

## 一、专业实践训练整体情况

实践单位名称	北京市热力集团有限责任公司	
实践单位地点	北京市朝阳区西坝河南路2号	
实践岗位名称	项目助理	
专业实践训练时间	集中进行	2021年08月31日开始 至 2022年02月28日结束
		专业实践训练累计 181 天（单位考核前），其中项目研究天数 100 天（单位考核前）
<p><b>(1) 基本概况（含实践单位简介、实习实践内容等）</b></p> <p>实践单位简介：实践单位为北京市热力集团有限责任公司，北京热力集团是全国最大的国有集中供热企业，具有六十余年光荣供热历史，隶属于北京能源集团，担负为北京市市民和中央党政军机关及各国驻华使馆、北京市党政机关、大型企业事业单位的供热保障职责。北京热力集团集供热生产运营、供热规划设计、供热工程建设、供热技术研发、供热设备制造于一体，集团所属分公司9家，分别位于东城区、西城区、朝阳区、海淀区、丰台区、石景山区和门头沟区，京内子公司10余家，京外子公司6家，员工11000多名。截止2019年底，北京热力集团管理的供热面积4.71亿平方米，其中北京市域内供热面积3.19亿平方米，市域外供热面积1.52亿平方米；锅炉房537座，一次管线2731公里，热力站5875座，热用户322万户。近年来，集团经营质量效益稳中有升，供热规模快速增长，服务保障能力全面增强，行业影响力大。</p> <p>实践内容：实践项目的运行资料收集，数据整理，工况分析、方案比较、设计优化等。</p>		
<p><b>(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）</b></p> <p>项目名称：房山区城关地区城中、城西锅炉房烟气余热利用项目</p> <p>项目来源：实践单位</p> <p>项目经费：3125.04万元</p> <p>主要研究目标：拟在北京市房山区城关地区城中、城西锅炉房分别安装1台12.1MW燃气型溴化锂机组，配2台直接接触式换热器，分别回收烟气余热5.0MW。拟合锅炉运行负荷曲线与热泵投运负荷曲线，使烟气余热系统的COP达到1.65以</p>		

上，并重新调整锅炉鼓风机和再循环风机不同工况下运行参数，保证氮氧化物排放达标，同时建设冷凝水回收利用系统监控平台，达到零外排。

技术难点：（1）目前国内吸收式热泵额定 COP 一般为 1.7，但实际运行 COP 仅有 1.3-1.5，究其原因因为热泵负荷未能与烟气余热精准匹配，存在过调或欠调。本项目采用“两塔一泵”配置，系统较“一塔一泵”更复杂，热泵负荷调节需更精准。目前市面上热泵负荷调节主要通过中介水的进水温度、出水温度或温差调节，一方面不能完全吸收烟气余热，一方面调节较滞后。本项目第一个技术难点就是烟气余热利用控制系统与锅炉 DCS 系统之间实时联动，拟合锅炉运行负荷曲线与热泵投运负荷曲线，能超前调整热泵负荷，高效吸收烟气余热，使热泵负荷与锅炉负荷精准匹配，使项目整体 COP 达到 1.65 以上；

（2）烟气余热利用系统后会产生大量冷凝水，冷凝水一般呈碱性，且含铁离子。以前项目的冷凝水一般加碱中和，达标后排放。随着废水排放的要求和成本增加，利用冷凝水作为补水更加切实可行。第二个创新点就是建设烟气冷凝水回收利用系统与监控平台，自动加碱后，酸碱达标的水优先作为首站二网补水，剩余的冷凝水自动除铁后作为一次供热管网系统补水，充分利用余热冷凝水，达到零外排。

### （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 1000 字。）

研究内容：研究烟气余热利用控制系统与锅炉 DCS 系统之间实时联动，拟合锅炉运行负荷曲线与热泵投运负荷曲线，使锅炉与热泵负荷精准匹配，高效吸收烟气余热，保证 NO<sub>x</sub> 排放要求，项目整体 COP 达到 1.65 以上；建设烟气冷凝水回收利用系统与监控平台，充分利用余热冷凝水，作为一次、二次供热管网系统补水，达到零外排。

方案及技术路线：

（1）文献研究和理论分析：查阅热泵和直接喷淋式换热器的相关文献，研究集中供热燃气热水锅炉烟气余热深度回收利用的基本路线。调研热力集团集中供热燃气热水锅炉烟气余热利用系统的运行状况和存在问题。

（2）建模——得到锅炉负荷与热泵负荷基本运行曲线：通过整理城中、城西锅炉房近三年的运行数据（包括锅炉负荷、排烟温度、一次网回水温度等）和设备设施（包括锅炉、鼓风机、变压器、建筑等），完成热泵和喷淋塔的选型，完成项目的可行性分析报告。同时建模完成锅炉负荷与热泵负荷的基本运行曲线。

（3）项目运行调试——优化锅炉负荷与热泵负荷运行曲线：完成项目的技术规范编制、完成招标，完成项目运行调试。依据技术规范严格设计、采购设备、安装施工过程精细化管控。进一步优化锅炉负荷与热泵负荷运行曲线，确保实际运行 COP 达到 1.65 的同时，氮氧化物排放值达标。

（4）综合分析——影响曲线的因素（排烟温度、热网回水温度等）：根据实际运行数据分析排烟温度、热网回水温度对 COP 的影响，一般来说热网回水温度越高，COP 越低；排烟温度越高，COP 越高。

团队分工：项目团队共计 18 人，由高级、中级工程师组成，组员主要分工为统筹指挥、各专业负责人、技经专业负责人。

本人承担任务及完成情况：本人在项目中担任项目联络人和热控专业负责人。主要负责项目的前期资料收集、整理，参与项目的工况分析，参与确定项目方案，完成项目的优化设计。目前已完成项目的资料收集、整理，整体项目方案已确定。项目已过北京热力集团专家评审会，报北京能源集团审批中。

## 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）

1. 知识掌握：本项目采用的燃气吸收式热泵机组配套直接喷淋式换热器的烟气余热回收系统。为此，我深入学习《热泵技术手册》、《吸收式热泵及应用》、《换热器原理及设计》等书籍，了解热泵机组的基本原理、基本构成和设计要点。查阅烟气余热回收的各项论文和专利文件共计 50 余份，了解了烟气余热回收的行业发展现状和发展趋势，目前市面上利用吸收式热泵机组，可将锅炉房整体效率提高 10%。同时，此项目为现有锅炉房改造项目，为更好的完善项目方案，我重新学习了《锅炉原理》，更好的理解烟气余热的“来龙去脉”。收集了 GB/34620-2017《第一类溴化锂吸收式热泵机组》、GB/T 18362-2008《直燃型溴化锂吸收式冷(温)水机组》、GB/T 151-2014《热交换器》等国家规范、明确了国家对于热泵机组的基本参数、试验方法、检验规则等方面的要求。

查阅了北京市的相关规范，北京市建筑节能设计标准中均有余热回收规定。北京市发展改革委等 8 部门京发改规(2019)1 号《关于进一步加快热泵系统应用推动清洁供暖的实施意见》指出，充分利用余热热泵系统：具备改造条件的既有燃气热电厂和锅炉房应加装余热热泵回收装置，支持各类余热热泵应用。市政府固定资产投资对余热热泵系统项目热源和一次管网投资给予 30% 的资金支持。

经过市场调研，热泵机组的直燃机效率一般为 95% 以上，热泵机组的额定 COP 一般 1.7。换热器一般采用间壁、喷淋式。在参观热力集团下属的延庆热力公司的烟气余热回收项目时，延庆公司两个锅炉房均采用燃气吸收式热泵机组配直接喷淋式换热器，不同之处是，换热器分别采用空塔喷淋和填料式喷淋。项目组论证各种换热器的优劣，填料式喷淋以其体积小、换热效率高的优点胜出。

2. 能力提升：本项目的研究内容之一是研究烟气余热利用控制系统与锅炉 DCS 系统之间实时联动，拟合锅炉运行负荷曲线与热泵投运负荷曲线，而该项目锅炉 DCS 系统采用的是北京四方继保自动化股份有限公司 DCS 系统，所有组态和历史数据均在该系统上。目前我已经能熟练操作该系统的各项功能，包括数据读取、基本组态、运行操作等。而热泵控制系统一般采用 PLC 系统，目前我已熟悉西门子、罗克韦尔品牌的 PLC 系统的基本操作。

此项目中的锅炉已运行多年，我收集数据时发现有一台锅炉的炉膛压力在报警值附近，4 台锅炉的炉膛压力也在逐年上升。作为热控人员，我排除了仪表设备的故障问题。之后与热机相关人员勘察后确定，风道存在腐蚀导致风烟阻力增大，煤改气期间预留的风压不够烟气余热系统运行。项目组就阻力问题组织各专业人员多次研讨会。从增加增压风机，到最终确定扩容鼓风机，我们与设备厂家、DCS 厂家、锅炉厂家多次沟通，考虑了调试、基建、费用等问题。工程项目中的每一个小细节，都能决定项目的最终成败。项目每一个改动，都应经过多方调研、论证。

另一方面，为保证工程的顺利实施，在前期中就要考虑实施的问题。例如，本项

目在前期就考虑项目的监理、审计、验收、结算过程。不仅要费用纳入项目整体费用中，还要提前规划这些专业第三方的采购流程。

本项目作为京能集团的科技项目，已报京能集团审批。我作为项目汇报人，很荣幸在热力集团和京能集团项目评审会上对此项目作详细的汇报，并答疑。京能集团按照项目的申报金额要求不同数量的成果，本项目要求 3-4 项专利。技术创新在工程中是至关重要的一点，技术成果的转化是一个企业的驱动力，能使企业不断的向前发展。

3. 素质养成：本项目的可行性研究方案修改了十几遍，参加过 5 次内外部专家评审会，项目组组织了十几次的方案论证会。我深刻意识到，工程项目是一个严谨、严肃的过程，需要不断接受质疑、不断完善。同时，在项目过程中，项目组多次提醒，要保证烟气排放中  $\text{NO}_x < 30\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，这是工程项目中必须要考虑的环保要求。

此项目完成后，能够在近两年供热负荷发展的情况下，不增加锅炉，依然能保证锅炉房一用一备，为居民优质供暖。我感受到了热力集团“温暖千家万户、助力美好生活”的企业使命和国企担当。在实践中，我向项目组成员和指导老师不仅学习到理论知识、实际操作等技能，还学习到了他们作为热力人的坚守。他们除了是本项目成员，还是公司的运行人员、检修人员。供暖初期的时候，经常加班保供暖，每日可接到上万个报单电话，维修人员像陀螺一样忙个不停。但是他们并没有喊苦喊累，而是在一个又一个用户暖气热起来之后的开心，在收到表扬工单后的欢欣鼓舞。一般人会觉得，热力行业夏天就是休息，技改、中小修、科技项目占满了热力人的夏天，因为他们知道，夏天休息了，冬天老百姓就难受了。

## （二）取得成效

1. 本项目可解决热力集团供热负荷发展的问题：目前房山区城关地区城中、城西锅炉房均为 2 台 58MW 燃气热水锅炉（一用一备）独网运行。近两年城中供暖面积将由 160 万  $\text{m}^2$  增加到 176.6 万  $\text{m}^2$ ，城西的供暖面积将由 135 万  $\text{m}^2$  增加到 181.6 万  $\text{m}^2$ 。锅炉将达不到一用一备，需增加负荷。增加烟气余热回收设备相当于增加锅炉装机容量，锅炉房达到一用一备条件，保证锅炉房连续运行，提高供暖质量。而且项目研究完成，运行达到预期收益后，可作为北京热力集团集中供热燃气热水锅炉烟气余热回收改造的示范项目，推广至集团内具备改造条件的独网运行的锅炉房。同时成果方案亦可作为各项热泵（包括空气源热泵、地源热泵）与独网运行的锅炉房联合运行的参考。

一个采暖季（按照 120 天计算），达产年余热回收系统可回收烟气余热 8.42 万 GJ，相当于节省天然气量 214.19 万  $\text{Nm}^3$ ，减少碳排放量 4631.2t；可回收冷凝水 2.4 万 t；年综合收益：直接收益加上减免的碳购置费可达 251.89 万元/年。更重要的是响应国家碳达峰、碳中和目标，能促进国家双碳目标的实现。同时提高城市空气质量，为远期碳中和的实现奠定基础。

2. 我的毕业论文题目是集中供热燃气热水锅炉烟气余热深度回收利用系统参数优

化设计。首先对集中供热燃气热水锅炉烟气余热深度回收利用技术途径和机理进行研究、分析、汇总。然后以实践项目为工程背景选择项目技术路线。整理锅炉运行数据，结合理论分析计算，优化设计燃气吸收式溴化锂机组带直接喷淋式换热器的参数。再根据锅炉的原有风烟阻力计算书和现有运行数据，确定风烟系统的改造内容。紧接着做全系统的仿真，拟合锅炉运行负荷曲线与热泵投运负荷曲线，计算系统理论性能系数 COP。投产后，调整锅炉运行负荷曲线与热泵投运负荷曲线，超前调节热泵负荷，高效吸收烟气余热。同时设计计量表计，包含热表、电表，计算实际运行后 COP。理论与实际的 COP 的比较，做影响 COP 因素的分析，主要分析余热水进口温度和热水口温度对 COP 的影响。最终得到如何对集中供热燃气热水锅炉进行烟气余热深度回收利用改造应用的优化设计建议。

**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
------	--------------------------------------------	---------------	----------------	----------	-------------

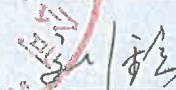

**本人承诺**

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：康莹莹 2022年5月31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>该同学在项目中快速适应岗位和环境，自主学习掌握了行业知识，能积极向项目组人员学习。在项目中承担重要角色，展现了较高的工程实践能力和团队协作能力。本项目是北京市支持推广的节能项目之一，具有减碳减排的社会效益，同时也能为公司带来经济收益。</p> <p>校外合作导师（或现场导师）签字：汉京皖 2022年 5月 31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>通过专业实践训练，提高了研究生的科学素质、掌握了与学位论文研究相关的基础及专业知识、提升了技术应用创新能力。专业实践训练中首先对集中供热燃气热水锅炉烟气余热深度回收利用技术途径和机理进行研究、分析、汇总；然后以真实的科技项目为工程背景选择项目技术路线。具体体现在：通过整理锅炉运行数据，结合理论分析计算，优化设计燃气吸收式溴化锂机组带直接喷淋式换热器的参数。再根据锅炉的原有风烟阻力计算书和现有运行数据，确定风烟系统的改造内容。紧接着做全系统的仿真，拟合锅炉运行负荷曲线与热泵投运负荷曲线，计算系统理论性能系数COP。投产后，调整锅炉运行负荷曲线与热泵投运负荷曲线，超前调节热泵负荷，高效吸收烟气余热。同时设计计量表计，包含热表、电表，计算实际运行后COP。理论与实际的COP的比较，做影响COP因素的分析，主要分析余热水进口温度和热水口温度对COP的影响。最终得到如何对集中供热燃气热水锅炉进行烟气余热深度回收利用改造应用的优化设计建议。</p> <p>校内导师签字：孙晓红 2022年 6月 1日</p>

<p>实践单位 过程考核 意见</p>	<p>实际实践开始时间: 2022年 6月 11日    实际实践结束时间: 2022年 2月 28日</p> <p>专业实践训练累计天数: 181    其中项目研究天数: 60</p> <p>实践单位过程考核结果: <input checked="" type="checkbox"/>优秀    <input type="checkbox"/>良好    <input type="checkbox"/>合格    <input type="checkbox"/>不合格</p> <p>审核签字并盖公章:   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):</p> <p>是否重修: <input type="checkbox"/>是    <input type="checkbox"/>否</p> <p>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）。