

内燃机活塞机构的优化设计

杨 森 黄 昊 张 瑜

一拖(洛阳)柴油机有限公司 河南 洛阳 471000

摘要: 随着现代工业的发展,内燃机作为重要的动力源,其性能要求日益提高。活塞机构作为内燃机的核心部件,其设计的优劣直接影响到内燃机的整体性能。本文旨在探讨内燃机活塞机构的优化设计方法,通过理论分析,提出一系列设计策略,以期提高内燃机的工作效率和寿命。

关键词: 内燃机; 活塞机构; 优化设计; 工作效率

引言

内燃机作为现代交通工具和机械设备的主要动力来源,其性能的提升一直是工业界和学术界关注的焦点。活塞机构作为内燃机中的关键运动部件,承受着高温、高压和高速往复运动的复杂工况,其设计的合理性直接关系到内燃机的功率输出、燃油消耗和排放性能。因此,对内燃机活塞机构进行优化设计,具有重要的理论和实践意义。

1 内燃机活塞机构的工作原理及设计要求

1.1 内燃机活塞机构的工作原理

内燃机活塞机构,作为动力转换的核心部分,承载着将燃料化学能转化为机械能的重要任务。具体来说,活塞机构由内燃机的几个关键组件构成:气缸、活塞、活塞环以及连杆。气缸作为燃烧室,是燃料与空气混合并燃烧的地方。活塞则在气缸内做往复直线运动,这种运动是由燃烧产生的高温高压气体推动的。当燃料在气缸内燃烧时,产生的巨大压力推动活塞向下运动,这就是所谓的“作功冲程”。而活塞环则起到密封作用,确保燃烧产生的高压气体能够有效地推动活塞,而不是从活塞与气缸壁的间隙中泄漏出去。同时,活塞环还能帮助散热,防止活塞因高温而损坏。连杆则连接活塞与曲轴,将活塞的往复直线运动转化为曲轴的旋转运动,从而输出机械能。这一过程不仅实现了能量的转换,还通过连杆与曲轴的巧妙设计,实现了动力的平稳输出。内燃机活塞机构的工作原理是通过燃料燃烧产生的高温高压气体推动活塞做往复直线运动,再通过连杆将这种运动转化为曲轴的旋转运动,从而输出机械能。这一过程不仅体现了机械原理的巧妙应用,也是现代工业动力转换的重要基础。

1.2 内燃机活塞机构的设计要求

1.2.1 足够的强度和刚度

内燃机活塞机构作为承受极端工况的核心组件,其

设计要求极为严格。首先,必须具备足够的强度和刚度。在燃烧过程中,活塞要承受高达数兆帕的压力和上千摄氏度的高温,这样的极端环境要求活塞材料必须有出色的机械性能和热稳定性。同时,活塞的形状和结构设计也要充分考虑强度和刚度的需求,确保其在高速往复运动中不会发生形变或断裂。此外,强度和刚度的保证还能有效减少活塞在运行过程中的振动和噪音,提高内燃机的整体平稳性和舒适性。因此,在内燃机活塞机构的设计中,足够的强度和刚度是确保活塞能够正常工作、提高内燃机性能和使用寿命的基础要求。

1.2.2 良好的密封性能

在内燃机活塞机构的设计中,良好的密封性能是至关重要的一项要求。活塞与气缸之间必须形成有效的密封,以防止燃烧产生的高温高压气体泄漏。这种密封性能的优劣直接影响到内燃机的热效率和工作性能。如果密封不严,不仅会导致气体泄漏,降低热效率,还可能引起内燃机功率下降、油耗增加以及排放恶化等问题。为了确保良好的密封性能,活塞机构设计中常采用高精度的配合间隙、优质的密封材料和先进的表面处理技术^[1]。这些措施能够有效地减少气体泄漏,提高内燃机的整体性能。因此,在内燃机活塞机构的设计过程中,密封性能的优化是一个不容忽视的重要环节。

1.2.3 合理的重量和平衡设计

合理的重量和平衡设计是内燃机活塞机构设计中的又一重要考虑因素。活塞作为高速往复运动的部件,其重量直接影响到内燃机的动态特性和振动水平。过重的活塞会增加惯性力,导致更大的振动和噪音,同时增加能耗;而过轻的活塞则可能无法满足强度和刚度的要求。因此,设计师需要仔细权衡活塞的重量和性能之间的关系。通过采用轻量化材料、优化结构设计以及精确计算配重,可以实现活塞的轻量化,同时保持良好的平衡性。这样的设计不仅可以减少惯性力和振动,提高内

燃机的平稳性和舒适性,还能有助于提升燃油经济性和降低排放。

1.2.4 良好的润滑和冷却系统

良好的润滑和冷却系统对于内燃机活塞机构来说,是确保其正常工作温度的关键要素。活塞在高速往复运动中,不仅承受着极高的压力和温度,而且还与气缸壁面发生摩擦。若没有足够的润滑,摩擦会产生过多的热量,导致活塞和气缸的磨损加剧,甚至引发卡死或熔化等严重故障。同时,冷却系统的作用也不可忽视。它负责将活塞产生的热量及时带走,防止活塞因过热而变形或损坏。因此,活塞机构设计中必须考虑合理的油道布置、油孔位置和冷却水腔设计,确保润滑油和冷却液能够有效地到达需要润滑和冷却的部位,从而维持活塞机构的正常工作温度,保障内燃机的稳定、高效运行。

2 活塞机构的优化设计策略

2.1 材料选择

在活塞机构的优化设计中,材料选择是一个至关重要的环节。考虑到活塞在工作过程中需要承受极高的压力和温度,以及复杂的机械应力,选用高强度、高耐热性的合金材料成为必然的选择。铝合金由于其轻质、良好的导热性和可加工性,在活塞制造中得到了广泛应用。新型的铝合金材料不仅具有更高的强度和硬度,还能在高温下保持良好的机械性能,有效抵抗热变形和蠕变。此外,铝合金的耐腐蚀性能也能确保活塞在恶劣的工作环境中长期使用而不易受损。除了铝合金,钢合金也是活塞制造中常用的材料。钢合金具有更高的强度和耐磨性,能够承受更大的机械应力和热负荷。尤其是对于那些要求高功率输出和长时间持续工作的内燃机,钢合金活塞更能发挥其优势。同时,通过合理的热处理和表面处理技术,可以进一步提高钢合金活塞的耐热性和抗磨性。在材料选择时,还需要考虑到活塞的制造工艺和成本等因素。不同的材料对加工工艺和设备有不同的要求,因此需要在满足性能要求的前提下,选择适合的材料以降低制造成本和提高生产效率^[2]。通过选用高强度、高耐热性的合金材料,如铝合金、钢合金等,可以显著提高活塞机构的强度和刚度,确保其在极端工作条件下能够稳定、可靠地运行。这不仅是提高内燃机性能和使用寿命的关键,也是推动内燃机技术不断进步和发展的重要途径。

2.2 结构设计

活塞机构的结构设计是内燃机性能优化的核心环节之一。活塞作为内燃机中的关键运动部件,其形状、尺寸以及活塞环的设计都直接影响着内燃机的整体表现。

在活塞的形状和尺寸优化上,设计师们致力于减少活塞的质量,以提高其运动的平稳性。通过精确计算和模拟分析,可以对活塞的壁厚、裙部形状等参数进行优化,从而实现轻量化的目标。这种轻量化设计不仅有助于减少惯性力,降低振动和噪音,还能提高内燃机的响应速度和燃油经济性。同时,活塞环的设计也是结构优化的关键部分。活塞环在活塞与气缸壁之间形成密封,防止燃烧气体泄漏。为了提高密封性能并减少磨损,设计师们不断改进活塞环的材料、形状和表面处理工艺。例如,采用高性能的合金材料,增加活塞环的弹性和耐磨性;优化活塞环的截面形状,提高其与气缸壁的贴合度;应用先进的表面涂层技术,减少摩擦阻力并延长使用寿命。此外,在活塞机构的结构设计中,还需要考虑到活塞与连杆、曲轴等部件的配合关系。通过精确设计活塞销孔的位置和尺寸,可以实现活塞与连杆的精确配合,减少运动中的冲击和振动。同时,合理布置活塞内部的冷却油道和润滑油孔,可以确保活塞在工作过程中得到充分的润滑和冷却,从而维持其正常工作温度并延长使用寿命。

2.3 热管理设计

活塞机构的热管理设计是确保内燃机高效、稳定运行的关键环节。由于活塞在工作过程中承受着极高的温度和热负荷,因此,改善活塞的冷却系统、合理布置冷却通道以及优化活塞顶部的热障涂层设计成为优化设计的重点。首先,改善活塞的冷却系统对于提高散热效率至关重要。通过精确分析活塞的温度分布和热流路径,可以设计出更加合理的冷却通道布局。这些通道能够有效地将冷却液引导至活塞的关键部位,如活塞顶部和环槽等,从而快速带走热量,降低活塞温度。同时,优化冷却液的流量和流速,可以进一步提高散热效果,确保活塞在高温环境下能够正常工作。其次,合理布置冷却通道也是热管理设计的重要方面。冷却通道的形状、尺寸和位置都会影响到冷却效果。通过采用先进的计算流体力学(CFD)技术,可以对冷却通道进行优化设计,实现更加均匀的冷却效果。此外,还可以考虑采用一些新型的冷却技术,如喷雾冷却、热管技术等,以进一步提高活塞的散热性能。另外,优化活塞顶部的热障涂层设计也是降低热传递的有效手段。热障涂层能够形成一层热阻屏障,减少热量从燃烧室向活塞顶部的传递。通过选用高温稳定性好、导热系数低的涂层材料,并优化涂层的厚度和均匀性,可以显著降低活塞顶部的温度,提高活塞的耐热性能^[3]。通过改善活塞的冷却系统、合理布置冷却通道以及优化活塞顶部的热障涂层设计等热管

理策略,可以有效地提高活塞机构的散热效率、降低热传递,从而确保内燃机在高温环境下能够稳定、高效地运行。这些优化设计策略对于提高内燃机的整体性能和使用寿命具有重要意义,也是未来内燃机技术发展的重要方向。

2.4 润滑系统设计

活塞在高速往复运动中与气缸壁持续接触,若缺乏充分的润滑,不仅会导致摩擦阻力增大,还可能引发磨损、卡死等严重问题。因此,改进润滑油的供给方式成为优化设计的关键。在传统的润滑系统中,润滑油通常通过油道和油孔供给到活塞与气缸壁之间。然而,这种方式在某些情况下可能无法保证润滑油的均匀分布和及时供给,特别是在高温、高压的工作环境下。因此,需要对润滑系统进行改进,以确保活塞与气缸壁之间的良好润滑。一种有效的改进方法是采用喷射润滑技术。通过在关键位置设置喷嘴,可以将润滑油以一定的压力和流量直接喷射到活塞与气缸壁的接触面上。这种方式能够确保润滑油在需要时迅速到达,并形成一层均匀的油膜,有效减少摩擦损失。此外,还可以考虑采用含有特殊添加剂的润滑油,以提高润滑性能和抗磨性。这些添加剂能够在高温下保持润滑油的稳定性,防止其氧化和分解,从而延长润滑油的使用寿命。除了改进润滑油的供给方式和使用特殊添加剂外,润滑系统的维护和管理也至关重要。定期更换润滑油、清洗油道和油孔、检查喷嘴的工作状态等,都是保持润滑系统良好运行的关键措施。通过改进润滑油的供给方式、使用特殊添加剂以及加强润滑系统的维护和管理,可以确保活塞与气缸壁之间的良好润滑,减少摩擦损失,提高内燃机的运行效率和可靠性。这些优化设计策略对于延长内燃机的使用寿命、降低能耗和减少排放都具有重要意义。

3 内燃机活塞机构优化设计的挑战与展望

活塞机构作为内燃机的核心部件,其优化设计虽然带来了显著的效益,但在实际应用过程中确实面临了诸多挑战。这些挑战不仅来源于技术层面,还涉及到经济、制造等多方面因素。在新材料的研发上,虽然铝合金、钢合金等高强度、高耐热性材料已被广泛应用,但寻找更为理想的材料仍是科研人员不懈努力的方向。新材料需要具备更高的强度、更低的密度、更好的耐热性

和更长的使用寿命,同时还要考虑其制造成本和可持续性。这无疑增加了研发的难度和成本。结构设计的复杂性也是一个不容忽视的挑战。活塞的形状、尺寸以及活塞环的设计都需要经过精确计算和模拟分析,以达到最优效果。然而,内燃机的工作环境极为恶劣,活塞机构在运行过程中会受到各种力、热、化学等复合作用,这些因素都会影响活塞的性能和使用寿命。因此,如何在实际应用中实现理论设计的最优化,是设计师们需要面对的问题。制造工艺的限制也是优化设计中的一个重要挑战。即使有了理想的设计方案和材料,如果没有相应的制造工艺作为支撑,这些设计也很难转化为实际产品。尤其是在追求轻量化、高精度、高效率的今天,对制造工艺的要求也越来越高^[4]。展望未来,随着新材料技术、计算机模拟技术和先进制造工艺的不断发展,我们有理由相信,活塞机构的优化设计将迎来更多的可能性。新材料的应用将进一步提高活塞的性能;计算机模拟技术的进步将使得设计更为精确、高效;而先进制造工艺的发展则将使得这些设计更容易转化为实际产品。未来,内燃机活塞机构的优化设计将在提高内燃机效率、减少排放、延长使用寿命等方面发挥更加重要的作用。

结语

本文通过对内燃机活塞机构的工作原理和设计要求的分析,提出了一系列优化设计策略。这些策略旨在提高活塞机构的强度、密封性能、热管理效率和润滑性能,从而提高内燃机的整体性能。然而,优化设计是一个持续的过程,需要随着技术的进步和市场需求的变化而不断更新和完善。

参考文献

- [1]周龙,张玉银,许敏,李冕.基于多体动力学和遗传算法的发动机活塞型线优化设计[J].内燃机工程,2019,35(05):17-23.
- [2]胡新宇.内燃机活塞机构的优化设计[J].内燃机与配件,2022(01):13-15.
- [3]伦冠德.内燃机活塞机构的建模及仿真分析[J].拖拉机与农用运输车,2019(03):73-74+80.
- [4]叶金虎.偏置曲柄摇杆机构传动角函数的研究[J].机械传动,2021,38(08):43-46,86.