

一、专业实践训练整体情况

实践单位名称	卧龙电气南阳防爆集团股份有限公司	
实践单位地点	河南省南阳市独山大道 1801 号	
实践岗位名称	设计师	
专业实践训练时间	集中进行	2020 年 09 月 15 日开始 至 2021 年 01 月 10 日结束
		专业实践训练累计 117 天（单位考核前），其中项目研究天数 91 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>实践单位：卧龙电气南阳防爆集团股份有限公司。</p> <p>卧龙电气南阳防爆集团股份有限公司是中国主要防爆电机科研生产基地、国家机电产品出口基地、国家高新技术企业、国家创新型企业、国家技术创新示范企业，中国电器工业协会防爆电机分会理事长单位；公司拥有国家企业技术中心和认可实验室、博士后科研工作站、河南省防爆电机工程技术研究中心、河南省防爆电气院士工作站、河南省高效电气系统工程实验室等研发平台。</p> <p>卧龙电气南阳防爆集团股份有限公司主要产品有防爆电机、高效电机、普通电机、轻型节能发电机、电动/发电机、防爆高效风机、防爆电器、监控仪表及售后服务等，年生产能力 1100 万千瓦，产品主要用于石油、化工、煤炭、冶金、电力、3217、核电等领域。</p> <p>我在公司内工作职责是一名高压防爆电机设计师。本次实践结合工作中遇到的轴电压问题进行攻关。</p>		
<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）</p> <p>项目名称：轴电压技术攻关。</p> <p>项目来源：市场端反馈，轴承电腐蚀造成电机非计划停车问题频发。</p> <p>项目经费：无。（结合市场订货电机不断采取改进措施）</p> <p>主要研究目标：电机轴电压问题，主要目标降低现有电机轴电压值。</p> <p>技术难点：电机轴电压只能尽可能的降低而无法消除，同一批次相同电机轴电压数值</p>		

也会不相同，存在一定随机性。这种随机性对方案的实施效果造成一定干扰。

(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。）

正常情况下，转轴与轴承间有润滑油的油膜存在，此油膜有绝缘的作用。对于较低的轴电压，油膜仍具有绝缘的性能。轴电压增加到一定数值（尤其在电动机启动时，此时轴承内的润滑油膜尚未稳定形成），轴电压将击穿油膜形成放电回路，从而对电机轴承造成腐蚀。

据此，只要将电机轴电压尽可能的降低，就能减少因轴电压过高造成油膜击穿的频次，从而提升电机的可靠性。

首先，要知道公司目前产品的轴电压水平，包含现有成熟电机产品的轴电压情况，新开发产品的轴电压情况。了解公司内部现有轴电压考核水准及轴电压的测量方法。其次，依据现有电机结构与制造过程及制造工艺保障的细节分析，找出轴电压产生的原因。针对重点问题采取理论分析与试验验证相结合的方法，找到改善轴电压的措施。限于时间因素，本次对轴电压的改善主要集中于公司订单集中的极数规格做为重点攻关对象。方案主要围绕磁路平衡方面，尤其重点关注径向磁路平衡问题。

团队分工：项目负责人，电机产品设计，方案的实施与跟踪人员、电机电机计算与分析人员。本人主要承担 4P 电机电机分析、方案的实施与效果跟踪；完成 4P 电机典型规格电机电磁仿真分析，方案的实施与实施过程中的问题处理。电机试验过程的试验数据采集。对不同方案的仿真分析，找出磁路不平衡点，有力的支撑项目实施效果。

问题与改进建议：本次轴电压的攻关，对于企业来讲达到了预期效果。企业对于项目的要求尽可能的快，项目实施过程中过分依赖试验验证，不同方案同时进行验证，理论支撑与分析较少。本项目虽然达到企业预期效果，但是项目取得的成果具有较大的局限性，本项目针对订单占比较大极数规格的效果实施较好，但不能延伸至其他产品规格。对于企业在做项目注重利益同时也要兼顾技术领域的专业深度。

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）

经过轴电压技术攻关项目，对轴电压与轴电流具有较清晰的理解。如下，轴电压产生原因：

1. 磁路不平衡产生轴电压。电机因扇形冲片、硅钢片叠装及铁芯槽、通风孔等存在造成磁路中存在不平衡磁阻，且在转轴周围有交变磁通切割转轴，因此在轴两端感应出轴电压。
2. 变频器供电产生轴电压。电机采用变频器供电时，由于电源电压含高次谐波分量，电压脉波分量的作用下，定子绕组端部、接线部分、转轴之间产生电磁感应，使得转轴的电位发生变化，从而产生轴电压。
3. 静电感应产生轴电压。在电机放置位置处，若周围有较多的高压设备，在强电的作用下，在电机转轴两端感应出轴电压。
4. 外部电源的介入产生轴电压。高压电机由于保护、测量元件接线较多，误将带电的引线接在转轴上，便产生轴电压。
5. 其他原因。如静电荷的积累、绝缘的损伤等因素。

轴电压建立后，只要不击穿轴承油膜形成的绝缘层，也没啥问题。一旦轴电压建立后，在转轴、机座或外壳间形成回路，就产生轴电流。电机在运转过程中，如果两端轴承或电机与轴承间有轴电流存在，对于电机轴承的使用寿命将大大缩短。将给现场安全生产带来极大的影响。轴电流的流经路径可分为以下几种：

1. 电机转轴→电机前端轴承→电机外壳→电机后端轴承→电机转轴。
2. 电机转轴→负载联轴器→负载侧转轴→负载侧轴承→负载机壳侧（接地，零电位）
3. 电机定子铁心→电机机壳→电机前端轴承→电机转轴→负载联轴器→负载侧转轴→负载侧轴承→负载机壳侧（接地，零电位）

通过对轴电流路径的分析，可以采取不同的断路措施，避免轴电流的回路形成，措施如下：

1. 良好的接地系统。
2. 变频器与电机之间的动力电缆采用隔离电缆。隔离电缆可为共模电流提供一个导入地网中的路径。
3. 电机与负载之间联轴器采用绝缘联轴器。此方法可消除轴电流，保护负载轴承，但是，所有轴电流只有一个路径可走，可能造成电机轴电流过大，造成轴承加速腐蚀。
4. 电机转轴上安装接地碳刷。将轴电流直接导入地网中。
5. 电机后端安装绝缘轴承（或采取绝缘措施）。阻断电机侧电流回路。
6. 接地碳刷与绝缘轴承同时应用。此方法成本较高。

以上是对轴电压和轴电流的理论分析，针对电机制造企业过多的关注轴电压的水平，无法左右用户侧因素带来的轴电流。通过企业的实践，了解到企业对于轴电压的控制主要是改进设计方案和优化电机制造工艺，对预防轴电流的产生主要措施就是转轴上

加碳刷将轴电流导入地网侧，应用绝缘轴承阻断电机侧轴电流回路。

电机企业控制轴电压改进设计和优化电机制造工艺关注三个方面：不平衡的磁阻、轴向漏磁通、磁路不平衡。针对这三个方面设计从：定转子槽配合、气隙、轴向通风孔、斜槽、磁路饱和程度这几方面着手改进。

工艺方面：冲片叠装、装配时定转子铁心对齐偏差、定转子之间气隙不均、转子动态或静态偏心、定子偏心（如菱形、机械加工配合、绕组同心度、定子铁心内外径同心度）

经过此项目的实践，收获的轴电压相关知识，学会了查找问题原因，再针对目标对象做深入分析方法。

（二）取得成效

本次实践主要针对订货量占比较大的 4P 电机做轴电压攻关，通过对电机磁路的分析，找出不对称磁路的地方，经过验证三种不同的定转子槽配合：

48/36, 48/38, 48/44。三种槽配合的验证，首先保持三种状态下定子部分相同，生产 36 槽转子、38 槽转子、44 槽转子，分别用这三个转子试验，测试电机轴电压和参数。36 槽转子与 44 槽转子时电机轴电压数值相当，38 槽转子时电机轴电压较高；44 槽转子与 38 槽转子电机性能参数相当，36 槽转子时电机温升较高。通过三种方案的对比验证，最终选择 48/44 槽配合方案。

定转子槽配合 48/44 后，电机轴电得到大幅度改善，原先为避免轴电流采用的断路法措施：后端采用绝缘轴承和后端轴承室内增加无纬带绝缘层（如下图所示）

图一 轴承室内增加无纬带绝缘层

采用绝缘轴承和轴承室内增加无纬带绝缘层，虽然可以阻断轴电流的形成，但是绝缘轴承和轴承室内增加无纬带绝缘层都使得电机制造成本增加。4P 电机部分规格普通轴承与绝缘轴承单价，如下

轴承规格 普通轴承单价（元） 绝缘轴承单价（元）

6218 187 2220

6220 375 2690

6222 453 4512

6228 1425 5820

6230 1565 6330

注：表格中单价为某一年集采价格。

通过表格对比可知，绝缘轴承较普通轴承，单个轴承平均贵了 3513.4 元；轴承规格越大，普通轴承与绝缘轴承价格相差会越多。绝缘轴承目前只有进口品牌能够制作，采购周期长，受市场波动影响较大。

轴承室内增肌无纬带绝缘层，制作工艺复杂：端盖粗车；制作绝缘套（金加工-缠无纬带-VPI 浸渍绝缘漆-烘干-精车外圆）；端盖与绝缘套热套在一起（两者热套在一起后，需彻底晾凉）；整体精车；最后钻孔。从端盖粗加工算，大约需要 7 个工作日，

其中绝缘套的制作与热套就需要4个工作日，绝缘套制造及热套费用约1500元（工厂内部核价）。此方案及工艺措施成熟，电机市场运行情况良好，但是偶有发生绝缘套跑套现象。此方法虽受市场波动影响小，价格稍比绝缘轴承占优势，但是制作工序复杂，制造周期长，可靠性不如绝缘轴承。

企业内部统计，4P电机年订货量大约4000台。定转子槽配合改为48/44后，轴电压降低效果显著，可去掉后端绝缘轴承或轴承室内的绝缘层。按绝缘轴承核算每年可为企业节省约1405.4万元。单按轴承室内加绝缘核算，每年可为企业节省约600万元。

目前，关于轴电压的研究已经有较多的文献，大多集中在变频器产生的高频共模电压对轴电压的影响，是从电机外部采取措施削弱已存在的轴电压，缺乏对电机本体磁路不平衡引起轴电压的研究，分析电机本体设计、制造过程中造成的磁路不对称因素，并找出相对应的抑制措施，对提高三相异步电动机稳定性和可靠性具有重要意义。学位论文将继续三相交流电机轴电压的分析与抑制措施。

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：李学武


2022年08月08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>该同志在本次实践中，表现出色，充分发挥专业优势。找到问题关键，降低企业生产制造成本。</p> <p>校外合作导师（或现场导师）签字： 2022年6月8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>校内导师签字：_____ 年 月 日</p>

三、考核评价

校外合作 导师(或现 场导师) 评价	<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>校外合作导师（或现场导师）签字： _____ 年 月 日</p>
校内导师 评价	<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>该同学具有扎实的专业知识， 结合该项目的结果，撰写学位论文 开题。</p> <p>校内导师签字：步琴芬 2022年06月08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09月15日 实际实践结束时间:2021年01月10日 专业实践训练累计天数:117 其中项目研究天数:91 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06月08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）。

浙江大学工程师学院专业实践训练校内外导师指导酬金发放名单

学生姓名	李学武	学号	22060846	专业领域	电气工程
1. 校内导师信息					
工号	0099072	姓名	卢琴芳		
工作单位	<input type="checkbox"/> 工程师学院 <input type="checkbox"/> 相关专业学院 <input type="checkbox"/> 城市学院 <input type="checkbox"/> 宁波理工学院				
2. 此次专业实践训练现场指导教师信息					
<input type="checkbox"/> 校外合作导师兼任现场导师 <input checked="" type="checkbox"/> 现场导师					
姓名	杜振坤	工作单位及职务	卧龙电气设计部长		
手机	18537735922	职称	高级工程师		
身份证号	220524197902243089	E-mail 地址	duzhenkun@wolong.com		
开户行	6217858000108539054	银行账号(请选择工农中建四大行)	中国银行		

※重点提示：此表下载后联系导师确认相应信息，同时在系统上传《考核报告》的网页中须填写全部信息。