

现代机械设计方法分析与探索

张德超

新乡市夏烽电器有限公司 河南 新乡 453600

摘要：现代机械设计方法融合多学科知识与前沿技术，为石油机械装备制造带来革新动力。计算机辅助设计、优化设计、可靠性设计和虚拟设计等方法，通过提升设计效率、保障设备性能、降低研发成本，有效满足石油行业对装备高精度、高可靠性的需求。然而，多学科交叉的复杂性、计算资源限制等问题制约其发展。深入剖析这些方法的应用与挑战，探索应对策略，对推动石油机械装备制造制造业高质量发展具有关键作用。

关键词：现代机械；设计方法；探索

引言

随着石油工业向深海、复杂地质区域拓展，对石油机械装备的性能、可靠性和智能化要求不断攀升。传统设计方法已难以满足行业发展需求，现代机械设计方法凭借先进技术手段成为行业发展新引擎。本文围绕计算机辅助设计、优化设计等主流方法，深入分析其在石油机械装备制造中的应用优势，探讨面临的挑战，并提出针对性应对策略，以期为行业技术创新与发展提供理论参考。

1 现代机械设计概述

现代机械设计在石油机械装备制造领域是多学科交叉融合的复杂过程，旨在实现石油勘探、开采、储运等环节装备的高效、可靠与智能化运行。其依托机械工程理论，结合材料科学、工程力学、热力学等学科知识，从石油钻采设备的结构优化到炼化装置的性能提升，均以满足严苛工况需求为目标。在钻井设备设计中，钻头、钻杆等关键部件需承受地下高温、高压及复杂地质环境的多重考验，设计时需运用有限元分析等数值计算方法，精准模拟部件在不同工况下的应力分布与变形情况，优化结构参数以提高其抗疲劳、耐磨性能，确保钻井作业的连续性与安全性。计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助工程（CAE）等技术已深度融入石油机械设计流程。CAD技术通过三维建模直观呈现装备结构，设计师可在虚拟环境中进行装配干涉检查，提前发现设计缺陷；CAE技术则能对石油储运管道的流体动力学特性、压力容器的强度特性等进行仿真分析，替代部分传统物理试验，大幅缩短设计周期、降低研发成本。随着智能制造理念的推进，模块化设计成为现代石油机械设计的重要方向，将复杂装备分解为功能相对独立的模块，如石油钻机的动力模块、提升模块等，实现模块的标准化生产与快速装配，增强装备的通用性和可维护

性，以适应石油行业不同作业场景的多样化需求。面对石油资源开采向深海、极地等极端环境拓展的趋势，现代机械设计正朝着高参数、轻量化、智能化方向发展。通过开发新型复合材料，在保证强度的前提下降低石油平台设备、深海采油装备的重量，减少能耗；引入传感器与智能控制系统，实时监测石油机械装备的运行状态，实现故障预警与智能诊断，提升装备全生命周期管理水平，推动石油机械装备制造向高端化迈进。

2 现代机械设计主要方法分析

2.1 计算机辅助设计（CAD）方法

（1）计算机辅助设计（CAD）依托专业软件平台，构建石油机械装备的三维数字化模型，将复杂的机械结构以可视化形式呈现。通过参数化建模技术，可精确设定零部件尺寸、公差及装配关系，模拟机械在不同工况下的形态，有效避免传统二维图纸表达模糊导致的设计误差，极大提升设计效率与精度。（2）在石油机械装备制造中，CAD方法广泛应用于钻井设备、采油装备等设计环节。以钻井泵为例，利用CAD软件对其内部流道、活塞组件进行三维建模，能够直观分析各部件间的空间布局，优化流体流动路径，减少水力损失，同时通过模拟装配过程，提前发现运动干涉问题，降低设计反复修改成本。（3）CAD与有限元分析等技术集成，可对石油机械装备的结构强度、振动特性进行仿真分析。针对石油钻机井架，技术人员可借助相关软件导入其材料属性与具体载荷条件，在CAD环境下完成精细的力学分析，获取直观的应力分布云图，为结构优化设计提供有力数据支撑，确保井架在复杂油气开采工况下的安全性与可靠性^[1]。

2.2 优化设计方法

（1）优化设计方法以数学规划理论为基础，针对石油机械装备性能指标构建多目标优化模型。该模型全面

考量各项性能因素,结合遗传算法、粒子群算法等智能优化算法,在满足强度、刚度、疲劳寿命等严格约束条件下,对机械结构参数、材料选择等展开全局寻优,突破传统经验设计的局限性,实现设计方案的性能提升与成本控制。(2)在石油机械传动系统设计中,优化设计方法可根据实际工况需求,对齿轮传动的模数、齿数、螺旋角等参数进行优化配置。通过构建以传动效率最高、噪声最小、体积最小为目标的函数模型,求解出最优参数组合,有效提高齿轮传动系统的稳定性与使用寿命,减少因传动失效导致的设备停机风险。(3)对于石油开采中常用的抽油机,运用优化设计方法可对其四杆机构的尺寸参数进行优化。综合考虑悬点载荷、平衡效果、能耗等因素,以能耗最低、结构紧凑为优化目标,优化后的抽油机在满足生产需求的同时,降低了运行能耗,提高了能源利用效率,增强了石油开采设备的经济效益。

2.3 可靠性设计方法

(1)可靠性设计方法通过对石油机械装备的失效模式、失效机理进行系统分析,运用概率统计、故障树分析等手段,量化评估装备在不同工作环境、不同使用周期下的可靠度。在设计阶段引入可靠性指标,将可靠性要求融入机械结构设计、材料选型、制造工艺等各个环节,确保装备在复杂油气开采工况下稳定运行。(2)针对石油井下作业工具,可靠性设计方法尤为重要。以螺杆钻具为例,在设计过程中,通过分析其在高温、高压、高扭矩工况下的失效原因,对转子、定子的材料性能、结构参数进行可靠性优化设计。采用可靠性强化试验,模拟极端工况加速疲劳失效过程,获取寿命数据,为设计改进提供依据,提高螺杆钻具的井下工作可靠性和使用寿命。(3)在海上石油平台机械设备设计中,可靠性设计方法用于评估设备在海洋恶劣环境(如风浪、腐蚀、低温)下的可靠性。对平台起重机、采油树等关键设备,通过建立可靠性模型,分析零部件的失效概率,优化冗余设计和维护策略,降低设备故障概率,保障海上石油生产作业的连续性与安全性^[2]。

2.4 虚拟设计方法

(1)虚拟设计方法基于虚拟现实、仿真技术构建石油机械装备的虚拟工作环境,将机械设计、制造、装配、运行等全生命周期过程在虚拟空间中模拟实现。通过集成多学科知识,建立包含机械、液压、控制等子系统的联合仿真模型,真实反映装备在实际工况下的动态性能与交互关系。(2)在石油钻机设计开发中,虚拟设计方法可对钻机的起升、旋转、钻井液循环等系统进

行协同仿真。模拟钻机在不同钻井深度、不同地质条件下的工作状态,观察各系统间的动态响应和能量传递,提前发现系统匹配不合理等问题。利用虚拟装配技术,验证零部件装配顺序和可达性,优化装配工艺,减少实际装配中的错误和返工。(3)对于新型石油机械装备的研发,虚拟设计方法提供了低成本、高效率的创新验证平台。通过虚拟样机技术,设计师可在虚拟环境中对装备进行功能测试、性能优化和操作培训。例如,针对新型水下采油装备,利用虚拟设计进行水下作业模拟,评估其在复杂海况下的操控性能和可靠性,缩短研发周期,降低研发成本,提高新产品的市场竞争力。

3 现代机械设计方法面临的挑战与应对策略

3.1 面临的挑战

3.1.1 多学科交叉融合的复杂性

在石油机械装备制造领域,现代机械设计需融合机械工程、材料科学、流体力学、热力学等多学科知识。石油钻井设备中的钻头设计,既要考虑机械结构的强度与耐磨性以承受地下复杂工况,又要依据流体力学原理优化排屑通道,确保钻井液高效携带岩屑;材料的高温稳定性与耐腐蚀性决定了钻头在高温高压油层中的使用寿命。然而,不同学科理论体系与研究方法存在显著差异,学科间知识衔接缺乏统一标准,导致设计过程中信息传递易出现偏差。例如,机械结构设计完成后,因材料性能未达标需重新调整,造成设计周期延长、成本增加。各学科设计人员思维模式与专业术语不同,沟通成本高,难以形成高效协同设计体系,制约石油机械装备的整体性能提升与创新发展。

3.1.2 计算资源与效率的瓶颈

石油机械装备设计涉及大量复杂计算,如深海石油平台结构在风浪流耦合作用下的力学分析,以及超深钻井井下工具在极端环境中的热-流-固多场耦合模拟。这些计算不仅数据量庞大,而且计算模型复杂,对计算资源要求极高。普通计算机难以满足其计算需求,即便采用高性能计算集群,面对超大规模的有限元分析与流体动力学模拟,计算时间也会大幅增加。例如,对新型石油泵的内部流场进行高精度数值模拟,可能需要数周甚至数月的计算时间,严重影响设计迭代速度。随着石油开采向深海、超深层等复杂环境拓展,对设计计算的精度要求不断提高,进一步加剧了计算资源与效率的矛盾,使得设计方案难以快速优化,无法及时满足市场对高效、可靠石油机械装备的需求^[3]。

3.1.3 创新设计能力的提升困难

石油机械装备制造行业长期依赖传统设计经验与技

术,形成了相对固定的设计模式。现有设计大多基于成熟技术的改进,缺乏突破性创新。在新型压裂设备设计中,尽管市场对高效、节能、环保的设备需求迫切,但企业仍倾向于沿用传统结构与技术,难以跳出固有思维。石油机械装备研发周期长、投入大、风险高,企业为降低成本与风险,往往不敢轻易尝试新的设计理念与技术。行业内对前沿技术的研究与应用滞后,如人工智能在石油机械设计中的应用仅停留在初级阶段,无法充分利用其强大的数据处理与智能决策能力,导致企业在复杂工况适应性设计、智能化运维设计等方面进展缓慢,难以提升石油机械装备的核心竞争力与市场适应性。

3.2 应对策略

3.2.1 加强多学科协同设计平台建设

构建基于石油机械装备制造特点的多学科协同设计平台,整合机械、材料、流体等多学科设计工具与数据资源。平台应具备统一的数据标准与接口,实现不同学科设计模型的无缝对接与数据共享。例如,在设计石油钻机时,结构工程师可将三维模型直接传递给材料工程师,材料工程师基于此分析材料的应力分布与疲劳寿命,并将结果反馈给结构工程师进行优化。平台应提供协同工作环境,支持多学科设计人员实时沟通与协作,通过虚拟会议、在线讨论等功能,打破学科间的沟通壁垒。利用平台的仿真分析功能,对多学科设计方案进行联合模拟,提前发现设计冲突与不合理之处,提高设计效率与质量,实现石油机械装备从单一学科设计向多学科协同创新设计的转变。

3.2.2 探索高性能计算与优化算法

针对石油机械装备设计中的计算难题,积极探索高性能计算技术与先进优化算法。采用并行计算技术,将复杂计算任务分解为多个子任务,利用多核处理器或分布式计算集群同时处理,大幅缩短计算时间。例如,在进行石油管道的应力分析时,通过并行计算可将计算效率提升数倍。引入智能优化算法,如遗传算法、粒子群算法等,对设计参数进行全局优化。在设计新型石油压缩机时,利用遗传算法对压缩机的结构参数、运行参数进行优化,可在较短时间内找到最优设计方案,提高压

缩机的效率与可靠性。关注新兴计算技术的发展,如量子计算在石油机械设计中的潜在应用,不断突破计算资源与效率的瓶颈,为石油机械装备的创新设计提供强大的计算支持。

3.2.3 培养创新设计思维与人才

在石油机械装备制造企业内部,营造鼓励创新的文化氛围,打破传统设计思维定式。组织设计人员参与行业前沿技术研讨会与学术交流活动,拓宽视野,了解最新的设计理念与技术发展趋势。例如,通过参加国际石油机械装备创新大会,学习国外先进的智能化设计与绿色设计理念。企业可设立创新设计奖励基金,对提出创新性设计方案的团队与个人给予奖励,激发设计人员的创新积极性。加强企业与高校、科研机构的合作,共同开展产学研项目,将高校的理论研究成果与企业的工程实践相结合,培养既具备扎实理论基础又有丰富实践经验的创新型设计人才。通过建立企业内部培训体系,定期开展创新设计方法与技术培训课程,提升设计人员的专业技能与创新能力,为石油机械装备的创新设计提供人才保障^[4]。

结语

综上所述,现代机械设计方法在石油机械装备制造领域展现出强大优势,显著提升了装备设计水平与制造质量。在多学科融合、计算效率 and 创新能力等方面仍面临诸多挑战。未来,需持续加强多学科协同平台建设,探索高性能计算技术,培育创新型人才,不断优化现代机械设计方法,助力石油机械装备制造业实现智能化、高效化发展,更好地适应能源行业的变革与需求。

参考文献

- [1]张斌,黎力超,柳志林,等.现代机械设计方法分析与探索[J].机械工程与自动化,2024(3):217-218,221.
- [2]杨和.基于计算机技术的现代机械设计方法研究[J].造纸装备及材料,2022,51(12):59-61.
- [3]孙海秋.谈现代机械设计方法与未来机械设计[J].商品与质量,2020(47):122.
- [4]周攀攀.谈现代机械设计方法与未来机械设计[J].电脑高手,2020(4):1793-1794.