

## 一、专业实践训练整体情况

实践单位名称	杭州汽轮辅机有限公司	
实践单位地点	石桥路 357 号	
实践岗位名称	结构工程师	
专业实践训练时间	集中进行	2021 年 01 月 01 日开始 至 2022 年 02 月 10 日结束
		专业实践训练累计 405 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：杭州汽轮辅机有限公司主要从事设计、制造及销售引进德国西门子子公司技术的反动式汽轮机和自行设计的冲动式汽轮机的工业驱动和工业发电汽轮机用的辅机，如汽水真空系统和供油系统的工程设备，同时按多种标准为国内外用户的汽轮机设计制造提供成套辅机设备以及为工程项目承包服务，历年来在同行业中一直处于国内领先水平，并在国际上享有一定的知名度。</p> <p>实习实践内容：参与 100 万吨/年连续重整联合装置冷凝器部分项目设计、执行。</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：锦州石化资源替代转型升级项目</p> <p>项目简介：100 万吨/年连续重整联合装置作为锦州石化资源替代转型升级项目中重要的新建工程，占地面积约为 25520 平方米。项目实施后锦州石化能有效应对石化市场变化、发挥炼化转型和产业链一体化优势，有能力。增产芳烃等高附加值产品和降低汽柴油产量，实现锦州石化从加工低硫原油到含硫原油的结构调整及炼油型企业向炼油+化工型企业战略转型</p> <p>项目经费：500 万</p> <p>主要研究目标和技术难点：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 空冷器管束采用新型 mesh 复合结构。</li> <li>2. 根据现场环境温度考虑管束的防冻性。</li> <li>3. 翅片管结构设计。</li> </ol>		

#### 4. 并联结构管道应力分析。

### (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。）

研究内容：空冷器管束 MESH 结构进行设计研究

1. 将顺流翅片管和逆流翅片管设计成并排放置,能够有效缩小混合式空冷凝汽器管束所占空间,使之适用于小型单元。
2. 管束无需外部辅助加热装置即能持续加热逆流翅片管,防止逆流翅片管出现冻堵,进而保护空冷凝汽器管束,改善排气效果。
3. 调整管束结构参数使之适用于本项目

研究方案及技术路线

1. 根据现场占地面积、排汽参数、环境温度、汽轮机功率要求等条件计算出空冷器总的换热面积。
2. 根据设计要求将顺流翅片管和逆流翅片管并列放置,且顺流翅片管设置在用于与空冷凝汽器管束进行热交换的风的上游,逆流翅片管设置在用于与空冷凝汽器管束进行热交换的风的下游。换热时,空气先流经顺流翅片管,再流经逆流翅片管,空气经过顺流翅片管后,通过热交换带走大量的热量,温度升高,这样一来相当于将空气加热后再与逆流翅片管换热,由于加热后的空气自身温度较高,与逆流翅片管进行热交换时,能够防止逆流翅片管的温度低于冰点,进而防止逆流翅片管结冰冻堵。
3. 顺流翅片管和逆流翅片管集成到一片管束上,结构相对紧凑,一方面可以通过顺流翅片管加热后的空气维持逆流翅片管的温度,起到防冻的作用;另一方面,还可以通过将顺流翅片管和逆流翅片管设计成并排放置,能够有效缩小混合式空冷凝汽器管束所占空间,使之适用于小型单元。
4. 通过顺流翅片管热交换后产生的热空气加热逆流翅片管,实现自身加热防冻,省去了外部其它辅助加热装置加热逆流翅片管所带来的结构复杂、体积过大、生产成本提高等问题。
5. 结合 CFD 软件模拟计算 mesh 结构翅片管空气侧的速度场、温度场以及换热性能,得出不同的迎面风速、基管壁温、入口风温等因素对翅片管流动与传热的影响。
6. 借助 HTRI 热工计算软件,计算出空冷器所需的结构,建模设计。

本人承担任务及完成情况

空冷器管束 MESH 结构部分设计、模拟计算及空冷器项目部分执行。

完成情况

设计生产已完成，管束结构满足现场要求。

问题与改进建议

该结构仅限于小结构单元使用，多用于小型石油化工领域，有较大局限性。

## 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）

为了克服现有石化项目小型单元空冷器冷凝能力的不足，锦州石化重整项目采用一种能够应用于小型单元的混合式空冷凝汽器管束，该混合式空冷凝汽器管束无需外部辅助加热装置即能持续加热逆流翅片管，防止逆流翅片管出现冻堵，进而保护空冷凝汽器管束，改善排气效果，进而提升汽轮机运行效率。

通过分析 mesh 结构翅片管的流动传热过程，抽象简化出了直接空冷凝汽器空气侧流动换热计算模型并进行了验证。结合 CFD 软件模拟计算的方式得到了直接空冷凝汽器空气侧的速度场，温度场以及换热性能。收获如下：

(1) 当壁温由升高到时，换热系数也相应提高。机组在较高的负荷范围内有利于翅片管的换热，当机组运行负荷较低时，提升机组负荷可增强空冷翅片管的换热性能，并且负荷越低，通过提升负荷的方式改善翅片管换热能力的效果越明显。

(2) 随着翅片厚度的增加流道内的阻力不断上升。当迎面风速大于 3m/s 时，随着翅片厚度增长换热强度逐渐增大；而当迎面风速小于 3m/s 时随着翅片厚度的增加换热系数先降低后增大。翅片厚度增加翅片的综合性能指标逐渐降低。

(3) 随着翅片高度的增加，翅片管空气侧的流动阻力与平均换热系数不断降低，翅片的综合性能指标不断提升。在保障换热性能的前提下，可适当的增加翅片高度。

(4) 当壁温由升高时，换热系数相应提高。机组在较高的负荷范围内有利于翅片管的换热，当机组运行负荷较低时，提升机组负荷可增强空冷翅片管的换热性能，并且负荷越低，通过提升负荷的方式改善翅片管换热能力的效果越明显。

能力提升：本次实践通过执行锦州石化项目的设计执行，完整的了解了空冷器从参数整理到设计到生产的完整过程，也对石油化工领域的工艺流程有了更多的了解，学会了根据现场的需要和实际情况，设计出最合理的空冷器结构。针对寒冷地区的小型石油化工项目，根据现场海拔、环境温度及汽轮机的排汽参数，设计出合理的管束布置结构，并针对现场冬季工况的要求设计出管束的防冻结构，同时借助 HTRI、FLUENT 等软件对分析结果进行验证，得出最终的结构。

### (二) 取得成效

1. 目前，空冷凝汽器不同于普通的空冷换热器，它是在负压环境下将汽轮机排汽冷凝成凝结水的一种产品，已经广泛应用于冶金、化工、电站等各种工业以及科研和民用等领域，翅片管是空冷凝汽器的核心设备。但是，现有的空冷凝汽器设备体积普遍较大，难以应用于小型单元或者空间。另外，现有的空冷凝汽器的顺流翅片管和逆流翅片管是单独成套的，分为顺流管束和逆流管束。空冷凝汽器在运行过程中，由于多种原因(例如，微量泄露)，空冷凝汽器管束内的气体介质会带入一些非介质不凝气体，非介质不凝气体在管束内会不断积累，越来越多。不断积累的非介质不凝气体会占据管束内部的部分空间，减少了有效换热面积，且对管束内的介质流动产生阻力，

从而在管束内形成局部“死区”。由于大部分蒸汽在顺流管束中冷凝，流经逆流管束的蒸汽较少，在严寒(例如，零下 20 摄氏度以下)时，少部分水蒸汽会流经该“死区”并冷凝成水进而凝固成冰或者直接凝华成冰，引发冻管。冻管将影响排气效果，甚至会造成管子冻裂，排汽效果不足时，空冷凝汽器背压急剧升高，汽轮机运行效率下降。

现有空冷凝汽器是按照美国传热协会 HEI 标准执行的 KD 系统，顺流和逆流管束分为不同单元运行，不能实现自加热功能。对于单元数量少且使用无缝翅片管的空冷凝汽器，KD 系统无法发挥其优势。

MESH 结构通过顺流翅片管热交换后产生的热空气加热逆流翅片管，实现自身加热防冻，省去了外部其它辅助加热装置加热逆流翅片管所带来的结构复杂、体积过大、生产成本提高等问题，对空冷凝汽器翅片管束的防冻进行研究并提出应对措施具有重要的意义。

2. 论文主要针对锦州石化项目，对 MESH 结构冷端空气侧换热特性以及冷端防冻特性进行研究。通过与直接空冷机组实际运行参数相比较，以及与理论分析得到的定量结果相比较的方法证明了模拟的有效性。通过分析得到了不同的迎面风速、换热量、不同环境温度对空气侧流动与换热的影响，同时分析了不同翅片管尺寸设计，对空冷凝汽器综合性能的影响，为空冷翅片管的设计提供参考。

**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
杭汽轮集团科技大会技术创新奖	获奖	2021-03-31	无	2 / 11	无

**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:  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>该生在实践中严以律己，按时完成项目中的设计任务及各项工作，工作认真，勤奋好学，踏实肯干，虚心好学。善于思考，能够举一反三，成绩优秀。</p> <p>校外合作导师（或现场导师）签字：冯宾 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>该生在实践中谦虚谨慎，勤奋好学。注重理论和实践相结合，将书本知识能有效地运用到实际工作中。表现出较强的求知欲，并能仔细观察、切身体验、独立思考、综合分析、灵活运用自己的知识解决工作中遇到的实际困难。</p> <p>校内导师签字：陈坚红 2022年5月31日</p>

实践单位 过程考核 意见	实际实践开始时间: 2021年11月1日 实际实践结束时间: 2022年2月10日 专业实践训练累计天数: 405 其中项目研究天数: 100 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 审核签字并盖公章: 戚云萍 2022年5月31日
最终考核 结果审核 备案	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

#### 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）。