

一、专业实践训练整体情况

实践单位名称	杭叉集团股份有限公司	
实践单位地点	浙江省杭州市临安区相府路 666 号	
实践岗位名称	主任助理	
专业实践训练时间	集中进行	2021 年 07 月 15 日开始 至 2022 年 05 月 31 日结束
		专业实践训练累计 320 天（单位考核前），其中项目研究天数 215 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>实践单位简介：杭叉集团股份有限公司是中国目前最大的叉车研发制造集团之一，于 2016 年 12 月在上海证券交易所主板（A 股）成功上市，股票代码 603298。杭叉集团产品总销量及出口十多年来持续位列国内行业前茅，据美国《MMH 现代物料搬运杂志》对全球叉车企业按营业收入排名，杭叉集团位列世界第 8 位。公司产品包括 1-48 吨内燃叉车、0.75-25 吨电动叉车、集装箱正面吊、空箱堆高机、牵引车、搬运车、堆垛车、越野叉车、高空作业车辆、强夯机等全系列、多品种的产品以及多款 AGV 智能工业车辆，规格品种达上万种，同时为客户提供智能物流整体解决方案以及包括产品配件销售、修理、租赁、再制造等在内的工业车辆后市场业务。并且杭叉集团连续多年荣获“中国制造业企业 500 强”、“中国民营企业 500 强”、“中国大企业集团竞争力 500 强”、“全国五一劳动奖状”和“全国机械行业文明单位”，并入选“中国机械工业排头兵企业”和“浙江经济年度榜样”，而且在 2021 年获评浙江省“未来工厂”、浙江省人民政府质量管理创新奖，为杭州市首批“链主工厂”培育企业。</p> <p>实习实践内容：本次实践主要针对某 3 吨内燃叉车整车和关键零部件的振动噪声性能开展了各项试验和仿真分析研究。试验包括：振动测试、噪声测试、模态测试；仿真分析包括：传递损失分析、模态分析、动刚度分析。通过该项目的开展，优化改进了悬置系统、进气系统、排气系统，以及车架、仪表架、护顶架等关键零部件，最终使得整车的振动和噪声得到了改善，提升了整车的 NVH 性能。</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)

本次实践训练的项目名称为整车及零部件 NVH 试验和仿真分析研究。项目来源于实践单位,项目经费为 10 万元,主要研究目标是对整车进行减振降噪研究,提高整车的 NVH 性能。技术难点主要是研究对象为某 3 吨内燃叉车,该车采用刚性传动设计,只在发动机上布置了两处悬置,与传统的乘用车采用三点悬置和四点悬置不同,该车的发动机和变速箱振动直接通过驱动桥的刚性连接传递给车身,从而影响整车的 NVH 性能,所以必须对悬置系统进行合理的设计,提高隔振率,并且对传递路径上的各部件进行振动性能分析研究,避开共振点。而且由于车辆布置紧凑,驾驶员的耳边噪声受到各种噪声源的影响,需要对各个噪声源进行分析研究,找到贡献量较大的噪声源进行降噪处理,从而提高驾驶员的操作舒适性。

(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。)

本项目自 2021 年 7 月 15 日开展以来,围绕着某 3 吨内燃叉车,进行了整车和关键零部件的振动噪声试验和仿真分析研究。主要研究内容和方案包括:

1、整车原车状态振动噪声测试分析:测试工况包括驻车怠速、高速和门架起升工况,在发动机、变速箱、车架、仪表架、护顶架、方向盘、悬置、座椅等关键部位布置三向加速度传感器,在驾驶员耳边、进气口、排气口等位置布置噪声测试麦克风,测试分析各工况的振动噪声数据,发现方向盘、护顶架、仪表架等部位振动峰值频率与发动机的激励一致,高速工况下驾驶员耳边噪声主要来源于发动机燃烧噪声和进排气系统噪声。

2、关键部件的自由和约束模态试验和仿真分析:对车架、仪表架、护顶架进行了自由模态和约束模态的试验。为了更好的反映各个测点的运动状态,通过单点激励,移动加速度传感器的方式进行模态试验,试验完成后提取模态振型和频率,查看是否与发动机激励频率接近,避免产生共振现象。并对车架、仪表架、护顶架进行了零部件的自由模态分析,确定模型的准确性,再对其组件在整车装配条件下进行约束模态仿真分析,并提出了相应的改进措施,以避开共振频率。

3、进排气消声器优化改进研究:为降低驾驶员耳边噪声,对进气消声器和排气消声器进行优化改进,并利用声学仿真分析软件开展传递损失分析,针对耳边噪声、进气口噪声、排气口噪声的主要峰值频段进行对比分析,选择传递损失最优的方案进行后期的试验验证。

4、发动机悬置系统优化改进研究:发动机作为整车的主要激励来源,减小发动机对车身系统的振动传递,是改善整车振动的有效途径。为此对发动机的悬置系统进行了隔振率试验分析,发现在怠速工况悬置系统的隔振效果较差,需要对其进行优化改进。通过对动力总成开展转动惯量试验和质心测量,得到相关参数,并利用分析软件对悬置系统进行动刚度分析,选择优化后的方案进行设计制作,并开展试验验证。

5、整车改进状态振动噪声测试对比:通过相应的试验和仿真分析对比,对进气

消声器、排气消声器、悬置系统、护顶架，仪表架进行了优化改进，并开展了试验验证，最终该3吨内燃叉车的振动和噪声都有了改善，整车的操作舒适性得到了提升。

团队分工：1、振动噪声测试分析；2、模态试验和仿真分析；3、进排气消声器优化改进；4、悬置系统优化改进。本人主要承担主持振动噪声测试分析，模态试验和仿真分析，以及进排气消声器的传递损失分析，并都较好的完成了各项工作，为项目的完成提供了支持，而悬置系统的优化改进则委托江阴海达橡塑股份有限公司完成。

问题和改进建议：在对改进后的车辆进行振动和噪声测试分析后，发现耳边的噪声峰值主要来源于液压系统噪声的贡献，并且整车的机罩和座椅的振动舒适性还有待提升，这为下一步的减振降噪指明的方向。

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：通过该整车和关键零部件的振动噪声试验和仿真分析研究项目的开展，本人对振动噪声的原理知识得到了补习。振动噪声都是由激励源、传递路径、目标点这三方面组成，所以在优化改进上可以从这三方面着手，选择一条最简单有效的途径进行优化，可以加快项目的完成进度。并且，理解了模态是结构的固有动力学特性，包括频率、振型、阻尼比，当结构的模态频率与外界的激励频率接近时，就会产生共振现象，导致振动放大。在开展模态试验时，可以采用锤击激励法和激振器激励法，而较为普遍的是采用锤击激励法，而且其中非常重要的一点就是锤头的选择，一般来说，锤头越硬，激起的频率范围就越宽；锤头越软，激起的频率范围就越窄。所以后期在开展模态试验时，需要合理的选择锤头的硬度，从而提高模态试验的精度。

2、能力提升：通过该项目的开展，本人掌握了锤击法模态试验，在模态试验时，为了更好地表现模态振型，试验时在被测件上布置多个测点，且尽量分布均匀，通过单点激励，移动加速度传感器的方式进行模态试验，并在试验中设置一些参考点，避免将激励或者响应点选在了模态节点上。并且还掌握了有限元模态分析方法，在项目中以零部件的自由模态试验结果作为模型准确性的依据，通过不断的调整有限元模型的网格尺寸和类型，并完善接触设置和边界条件，从而保证自由模态分析的准确性，再将子零件模型进行装配，开展整车装配状态下的约束模态分析，以提高约束模态分析的精度。此外，本人还掌握了进排气系统的传递损失分析，传递损失主要定义为消声器入口处的入射声功率和出口处的透射声功率之差，通过对进排气噪声的峰值频段与驾驶员耳边噪声峰值频段进行对比分析，确定相应的噪声贡献量，并采用扩张腔和共振腔的组合方式对其进行针对性的优化改进，通过声学分析软件对各改进方案进行传递损失分析，确定最优改进方案。

3、素质养成：通过该项目的开展，本人养成了合理制定计划、团队协作、虚心求教、仔细求证的素质。由于该项目涉及的试验和分析工作量较大，不可能由本人一个人完成，所以在试验开始前，就制定相应的计划，根据计划寻找资源，各方团队协作，为项目的完成提供了支撑。并在项目开展中虚心求教，由于本人在进排气消声器传递损失方面了解不多，因此就请教了浙大的学长和老师，正是他们的细心指导，本人学会了传递损失分析，为消声器的优化改进提供了依据。此外在项目中本人也对模态的试验和分析结果进行仔细求证，确保试验和分析结果的准确性，针对试验模态，特意做了两组试验：一组为固定力锤激励，采用移动加速度传感器的方式；另一组为移动力锤激励，采用固定加速度传感器的方式，发现两组得到的模态频率基本一致，只是振型上存在差异，移动传感器试验能更好的表现模态振型，如后期只需要快速确定模态频率，则可以采用移动力锤激励的方式进行试验，提高试验进度；如对模态的振型要求较高，则采用移动加速度传感器的方式开展试验。

以上3项实践所得中，素质养成里面的合理制定计划和团队协作往往是需要通过深入企业开展专业实践训练才能培养的，因为在学校的本科和研究生学习阶段，一般不会涉及大的项目，基本都由导师进行工作安排，所以缺少制定系统性计划的环节，并在资源寻求和团队协作上也会缺乏经验。

（二）取得成效

1、在该整车和关键零部件的振动噪声试验和仿真分析研究项目中，利用 LMS. SCADAS 数采，三向加速度传感器、噪声麦克风等设备，开展了一系列振动和噪声测试，并通过频谱分析，倍频程分析，阶次分析等手段，确定了振动和噪声的主要峰值频段，并采用理论计算的方法得到发动机、风扇、齿轮泵等的工作频段，通过对比研究，确定振动和噪声来源，从而有针对性的进行优化改进。

并且，通过 LMS. SCADAS 数采、力锤和三向加速度传感器等设备，开展了车架、仪表架、护顶架等关键零部件的自由和约束模态，得到相应的模态频率、振型和阻尼比。并通过有限元仿真分析软件，对该关键部件进行了模态仿真分析，利用实际试验和仿真分析对比研究的方法，提高了模态分析的准确性，并为改进方案的确定提供了依据。

此外，通过对悬置上下的振动数据进行分析，确定了悬置在各个频段下的隔振效果，并利用转动惯量试验台，测量得到了发动机、变速箱的转动惯量和质心数据，为悬置的动刚度解耦分析提供了依据，提高了分析的精度，为悬置的优化改进提供了指导。

最后，利用声学分析软件对进排气系统进行了传递损失分析，得到了各个频段下的传递损失值，并结合进气口和排气口的噪声频谱数据，利用扩张腔和共振腔的原理优化改进了进排气消声器。

综上，该项目采用试验和分析相结合的方法，有针对性的优化了悬置系统、进气系统、排气系统，以及车架、仪表架、护顶架等关键零部件，最终使得整车的振动和噪声得到了改善，为下一步液压系统降噪提供了指导。并且通过该项目的开展，可以将成果进行总结，将其扩展到其他内燃叉车的减振降噪上，提升了公司产品的 NVH 性能水平，提高了市场竞争力，为产品出口欧美等发达国家提供了保障。此外，通过该项目的开展，可以积极响应国际和国家出台的关于人体暴露在全身振动环境下的舒适性和健康的评价标准，对提升驾驶员的操作舒适性，降低承受的振动和冲击，提高工作效率和保护人身安全健康具有非常重要的意义。

2、本项目的研究内容与学位论文关系紧密，学位论文的课题名称是叉车座椅舒适性分析与减振优化研究。通过该项目的开展，已经完成了学位论文研究内容中整车实际驻车工况的座椅振动测试，得到了座椅振动传递率，并对影响座椅振动的主要振

动源及传递路径进行了测试分析，完成了一些关键部件的动力学分析和优化。并且通过该项目的开展，为下一步座椅特性试验和分析优化改进提供了指导。

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
工业车辆模态试验方法	标准	2021-11-11	企业标准 Q/HCC J06033-2021	1/4	
叉车门架强度分析与结构改进	论文	2022-04-10	工程机械	1/1	
叉车驾驶室空调风道流场分析与优化研究	论文	2022-05-10	工程机械	1/1	
一种通用型叉车门架试验台	实用新型	2021-11-09	ZL 2021 2 1238375.3	1/6	
一种车辆稳定性试验台	实用新型	2021-09-17	ZL 2020 2 3141592.9	1/9	
一种叉车门架装卸性能测试系统	发明专利	2021-10-29	CN 113834646 A	2/7	
一种液压齿轮泵试验装置及试验方法	发明专利	2022-02-22	CN 114483715 A	1/7	

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： 孙雪峰

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>该学生在单位实践期间积极开展课题研究，养成了吃苦耐劳、虚心求教的素养，严格按照实践计划，寻找团队资源，从而较好地完成了实践训练。该课题通过试验和仿真分析相结合的方法，改善了内燃叉车的振动噪声，提高了产品的市场竞争力，为其他车辆的减振降噪提供了指导，并对提高驾驶员的工作效率和保护人身安全健康也有着非常重要的意义，具有较好的经济效益和社会效益。</p> <p>校外合作导师（或现场导师）签字：李明 2022年6月1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>该学生在专业实践训练过程中展现出了良好的分析问题、解决问题的科学素质，对叉车各级性能特别是NVH方面的基础知识和专业应用有了更好的应用及掌握，可以较好地应用理论来解决实际问题。项目的部分研究成果具有创新性及实用性，对提高所开发车型的振动舒适性具有较重要的工程意义，有某些类似项目的开发具有借鉴意义。该生后期学位论文撰写的内容将直接源于所实践项目的实际研究，相关程度较高。</p> <p>校内导师签字：李旭 2022年6月1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申请书扫描件。

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、社会效益、个人贡献说明及相关照片等）。