观又简捷,是一种非常不错的解法。

(教师提出了如何从几何角度找出另外解法的问题,学生解答并反馈,教师对解答进行评价,形成了师生之间的第五次互动,该互动促进了学生的数学思维,这里的思维主要是逻辑思维)。

不难看出,讲授法使用中并非教师提出问题让学生解答形成互动就可以促进学生数学思维的发展,而只有教师提出那些需要学生积极思维并且学生努力思考并以某种形式反馈的问题,才能促进学生数学思维的发展,这样的互动才是高质量的互动。实际上,在讲授法中教师提出的问题可能并不需要学生积极

的思维就能解答。Stein 等<sup>[9]</sup>根据认知需要将数学任务分成4个层次,即记忆型任务、无联系的程序型任务、有联系的程序型任务和做数学的任务。如果教师提出的问题属于前两种,那么这样的问题就不需要学生积极的思维,只需要简单的记忆就可以解答;或者即使教师提出了需要思维才能解答的问题,但学生并不努力去思考;又或者教师提出了需要思维才能解答的问题,学生也努力去解决并反馈,但教师对于其反馈并不关心而没有给出适当的评价;等等。这些互动就属于低质量互动。

## 2 基于互动的数学讲授法运用的几点建议

从以上分析可见,中学数学教学中讲授法的关键是互动,有效的数学讲授法是以高质量的互动为基础的。高质量的互动是指教师在讲解中能够密切关注学生的反馈并及时调整自己的讲解,从而使得学生更好地理解讲解的内容;能够提出让学生积极思考并且认真思考后会反馈的问题,以及教师再对学生反馈进行适当的评价,从而促进学生数学思维的发展。具有高质量互动的数学讲授法是高质量的数学讲授法,教师在教学中如何有效地运用数学讲授法是数学教师要思考的重要问题,也是数学教师教学水平的重要体现,基于互动提出以下几点建议:

(1)教师在课前要对讲授法的使用过程进行设计。如果确定某个教学活动采用讲授法,那么,在课前应该对讲授的过程进行设计,对其中的互动进行规划。例如:如何对某些教学内容进行分析;当学生对这样的分析接受起来有困难的时候应该如何进行调整;如何提出学生要思考的问题;如果学生能够解决,可以进一步提出什么样的问题;如果学生不能解决,应该如何启发;等等。如果不进行课前的设计,在讲授时即兴发挥可能难以取得好的教学效果。

(2)要给学生的思考留有充足的时间。无论是提出不需要学生口头回答的问题还是需要学生口头回答的问题,学生都需要运用数学思维对问题进行思考,从而解决问题,而这是需要时间的。如果教师在提出问题后,没有给学生充分的思考时间,那么学生就无法进行充分思考,从而无法解决问题,互动也就不能真正地形成。教师应根据问题的难度以及对于学生的了解,估计需要的思考时间。

(3)调动学生学习积极性,鼓励每个学生都能参与到教学活动中。就师生互动来说,学生是互动的一方。如果没有学生的参与,那么互动就无法实现。因此,教师应该调动学生的学习积极性,使得每个学生都能参与到教学中,认真听教师的讲解,努力思考教师所提出的问题并及时给出反馈。

## 3 结语

讲授法是一种极为重要的数学教学方法,它在促进学生的知识理解和发展学生的数学思维上能够发挥重要的作用。对于数学教师来说,有两点是需要关注的:其一,在当前数学教学改革的年代,许多数学教学方法的出现,容易使教师忽视讲授法的重要性。其二,教师应该对数学讲授法有深入的理解,认识到互动在讲授中的核心作用,从而有效地运用该方法。和任何一种数学教学方法一样,数学讲授法尽管有其自身的价值,但也并非万能,也有其适用的范围。数学教师应该对包括数学讲授法在内的各种数学教学方法进行研究,在教学设计中基于教学目标,选择合适的教学方法,有效开展数学教学活动,最大限度地促进学生在数学上的发展。

### 参考文献:

- [1] 靳乃铮. 中国大百科全书: 讲授法[EB/OL]. (2022-01-20) [2024-03-13]. <https://www.zgbk.com/ecph/words?SiteID=1&ID=220190&Type=bkzyb&SubID=147601>.
- [2] 李孝诚, 刘兆丽. 我国“讲授法”的研究现状及趋势分析[J]. 天津师范大学学报(基础教育版), 2015, 16(4): 6-11.

- [3] 吴雁南. 在历史教学中怎样运用启发式谈话?[J]. 新史学通讯, 1956(2):24-26.
- [4] 张晓刚. 社会互动理论对高等医学教育的启示[J]. 西安电子科技大学学报(社会科学版), 2020, 30(3):108-111.
- [5] 波普诺. 社会学[M]. 李强, 等译. 北京: 中国人民大学出版社, 2013.
- [6] 鄧庭瑾. 为思维而教[J]. 教育研究, 2007(10):44-48.
- [7] 钟启泉. 解码教育[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2020.
- [8] 吴志华. 浅谈高中数学讲授法教学的新探[J]. 中学数学, 2015(3):64-66.
- [9] STEIN M K, KAUFMAN H J. Selecting and supporting the use of mathematics curricula at scale [J]. American Educational Research Journal, 2010, 47(3):663-693.

## On Interactivity in Secondary School Mathematics Lecture Method

Zhang Xiaogui

(The College of Mathematics and Statistics, Hefei Normal University, Hefei, 230601, China)

**Abstract:** The value of the lecture method in mathematics teaching has been increasingly recognized, and interaction plays an extremely important role in the application of the mathematics lecture method. The necessities of focusing on interaction are proposed in the use of the lecture method in secondary school mathematics from three aspects: misunderstanding of the lecture method, social interaction theory and students' mathematical learning, and examples are given to illustrate the role of interaction in the secondary school mathematics lecture method. Finally, based on interaction, a few suggestions are made for secondary school mathematics teachers to apply the mathematics lecture method.

**Keywords:** mathematics instruction; lecture method; interactivity

---

(上接第62页)

## Optimization Method for Brushless DC Motor Vector Control Based on Improved PSO-PID

Jin Kai<sup>a</sup>, Xiao Ping<sup>a</sup>, Lü Aoning<sup>b</sup>

(a. School of Mechanical Engineering; b. Anhui Provincial Key Laboratory of Intelligent Vehicle Wire-controlled Chassis System, Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000, China)

**Abstract:** The brushless DC motors, commonly used as a power source for household appliances and precision instruments, are often controlled by traditionally proportion integral differential (PID) control algorithm with lower precision, which is more sensitive to external disturbances and can not meet the precise requirements. To address this issue, a vector control method for brushless DC motors using particle swarm optimization (PSO) has been proposed. First, a mathematical model of the brushless DC motor was constructed. Subsequently, simulation software was used to build a model of the motor vector control system, and the parameters of the motor's PID controller were optimized by using an improved particle swarm optimization algorithm to achieve precise control of the brushless DC motor system. Finally, an experimental platform was constructed by using the STM32F407 microcontroller, and experimental verification was conducted. The results indicated that, compared to traditional vector control, the proposed method reduced the maximum overshoot by 32.30% and 38.09% at steady states of 800 r/min and 1500 r/min, respectively, and optimized the settling time by 15.25% and 5.66%. During the load phase, the maximum speed deviation was reduced by 29.28 r/min, and the settling time was optimized by 8.08%. The anti-interference capability and system stability were significantly improved.

**Keywords:** vector control; brushless DC motor; PSO algorithm; STM32F407 microcontroller

# OBE理念下“软件工程”课程思政教学案例设计

夏洁武, 李金忠, 彭 蕾, 刘 欢

(井冈山大学 电子与信息工程学院, 江西 吉安 343009)

**摘要:**在“三全育人”教育大背景下,专业课课程思政不容忽视。针对“软件工程”课程教学,基于成果导向教育(outcome based education, OBE)理念,以问题为导向,结合多种教学方法设计课程思政教学案例,探索在传授软件工程专业知识的同时,融入对学生团队价值观和职业素养的培养。实践结果表明:OBE理念下的课程思政能助推价值塑造、知识传授及能力培养的一体化。

**关键词:**OBE理念;软件工程;课程思政;教学案例;案例设计

DOI:10.13853/j.cnki.issn.1672-3708.2024.06.012

## 0 引言

成果导向教育(outcome based education, OBE)理念是以预期学习产出为中心来组织、实施和评价教育的结构模式,它可实现教育范式由“内容为本”向“学生为本”的根本转变<sup>[1]</sup>。OBE的核心要义是认为教学设计和教学实施的目标是学生通过教育过程取得学习成果(learning-outcomes)<sup>[2]</sup>。OBE理念作为一种先进的教育理念,其完整的理论体系和实施模式已在许多国家形成。该理念得到了教育界的高度重视和普遍认可,也是指引我国高等院校工程教育改革的方向。

2019年,习近平总书记提出:坚持显性教育和隐性教育相统一,挖掘其他课程和教学方式中蕴含的思想政治教育资源,实现全员全程全方位育人<sup>[3]</sup>。教育部号召全面推进高校课程思政建设,OBE的核心精神是培养学生能力,教育活动必须由“教师中心”向“学生中心”转移。在这个教育理念的支持下,专业知识的传授是显性教育,而融入世界观、价值观、人文素养、职业道德等思政内容的传授应是隐性教育;培养的不仅是学生的专业能力,还应包含他们对专业知识合理运用后,实现更高个人价值和社会价值的应用能力。OBE独特的教育理念对工程教育有很好的引领作用,OBE进入课程和课堂教学,既是当前工程教育改革的难点和痛点,也是重点和突破点<sup>[2]</sup>,同时也是专业课课程思政教学的一个突破点。

“软件工程”课程是计算机相关专业的必修课,本文以“软件工程”课程中的一个教学案例为例,探讨了在OBE理念支持下进行专业课课程思政的教学案例设计。

## 1 专业课课程思政教学设计路线

对教师来说,专业课课程思政的重点是在专业知识传授的同时,让学生在不知不觉中接受思政教育。因此,在专业课课程思政的教学设计中,如何避免思政的刻意性显得尤为重要。按照OBE工程教育专业

收稿日期:2024-07-28

基金项目:江西省教育科学“十四五”规划课题(22YB112);江西省高等学校教学改革研究课题(JXJG-21-9-15, JXJG-22-9-7);井冈山大学教学改革研究课题(XJJG-21-048)

作者简介:夏洁武(1969—),女,江西吉安人,教授,主要从事软件工程、信息检索、计算机教育研究;李金忠(通信作者)(1976—),男,江西吉安人,副教授,博士,主要从事人工智能与大数据、信息检索、计算机教育研究。

认证的“学生中心,产出导向,持续改进”的理念<sup>[4]</sup>,课程教学首先要依据专业人才培养方案课程体系中每门课程支撑的毕业要求指标点来确定课程目标,再由课程目标来定位课堂目标的维度,专业课课程思政要求在确定课程目标的同时也要明确课程思政目标。参照 OBE 理念指导的教学设计方法,专业课课程思政教学设计路线如图 1 所示。

## 2 专业课课程思政教学案例设计

OBE 课程设计是一个从课程目标出发的反向设计过程,将它和教学环节与过程以及考核环节相结合作为完整教学系统的有机组成部分,并逐层细化、控制教学的每个环节,最后实现与评价标准接轨<sup>[2]</sup>。软件生命周期是软件工程的核心概念,也是整个课程学习的主线,是学生必须掌握的专业知识。本文以“软件生命周期与团队协作——人多一定力量大

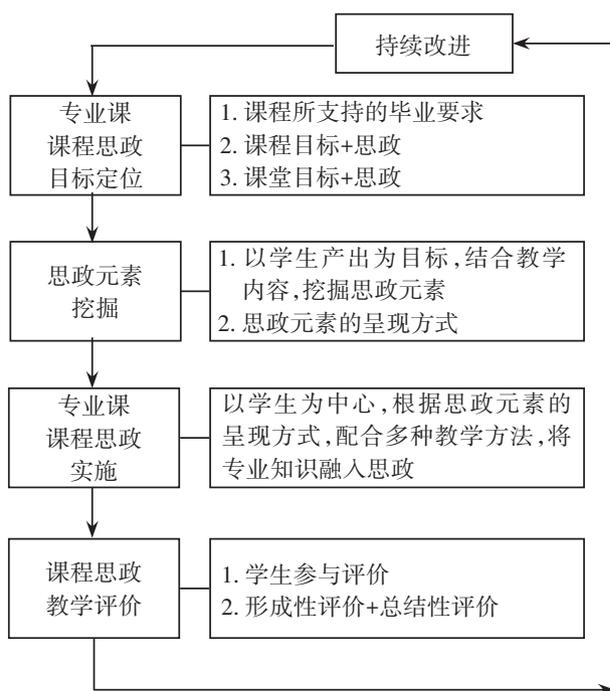


图 1 OBE 理念下专业课课程思政教学路线

吗?”作为专业课课程思政教学案例,案例设计的教学内容主要包含两个知识点,分别是“软件生命周期”和“软件项目开发的人员组织”,对应参考教材<sup>[5]</sup>第 1 章第 3 节和第 13 章第 4 节的内容。

### 2.1 案例思政目标和教学方法

本案例完成“软件生命周期”和“软件项目开发的人员组织”两个专业知识点的教学,同时引导学生树立正确的团队价值观和软件从业者的职业素养,并通过后续的项目分工,模拟实践软件生命周期全过程中角色的扮演,在项目实践中使学生进一步学习领悟修正己身、求同存异的团队协作理念和精益求精的工匠精神。

按照图 1 中的基本路线,在专业毕业要求和课程目标指导下,本案例的设计从“教学内容+团队价值观”“教学内容+职业素养培养”两方面融入思政元素,拟达成课程目标的 3 个维度:

课程目标维度 1:熟悉软件生命周期的历史和现状,掌握软件生命周期基本概念,初步认识各阶段主要任务及分工,熟悉软件开发团队的人员组织。

课程目标维度 2:培养运用软件生命周期原理指导软件开发项目实践的计划能力、角色扮演和团队协作。

课程目标维度 3:使学习者认识软件生命周期中蕴含的软件工程思想,引发学习者对团队协作和软件从业者职业素养的思考。

在教学案例设计时,可采取“教师在对问题的研究中教,学生在对未知的探索中学”的模式,引导学生积极探索和思考,通过分析和探索获得工程问题的有效结论<sup>[2]</sup>。采用“线上+线下”相结合的混合式教学法,主要包含问题导向、自主探究、案例教学、讲授和讨论等方法。

### 2.2 课程思政元素融入案例设计

OBE 的教育成果应兼顾学习和生活中的重要内容和技能,不仅是学生所知、所了解的内容,还包括能解决实际问题的技能,以及可能涉及的价值观和其他情感因素,是学生内化于心、外化于行的心路历

程<sup>[6-7]</sup>。根据课程目标维度,本案例融入思政元素的思路分解如表1所示。

表1 课程思政教学案例思路分解

知识点	知识点内容	思政元素和资源	融入方法	预期成果
软件生命周期概念	软件从孕育、形成、成长到被淘汰,可将其生命周期划分为定义、开发和运行维护3个时期,每个时期进一步分成若干阶段	思政元素:将复杂问题分解;充分认识软件开发不是某种个体劳动的技巧,而是一种组织良好、管理严密、协同合作完成的工程项目 资源:《人月神话》第1章和第4章、《软件工程思想》前2章及相关短视频	1. 课前自主 2. 阅读探究 3. 问题导向 4. 视频播放 5. 学生讨论 6. 教师小结	1. 学习能力强的同学能自然领悟大型软件划分阶段的必要性 2. 学生自主探究学习得出生命周期的相关知识
软件生命周期阶段任务分工	软件生命周期的每个阶段都有明确的目标和任务	思政元素:软件生命周期犹如人的一生,在每个阶段都有要承担的责任;软件开发不同阶段需要不同职责的开发人员主导,必须有分工、有协作 资源:“软件开发团队协作”短视频或30秒视频带大家看软件公司的软件开发流程;“健康码”和“企业微信”的案例	1. 问题导向 2. 案例学习 3. 视频播放 4. 学生讨论 5. 教师小结	1. 学生能深刻感受到在软件开发中团队的分工及协作的重要性;团队是一个互相包容的整体 2. 学习中精诚合作,求同存异
软件开发团队人员组织	软件开发团队的组织是一个难题,列举比较成熟的几类团队组织模式	思政元素:软件开发项目的人员组织(重点关注沟通渠道);职业分工和素养 资源:《人月神话》第3章中“外科手术队伍”“巴比伦塔失败的故事”等	1.“线上+线下”相结合讨论 2. 模拟完成小组合作项目的人员组织和分工	1. 学生能理解人数的增加对软件开发的贡献不是线性递增的 2. 学生能认识到每个人在项目中的工作量不是线性递增的

专业课课程思政教学要紧扣专业培养的宗旨,本案例帮助学习者厘清软件生命周期各阶段的分工及任务间的协同关系,逐步形成软件工程思想。软件是逻辑产品,是科学思维的产物,大型软件项目的团队协作对项目的成败起关键作用。在软件生命周期中,不同阶段需要不同职责的软件开发人员主导,必须既有分工又有协作,在与朋辈交流和磨合中体验奉献、包容、责任与担当,学会做人做事。引导学生主动参与体验,在体验中让学生自然接受,顺势而为,从而激发其学习内驱力,进而达到与之共情。

在本案例学习的基础上,学习者后期将通过模拟软件生命周期不同阶段不同人员的角色分工,共同完成一个软件模拟项目。

### 2.3 教学案例实施过程

OBE理念指导下的教学实施过程不仅考验教师作为配角的课堂引导、控制和归纳能力,也考验学生主体的专业基础、课前探究程度、参与意识和思维水平。案例实施环节主要有:(1)课前线上自主探究,完成任务点。(2)课中问题导向、短视频播放和讨论+引导归纳的讲授。(3)课后线上开展思政主题讨论。教师在网络教学平台上提前发布任务点,并可针对案例发布问题,学生线上提前阅读网络平台上的相关材料,学生可利用信息技术手段自主探究并在线上和线下发表自己对任务点和问题的学习成果。依据学生课堂回答问题和线上完成任务点并发表成果的情况,可给予相应的课程积分。

针对“软件生命周期与团队协作——人多一定力量大吗?”案例设计的问题及具体过程如下:

问题1:通过阅读相关材料,说说自己对“软件是逻辑产品”对软件的生产可能带来哪些方面的问题?有什么解决方法吗?

问题2:根据课前阅读材料后的理解说说大型软件项目中的基本活动有哪些?

对上述问题的讨论,多数学生能从当前软件危机的表现中推导出软件生产过程的不可见性,效率低,质量不好把控等,对于解决办法,学生基本照书回答用软件工程方法来解决。

问题3:视频中软件项目典型基本活动(设计、编码、测试、需求分析)(如图2所示)的排列顺序是什么?

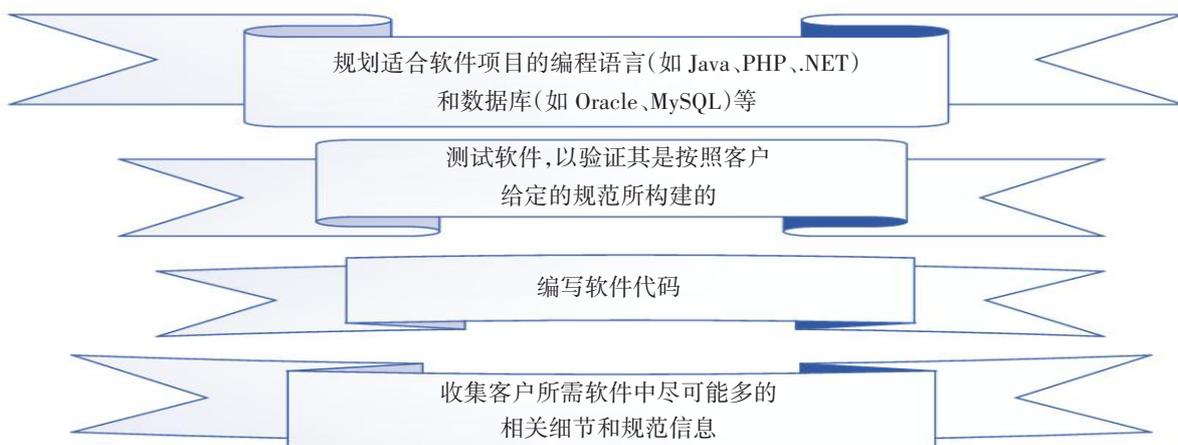


图2 大型软件开发中的4项基本活动

根据上课现场情况,通过播放短视频,引导学生思考并回答问题3。此时,学生较容易根据视频和课前预习得出软件生命周期的核心阶段有需求分析、软件设计、编码和测试、软件维护等。

引申问题4:大型软件项目的软件生命周期为什么要划分阶段?

直接点名课前在讨论区发表过问题1的学生来回答,学生逐渐明白软件的特点决定了它的生产特点与物理产品的生产大不相同,大型复杂的软件项目需要分阶段实施是将复杂问题分解降低难度,有助于提高软件生产率和把控质量。

以“健康码”或“企业微信”为例,简要分析背后的技术支持和团队协作。播放小视频:大厂程序员是如何协同开发的?或者播放30秒视频带大家看软件公司的软件开发流程(二选一)。

问题5:在一个软件生命周期中,每个阶段的工作任务重点都不同,阶段之间有一定的逻辑关系。假如你是一个项目经理,将如何组建项目团队?

学生对该问题的回答都集中在要找优秀的、编程技术好的人来组队,个别学生也提到要吸纳好说话的团队成员,基本没有学生能上升到团队协作管理层面。

教师给出文献[5]第13章第4节的成熟的人员组织模式,组织讨论引申问题6,引导学生认识到在软件工程项目中,个人优秀不等于团队优秀。

引申问题6:结合软件生命周期的概念,如何理解软件开发中的团队协作?

类比《人月神话》中“外科手术队伍”,精英不可能大量集中在一个团队中,软件开发团队可以借鉴外科手术的合作团队方式<sup>[8]</sup>。开发团队人员是平等的,但是只有各司其职,才能保证团队的有序运行。对于大型软件项目,因参与的人员能力不同,存在思维差异,软件开发中可能遇到的问题不可预测,产生矛盾时无法统一,难以实现整体利益。因此,整个项目的概念完整性只能由少数人员来实现,大型项目参与的人越多,合理的人员组织方式就越重要。

思政主题讨论问题7:团队交流的重要性的手段是什么?对未来软件行业人的职业素养和团队协作精神的认识又是什么?

以上问题也可根据学生获得的点赞和回复数多少决定获得不同的课程积分或者以思政小论文方式评价。当然,一个有效的讨论也需要教师的充分引导,教师必当率先参与到主题讨论中并随时纠偏。本案例主要的引导点包括:(1)人多不一定力量大。(2)全栈开发意识。(3)全球视野思维和高效团队协作的职业素养。

## 2.4 课程考核评价方法及成效

### 2.4.1 课程考核评价方法

OBE的教学评价目的主要有3个,一是评定学习成果,二是促进学生成功学习,三是给教师提供反馈。主要的评价方式有3种,分别是诊断性评价、形成性评价和总结性评价。本课程采用形成性评价和总结性评价各占比50%相结合的方式,并在评价中融入对课程思政目标的考核,评价方法如表2所示。具体实施步骤包括:(1)利用学习通,提前设置好形成性评价的分项及比例,将发布的预习材料和问题设为任务点、开展线上讨论和其他学习活动,记录学生的平时成绩。(2)布置为期14周的团队协作大作业,每组3~5人,模拟软件生命周期全过程,分工协作完成项目报告,并在项目中期和后期汇报答辩,按表2评价得分。

表2 课程考核评价方法

评价方式	要求	评价内容	总成绩占比/%
平时 (形成性评价)	网络平台学习(任务点完成情况、参与讨论互动等)	平时考勤占比5% 线上自主学习占比20%;根据发布的任务点自主学习情况、线上作业、测试等 学习互动占比5%;小组任务参与情况、线上线下讨论等	30
	小组项目报告(大作业)综合评价	根据平时项目分工完成和小组协作、报告综合完成情况评价;教师评价占50%;组内(小组长)评价占比20%;组间评价占比20%;个人自评占比10%	10
	小论文	依据课程思政目标考核	10
期末考试 (总结性评价)	考核内容主要包括:软件工程方法学基本概念及原理和方法、过程与工具的运用		50

### 2.4.2 教学成效

“软件工程”课程开展了两轮专业思政融合教学,思政教学案例教学实施初见成效,并得到了学生的认可,主要体现在3方面:(1)团队协作完成的项目报告质量有所提升。(2)从各学期的学生评教结果和网络平台上学生对课程的综合评价来看,这两轮学生对教师的评教分数较之前有所提高;评价的内容和之前相比,也有涉及学生对课程思政的认识、思政案例教学的建议等。(3)学生的考试成绩、参与学科竞赛的积极性以及对在学科竞赛中融入软件工程思维的认识等方面均有所提高。

## 2.5 案例教学反思

本案例以OBE理念为指导,围绕“教学内容+团队价值观+职业素养”而设计。打破教材原有的顺序,将逻辑关联的两部分知识连接成课程主线“软件生命周期—各阶段任务—软件团队人员组织方式—团队分工协作—软件工程师的职业素养”;将专业知识与思政元素“团队价值观和职业素养”无缝融合。以问题为导向,线下和线上活动互为补充<sup>[9-10]</sup>,将教师讲解和学生自主探究相结合,并利用多种教学手段构成了互动良好、顺势而为的专业思政课堂。借助信息化网络技术完成形成性考核评价,让专业思政内容在课后得到进一步的延展。

专业课课程思政应是无声处育人。挖掘好的思政元素融入专业知识学习,利用多种教学方法,使学生不知不觉参与其中,避免了思政学习的刻意性,但其中也存在不少问题,包括:(1)思政资源的搜集和整合费时费力,各类资源,特别是短视频,在线上和线下的展现时间都不能太长,却又要和课程内容契合。对此,目前能考虑到的改进思路主要包括:吸收年轻老师加入课程团队,合力整合资源,提高资源的共享;也可以发动学生,让学生也参与到资源的收集和整理工作中来。(2)在主题讨论中,学生的参与度和有效性有待提高。这需要任课教师进一步提炼问题,问题情境要紧密贴合学生的实际来创设,并一定要置身于学

生的讨论中做好引导。(3)关于专业课课程思政的实施效果如何评价的研究还比较少<sup>[11]</sup>,如何提高评价的合理性、可操作性和有效性等,这些问题还有待于进一步深入研究,并在教学实践中进行效果检验,仍需要专家同仁提供更好的思路。

### 3 结语

在当前高校“三全育人”“大思政”“立德树人”的教育大背景下,专业课程不仅要传授专业知识,也要注重思政教育的融合,专业与思政协同育人、同向同行。本文以“软件工程”课程为例,基于 OBE 教育理念,坚持“知识传授与价值引领并举、思政教育与专业教育并重”的基本原则,探索专业课课程思政的思政元素挖掘和教学案例设计与实施,在显性的专业知识课堂中,融入对学生品行素养思维等的隐性教育。实践结果表明:本案例在专业课程中有机融入了课程思政,不刻意、不呆板,取得了较好的教学效果。

#### 参考文献:

- [1]顾佩华,胡文龙,林鹏,等.基于“学习产出”(OBE)的工程教育模式:汕头大学的实践与探索[J].高等工程教育研究,2014(1):27-37.
- [2]王永泉,胡改玲,段玉岗,等.产出导向的课程教学:设计、实施与评价[J].高等工程教育研究,2019(3):62-68.
- [3]人民网.习近平总书记在學校思想政治理论课教师座谈会上重要讲话系列解读[EB/OL].[2023-09-28].<http://theory.people.com.cn/GB/40557/426099/index.html>.
- [4]惠振阳,夏元平,程朋根,等.OBE教育理念下的课程思政教学分析与设计[J].大学教育,2021,135(9):136-138.
- [5]张海藩,牟永敏.软件工稯导论[M].6版.北京:清华大学出版社,2013.
- [6]王哲,张桂芬,葛丽娜,等.基于成果导向的课程思政建设与评价机制研究[J].计算机教育,2022(4):38-41.
- [7]刘佩,韩肖华,李文玲.论 OBE 理念的内涵和实践[J].创新创业理论研究与实践,2021,4(10):132-134.
- [8]布鲁克斯.人月神话:32周年中文纪念版[M].UML China 翻译组,汪颖,译.北京:清华大学出版社,2007.
- [9]俞磊,吴成海,阚红星,等.大思政教育背景下软件工程课程思政教学改革探索与实践[J].西昌学院学报(自然科学版),2020,34(1):102-107.
- [10]李颖,岳娇,袁阿娟.“课程思政”与“线上+线下”实践教学模式的探索与构建[J].教育教学论坛,2020,52:59-60.
- [11]齐星,俞优莉,李银丹,等.基于 CiteSpace 的高校课程思政研究热点及发展趋势分析[J].台州学院学报,2021,43(6):18-25.

## Case Design of Ideological and Political Teaching of the "Software Engineering" Course Under the OBE Concept

Xia Jiewu, Li Jinzhong, Peng Lei, Liu Huan

(School of Electronics and Information Engineering, Jinggangshan University, Ji'an 343009, China)

**Abstract:** In the context of "three comprehensive education", ideological and political education in professional courses cannot be ignored. Based on the OBE concept, problem oriented and combined with various teaching methods, we design course ideological and political teaching cases for the teaching of the "software engineering" course to explore the integration of cultivating student team values and professional ethics while imparting professional knowledge in software engineering. The practical results show that the ideological and political education courses under the OBE concept can promote the integration of value shaping, knowledge transmission and ability cultivation.

**Keywords:** OBE philosophy; software engineering; curriculum ideological and political education; teaching case; case design

# 《台州学院学报》2024年总目次

## 第1期

### 【红楼漫谈】

《红楼梦》:人类史上融悲剧与史诗于一体的最美小说..... 洪 迪/01

### 【诗学研究】

综合诗学与象征主义乌托邦的建造..... 李国辉/10

玫瑰之刺下的呼吸转换——里尔克与策兰的诗与真..... 郑家欣/18

两种“异域”——论兰波与高更在同代人笔下的相遇..... 王洪羽嘉/25

### 【语言】

“犬”“豚”辨异——兼论勾践生育奖励政策中蕴含的性别观..... 叶 娇/33

新媒体语言中“一言不合就Y”的语义演变及功能解析..... 姜海艳/40

由匏到罍:合罍之礼的神圣信仰与礼制内涵..... 张露雨/46

### 【小微金融研究】

普惠金融视域下路桥农商银行网格化管理的SWOT分析..... 陈力扬,彭明旭/52

### 【教育教学】

地方应用型高校新商科改革与课程思政协同育人模式的构建

——基于台州学院商学院的改革实践..... 耿慧敏,景 刚/60

高校新任辅导员职业认同影响因素及优化进阶

——基于A省1642名辅导员的调查..... 冯 荣,姜海燕/67

青年大学生正确党史观的养成路径思考..... 谢志昂,陈鸿胜/74

禁毒教育的价值意蕴与实施路径..... 杨宇琦,卢 俊/80

### 【传播】

截屏社交的“刺猬困境”——聊天记录再传播中隐私边界的游移与重塑..... 戴颖洁,潘茹雪/86

## 第2期

### 【生命传播与跨媒介叙事】

数智时代人道传播的困境及实现之可能..... 师曾志/01

认知·情感·勇气——数智时代的生成性人道主义及其传播..... 李 堃,张乘源/09

“数智时代的人道传播与人道主义事业——技术、人文与共生”会议综述

..... 唐 倩,付砾乐,杨周锦,梁 晨/15

### 【转型时期的社会学】

论社会维度视角下数字经济与实体经济的深度融合..... 王 迪,苏 方,于博轩/23

媒体赋权与退场——一场“住进烂尾楼”的城市维权行动..... 何 润,陈雨琪/31

**【语言】**

- 现代汉语补语位置新兴极量程度副词的演变分析——以含有“爆”“哭”的语言成分为例····· 朱 磊/40  
汉语复叠型加量构式“成A成A”探析····· 余梓瀚,陈 勇/50

**【文学】**

- 服饰的言说:新物质主义视域下的《觉醒》····· 李春风,满 莉/57  
论舒婷诗歌的“女儿性”特质····· 程 颖/64

**【大陈岛垦荒精神】**

- 大陈岛垦荒精神与中国共产党人精神谱系的逻辑关联及实践映照····· 金 松,冯 荣/69  
伟大建党精神与大陈岛垦荒精神的逻辑关系探赜····· 张 杰/75  
“两个结合”视域下大陈岛垦荒精神的逻辑重构与提升路径····· 胡汉青/82

**【书评】**

- 大鱼弋游,珠贝闪烁——读张驰长诗《大陈诗章》····· 洪 迪/88

**第3期****【数学与建模】**

- 定日镜场的输出热功率计算模型····· 郑 钊,陆尹立,胡宇冬,李韶伟/01  
新能源汽车的发展评估与销量预测····· 姜佳辰,梅语欣,潘姚瑶,王 洁/09

**【生物学】**

- 两种同属食药同源植物黄精与玉竹代谢组学比较分析  
····· 王一诺,李 娜,陈露茜,祝子坪,李钧敏,祁哲晨/16  
银缕梅炭疽病病原菌的分离与鉴定····· 田盛野,杨乐乐,潘伟伟,张焱琴,顾 航,张慧娟,蒋 明/23  
黄秋葵多糖和黄酮的双水相萃取····· 郭晨忆,李 帆,窦啸天,张宜兴,李佳雪,祝子坪/29

**【计算机科学】**

- 基于云平台 and PLC 的换向器自动焊接系统设计····· 韩家欢,李星星,管功湖/36  
改进的北方苍鹰算法优化粒子滤波算法····· 李广军,徐祥书/42  
基于I-MOEA/D的多目标测试用例优先级排序····· 袁光辉,许 华/53

**【医学】**

- 内质网应激诱导细胞类凋亡的机制研究进展····· 吴瑜婷,郑雨彤,石惠萍,胡琼莹/63  
台州市儿童青少年近视状况及对策分析····· 郑书易,王亚勤/72

**【教育·教学】**

- “新高考”背景下C语言程序设计课程教学改革与实践  
——以台州学院为例····· 华晓锋,陈月芬,陈荣钦/77  
人工智能专业大学生专业认同对学习投入的影响····· 和建秋,朱毕婷,张 倩,赵 样/82

## 第4期

## 【科学技术史】

- 刍议笔记小说的史料价值及其与他类典籍的关系····· 厚宇德/01  
《菽园杂记》及其中的科技史料····· 姚登程/07

## 【哲学】

- 批判二元对立思维——对马克思主义实践观、自然观、审美观过往研究的反思····· 彭志恩/12

## 【天台山文化·和合文化】

- 和合文化与全球文明倡议——“2023和合文化全球论坛”学术研讨会综述····· 徐克/21  
中华和合文化源头新探····· 杨供法,杨轲玮/26  
论文化组学视角下寒山文化的域外传播····· 周芬/34

## 【语言】

- 西方翻译理论研究对中国译学创新的启示····· 胡作友,陈晓敏/40  
人际类关系名词的语义及其词典释义····· 高翀/47

## 【文学】

- 论英剧《天堂一刻》对左拉小说《妇女乐园》的松散改编····· 王欣/55  
何为“诗的内容”？  
——雅各布森隐喻和转喻理论视野下的废名诗论探析····· 徐旭敏/62  
拉丁精神和身份构建——罗多《爱丽儿》的美洲主义构想····· 陈义山,马翔/68  
诗学视域下“清风”到“林风”的分化——以魏晋为源起····· 冯琪琪/75

## 【法学】

- 三维视角下整合设立背信罪的思考····· 阮俊杰/82

## 【书评】

- 清代小说戏曲禁毁问题研究的拓展和深化——评张天星《晚清小说戏曲禁毁问题研究》····· 周兴陆/88

## 第5期

## 【庆祝新中国成立75周年】

- 教育平等的不懈追求——新中国成立初期的“文化翻身”运动····· 葛福强,商丽浩/01  
75年探路:浙江民间重教文化与学校教育和谐耦合····· 陆秀清/07  
中国产教融合的历程、逻辑与发展进路····· 许利敏/13

## 【生命传播与跨媒介叙事】

- “沉思之思”与“计算性思维”——数智时代网络社交用语的隐喻探究····· 师曾志/19  
再现与再造——基于现实性影像重思生命叙事····· 肖键/27  
技术隐喻与伦理回归——数智时代翻译技术的发展与展望····· 祝婕/32

## 【天台山文化】

- 台州海门卫及其所城调查研究····· 郑琦/38

- 清末民初士人王舟瑶的著述人生····· 张 燕/46  
论方孝孺与苏轼散文创作的师承关系····· 卢富清,白金/53

### 【语言】

- “回头”的虚化历程及其机制新探····· 王 蓉,张云峰/60  
从“祝寿”到“祝德”——先秦祝祷观念变迁····· 李晓嵘/67

### 【文学】

- 钱琦与袁枚交游考述——兼论“性灵说”内涵的深化····· 奚红雨,杨艳华/74  
论卡夫卡的饥饿体验与禁食写作····· 王采玉/81

### 【书评】

- 薪火相传 赓续前行——读姬建敏《当代编辑学家学术思想研究》····· 郭 晶,孙雅琪/89

## 第6期

### 【数学与建模】

- 基于回归方法的玻璃文物成分鉴定····· 郑 钊,陈 煜,林建豪,夏志乐/01  
网球比赛的走势预测····· 陈佳慧,王琮蓉,蒋洪涛,李韶伟/08

### 【材料科学】

- 冷喷压力对不同基板上单道单层冷喷纯铜涂层的影响  
····· 王 晗,李微微,裘天乐,郜菊敏,徐飞龙,邵 玲,薛 娜/14  
高吸水树脂对混凝土的影响及其调控试验  
····· 王睿欣,于凯圣,杨可悦,钟林谚,林 伟,李能至,张之骋,袁 骥/23

### 【计算机科学】

- 一种基于改进SSD的输液器导管涂胶缺陷检测方法  
····· 谢骏杰,陈瑞源,王 俊,张石清,罗 坚,郑 龙/29  
基于无趣项挖掘的双视图去流行度偏差推荐····· 彭仕鑫,张力生/36  
基于改进YOLOv5的交通标志检测与识别····· 刘昕宇,薛 波,林梦成/47  
基于改进PSO-PID的无刷直流电机矢量控制····· 靳 凯,肖 平,吕傲宁/56

### 【建筑学】

- 基于绿色建筑技术的幼儿园整体优化设计  
——以台州市椒江区心湖幼儿园为例····· 滕 蕊,施雯静,黄凌顶,王 波,颜 丰/63

### 【教育·教学】

- 计算机编程教育现状分析与教学改革策略····· 王丹丹/73  
论中学数学讲授法中的互动····· 张晓贵/80  
OBE理念下“软件工程”课程思政教学案例设计····· 夏洁武,李金忠,彭 蕾,刘 欢/87

# 台州学院·建筑工程学院

## 教学科研

学院目前已有16门课程获批省一流课程。建有省级实验教学示范中心，包括土木工程材料、岩土工程、建筑给排水、工程测量、结构虚拟仿真等14个实验分室；实验中心通过开放性实验室、大学生创新基地、产学研结合平台和课程实验教学实验室，构建了土木工程测试技术、计算机辅助分析设计技能、施工技术及管理技能、建筑节能技术以及工程结构创新技术5个实验技能训练模块，并结合专业技能竞赛全面培养学生的实践能力和工程应用能力，着力提升学生的综合素质和创新意识。

学院教师先后主持自然科学基金项目国家级8项、省级14项，浙江省科学技术厅、教育厅以及台州市科学技术局、教育局等省市级项目百余项。学科团队在桥梁检测与加固、垃圾填埋场建造、污染场地和水体的修复、“五水共治”与污水零直排等领域，形成了一批具有特色优势的关键技术成果，并成功应用于相关工程。

## 育人成效

学院是学校人才培养模式综合改革3个试点学院之一，始终秉持“紧密联系、师徒传承、贴心服务、教学相长”的育人理念，以教书育人为中心工作，着力培养能设计、会施工、懂管理、高素质、强能力的应用型土建专业人才，人才培养特色鲜明。

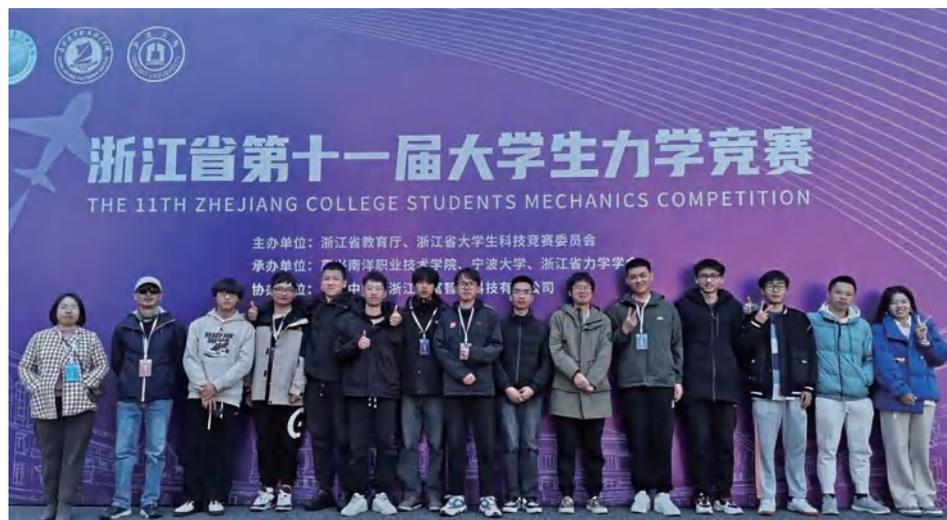
近年来，学院在党建、育人及学科竞赛等方面均取得了丰硕成果：获批全国党建工作样板支部1个，浙江省党建工作样板支部3个；荣获浙江省“三育人”岗位建功先进集体称号。学生获学科竞赛奖项国家级84项、省级323项；连续四年获浙江省大学生力学竞赛一等奖；学生以第一作者身份公开发表论文34篇，获授权专利106项；毕业生就业率、升学率、满意度稳居全省同类高校前列；考研录取率从2009年的1%上升到2023年的26%，其中给排水科学与工程专业达40%。



教师党支部书记工作室揭牌仪式



结构实验室掠影



浙江省大学生力学竞赛师生合影



建筑学毕业设计展

## 中国·台州

TAIZHOU CHINA

主管单位 台州学院

Authority Taizhou University

主办单位 台州学院

Sponsor Taizhou University

主编 李钧敏

Editor-in-chief Li Junmin

副主编 邵凯云

Deputy Editor Shao Kaiyun

编辑出版 台州学院学报编辑部

Edited by Editorial Board of Journal of Taizhou University

地址 浙江省临海市东方大道605号

Address No. 605, Dongfang Avenue, Linhai, Zhejiang Province

邮编

Postcode 317000

网址

The URL <https://journal.tzc.edu.cn>

印刷单位 台州印刷厂(有限公司)

Printed by Taizhou Printing House(Co., Ltd.)

国内发行 台州学院学报编辑部

Domestic Distributor Editorial Board of Journal of Taizhou University

国外发行 中国出版对外贸易总公司(北京782信箱 邮编: 100011)

Overseas Distributor China National Publishing Industry Trading Corporation (P.O. Box 782, Beijing 100011, China)

电子邮箱

E-mail [xbb@tzc.edu.cn](mailto:xbb@tzc.edu.cn)

电话

Tel. 0576-85137169

双月刊

1979年创刊

第46卷 第6期

(总第248期) 2024年12月20日出版

Bimonthly Started in 1979

(Issue No. 248) Vol. 46 No. 6 Dec. 2024

封面题字: 沙孟海

中国标准连续出版物号:

ISSN 1672-3708

CN 33-1306/Z

定价: 12.00元



ISSN 1672-3708



9 771672 370241