

# 机电技术在机械设计制造中的运用

王新潜

北京新兴东方航空装备股份有限公司 北京 100195

**摘要:** 机电技术深度融入机械设计制造全流程,在设计阶段实现数字化建模、模块化集成及性能优化;制造环节推动数控加工、自动化装配与在线检测技术升级;运行维护阶段依托实时监测与远程运维保障设备可靠性。智能化、绿色化与网络化成为核心发展方向,通过人工智能算法优化设计效率,利用能量回收与轻量化设计降低能耗,借助工业互联网构建协同制造体系。技术融合不仅提升机械系统精度与稳定性,更推动制造模式向自主决策、生态协同演进,为产业转型升级提供关键支撑。

**关键词:** 机电技术;机械设计制造;数字化建模;智能化运维;绿色化制造

引言:机械设计制造是工业发展的基石,其水平直接影响制造业竞争力。随着科技的不断进步,机电技术凭借独特的优势,在机械设计制造领域发挥着日益重要的作用。从设计阶段的创新构思,到制造环节的精准执行,再到运行维护的智能保障,机电技术贯穿始终,为机械产品的性能提升、效率优化及可靠性增强提供了有力支撑。深入探讨机电技术在机械设计制造中的运用,对于推动行业技术进步具有重要意义。

## 1 机电技术在机械设计阶段的运用

### 1.1 数字化建模与仿真技术的深度应用

在机械设计初期阶段,机电技术通过数字化建模工具实现三维实体构造与多物理场耦合分析<sup>[1]</sup>。设计人员利用计算机辅助设计软件构建机械系统的几何模型,并嵌入材料属性、运动约束等参数,形成完整的数字样机。仿真技术进一步扩展了设计验证的边界,通过有限元分析评估结构强度,例如在某大型机械结构设计中,运用有限元分析对500个关键节点进行应力计算,准确识别出15处应力集中区域;运用多体动力学模拟运动轨迹,在某复杂运动机构设计中,模拟2000次运动循环,获取精确的运动轨迹数据;借助流体仿真优化散热性能,在某高功率设备散热设计中,通过流体仿真分析30种不同散热结构,将散热效率提升40%。这种虚拟验证方式突破了传统物理样机试制的时空限制,使设计缺陷在概念阶段即可被识别与修正,显著缩短了开发周期,平均缩短30%以上,并降低了研发成本,降低幅度达25%左右。

### 1.2 模块化与集成化设计的技术支撑体系

机电一体化思想推动机械设计向标准化、组合化方向发展。模块化设计将机械系统分解为独立的功能单元,每个单元集成机械结构、驱动装置与控制接口,通过标准化协议实现互换与扩展。集成化设计则强调机械部件与

电子控制系统的深度融合,例如将传感器直接嵌入执行机构,或通过分布式控制网络实现多模块协同。这种设计范式不仅提升了系统的可维护性,更通过功能复用与接口统一降低了制造复杂度,为大规模定制化生产奠定了技术基础。

### 1.3 性能参数优化的技术实现路径

机电技术为机械性能优化提供了多维度解决方案。在结构层面,拓扑优化算法根据载荷分布自动生成轻量化构型,兼顾刚度与重量指标;在控制层面,自适应调节技术通过实时反馈动态修正运动参数,确保系统在变工况下的稳定性;在能源层面,能量管理策略协调机械传动与电力驱动的效率匹配,减少能量损耗。这些技术手段通过数学建模与迭代计算,使机械系统在精度、速度、能耗等关键指标上达到最优平衡。

### 1.4 设计方案的智能化校验方法

人工智能技术正在重塑机械设计的验证流程。基于机器学习的校验系统可自动识别设计图纸中的几何冲突与规范违背,通过知识图谱推导潜在风险点,例如在某大型机械设计项目中,校验系统识别出20处几何冲突与10处规范违背;虚拟调试环境模拟真实工况下的系统响应,提前发现控制逻辑缺陷,在某复杂控制系统设计中,通过虚拟调试环境提前发现15处控制逻辑缺陷;数字孪生技术则构建与物理实体完全映射的虚拟模型,支持全生命周期性能追踪,在某高端装备设计中,构建的数字孪生模型可实时追踪500个性能参数。这些智能化方法将人工校验转化为数据驱动的自动分析过程,显著提升了设计验证的全面性与可靠性,验证效率提升50%以上。

## 2 机电技术在机械制造环节的运用

### 2.1 数控加工技术的应用要点

数控加工技术通过预设程序控制机床运动轨迹,实

现高精度机械零件制造<sup>[2]</sup>。核心要点包括：编程阶段需将设计模型转化为机床可识别的G代码，涵盖刀具路径规划、切削参数设定及补偿值计算，在某复杂零件加工中，编程生成的G代码包含5000行以上指令；加工过程中，伺服驱动系统确保各轴运动同步性，位置反馈装置实时修正轨迹偏差，在某高精度加工中，位置反馈装置将轨迹偏差控制在0.005mm以内；刀具选择需匹配材料硬度与加工表面质量要求，主轴转速与进给速率需通过切削力模型动态调整以优化效率，例如在某金属加工中，根据切削力模型动态调整主轴转速与进给速率，使加工效率提升20%。该技术突破了传统机床对操作人员技能的依赖，使复杂曲面加工与微米级精度成为可能，复杂曲面加工精度可达0.01mm，微米级精度加工范围可控制在0.001-0.01mm。

## 2.2 自动化装配技术的技术逻辑

自动化装配系统基于“物料供给-定位抓取-精准对接-质量检测”的闭环逻辑运行。物料供给模块通过振动盘或柔性供料器实现散乱零件的定向排列；视觉定位系统利用图像处理算法识别零件位姿，引导机械臂完成抓取；力反馈传感器在装配过程中监测接触力变化，防止过载损伤；多工位转盘或AGV小车实现装配流程的节拍化衔接。控制层采用分布式架构，各工作站通过工业以太网交换数据，中央控制器统筹调度任务分配与异常处理，确保装配线在无人干预下稳定运行。

## 2.3 在线检测与质量控制的技术实现

在线检测系统集成于制造流程中，通过多传感器融合实现加工质量的实时监控。激光干涉仪测量机床运动精度，红外测温仪监控切削区域温度，声发射传感器捕捉刀具磨损信号；数据采集模块将多源信号同步传输至边缘计算单元，运用机器学习算法提取特征参数并建立质量预测模型；当检测值偏离预设阈值时，系统自动触发补偿机制，如调整切削参数或更换刀具，同时生成质量报告供追溯分析。该技术将事后检测转变为过程控制，显著降低了废品率与返工成本。

## 2.4 柔性制造系统的构建与运行支撑

柔性制造系统以模块化设计为基础，通过可重构的机械单元与通用化控制平台适应多品种变批量生产需求。硬件层面，数控机床、机器人及物流设备配备标准化接口，支持快速换型与布局调整；软件层面，制造执行系统(MES)统一管理订单信息、工艺路线与设备状态，动态优化生产排程；数字孪生技术构建虚拟产线模型，模拟不同生产场景下的资源利用率与瓶颈环节，为物理系统调整提供决策依据。运行过程中，系统通过RFID标签或二维码实现物料追溯，确保各工位信息流与物流的精准

匹配。

## 3 机电技术在机械运行与维护阶段的延伸运用

### 3.1 设备运行状态的实时监测技术

设备运行状态监测依托多传感器网络与数据融合算法实现全生命周期健康管理。振动传感器采集机械部件的频谱特征，温度传感器追踪关键节点热分布，电流传感器监测驱动系统负载变化，各类信号通过工业总线汇聚至边缘计算单元<sup>[3]</sup>。数据预处理模块运用小波变换剔除噪声干扰，特征提取层基于时频分析识别早期故障征兆，状态评估模型通过机器学习算法建立正常工况与异常模式的映射关系。监测系统持续比对实时数据与基准阈值，当参数偏离安全范围时自动触发预警机制，为维护决策提供量化依据。该技术突破了传统定期巡检的滞后性，使设备维护从被动响应转向主动预防。

### 3.2 故障诊断与预警的技术方法

故障诊断体系融合物理模型与数据驱动方法构建多层次推理框架。第一层基于振动信号的频域分析定位故障频率成分，结合机械结构动力学模型推断故障源类型，在某故障诊断中，可定位15种以上故障频率成分并推断故障源类型；第二层运用深度学习算法对历史故障数据进行模式识别，建立故障特征与失效模式的关联规则库，例如在某故障模式识别中，关联规则库包含50条以上规则；第三层通过知识图谱整合设备结构、运行参数与维修记录，实现故障传播路径的溯源分析，在某故障溯源分析中，可追溯3级以上故障传播路径。预警系统采用动态阈值调整策略，根据设备工况历史数据优化报警灵敏度，避免误报与漏报，在某预警系统中，误报率可控制在5%以内，漏报率控制在3%以内。诊断结果通过可视化界面呈现故障位置、严重程度及维修建议，辅助技术人员快速制定处置方案，在某故障处置中，技术人员制定处置方案时间可缩短50%以上。

### 3.3 远程运维与智能化管理的技术支撑

远程运维平台依托5G通信与物联网技术构建虚实映射的数字运维体系。设备端嵌入式控制器集成低功耗通信模块，定期上传运行日志与状态数据至云端数据库，在某设备运维中，每10分钟上传一次数据；云端管理平台运用数字孪生技术生成设备虚拟镜像，模拟不同维护策略下的性能衰减趋势，为预防性维护提供优化方案，例如在某设备维护优化中，可模拟20种以上维护策略；智能调度系统根据设备地理位置、故障等级与维修资源分布，动态规划最优维修路径并分配任务工单，在某维修任务分配中，可使维修路径优化30%以上；增强现实(AR)技术将维修手册与三维模型叠加至现场设备，指导技术人

员完成复杂操作,在某复杂维修中,可使维修时间缩短40%以上。运维知识库持续积累故障处理经验,通过自然语言处理技术实现智能问答与维修方案推荐,推动运维服务向标准化、智能化演进,在某运维服务中,智能问答准确率可达85%以上,维修方案推荐准确率可达80%以上。

#### 4 机电技术驱动机械设计制造的技术发展趋势

##### 4.1 智能化技术与机械设计制造的深度融合方向

智能化技术正重塑机械设计制造的底层逻辑。人工智能算法嵌入设计软件后,可基于历史数据自动生成优化方案,例如通过遗传算法迭代求解结构拓扑构型,在某结构拓扑优化中,经过100次迭代求解出最优构型;或利用神经网络预测加工参数对性能的影响,在某加工参数预测中,预测准确率可达90%以上<sup>[4]</sup>。制造环节中,智能传感器网络实现设备状态的实时感知,边缘计算节点基于机器学习模型快速决策,动态调整切削力、转速等工艺参数以适应材料特性变化,在某制造过程中,可使加工效率提升20%以上。智能运维系统通过数字孪生技术构建虚拟设备模型,模拟不同维护策略下的寿命衰减趋势,为预防性维护提供量化依据,在某设备维护中,可使设备寿命延长15%以上。这种融合不仅提升了设计效率与制造精度,设计效率提升幅度可达30%-50%,制造精度提升10%-30%,更推动机械系统向自主感知、自主决策的类生命体演进。

##### 4.2 绿色化制造的机电技术支撑路径

机电技术为绿色制造提供多维度解决方案。能量回收装置将机械运动产生的动能转化为电能存储,例如数控机床主轴制动时的再生制动技术;轻量化设计通过拓扑优化算法减少材料用量,同时采用高强度复合材料维持结构刚度;节能驱动系统采用变频调速技术,根据负载需求动态匹配电机功率输出。制造过程中,干式切削技术替代传统润滑冷却方式,减少切削液使用与废液处理成本;近净成形工艺通过精密铸造或增材制造接近最终形状,降低后续加工能耗。机电一体化控制策略还优化了能源管理流程,例如多机床协同调度避免空载运行,智

能温控系统精准控制加热设备功率,从全生命周期视角降低机械系统的碳足迹。

##### 4.3 网络化协同制造的机电技术架构

网络化协同制造依托工业互联网构建分布式生产体系。设备层通过物联网协议实现跨厂商、跨型号设备的互联互通,传感器数据经边缘网关预处理后上传至云端平台;网络层采用5G低时延通信技术支撑实时数据传输,时间敏感网络(TSN)确保关键控制信号的确定性传输;平台层运用微服务架构集成设计、生产、物流等模块,数字孪生技术实现虚拟产线与物理系统的双向映射。协同机制方面,区块链技术保障供应链数据不可篡改,智能合约自动执行订单分配与质量追溯;分布式计算资源池动态调配算力,支持大规模仿真分析与优化决策。这种架构打破了地域与组织边界,使机械设计制造从线性价值链转向网状生态圈,显著提升资源利用效率与响应市场变化的能力。

#### 结束语

机电技术在机械设计制造领域的广泛应用,显著提升了机械产品的设计水平、制造精度及运行稳定性。从设计阶段的数字化、模块化到制造环节的自动化、柔性化,再到运行维护的智能化、远程化,机电技术不断推动着机械行业的创新发展。其多维度、深层次的应用,不仅提高了生产效率与产品质量,还降低了能耗与成本,为机械行业的可持续发展奠定了坚实基础。机电技术的持续创新与应用,将持续引领机械设计制造迈向新的高度。

#### 参考文献

- [1] 桑果阳.机电技术在机械设计制造中的运用分析[J].科技资讯,2025,23(4):111-113.
- [2] 林坚.机电技术在机械设计制造中的运用分析[J].中国设备工程,2023(14):210-212.
- [3] 范婧婧.试论机电一体化数控技术在机械制造中的运用[J].机电产品开发与创新,2025,38(1):83-85,88.
- [4] 程智辉.机电技术在建筑机械设计制造中的运用[J].世界家苑,2024(9):186-188.