

一、专业实践训练整体情况

实践单位名称	丹佛斯微通道换热器（嘉兴）有限公司	
实践单位地点	浙江省海盐县谢家路 1383 号	
实践岗位名称	板式换热器研发	
专业实践训练时间	集中进行	2021 年 06 月 01 日开始 至 2021 年 12 月 31 日结束
		专业实践训练累计 213 天（单位考核前），其中项目研究天数 210 天（单位考核前）
<p>(1) 基本情况（含实践单位简介、实习实践内容等）</p> <p>丹佛斯集团是全球领先的制冷空调部件供应商，旗下产品涵盖制冷空调用各种核心部件，且各部件均处于行业内领先地位。作为丹佛斯集团的核心产品之一的铜钎焊板式换热器，为集团于 2008 年起通过并购中国及其他国家几家板式换热器研发、制造供应商合并而来，这其中丹佛斯板式换热器（嘉兴）有限公司是坐落于嘉兴海盐的一家集研发、制造为一体的核心单位。丹佛斯嘉兴板换研发中心近些年通过独有的 Dimple 技术，快速开发成功多款处于行业领先性能的板式换热器，并在市场中取得良好应用和反馈。</p> <p>本实践是参与团队开发一款板换用于欧洲市场的超市制冷系统，所不同的是该制冷系统使用二氧化碳作为冷媒。目前欧洲制冷系统供应商为响应低碳概念，领先开发环保冷媒系统，制冷行业应用较少的二氧化碳冷媒因环境友好而成为选择方向。不同于传统冷媒，这种自然工质需要使用在跨临界状态，相应的设计压力需要达到 14MPa，而传统冷媒则是 5MPa 以下即可，并且该使用压力对应的爆裂压力更是要达到 50MPa 以上。开发该换热器除需要在强度上提升 2 倍以外，性能上也要符合预期。本技术开发涉及中国区的结构设计、模具开发、水水换热器测试，欧洲和北美区的性能分析、二氧化碳性能换热测试，同时需要协调外部试验台做强度测试和整机性能测试。</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: 二氧化碳用板式换热器技术开发

项目来源: 丹佛斯产品管理团队根据核心客户的系统开发需求, 制定了丹佛斯板式换热器产品路线, 形成了该技术的开发目标

项目经费: 该项目为丹佛斯企业根据自身发展需求, 自筹资金开发该技术项目。预计需要投入开发资金 50 万元人民币。

主要研究目标: 从技术角度出发, 开发可以用于超市制冷系统的以二氧化碳为冷媒的铜钎焊板式换热器, 初步能力范围涵盖 10Kw~90Kw。

技术难点: 常规冷媒的设计压力不高于 5MPa, 而二氧化碳的设计压力需要达到 14MPa, 相对应的爆裂压力达到 50MPa 以上。同行的技术方案是在板式换热器外部增加一个加强外壳而勉强达到要求, 但是这些技术方案成本较高且产品笨重。丹佛斯需要解决无加强外壳的情况下实现该压力级别, 进而发挥出 Dimple 技术的独有优势。另外一个挑战是丹佛斯目前没有相应的测试和评估手段, 这就需要借助外部资源或间接定性对比的方式进行测试分析。还有几个技术挑战是, 不同于一般机械设计可以通过分析模拟的方式预测强度, 板式换热器的强度只能通过爆破测试实现, 这就相应地增加了开发的成本和周期, 以及不确定性。性能测试同样如此, 过于复杂的流体状态和换热使得模拟分析精度始终没法满足性能预测, 只能通过最终产品的测试来评判分析。

(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。)

项目开展以来, 共有近 10 名同事参与不同工作。我在这个项目中做为结构设计负责人, 带领工程师进行产品结构设计、模具设计开发、样品制造、测试对接、项目协调等等工作。

项目在 6 月份之前已经做了一些相关技术可行性评估和间接测试方案讨论, 进入 6 月份以来便着手开展实质性的分析、设计、测试工作。该项目可以简单划分为三大板块, 分别是性能分析和测试、强度设计和测试、测试的手段开发等。作为换热器首要作用是换热, 而对于没有活动部件的铜钎焊板式换热器来说, 换热性能则完全依赖结构实现, 于是第一阶段是如何较为可靠地分析出预期性能与结构之间的关联。因丹佛斯实验室没有二氧化碳性能测试数据, 行业内也是不多见, 团队只能通过检索相关论文了解二氧化碳跨临界状态的热力学性能, 使用其换热过程无相变的特性与水作相对比较, 进而实现从概念到工程参数的转换。这个过程输出的是流量、压降和换热温差的技术参数图表, 从而作为结构设计的重要参数输入。得到以上流体参数之后, 结构设计根据近似产品的工况做结构设计, 并把设计出的结果输出成 3D 文件作为 CFD 分析的初始模型。CFD 根据换热提供的流体参数和相应水的特性设定边界条件, 从而计算出流体压降和换热结果, 判定是否符合预期, 并反馈给换热和结构设计工程师做进一步的结构调整。通过以上迭代, 实现分析结果和预期结果偏差小于 10%

即可认为结构设计初步符合要求。完成结构设计之后即是进行相应的模具设计加工，从而制作换热板片制作样机。样机的测试分两个阶段，第一阶段是采用内部实验室做水水换热性能测试和 21MPa 压力测试，待该两项测试都符合预期之后便是发送到外协测试平台做二氧化碳换热测试和爆裂测试，值得说明的一点是这两种测试不是采用同一台样机，因而在样机制作阶段会制作将近二十台作为测试使用。除此之外，为了最大限度节约技术开发周期，会同步进行几个备选方案做平行对比测试。拿到外部测试结果之后，作相应的一致性分析评估，如果结果不达预期，则需要做进一步分析优化调整，进入下一轮迭代。

本项目的技术开发共计进行了 8 个不同版本的迭代优化，最终实现了最大爆裂强度达到 60MPa 以上，略超出预期。同时换热性能也与预期达到了一致。鉴于企业开发技术在精益求精的同时兼顾经济性，认为该项目输出结果已经符合预期，达到项目关闭的要求。对项目做回顾总结可以发现，面对新技术和新发展的需求，一些常规技术没法实现的方面可以通过间接实现；企业技术开发综合考虑时间和成本，内外部的协同发展可以取得更好结果；快速迭代可以在有限时间和资源内获得更好成功；项目虽达预期，今后的持续改进可以为将来的长足发展奠定基础。

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）

丹佛斯板式换热器在以往的一些年里，积攒了很多常规冷媒的分析和测试数据，以及相关的计算开发经验，但是对于二氧化碳这种古老气体却又是新型冷媒的自然工质来说，则是近乎一无所知。在开展这个项目之初，团队内一位建模工程师参与该工质的基础信息检索搜集，并形成了二氧化碳与水的流体属性对照分析。这位工程师虽然以往也是只做了传统冷媒的分析，但是他的两相态流体分析模拟的博士后经历为他做这份工作提供了很多经验支持。建模工程师检索结论认为，二氧化碳在该机组工况下做冷凝使用，冷凝温度进口温度为 125℃，出口温度为 95℃，相对应最高压力是 12.5MPa，而行业内普遍认为二氧化碳换热器高压在 14MPa 以下，于是团队确定了该产品的最高设计压力为 14MPa。该温度和压力下冷媒和载冷剂均无相变产生，因而纯单相态可以近似采用水水换热系数作相对推演。通过这次跟建模工程师的实践工作，实践者学习到了如何检索获取重要信息并提炼信息，学习到了通过类比推演方式获取基础数据支撑，增强了对流体换热属性的理解。

结构设计是实践者参与最多的环节。该整个过程可以划分两个阶段，第一个阶段是产品本身的结构设计，第二阶段是为了实现换热板片加工而做的模具设计。首先产品本身的结构设计，因板换的结构特殊性，没法使用 FEA 方式做强度分析校核，只能使用实验设计进行，这也是 PED 和 UL 等相关压力容器认证机构采用的通用强度校核手段。丹佛斯的结构设计在基于实验设计的同时，也参考过往经验做相对调整，但是面对这个产品需要一次性把强度提升到 3 倍则是一个不小的挑战，更别提手头的验证手段有限。于是在结构设计方面做了多个加强方案，并逐个分析对比并选取最优组合。进入模具设计环节也是要做好每个细节。通过该实践过程了解到结构设计需要考虑综合多方面的因素并做好并行开发以实现更大概率成功和时间节约。

性能和强度测试是该项目的成功与否判定依据，鉴于本公司不具备全部测试手段，需要找外协资源测试，并协调好相应测试参数和各项技术要点。通过各方面的联络，最终实现了外部测试的有效性和判定准则的客观性，按时保证了项目的开展和成功交付。在测试结果的分析 and 反馈过程中，各技术之间保持了及时准确的沟通，为技术快速有效迭代提供了有效技术数据支撑。整个过程中每个技术环节的协同发展使得公司能够在短短半年时间内实现了其他企业两年才能完成的技术开发项目，充分体现了敏捷开发在研发技术的高效应用。

本项目全程体现出来敏捷开发思维和多功能模块协同发展的技术要领，成功地在短时间内为企业注入一项行业领先技术。通过全程的项目实践，习得敏捷技术开发流程和重要的技术要点。

(二) 取得成效

该项目作为一项技术开发项目，首要目的是攻克二氧化碳用铜钎焊板式换热器的换热性能和机械强度技术难题，同时执行贯彻敏捷技术开发程序。与一般企业技术人员集中攻克技术难题的方式不同的是，本技术开发涉及人员分布于中国、法国、意大利、美国、丹麦等不同地理位置，那么让这些人做协同开发又是一个沟通难题。通常做技术开发，相应的验证手段已经具备或者即将具备，但是本验证所用到的技术验证手段并不齐全且未计划建立，于是需要寻求外部资源协助。


通过半年的协同发展，各技术人员打破时差、技术手段和地理限制，最终如期实现了技术目标，实践者在该过程中全程参与并协调了技术人员完成技术发展，同时为技术的迭代发展提供了有力促进。该技术项目成功达到二氧化碳冷凝器的换热能力 90kw 范围，爆裂压力成功达到 60MPa 以上，各项性能指标达到或超过预期目标，值得一提的是成本远低于行业最低水平，外形和重量更为轻巧。原定目标的如期实现，为今年中期新产品项目开发奠定了坚实基础，待新产品达产后预期可为企业实现年销售额 4,000 万人民币，并且随着更多产品的发布会带来更高额的销售收入，另外更多产品家族的扩张也为企业在行业竞争中提供更强的技术实力。该技术使用了实践者或其同事已经申请并授权的 3 项发明专利技术，有效地实现了成果转化。二氧化碳用板式换热器的开发成功，为低碳发展注入了新的技术支撑。目前欧洲终端用户在这方面走在前面，将来随着技术应用的成熟和市场的接受度上升，自然会扩展到国内市场，为国内的双碳提供优秀产品支持。作为技术开发的核心参与者，实践者显示了高效的组织协调能力和技术开发实力。

该项目技术开发前期所做的性能和水力压降分析为板式换热器技术开发通用方法，将同样适用于实践者的毕业论文撰写，该分析过程也提升了实践者的流体分析知识和换热系统知识。全球多地、多知识领域的敏捷协同技术开发是一项新的成功尝试，为实践者的组织协调能力提供了很好的锻炼学习机会，也为后续的毕业论文开展做好了技术铺垫。本项目中所用到的一些换热板片模块化设计技术、模具模块化开发技术、快速样机建造技术、水水换热性能试验测试技术、水侧压降分析技术等等技术将会在实践者的毕业论文中的到应用。

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
确定低压降产品平台 H48-CL	产品	2021-12-31	丹佛斯技术开发	3/9	

三、考核评价

<p>校外合作 导师(或现 场导师)</p> <p>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>张志锋对制冷行业有着深入的了解，在换热器产品的开发和制造等相关方面拥有丰富的知识和经验。在本次丹佛斯“二氧化碳用板式换热器技术开发”项目中，他承担了项目的主要领导者和技术开发参与者，在团队组织、研发方向把控、技术难关突破各方面都有着出色的表现。最终在有限的时间和资源下，成功完成项目所需开发的应用于二氧化碳制冷剂的新产品。该产品更加环境友好，且成本大幅度低于市场中的现有产品，对公司开拓全新的市场有着重要作用。</p> <p>校外合作导师（或现场导师）签字： 连子健 2022年6月5日</p> 
<p>校内导师</p> <p>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>张志锋作为丹佛斯“二氧化碳用板式换热器技术开发”项目的重要组织者和技术参与者，在校内外导师的共同指导帮助下（于我而已，更是享受其中的教学相长的快乐），成功顺利地实现了技术突破，开发出了换热能力达90kW，爆裂压力达60MPa的板换产品。通过本次实践环节，大胆将敏捷技术开发产品，极大的加速了产品的研发过程，体现了扎实的理论知识基础和勇于创新的责任担当，达到了实践学习的目的。更为重要的是其大论文也将基于此完成。</p> <p>校内导师签字： 甘智华 2022年6月6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需加盖事务所公章或发明专利申请页（有二维码）。

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事务所出具著作权人排序证明。

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）。