

机械设计中结构强度分析及改进策略

杨银花

宝鸡合力叉车有限公司 陕西宝鸡 721001

摘要: 在机械设计中, 结构强度是决定产品质量与安全的关键要素。本文分析当前结构强度分析在应用场景、方法运用上的现状, 指出传统分析方法存在的局限。明确保障安全、优化性能、控制成本的核心目标与分析原则, 探讨理论计算、仿真模拟等常用分析方法, 并从材料、结构、工艺等方面提出改进策略, 为提升机械产品结构强度提供思路与方向。

关键词: 机械设计; 结构强度分析; 改进策略

引言

机械产品广泛应用于工业生产与日常生活, 其结构强度直接影响使用性能与安全可靠性。从航空航天设备到日常机械设备, 合理的结构强度设计是确保机械在复杂载荷、恶劣环境下稳定运行的基础。随着机械制造技术的发展, 产品向轻量化、高效化方向演进, 对结构强度的要求更为严苛。但传统的结构强度分析方法在精准度、效率等方面存在不足, 难以满足现代机械设计需求。

1 机械设计中结构强度分析现状与问题

1.1 机械设计中结构强度分析的应用场景

在机械设计全流程中, 结构强度分析应用广泛。产品概念设计阶段, 通过强度分析初步确定结构形式与关键尺寸, 比如设计一款新型机床主轴时, 先依据预期转速和切削力进行强度估算, 为后续详细设计划定参数范围; 详细设计阶段, 对零部件进行精确的强度计算与校核, 像对发动机连杆进行有限元分析, 确保其在往复运动中不会因应力过大而断裂。不同类型机械对结构强度分析需求各异, 航空航天领域的飞行器结构, 需在满足高强度要求的同时实现轻量化, 例如飞机机翼的设计, 既要能承受起飞和降落时的巨大载荷, 又要尽可能减轻重量以降低燃油消耗; 汽车制造中的底盘与车身结构, 要兼顾强度、舒适性与碰撞安全性, 比如车身框架在发生碰撞时需有足够的强度吸收冲击力, 同时减少对车内人员的伤害; 重型机械设备如矿山机械、工程机械, 需承受大载荷与恶劣工况, 对结构强度和耐久性要求极高, 像挖掘机的动臂, 要在频繁的挖掘作业中抵抗巨大的挖掘力, 且能适应粉尘、振动等复杂环境。此外, 在设备维护与改造环节, 结构强度分析可评估设备剩余寿命, 比如对长期使用的起重

机吊臂进行强度检测, 判断其是否还能安全承载, 为维修与升级提供依据。

1.2 传统结构强度分析方法及特点

传统结构强度分析方法主要包括理论计算和经验类比法。理论计算基于材料力学、弹性力学等理论, 通过建立数学模型求解结构的应力、应变和位移, 如采用梁理论分析细长杆件的弯曲强度时, 需假设杆件为均质连续体, 忽略局部微小缺陷, 将复杂的实际结构简化为理想模型进行计算; 运用板壳理论计算薄壁结构的承载能力, 需对板壳的厚度、边界条件等进行简化处理。这种方法具有明确的理论依据, 能清晰展现结构受力与变形的关系, 但对复杂结构的计算模型简化要求高, 往往需要多次假设和近似, 计算过程繁琐, 尤其当结构存在不规则形状或多向受力时, 计算难度大幅增加。经验类比法则是参照已有的成熟设计案例, 通过对比相似结构的尺寸、材料和受力情况, 对新设计进行强度评估。比如设计一款小型减速器的齿轮时, 参考同类型已量产齿轮的模数、齿数和材料选择, 快速确定初步方案。其特点是简单快捷、成本低, 能在设计初期快速筛选方案, 但依赖设计人员的经验, 不同设计人员的判断可能存在差异, 缺乏普适性, 难以适应创新性设计需求, 且在面对复杂工况和新型结构时, 由于没有可参考的案例, 准确性不足, 容易留下安全隐患。

1.3 现有结构强度分析存在的主要问题

现有结构强度分析存在多方面问题。理论计算方法在处理复杂几何形状、非线性材料特性和动态载荷时, 计算模型难以精确建立, 比如对于带有大量孔洞和凹槽的机械零件, 理论计算很难完全模拟应力在这些复杂部位的分布, 导致分

析结果与实际情况存在偏差,可能使设计出的结构要么强度过剩造成浪费,要么强度不足引发故障。经验类比法受限于已有案例,当遇到全新的结构形式或特殊工况时,没有合适的参考对象,难以满足产品创新设计需求,且无法对新结构的强度性能进行准确预测,只能依靠后期试验来验证,增加了设计风险和成本。试验检测方法虽然能获得准确数据,但需要制作物理样机、搭建测试平台,成本高、周期长,尤其是对于大型机械结构,一次试验可能需要数月时间和大量资金投入,难以在设计初期广泛应用,往往只能在设计后期进行抽样检测。不同分析方法之间缺乏有效整合,理论计算的数据不能直接为试验检测提供指导,仿真模拟的结果也难以与实际生产工艺衔接,数据传递不畅,导致设计过程中各环节的强度分析无法形成有机整体,降低了设计效率,增加了结构失效风险。

2 机械设计中结构强度分析目标与原则

2.1 结构强度分析的核心目标

结构强度分析的核心目标围绕安全性、性能优化和成本控制展开。确保机械结构在规定载荷和使用环境下不发生破坏或失效,保障人员安全与设备稳定运行是首要目标,比如对于电梯的轿厢架,必须通过严格的强度分析,保证其在满载情况下不会出现断裂,防止发生坠落事故。通过强度分析优化结构设计,提升机械产品的性能,如提高承载能力,让起重机的吊臂能吊起更重的货物;降低振动与噪声,使精密机床在高速运转时仍能保持稳定,提高加工精度;增强结构稳定性,让高层建筑的电梯导轨在长期使用中不会因变形影响运行顺畅性。与此同时,在满足强度要求的前提下,合理选择材料、优化结构形式,避免过度设计,比如通过分析去除零件上不必要的厚重部分,减少材料用量,降低材料成本;优化结构也能简化加工流程,降低加工成本,并且在设备使用过程中减少能耗,降低维护成本,实现经济效益最大化。这三个目标相互关联、相互制约,比如追求更高的安全性可能需要增加材料厚度,从而提高成本,因此需在设计过程中综合考量,找到最佳平衡点。

2.2 结构强度分析遵循的基本原则

结构强度分析需遵循准确性、可靠性、经济性和创新性原则。准确性原则要求分析方法和计算模型能够真实反映结构的力学特性和实际工作状态,比如在分析桥梁支座的强度时,要充分考虑车辆行驶带来的动载荷、温度变化引起的

应力变化等因素,确保分析结果可靠,为设计提供正确依据。可靠性原则强调在考虑材料性能波动、制造误差和使用环境变化等不确定因素的基础上,进行结构强度设计,比如同批次钢材的力学性能可能存在微小差异,加工过程中也会产生尺寸偏差,设计时需预留一定的安全裕度,使结构具有足够的抗干扰能力,即使在不利条件下也能正常工作。经济性原则要求在满足强度和性能要求的前提下,选择性价比高的材料和分析方法,比如对于一些非关键受力部件,可采用普通钢材替代高强度合金,降低材料成本;在分析过程中,根据结构重要程度选择合适的分析精度,避免不必要的高精度分析造成时间和资源浪费,优化设计方案,降低整体成本。创新性原则鼓励采用新理论、新方法和新技术进行结构强度分析,比如引入人工智能算法优化分析模型,突破传统设计思维的局限,推动机械设计技术发展,设计出更具竞争力的产品。

2.3 分析目标与设计需求的协调

在机械设计中,结构强度分析目标需与整体设计需求协调统一。设计需求涵盖功能实现、外观造型、制造工艺、使用维护等多个方面,强度分析不能仅关注结构承载能力,而忽视其他需求。例如,为实现产品轻量化设计,在保证结构强度的同时,需优化结构形式,采用新型材料,像设计一款便携式电动工具,既要让机壳有足够的强度保护内部零件,又要通过合理的镂空结构和轻质合金材料减轻整体重量,方便用户携带;在满足强度要求的基础上,还要考虑制造工艺的可行性,比如一些复杂的曲面结构虽然强度性能优异,但可能难以通过注塑或铸造工艺批量生产,此时需调整结构设计,使其适应现有制造设备和流程,避免因结构过于复杂导致加工难度增加和成本上升。通过与设计各环节紧密沟通,比如与外观设计师协商如何在保证美观的前提下优化结构圆角,与制造工程师讨论如何在不降低强度的情况下简化加工步骤,平衡强度分析目标与其他设计需求,实现机械产品整体性能的优化。

3 机械设计中结构强度分析方法及改进策略

3.1 结构强度分析的常用方法

现代结构强度分析常用方法包括理论计算、仿真模拟和试验检测。理论计算在传统方法基础上,借助计算机辅助计算软件,如有限元分析软件,可处理复杂结构的强度计算问题,通过将整体结构离散为众多细小单元,建立每个单元

的力学方程,再联立求解得到各节点的应力、应变,直观展示结构的受力状态,比如对汽车车架进行分析时,能清晰看到不同部位的应力分布,找出应力集中区域。仿真模拟结合多物理场分析,可模拟结构在动态载荷、热环境、流体作用等复杂工况下的性能,比如分析高速列车车身在行驶过程中,同时受到空气阻力、振动载荷和温度变化影响时的强度变化,提前发现潜在问题。试验检测方法包括静力试验、疲劳试验、冲击试验等,通过对实际构件或模型进行加载测试,获取准确的强度数据,比如对飞机起落架进行疲劳试验,模拟上万次起降过程中的受力情况,验证理论分析和仿真结果的准确性,为设计改进提供依据。这三种方法各有侧重,理论计算为基础,仿真模拟可快速迭代优化,试验检测用于最终验证,三者结合形成完整的强度分析体系。

3.2 基于分析结果的结构强度改进策略

基于强度分析结果,可从材料、结构和工艺三方面实施改进策略。材料方面,选择高强度、高韧性且重量轻的新型材料,如复合材料、钛合金等,替代传统材料,比如在航天器结构中采用碳纤维复合材料,既满足强度要求又大幅减轻重量;通过材料表面处理技术,如热处理可提高钢材的硬度和耐磨性,表面涂层能增强材料的耐腐蚀性和抗氧化性,从而提高零件的疲劳强度,延长使用寿命。结构方面,优化结构布局,减少应力集中区域,比如将零件上的直角连接改为过渡圆角,在受力较大的部位增加加强筋,分散应力;运用拓扑优化技术,根据受力分布模拟材料的最佳分布形态,去除冗余材料,比如在机械臂的设计中,通过拓扑优化得到类似生物骨骼的中空结构,在保证强度的同时实现轻量化。工艺方面,改进加工制造工艺,如采用先进的焊接工艺可减少焊缝缺陷,提高连接强度;精密铸造技术能保证零件尺寸精度和内部质量,减少因制造缺陷导致的强度降低问题。

3.3 结构强度提升的技术发展方向

智能化分析借助人工智能、大数据技术,对大量设计案例和试验数据进行学习,自动生成结构强度分析模型和优化方案,比如通过机器学习算法识别不同结构形式与强度性能的关联规律,当输入新的设计参数时,能快速给出强度分析

结果和改进建议,提高分析效率和准确性,减少对人工经验的依赖。多学科融合分析综合考虑力学、热学、电磁学等多学科因素,模拟结构在复杂物理场耦合作用下的性能,比如分析电机转子在高速旋转时,同时受到离心力、电磁力和温度场影响的强度变化,实现更精准的设计,避免单一学科分析导致的片面性。微观尺度分析从材料微观组织结构入手,研究晶体结构、晶粒大小等对材料性能的影响,通过调控微观结构开发高性能材料,如通过纳米技术制备的合金材料,具有更优异的强度和韧性,从本质上提升结构强度,为机械设计提供更坚实的技术支撑,推动机械产品向更高性能、更轻量化方向发展。

4 结论

通过剖析现状问题,明确目标原则,探讨分析方法与改进策略,为机械设计提供了系统的强度分析思路。在实际应用中,需结合新技术发展,综合运用多种分析方法,不断优化改进策略,实现结构强度与产品整体性能的协同提升,推动机械制造行业向更高水平发展,满足现代工业对机械产品日益增长的性能与安全需求。

参考文献:

- [1] 马林春. 基于强度与刚度要求的机械结构设计优化[J]. 中国机械, 2023, (34): 21-24.
- [2] 林志豪, 周渝欣, 孙巧雷, 等. 机械式可变径清管器结构设计与受力分析[J]. 石油矿场机械, 2023, 52(05): 20-25.
- [3] 张竹勤. 掘进机截割臂内管强度分析与优化设计[J]. 机械管理开发, 2021, 36(11): 110-111+129.
- [4] 孟凡超. 起重机械结构优化设计与强度分析[J]. 模具制造, 2025, 25(06): 210-212.
- [5] 陈建仲. 轿厢结构机械设计及强度分析研究[J]. 模具制造, 2024, 24(12): 212-214.
- [6] 马林春. 基于强度与刚度要求的机械结构设计优化[J]. 中国机械, 2023, (34): 21-24.
- [7] 刘志海, 田绍鲁, 代振锐, 等. 抓取机械臂的强度分析和优化设计[J]. 机械设计与制造, 2024, (02): 214-218.