

# 基于模块化集成技术的机械结构优化设计

## ——以150kW燃料电池发动机设计项目为例

孔德亮

海卓动力(上海)能源科技有限公司 上海 201800

**摘要:** 随着工业技术的不断发展,机械结构设计对产品性能和效率的影响越来越大。传统的机械结构设计方法往往存在设计周期长、重复性高、效率低等问题。为了解决这些问题,本文提出了一种基于模块化集成技术的机械结构优化设计方法。该方法通过将机械结构分解为多个子模块,并采用标准化设计和接口规范,实现了机械结构的快速设计和重复利用。通过实验验证,本文所提出的方法在机械结构设计中具有较好的应用效果。

**关键词:** 模块化集成技术;机械结构;优化设计

### 引言

机械结构设计是工程设计中的重要环节,它对产品的性能和效率有着直接的影响。传统的机械结构设计方法往往需要耗费大量的时间和人力,而且容易出现设计重复、效率低下等问题。因此,如何提高机械结构设计的效率和性能成为了研究的热点之一。本论文旨在研究一种基于模块化集成技术的机械结构优化设计方法,以提高机械结构设计的效率和性能。通过将机械结构分解为多个子模块,并采用标准化设计和接口规范,实现机械结构的快速设计和重复利用。同时,引入优化算法,对机械结构进行优化,以提高其性能和效率。

### 1 模块化集成技术概述

#### 1.1 机械结构设计原理

在机械结构设计中,首先需要了解和分析产品的功能需求,以明确设计目标和要求。在构造形式方面,可以选择整体结构、组合结构或模块化结构,根据具体情况快速设计和重复利用。材料的选择直接影响机械结构的性能和效率,需要综合考虑物理和机械性能、生产加工和成本等因素来选取适合的材料。零件设计涉及到几何形状、尺寸、结构和制造工艺等方面,需要详细设计和分析,确保满足功能需求。组装方式包括焊接、螺栓连接、插接和粘贴等多种方式,需要选择可靠和稳定的组装方式。通过以上步骤,可以实现满足功能需求、高效可靠的机械结构设计。

#### 1.2 模块化设计方法

模块化设计方法是机械结构设计中一种高效的设计方法,通过将系统或产品划分为相互独立的模块,并在

模块之间建立清晰的接口和交互关系,以实现快速设计、灵活组合和重复利用。这种设计方法可以提高设计效率和产品质量。具体包括模块化划分,将机械结构划分为多个相对独立的子模块,有利于团队合作和任务分工;接口规范,通过明确定义模块之间的数据传输、通信协议、物理连接等,以确保模块之间的良好协作和交互;标准化设计,制定通用的设计规范和标准零部件,以便在不同产品中进行重复利用和快速替换,从而减少设计和制造成本,并提高产品的一致性和稳定性;模块化验证,对各个模块进行单独验证和测试,确保其功能和性能达到设计要求,并进行整体系统的集成测试,以验证各个模块之间的协作和兼容性。

### 2 基于模块化集成技术的机械结构优化设计方法

#### 2.1 功能需求分析

在机械结构设计之前,需进行功能需求分析和定义。包括明确机械结构的功能和性能指标,并考虑其他约束条件。功能需求涉及运动传输、力学支撑和负载承载等方面。通过明确需求,指导设计过程,确保满足实际应用要求。性能指标包括精度、刚度和稳定性等,定义指标有助于选择合适的材料和结构形式,达到预期性能水平。还需考虑空间限制和负载要求,如布置空间大小、形状和承载力。设计需根据实际情况合理布局,确保结构强度和稳定性。

#### 2.2 模块划分与定义

在机械结构设计前,需详细分析和定义功能需求。包括明确机械结构的功能、性能指标和其他约束条件。功能需求涉及运动传输、力学支撑、负载承载等方面。通过明确需求,指导设计过程,确保满足实际应用要求。性能指标涉及精度、刚度、稳定性等方面。定义指标帮助选择合适的材料和结构形式,达到预期性能水平。还需考

**作者简介:** 孔德亮,1979年8月,男,河南驻马店,汉族,本科学历,中级职称,技术总监,研究方向:机械结构设计

虑空间限制和负载要求，如布置空间大小、形状和承载力。设计需合理布局，确保结构强度和稳定性。

### 2.3 模块库建设

建立模块库是机械结构设计的重要步骤，提供常见的机械模块和标准化零部件，提高设计效率。模块和零部件需验证和测试，确保性能和质量要求。建设模块库有两种方式：收集现有的或自主设计。设计完成后，同样需要验证和测试，确保模块和零部件满足要求。使用模块库的标准化零部件可快速选择和组合，减少设计制造时间和成本，降低风险。模块库建设是持续改进的过程，随着技术和需求变化，需不断更新和完善。与供应商保持紧密合作，进行技术交流和信息共享可实现这一目标。

### 2.4 模块选择与组合

设计者可以从模块库中选择适合的模块，并将其组合以满足功能需求。在组合时，应考虑接口和兼容性，确保整体系统的性能和稳定性。通过模块化的组合，可以快速建立机械结构的原型并验证功能。需要确保模块相互匹配，并实现预期功能。同时，要评估各模块特性和性能，确保整体系统满足设计要求。模块化组合可以提前发现问题和改进空间，提高设计效率和产品质量。此外，模块化组合方式也为后续优化和改进提供灵活性，使设计和制造更高效可靠。

### 2.5 优化设计与仿真分析

完成模块组合后，可进行机械结构的优化设计和仿真分析。利用计算机辅助软件和仿真工具可对结构进行力学、热学、流体等多方面分析。力学仿真工具可评估结构的应变、变形和应力分布，以确定强度和稳定性并指导优化设计。热学仿真工具可评估结构在不同热载荷下的温度分布和热传导效果，这对于散热系统和结构稳定性至关重要。流体仿真工具可评估液压、气动或流体传输系统的性能和效率，并优化管道布局和尺寸。根据仿真分析结果进行迭代优化，调整模块布局、减轻材料重量、改进刚度或调整设计参数等方式来满足设计要求和性能指标。通过此过程，逐步改进机械结构并最终得到满足要求的设计方案。

### 2.6 集成与验证测试

在完成机械结构的优化设计后，需要进行整体系统的集成与验证测试。首先，将各个模块按照设计要求进行组装，确保它们能够正确地连接和协调工作。随后，进行全面的性能测试和性能验证。通过对系统的各项功能进行测试，验证其是否符合设计要求。例如，对于一个机器人系统，可以测试其移动、抓取、导航等功能的

准确性和可靠性。同时，还可以评估其性能指标，如速度、精度、负载能力等。在测试过程中，需要模拟真实的工作环境和应用场景，以确保系统能够在不同条件下正常运行。通过观察和记录测试结果，可以发现潜在问题和改进空间。如果测试中出现了性能不佳或功能异常等情况，就需要对机械结构进行进一步的调整和改进。根据测试结果，可以对机械结构进行调整和改进。可能需要重新设计某个模块，改变材料选择，优化传动系统，或增强稳定性等。通过持续的调整和改进，逐步提高系统的性能和可靠性。

## 3 150kW 燃料电池发动机系统设计案例

### 3.1 项目概况

150KW燃料电池发动机系统设计项目的概况是基于港口运输、长途客运、矿山及渣土运输、城市物流等场景而开发的燃料电池发动机系统。该系统具备大功率输出、功率密度高、寿命长、动态响应快速、环境适应性强等优点。关键零部件燃料电池电堆能够在高温、高压下实现峰值功率输出。机械集成采用模块化分解，集成度高，可适用于多种车型，并通过功能模块化和嵌入式集成，实现了关键部件的功能合并、外形合并、模块化集成、传感器集成和控制器集成，便于售后保养和维修。

表1 150KW燃料电池发动机性能参数表

项目	参数
额定功率 (kW)	150
峰值功率 (kW)	153
输出电压范围 (VDC) :	450~750
工作环境温度 (°C)	-30~45
防护等级	IP67
系统最高效率	≥ 53%
外形尺寸 (mm)	670×897×800
系统重量 (kg)	254 (不含DCF)

### 3.2 主要难点

#### 3.2.1 满足重卡底盘的空间要求

该项目面临的技术难点主要包括满足重卡底盘的空间要求，如尺寸限制和离地间隙等；

#### 3.2.2 确保各发动机核心零部件的合理性，提高氢气利用率

确保发动机内各零部件选型布置的合理性，并定制化开发引射器水分组件；以及与供应商的技术配合和工艺支持。

### 3.3 技术措施

为了解决这些难点，我们对底盘空间进行了细致的研究和整理，确保系统与重卡底盘的匹配性；并且在满足性能要求的情况下，进行了零部件选型和布置的优化

设计；同时，我们与供应商密切合作，提供技术指导，并协助完成工艺文件编制和产品安装调试。

### 3.3.1 模块化分解和集成设计

(1) 模块化设计：将重要组件和系统进行模块化设计，使其能够相互独立并且可以灵活组合成发动机系统，以适应不同重卡底盘的空间限制。这样的设计能够最大程度地减少底盘空间的占用，并且方便更换和维护。

(2) 标准化接口：采用标准化接口设计，确保发动机系统在整车集成时能够方便地连接和通讯。这种标准化接口可以减少集成过程中的工作量，同时提高整车系统的可靠性和稳定性。

### 3.3.2 精细的管路连接和线束连接

(1) 通过精细的管路连接和线束连接，我们致力于确保各个子系统之间的顺畅工作。在氢、空、水管路连接方面，我们采用高可靠性的设计工艺，以确保管路连接的密封性和稳定性，从而减少氢、空、水泄漏的风险，提高系统安全性；同时，精心设计的管路布局能够最大限度地节约空间，确保发动机体布置最优，体积最小，在重卡底盘的空间要求得到满足。在线束连接方面，我们采用高质量的电气连接器和线束材料，通过精准的安装和接线工艺，保证各个电气子系统之间的可靠连接，同时降低了故障率和维护成本。

(2) 此外，在生产阶段，我们提供了详细的工艺支持，包括制定严格的生产标准和流程、培训操作人员的技能和素质、实施严格的质量控制和检验，以确保产品的质量和性能达到设计要求，并且保证每一台重卡氢燃料电池车的稳定性和可靠性。

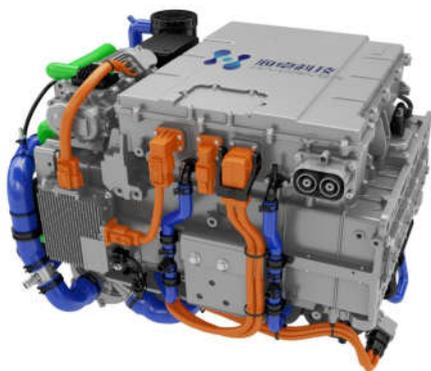


图1 150kW燃料电池发动机

### 3.4 取得效果

通过模块化设计和标准化接口，发动机系统能够更好地适应不同重卡底盘的空间限制，实现灵活组合和替换，从而提高产品适用性和灵活性。采用标准化接口设计可以减少整车集成过程中的工作量，降低集成成本，同时提高整车系统的可靠性和稳定性，有利于生产效率的提高。

精细的管路连接和线束连接设计能够降低氢、空、水泄漏的风险，提高系统安全性，符合工业安全标准，从而保障用户和环境的安全。精心设计的管路布局和高品质的电气连接器能够最大限度地节约空间，确保发动机体布置最优，体积最小，在重卡底盘的空间要求得到满足，有利于优化整车结构和性能。采用高质量的电气连接器和线束材料，精准的安装和接线工艺能够保证各个电气子系统之间的可靠连接，降低了故障率和维护成本，有利于产品的长期稳定运行。

## 4 结论

本论文通过研究基于模块化集成技术的机械结构优化设计方法，提出了一种综合考虑功能性、可靠性和经济性的设计策略。通过实例验证，证明了该方法在实际应用中的有效性和可行性。模块化集成技术为机械结构优化设计提供了一种新的思路和方法，具有广阔的应用前景。

### 参考文献

- [1]许艺萍;张新民.现代设计理论方法在机械系统设计中的应用[J].机械研究与应用,2010(05)
- [2]史士财;吴剑威;崔平远;刘宏.空间机械臂全局反作用优化及其地面试验研究[J].机器人,2009(03)
- [3]卢礼华;梁迎春;于福利;苏宝库.机电伺服系统机构和集成设计方法研究现状[J].航空精密制造技术,2008(06)
- [4]武建新;李强;张辉.永磁同步交流伺服电机机电耦合动力学建模与仿真[J].机床与液压,2008(07)