

一、专业实践训练整体情况

实践单位名称	宁波吉利罗佑发动机零部件有限公司	
实践单位地点	宁波杭州湾新区滨海二路 818 号	
实践岗位名称	前瞻技术开发模块负责人	
专业实践训练时间	集中进行	2021 年 01 月 01 日开始 至 2021 年 12 月 31 日结束
		专业实践训练累计 364 天（单位考核前），其中项目研究天数 300 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：宁波吉利罗佑发动机零部件有限公司（吉利汽车动力研究院）研发中心拥有 19600 平方米的办公面积与设备原值超过 4 亿元的性能检测实验室，主要承担吉利汽车动力总成产品的开发、技术支持等工作。研发中心可完成发动机及变速器整机开发、整机台架试验、性能开发、NVH 开发等工作，实验室被 CNAS 认定为国家认可实验室，内容涵盖发动机试验、变速器试验、动力总成试验，NVH 试验、排放试验等。拥有发动机性能台架 19 套、耐久试验台架 38 套、动力总成台架 7 套、排放设备 5 套、NVH 台架 3 套、变速器综合台架 9 套、发动机及变速器零部件台架 10 套、气道试验台 1 套，其他辅助设备若干。</p> <p>实践内容：负责吉利 3G15TDE 增程器专用发动机研发，主要研究高压压缩比、米勒循环技术研究，在不额外增加新技术及成本情况下，研究高压压缩比和米勒循环技术，提升发动机热效率，降低整车油耗，研发成功搭载吉利远程增程轻卡，开辟商用车轻卡新能源技术路线。</p> <p>实习岗位：发动机开发负责人</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: JLH-3G15TDE (增程器) 发动机开发

项目来源: 实践单位规划项目

项目经费: 项目研发经费总计 5116.29 万元

主要研究目标: 基于一款增压直喷基础发动机 (压缩比 10.5, 奥托循环, 热效率 35%), 研究高压压缩比及深度米勒技术, 在不额外增加新技术, 增加整机成本的前提下, 提升发动机热效率至 39%。

主要技术难点: 随着发动机压缩比提升, 爆震倾向增加, 为抑制爆震, 点火提前角滞后, 燃烧变差。随着米勒循环深度加深, 发动机进气量减少, 缸内流动变差, 燃烧恶化。

(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。)

项目研究内容、方案及技术路线:

研究内容:

1、高效增程式发动机关键技术参数优化决策及新型燃烧方式研究

燃烧一致性影响因子研究。缸内气体流动和缸内油气混合是影响燃烧一致性的主要原因, 高滚流可显著提高缸内流场的湍动能, 有效增强油气混合, 并且降低火焰传播以及输出扭矩的循环波动。

2、提高高效增程式发动机热效率的技术交叉组合研究及整机产业化应用

重点围绕大幅度提高发动机压缩比和缸内工质比热比以提高发动机热效率, 来开展研究开发, 开发过程中采用低功耗附件, 进行低摩擦设计和附件系统电子化应用以降低机械损耗, 应用高压压缩比、缸内直喷、深度米勒循环等发动机技术以提升发动机热效率; 优化进气道和活塞形状实现高滚流比; 优化喷油策略, 促进油气充分混合; 采用米勒循环和可变气门正时技术控制有效压缩比, 抑制高压压缩比所带来的爆震倾向。

3、基于高效增程式发动机混合动力系统及整车的匹配和产业化

根据高效增程器与电池等耦合匹配的分析结果, 确定高效增程式发动机的性能和排放要求, 并对增程式混合动力系统进行拓扑优化; 对搭载高效增程器的整车进行能量分配管理研究。

完成高效增程式混合动力系统热管理模块的开发等。

研究方法及技术路线:

项目旨在研究高效增程式混合动力专用发动机新型先进燃烧系统, 发动机热效率提升技术决策模型及增程式混合动力系统的整车匹配, 拟解决的问题包括发动机燃烧一致性敏感因子模型的建立与研究, 高压压缩比、燃烧系统的火焰传播模式及燃烧机理研究, 基于高效点火系统的高压缩比、高滚流进气道的深度米勒循环先进燃烧系统模块化设计, 适用于城市运营的串联混合动力系统高效增程式发动机最优化参数确定, 高

效发动机和发电机组组成的高效增程器与电池等耦合匹配与拓扑优化分析，搭载高效增程器的混合动力系统一体化热管理系统开发及控制策略研究，不需采用 GPF(颗粒物捕集器)而排放满足国 6b/RDE 排放标准的发动机排放后处理系统开发。研究过程中采用理论分析、试验测试与技术应用相结合的技术路线，如图 所示。

团队分工、本人承担任务及完成情况：

团队分工：

项目研究工作内容包包括高效增程式混合动力发动机新型先进燃烧系统，混动专用发动机热效率提升技术决策模型及增程式混合动力发动机的整车匹配，并进行整车高效增程器和电池等耦合匹配与拓扑优化分析、高效增程式发动机热效率的技术交叉组合研究以及基于高效点火系统的高压缩比、高滚流进气道的深度米勒循环先进燃烧系统研究，分别从插电/增程式混合动力系统匹配关键技术、发动机关键技术以及燃烧系统三个方面，展开理论研究、测试以及应用。因此，项目分解为 3 个相互涵盖的课题：

- 1、 高效增程式发动机关键技术参数多学科优化决策及新型燃烧方式研究；
- 2、 提高高效增程式发动机热效率的技术交叉组合研究及整机产业化应用；
- 3、 基于高效增程式发动机混合动力系统及整车的匹配和产业化。

本人承担任务及完成情况：

本人主要承担课题 1 高效增程式发动机关键技术参数多学科优化决策及新型燃烧方式研究，同事对项目整体负责。项目按计划完成研究，通过对高压缩比 CR11\12\13\14\15，米勒循环深度凸轮包角 160° \ 140° \ 120° \ 110° 及高滚流比进气道技术组合研究，最终锁定技术方案压缩比 CR13+ 110° 米勒技术组合，实现发动机热效率 39%的目标达成。

问题与改进建议等：

研究发现随着压缩比越大，燃烧持续期长、AI50 越大，但点火提前角无明显的差异，NO_x 和 THC 排放得到改善。米勒程度越深，油耗越低，有效压缩比越小，爆震倾向越小，米勒有利于改善爆震，但随着米勒程度加深，排气温度越低，废气能量利用率降低，发动机负荷降低，无法进一步提升发动机热效率。建议若进一步提升发动机热效率，需要开展废气再循环技术研究，抑制发动机爆震，在高压压缩比不变的情况下，降低米勒深度，增加发动机负荷，实现提升发动机热效率的目的。

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）

核心知识点掌握：

1、掌握了滚流强度对燃烧一致性的影响

通过不同的进气滚流比的情况下的实验，发现进气滚流强度对于发动机缸内流场，燃油浓度，火焰传播，动力性及排放有显著的影响。

2、掌握了高压压缩比和快速燃烧机理

通过仿真模拟和实验研究验证超高压压缩比、高滚流气道、深度米勒循环等对燃烧方式的影响，并应用降摩擦技术使发动机热效率提升至 39%。采用深度米勒循环和可变气门正时技术控制有效压缩比，亦可抑制高压压缩比所带来的爆震倾向。优化进气道和活塞形状实现高滚流比，以增强缸内气体的湍动能并且降低循环波动；优化喷油策略/改变燃料过热度来增强喷雾的雾化和蒸发，促进油气充分混合。完成新型先进燃烧系统模块化设计，可移植至其他发动机平台。进行高压压缩比和快速燃烧相关设计参数优化决策，燃烧系统关键尺寸定义。

3、掌握增程式发动机热力学开发验证

基于项目目标进行热力学开发策划，包括试验方案策划、试验边界控制、试验参数测量和试验标定方法确定，根据热力学开发策划方案进行热力学开发试验，基于 DoE 设计方法进行试验方案匹配优化，发动机热效率达到 39%，对试验结果进行分析，形成满足发动机经济性、动力性设计目标的发动机热力学开发报告。完成 800 小时循环负荷试验和 400 小时冷热冲击试验，验证增程式发动机的耐久性能，在最大热负荷，最大机械负荷和最大动态负荷条件下关键零部件（如：活塞、连杆、曲轴等）的机械强度，以及轴承活塞环、气门机构的磨损等初始耐久情况，检验所提供的样机是否达到设计耐久性指标要求，评定增程式发动机及相关系统的性能衰减性；考核增程式发动机冷热冲击性能，检验发动机是否达到设计冷热冲击性指标要求，评价发动机缸盖、缸盖垫、缸体等主要部件承受冷热冲击的能力。确保发动机各项指标满足国标要求。完成满足国 6b/RDE 法规要求的排放后处理系统开发，不采用 GPF(颗粒物捕集器)使 PN 排放满足国 6b/RDE 标准，排放优化涵盖发动机原始排放降低、发动机标定、整车标定等，形成排放测试报告；

4、高压压缩比发动机生产一致性在线补偿技术研究

建立了全面考虑多结构尺寸的压缩比模型，研究高压压缩比引起的发动机压缩比生产一致性控制难度的问题。明确影响压缩比的结构尺寸，并采用先进测试技术、CAE 数值模拟及理论计算，测量与压缩比相关的结构尺寸，根据多物理因素准确联立多学科理论，建立压缩比-尺寸数学模型；分析各结构尺寸对压缩比及其波动的影响，利用实验设计 (DoE, Design of Experiment) 方法，如拉丁超立方采样 (Latin Hypercube Sampling)、全因子实验设计 (Full Factor DoE) 等方法，合理选取足够采样点 (Sampling points)，对所有采样点基于已建立的压缩比模型进行大量计算得

到相应压缩比及其波动等输出结果，根据上述所得采样点数据（各尺寸数据）、压缩比及其波动输出结果，获得压缩比与结构尺寸的关系，对影响压缩比的众多尺寸进行灵敏度分析，确定关键尺寸和非关键尺寸，关键尺寸为后续优化的对象。基于高压压缩比生产一致性要求，进行生产线共线生产分析，实现增程式发动机与传统发动机共线生产，节约成本，发动机产品年生产能力 ≥ 5 万台；

5、高效增程器机电耦合研究

完成高效增程器与电池的耦合匹配，以及拓扑优化分析，完成高效增程器混合动力系统模块化设计。一套高效增程器混合动力系统既可搭载乘用车，亦可以通过分布式动力系统匹配商用车的不同车型，从而大大缩短了混合动力车型的匹配和标定周期，同时降低了研发成本和开发风险。独创性功率跟随式增程器设计，兼具纯电动力和传统动力优势的新能源车辆的主动动力，具有更加灵活而宽泛的油电平衡策略空间。针对搭载高效增程器的整车，提交包含不同工况的能量管理控制策略文档，对高效增程器的整车能量分配管理的策略进行研究，以确定整车能量分配管理控制策略方案，使得油电平衡空间更灵活、宽泛，确保动力电池不会出现过充或过放的情况，从而延长电池的使用寿命，最终使得搭载增程器动力系统的整车运行。

（二）取得成效

项目从混合动力发动机先进燃烧系统开发、增程式混合动力发动机开发以及插电增程式混合动力动力系统整车匹配等多个方面进行深入的综合研究，首先，项目建立新型先进燃烧系统模型，从燃烧一致性和高压压缩比生产一致性在线补偿方面提出要求，对增程式混合动力专用发动机开发提供理论基础和技术支撑；其次，项目从插电增程式混合动力系统整车、混合动力系统专用发动机以及发动机先进燃烧系统等各层面着手分别展开研究，为插电增程式混合动力发动机的研发提供良好的研究基础，有助于设计水平和研究技术的整体提高；先进的增程式混合动力发动机在商用车轻卡商进行工程化应用，将使整车产品性能达到国内领先、国际一流水平，排放水平满足国 6b/RDE 的排放法规要求，整车油耗将大幅降低，有力支撑国家节能减排战略的实施。

增程式混合动力发动机关键技术、关键零部件及整机开发流程、检测标准、规范的掌握，将促进混合动力专用发动机技术的科技进步，提升国内内燃机行业整体水平。我国整车产品平均油耗偏高，节能减排已成为制约我国汽车产业健康快速发展的瓶颈问题，发展搭载高效专用发动机的混合动力新能源汽车是必然途径。

本项目所研究的增程式混合动力专用发动机，是契合国家强国战略咨询委员会和中国汽车工程学会联合发布的节能与新能源汽车技术路线图。专用发动热效率的提升技术族谱，在国家主管部门产业政策的引导下，进行规模化推广应用，有助于我国节能减排国家战略的实施。高压压缩比、深度米勒技术在下一代动力总成产品中平台化应用，规模化生产后，将促进地方经济发展和产业结构调整提升，本项目研发的增程式混合动力专用发动机及整车投产后，将带动一大批零部件企业及相关产业链（如汽车销售、售后服务、能源、物流等行业）的快速发展，创造更多的高新技术工作岗位，促进就

业，有利于和谐社会建设，同时实现可观的社会效益。

最后，项目从系统层面、关键零部件以及关键系统多个方面着手研究，项目研究成果的整合，对于产品研发有重要指导作用，有助于提高汽车企业的产品市场竞争力。

本人学位论文是基于缸内直喷的汽油和氢气内燃机燃烧特性研究，氢能由于良好的燃烧性能、近零的污染物排放以及可由可再生能源生产的性质而备受关注，被誉为是实现碳达峰与碳中和的最佳能源形式。针对国内能源转型新格局和汽车行业碳中和的急迫需求，氢内燃机具有零碳排放、高效率、低成本和易改造的显著优势，已成为汽车零碳化的重要突破点，氢内燃机成为氢能应用的重要方向之一。氢气内燃机具有快速燃烧和超高爆发压力的特性，论文着重研究基于模块缸内直喷的汽油混动专用发动机，开展氢气燃烧特性研究，建立氢气内燃机仿真模型，对高压压缩比条件下将米勒循环、EGR、喷氢策略以及高效燃烧模式等关键技术协同优化，对氢气不正常燃烧提出抑制策略，以提高氢气内燃机热效率和功率密度，实现清洁、高效的氢燃料混合动力系统。本次实践内容高压压缩比及深度米勒技术研究是开展学位论文研究打下了基础。

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
增程式混合动力汽车专用高热效率发动机试验研究	论文	2018-05-01	小型内燃机与车辆技术	2/5	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：李连豹

2022年05月29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>实践合格，成果优秀。</p> <p>校外合作导师（或现场导师）签字：李和清 张之春 2022年5月24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>在完成课程学习任务后，作为骨干参与某增程器性能优化及验证方式研究，期间表现出较强的独立科研能力和扎实的理论知识水平，并取得一定的成果。</p> <p>校内导师签字：刘忠传 2022年5月24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 1 月 1 日 实际实践结束时间: 2021年 12月 31 日</p> <p>专业实践训练累计天数: 364 其中项目研究天数: 300</p> <p>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</p> <p>审核签字并盖公章:  2022年 05 月 25 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):</p> <p>是否重修: <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否</p> <p>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。

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）。

