

综述与机型

适度隔热发动机的发展

张全中, 魏志明

(中国北方发动机研究所, 天津 300400)

摘 要: 适度隔热发动机的概念是指对燃烧室等主要受热零部件采取隔热措施处理, 如此燃烧室表面向冷却水的传热减少, 可以显著减小发动机冷却系统的整体尺寸。对表面隔热技术和适度隔热技术对发动机性能的影响进行了介绍和分析; 并探讨了适度隔热发动机的发展方向。

关键词: 适度隔热发动机; 性能; 隔热材料

中图分类号: TK421 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2014)03-0007-03

Development of Proper Thermal Insulation Engine

Zhang Quanzhong, Wei Zhiming

(China North Engine Research Institute, Tianjin 300400)

Abstract: Proper thermal insulation engine is an engine applying heat isolating technique to the main parts of combustion chamber. When the engine is operating, the heat transferred from the surface of combustion chamber to cooling water is reduced, thus the dimension of the whole engine cooling system could be reduced. The thermal insulation technology and influence of proper thermal insulation engine on engine performance are introduced and analyzed, and the development trend of proper thermal insulation engine is discussed.

Keywords: proper thermal insulation engine; performance; thermal insulation material

0 前 言

适度隔热发动机是指对燃烧室等主要受热零部件采取隔热措施处理的发动机。采取隔热处理后, 发动机工作时, 通过燃烧室表面传向冷却水的热量减少, 相应地由冷却水带走的传热损失也减小, 可以显著减小发动机冷却系统的整体尺寸。

从理论的角度提出隔热发动机的设想由来已久, 但真正实现则与材料科学的发展分不开。20 世纪 60 年代出现的碳化硅和氮化硅结构陶瓷, 为柴油机应用陶瓷材料展现了良好的前景。金属表面等离子喷涂氧化锆工艺, 也为柴油机燃烧室表面隔热提供了可行的方法。20 世纪 70 年代, 美国康明斯公司为美军研制低散热发动机是公认的隔热发动机产品研发的开端。

我国适度隔热发动机的研究起步较国外晚, 且主要研究方向是民用柴油机, 主要解决沙漠缺水地区的发动机使用问题。许多单位在陶瓷材料、喷涂工艺、发动机性能研究等方面进行了大量的工作。

1 燃烧室表面隔热技术

1.1 隔热材料

热障涂层是利用陶瓷材料热导率低、抗氧化、耐热冲击等特性制备的热绝缘陶瓷层, 在高温载荷下, 形成沿涂层厚度的高温梯度, 减弱向基体的传热, 从而降低基体的工作温度, 提高基体的抗高温氧化、抗腐蚀和抗磨损性能。金属粘结层起到陶瓷涂层和基体物理兼容性的作用^[1-4]。但普通隔热陶瓷材料的机械强度、耐热性、耐循环性、耐久性和寿命都很难满足要求, 如此, 功能梯度材料应运而生。

收稿日期: 2014-01-20

基金项目: “863” 高技术项目资助(2012AA111709)。

作者简介: 张全中(1982-), 男, 助理研究员, 研究方向为发动机设计与开发, E-mail: Xiaoge321@163.com。

功能梯度材料是一种与其他材料混合后会同时具备自身与被混合材料功能的材料,如图 1 所示。本文采用的功能梯度材料为陶瓷、金属混合材料。图 1 的左侧表示发动机燃烧室表面,拥有 100% 的具有耐热性和隔热性的陶瓷功能;右侧表示功能梯度材料与金属部件结合面,拥有 100% 的金属功能。因此,在右侧结合面位置,即使在高温下,也能够防止功能梯度材料与金属部件之间由于膨胀系数差异而出现剥离。两材料混合比的中间区域,根据陶瓷与金属的混合比例,具有两种材料的中间的功能。

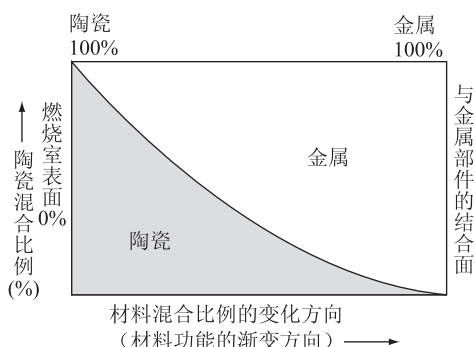


图 1 陶瓷和金属构成的梯度功能材料示意图

1.2 隔热涂层的制备方法

隔热涂层的发展有近 30 年的历史,隔热涂层的制备工艺也在不断地改进。目前,制备隔热涂层比较成熟的方法是大气等离子体喷涂;电子束物理气相沉积法也日趋成熟;应用激光处理来提高热障涂层性能的研究也有很多;化学气相沉积方法制备隔热涂层也正在发展之中。

1.2.1 气相沉积法

气相沉积法是将反应物经气相传质方式沉积在衬底材料上,通过控制温度和原料气体的压力,调节和控制薄膜的组织 and 结构,来制造隔热层材料的方法。气相沉积法根据沉积过程中沉积粒子的来源不同可以分为化学气相法(CVD 法)和物理气相沉积法(PVD 法)。

气相沉积法的优点是可实现材料组分的连续变化,沉积速率高,膜层致密、均匀,适宜形状复杂的工件;缺点是难以得到尺寸较大的厚膜材料^[5]。

1.2.2 粉末冶金法

粉末冶金法其方式是先按设计的物料层数和组分分布比制备各层混合均匀物料,然后分层布料加压,制成一定致密度的坯体,最后烧结而成。

林化春等采用此法已制出 WC-Co、WC-Ni 系功能梯度材料;日本采用此法制备出 ZrO_2 -W、

Al_2O_3 -W-Ni-Cr 系功能梯度材料;加拿大采用此法得到了 Al_2O_3 - ZrO_3 系功能梯度材料^[6]。

1.2.3 等离子喷涂法

等离子喷涂法是通过改变陶瓷和合金粉料的不同配比,使层与层之间的成分达到连续变化,同时通过调节射流的速度和温度等工艺参数,可以使组织具有一定程度的变化,得到性能比较优越的功能梯度材料。

1.2.4 离心铸造法

离心铸造法的原理是利用离心力场中合金比重差异引起的表面沉积特性来制备梯度功能材料。该法可制得高密度和大尺寸的梯度材料,但不适用于高熔点的陶瓷系梯度材料。国外利用此法制备出聚合物基碳系、铝铁合金梯度材料^[7]。

1.2.5 激光重熔法

采用激光重熔法可以降低等离子涂层的高气孔率,组织均匀致密,表面粗糙度低,提高涂层的结合强度。激光重熔后的热障涂层抗氧化性及耐热循环寿命得到改善,可提高 2 倍以上。

2 适度隔热对发动机性能的影响

燃烧室采取表面隔热措施后,发动机的工作过程发生了变化,导致性能与非隔热发动机有所不同,以下分别就对燃烧过程和经济型等方面的影响进行阐述。

2.1 充气效率

充气效率是发动机进排气能力的表征,它取决于发动机的环境条件。通过增加隔热层降低散热量会导致适度隔热发动机燃烧室壁面温度升高,充气效率或会下降,因为温度较高的壁面和残留气体会使吸入空气的密度降低。正如预期,所有适度隔热发动机的研究显示充气效率下降。通过采用涡轮增压和更加有效地利用废气能量可防止适度隔热发动机充气效率的恶化。图 2 所示是普通发动机和适度隔热发动机充气效率与制动功率的变化关系^[8]。

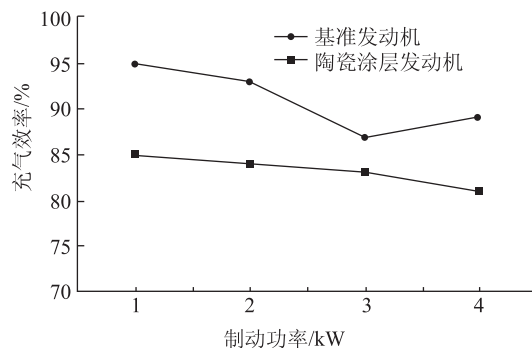


图 2 充气效率与制动功率的关系

2.2 热效率

热效率是以燃料形式存在的化学能转化成有用功的实际效率。通过减少缸内传热而改善发动机效率是适度隔热发动机研究的主要目的。在许多对适度隔热发动机降低散热和获得高效率的潜力方面进行的大量研究工作中，研究者将此归结于缸内传热量的降低和较低的热通量。

最近日本报道，用高速照相机对燃烧室内的燃烧情况进行了拍摄(图3)，拍摄速度为每秒10 000帧。图3(a)为金属部件构成的燃烧室中，燃烧室壁表面温度较低时燃料燃烧的情况；图3(b)为陶瓷部件构成的燃烧室中，燃烧室壁表面温度较高时燃烧的情况。二者都为试验模拟燃烧。图3(b)所示的陶瓷燃烧室中，在上止点前-11.0°CA时，可以观察到有相当一部分燃料已经着火，与图3(a)相比，燃料着火提前。另外，在-7.0°CA时，与图3(a)相比，图3(b)中火焰中心附近灰色部分较多，可以判断火焰温度较低，热效率出现了恶化。

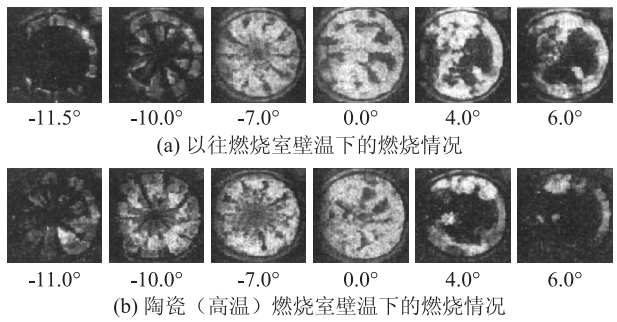


图3 以往燃烧室与陶瓷(高温)燃烧室燃烧情况比较(活塞上止点处曲轴转角为0°，上止点后为正)

2.3 燃油消耗

大量研究者对缸内隔热对燃油消耗的影响进行了模拟和分析。通常，与传统冷却式发动机相比，自然吸气式LHR(Low Heat Rejection)发动机的燃油消耗率减少0~10%及以上，涡轮增压LHR发动机的燃油消耗率减少0~15%及以下。R. H. Thrimj的研究显示：燃油消耗率降低，是由于壁面温度升高而导致的摩擦减小^[8]。见图4。

3 发展方向

隔热材料的研究和应用正在向新材料、新工艺、新的设计理念和多种表面复合处理技术的方向

迅速发展。伴随着现代等离子喷涂技术向数控、智能和精确喷涂发展的趋势，应用先进的等离子技术和其他新技术、新工艺的结合，制备新一代长寿命、高可靠性、大体积、复合/连续梯度功能的隔热材料，是今后一段时期隔热材料发展的主要方向之一。

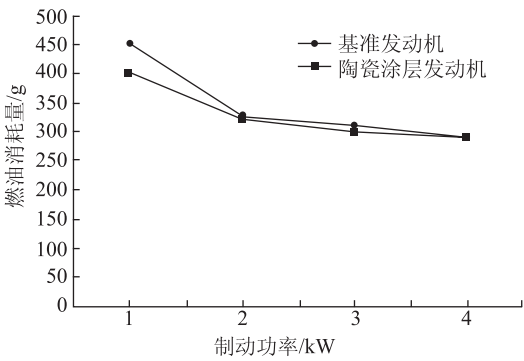


图4 普通发动机和适度隔热发动机燃油消耗量对比

适度隔热发动机不同隔热率对发动机性能影响的规律尚未明确，须要针对某些具体机型进行不同隔热率情况下的燃烧系统优化研究，同时对整机的冷却系统进行匹配优化，为适度隔热发动机的实际应用提供基础依据。

参考文献

[1] Evans A G, Mumm D R, Hutchinson JW, et al. Mechanisms controlling the durability of thermal barrier coatings [J]. Progress in Materials Science, 2001, 46: 505-555.

[2] Strangman T E. Thermal barrier coatings for turbine airfoils [J]. Thin Solid Films, 1985, 127: 93-105.

[3] Mumm D R, Evans A G, Spitsberg I T. Characterization of a cyclic displacement instability for a thermally grown oxide in a thermal barrier systems [J]. Acta Mater, 2001, 49: 2329-2340.

[4] 马维,潘文霞,吴承康. 热障涂层材料性能和失效机理研究进展[J]. 力学进展,2003,33(4): 548-559.

[5] 李智慧,何小凤,李运刚. 功能梯度材料的研究现状[J]. 河北理工学院学报, 2007,29(6):45-50.

[6] 陈东. 功能梯度材料的进展[J]. 青岛建筑工程学院学报,2001,22(4):92-95.

[7] 徐智谋. 功能梯度材料和低温制备研究现状及展望[J]. 表面技术,2000,29(2):1-3.

[8] Jaichandar S, Tamilporai P. Low heat rejection engines-an overview [C]. SAE Technical Paper 2003-01-0405,2003.