综 述

车用柴油机高原性能提升技术研究现状与发展

董素荣，许翔，周广猛，刘瑞林，张中杰，何西常
（军事交通学院 汽车工程系，天津 300161）

摘要：分析了提高车用柴油机高原性能的高原增压技术、燃烧优化技术、低气压低温起动技术、电控柴油机高原标定技术以及高原热平衡技术的国内外研究、应用现状及发展趋势，提出了进一步提升车用柴油机高原性能的关键技术。

关键词：高原环境；柴油机；关键技术
中图分类号：TK429；U464.172 **文献标识码：**A
文章编号：1672－9242(2013)02－0067－04

Present Status and Development of Performance Advancing Technology of Vehicle Diesel Engine at Plateaus

DONG Su-rong, *XU Xiang*, *ZHOU Guang-meng*, *LIU Rui-lin*, *ZHANG Zhong-jie*, *HE Xi-chang*
(Department of Automotive Engineering, Military Transportation University, Tianjin 300161, China)

Abstract: The present status and development of the key technologies of advancing diesel engine's plateau performance, such as turbo-charging technology, combustion optimizing technology, low-air pressure and low-temperature starting technology, calibration technology of electronically controlled system, and thermal balance technology were analyzed. The purpose was to provide reference for improving plateau worthiness of diesel.

Key words: plateau environment; diesel; key technology

青藏高原是我国最具代表性的高原，平均海拔高度超过4000 m，总面积达230万平方公里。高原地区大气压力低、空气密度小、紫外线强、温度低、昼夜温差大、风砂大，对柴油机的性能产生重大影响，突出表现为动力性、经济性、可靠性、耐久性下降，热负荷增加，起动困难。柴油机是车辆的“心脏”，其高原环境适应性直接影响车辆在高原地区运行时的动力性、经济性、可靠性、耐久性、起动性等，进而影响整车的牵引特性、作业效率和运输效率等[1-2]。因此，为了提高车辆的高原适应性，有必要研究提高车用柴油机高原性能的关键技术。

1 国外研究现状与发展趋势

国外发达国家所处地域的海拔一般在3000 m以下，重型车辆动力设备都采用了增压柴油机。先

收稿日期：2012-10-11
作者简介：董素荣(1967—)，女，内蒙古赤峰人，博士，副教授，主要从事车辆及动力机械环境适应性研究。

进的增压技术使柴油机有着较大的储备功率，能够保持海拔3000 m以下功率不下降。因此，国外研究重点集中在海拔3000 m以下先进增压技术、电控柴油机标定技术等。

1.1 先进增压技术

为了满足日趋严格的排放法规，国外对可调几何截面涡轮增压技术（VGT）、二级增压技术（TST）进行了深入的研究和应用。自Garrett公司1989年成功为日本日产公司的Nissan 12.5 L柴油机配备了世界上第一台VGT增压器以来，国外采用VGT增压器已成主流。Iveco公司在1999年开发出了采用VGT增压器技术的10.308 L的Curor10增压中冷柴油机，在高原环境下能够自动实现全工况下的增压器转速控制。二级涡轮增压系统最早主要用于舰艇、高速轻型船舶、机车、电站等大功率高速柴油机上。近年来二级增压系统在车用柴油机上的应用越来越广泛。博格瓦纳公司为一台6缸12 L重型车用柴油机开发了二级增压系统，和单级增压相比，二级增压可以达到更高的增压比，尤其是在低转速时，增压比几乎成倍提高，平均有效压力提高约30%，燃油消耗率降低约27%。BMW公司为740d轿车开发了可变双涡轮二级增压6缸3.0 L柴油机，功率达到了75.2 kW/L，动力性能提高了约25%，发动机在低转速具有较快的响应性，高转速时拥有很大的功率储备[3—4]。

1.2 电控柴油机标定技术

由于国外发达国家海拔高度较低，因此对电控柴油机高原环境的标定技术研究较少，主要以高原实地标定试验研究为主。为满足南美市场要求，2007年美国万国公司在智利北部的阿塔卡玛地区分别进行了海拔0，2400，4800 m高度下电控柴油机ECM的稳态、瞬态标定试验和整车性能评估试验。FEV公司在美国内达华山区（平均海拔1500~2500 m）、美国环境保护署在科罗拉多州地区（平均海拔2073 m）、里卡多公司在西班牙南部山区和美国丹佛地区（平均海拔1610 m）分别进行过整车的高原环境标定试验[5—6]。

2 国内研究现状与发展趋势

国内对柴油机高原适应性的研究始于20世纪70年代初青藏铁路建设，研究重点是柴油机高原动力恢复技术、燃烧优化技术、低气压和低温起动技术、电控柴油机高原标定技术、高原热平衡技术等。

2.1 高原动力恢复技术

随着海拔的升高，大气密度降低，因此增压技术是柴油机高原动力恢复的主要技术。发动机生产企业和科研院所（如潍柴动力股份有限公司、一汽集团技术中心、军事交通学院、清华大学、北京理工大学）主要开展了涡轮增压器优化选配、涡轮增压器与柴油机匹配、可调涡轮增压器及二级增压等方面的研究工作[7—11]。

研究结果表明，虽然废气涡轮增压柴油机能够部分恢复高原动力，但实际使用中仍然存在动力性不足、经济性差、转矩特性不良、增压器超速、热负荷大、适应性系数低等问题。带放气阀的废气涡轮增压器能改善废气涡轮增压柴油机高速超速和低速转矩特性，但高速时因放掉部分燃气而未做功，经济性受到影响。为解决废气涡轮增压柴油机的高原适应性问题，提高柴油机的高原动力性能，国内部分高校和研究所正在开展对先进增压技术（VGT增压器、TST增压器等）的数值模拟和试验研究。

清华大学针对M11-C300增压中冷柴油机进行了VGT增压器柴油机不同海拔匹配性能仿真研究[10]。与原机相比，海拔3000 m时额定功率和最大转矩分别提高1.77%和5.49%；海拔5000 m时分别提高了1.28%和2.91%。

北京理工大学针对某6缸柴油机进行了不同海拔下单级增压和二级增压的仿真计算[11]。二级增压与单级增压相比，海拔5500 m时柴油机额定功率和最大转矩分别提高27.2%和15.5%，低速转矩提高约40%，两级压气机均工作在高效率区且不会超速。

由此可见，VGT增压器和TST增压器能提高柴油机的高原动力性能，是柴油机高原动力恢复的先进技术。与VGT增压器相比，TST增压器对柴油机高原动力性能提升的潜力更大；VGT增压器可实现变海拔、变工况自适应增压，极大地提高了车辆柴油机变海拔适应能力。

2.2 高原燃烧优化技术

国内主要通过对进排气系统、燃油供给系统、燃

烧系统调整参数和优化结构,寻求高原柴油机燃烧过程改善和功率恢复的途径。

潍柴动力股份有限公司、东风康明斯公司、军事交通学院等企业和院所通过对柴油机排气管长度和截面重新设计、供油提前角调整等,提高了柴油机的高原适应能力。然而,对柴油机高原燃烧优化技术研究还不够深入。由于缺少高原环境条件下增压柴油机燃烧化学反应动力学的研究,无法深入理解及解决高原增压恢复功率后发动机的热负荷、机械负荷和低速扭矩特性的变化。因此,需系统、全面地研究增压柴油机高原燃烧优化技术,尤其是高原环境条件下电控共轨柴油机喷油规律对燃烧过程影响的研究。

2.3　低气压、低温起动技术

高原环境条件下,柴油机起动性能因受低气温和低气压双重因素的影响,起动难度远大于低海拔条件下的低温起动。

目前柴油机高原低气压、低温起动辅助措施的研究尚属空白,一般采用柴油机低温起动辅助措施来解决柴油机高原低气压、低温起动,如燃烧室预热塞、PTC陶瓷进气预热、火焰进气预热、喷注起动液、低温起动加热器等。军事交通学院研发了燃油加热器高原起动辅助装置,研究了高海拔(低气压)对燃油加热器点燃特性和工作特性的影响,发现海拔每增加1000 m,加热器的单位时间发热量减少5% ~ 10%[12]。

柴油机高原低气压、低温起动性能研究还刚刚起步,亟待开展军车柴油机高原低气压和低温起动机理、起动过程仿真、起动性能、起动辅助措施等方面的研究。

2.4　电控柴油机高原标定技术

目前,国内汽车厂和柴油机厂大都对电控柴油机进行了高原实地标定。上海柴油机股份有限公司与日本电装公司,长城汽车股份有限公司与德国博世公司等先后在青藏高原对电控高压共轨柴油机进行了高原实地标定。一汽集团和军事交通学院对某电控共轨柴油机进行了高原模拟试验标定,以动力性为标定目标,通过标定试验获得了该电控共轨柴油机不同海拔(0~5500 m)共轨压力脉谱、循环喷油量脉谱和喷油正时脉谱。

基于模型的电控发动机标定技术在国外已经得到了较广泛的应用。在国内,电控发动机开发较晚,基于模型的标定技术研究起步也较晚,20世纪90年代才有基于模型的标定技术研究见诸文献。天津大学利用遗传算法与发动机工作过程三维模拟计算相结合的方法对电控共轨柴油机多脉冲喷油控制参数进行了优化。同济大学在8.2 L电控共轨柴油机的标定过程中,采用V最优试验设计方法,建立了输入和输出的含3次交叉项的4阶多项式模型,并实现了基于模型的离线优化。清华大学提出了基于排放权重比对的逐步逼近法来进行控制参数标定和组合神经网络建模的新概念,并利用遗传算法实现了6HK1和P710电控共轨柴油机最佳控制参数的优化。到目前为止,尚未见基于模型的标定技术应用于电控共轨柴油机高原标定的报道[13—14]。

2.5　高原热平衡技术

热负荷增大是限制高原柴油机最大功率发挥的主要因素。过高的热负荷不但使柴油机性能下降,而且易发生拉缸。因此,高原柴油机既要控制因后燃产生的热负荷升高,又要控制冷却系统因高原散热能力下降引起的温升。热平衡是柴油机高原性能提升的关键制约因素之一[15]。

2000年以来,国内企业及科研机构针对高原动力恢复柴油机热负荷大、水箱易“开锅”等问题,开展了降低发动机热负荷、强化冷却系统散热能力以及冷却系统控制技术等研究。为了降低发动机热负荷,采取的技术措施主要有:1)降低进气温度,如中冷技术;2)提高冷却系统散热能力,如加大水泵和风扇的流量、增大散热器和水箱的散热面积、采用封闭加压冷却系统等;3)对冷却系统进行智能控制,如军事交通学院与龙口汽车风扇离合器厂联合研制了适合高原环境的发动机温控电磁风扇离合器,根据发动机的水温变化,自动控制冷却风扇的运转,使发动机保持在最佳温度状态下运行,从而实现热平衡自动调节与控制。

3　结语

由于国外针对车辆柴油机高原环境适应性的研

究较少，提高军车柴油机高原环境性能没有可移植的成熟技术；国内对军车柴油机高原性能提升技术的研究尚不够系统、深入。因此，需要深入研究柴油机的高原环境性能提升技术，全面提升车辆柴油机的高原适应性。

在提升车辆柴油机高原性能的关键技术中，增压技术、燃烧优化技术和低气压低温起动技术是车辆柴油机高原动力性、经济性、起动性等综合性能提升的关键技术；高原环境标定技术为增压技术、燃烧优化技术、低气压低温起动技术等研究提供标定手段和平台；热平衡技术为增压技术、燃烧优化技术等研究提供热负荷边界条件，这两种技术也是提高车用柴油机高原环境性能研究所必需的。

参考文献：

[1] 刘瑞林，周广猛，尚永新，等. 军用动力机械高原环境适应性研究[J]. 军事交通学院学报，2010(6)：78—81.

[2] 许翔，周广猛，郑智，等. 高原环境对保障装备的影响及适应性研究[J]. 装备环境工程，2010，7(5)：100—103.

[3] 魏名山，季凯，马朝臣. 车用柴油机的二级增压[J]. 汽车技术，2005(1)：25—28.

[4] LANGEN P，HALL W，NEFISCHER P. BMW 740d 轿车用新型两级涡轮增压直列6缸柴油机[J]. 国外内燃机，2011(1)：21—26.

[5] 周广猛. 电控高压共轨柴油机高海拔性能试验研究[D]. 天津：军事交通学院，2009.

[6] 任优，倪计民. 电控柴油机的优化标定[J]. 汽车科技，2007(3)：27—31.

[7] 王军. WD615柴油机高原适应性技术研究[J]. 山东内燃机，2003(3)：22—27.

[8] 董素荣，郝志刚，刘刚，等. 车用涡轮增压柴油机高海拔性能研究[C]// 中国高等教育学会工程热物理专业委员会第十五届全国学术会议. 2009.(余不详)

[9] 李文祥. CA6110/125Z1A2增压柴油机对青藏高原适应性的研究[J]. 汽车技术，2001(7)：5—12.

[10] 张海雷. 柴油机变海拔涡轮增压技术研究[D]. 北京：清华大学，2008.

[11] 施新，李文祥. 匹配二级顺序增压系统的柴油机高原特性仿真[J]. 兵工学报，2011(4)：397—402.

[12] 董素荣，张恒超，靳尚杰，等. 进气预热对车用柴油机低温起动性能影响的研究[J]. 军事交通学院学报，2009(6)：41—44.

[13] 韩强，杨福源，张京永，等. 用于标定和优化的高压共轨柴油机建模[J]. 清华大学学报(自然科学版)，2004，44(11)：1524—1527.

[14] 仇滔. 柴油机电控系统参数标定技术研究[D]. 北京：北京理工大学，2005.

[15] 任晓江. 柴油机高原环境冷却系统性能仿真研究[D]. 天津：军事交通学院，2011.

(上接第17页)

防护性能优于环氧铁红底漆，这与自然曝晒的结果是一致的。

3) 利用腐蚀程度对比的方法，从失光、变色、粉化、起泡、开裂、剥落和基体腐蚀，以及腐蚀的宏、微观形貌，涂层分子链降解程度等方面，确定了加速试验环境谱具有约2个周期当量自然曝晒1 a的相关性。

参考文献：

[1] 刘文珽，李玉海. 飞机结构日历寿命体系评定技术[M]. 北京：航空工业出版社，2004.

[2] 李玉海，刘文珽，杨旭. 军用飞机结构日历寿命体系评定应用范例[M]. 北京：航空工业出版社，2005.

[3] 王晶晶，董士刚，叶美琪，等. 环氧涂层室外曝晒和室内加速老化试验相关性研究[J]. 表面技术，2006，35(1)：36—39.

[4] 张勇，陈跃良，吴剑锋，等. 后勤装备防腐涂层加速试验环境谱研究[J]. 装备环境工程，2010，7(5)：147—151.

[5] 刘文珽，李玉海，陈群志，等. 飞机结构腐蚀部位涂层加速试验环境谱研究[J]. 北京航空航天大学学报，2002，28(1)：109—112.

[6] 胡建文，李晓刚，高瑾. 有机涂层室内加速试验的对比[J]. 北京科技大学学报，2009，31(3)：381—387.

[7] 穆山，李军念，王玲. 实验室加速试验与自然暴露试验差异性研究[J]. 装备环境工程，2011，8(5)：13—19.