

2024年度福建省科学技术奖 提名项目（人选）公示内容

高校（盖章）：三明学院

项目名称：氢氨醇类净零碳燃料的内燃动力低摩擦高耐蚀活塞组件
关键技术及应用

提名奖种：福建省科学技术进步奖

提名单位：厦门市科技局

项目简介：内燃机作为交通运输和工业生产的关键动力装置，在全球能源动力系统中长期占据主导地位。随着国际社会对碳排放控制的日益严格，内燃机行业面临前所未有的挑战与机遇。根据《内燃机产业高质量发展行动计划（2021-2035）》的规划部署，突破关键基础零部件“卡脖子”技术瓶颈，构建以“高效化、低碳化、智能化”为特征的新一代内燃机技术体系，成为实现“双碳”战略的重要技术路径，也是国家能源转型与环境治理的重大战略需求。

活塞组件作为内燃机动力缸系统的核心功能单元，其性能直接影响内燃机的经济性、动力性、环保性及耐久性等关键指标。动力缸系统作为内燃机摩擦损失的主要来源之一，占机械摩擦损失的40%-60%，其中活塞组件的摩擦损失占比达到了40%-55%，其中活塞环与气缸壁的摩擦是主要贡献者。活塞组件传统材料体系、结构设计、制造工艺等难以满足新一代内燃机在多元燃料工况和高热效率目标下的严苛要求。因此，如何实现活塞组件的可靠性提升与摩擦功耗降低的协同优化，已成为当前内燃机领域突破热效率瓶颈、实现低碳化转型的核心关键技术挑战。

项目在国家自然科学基金面上项目、国家智能化发展专项等重大项目支持下，通过产、学、研、用创新合作，突破了新一代高效、绿色内燃机PCU组件技术难题，具体创新如下：

1. 发明了气缸套内表面差异化珩磨、活塞裙部多元纳米复合涂层、活塞环超薄低弹新结构与涂层等新技术，创新了新一代内燃机动力摩擦副组件（PCU）一体化减摩方案。应用于客户中、重型柴油机，动力缸系统摩擦功耗降低 18%~22%，燃油消耗平均降低 0.5%~1.02%。

2. 发明的等离子无石墨耐冲蚀涂层，解决了气缸套外壁穴蚀问题，抗穴蚀性能提升 30%以上；发明的高耐蚀、高耐磨铸铁新材料，解决了新一代内燃机 PCU 组件腐蚀失效难题，显著提升动力缸系统的耐久性与可靠性。

3. 创建了 PCU 组件智能化制造装备及平台，开发了活塞组件智能化、数字化柔性生产线。铸造与精密制造过程能力 CPK 分别稳定超过 1.33 和 1.67，有效保障了 PCU 组件产品的质量一致性，成功获得首批国家卓越级智能工厂。

项目技术成果生产的活塞组件已在德国戴姆勒、美国康明斯、吉利商用车、潍柴动力、中国重汽、广西玉柴等国内外企业批量应用，国际市场占有率 15%，国内市场占有率 45%，取得了显著的经济效益和社会效益，引领了全球内燃机动力活塞组件的技术提升。

经中国工程院院士为组长的专家组评价：“项目拥有完整的自主知识产权，总体技术达到国际先进水平，其中气缸套差异化珩磨及高耐蚀材料技术达到国际领先水平。”

主要完成单位：

厦门理工学院、三明学院、厦门金龙联合汽车有限公司、中原内配集团股份有限公司、福建汇华集团东南汽车缸套有限公司、华闽南配有限公司、福建理工大学、上海交通大学

主要完成人及其贡献：

王乾廷：作为项目负责人，负责项目总体方案设计，在减摩技术、耐腐蚀与耐穴蚀技术、数字化生产装备方面均做出了突出贡献。

高浩：作为主要完成人，在 PCU 组件测试与验证、数字化生产装备方面做出了突出贡献；

张恩来：作为主要完成人，在 PCU 组件评价及机械加工方面做出较大贡献。先后获得一种磨损超声波检测装置及活塞组件测试的检测方法等专利；

邹悟会：作为主要完成人，主要负责差异化珩磨技术，先后获得差异化珩磨气缸套及其制备方法、外圆涂层气缸套制备工艺等发明专利；

刘栋：作为主要完成人，在耐腐蚀与耐穴蚀技术、测试检测装备方面做出大量工作。先后参与获得一种耐腐蚀贝氏体灰铸铁组合物气缸套及制备方法等专利；

孟祥慧：作为主要完成人，在 PCU 组件摩擦学机理和影响机制方面做出了突出贡献。先后承担国家自然科学基金面上项目“内燃机活塞组-缸套系统多尺度混合润滑建模、磨损规律及性能退化机理研究”1 项；

张雯娟：作为完成人，参与完成气缸套穴蚀性能的研究分析和组件的测试验证工作。

张清伟：作为完成人，参与完成减摩技术（缸套、环）的研究开发、测试及评价。

主要知识产权目录：

发明专利，一种红外辐射测温装置及用于活塞测试的检测方法，ZL202411515 005.8，中国专利，王乾廷、张恩来、党增军、刘栋、高浩等，有效；

发明专利，一种磨损超声波检测装置及活塞组件测试的检测方法，ZL20241164 9864.6，中国专利，王乾廷、张恩来，有效；

发明专利，一种重载商用车柴油机活塞环磨损状态监测装置，ZL202411790953.2

中国专利，王乾廷、张恩来、刘治军、高浩等，有效；

发明专利，一种缸套加工用减震装置，ZL202510058496.6，中国专利，王乾廷、党增军、张恩来、高浩等，有效；

发明专利，一种活塞式内燃机瞬态燃烧模拟及测试分析系统，中国专利，ZL2024 11764276.7，王乾廷、银增辉、高浩、张恩来等，有效；

发明专利，基于内燃机工况数据分析的动力管理系统，中国专利，ZL202510032 367.王乾廷、高浩、刘栋、张恩来等，有效；

发明专利，Thermal Spraying Device Design, System Integration, EP16206 684.9，欧洲专利、薛德龙、邹悟会等。

代表性论文专著目录：

[1] Wenjuan Zhang¹, Hao Gao², Qianting Wang^{1*}, Dong Liu³, Enlai Zhang⁴, Strengthening the Cavitation Resistance of Cylinder Liners Using Surface Treatment with Electroless Ni-P (ENP) Plating and High-Temperature Heat Treatment, 2025 年 18 卷:1087-1107

[2] Wenjuan Zhang¹, Hao Gao², Dong Liu¹, Ying Gao³, Yuqing Zhang⁴, Lingchao Kong^{5*}, Effects of Heat Treatment on Microstructures and Mechanical Properties of a Low-Alloy Cylinder Liner, 2024 年 17 卷: 802-815

[3] Chengwei Wen, Xianghui Meng^{*}, Wenxiang Li. Numerical analysis of textured piston compression ring conjunction using two-dimensional- computational fluid dynamics and Reynolds methods, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers - Part J: Journal of Engineering Tribology, 2018, 232(11): 1467-1485.

[4] Yang Hu, Xianghui Meng^{*}, Youbai Xie, Jiazheng Fan. Mutual influence of plateau roughness and groove texture of honed surface on frictional performance of piston ring-liner system[J], Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers - Part J: Journal of Engineering Tribology, 2017, 231(7): 838-859.