

机电工程中的机械结构优化与能效提升策略研究

陈俊松

深圳中集智能停车有限公司 广东深圳 518000

【摘要】本文探讨机电工程领域中机械结构优化与能效提升的相关策略。首先阐述机械结构优化与能效提升之间的紧密联系，明确二者相互促进、协同发展对于机电工程整体性能提升的重要性。接着详细分析机械结构优化的多种方法，包括拓扑优化、尺寸优化和形状优化，分别从其原理、实施过程以及在机电设备中的应用效果等方面进行探讨。随后研究能效提升的策略，涵盖动力源的高效选择与匹配、传动系统的优化设计、润滑与散热条件的改善以及智能控制技术的应用等方面，剖析各策略如何作用于机电设备以实现能效的显著提升。最后提出机械结构优化与能效提升的综合策略与实施要点，强调多方面协同合作以及在设计、制造、运行全过程贯彻优化思想的重要性。

【关键词】机电工程；机械结构优化；能效提升；多学科优化

引言：

机电工程作为现代工业的核心支撑，其发展水平影响各行业的生产效率与产品质量。在机电系统中，机械结构犹如人体的骨骼，是承载和实现各种功能的基础，而能源利用效率则是衡量机电设备性能优劣的关键指标之一。随着全球能源短缺问题的日益严峻以及对环境保护要求的不断提高，如何在机电工程中优化机械结构以提升能效，成为当前学术界和工业界共同关注的焦点。有效的机械结构优化，可降低设备自重、减少材料消耗、提高结构强度与刚度，进而为能效提升创造有利条件。

1 机械结构优化的方法

1.1 拓扑优化

在机电工程的众多领域，拓扑优化都展现出巨大的应用潜力。在航空航天机电设备中，飞机机翼、起落架等关键部件的设计采用拓扑优化技术后，在保证结构安全性和可靠性的基础上，降低结构重量，提高飞机的燃油效率和飞行性能。在汽车制造领域，发动机缸体、底盘悬挂系统等等的拓扑优化设计，可有效减少零部件的质量，降低整车油耗，提升汽车的动力性和操控性。对于工业机器人而言，拓扑优化可应用于机械臂、关节等结构的设计，增强机械臂的负载能力和运动精度，同时减少材料成本和能源消耗，提高机器人的工作效率和使用寿命^[1]。

1.2 尺寸优化

尺寸优化对机电设备性能的提升具有重要作用，合理调整结构尺寸，在不改变结构拓扑形式的情况下，有效提高结构的性能指标。对于运动部件，如机床的主轴、机器人的关节轴等，尺寸优化有利于减轻部件重量，降低惯性力，从而提高运动响应速度和定位精度，减少能量消耗在

克服惯性上的比例。在承受较大载荷的结构件中，如起重机的吊臂、工程机械的工作装置等，尺寸优化在保证承载能力的前提下，减少材料使用量，降低制造成本，同时由于结构重量的减轻，还可降低设备的运行能耗，提高能源利用效率^[2]。此外，对于一些对振动特性有要求的机电设备，如精密仪器设备、高速旋转机械等，尺寸优化通过调整结构尺寸，改变其固有频率，避免共振现象的发生，提高设备的运行稳定性和可靠性。

1.3 形状优化

形状优化在提升机电产品竞争力方面具有多方面的重大意义，从产品性能角度来看，对于流体机械，合理的形状优化，有利于改善流体的流动特性，降低流动阻力，提高流体机械的效率，减少能源消耗。在机械传动部件中，形状优化可优化齿形轮廓，提高传动效率，降低噪声和振动。从产品外观设计方面，形状优化使机电产品具有更美观、流畅的外形，符合现代消费者的审美需求，增强产品的市场吸引力。此外，形状优化还可提高产品的可靠性和耐久性，如优化结构的应力分布形状，减少应力集中现象，延长产品的使用寿命，从而降低产品的使用成本和维护成本，提升产品在市场上的综合竞争力。

2 机电工程中的能效提升策略

2.1 选用高效动力源

新型高效电机是机电工程中实现能效提升的关键动力源之一，与传统电机相比，新型高效电机具有更高的效率和功率因数。永磁同步电机采用永磁体励磁，无需励磁电流，减少电能损耗，其效率可比同规格的异步电机提高5%~10%。在工业应用中，永磁同步电机广泛应用于风机、水泵、压缩机等设备中，能够显著降低这些设备的运行能

耗。此外，开关磁阻电机具有结构简单、成本低、调速范围宽等优点，其在电动车辆、纺织机械、矿山机械等领域也有着良好的应用前景。开关磁阻电机控制定子绕组的导通顺序和电流大小，实现电机的调速，在不同负载工况下都能保持较高的效率，有效减少能源浪费。除选用高效动力源外，实现动力源与机电设备的精确匹配优化，也是提高能效的重要环节。在机电系统设计时，需根据机电设备的负载特性、工作工况以及运行要求，选择合适功率和类型的动力源，并合理设计传动系统，确保动力源在高效工作区间运行。

2.2 优化传动系统

在实际机电工程应用中，应根据具体的设备要求和工作环境选择合适的传动方式。对于一些对传动效率要求较高且工作环境较为稳定的设备，如数控机床的主传动系统，优先选用齿轮传动，并采用高精度的齿轮制造工艺和先进的润滑技术，提高齿轮传动的效率和可靠性。对于一些对振动和噪声要求严格且负载相对较轻的设备，如办公自动化设备中的打印机、复印机等，可采用同步带传动或多楔带传动，并优化带轮结构和张紧装置，提高带传动的效率。此外，对于一些特殊工况下的机电设备，如大型起重机的起升机构，可采用液压传动与机械传动相结合的方式，充分发挥液压传动的无级调速和大扭矩输出特性以及机械传动的高效率和高可靠性优点，实现传动系统的高效运行。此外，传动部件的优化设计，也是提高传动系统能效的重要手段。在齿轮传动部件设计中，优化齿轮的齿形参数、采用新型齿轮材料和热处理工艺，提高齿轮的承载能力和传动效率，降低噪声和磨损。采用渐开线修形齿廓，可改善齿轮的啮合特性，减少齿面接触应力和齿根弯曲应力，提高齿轮的疲劳寿命和传动效率。在轴类传动部件设计中，优化轴的结构形状、尺寸以及材料选择，可减少轴的重量，降低转动惯量，减少轴在旋转过程中的能量损耗。

2.3 改善润滑与散热条件

传统的润滑方式主要有脂润滑和油润滑，而现代润滑技术不断发展，出现诸如油气润滑、微量润滑等新型润滑方式。油气润滑是将压缩空气与微量的润滑油混合后，以连续的气流形式喷射到润滑点，形成一层均匀的油膜，具有润滑效果好、耗油量小、污染小等优点。在高速主轴、轧钢机轴承等对润滑要求较高的机电设备部件中得到广泛应用。微量润滑则是精确控制润滑油的供给量，使润滑油以微小的雾状颗粒喷射到切削区域或摩擦表面，在满足润滑要求的同时，最大限度减少润滑油的消耗。在金属切削机

床、木工机械等设备中，微量润滑技术有效降低切削液的使用量，减少切削液处理成本，同时提高加工表面质量和刀具寿命，进而提高机电设备的整体能效。机电设备在运行过程中会产生热量，如果热量不能及时散发出去，会导致设备温度升高，影响设备的性能和可靠性，增加能源消耗。因此，优化和强化散热措施，有利于提高机电设备的能效。在散热方式上，自然散热、强迫风冷、液体冷却等是常见的散热方式。对于一些功率较小、发热较少的机电设备，如小型电子仪器仪表，可采用自然散热方式，合理设计设备的外壳结构和散热片形状，增加散热面积，提高散热效率。对于功率较大、发热严重的机电设备，如大功率电机、变频器等，则需要采用强迫风冷或液体冷却方式。在强迫风冷系统设计中，优化风扇的选型、风道的设计以及散热器的结构，可提高空气的流通速度和换热效率，增强散热效果。在液体冷却系统中，选择合适的冷却液、优化冷却管道的布局以及提高冷却液的循环速度，更有效带走设备产生的热量，保证设备在适宜的温度范围内运行，降低因温度过高而导致的能源损耗和设备故障风险。

2.4 采用智能控制技术

智能控制主要包括模糊控制、神经网络控制、专家系统控制等多种模式。利用智能控制，可实现机电设备的精准运行控制，避免设备在低效区间运行，提高能源利用率。在电梯控制系统中，采用智能群控技术，根据电梯的使用高峰和低谷时段、乘客的呼叫分布等情况，合理调度电梯的运行，减少电梯的空驶和等待时间，降低电梯的能耗。同时，智能控制还可对机电设备的运行状态进行实时监测和优化调整，及时发现设备的异常能耗情况并采取措施加以解决。在工业生产线上电机驱动系统中，智能控制系统可监测电机的电流、电压、功率因数等参数，当发现电机处于过载或欠载等低效运行状态时，自动调整电机的输出功率或转速，使电机恢复到高效运行状态，从而提高整个生产线的能效。

3 机械结构优化与能效提升的综合策略与实施要点

3.1 综合策略制定的依据与原则

3.1.1 基于机电工程整体性能需求

机电工程的整体性能是制定综合策略的核心依据，需考量设备在不同工况下的运行稳定性、输出精度、响应速度等要求。对于自动化生产线上的机电设备，高精度与快速响应是保障产品质量和生产效率的关键。而对于长期连续运行的电力设备，稳定性和可靠性则更为重要。只有明确这些整体性能需求，针对性确定机械结构优化方向与能效

提升目标,使二者相辅相成,共同促进机电工程整体性能的提升。

3.1.2 遵循多原则协同作用

在综合策略制定中,需遵循以下原则:(1)整体性原则。机电系统各组成部分相互关联、相互影响。机械结构的优化改变设备重心、惯量等,进而影响传动效率与控制稳定性。因此,要将机械结构、动力源、传动系统、润滑散热以及智能控制等作为一个整体考量。在设计机械结构时,需同步规划传动系统布局,以减少能量传输损耗;考虑智能控制元件的安装位置与防护,确保其正常工作且不影响机械结构强度与刚度;(2)协同性原则。各优化策略应协同配合。如智能控制技术可依据机械结构状态调整动力源输出与传动参数。当机械结构因磨损等原因导致性能变化时,智能控制系统能及时感知并优化动力与传动,维持设备高效运行。同时,机械结构优化可为智能控制提供更好的感知与执行基础,如设计合理的传感器安装位与动作执行机构连接点;(3)可持续性原则。着眼于机电工程长期发展。在设计时采用环保材料与可回收设计,降低设备全生命周期的环境影响。选择可降解润滑剂,减少污染。同时,预留设备升级空间,便于引入新技术提升能效。如在机械结构设计中预留模块化接口,方便后续添加节能装置或更新智能控制模块。

3.2 实施要点与技术难点突破

3.2.1 实施要点

一方面,设计阶段精细规划与模拟验证,运用CAD软件精确构建机电设备三维模型,详细规划机械结构各部件尺寸、形状与装配关系。借助CAE软件进行多方面模拟分析,如通过有限元分析评估机械结构强度、刚度与模态,预测潜在失效点并优化;利用计算流体力学分析散热与流体传动部件的流场特性,提高散热与流体传输效率。同时,开展能效模拟,分析不同设计方案下的能量消耗与转换效率,为结构与系统优化提供数据支撑;另一方面,制造阶段高精度加工与工艺优化,采用高精度数控加工、激光切割等先进制造工艺,严格控制机械结构零部件的加工精度与表面质量,确保设计性能的精准实现。对于高精度齿轮加工,利用数控磨齿机保证齿形精度与齿面粗糙度,提高传动效率与稳定性。优化制造工艺以降低能耗与环境影响。如采用干式切削或微量润滑切削技术减少切削液使用,降低切削液处理成本与污染;推广精密铸造、锻造等近净成形工艺,减少材料浪费与后续加工余量,提高材料利用率与生产效率;此外,运行阶段实时监测与智能调控,构建完善的设备

运行监测系统,利用各类传感器采集机械结构振动、温度、应力,动力源功率、电流、电压,传动系统转速、扭矩等参数,并通过无线传输或工业以太网将数据实时传输至监控中心。在大型电机上安装温度传感器、振动传感器与功率传感器,全方位监测电机运行状态。

3.2.2 技术难点突破

一方面,机电工程多学科交叉带来优化模型构建与求解的困难。需整合机械力学、电磁学、控制理论等多学科知识构建准确模型。例如,建立包含机械结构动力学、机电电磁特性与控制系统响应的耦合模型。采用先进优化算法,如多目标遗传算法、粒子群优化算法等求解模型,在满足多学科约束条件下寻求机械结构优化与能效提升的最佳平衡。同时,需解决模型计算量大、收敛速度慢等问题,可通过并行计算、模型简化与近似处理等方法提高求解效率;另一方面,智能控制与机电设备深度融合技术,实现智能控制与机电设备深度融合面临诸多挑战。一是传感器技术难题,需研发高精度、高可靠性且适应复杂环境的传感器,如在高温、高湿、强电磁干扰环境下准确测量机械结构与传动系统参数的传感器。二是控制算法适应性问题,机电设备工况复杂多变,需设计具有强鲁棒性与自适应性的控制算法,如能自动调整参数适应不同负载与运行条件的神经网络自适应控制算法。三是硬件集成与通信问题,要解决智能控制硬件与机电设备硬件的无缝集成以及高速稳定的通信接口设计,确保控制指令及时准确传输与执行。

结论

本文深入剖析机电工程中机械结构优化与能效提升策略,通过拓扑、尺寸、形状优化等方法改善机械结构,从动力源、传动系统、润滑散热及智能控制等方面提升能效。制定综合策略依据机电工程特性与整体性、协同性、可持续性原则。实施要点涵盖设计、制造、运行各阶段,借助先进软件与技术协同作业,并建立监测体系。然而面临多学科耦合优化与智能感知控制瓶颈等难点,需构建精准模型与研发可靠技术。总之,机械结构优化与能效提升相互促进,其有效实施将推动机电工程向高效、智能、绿色方向发展,助力企业降低成本、提高竞争力。

参考文献:

- [1]程致梁.机电一体化系统在机械工程中的应用研究[J].农业工程与装备,2022,49(4):25-27.
- [2]倪克兰.光机电一体化系统在机械工程中的应用[J].中国机械,2019(4):22-23.