

## 一、专业实践训练整体情况

实践单位名称	亚德客（中国）有限公司	
实践单位地点	浙江省宁波市奉化区汇盛路8号	
实践岗位名称	工程师	
专业实践训练时间	集中进行	2021年09月01日开始 至 2022年05月01日结束
		专业实践训练累计 242 天（单位考核前），其中项目研究天数 180 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>本次专业实践所在单位为亚德客（中国）有限公司，亚德客国际集团是知名的气动元件制造商，集研发、生产和销售于一体，集团有宁波、佛山和台南三大生产基地，主要产品有气动执行元件、控制元件、气源处理件、辅助元件，近年开始步入线性滑轨领域，生产产品有标准导轨系列、低安装导轨系列和微型导轨系列，产品广泛用于电子行业、汽车行业、新能源和医疗等行业，是国内气动元件的重要供货商。本次项目实践主要内容是研究开发阀用比例电磁铁，为开发比例阀系列产品提供线性驱动力的机电转换装置。</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：气动比例阀用比例电磁铁开发  项目来源：公司的产品开发计划  项目经费：35万元  研究目标：开发35型及45型比例电磁铁  技术难点：1、比例电磁铁结构参数的确定；  2、比例电磁铁关键零部件的材料和热处理工艺；  3、比例电磁铁的响应时间、电流与电磁铁出力的线性关系及迟滞特性。</p>		

**(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：本次项目开发的比例电磁铁为 35 型和 45 型两种，研究内容包括比例电磁铁的设计，不同材料的磁学性能及热处理工艺，比例电磁铁的磁场强度与出力特性，比例电磁铁的响应时间与迟滞特性。

技术路线：

- 1、根据额定参数及经验公式，初步确定比例电磁铁的相关参数，如本体外形尺寸，安装连接孔，铁芯直径，线圈尺寸，隔磁环结构等。
- 2、应用 Ansys Maxwell 有限元仿真软件，对比例电磁铁特性进行仿真分析。
- 3、根据仿真分析结果对比例电磁铁结构进行优化设计。
- 4、比例电磁铁关键零部件材料选择、热处理工艺制定及比例电磁铁样品试制。
- 5、搭建实验测试系统，对比例电磁铁各项特性进行测试。

团队分工及本人承担任务：本人在实践中的主要工作是对比例电磁铁进行仿真分析，并搭建实验测试系统对比例电磁铁进行测试。从自学 Maxwell 有限元仿真软件，到最后完成测试验证，本人在完成所承担任务的基础上，对比例电磁铁也进行了深入的研究。比例电磁铁最大的特点是出力随电流的大小而线性变化，在电流不变的情况下，位移改变而出力大小几乎不变，通过仿真分析可发现，不同结构尺寸会对比例电磁铁的电流-力特性产生影响，其中隔磁环部分的影响最大，对比例电磁铁而言是非常关键的结构，隔磁环与极靴之间的交接面是锥形的斜面，从抛面可以看做一条向极靴外侧倾斜的交线，交线斜率的大小、交线的位置及交线与隔套内壁之间的端面尺寸是比例电磁铁的关键参数，直接影响电磁铁的电流-力线性比例关系。根据仿真分析，初步确定几组可用于试制的结构尺寸，按相关工艺要求进行试制样机。在测试环节，根据电磁铁的电流-力特性和行程-力特性，搭建比例电磁铁的测试系统，对比例电磁铁的电流-力特性和行程-力特性、响应时间等性能进行测试，实测样机性能基本符合设计预期，并确定了最终的结构尺寸。

## 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）

比例电磁铁的制作涉及电磁学、材料学和结构设计等多方面知识，目前而言国内尚无全面的比例电磁铁开发资料，对于局部的研究比较广泛，国内部分企业通过多年的经验积累，已掌握相关技术，但并未对社会公开。通过本次实践，对电磁学和材料学有了一定的深入了解，对仿真软件的实际应用也大大提高了解决问题、寻找最优解的效率，拓展了思路。主要掌握知识如下：

1、电磁学的经典理论公式为麦克斯韦方程组，它有积分形式和微分形式，可以用于解释现有的电磁学问题，不同的线圈安匝数可以产生不同的磁动势  $E$ ，磁动势，在线圈周围可以产生磁通量，磁通量相当于电路中的电流，它会根据介质磁导率的大小而变化，当介质磁导率较大时，介质内的磁通量较大，反之亦然。当磁通穿过衔铁及极靴时，使元件产生磁性，在磁力的作用下，衔铁将产生轴向位移，形成轴向推力。

2、材料学是一门基础学科，也是制约我国工业发展的一个痛点，在电磁转换中，材料的磁性能对元件的性能可起到决定性的作用，比例电磁铁的材料要具有高磁导率（可提高电磁铁的响应时间），高饱和磁感应强度（可提高电磁铁的电磁力），低剩磁（可减少衔铁的释放时间）和低矫顽力（磁滞小，铁损小）。在电磁铁制造中常见的有软磁材料、矩磁材料和永磁材料。软磁材料具有高磁导率、高饱和磁感应强度、低矫顽力、低剩磁等特性，是制作衔铁、极靴等的理想材料，软磁材料的牌号较多，如美国卡彭特的 430FR，德国萨普的 1.4105IL，日本东北特钢的 KM45 还有国内的 DT4 系列，除 DT4 为电工纯铁外，其余牌号为软磁不锈钢，这些材料的磁学性能都很好，但彼此略有差异。本次项目所选材料为电工纯铁 DT4C，在机加工后，通过真空热处理使材料的磁性能达到理想状态。

3、电磁铁的仿真分析使用的是 Ansys Maxwell 有限元仿真软件，在电磁领域具有广泛应用，仿真的主要目的是验证设计的合理性。在初步确定几何结构尺寸后，应用软件，通过选择求解器、设定边界、指定电磁力、对线圈施加电流激励等设置后，可对电磁转换元件进行求解，通过对关键尺寸的参数化设计，可使最优解的求解过程简化。在仿真过程中发现，比例电磁铁出力特性的优劣和隔磁环结构有着密切关系。

通过本次实践使我在知识面上得到了很大扩展，对电磁仿真软件也有了较深刻的认识和掌握，使用 Maxwell 进行有限元仿真可以对所设计产品进行多方面的分析和验证，减少试制样机费用，达到经济实用的效果，经实验证明有限元仿真是一个比较有效的方法。在素质方面，从开始的无限热情到后来的冷静面对问题，让我学会了在面对问题时该如何思考，从哪个方向去寻求解决问题的办法，总体而言，个人的成长是较大的。

## (二) 取得成效

比例电磁铁作为电和机械力的线性转换元件，可与按要求设计的阀体组成比例阀，在液压和气动等流体控制领域应用非常广泛，大至火箭发动机的液体质量流量喷射的控制，小到工业生产中的张力驱动控制均可使用比例控制技术，应用领域可涉及到各行各业，元件虽小，作用却较大，所以对元件的可靠性要求较高。比例电磁铁电流-力的直线性，位移-力的水平性，电磁铁的响应时间等均是较关键的指标，作为比例阀的驱动元件，对比例阀的流量特性的优劣起着关键作用。由于国外的基础材料和控制技术等发展较早，其技术水平也比较领先，知名厂商有德国的舒尔兹、施拉姆等，国内对此类技术的研究也较多，但实际生产厂家却很少，液压厂家多采购国外品牌比例电磁铁用于比例阀的制造，在气动领域比例阀的生产更是主要依靠国外品牌，在美国对华贸易战的大背景下，开发高性能国产化产品的需求不断增加，也是打好我国工业基础的必然选择。

该项目开发的比例电磁铁主要用于即将开发的电气比例阀产品，比例电磁铁驱动方式具有抗污染能力强、成本低易使用等优点，产品的开发成功是公司下一步开发计划的基础。随着我国工业的不断发展、自动化水平不断提高，气动产品以其易用、价廉的优势，用量在逐年增加，国内气动元件市场从早期的几十亿元规模已增加到近年的300亿元左右。常规元件的生产厂家较多，但高端的气动元件，如呼吸机上用于气体流量控制的电气比例流量阀等，国内尚无替代类产品，仍以国外品牌为主，如德国的FESTO，日本的SMC、CKD，美国的派克汉尼汾等，开发我国自主化的比例控制产品将对我国工业领域的发展起到提质、提效的促进作用，特别是在卡脖子的芯片制造设备中，多种气体和溶液的控制都会用到电比例控制技术。

本人学位论文的题目是“适用于软体驱动器的电气比例流量阀的设计与应用”，面向能与人类协作的气动软体机器人，开发气体比例控制器，实践项目让我对比例驱动技术有了深入的了解，实践过程中的知识积累，仿真软件的应用等对于后续的课题研究将是非常有益的，使我学到一些解决问题的新方法和途径。

### 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: 马云龙

2022年6月1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>该生实践过程积极、务实，具有较强的探索精神和工程实践能力，专业知识掌握牢靠。</p> <p>校外合作导师（或现场导师）签字： 2021年 06月 02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>马云龙同学学习勤奋刻苦，掌握了材料研究所需的基础与专业知识，具有较好的科研素质，技术创新应用能力较强。项目研究进展顺利。建议加快秋季研究完成果。</p> <p>校内导师签字： 2021年 6月 7日</p>

实践单位 过程考核 意见	实际实践开始时间: 2021年9月1日    实际实践结束时间: 2022年5月1日 专业实践训练累计天数: 262天    其中项目研究天数: 180天 实践单位过程考核结果: <input type="checkbox"/> 优秀 <input checked="" type="checkbox"/> 良好 <input type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格 审核签字并盖公章:  2022年6月2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）。