

同行专家业内评价意见书编号: 20250858257

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: 杨涛

学号: 22260500

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21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)

当前，我国垃圾焚烧行业发展迅速，焚烧处理现已成为我国最主要垃圾处理方式，焚烧过程产生的碳排放量仍随垃圾处理量呈现同步上升趋势，垃圾焚烧碳排放核算、碳减排潜能估计不容忽视。然而，垃圾焚烧过程碳排放核算的准确与否，关键在于对焚烧垃圾中生物源、化石源性质垃圾的准确区分识别。现有的垃圾焚烧碳排放核算方法中基本存在核算参数非本土化，方法适用性弱的问题，因此研究开发考虑国内垃圾特性、能够精确核算垃圾焚烧过程碳排放量的入炉垃圾碳源识别方法至关重要。

基于以上研究背景及基础理论知识，本申请人掌握垃圾焚烧发电厂基本工艺流程；掌握垃圾焚烧发电厂锅炉、炉膛燃烧部分元素质量、能量流向数学表达；掌握垃圾焚烧发电厂DCS分布式控制系统测点布置规则；掌握垃圾焚烧发电厂OPC运行数据监测系统数据采集及组态王数据抓取；掌握复杂非线性能质平衡模型超定方程组的最优化数学求解方法；掌握Matlab、Python等算法开发工具；掌握Java、Maven、SpringBoot等后端开发框架；掌握MySQL、SQL Server、Redis等数据库开发；掌握Vue、Grafana等前端展示界面开发。

2. 工程实践的经历(不少于200字)

本工程实践综合考虑当前我国垃圾焚烧碳排放领域存在的问题——

直接使用碳排放核算方法默认缺省值会造成碳排放核算误差大，结果偏差严重；使用放射性碳法成本过高、无法实时监测，在实践期间以浙江某垃圾焚烧发电厂为研究对象，通过实地测点调研最终确定由质量平衡方程、惰性组分平衡方程、碳平衡方程、能量平衡方程、氧气消耗方程、氧气消耗与二氧化碳产生差异方程、水平衡方程共计7个平衡方程构成表征垃圾焚烧过程全部的碳、氢、氧元素的质量、能量流向。并通过一次长周期、大规模的实地垃圾采样，获取到代表我国生活垃圾特点的元素特征参数。根据能质平衡模型的数学特性，构造了一种基于鲁棒M估计的EXP-

RLS估计函数耦合SQP非线性处理方法的基于能质平衡模型的入炉垃圾组分组成碳源识别计算方法。并在该垃圾焚烧发电厂进行了放射性碳法采样实验以及烟草投料实验验证该碳源识别方法的准确性以及灵敏性。最后，在该垃圾焚烧发电厂建立了国内首套垃圾焚烧发电厂入炉垃圾碳源识别在线监测系统，实现对于入炉垃圾组分构成以及垃圾焚烧厂化石碳排放的在线监测。

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)

垃圾焚烧发电可快速减容、减量且回收能量，是国际主流垃圾处理方式之一，目前全球年焚烧量已超3.5亿吨，但带来每年超十亿吨的碳排放量，是全球四大碳排放行业之一。我国垃圾焚烧行业迅速发展，将废弃物处理列为首批五类重点行业之一。在“中国30·60双碳”和“欧洲绿色新政”政策驱动下，垃圾焚烧行业均面临碳排放监测和低碳高效处置的需求。面对日益严峻的压力，该行业的减碳、降碳技术的研发和应用日益重要。然而我国垃圾组分复杂，碳源的识别难度较高，目前仍缺乏可靠的碳排放核算监测方法。因此，如何实现垃圾焚烧碳源识别并准确核算碳排放已成为当前生活垃圾碳排放核算领域的热点问题。针对当前已有的垃圾焚烧碳排放核算方法学提供的排放因子等参数的缺省值无法准确反馈我国生活垃圾特征的问题，本工程实践结合中国垃圾焚烧发电厂工艺流程围绕垃圾焚烧过程能量、质量平衡关系构建能质平衡模型以及相应求解算法，更新了反映中国垃圾特性的元素特征参数数据，最终形成了一套基于能质平衡的垃圾焚烧发电厂入炉垃圾碳源识别方法，并成功应用到浙



江某垃圾焚烧发电厂，本工程实践的工程案例成果总结如下：

(1) 根据我国垃圾焚烧发电厂在烟气净化环节存在湿法洗涤处理工艺的技术特点，建立了一个由7个能量、质量平衡方程构成的能质平衡模型（包括质量平衡方程、惰性组分平衡方程、碳平衡方程、能量平衡方程、氧气消耗方程、氧气消耗与二氧化碳产生差异方程以及水平衡方程），该模型完整表征了垃圾焚烧过程全部C、H、O元素及水分的物质、能量流向。同时，实践过程中通过长周期、大规模垃圾采样，共计分拣生活垃圾8441.61kg，确定了反映中国垃圾特性的元素特征参数。

(2) 为实现能质平衡模型约束下的碳源识别功能，构造了一种基于加权最小二乘估计的求解算法，该算法使用泰勒展开线性化法处理能质平衡约束。针对测量数据存在的显著误差问题，构造了一种基于蒙特卡洛随机模拟的数据合理性检验方法。仿真实验数据表明，数据合理性检验方法能够有效检测并剔除数据中存在的显著误差，加权最小二乘估计可以有效消除随机误差，降低运行数据的测量标准差。但是在入炉垃圾碳源识别（即估计能质平衡模型终入炉垃圾四种组分组成）效果上，泰勒展开线性化法表现不佳。在仅含随机误差的仿真运行数据实验中，存在47.3%的入炉垃圾组分估计结果收敛至奇异值，这说明泰勒展开线性化方法搜索最优解的能力不足、数据利用效率低。而在剔除奇异解后，该方法对于碳源识别的计算结果与理论真值相对误差不超过8.6%，满足当前对于碳源识别的精度要求。但是当仿真运行数据存在显著误差时，若不使用数据合理性检验检测显著误差，同样剔除奇异解后，碳源识别结果与理论真值相对误差超过70%。因此，基于加权最小二乘估计的碳源识别方法适合测量数据精度高、数据采样频率高的垃圾焚烧发电厂进行碳源识别以及碳排放核算，但仍需研究适用范围更广、最优解搜索能力更强的碳源识别方法。

(3) 基于加权最小二乘估计以及泰勒展开线性化方法的不足，本实践基于鲁棒M估计原理，构造了一种具有分段形式的鲁棒M估计函数（ExpRLS估计函数）。该函数同时具备最小二乘估计处理随机误差的无偏特征以及鲁棒M估计对数据显著误差的抑制功能，无需提前使用数据合理性检验方法检测并剔除显著误差，降低了算法使用复杂度。同时，本实践引入序列二次规划（SQP）方法代替泰勒展开线性化方法处理能质平衡模型。基于仅添加随机误差的仿真运行数据，同样使用加权最小二乘估计，SQP方法下的奇异解占比由先前的47.3%降至18.1%，且碳源识别的相对误差不超过9%，同时ExpRLS-

SQP方法下奇异解占比仅为11.9%，并且证明了SQP方法的最优解搜索性能。基于显著误差数据占比25%的仿真运行数据，同样使用SQP方法，在不使用数据合理性检验剔除显著误差的情况下，加权最小二乘估计的碳源识别相对误差最高达到36.5%，而ExpRLS

估计的碳源识别精度相对误差最高达到9.9%，仍控制在10%以内。仿真实验说明ExpRLS估计函数结合SQP方法形成的碳源识别方法抗差能力强、最优解搜索能力强、数据利用效率高、碳源识别精度高，可以推广至垃圾焚烧发电厂实际运行工况下实现入炉垃圾的碳源识别。

(4) 本实践整合ExpRLS

估计函数、SQP方法以及数据合理性检验方法（用于周期性焚烧厂运行数据测点异常检查），形成了一套系统性解决入炉垃圾碳源识别问题的计算方法——

基于能质平衡的垃圾焚烧发电厂入炉垃圾碳源识别方法。本实践以浙江省某垃圾焚烧发电厂为研究对象，通过实地烟气采样并应用放射性¹⁴C方法验证了碳源识别方法的精确性，全部的三组样品实验与计算结果的相对误差分别是2.34%、7.85%、6.28%，证明了该方法在焚烧厂实际运行工况下仍具备高精度碳源识别性能。另外，本实践还通过短时段集中烟草样品投料实验验证了该方法对于入炉垃圾性质变化的灵敏性。最后，本实践应用上述方法对该焚烧厂2023年的运行数据进行了全面碳源识别及碳排放核算分析。碳源识别计算结果显示，以化石源组分垃圾质量分数为基准，全年生物源组分垃圾较化石源组分垃圾占比高出39.3%至127.1%，说明项目入炉垃圾中生物源组分含量显著高于化石源组分含量，这符合我国生活垃圾中生物源垃圾占多数的基本认知。此外，研究发现我国垃圾组成无显著季节性波动，垃圾组



分组成的波动与焚烧厂实际接收的垃圾来源更相关，这与我国生活垃圾焚烧前需先进行3-5天的滤水、发酵提升入厂垃圾热值的操作有关。项目2023年垃圾焚烧过程共计产生9.55万吨的化石碳排放量，动态碳排放因子的统计结果显示，入炉垃圾质量-化石碳排放因子在326.4 kg CO₂, fossil/t waste至437.5 kg CO₂, fossil/t waste范围内波动，数据差额达34%，入炉垃圾能量-化石碳排放因子在33.7 kg CO₂, fossil/GJ waste至43.7 kg CO₂, fossil/GJ waste范围内波动，数据差额达29%。质量、能量相关的动态碳排放因子均存在较大的波动幅度，进一步证明当前IPCC等方法学提供的缺省值在进行碳排放核算时会导致较大的计算误差，而本方法可以提供实时化石碳排放因子，使得垃圾焚烧过程碳排放核算更加精确。同时，本实践还对碳源识别方法进行了输入数据敏感性分析。结果表明碳源识别方法对运行数据中烟气中的CO₂含量最为敏感，1%测量误差将造成最终结果9%的相对误差。而垃圾元素特征参数数据中，生物源、化石源组分的C、H、O元素参数数值1%变化对碳排放核算结果的影响均超过10%，其中化石源组分中H元素数值1%变化最终导致碳排放量相对误差超过25%。因此，为保证碳排放核算的准确性，需要特别注意输入数据尤其是垃圾元素特征参数的准确性。另外，本实践还通过一个为期两周的运行数据实例分析探究了碳源识别方法结合运行数据波动，给与操作人员预混警示，指导其混料、投料，提升垃圾焚烧发电厂运行水平的潜力。

(5) 本实践在浙江某垃圾焚烧发电厂搭建了国内首套入炉垃圾碳源识别在线监测系统，经过多次迭代，该系统已在该厂内网稳定运行并可实时反馈炉内焚烧垃圾组分组成及动态化石碳排放因子波动情况，为当前垃圾焚烧发电厂高精度、低时延的碳排放核算奠定了数据基础。



(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
一种基于能质平衡的垃圾焚烧厂入炉垃圾组分计算方法	授权发明专利	2025年04月04日	专利号: ZL 2025 1 0003019. X	2/7	专利已授权
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： 84 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： 1.1 年 (要求1年及以上) 考核成绩： 82 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： 杨清	



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）：  2025 年 5 月 21 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：22260500		姓名：杨涛		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		高等燃烧学				2.0	86	专业学位课	2022-2023学年春季学期		科技创新案例探讨与实战				2.0	88	专业选修课
2022-2023学年秋季学期		新时代中国特色社会主义思想理论与实践				2.0	89	公共学位课	2022-2023学年春季学期		工程伦理				2.0	76	公共学位课
2022-2023学年秋季学期		工程技术创新前沿				1.5	88	专业学位课	2022-2023学年春夏学期		优化算法				3.0	78	专业选修课
2022-2023学年秋季学期		自然辩证法概论				1.0	87	公共学位课	2022-2023学年夏季学期		智能装备创新设计案例分析				2.0	84	专业学位课
2022-2023学年秋冬学期		研究生论文写作指导				1.0	93	公共学位课	2023-2024学年春季学期		研究生英语应用能力提升				2.0	74	公共学位课
2022-2023学年秋冬学期		高阶工程认知实践				3.0	87	专业学位课	2023-2024学年春季学期		数学建模				2.0	77	专业选修课
2022-2023学年冬季学期		产业技术发展前沿				1.5	91	专业学位课			硕士生读书报告				2.0	通过	

说明：1. 研究生课程按三种方法计分：百分制、百分制、百分制。

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

浙江大学
(60)
成绩校核章

证书号第7854160号



专利公告信息

发明专利证书

发明名称：一种基于能质平衡的垃圾焚烧厂入炉垃圾组分计算方法

专利权人：浙江大学

地址：310058 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

发明人：李晓东;杨涛;张浩;胡斯怡;蔡嘉瑞;林晓青;黄群星

专利号：ZL 2025 1 0003019.X

授权公告号：CN 119400331 B

专利申请日：2025年01月02日

授权公告日：2025年04月04日

申请日时申请人：浙江大学

申请日时发明人：李晓东;杨涛;张浩;胡斯怡;蔡嘉瑞;林晓青;黄群星

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，并予以公告。

专利权自授权公告之日起生效。专利权有效性及专利权人变更等法律信息以专利登记簿记载为准。

局长
申长雨

申长雨

2025年04月04日

第1页(共1页)



扫描全能王 创建