

# 机械结构轻量化设计及其应用研究

胡文波

厦门麦克奥迪实业集团有限公司，福建省厦门市，361000；

**摘要：**轻量化设计是机械结构设计的发展方向，是机械制造工艺和材料的综合应用。文章从理论基础、关键技术、应用研究、未来发展趋势等方面对机械结构轻量化设计及其应用进行了探讨，提出了机械结构轻量化设计的理念，并从四个方面阐述了机械结构轻量化设计的关键技术，同时以某公司新产品研发为例，对其轻量化设计思路、方案进行了详细介绍，通过对产品进行有限元分析及试验验证，结果表明采用轻量化设计后，其产品的重量减轻了40%左右，在保证产品性能的基础上，提升了产品的市场竞争力。最后文章总结了机械结构轻量化设计面临的技术难点及瓶颈问题，并提出了相应对策建议。

**关键词：**机械结构；轻量化设计；应用研究

**DOI：**10.69979/3060-8767.25.05.079

## 引言

轻量化设计是机械结构设计的发展方向，是机械制造工艺和材料的综合应用，以减轻结构重量为目标，达到优化结构性能、降低能耗、减少排放、提升效率的目的。轻量化设计已成为机械结构设计的重要发展趋势，而轻量化材料和工艺是实现轻量化设计的重要途径。在轻量化设计中，拓扑优化与结构优化是两种常用的轻量化设计方法。拓扑优化设计基于拓扑信息，通过构建数学模型和计算求解，得到一种新的最优解，实现结构轻量化。结构优化设计采用有限元分析、拓扑优化等方法对产品进行结构优化，同时通过材料替换和工艺改进实现产品轻量化。

## 1 机械结构轻量化设计理论基础

### 1.1 轻量化设计的基本概念

机械结构轻量化设计，是将原来的一些传统的结构进行改进或者创新，减少材料用量，提高材料的利用率，实现机械结构的轻量化。轻量化设计是一种优化设计，也是一种对传统设计方法的补充和完善。传统设计中，由于材料本身的特性以及制造工艺等因素的影响，往往会使机械结构存在不合理之处，而轻量化设计就是在这样一个大环境下应运而生。通过对机械结构进行优化设计，从而使其在保证使用性能和使用寿命不受影响的基础上，降低了机械产品的重量和成本。轻量化设计也是对传统设计方法的补充和完善，其最大优点就是能够使机械产品在保证使用性能的基础上降低制造成本<sup>[1]</sup>。

### 1.2 轻量化设计方法

在机械结构的设计过程中，应用轻量化设计方法，

能够实现机械结构设计质量和性能的有效提升。在实践中，轻量化设计方法主要分为以下三种：第一种是尺寸优化法，第二种是形状优化法，第三种是形状优化和尺寸优化相结合的方法。尺寸优化法是在零件的设计过程中，通过调整零件的结构、材料的分布等方式，来实现零件重量降低。而形状优化和尺寸优化相结合的方法则是通过在机械结构的设计中加入新结构，利用新结构来实现零件重量降低<sup>[2]</sup>。

## 2 机械结构轻量化设计关键技术

### 2.1 结构优化设计技术

#### 2.1.1 拓扑优化方法原理与实现流程

拓扑优化方法是一种结构设计的优化技术，该技术从实际工程问题出发，以结构拓扑为目标函数，通过对结构的局部、整体等不同角度进行分析，最终得到最佳的结构形式。其主要是通过将工程中存在的实际问题进行量化分析，将实际问题转换为数学问题，再通过数学方法对其进行求解。拓扑优化方法包括：连续体拓扑优化、多目标拓扑优化等。拓扑优化方法在实际应用中的流程主要包括：基于有限元分析软件的几何模型建立、数学模型建立与求解、有限元分析结果处理等。基于上述流程，拓扑优化方法具有以下优势：（1）可以实现多学科设计问题的集成；（2）可以实现结构轻量化。

#### 2.1.2 多学科协同优化

多学科协同优化技术是在机械结构设计过程中，通过将各个学科的优化方案进行有机结合，从而实现整个设计过程的一体化。通过这种方式，可以将结构设计从传统的分散的、孤立的、不连续的方式转变为系统的、

连续的、统一的方式，从而使整个机械设计过程得到优化。在进行多学科协同优化时，首先需要进行系统的分析和分解，通过对各个学科之间耦合关系进行有效分析，然后确定各个学科之间耦合关系。在此基础上，对整个系统进行优化计算，并对最终结果进行验证。通过多学科协同优化方法的应用，不仅能够使机械结构轻量化设计过程更加合理，还能够有效提升机械结构设计效率和质量<sup>[3]</sup>。

## 2.2 轻质高性能材料的应用

在机械结构轻量化设计过程中，应该将材料的轻量化作为设计的重点，而且应该不断提高轻质材料的性能。目前，轻质高性能材料在航空航天、汽车、船舶等领域得到了广泛的应用，而且这种材料在轻量化过程中可以起到保护机械结构的作用，但是这种材料在生产使用过程中容易受到环境条件的影响，而且材料性能和工艺参数之间存在一定的差异性，这就需要我们不断改进轻质高性能材料的生产工艺。同时在机械结构轻量化设计过程中，还应该考虑到机械产品结构的合理性和轻量化程度之间的关系，合理选择材料，保证机械产品结构在轻量化的同时也能保证其性能<sup>[4]</sup>。

## 2.3 先进制造工艺

随着制造业的快速发展，先进制造工艺和技术也在不断发展和完善，而在机械结构轻量化设计过程中，先进制造工艺和技术也起到了非常重要的作用。先进制造工艺主要包括：（1）3D 打印技术；（2）自动化控制技术；（3）精密加工技术；（4）高效焊接技术；（5）激光增材制造技术；（6）热冲压成形技术；（7）微胶囊化、纳米复合材料：通过先进制造工艺和技术的应用，不仅可以使机械结构实现轻量化，还能够有效提升机械产品的性能。先进制造工艺和技术的应用，能够有效提高产品的生产效率和质量，降低生产成本，提升企业的经济效益。

## 2.4 性能评估与可靠性分析

对机械结构进行性能评估与可靠性分析的过程中，需要充分利用有限元分析软件对机械结构进行强度、刚度、稳定性分析，以保证在设计过程中能够有效降低结构重量。此外，在对机械结构进行轻量化设计过程中，也需要对其性能进行评估。轻量化设计不仅可以有效提高机械结构的强度、刚度、稳定性，还能够提升其刚度性能。同时，机械结构的性能评估还能够对产品的可靠性进行评价，以确保在实际使用过程中能够有效延长产

品使用寿命。在轻量化设计过程中，需要对产品的可靠性进行科学分析和评价，以保证其在实际使用过程中能够有效提升产品整体质量和性能<sup>[5]</sup>。

## 3 机械结构轻量化设计的应用研究

### 3.1 交通运输领域

在交通运输领域中，轻量化技术主要应用在汽车制造和制造方面。例如，在汽车制造中，车身结构轻量化设计的主要内容是通过优化车身材料的使用，选择能够提高汽车质量和降低汽车自重的结构设计方案。而在汽车制造中，轻量化技术还能够有效地提高汽车的行驶速度，在保证安全的同时也能有效地减少燃油消耗。而在交通运输领域中，轻量化技术也具有广泛的应用空间，例如，在公路交通运输中可以通过优化汽车内部结构来实现车辆的轻量化设计，此外还可以通过对车轮和轮胎等结构进行优化设计来实现车辆自重的减轻。除此之外，在航空运输领域中也存在轻量化技术的应用空间<sup>[6]</sup>。

### 3.2 工业装备与重大工程

在工业装备与重大工程中，机械结构轻量化设计主要应用于以下方面：（1）航空航天装备作为目前世界上最先进的机械产品，其结构设计往往是最为复杂的，为了实现其轻量化设计，就需要应用到计算机辅助设计软件，如 CAD/CAE/CAM/CAE、有限元分析软件等，这样不仅可以对结构进行优化设计，而且还能够对其结构强度、刚度、稳定性等性能进行分析；（2）大型机械设备的结构设计是非常复杂的，为了能够满足其轻量化需求，就需要应用到大量的结构轻量化材料，如铝合金、镁合金等；（3）重大工程是目前世界上最先进的机械产品。

### 3.3 新兴领域应用

随着现代科技的发展，机械结构轻量化设计的应用领域越来越广泛。例如，在航空航天领域中，轻量化设计能够有效提升航空航天性能；在交通运输领域中，轻量化设计能够有效提升交通运输效率；在新兴产业中，轻量化设计可以有效降低新兴产业的生产成本，为企业带来更高的经济效益。同时，在传统工业领域中也存在轻量化设计的应用空间<sup>[7]</sup>。例如，在制造业中可以通过对传统机械产品进行轻量化设计来降低制造成本，从而提升制造业的经济效益；在电力、石油化工领域中，可以通过对传统机械产品进行轻量化设计来降低能源消耗和生产成本，从而提升企业的经济效益。

### 3.4 典型工程案例分析

某公司为某款电动汽车的生产厂商,其主要产品包括电动汽车和混合动力汽车。在该产品的机械结构轻量化设计过程中,为了保证设计质量和设计效率,主要采取了以下措施:第一,对新旧两种电池进行合理选择。在新型锂电池与传统铅酸电池中,选择性能较为稳定的新型锂电池;第二,在发动机车架和变速箱结构方面,采取了轻量化设计;第三,在传动系统结构方面,采取了轻量化设计;第四,对控制系统进行了轻量化设计。在机械结构轻量化设计过程中,主要通过以上措施来保证设计质量和设计效率,同时也为机械产品的生产厂家提供了科学的技术支持。

## 4 机械结构轻量化设计面临的挑战与发展趋势

### 4.1 技术难点与瓶颈问题

在机械结构轻量化设计的过程中,需要应用到很多技术手段,以确保产品的质量得到有效控制,但是在具体实施过程中,很多企业在实际应用过程中,却难以实现技术创新,而且这些企业也存在着较大的问题。在对产品进行设计和制造的过程中,缺乏科学的依据,且很难从根本上保障产品的质量。在这种情况下,就需要设计人员提高自身的设计水平和专业技术能力<sup>[6]</sup>。虽然机械结构轻量化设计已经得到了一定程度的发展,但是这种设计方法仍然存在着很大的局限性和不足之处。为了使机械结构轻量化设计更加完善和成熟,需要加大研究力度。

### 4.2 未来发展方向

(1) 集成创新:材料的集成创新和结构的集成创新,如采用新型材料,合理优化设计结构,利用计算机辅助工程软件优化设计等。(2) 结构优化:根据机械结构的特点和性能要求,在保证机械结构功能和安全性的前提下,通过采用多种优化方法,实现机械结构的优化设计。(3) 数字化技术:将有限元分析、试验设计、自动优化以及模糊数学等学科与技术有机地结合起来,从而实现机械结构的高效率设计。(4) 新材料与新技术:新材料是指那些在性能上具有明显优势的新型材料,如纳米材料、超临界流体材料以及智能材料等。新技术包括自动化技术、传感技术以及计算机辅助设计和仿真技术等。

### 4.3 政策与标准建议

第一,对轻量化技术的研发给予政策上的支持,设立专项资金,鼓励企业和高校在轻量化方面进行研究,

同时给予一定的税收优惠,对产品进行研发及生产等给予相应的支持。第二,加大对机械轻量化方面的宣传力度。随着人们生活水平的提高,国家需要大力宣传轻量化技术及其优势,从而让更多人了解机械轻量化技术并关注其发展。第三,制定相关标准。通过制定相关标准来促进轻量化技术的应用和发展,制定一系列标准来规范轻量化设计、轻量化工艺以及轻量化材料的使用。同时,国家和地方也需要根据实际情况对相关标准进行修订或增加新内容,从而促进机械结构轻量化技术的发展。

## 5 结语

在当今社会,随着人们生活水平的不断提高,对产品的质量和性能提出了更高的要求,而轻量化设计在机械结构轻量化设计过程中具有非常重要的作用,它不仅可以有效提升产品质量,还能够降低产品制造成本。在机械结构轻量化设计过程中,需要根据具体情况和实际需求来选择不同的设计方案,从而达到轻量化设计的目的。同时,在机械结构轻量化设计过程中,需要结合先进制造工艺和技术来实现机械结构的轻量化设计。在未来发展过程中,还需要加大对轻量化技术的研究力度,不断创新轻量化设计理念和方法,从而为我国机械行业的发展提供有力支持。

## 参考文献

- [1]张远兴.汽车机械结构轻量化设计应用与性能提升分析[J].汽车维修技师,2025,(14):64-65.
- [2]王芬芳,杨丽华.一种可控挖掘机机械结构的优化设计[J].建设机械技术与管理,2024,37(06):38-41.
- [3]江文剑,张智,李笑.星载天线结构轻量化设计研究进展[J].电子机械工程,2024,40(06):8-14.
- [4]苗敬.农用机械设备底盘车架结构轻量化设计研究[J].南方农机,2024,55(08):156-157+183.
- [5]陈洪芳,韩梦蕊,孙若水,等.激光追踪系统机械结构拓扑优化轻量化方法[J].哈尔滨工程大学学报,2022,43(02):282-289.
- [6]陈洪芳,韩梦蕊,孙若水,等.激光追踪系统机械结构拓扑优化轻量化方法[J].哈尔滨工程大学学报,2022,43(02):282-289.
- [7]李天箭,丁晓红,李郝林.机床结构轻量化设计研究进展[J].机械工程学报,2020,56(21):186-198.
- [8]刘坤,卢昱,孙震源,等.仿生步态训练机应用设计及结构优化[J].吉林大学学报(工学版),2020,50(06):2313-2320.