

机械工程

基于UG和CAE的二冲程活塞汽油机高热效率设计

陈增辉

浙江能泰动力科技有限公司 324000

【摘要】 本论文聚焦于二冲程活塞汽油机高热效率设计，旨在通过结合UG (Unigraphics NX) 和CAE (Computer Aided Engineering) 技术，优化发动机的结构和工作过程，提高其热效率。首先阐述了二冲程活塞汽油机的工作原理及提高热效率的重要性，接着详细介绍了UG在发动机三维建模以及CAE在模拟分析中的应用流程。通过对进气、压缩、燃烧和排气等过程的模拟优化，得出的一系列能够有效提升热效率的设计方案，并进行实验验证。研究结果表明，利用UG和CAE技术相结合的方法，可显著改善二冲程活塞汽油机的性能，为其高效化发展提供有力支持。

【关键词】 基于UG和CAE；二冲程活塞汽油机；高热效率设计

High thermal efficiency design of two-stroke piston gasoline engine based on UG and CAE

Chen Zenghui

Zhejiang Nengtai Power Technology Co., Ltd. 324000

【Abstract】 This paper focuses on the high thermal efficiency design of two-stroke piston gasoline engine, aiming to optimize the structure and working process of the engine and improve its thermal efficiency by combining UG (Unigraphics NX) and CAE (Computer Aided Engineering) technology. Firstly, it describes the working principle of the two-stroke piston engine and the importance of improving thermal efficiency, and then introduces the application of the UG in engine 3D modeling and CAE in simulation analysis. Through the simulation and optimization of the intake, compression, combustion and exhaust processes, a series of design schemes that can effectively improve the thermal efficiency are obtained, and verified by experiments. The results show that the combination of UG and CAE technology can significantly improve the performance of two-stroke piston gasoline engine and provide strong support for its efficient development.

【Key words】 UG and CAE; two-stroke piston gasoline engine; high thermal efficiency design

引言

随着全球能源问题日益突出以及环保要求的不断提高，提高内燃机的热效率成为当前研究的重点之一。二冲程活塞汽油机因其结构简单、功率密度大等优点，在小型动力设备如摩托车、小型船舶发动机等领域仍有广泛应用。然而，传统二冲程活塞汽油机普遍存在热效率较低的问题，造成能源浪费和环境污染。UG作为一款功能强大的CAD/CAM/CAE一体化软件，能够实现复杂零部件的三维建模与虚拟装配。CAE技术则可以对发动机的工作过程进行数值模拟，预测其性能并进行优化。将UG和CAE技术相结合，为二冲程活塞汽油机的高热效率设计提供了一种有效的手段。

1 二冲程活塞汽油机工作原理及热效率影响因素

(一) 工作原理

二冲程活塞汽油机的工作循环包括进气、压缩、燃烧膨胀和排气四个过程，在两个活塞行程内完成一个工作循环。活塞下行时，扫气口打开，新鲜混合气进入气缸，同时废气从排气口排出；活塞上行时，扫气口和排气口关闭，混合气被压缩，当活塞接近上止点时，火花塞点火，混合气燃烧膨胀推动活塞下行做功。

(二) 热效率影响因素

进气过程：进气量不足或进气不均匀会导致燃烧不充分，降低热效率。进气道的形状、尺寸以及扫气方式等都会

影响进气效果。

压缩过程：压缩比是影响压缩过程的关键参数，合适的压缩比能提高混合气的温度和压力，有利于燃烧，但过高的压缩比可能引发爆震，反而降低性能。

燃烧过程：燃烧速度、燃烧完全程度以及燃烧放热规律等对热效率有重要影响。良好的燃烧过程应使混合气快速、完全燃烧，释放出更多的能量转化为有用功。

排气过程：排气不畅会使废气残留量增加，影响下一个循环的进气质量，进而降低热效率。排气道的设计和排气背压等是需要考虑的因素。

2 基于UG的二冲程活塞汽油机三维建模

(一) 模型建立流程

确定设计参数：根据目标发动机的功率、转速等性能要求，确定气缸直径、活塞行程、压缩比等主要设计参数。

零部件建模：利用UG的草图绘制、特征建模等功能，依次创建气缸体、活塞、连杆、曲轴等零部件的三维模型。例如，在创建气缸体模型时，先绘制二维草图确定其外形轮廓，然后通过拉伸、打孔等操作生成三维实体。

虚拟装配：将各个零部件模型导入到装配模块中，按照实际的装配关系添加约束，完成发动机的虚拟装配。通过虚拟装配可以检查零部件之间的干涉情况，及时调整设计。

(二) 模型优化

在完成初步建模后，对模型进行细节优化。例如，对进

气道和排气道的内壁进行光滑处理,减少气流阻力;对活塞头部的形状进行优化设计,以改善混合气的流动和燃烧效果。

3 基于 CAE 的二冲程活塞汽油机工作过程模拟分析

(一) 进气过程模拟

在进气过程模拟阶段,精确的网格划分是获取准确模拟结果的基础。首先,将在 UG 中精心构建的进气系统三维模型完整无误地导入到专业的 CAE 软件中。进气系统作为发动机吸入新鲜混合气的关键通道,其内部气流的流动状况对发动机性能有着深远影响。

采用适宜的网格划分方法对模型进行处理至关重要。不同的网格划分方式会直接影响模拟的精度和计算效率。通常,会根据进气系统的复杂程度和模拟需求,选择结构化网格或非结构化网格。对于形状规则的部分,结构化网格能够提供较高的计算精度;而对于形状复杂的区域,非结构化网格则更具灵活性。

为了确保模拟精度,尤其要关注进气道的关键部位,如弯道处。在这些地方,气流容易发生剧烈的变化,形成紊流和漩涡。因此,在弯道处适当加密网格,能够更细致地捕捉气流的变化情况。加密后的网格可以更精确地描述气流的速度、压力等物理量的变化,为后续的模拟分析提供更丰富的数据支持。

边界条件设置是进气过程模拟的另一个关键环节。设定进气口的流量、压力等边界条件,需要综合考虑发动机的实际工作工况。例如,不同的转速和负荷下,进气口的流量和压力会有所不同。同时,壁面的粗糙度等参数也不容忽视,壁面粗糙度会影响气流与壁面之间的摩擦力,进而影响气流的流动特性。

通过模拟,我们能够得到进气过程中气流的速度场、压力场分布情况。对这些数据进行深入分析,可以清晰地了解气流在进气道内的流动特性。比如,通过观察速度场分布,能够发现气流的高速区域和低速区域;通过分析压力场分布,可以找出压力变化较大的部位。从中找出可能存在的流动死区和不均匀区域,这些区域会导致混合气分布不均,影响燃烧效果。基于这些分析结果,我们就可以有针对性地改进进气道设计,优化气流的流动路径,提高进气效率。

(二) 压缩过程模拟

压缩过程是发动机工作循环中的重要一环,然而其实际过程涉及众多复杂因素,为了能够在合理的时间和计算资源范围内进行模拟,对模型进行适当简化和假设是必要的。

由于气体与气缸壁之间的热交换相对整个压缩过程来说,对主要参数的影响较小,属于次要因素,因此在本次模拟中予以忽略。这样的简化处理能够大大降低模型的复杂度,提高模拟计算的效率,同时又不会对关键参数的计算结果产生过大偏差,保证了模拟的可行性和有效性。

在完成模型简化与假设后,依据理想气体状态方程和热力学定律,对压缩过程展开数值模拟。理想气体状态方程描述了气体的压力、体积和温度之间的关系,而热力学定律则为分析压缩过程中的能量转换提供了理论基础。通过这些基本原理和数学模型,利用计算机强大的计算能力,精确计算压缩过程中气缸内气体的压力、温度变化。

在模拟计算过程中,随着活塞的上行,气缸内的气体体积逐渐减小,压力和温度不断升高。通过模拟得到的压力、温度随时间或活塞位置的变化曲线,能够直观地展示压缩过

程的动态特性。

模拟结束后,对结果进行全面评估。重点分析压缩比、压缩终了压力和温度等关键参数对后续燃烧过程的影响。压缩比直接决定了气体被压缩的程度,较高的压缩比通常能够提高燃烧效率,但过高可能引发爆震等问题。压缩终了压力和温度则影响着混合气的着火延迟和燃烧速度。

通过将模拟得到的这些参数与预先设定的设计要求进行对比,判断当前压缩过程是否满足设计要求。如果某些参数偏离了设计目标,就需要进一步分析原因,可能是模型简化带来的误差,也可能是初始参数设置不合理。根据分析结果,对模型或参数进行调整,重新进行模拟计算,直至压缩过程的各项指标符合设计要求,为后续的燃烧过程模拟提供可靠的初始条件。

(三) 燃烧过程模拟

燃烧过程是发动机将化学能转化为机械能的核心环节,准确模拟这一过程对于提高发动机性能至关重要。首先要面临的就燃烧模型的选择,不同的燃烧模型适用于不同的燃烧场景和燃料特性。涡耗散概念模型(EDC)因其能够较好地描述湍流燃烧过程中化学反应与湍流之间的相互作用,在众多燃烧模型中脱颖而出,被广泛应用于发动机燃烧过程模拟。该模型通过引入涡耗散的概念,将湍流脉动对化学反应速率的影响进行量化,从而更准确地模拟混合气在燃烧室内的燃烧过程。

选定燃烧模型后,接下来要进行细致的参数设置。燃料的性质是影响燃烧过程的关键因素之一,不同种类的燃料具有不同的化学成分和物理特性,如辛烷值、热值、挥发性等,这些参数直接决定了燃料的燃烧性能。点火时刻的设置也极为重要,过早或过晚的点火都会影响燃烧的效率 and 发动机的性能。合适的点火时刻能够使混合气在最佳时机被点燃,充分释放能量。此外,燃烧速率参数反映了燃料燃烧的快慢程度,它与燃料的性质、燃烧室的结构以及气流运动等多种因素相关。通过合理设置这些参数,能够更真实地模拟燃烧过程。

通过模拟,我们可以获取丰富的燃烧过程信息,如火焰传播的路径和速度、放热率随时间的变化等。火焰传播的情况直接反映了燃烧的稳定性 and 速度,如果火焰传播不均匀或速度过慢,可能导致燃烧不充分,降低发动机的热效率。放热率则体现了燃烧过程中能量释放的快慢,对发动机的动力输出有着重要影响。

基于这些模拟结果,我们可以对点火时刻和燃烧室内的混合气分布进行优化。通过调整点火时刻,找到使发动机输出功率最大、燃油消耗率最低的最佳点火点。同时,通过改进进气道设计、优化燃烧室形状等方式,改善燃烧室内的混合气分布,使燃料与空气能够更充分地混合,实现快速、稳定的燃烧,从而提高燃烧效率,为发动机性能的提升提供有力支持。

4 基于 UG 和 CAE 的联合优化设计

(一) 优化策略

基于 CAE 模拟分析所提供的详尽数据和直观可视化结果,我们得以精准洞察二冲程活塞汽油机在各个工作环节中存在的问题,进而对 UG 模型展开有的放矢的针对性修改,这一过程犹如一场精密的手术,每一刀都旨在切除影响发动机性能的“病灶”,使发动机的设计更加趋近于理想状态。在进气过程模拟方面,当模拟结果揭示进气不均匀的问

题时,这意味着在实际运行中,进入气缸的混合气无法均匀分布,部分区域混合气过浓或过稀,从而严重影响燃烧的充分性和稳定性。此时,在 UG 环境中,我们会运用其强大的建模工具,对进气道的形状和尺寸进行细致入微的调整。通过改变进气道的曲率、管径大小以及内部结构,优化气流的流动路径,减少气流的紊流和漩涡现象,使混合气能够更加顺畅、均匀地进入气缸。例如,可能会将进气道的弯道设计得更加平滑,以降低气流在转弯处的能量损失;或者调整进气口的位置和角度,使混合气能够更好地充满整个气缸空间。而当燃烧过程模拟显示燃烧不充分时,这表明燃烧室内的燃烧过程未能有效地释放燃料的化学能,大量能量未被充分利用就被浪费掉,直接影响发动机的热效率。针对这一问题,我们会着重对活塞头部形状或燃烧室结构进行优化。活塞头部形状对混合气的运动和燃烧有着至关重要的影响。通过在 UG 中修改活塞头部的凸起、凹坑等几何特征,可以引导混合气形成特定的流动模式,促进混合气与空气的充分混合,提高燃烧速度和完全程度。对于燃烧室结构,我们可能会调整其容积、形状以及壁面的粗糙度等参数,创造更有利于燃烧的环境。例如,采用紧凑的燃烧室设计可以提高燃烧的效率,减少热量损失;优化燃烧室壁面的粗糙度可以增强混合气的湍流程度,加速燃烧反应。这种基于 CAE 模拟结果的针对性修改,确保了 UG 模型的每一次调整都能切实解决实际问题,为发动机性能的提升奠定坚实基础。

(二) 多轮优化

发动机设计的优化并非一蹴而就,而是一个需要耐心与精细操作的迭代过程。多轮优化正是实现这一目标的核心方法,通过反复执行模拟 - 修改 - 再模拟的循环步骤,逐步雕琢发动机的设计,使其性能达到令人满意的水准。在第一轮模拟中,我们基于初始的 UG 模型进行全面的 CAE 模拟分析,涵盖进气、压缩、燃烧和排气等各个工作过程。模拟结果会呈现出发动机在当前设计状态下的各种性能表现,暴露出诸如气流不畅、燃烧不稳定、能量损失过大等一系列问题。根据这些反馈,我们在 UG 模型中对相应的结构进行针对性修改,如调整进气道形状、优化活塞头部设计等。完成第一轮修改后,再次进行 CAE 模拟。这一次模拟的目的是检验上一轮修改的效果,观察发动机性能是否有所改善。新的模拟结果会显示出哪些修改措施起到了积极作用,哪些地方仍然存在不足。基于此,我们对上一轮的修改进行评估和反思,明确下一步的优化方向。例如,如果发现进气不均匀的问题有所缓解但仍未彻底解决,我们会进一步微调进气道的参数;若燃烧效率虽有提升但仍未达到预期,我们会深入研究活塞头部形状和燃烧室结构的优化方案,尝试不同的设计思路。

如此循环往复,每一轮优化都是在上一轮模拟结果的基础上进行深入挖掘和改进。随着优化轮次的增加,发动机的各项性能指标逐渐向理想状态逼近。这个过程就像是打磨一件精美的艺术品,每一次的雕琢都使作品更加完美。在多轮优化过程中,我们不仅关注单个性能指标的提升,还注重整体性能的平衡。因为发动机是一个复杂的系统,某个部件或

过程的优化可能会对其他部分产生连锁反应。所以,我们需要综合考虑各个因素之间的相互影响,确保在追求高热效率的同时,发动机的可靠性、稳定性等其他性能也能得到保障。通过持续不断的多轮优化,最终使发动机的各项性能指标达到满意的水平,实现高效、可靠的运行目标。

5 实验验证

(一) 实验装置搭建

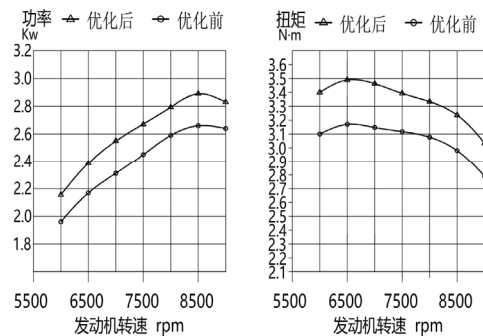
搭建二冲程活塞汽油机实验平台,包括发动机本体、测功机、传感器(用于测量压力、温度、转速等参数)以及数据采集系统等。

(二) 实验方案设计

分别对优化前和优化后的发动机进行实验测试,保持实验条件一致,如燃油类型、环境温度等。测量发动机的功率、扭矩、燃油消耗率等性能参数,并计算热效率。

(三) 实验结果对比分析

将实验测得的优化前后发动机的性能数据进行对比分析(如下图所示)。实验结果表明,经过基于 UG 和 CAE 的联合优化设计后,二冲程活塞汽油机的热效率有了显著提高,同时功率和扭矩等性能指标也有所改善。



结语

本论文利用 UG 和 CAE 技术对二冲程活塞汽油机进行了高热效率设计研究。通过 UG 建立发动机的三维模型并进行虚拟装配和优化,利用 CAE 对发动机的进气、压缩、燃烧和排气等工作过程进行模拟分析,提出了一系列优化方案。经过多轮联合优化设计和实验验证,证明该方法能够有效提高二冲程活塞汽油机的热效率和整体性能。这种结合 UG 和 CAE 技术的设计方法为内燃机的高效化设计提供了一种可行的思路和方法,具有一定的工程应用价值。未来可进一步深入研究不同工况下发动机的性能优化,以及拓展该方法在其他类型发动机设计中的应用。

参考文献

- [1]基于 CFD 分析的二冲程发动机直喷燃烧室方案设计[J]. 朱成; 杨海青; 汪明生.航空动力学报, 2013 (12)
- [2]B231 发动机性能优化及循环模拟计算[J]. 宋龙甫; 郑国世; 王建昕.内燃机工程, 2006 (01)
- [3]二冲程汽油机分层进气系统数值模拟及试验研究[J]. 魏明锐, 刘永长, 文华, 张煜盛.内燃机学报, 2003 (06)
- [4]基于 GT-Power 软件的内燃机消声器设计与分析方法[J]. 钟绍华, 金国栋, 谢田峰.汽车技术, 2003 (07)