

Research on the correlation between the manufacturing accuracy and performance optimization of engine cylinder head valve system

Dijin Tang

Guangxi Jiade Machinery Co., Ltd., Yulin, Guangxi, 537000, China

Abstract

In the wave of modern industrial manufacturing and scientific and technological innovation, the continuous improvement of the performance and efficiency of the engine, as the heart of various mechanical equipment, has become one of the key driving forces to promote social progress and economic development. As an important part of the engine, the engine cylinder head valve system not only directly affects the working efficiency, fuel economy and emission performance of the engine, but also is one of the key indicators to measure the overall performance of the engine. Therefore, it is also a direction to control the consistency of engine performance by conducting in-depth research on the manufacturing accuracy and performance optimization of the engine cylinder head valve system, and strictly controlling the manufacturing accuracy and quality tolerance of each part of the valve system. In this paper, the correlation between the manufacturing accuracy and performance optimization of engine cylinder head valve system is studied.

Keywords

engine cylinder head valve; Precision; performance optimization; Manufacturing research

发动机缸盖阀系制造精度与性能优化的关联研究

唐第进

广西嘉德机械股份有限公司, 中国·广西 玉林 537000

摘要

在现代化工业制造与科技创新的浪潮中, 发动机作为驱动各类机械设备的心脏, 其性能与效率的持续提升成为了推动社会进步与经济发展的关键动力之一。发动机缸盖阀系作为发动机的重要组成部分, 不仅直接影响到发动机的工作效率、燃油经济性和排放性能, 更是衡量发动机整体性能的关键指标之一。因此, 对发动机缸盖阀系制造精度与性能优化进行深入研究, 严格控制阀系每个零件的制造精度和质量公差也是控制发动机性能一致性的一个方向。本文对发动机缸盖阀系制造精度与性能优化的关联作出研究。

关键词

发动机缸盖阀; 精度; 性能优化; 制造研究

1 引言

在全球范围内, 随着节能减排和环保意识的不断加强, 汽车、航空、船舶等行业的迅速发展, 对发动机的工作性能提出了更高的要求。发动机的高效性、低排放和轻量化已成为发动机技术发展的主流。发动机缸盖阀系是实现缸中气体流动的关键部件, 其设计精度、材质选择、加工工艺和组装工艺等都将对进气效率、燃烧效率和废气净化性能产生重要影响。

【作者简介】唐第进(1983-), 男, 中国广西玉林人, 本科, 工程师, 从事发动机缸盖气门密封性影响因素与控制研究。

2 国内外研究现状

在国内, 研究人员主要通过对阀系几何结构进行合理设计, 以提高发动机的经济性和减少污染物排放。比如, 通过使用铝合金和复合材料等轻量化材料降低阀门系统的质量, 并通过拓扑优化方法实现更有效的流道结构, 降低气流阻力, 提升换气效率。在此基础上, 进一步完善阀座、阀瓣等关键零件的高精度铸件和研磨方法, 并结合现代检测手段, 实现高质量加工, 降低泄漏和损耗, 提高使用寿命^[1]。在国外, 欧美等多个国家更加注重多领域研究, 如将热力学、流体力学和结构动力学等多个领域有机地结合起来, 开展阀门系统的多尺度性能模拟研究, 实现阀门系统的热载荷、应力分布和动力学响应特性的预测和优化。在此基础上, 采用遗传算法和神经网络等智能化算法, 反复进行阀系参数的选

代和寻优,从而达到在复杂运行条件下寻找最优控制方案的目的。随着越来越严格的尾气排放标准,国内外学者也在不断地尝试利用可变气门、连续可变气门定时和缸内停车等方法来实现节能减排。

3 发动机缸盖阀系制造设计优化

3.1 流体动力学分析

对发动机缸盖阀系进行制造和优化时,对其进行流体动力学计算十分必要。利用 CFD 分析技术,对阀门启闭过程进行准确仿真,揭示阀门启闭过程中流体的运动规律,了解其对发动机工作特性与性能的影响。

阀门开启/关闭时机设计优化:通过 CFD 数值模拟,能够准确地得到气门前后的压力分布、速度矢量以及紊流特征。通过对上述参数的研究,可以发现在启闭过程中,诸如漩涡的形成、流动阻力的大小等特定因素对流场的作用。在这种情况下,可以根据实际情况对气门开度进行调节,从而使流量损耗降到最低,达到改善发动机性能的目的。比如,通过推迟进气门的时间,借助气门的惯性作用,使进气量增大,进而提高发动机动力。

精确的流量控制设计:计算流体力学的研究也有助于设计者评估各种阀门的构造(如阀门大小、形状、数量)对流动的作用^[2]。通过调节阀门的结构参数,能够对经过阀内的流量进行仿真,从而对阀门最佳结构进行优化,保证各种条件下的高效稳定流量。比如,在涡轮增压的进气系统上加装可调涡轮增压器(VGT),并与 CFD 技术相融合,能够在保证高转速工作效率的前提下,稳定较大的进气量。

3.2 结构优化设计

在发动机缸盖阀系生产工艺中,采用有限元法对阀门进行数值仿真,实现对各种工作状态下阀门系统受力状态的准确仿真,保证阀门在各种工作条件下的强度与刚度需求。首先,对阀门进行有限元计算时,必须对阀门的阀座、阀杆和弹簧等关键元件进行精确的数学建模。该建模需要建立在真实的 CAD 数据基础上,以保证其与实物的高一致性。在此基础上,通过引入弹性模量、泊松比、屈服强度等物理参量,研究其对有限元计算精度的影响。结合实际工况,对其进行相关边界条件及负荷计算。这些参数主要是指阀门在打开或闭合过程中所受到的压力,弹簧的预紧力以及温度的影响。通过对各加载参数的逐级调节,能够反映各工作状态下阀门的实际应力状态。

在 FEA 求解中,通过合理的数值方法以及网格剖分方法,实现数值模拟的准确性与高效性的兼顾。为了保证计算精度,需要对阀门系统中的一些重要部件,例如阀杆、气门座等进行局部细化。通过有限元分析,可以清楚地反映出阀门在各种工作状态下的受力及变形状况。着重研究高应力区及潜在破坏形式,如裂纹、塑性变形等。在此基础上,利用材料学的相关理论,对各部位的力学性能进行评估,并对其

进行结构优化。但在实际设计过程中,往往会遇到一些局部应力集中和局部刚性不够的情况。在这种情况下,可以采用结构尺寸的调整、截面形状的变化,或增设加强筋的方法来实现。比如,通过在阀门杆结构周围增设支撑结构,可以明显地改善阀门弯曲强度;通过对弹簧结构进行合理设计,可以使其既能满足一定的预张力,又能降低材料的应力集中。

3.3 材料选择与性能评估

在发动机缸盖阀系生产中,材料的选择非常关键,其好坏不但关系到产品的重量、导热性能以及防腐性能,而且对整机的使用周期及成本都有很大的关系。

铝合金:由于具有较高密度(大约是钢材的三分之一),因此,它是实现轻量化的最佳选择。在汽车发动机缸盖阀系中,使用铝合金可以减轻零件重量,达到节能减排的目的。另外,由于其优良的热传导性,使工作时所释放的热能迅速消散,确保阀门系统的平稳运转。但由于其本身的硬度偏小,加之其在阀门系统高温条件下需要长时间运行,易发生蠕变,抗腐蚀性能也比一些金属材料差。所以,在设计时,需要进行加固或采用适当的表面处理技术。

钛合金:具有高强度、轻质和优异的抗腐蚀性等优点,已被大量用于高端发动机缸盖阀系的制造中。虽然比铝合金的密度要大一些,但其硬度比铝合金要大得多,可以在恶劣的工作条件下运行。尤其是在含有盐分或海水等潮湿环境中,钛合金基本不会受腐蚀影响,从而极大地提高了整机的寿命与可靠性。但是,由于其制作成本昂贵,并且其热导率远低于铝合金,所以在散热设计上要求更高。

综合以上材料特点,设计师往往会在特定的使用环境中进行取舍。比如,在要求最大限度地减轻车身重量的情况下,铝合金是较为理想的材料,可以通过适当的结构设计来达到均衡强度和重量;而对于高性能、高耐久性的要求,例如赛车和高端轿车,则采用钛合金材料,虽然价格昂贵,但在极限工况下的性能却是无与伦比的。另外,以 Al-Si 为代表的复合材料具有高强度、高导热、轻质等优势,近年来展现出一定优势,但存在制备工艺复杂、生产成本高等问题。

4 发动机缸盖阀系制造精度与性能优化策略

4.1 精密制造技术应用

1. 激光熔敷技术:是利用能量极强的激光束对熔覆材料进行瞬时加热、熔化,使其在金属表面与基材之间产生良好的冶金连接,从而显著提升阀门座等重要零件的耐磨、耐腐蚀性能。2. 微纳结构表面改性技术:可从微观上调整其表面粗糙度和纹理,实现对材料润湿性与附着力的调整。将该技术用于阀杆与阀座的接触表面,可以增大接触面,降低摩擦阻,改善密封效果。3. 超精密磨削技术:利用高精度研磨装备,实现缸盖平面度、阀座角度等参数的精准调控,以保证各阀系装配体的几何尺寸在微米量级。这种结构不但改善了整个缸体的刚性,而且保证了各个零件的精密匹配,降低了由于

装配不当而造成的渗漏与失效问题。

4.2 仿真与优化设计

将 CAD (计算机辅助设计)、CAM (计算机辅助制造) 与 CAE (计算机辅助工程) 技术相结合, 可以使企业从方案设计到产品验证的整个流程都达到数字化和虚拟化。这种集成方法不但可以有效地改善产品的开发效果, 而且可以有效地提升产品的精度与可制造性。首先, 在计算机辅助设计中, 运用 3D 造型技术建立准确的气门结构、进气排气道布置和气缸盖曲面形状等多个参数的数学模型。该模式既可以在视觉上进行评估, 也可以为随后的模拟分析提供依据^[1]。之后, 利用计算机辅助工程软件分析该系统的受力和热特性, 并对其进行动态性能分析。在发动机运转过程中, 对阀门进行应力分析, 以保证阀门系统的强度及耐用性; 在热分析方面, 重点研究阀体和阀座的热胀性能, 以防止由于温度应力引起的过早损坏; 动态性能分析可以评估阀门在高速运转时的稳定度以及噪声抑制能力。

4.3 智能化制造与检测

在发动机缸盖阀系的加工制造中, 其综合性能的最大提升, 除了需要在设计层次上进行革新外, 还需要对制造和检测方法进行智能升级。以 CNC (计算机数控)、机器人等为代表的智能化生产技术逐渐成为推动这一进程的重要动力。数控系统的运用, 实现了高精度、高重复性作业, 极大地降低了人工误差, 同时也改善了产品质量。利用预先编制的程序, 实现多个数控加工, 保证阀系的孔位、角度和表面光洁度等重要参数满足设计指标。另外, 数控系统具有自动更换刀具的能力, 使制造时间更短, 费用更低。

而机器人设备, 主要负责搬运、组装和初步测试, 其不仅能在极端环境下保持稳定工作状态, 又能 24 小时持续运转, 大大提高了生产效率。在缸盖阀系装配时, 机器人可以精确定位, 保证各零件之间的严密装配, 降低人为因素造成的失误。采用机械视觉、3D 扫描等智能检测方法, 完成气缸盖阀系全尺寸非接触式检测。利用该方法可以实现高精度的零部件 3D 建模, 通过与 CAD 软件的比对, 及时检测出产品的几何形状等缺陷, 为产品的质量管理奠定基础。通过对大数据技术的应用, 企业能够对产品的各个生产环节进行追踪, 找出问题所在, 从而达到不断改善和预防性维护的目的。

4.4 性能测试

4.4.1 气密性测试

该测试目的是为了检验气缸盖阀门系中各个零件之间的密封性, 从而避免由于漏气而造成动力损耗及其他零件的

损坏。测试时, 利用专门的气密性测试装置, 将特定气压作用于气缸盖和气阀总成上, 以测量气压的改变来评估该装置的密封性。其主要步骤为: 首先完成气缸盖阀系总成的组装, 并将其安装在测试支架上, 以压缩气体为测试媒介, 逐级递增气体压力到预定的数值 (一般比发动机工作时的最高压强要高), 并对其进行观测和记录, 看看有没有气体泄漏或者泄漏声音。如果气压维持不变, 没有明显泄漏, 即为合格。

4.4.2 耐久性测试

该测试是为了对发动机长期高负荷运转状态进行仿真, 对阀门总成的磨损状况及使用寿命进行评估。测试方法主要是通过通过对阀门、弹簧、座圈等重要零件的测试, 如开启闭循环测试、高速转动测试、外加高压测试等, 来检测阀门、弹簧、座圈等重要零件的磨损与变形状况。在测试期间, 对阀门与阀座接触面的磨损情况、弹簧弹性系数的变化进行连续监控和记录, 直到满足预定的百万次周期或显著的性能衰减为止。

4.4.3 热循环测试

考虑到发动机工作时, 由于气缸内的温差变化对气缸套的性能有很大的影响, 所以热循环测试就显得非常必要。在此基础上, 开展基于高速冷热循环的涡轮增压测试, 研究气门结构在不同工况下的热膨胀系数、承受热应力的能力和热疲劳性能。在测试中, 可以通过电加热或者液体加热的方法将阀门内部的温度快速升高到与真实工作温度相近的状态, 再快速降温, 反复进行几次, 并实时监控阀门的变形、开裂和材料特性的改变。

5 结语

综上所述, 发动机缸盖阀系的制造精度和性能优化对于提高发动机甚至整车的综合性能具有重要意义。随着材料科学、智能制造技术和计算机数值模拟技术的发展, 未来发动机缸盖阀系统将向着高效、可靠和环境友好方向发展。但是, 随着环保政策的改变和工作环境的日趋复杂, 相关企业需要通过多学科交叉的方式进行深入研究, 以更为智能和高效的技术, 发掘更多的发动机潜能, 为推动可持续发展作出新的贡献。

参考文献

- [1] 孟庆站. 发动机X7缸盖阀座、导管快速压装技术[J]. 汽车工艺师, 2024, (Z1): 29-31.
- [2] 赵迎芳, 郭辉, 蒋海梅, 等. 汽车发动机缸盖智能装配生产线设计与实现[J]. 信息技术与标准化, 2025, (Z1): 93-97.
- [3] 伍启华, 李娜娜, 王健, 等. 发动机缸盖用蠕墨铸铁高温性能研究[J]. 铸造, 2025, 74(01): 33-37.