

机械制造工艺中的合理化机械设计探讨

杨 军

必维质量技术服务(上海)有限公司 上海 200011

摘要: 本文聚焦机械制造工艺中的合理化机械设计, 阐述其理论基础, 涵盖机械制造工艺核心要素、合理化设计定义内涵及与工艺优化关系。探讨合理化设计关键原则, 如功能优先、可制造性等。介绍实现方法, 包括基于DFM的设计优化、CAD与仿真技术等。通过精密零件加工、汽车零部件轻量化等案例分析, 验证合理化设计在提升产品质量、降低成本、实现环保目标等方面的有效性, 为机械制造领域设计优化提供参考。

关键词: 机械制造工艺; 合理化设计; 可制造性; 成本优化; 设计原则

引言: 在机械制造领域, 设计合理性直接影响产品质量、成本与生产效率。随着市场竞争加剧和环保要求提高, 合理化机械设计愈发重要。机械制造工艺涵盖多要素, 合理化设计需与之紧密结合。它不仅关乎产品功能实现, 还涉及成本、可制造性及环保等多方面。本文旨在深入探讨机械制造工艺中合理化机械设计的理论基础、关键原则、实现方法, 并通过实际案例分析其应用效果, 以推动机械制造行业设计水平提升。

1 机械制造工艺与合理化设计理论基础

1.1 机械制造工艺的核心要素

机械制造工艺的核心要素涵盖工艺方法、工艺装备、工艺参数及生产组织四大维度, 是保障产品质量、提升生产效率的关键支撑。工艺方法需结合零件结构、材料特性及精度要求选型, 如切削加工、铸造、锻造等, 不同方法直接决定产品成型效果与性能稳定性。工艺装备包括机床、刀具、夹具等, 其精度与适配性直接影响加工精度和生产连续性, 高精度装备是实现精密制造的前提。工艺参数需根据材料与工艺方法优化设定, 如切削速度、进给量、焊接温度等, 合理参数可减少加工误差、降低能耗并延长装备寿命^[1]。生产组织则涉及流程规划、人员调配与质量管控, 需实现各环节高效衔接, 避免工序冗余。四大要素相互关联、协同作用, 构成机械制造工艺的完整体系, 为合理化设计提供工艺层面的基础依据。

1.2 合理化设计的定义与内涵

合理化设计是在满足产品核心功能与使用要求的前提下, 通过优化设计方案, 实现质量、效率、成本、环保等多目标平衡的设计理念与方法, 其核心内涵体现为科学性、经济性与适用性的统一。科学性要求设计遵循机械设计原理、材料力学等学科规律, 保障产品结构合理性与运行可靠性, 避免设计冗余或结构缺陷。经济

性强调在设计阶段管控全生命周期成本, 涵盖研发、制造、装配、运维及报废处理等环节, 通过简化结构、选用低成本材料、优化工艺适配性等方式降低综合成本。适用性要求设计贴合实际生产条件与使用场景, 兼顾可制造性、可装配性与可维护性, 同时满足用户个性化需求。合理化设计还蕴含动态优化理念, 需结合工艺升级、技术迭代与市场需求变化, 持续优化设计方案, 实现产品竞争力与资源利用效率的双重提升。

1.3 合理化设计与工艺优化的关系

合理化设计与工艺优化是相互依存、双向驱动的辩证关系, 共同构成机械制造全流程的核心优化体系。合理化设计为工艺优化提供前提与方向, 设计阶段需充分考虑工艺可行性, 通过简化零件结构、采用标准化接口、优化材料选型等设计手段, 为后续工艺优化创造空间, 避免因设计不合理导致工艺复杂、成本偏高或质量难以控制。工艺优化则为合理化设计提供支撑与反馈, 通过改进工艺方法、升级工艺装备、优化工艺参数等措施, 解决设计方案在实际生产中的瓶颈问题, 同时将工艺优化成果反哺设计环节, 推动设计方案进一步完善。二者协同发力, 既能提升产品设计质量与生产效率, 又能降低综合成本, 实现机械制造流程的整体优化升级。

2 机械设计合理化的关键原则

2.1 功能优先原则

功能优先原则是机械设计合理化的核心准则, 要求设计工作以满足产品核心功能与使用性能为首要目标, 在保障功能实现的基础上开展其他维度优化, 杜绝为追求形式简化或成本降低而牺牲功能可靠性。产品核心功能需结合用户需求精准定位, 明确关键技术指标, 如机械传动设备的承载能力、传动效率, 精密仪器的测量精度、稳定性等。设计过程中需通过结构优化、材料筛选、部件选型等手段, 确保核心功能高效实现, 同时区

分核心功能与辅助功能，避免辅助功能冗余导致设计复杂、成本上升^[2]。此外，需通过仿真测试、样机试验等方式验证功能实现效果，确保产品在规定工况下长期稳定运行，实现功能与其他设计目标的协调统一。

2.2 可制造性原则 (DFM)

可制造性原则 (DFM) 是合理化设计的重要支撑，核心是在设计阶段充分考虑生产制造环节的可行性与高效性，实现设计与制造的无缝衔接，降低生产难度与成本。该原则要求设计人员熟悉各类制造工艺的特点、精度范围与成本构成，避免设计出难以加工、加工成本过高的结构。具体需做到简化零件结构，减少复杂曲面、深孔等难加工特征；优化零件公差设计，避免过高精度要求导致加工难度激增；统一零件结构要素，如圆角、孔径规格，便于批量加工。同时，需考虑材料的加工适配性，选用加工性能优良、来源广泛的材料，减少特殊加工工艺的使用。通过DFM原则的应用，可缩短产品研发周期，减少设计变更与返工，提升生产效率与产品合格率，实现设计方案向实际产品的高效转化。

2.3 标准化与模块化原则

标准化与模块化原则是提升设计效率、降低成本、增强产品通用性的关键手段，是机械设计合理化的重要体现。标准化原则要求设计过程中采用国家、行业或企业标准，包括零件规格、接口形式、材料型号、制图规范等，标准化零件可实现批量生产，降低制造成本，同时提升零件互换性，便于产品装配、维修与升级。模块化原则则是将产品拆解为若干功能独立、接口标准化的模块，每个模块可单独设计、制造与测试，通过不同模块的组合搭配形成多样化产品。该原则不仅能缩短产品研发与生产周期，提升设计灵活性，还能降低维护成本，当产品出现故障时，可针对性更换故障模块，无需整体报废，同时为后续产品升级迭代提供便利。

2.4 经济性原则

经济性原则贯穿机械设计全流程，核心是通过科学设计管控产品全生命周期成本，在保障产品质量与功能的前提下，实现成本最小化与效益最大化。设计阶段需从材料选型、结构设计、工艺适配、批量生产等多方面把控成本。材料选型需兼顾性能与成本，在满足使用要求的前提下，优先选用性价比高、来源广泛的材料，避免盲目选用高端材料。结构设计中需简化结构、减少零件数量，降低加工与装配成本，同时避免过度设计导致的材料浪费。工艺适配方面，需选用低成本、高效率的制造工艺，减少特殊加工环节。另外，还需考虑产品运维成本，通过优化结构设计提升可维护性，减少后期维修费用与停机损失。经

济性原则并非单纯追求低成本，而是实现成本、质量、功能、效率的综合平衡，确保产品在市场竞争中具备价格优势，同时保障企业盈利空间。

2.5 环保与可持续性原则

环保与可持续性原则是新时代机械设计合理化的必然要求，核心是在设计过程中融入绿色理念，减少产品全生命周期对环境的影响，实现资源高效利用与生态保护的协调发展。该原则要求材料选型优先选用环保、可回收、可再生材料，减少有毒有害材料的使用，降低材料报废后的环境污染风险。结构设计中需考虑产品可拆解性与可回收性，便于后期报废后零件与材料的分类回收利用，提升资源利用率^[3]。同时，需优化产品性能，降低能耗与污染物排放，如通过轻量化设计减少机械运行能耗，优化密封结构防止润滑油泄漏污染环境。设计还需兼顾生产过程的环保性，减少制造环节的废水、废气、废渣排放，推动清洁生产。可持续性设计不仅符合国家环保政策要求，还能提升企业社会形象，为企业实现长远发展奠定基础。

3 合理化机械设计的实现方法

3.1 基于DFM (面向制造的设计) 的设计优化

基于DFM的设计优化是实现机械设计合理化的核心方法，通过在设计早期融入制造视角，构建设计与制造的协同优化体系，从源头解决设计与制造脱节的问题。该方法需建立DFM评价指标体系，涵盖加工难度、制造成本、生产效率、合格率等维度，对设计方案进行量化评估。设计过程中，需通过结构简化优化，去除冗余特征、合并相似结构，减少加工工序；通过公差优化，根据零件功能重要性分配合理公差，避免精度过剩；通过材料与工艺适配优化，选用加工性能优良的材料，匹配低成本、高效率的制造工艺。同时可借助DFM分析软件，对设计方案进行模拟评估，预判制造过程中可能出现的问题，提前优化调整。基于DFM的设计优化可显著缩短产品研发周期，降低设计变更与返工成本，提升生产效率与产品质量，实现设计方案的经济性与可制造性统一。

3.2 计算机辅助设计 (CAD) 与仿真技术

计算机辅助设计 (CAD) 与仿真技术是现代化机械设计合理化的重要工具，为设计优化提供精准、高效的技术支撑，大幅提升设计质量与效率。CAD技术可实现产品三维建模、结构细化与参数化设计，设计人员可通过三维模型直观呈现产品结构，便于快速调整设计参数，同时实现设计数据的标准化管理与共享，减少设计误差。仿真技术则可在产品制造前，对设计方案进行

力学性能、运动特性、热力学性能等多维度模拟测试,如通过有限元分析仿真零件承载能力,预判结构薄弱环节;通过运动仿真验证机械传动的流畅性与协调性。借助仿真技术,可提前发现设计缺陷并优化调整,避免样机试验阶段的资源浪费,缩短研发周期。CAD与仿真技术可实现设计与工艺、生产环节的数据互通,为后续工艺规划、数控加工提供精准数据支撑,推动设计与制造全流程的数字化、智能化优化。

3.3 多学科协同设计

多学科协同设计是应对复杂机械产品设计需求、实现设计合理化的重要方法,通过整合不同学科资源与技术优势,打破传统设计的部门壁垒,实现设计方案的整体优化。复杂机械产品设计涉及机械结构、材料、工艺、控制、环保等多个学科领域,单一学科设计易出现片面性,导致设计方案在实际应用中存在瓶颈。多学科协同设计需建立跨学科设计团队,明确各学科设计目标与协同节点,通过协同设计平台实现设计数据实时共享、同步修改与交叉验证。同时,需建立协同设计评价机制,对各学科设计方案进行综合评估,协调不同学科的设计冲突,实现产品功能、性能、成本、环保等多目标的全局最优。

4 合理化设计在典型工艺中的应用案例

4.1 案例1:精密零件加工中的设计优化

精密机械企业针对核心零部件——精密齿轮的加工精度不足、合格率偏低问题,开展基于合理化设计的优化实践,显著提升了产品质量与生产效率。原设计中,齿轮采用整体式结构,齿面精度要求IT5级,且存在多处复杂凹槽结构,导致加工难度大、刀具磨损快,合格率仅为78%。优化设计过程中,遵循可制造性与经济性原则,首先简化结构,去除非必要凹槽特征,减少难加工部位;其次优化齿面公差分配,结合使用需求将非核心区域齿面精度调整为IT6级,降低加工难度。同时采用标准化齿形参数,适配现有数控加工设备,减少专用刀具的定制成本。通过CAD与仿真技术优化齿轮结构受力分布,在保证承载能力不变的前提下,调整齿厚分布,提升加工稳定性^[4]。优化后,齿轮加工工序减少3道,刀具损耗降低40%,加工合格率提升至95%以上,单件加工成

本降低22%,同时满足设备核心传动功能需求,实现了精度、效率与成本的协同优化。

4.2 案例2:轻量化设计在汽车零部件中的应用

新能源汽车企业为提升车辆续航里程、降低能耗,针对车身底盘零部件开展轻量化合理化设计,在保障结构强度的前提下实现减重增效。原底盘下摆臂采用传统铸铁材料,单件重量达8.2kg,且加工工艺复杂,能耗较高。优化设计过程中,遵循功能优先、环保与可持续性原则,首先进行材料替代,选用高强度铝合金材料,兼顾轻量化与结构强度需求,材料密度较铸铁降低35%。其次,通过CAD与有限元仿真技术优化结构设计,采用中空结构替代实心结构,去除结构冗余区域,同时优化受力路径,确保在冲击、承载等工况下满足强度要求。另外,优化加工工艺,采用挤压成型替代铸造工艺,减少材料浪费与能耗。优化后,下摆臂单件重量降至4.8kg,减重率达41.5%,车辆整体能耗降低8%,续航里程提升10%。同时铝合金材料可回收利用率达90%以上,降低环境影响,实现轻量化、节能与环保的多重目标,提升产品市场竞争力。

结束语

合理化机械设计在机械制造工艺中意义重大,通过遵循功能优先、可制造性等关键原则,运用基于DFM的设计优化、CAD与仿真技术等实现方法,能有效提升产品质量、降低成本、实现环保目标。从精密零件加工到汽车零部件轻量化等案例,均验证了合理化设计的有效性。未来,随着技术发展,合理化设计将不断优化,为机械制造行业带来更多创新与突破,推动行业持续高质量发展。

参考文献

- [1]何启利.机械制造工艺中的合理化机械设计探讨[J].模具制造,2025,25(2):208-210.
- [2]胡志远.机械制造加工工艺合理化的机械设计制造探讨[J].河北农机,2021(7):72-73.
- [3]彭焯.机械制造加工工艺合理化的机械设计制造的创新探讨[J].科技与创新,2022(11):25-27,30.
- [4]赵飞.浅谈机械制造工艺中的合理化机械设计[J].模具制造,2025,25(9):189-191.