

福建省科学技术奖提名公示内容

(2025 年度)

项目名称: 新一代内燃机高强度低摩擦活塞组件数字化关键技术及应用

提名奖种: 科技进步奖

提名单位: 三明市科技局

项目简介:

新一代内燃机广泛应用于国防装备、算力中心、远洋船舶、重载商用车、工程机械等关键领域。国防装备追求高功率密度，算力中心备用电源需长期停机后瞬时响应，远洋船舶面临高盐雾、高湿的强海洋腐蚀及长期连续运行下的腐蚀疲劳问题，重载商用车追求高热效率，氨氢醇绿色燃料发动机面临耐高温腐蚀与异常磨损难题。尽管各应用工况迥异，但其共性瓶颈都聚焦于活塞组件（气缸套、活塞、活塞环）低摩擦与高强化的协同提升——即在提高爆发压力和功率密度的同时，显著降低摩擦磨损、延长寿命，这一矛盾的破解已刻不容缓。

本项目在国家发改委智能化专项、国家自然科学基金面上项目等四项国家级省级项目支持下，经过 15 年梯次接续创新，前赴后继迭代，首次全面突破新一代内燃机活塞组件低摩擦高强度“卡脖子”共性难题，创新如下：

(1) 发明了新一代内燃机活塞组件低摩擦技术。构建了活塞组件摩擦副的动力学模型和润滑分析模型，探明了其摩擦学机理和影响机制；首创了气缸套工作面超微造型技术、活塞裙部多元纳米复合涂

层技术和活塞环超薄低弹新结构和 RNS 表面涂层技术等一体化组合减摩技术,构建了活塞组-缸套摩擦副仿真分析系统和验证评价体系。组件摩擦功耗降低 18-22%, 内燃机燃油消耗降低 0.5%~1.02%、标定碳排放降低 0.1mg/KWh。

(2) 发明了新一代内燃机活塞组件高强度高耐磨高耐腐蚀复合高强化技术。揭示了燃烧产物对活塞组件的腐蚀机理及其影响因素,明确气缸套为系统高腐蚀风险部件。提出了“合金强化+电磁离心铸造+Ni-SiC 喷射电沉积涂层”三重复合强化技术,实现气缸套抗拉强度从 380 MPa 提升至 490 MPa, 腐蚀速率从 68.95 mg/m²显著降至 3.54 mg/m²; 发明了高强度钢质活塞新材料与新型结构,有效抑制高温氧化及疲劳开裂,钢制活塞抗拉强度由 850 MPa 提高至 955 MPa, 屈服强度由 520 MPa 提高至 642 MPa。

(3) 创制了新一代高效、绿色内燃机活塞组件智能化、数字化制造装备及平台。成功构建了汽车零部件全流程协同管控的国家级卓越智能工厂,开发了面向汽车部件的“5G+工业互联网”集成平台,创新研制了气缸套、活塞、活塞环的智能化柔性制造生产线。通过上述技术升级,产品铸造过程能力 CPK 稳定超过 1.33,精密制造过程能力 CPK 稳定超过 1.67,产品质量一致性达到国际领先水平。企业生产效率提升至 95.3%,资源综合利用率提高了 13.88%,单位产值综合能耗降低了 2.31%,显著提升了生产效能与可持续发展能力。

项目产品成功独家配套吉利商用车 6-13L、潍柴 13L/17L、广西玉柴 K11M 等甲醇发动机;批量供货瑞典斯堪尼亚 CBE1,独家参与锡

柴 6DV1、重汽 MC13H、潍柴 10-14L 等高热效率发动机 PCU 组件协同开发；参与康明斯 15L、玉柴 15L、潍柴 16L、德国 MAN D38、戴姆勒 12.8L 等多元燃料发动机研发。项目产品国内市场占有率 45%，全球市场占有率超 15%，畅销中国、欧美等高端市场，引领全球内燃机动力活塞组件技术提升。

经单忠德、黄震、王玉明院士科技成果鉴定，项目总体技术达到国际先进水平，其中气缸套差异化珩磨和高强度高耐蚀材料技术水平达到国际领先水平。

主要完成单位：三明学院、厦门理工大学、中原内配集团股份有限公司、厦门金龙联合汽车工业有限公司、华闽南配集团股份有限公司、上海交通大学、中内凯思汽车新动力系统有限公司、福建汇华集团东南汽车缸套有限公司

主要完成人及其贡献：

序号	姓名	性别	年龄	职务/职称	文化程度	工作单位	对成果创造性贡献
1	高浩	男	54	院长/教授	本科	三明学院	项目负责人，负责项目整体设计
2	王乾廷	男	49	董事长/教授	博士	厦门理工学院(原单位)	减摩技术、数字化生产装备研发
3	薛亚辉	男	49	董事长/高级工程师	硕士	中原内配集团股份有限公司	气缸套、活塞高耐蚀研究
4	张恩来	男	40	主任/副教授	博士	厦门理工学院	气缸套减摩技术研发
5	张平山	男	40	高级工程师	本科	华闽南配集团股份有限公司	活塞环减摩技术研发
6	刘栋	男	40	部长/工程师	本科	中原内配集团股份有限公司	负责气缸套耐蚀技术及仿真
7	邹悟会	男	51	正高级工程师	大学	中原内配集团股份有限公司	负责新材料研发及组件系统优化

8	孟祥慧	男	50	教授	博士	上海交通大学	气缸套减摩技术研发
9	张雯娟	女	46	教授	硕士	三明学院	负责气缸套强化技术研发
10	刘亚辉	男	39	高级工程师	硕士	中内凯思汽车新动力系统有限公司	负责活塞强化技术研究

主要知识产权目录:

序号	专利名称	类型	专利号	发明人
1	一种离心铸造耐蚀铸铁气缸套的涂料雾化装置	发明专利	ZL202511630845.3	高浩;薛亚辉;吴龙;刘栋;王乾廷;张恩来;张雯娟;蔡雨珊
1	一种耐蚀活塞自适应加工居中装置	发明专利	ZL202511938405.4	高浩;薛亚辉;吴龙;王乾廷;刘栋;张恩来;张雯娟;郑开淼周作栋;张光星;蔡雨珊
2	基于多源数据的工艺参数迭代优化方法及系统	发明专利	ZL202610047798.8	高浩;刘栋;吴龙;王乾廷;张恩来
3	一种合金铸铁、合金铸铁缸套及制备方法	发明专利	ZL202310597281.2	侯起飞;王勇;邹悟会;卢琼;张小林;李月霞;徐超;曾应鸽;郭建立;朱宝龙
4	一种活塞环组磨损寿命预测方法及系统	发明专利	ZL202411834172.9	王乾廷;高浩;邹悟会;张恩来;周龙;权国政
5	一种重载商用车柴油机活塞环磨损状态监测装置	发明专利	ZL202411790953.2	王乾廷;张恩来;刘治军;高浩;周龙;银增辉;郭三刺
6	一种红外辐射测温装置及用于活塞测试的检测方法	发明专利	ZL202411515005.8	王乾廷;张恩来;党增军;刘栋;高浩;银增辉;刘亚辉
7	一种高效的活塞环PVD真空镀膜设备及其工艺	发明专利	ZL202410122208.4	张平山;王宗阳;徐建孙;王友愉;唐其华;杨燃
8	一种活塞环DLC涂层沉积工艺及涂层沉积设备	发明专利	ZL202410184927.9	王宗阳;张平山;徐建孙;唐其华;王友愉;杨燃
9	钢质活塞及其制备方法	发明专利	ZL201811510446.3	薛亚辉;张亮亮;刘亚辉;汤健;王鹏菲;张传珍
10	一种高性能摩擦焊接钢质活塞及其制备方法	发明专利	ZL201911421357.6	张亮亮;刘亚辉;张传珍;汤健;王力;宋朋虎;王鹏菲;杨玉华

代表性论文专著目录:

序号	论文名称	作者
1	Preparation and Characterization of Electrodeposited Ni-Al 20 3 Coatings Applied to Cylinder Liner	高浩等
2	On the oil-gas-solid mixed bearing between compression ring and cylinder liner under starved lubrication and high boundary pressures	孟祥慧, 等
3	Strengthening the cavitation resistance of cylinder liners using surface treatment with electroless Ni-P (ENP) plating and high-temperature heat treatment	张雯娟, 等
4	Study on the Corrosion and Wear Mechanism of a Core Friction Pair in Methanol-Fueled Internal Combustion Engines	张雯娟, 等
5	珩磨缸套与活塞环表面弹塑性接触分析	孟祥慧, 等