

一、专业实践训练整体情况

实践单位名称	宁夏神耀科技有限责任公司	
实践单位地点	宁夏银川市金凤区北京中路德宁国际中心 10 楼	
实践岗位名称	气化开发部主任	
专业实践训练时间	集中进行	2021 年 10 月 13 日开始 至 2022 年 06 月 01 日结束
		专业实践训练累计 231 天（单位考核前），其中项目研究天数 140 天（单位考核前）
<p>(1) 基本概况（含实践单位简介、实习实践内容等）</p> <p>宁夏神耀科技有限责任公司是由神华宁夏煤业集团有限责任公司、上海齐耀科技集团有限公司、中国五环工程有限公司、中科合成油技术有限公司、宁夏天健丰融股权投资合伙企业（有限合伙）共同出资组建，经国务院国资委批准的首批“员工持股试点”企业。</p> <p>煤气化技术是煤制油、煤制气、煤制甲醇等煤化工的龙头技术。近年来，我国具有自主知识产权的煤气化技术取得了一定的科技成果和进步；粉煤加压气化技术因其煤种适应性好、气化效率高、环保性能优越等优点从而成为工业运行的主流技术，但该技术在节能、节水、规模化效益等方面仍然存在很大发展空间，特别是气化技术的大型化方面。因此，为了支撑煤化工产业的可持续发展，开发具有自主知识产权的大规模、节能节水新型干煤粉气流床气化技术势在必行。</p> <p>本项目进行干煤粉下行辐射废锅气流床气化技术开发与建设，完成 500t/d 投煤量干煤粉辐射废锅气化技术中式装置实验验证、数值模拟仿真计算、工艺包开发和装置建设，掌握辐射废锅结构设计，积灰结渣机理和防控技术开发，实现工艺设计理念的验证、除灰防结渣技术运行验证、仿真计算数据的验证。为开发 4000t/d 投煤量大型干煤粉辐射废锅全套技术的开发积累运行数据和开发经验。</p>		

(2) 项目研究概述 (含项目名称、项目来源、项目经费、主要研究目标和技术难点等)

项目名称: 500t/d 投煤量干煤粉下行辐射废锅气流床气化技术开发与建设

项目来源: 2017 年宁夏回族自治区东西部合作项目

项目经费: 630 万元

主要研究目标:

本项目主要开发 500t/d 投煤量干煤粉下行废锅气化技术的成套技术和装备, 以及长周期稳定运行的配套技术。主要解决影响气化炉膜式水冷壁挂渣及稳定运行的因素; 开展气化烧嘴结构、辐射废锅结构及气化烧嘴结构与气化炉匹配的研究; 建立干煤粉气化炉辐射废锅积灰防控新方法及关键技术; 开发煤粉密相输送稳定运行技术、高压条件下含灰合成气高效气固分离技术。

通过本项目的研究, 完成 500t/d 级干煤粉下行废锅气化炉成套技术开发, 编制工艺包; 建成世界首套 500t/d 级干煤粉下行废锅气化炉中试示范工程, 投入示范运行; 完成气化炉、组合式烧嘴、辐射废锅等核心技术开发和装备制造; 形成粉煤加压气化炉水力计算技术及软件包; 完成专利 3 项, 发表论文 1 篇。

本项目研究可全面提升我国煤转化共性技术—煤气化技术研发、装备制造及工业应用水平; 有效提升煤气化领域装备、材料、平台的自主制造能力; 推动煤炭清洁高效利用技术发展, 提高煤转化综合技术能力; 减少煤转化过程污染物的排放, 降低能耗、水耗; 降低生产运营成本, 提高煤转化经济效益。

技术难点:

难点 1: 开发干煤粉下行废锅流程气化成套技术。

开发干煤粉下行废锅流程气化工艺、装备、控制等成套技术, 完成工业化中试示范运行, 形成自主知识产权成套气化技术。

难点 2: 首次开发出干煤粉气化高温辐射废锅一体化技术。

将高温辐射废热锅炉与气化炉实施装备一体化, 采用“三位一体高效防积灰结渣除灰”技术, 防止辐射废锅积灰结渣, 解决高温高压下气固分离的难点, 同时回收粗煤气显热, 实现高温余热回收利用。

难点 3: 开发新型嵌套组合式气化烧嘴。

开发粉煤气化炉多级嵌套组合式气化烧嘴, 采用耐高温、抗氧化、耐腐蚀材料、向火面热障涂层设计、高效换热冷却等技术, 实现气化烧嘴与气化炉的有效匹配, 既保证气化炉膜式水冷壁的稳定挂渣, 又保证气化炉高的碳转化率 (99%) 和有效气成份

(CO+H₂ 大于 91%)。同时, 嵌套组合式气化烧嘴运行可靠, 能够实现长周期稳定运行。

(3) 项目开展情况(含项目研究内容、研究方案及技术路线, 研究团队分工、本人承担任务及完成情况, 存在问题与改进建议等, 不少于 500 字。)

一、研究内容:

- 1、干煤粉气化工工艺整体概念设计。
- 2、气化炉高压液态熔渣流动和辐射特性的实验研究。
- 3、干煤粉气化炉气化反应动力场、换热面渣膜形成研究。

研究还原性气氛条件下不同煤种的粘温特性和流变特性, 气化炉运行过程中的颗粒附壁沉积和渣膜形成特性。研发干煤粉气化炉气化反应、渣膜形成的全尺度高精度模拟方法, 实现炉内流场特性, 均相和异相气化反应动力学, 煤粉颗粒热解和气化反应, 颗粒附壁沉积、渣层传热、液渣流动过程, 以及炉内水冷壁渣膜形成等的准确预测及优化; 为研究不同工况下最佳烧嘴布置型式、渣膜控制技术提供理论基础, 并为大规模气化炉的设计提供指导性意见。

- 4、废锅底部气液固三相流动特性与热质双传机理研究。
- 5、烧嘴与气化炉结构的匹配性研究。
- 6、工艺包开发。
- 7、气化反应室、辐射废锅水动力特性研究。

研究干煤粉气化炉水冷壁内水、以及辐射废锅内水汽两相混合物的流动传热及阻力特性, 分析高热负荷条件下气化炉及辐射废锅水冷壁管内传热恶化的发生条件、预测方法及应对措施。

- 8、气化炉反应室、辐射废锅的结构设计。

二、方案及技术路线

1、气化炉反应室与组合式烧嘴的匹配形式是 500t/d 投煤量气化炉保证高碳转化率、高的有效合成气组份的关键; 拟定采用两套方案对比分析, 一是采用嵌套式组合式烧嘴顶置方式, 二是采用烧嘴顶置+烧嘴侧置相结合的方式; 通过计算机仿真模拟计算的方法, 优化烧嘴与气化炉的匹配方式和结构。合理设计辐射废锅, 采用“三位一体高效气固分离”方法吹灰, 使高温粗煤气和熔渣在辐射废锅高效冷却换热, 提高气化炉整体热效率的关键。

2、气化炉高压条件下, 不同煤种、气化温度、还原性气氛、合成气组份、灰的组分等对熔渣流动和辐射特性的影响规律及控制技术, 熔渣流动特性与粘温特性和灰熔点间的关系。

3、采用湍流模型、辐射模型、多相流模型、熔渣凝结相变模型等数学模型进行新型干煤粉气化炉废锅内气、液、固三相流动传热机理研究, 以及由此引起的液态熔渣相变过程、废锅中下部灰渣弥散状态。优化计算干煤粉气化炉废锅接口直管、滴水檐、废锅炉体、出口锥度等结构参数, 重点研究气化炉与废锅接口区域, 并给出不同煤种、变负荷运行等情况对优化运行指导的意见。

4、建立废锅底部下降管内气、液、固多相流动与相变传热传质数学模型, 分析各工况参数变化影响, 研究合成气、冷却水、灰渣等多相速度分布、温度分布、灰渣颗粒

浓度分布、气液相界面分布变化规律。优化废锅底部下降管结构，预测负荷变化性能预测。基于实验与模拟验证，优化废锅底部主要结构参数，预测优化废锅底部结构下的负荷变化性能。

5、优化组合式气化烧嘴与气化炉布置形式，使气化炉流场结构布局合理；优化气化炉关键结构尺寸，如炉膛直径、高径比、渣口大小、烧嘴位置和喷射角度等，确保煤粉和纯氧在气化炉内能达到高的湍流混合强度、高的反应速率、长的停留时间，从而有高的碳转化率和有效气产率、高的渣灰比，以及气化炉能长周期安全温度运行。

6、针对气化炉及辐射废锅设计的结构，开展水汽动力校核计算，验证设计结构的水动力特性，指导并优化气化炉及辐射废锅结构设计。

7、基于气化炉、辐射废锅反应流气、固、液质量、动量和能量守恒方程及其边界条件，建立相似准则关系；基于 2000t/d 气化炉反应室结构尺寸、运行技术参数，用准则关系式完成 500t/d 气化炉反应室的概念设计；在此基础上进行仿真计算，获得详细的流场、温度场和浓度场信息、颗粒停留时间、挂渣效果等，并与现场实测数据和实验数据对比分析，修改设计，并完成反应室详细结构设计。

基于全废锅流程气化炉辐射废锅结构尺寸、运行技术参数完成 500t/d 气化炉辐射废锅的概念设计；在此基础上进行仿真计算，获得详细的流场、温度场和浓度场信息、灰渣弥散效果等，并与现场实测数据和实验数据对比分析，修改设计，并完成辐射废锅详细结构设计。

三、团队分工及本人承担任务完成情况

本人在该项目团队中主要以主要研发人员及子课题负责人参与课题的废锅底部气液固三相流动特性与热质双传机理研究，工艺包的开发及气化炉反应室、辐射废锅的结构设计。同时参与该研究内容中其他子课题研究的审查工作。

任务完成情况：

目前已经完成这 8 项课题的研究并形成响应的报告，同时完成工艺包的开发及气化炉反应室、辐射废锅的结构设计，正在开展结题验收工作。

二、专业实践训练收获

(一) 围绕考核评价指标体系，举例说明以下收获（不少于 800 字）

一、知识掌握

掌握了废锅底部气、液、固复杂流动相变热质双传机理研究。建立了废锅底部气、液、固多相流动与相变传热传质数学模型，分析各工况参数变化影响，研究合成气、冷却水、灰渣等多相速度分布、温度分布、灰渣颗粒浓度分布、气液相界面分布变化规律。

优化废锅底部下降管结构，预测负荷变化性能预测。基于实验与模拟验证，优化废锅底部主要结构参数，预测优化废锅底部结构下的负荷变化性能。

研究还原性气氛条件下不同煤种的粘温特性和流变特性，气化炉运行过程中的颗粒附壁沉积和渣膜形成特性。研发干煤粉气化炉气化反应、渣膜形成的全尺度高精度模拟方法，实现炉内流场特性，均相和异相气化反应动力学，煤粉颗粒热解和气化反应，颗粒附壁沉积、渣层传热、液渣流动过程，以及炉内水冷壁渣膜形成等的准确预测及优化；为研究不同工况下最佳烧嘴布置型式、渣膜控制技术提供理论基础，并为大规模气化炉的设计提供指导性意见。

从以上研究中对比了激冷室内破泡条与上升管的结构差异，对合成气洗涤的影响，尤其在入口条件相同的情况下对合成气除灰的效率及合成气带水情况进行了综合比较，最终得出 2 种结构的优缺点以及 2 种结构的设计原则及改进方向。

参与了其他子课题的研究为气化炉整体的结构设计归纳出一套完整的设计原则，为后期气化炉的系列化开发提供了理论基础。

二、能力提升

之前的结构设计多数以经验积累结合运行情况进行设计对比，没有一套完整的设计原则及改造思路，通过本项目的研究积累出大量的设计思路及设计原则，规避了大量经验主义的设计方案，为后期工艺包的开发及气化炉的设计提供了大量的理论计算依据。

通过本项目的研究，完成 500t/d 级干煤粉下行废锅气化炉成套技术开发，编制工艺包；完成气化炉、组合式烧嘴、辐射废锅等核心技术开发和；形成粉煤加压气化炉水动力计算技术及软件包。

三、素质养成

不再采用以往经验主义设计思路，在设计过程中首先采用进行大量的理论计算，然后得出合理的结果，形成一整套完整的设计原则，有效提升了本人在煤气化技术方案的设计研发能力，同时为本人开展后续的技术开发工作，及项目组织协调提供了大量的管理经验。

(二) 取得成效

一、通过技术应用创新、成果转化、解决企业工程实际问题等取得的经济和社会效益

煤气化技术未来发展趋势是安全、高效、洁净、稳定运行，装备制造趋势向高效化、节能化、自动化发展。煤制油、煤制天然气等现代煤化工项目的规模越来越大，对于气化炉也要求高效化、清洁化，以满足项目的合理性、经济性。大型煤气化用煤量大，煤质变化大，就要求气化炉有较好的适应性；同时，低级煤的高效转化也对煤气化提出了特殊要求，开发新型废锅流程干燥粉加压气化技术不仅是企业未来发展的需求，也是国家煤化工产业技术提高的要求。废锅流程煤气化技术不仅可以大幅降低企业成本，而且可以有效利用大量劣质煤种，实现煤炭高效洁净利用，为治理我国大气污染提供有效途径。

目前粉煤加压气化行业竞争对手的研究焦点集中在装置的大型化方面，对节能降耗，回收高品位热量尚未进入实质性的研究阶段。公司作为一家新成立的煤气化技术企业，要想成功在煤气化技术市场立足，急需超前研发高效节能的粉煤加压废锅流程气化技术。如此才能做到避免与竞争对手陷入气化炉大型化研发推广的同质化路线，才能在粉煤加压气化技术市场获得独特的竞争和领先优势。

建设一台 500t/d 投煤量的煤气化炉，在生产 31000Nm³/hCO+H₂ 的前提下，通过废锅通过回收合成气显热副产 10Mpa 高压饱和蒸汽 30 t/h。按照年运行 8000 h 计算，副产的高压饱和蒸汽按 100 元/t 计算，每年相当于回收 2400 万元人民币。

从社会效益角度来说，本项目根据国家煤化工产业发展的需求，围绕 500 吨投煤量干粉煤下行辐射废锅气流床技术率先开展技术应用研究，完善相关工艺技术理论，获得先进的技术。项目以发展国产化技术、设备，节能降耗为奋斗目标。

该项目的实施将开辟由煤经气化生产大宗化学品的新工艺路线，确立了今后能源化工发展的重要方向，有利于降低煤气化技术综合能耗水平，在满足国内市场需求的同同时，带动区域经济的发展，为社会创造巨大的经济效益。

二、与学位论文撰写的相关程度

发表论文 1 篇，专利 4 篇，与学位论文完全相关

3. 在校期间主要研究成果【含产品与样机、专利（含申请）、著作、软件著作权、论文、标准、获奖、成果转化等】

成果名称	类别含产品与样机、专利（含申请）、著作、软件著作权、论文、标准、获奖、成果转化等]	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	学校排名/总参与单位数
废锅内颗粒相变模型建立与相变过	论文	2022-03-19	《煤炭转化》	1/6	2/2

程数值计算					
一种过热蒸汽的下 行全废锅气流床气 化设备和煤化工系 统	发明专利	2021-04-28	ZL202110468 000.4	2/12	
一种煤气化废水再 利用的装置	实用新型	2021-04-07	ZL202120705 758.0	2/13	
一种固液混合物相 变深度脱水的装置	实用新型	2021-04-07	ZL202120705 703.X	2/12	
干煤粉气流床气化 炉及干煤粉的气化 方法	发明专利	2021-03-30	ZL202110337 646.9	2/14	

本人承诺

在专业实践训练及考核报告撰写过程中，如实提供材料，严守
学术道德、遵循学术规范。

签字: 张筱筠

2022年6月6日

三、考核评价

<p>校外合作 导师(或现 场导师) 评价</p>	<p>重点对研究生项目研究开展情况、职业素养、行业知识掌握、环境和岗位适应能力、工程实践能力、团队协作能力，以及通过技术应用创新、成果转化、解决工程实际问题等取得的经济和社会效益等方面的评价：</p> <p>该生项目研究贴合生产实际所需，通过扎实的 知识积累和严谨的工匠精神，在安全、科学、合理 的前提下，充分发挥自身的创新能力，积极在 对实际工程问题，团结协作，充分利用和吸收 团队成员智慧，实现研究项目的工程化，解决工程 中的具体问题，为装置的安全运行提供、支持。</p> <p>校外合作导师（或现场导师）签字：王建军 年 6 月 7 日</p>
<p>校内导师 评价</p>	<p>重点对研究生科学素质、基础及专业知识掌握、技术应用创新能力、取得的研究成果、项目研究与学位论文撰写的相关程度等方面的评价：</p> <p>该生基础扎实，实践过程能与理论 知识结合，科学素质较高，针对实践过 程中遇到的问题制定了合理严谨的方案 取得了显著成果，当前研究内容与学位论 文一致，研究工作按计划进行。</p> <p>校内导师签字：张超 年 6 月 7 日</p>

<p>实践单位 过程考核 意见</p>	<p>实际实践开始时间: 2021年10月13日 实际实践结束时间: 2022年6月1日 专业实践训练累计天数: 231 其中项目研究天数: 140 实践单位过程考核结果: <input type="checkbox"/>优秀 <input type="checkbox"/>良好 <input type="checkbox"/>合格 <input type="checkbox"/>不合格 审核签字并盖公章: 汪建平 2022年6月7日</p>
<p>最终考核 结果审核 备案</p>	<p>考核总成绩 (由现场答辩考核成绩 90%+单位过程考核成绩 10%组成): 是否重修: <input type="checkbox"/>是 <input type="checkbox"/>否 教学管理部 (或相关分院) 审核签字 (公章): _____ 年 月 日</p>

四、相关支撑材料

在校期间主要研究成果【含产品与样机、专利（含申请）、著作、软件著作权、论文、标准、获奖、成果转化等】证明材料原件扫描件，具体提交要求如下：

1. 产品与样机扫描件包含企业证明材料（含产品与样机功能及创新性介绍、社会经济效益、个人贡献说明及相关照片等）。

2. 授权专利扫描件包含专利证书授权页；未授权专利扫描件包含专利受理书扫描件和专利请求书扫描件。

3. 著作扫描件包含封面、封底和版权页。

4. 软件著作权扫描件包含著作权证书和登记申请表。

5. 论文扫描件包含封面、封底、目录和论文全文（含收录证明）。

6. 标准扫描件包含封面、版权页、发布公告、前言和目次。

7. 获奖扫描件包含显示单位和个人排名的获奖证书。

8. 成果转化扫描件包含企业证明材料（含成果技术说明、社会经济效益、个人贡献说明及相关照片等）。