

同行专家业内评价意见书编号： 20250858252

附件1

浙江工程师学院（浙江大学工程师学院） 同行专家业内评价意见书

姓名： 李倬毅

学号： 22260138

申报工程师职称专业类别（领域）： 能源动力

浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）制

2025年05月15日

填表说明

一、本报告中相关的技术或数据如涉及知识产权保护、军工项目保密等内容，请作脱密处理。

二、请用宋体小四字号撰写本报告，可另行附页或增加页数，A4纸双面打印。

三、表中所涉及的签名都必须用蓝、黑色墨水笔，亲笔签名或签字章，不可以打印代替。

四、同行专家业内评价意见书编号由工程师学院填写，编号规则为：年份4位+申报工程师职称专业类别(领域)4位+流水号3位，共11位。

一、个人申报

(一) 基本情况【围绕《浙江工程师学院(浙江大学工程师学院)工程类专业学位研究生工程师职称评审参考指标》，结合该专业类别(领域)工程师职称评审相关标准，举例说明】

1. 对本专业基础理论知识和专业技术知识掌握情况(不少于200字)

本人在研究生期间参与了企业实践，深入电厂一线开展了专业基础理论和专业技术的学习，在这一过程中学习了电力设计的工作内容和基本流程，撰写可行性研究、初设和施工图设计等设计流程。前往油田变电所现场学习，结合图纸认识变电所的基本设备和工作流程，了解电缆接线、电压互感器、阻尼箱、消弧线圈、电力变压器、通信部分等设备的实物，学习新能源项目建设程序和国家有关政策、法律、规范、标准，以及开展了电厂锅炉侧的实物现场学习和维护操作等活动

2. 工程实践的经历(不少于200字)

针对电厂实际运行工况，对碳捕集装置入口的CO₂开展长时间监测。进行烟气采样选址，布置输气管线，并在时序上同步电厂运行的参数与测试烟气数据，对获取的实验数据进行分析筛选，建立参数与CO₂排放的非线性关系，提出一种具有普适性的基于电厂运行的CO₂浓度预测模型。基于电厂脱硫装置后，找到合适的烟气采样点，现场设计气路，布置设备，实现对电厂烟气CO₂浓度在线监测。参与了电能公司实践项目“全绝缘综合作业法研究与应用”，并获得了公司的科技进步一等奖奖项

3. 在实际工作中综合运用所学知识解决复杂工程问题的案例(不少于1000字)

1、针对电厂实际运行工况，对碳捕集装置入口的CO₂开展长时间监测。进行烟气采样选址，布置输气管线，并在时序上同步电厂运行的参数与测试烟气数据，对获取的实验数据进行分析筛选，建立参数与CO₂排放的非线性关系，提出一种具有普适性的基于电厂运行的CO₂浓度预测模型。基于电厂脱硫装置后，找到合适的烟气采样点，现场设计气路，布置设备，实现对电厂烟气CO₂浓度在线监测。基于测试得到的CO₂浓度数据，利用python对获取的实验数据进行清洗，删除失真或者由于设备吹扫的错误数据点，并对残缺的数据点进行插值拟合，得到完整的数据段作为CO₂浓度预测模型训练集的数据输入。

2、CO₂化学吸收剂基本性能研究。通过多组分调配、颗粒强化等技术开发新型吸收剂。以所设计的新型吸收剂为基础，开展吸收剂性能测试。结合电厂运行工况与CCUS项目需求，建立基于吸收速率、吸收容量、解吸能耗、解吸温度、解吸速率等多因素的吸收剂评价方法，开发适用于电厂CCUS的吸收剂。目前，基于商用的有机胺吸收剂进行配方的优化研究，研究伯胺、仲胺、叔胺、位阻胺等具有不同结构和官能团的醇胺复配对不同浓度CO₂

吸收性能的影响，利用粘度计、密度计、量热仪等测试设备对吸收剂不同温度、不同CO₂负荷下的粘度、密度、反应热等物性参数进行表征，确定适用于电厂工况的吸收剂主体成分和配比；对饱和

CO₂吸收剂的解吸性能进行研究，开展解吸能耗与解吸速率等指标的分析，进一步筛选出低能耗的CO₂吸收剂；研究颗粒粒径，添加量对吸收剂基液吸收与解吸性能的影响。

3、吸收过程的传质-

反应机理研究。基于优选的吸收剂，设计湿壁塔装置，探究不同烟气成分及温度、吸收剂水含量、CO₂负荷、pH等对CO₂吸收传质-反应动力学参数的影响规律，构建CO₂吸收剂传质-反应动力学模型。以优选的吸收剂为基础，搭建湿壁塔对CO₂的传质-

反应动力学进行研究，揭示气液相传质系数对吸收性能的影响规律，考察气液比、吸收剂浓

度等操作参数对吸收性能的影响，建立反应动力学模型。在实验室研究的基础上，开展CO₂吸收剂工业应用评估，形成高效

CO₂吸收剂配方。目前，已完成实验装置的设计和加工，并初步开始搭建实验测试系统，拟于下学期开展实验研究。

4、基于驱油产品气的CCUS系统的稳态分析及评估。综合实际电厂的CO₂浓度排放模型和所筛选的

CO₂吸收剂动力学模型，针对已有CCUS工艺流程，建立以油田驱油产品气为导向的CCUS全流程模型，形成CCUS系统的经济，能源，环境及碳减排多维评估方法。目前，已针对油田设计的CCUS工艺路线，进行全流程模拟，基于输入的实际CO₂浓度模型和吸收剂模型，对整个系统的能源、经济性等进行模拟。对于整个流程的模拟，还需要进一步细化细节参数，并对工艺流程进行初步优化。后续，针对油田驱油作业的产品气需求，完善整个CCUS工艺流程。

（二）取得的业绩（代表作）【限填3项，须提交证明原件（包括发表的论文、出版的著作、专利证书、获奖证书、科技项目立项文件或合同、企业证明等）供核实，并提供复印件一份】					
1. 公开成果代表作【论文发表、专利成果、软件著作权、标准规范与行业工法制定、著作编写、科技成果获奖、学位论文等】					
成果名称	成果类别 [含论文、授权专利（含发明专利申请）、软件著作权、标准、工法、著作、获奖、学位论文等]	发表时间/授权或申请时间等	刊物名称/专利授权或申请号等	本人排名/总人数	备注
基于 CNN LSTM 模型的燃烧烟气 CO ₂ 浓度预测研究	CSCD期刊	2024年12月23日	燃烧科学与技术	1/7	已录用
2. 其他代表作【主持或参与的课题研究项目、科技成果应用转化推广、企业技术难题解决方案、自主研发设计的产品或样机、技术报告、设计图纸、软课题研究报告、可行性研究报告、规划设计方案、施工或调试报告、工程实验、技术培训教材、推动行业发展中发挥的作用及取得的经济社会效益等】					

三、浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）工程类专业学位研究生工程师职称评审参考指标

工程实践案例 (结合申报人实际具体论述)	职业道德	知识掌握	专业技术能力	取得的业绩 (代表作)
承担或参与行（企）业应用性课题研究项目；应用先进技术解决企业重大技术难题；推广应用具有较高水平的新技术、新工艺、新流程、新设备、新材料等；承担或参与国家、行业、地方技术标准或企业主导产品技术标准的制定，技术规范的编写；参与完成企业新建、扩建或技术改造项目的研究，包括方案的制定、工程设计、施工、设备的安装及调试等工作；参与企业精密、大型、稀有成套设备或关键设备维护、维修工作；参与企业产品的研究、设计、工艺、制造和技术管理工作；参与产品质量评价、检测手段改进、实验方法更新，技术管理体系建立，设备使用和维护规程制定等；在勘探开发、技术研发、生产建设、经营管理等项目中，规划或制定出一套可行的科学管理方法；完成对行（企）业项目具有指导作用的有关情报资料的搜集、整理、汇编，提出系统报告；完成本专业领域的技术分析和市场分析，给出合理的分析结论及建议，提出可行的改进方案和验证方法；参与校企联合实验室行（企）业课题研究；指导助理工程师的工作和学习等。	1. 品德修养 （践行社会主义核心价值观，具备爱国奉献、艰苦奋斗的精神，强烈的社会责任感；融入企业文化，遵纪守法、爱岗敬业、勇于开拓、敢于担当，具有精益求精、追求卓越的工匠精神） 2. 科学素质 （具有科学严谨、求真务实、持之以恒、勇攀高峰的学习态度和终生学习意识） 3. 职业素养 （具备良好的职业道德、积极的职业心态、正确的职业价值观；树立安全、健康及环境友好等工程伦理意识，掌握工程伦理规范，具有良好的市场、质量、职业健康和安全意识，注重工程与自然环境、生态保护、社会和谐与可持续发展的关系）	1. 基础及专业知识 （熟悉行业技术需求，包括从事工程构思、设计、实现、运作所需的相关数学、自然科学、经济管理等人文与社会科学基础知识；系统掌握专业理论知识、专业技术知识和研究方法） 2. 行业知识 〔包括行（企）业采用的新技术、新流程、新工艺、新方法、新材料、新设备、先进生产方式、国内外技术前沿发展现状与趋势；行（企）业技术标准、工作流程、职业规范、政策制度、法律法规等〕 3. 默会性工程知识 （专业实践训练过程中情境性、意会性等知识积累） 4. 跨专业领域知识 （基于复杂工程问题解决的多专业领域交叉知识的学习）	1. 环境及岗位适应能力 〔通过全过程参与行（企）业实际工程项目建设，包括设计项目建设方案、执行项目计划任务、应对项目建设突发情况、监督项目建设风险管控等，能应对压力和挑战，加强自身对环境和岗位的适应力，具备从事工程技术研究、设计、生产、技术管理决策实战经验〕 2. 参与工程建设所需的基本技能 （能综合运用先进仪器设备、专业软件、企业现场数据采集与算法分析等现代研究工具和研究方法开展工程建设和项目研究工作） 3. 技术应用创新及工程创新实践能力 （技术应用、应用创新、技术创新能力；综合运用所学知识解决复杂工程问题的能力；参与工程规划、设计研发、实施运作、科学管理的决策和行动能力；运用现代生产管理和技术管理方法来独立解决比较复杂的技术问题的能力；对本领域工作进行设计、过程审核和设计质量把关，有效规避设计质量问题的能力） 4. 团队协作能力 （具有跨工种、跨专业领域的团队工作经历，富有团队合作精神，具备良好的人际沟通、组织协调、激励授权等领导能力；有效指导他人进行项目产品设计开发和优化提升工作的能力） 5. 工程思维养成 （包括问题导向意识、工程创新意识、技术成果转化意识、批判性思维、系统性思维等） 6. 具有国际视野和跨文化交流、竞争与合作的能力	1. 公开成果代表作 （论文发表、专利成果、软件著作权、标准规范与行业工法制定、著作编写、科技成果获奖、学位论文等） 2. 其他代表作 （主持或参与的课题研究项目、科技成果应用转化推广、企业技术难题解决方案、自主研发设计的产品或样机、技术报告、设计图纸、软课题研究报告、可行性研究报告、规划设计方案、施工或调试报告、工程实验、技术培训教材、推动行业发展中发挥的作用及取得的经济社会效益等）

(三) 在校期间课程、专业实践训练及学位论文相关情况	
课程成绩情况	按课程学分核算的平均成绩: 87 分
专业实践训练时间及考核情况(具有三年及以上工作经历的不作要求)	累计时间: 1 年(要求1年及以上) 考核成绩: 83 分
本人承诺	
个人声明: 本人上述所填资料均为真实有效, 如有虚假, 愿承担一切责任, 特此声明!	
申报人签名: 李停毅	

二、日常表现考核评价及申报材料审核公示结果

日常表现 考核评价	非定向生由德育导师考核评价、定向生由所在工作单位考核评价： ☒ 优秀 ☐ 良好 ☐ 合格 ☐ 不合格 德育导师/定向生所在工作单位分管领导签字（公章）：  2015年5月17日
申报材料 审核公示	根据评审条件，工程师学院已对申报人员进行材料审核（学位课程成绩、专业实践训练时间及考核、学位论文、代表作等情况），并将符合要求的申报材料在学院网站公示不少于5个工作日，具体公示结果如下： ☐ 通过 ☐ 不通过（具体原因： 工程师学院教学管理办公室审核签字（公章）： 年 月 日

浙江大学研究生院
攻读硕士学位研究生成绩表

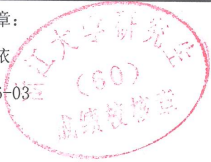
学号: 22260138	姓名: 李倬毅	性别: 男	学院: 工程师学院	专业: 能源动力	学制: 2.5年						
毕业时最低应获: 24.0学分		已获得: 27.0学分		入学年月: 2022-09	毕业年月:						
学位证书号:			毕业证书号:		授予学位:						
学习时间	课程名称	备注	学分	成绩	课程性质	学习时间	课程名称	备注	学分	成绩	课程性质
2022-2023学年秋季学期	工程技术创新前沿		1.5	85	专业学位课	2022-2023学年冬季学期	新时代中国特色社会主义思想理论与实践		2.0	84	公共学位课
2022-2023学年秋季学期	数值计算方法		2.0	88	专业选修课	2022-2023学年冬季学期	产业技术发展前沿		1.5	93	专业学位课
2022-2023学年秋季学期	新能源发电与变流技术		2.0	93	专业学位课	2022-2023学年春季学期	自然辩证法概论		1.0	87	公共学位课
2022-2023学年冬季学期	低碳能源系统理论与设计		2.0	90	专业选修课	2022-2023学年夏季学期	研究生英语基础技能		1.0	免修	公共学位课
2022-2023学年秋冬学期	工程管理		2.0	85	跨专业课	2022-2023学年春夏学期	高阶工程认知实践		3.0	79	专业学位课
2022-2023学年秋冬学期	工程伦理		2.0	90	公共学位课	2022-2023学年夏季学期	研究生英语		2.0	免修	公共学位课
2022-2023学年冬季学期	综合能源系统集成优化		2.0	88	专业学位课		硕士生读书报告		2.0	通过	
2022-2023学年秋冬学期	研究生论文写作指导		1.0	94	专业学位课						

说明: 1. 研究生课程按三种方法计分: 百分制, 两级制 (通过、不通过), 五级制 (优、良、中、及格、不及格)。
2. 备注中 “*” 表示重修课程。

学院成绩校核章:

成绩校核人: 张梦依

打印日期: 2025-06-03





纳米颗粒强化船舶烟气CO₂吸收解吸性能实验李倬毅¹, 孟 骏¹, 郭姜敏², 杨晓冬³, 马 钢³, 刘少俊^{1,2}, 郑成航²

(1. 浙江大学工程师学院, 杭州 310015;

2. 浙江大学能源高效清洁利用全国重点实验室, 杭州 310027;

3. 中国石油集团电能有限公司, 大庆 163453)

摘 要: 利用鼓泡吸收和解吸实验装置研究TiO₂和SiO₂纳米颗粒对质量分数为30%的单乙醇胺(monoethanolamine, MEA)溶液CO₂吸收-解吸性能的影响。结果表明, 质量分数为0.10%的TiO₂-MEA吸收剂的吸收增强因子最佳, 可以达到1.095。吸收前后纳米颗粒的粒径分布和Zeta电位基本保持不变, 具有较好的稳定性。在解吸过程中, 相较质量分数为30%的MEA吸收剂, 质量分数为0.10%的TiO₂-MEA和质量分数为0.10%的SiO₂-MEA吸收剂相对热损耗分别降低7.1%和7.0%, 解吸容量分别提升7.69%和7.53%。此外, 纳米颗粒对其他有机胺吸收剂也具有一定作用, 在解吸过程中, 显著提高有机胺吸收剂解吸速率的峰值, 缩短达到解吸速率峰值的时间, 提高解吸效率。

关键词: 船舶柴油机; 烟气; CO₂捕集; 纳米流体; 传质增强

中图分类号: TQ028.17 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-4357(2024)05-0008-09

Experiment of the Absorption and Desorption Performance of CO₂ in Ship Flue Gas Enhanced by NanoparticlesLI Zhuoyi¹, MENG Jun¹, GUO Jiangmin², YANG Xiaodong³, MA Gang³,
LIU Shaojun^{1,2}, ZHENG Chenghang²

(1. Polytechnic Institute, Zhejiang University, Hangzhou 310015, China;

2. State Key Laboratory of Clean Energy Utilization, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

3. CNPC Electric Energy Company, Daqing 163453, China)

Abstract: A bubbling absorption and desorption experimental device was used to study the effect of TiO₂ and SiO₂ nanoparticles on the CO₂ absorption and desorption performance of MEA (monoethanolamine) absorbent with mass quality fraction of 30%. The results show that TiO₂-MEA absorbent with mass fraction of 0.10% has the best absorption enhancement factor, which can reach 1.095. The particle size distribution and Zeta potential of the nanoparticles remain basically unchanged before and after absorption, indicating good stability. During the desorption process, compared with MEA absorbent with mass fraction of 30%, the relative heat duty of TiO₂-MEA and SiO₂-MEA absorbent both with mass fraction of 0.10% was reduced by 7.1% and 7.0% respectively, and the desorption capacity was increased by 7.69% and 7.53% respectively. In addition, nanoparticles also have a certain effect on other amine absorbents. During the desorption process, it significantly increases the peak value of the desorption rate of amine absorbent, shortens the time to reach the peak value of the desorption rate,

收稿日期: 2024-08-01

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFE0208900)

证明编号: 【燃字】

703

论文题目: 基于 CNN-LSTM 模型的燃烧烟气 CO₂ 浓度预测研究

论文编号: 244147

作者: 李倬毅, 孟骏, 杨晓冬等

单位: 浙江大学

电话: 13852914135

责任编辑 (签名)

2024 年 12 月 23 日

第 () 号

录用证明

证明编号: 【燃字】

703

李倬毅, 孟骏, 杨晓冬等 撰写的题为: “基于 CNN-LSTM 模型的燃烧烟气 CO₂ 浓度预测研究” 的论文, 经评审专家及主编审阅, 决定录用。该论文将由《燃烧科学与技术》期刊择期发表, 特此证明。

天津大学期刊杂志社有限公司

《燃烧科学与技术》编辑部

2024 年 12 月 23 日

基于 CNN-LSTM 模型的燃烧烟气 CO₂ 浓度预测研究

李倬毅¹, 孟骏¹, 杨晓冬², 马钢², 刘少俊^{1,3}, 郑成航³, 高翔³

(1. 浙江大学工程师学院, 浙江 杭州 310015; 2. 中国石油集团电能有限公司, 黑龙江 大庆 163453;

3. 浙江大学能源高效清洁利用全国重点实验室, 浙江 杭州 310027)

摘要: 在“碳达峰”“碳中和”目标下, 燃烧装置的低碳化改造是减少 CO₂ 排放的重要途径。为了预估碳排放水平, 指导碳捕集装置的设计, 以燃烧装置运行参数、燃料参数和已有烟气参数等特征变量作为输入, 提出了一种卷积-长短期记忆神经网络模型 (CNN-LSTM), 用于烟气出口 CO₂ 浓度的预测。与长短期记忆神经网络模型 (LSTM), 随机森林模型 (Random Forest) 和极限梯度增强模型 (XGBoost) 相比, CNN-LSTM 具有更好的准确性。CNN-LSTM 的决定系数 R² 和均方根误差 RMSE 分别为 0.971 和 0.122, 相比前述模型 R² 提高了 0.93-6.23%, RMSE 降低了 11.59-41.3%。进一步优化特征变量后, CNN-LSTM 的 R² 和 RMSE 分别提升至 0.975 和 0.116。

关键词: 燃烧烟气; CO₂ 浓度预测; 卷积神经网络; 长短期记忆神经网络

中图分类号: TK11 (网站首页左侧查询) 文献标志码: A 文章编号: 1006-8740(2022)00-0000-00

Research on CO₂ concentration prediction of combustion flue gas based on the CNN-LSTM model

Zhuoyi Li¹, Jun Meng¹, Xiaodong Yang², Gang Ma², Shaojun Liu^{1,3}, Chenghang Zheng³, Xiang Gao³

(1. Polytechnic Institute, Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang 310015;

2. CNPC Electric Energy Company, Daqing Heilongjiang 163453;

3. State Key Laboratory of Clean Energy Utilization, Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang 310027)

Abstract: The low-carbon transformation of combustion devices is a crucial method for reducing CO₂ emissions under the objectives of "carbon peak" and "carbon neutrality." To estimate carbon emissions and inform the design of carbon capture devices, this study proposes a Convolutional Neural Network-Long Short-Term Memory (CNN-LSTM) model for predicting CO₂ concentration at the flue gas outlet. The model utilizes combustion device operational parameters, fuel characteristics, and existing flue gas parameters as input features. Compared to the Long Short-Term Memory (LSTM) model, Random Forest, and Extreme Gradient Boosting (XGBoost), CNN-LSTM demonstrates superior accuracy. The coefficient of determination (R²) and root mean square error (RMSE) of CNN-LSTM are 0.971 and 0.122, respectively, showing improvements of 0.93-6.23% in R² and reductions of 11.59-41.3% in RMSE compared to the aforementioned models. After further optimization of the input features, R² and RMSE of CNN-LSTM model increased to 0.975 and 0.116, respectively.

Keywords: flue gas combustion; CO₂ concentration prediction; Convolutional Neural Networks; Long Short-Term Memory Neural Networks.