

机电工程中机械结构与电气系统的协同设计方法

冯永荣

522729*****3315

摘要:机电工程一体化进程中,机械结构与电气系统的协同设计成为提升工程质量的关键。传统设计模式下,机械与电气设计环节相互割裂,常导致空间布局冲突、功能衔接不畅等问题,无法满足现代设备对精度和可靠性的需求。本文以机电协同的内在逻辑为出发点,分析机械结构与电气系统的功能关联及设计痛点。从流程重构、信息交互、性能优化三个维度,提出科学的协同设计方法。通过整合设计资源、搭建共享平台等手段,实现二者设计环节的高效衔接,为提升机电工程设计效率与整体性能提供实践参考。

关键词:机电工程; 机械结构; 电气系统; 协同设计; 设计方法

DOI: 10.64216/3104-9664.25.02.020

引言

随着智能制造与工业4.0理念的推进,机电设备正向集成化、智能化快速发展。机械结构作为物理载体,承担负载支撑与运动执行功能;电气系统作为控制核心,主导运行逻辑与精准调控,二者融合度直接影响工程设计水平。当前部分设计仍采用分段模式,机械与电气团队缺乏有效联动,导致后期频繁出现安装空间不足、控制不同步等问题,增加修改成本并延长周期。

1 机电工程中机械与电气协同设计的核心逻辑

1.1 功能耦合关系

机械结构与电气系统在机电设备中存在紧密的功能耦合关系,这种关系贯穿设备设计、运行及维护的全流程。机械结构的运动精度直接依赖电气系统的信号传输与指令执行精度,例如数控机床的导轨运动,需伺服电机与控制系统协同作用才能实现微米级定位。同时,电气系统的稳定运行离不开机械结构提供的基础保障,电气元件的安装固定、线路防护等都需依托合理的机械布局完成。在设备运行过程中,机械结构的负载变化会通过传感器反馈至电气系统,电气系统则根据反馈调整输出参数,确保设备运行稳定。明确这种相互依存的耦合关系,是开展协同设计、避免功能脱节的重要基础,也是提升设备整体性能的前提。

1.2 目标与价值

协同设计的核心目标是通过整合机械与电气设计资源,消除设计环节的冲突与矛盾,实现机电工程整体性能的优化。在设计过程中,需确保机械结构的布局规划与电气系统的元件配置相互适配,避免后期出现修改

返工情况。其价值导向不仅体现在经济层面,更体现在技术层面。经济上,通过减少设计变更、缩短项目周期,可有效降低人力与物力成本,提升工程实施效益。技术上,协同设计能促进机械与电气功能的精准匹配,提升设备的运行可靠性与操作安全性。同时,合理的协同设计还能为设备后期维护提供便利,降低维护难度与成本,延长设备使用寿命,为企业创造长期价值。

1.3 关键约束识别

协同设计过程中,需充分识别并考量各类约束条件,这些条件直接影响设计方案的可行性与设备的运行效果。空间约束是首要考虑的因素,设备内部空间有限,电气元件的安装位置、线路走向需与机械部件的布局精准适配,避免出现空间重叠或预留不足问题。负载约束同样关键,电气系统提供的驱动力需与机械结构的承载能力相匹配,驱动力过大易导致机械结构损坏,过小则无法满足设备运行需求。环境约束也不可忽视,不同工作环境的温度、湿度、粉尘等条件存在差异,会影响机械材料的耐候性与电气元件的绝缘性能,设计时需针对性选择合适的材料与防护措施,确保设备在复杂环境下稳定运行。

2 机电工程协同设计的现状与突出问题

2.1 流程割裂问题

当前机电工程设计中,流程割裂化是导致协同效率低下的主要原因之一。传统设计多遵循“机械先行、电气跟进”的线性流程,机械设计团队完成结构方案后,电气设计团队才开始进行元件选型与线路规划。这种模式下,电气设计的特殊需求无法及时反馈至机械设计环节,易导致设计冲突。例如机械结构预留的电气安装空

间不足，需重新修改结构尺寸；或者机械运动轨迹与电气线路布置相互干扰，影响设备运行。同时，分段式管理缺乏统一的时间节点与沟通机制，设计过程中出现的问题无法及时协调解决，导致设计周期延长，重复工作量增加，显著降低了整体设计效率与质量。

2.2 信息交互障碍

信息交互不畅是协同设计中的突出问题，直接导致设计“信息孤岛”的形成。机械设计团队通常使用 CAD 等软件进行结构设计，电气团队则依赖 EDA 等专业软件开展工作，不同软件的数据格式存在差异，导致设计信息无法直接共享。设计信息传递多依赖人工整理与对接，过程中易出现信息遗漏、解读偏差等情况。例如机械结构的尺寸修改未及时通知电气团队，导致电气元件选型与实际空间不匹配；或者电气系统的功率需求传递错误，影响机械结构的强度设计。缺乏统一的信息共享平台，设计过程中的动态调整无法实时同步至各团队，各环节信息脱节，严重影响协同设计的顺畅开展。

2.3 性能匹配隐患

机械结构与电气系统的性能匹配度不足，易引发各类工程隐患，影响设备的安全稳定运行。在运动控制类机电设备中，机械结构的惯性特性与电气系统的响应速度需精准匹配。若电气系统响应过快，而机械结构惯性较大，设备运行时易出现振动、冲击现象，降低运动精度；若电气响应滞后，则会导致机械运动卡顿，影响工作效率。此外，电气系统的能耗需求与机械结构的散热设计脱节也是常见问题。电气元件运行过程中会产生大量热量，若机械结构未设计合理的散热通道与散热部件，热量无法及时散发，会导致电气元件温度过高，降低使用寿命，严重时甚至引发短路、烧毁等安全事故，威胁设备与操作人员安全。

3 协同设计体系的构建基础与前提

3.1 统一设计标准

建立统一的设计标准与技术规范，是构建协同设计体系的重要基础。设计标准需结合行业现行规范与具体工程需求制定，确保其科学性与实用性。内容上应涵盖机械与电气设计的关键环节，机械方面包括尺寸标注规则、材料选型标准、结构强度要求等；电气方面涉及接口类型规范、线路布线标准、数据传输协议等。明确各设计环节的技术要求与交付成果标准，例如机械设计需提交包含详细尺寸与安装基准的图纸，电气设计需提供元件清单与线路原理图。统一的标准能让各设计团队形

成共同的设计语言，减少沟通分歧，确保设计内容相互适配，为协同设计的顺畅开展提供统一依据。

3.2 搭建共享平台

搭建一体化信息共享与交互平台，是解决信息孤岛问题的有效手段。依托数字化技术，整合机械 CAD 与电气 EDA 等设计软件的核心功能，实现不同软件间的数据互通与格式兼容。平台应具备设计文件实时上传、修改追踪、版本管理等功能，机械与电气设计团队可随时获取最新设计成果。设计人员在平台上标注的问题与修改建议，能实时推送给相关负责人，确保沟通高效。同时，平台可自动备份设计文件，避免数据丢失。通过该平台，打破设计团队间的信息壁垒，实现设计信息的无缝流转，提升协同效率。

3.3 建立沟通机制

构建跨专业协同设计沟通机制，是保障设计方向一致的关键。需明确机械与电气设计的对接接口人，负责日常设计信息的传递与问题协调。建立定期沟通会议制度，每周或每月组织双方团队开展设计进度沟通会，通报各环节进展情况，共同探讨存在的问题。针对设计方案确定、关键参数选型等重要节点，召开联合评审会议，确保各团队达成共识。同时，搭建实时沟通渠道，如企业内部即时通讯群组、线上协作空间等，方便设计人员随时交流突发问题。沟通机制需明确问题反馈与处理的时间限制，避免问题积压。通过完善的沟通机制，促进跨专业团队的高效协作，确保设计工作有序推进。

4 机电工程协同设计的具体实施方法

4.1 双向同步流程

基于功能需求的双向同步设计流程，打破了传统线性设计的局限，实现机械与电气设计的协同联动。以机电设备的整体功能需求为出发点，机械与电气设计团队同时启动方案规划工作。机械团队结合设备运行需求，初步完成结构布局、运动机构等设计方案，并提交至协同平台。电气团队基于设备功能目标，分析控制逻辑与元件需求，同时查看机械设计方案，针对电气元件安装空间、线路走向等提出具体要求。机械团队根据电气团队的反馈，调整结构设计细节；电气团队则依据优化后的机械方案，完善电气设计。

4.2 数字化仿真优化

数字化仿真驱动的设计优化方法，是提升协同设计质量的重要技术手段。利用多体动力学软件构建机械结构仿真模型，模拟设备在不同工况下的运动状态、受力

情况及振动特性。同时，通过电气仿真软件搭建电气系统模型，模拟控制信号传输、电机运行等过程。将两个模型进行集成，构建机电协同仿真系统，实现机械运动与电气控制的联合仿真。通过仿真可直观观察二者的匹配性能，例如机械结构的运动精度是否达到电气控制要求，电气系统的响应是否与机械运动节奏同步。针对仿真中发现的冲突点与性能短板，设计团队及时调整参数与方案，在物理样机制作前完成设计优化，降低研发成本与风险。

4.3 模块化设计

模块化设计通过将复杂的机电系统拆解为多个独立功能模块，有效提升协同设计的适配性与灵活性。按照功能划分，机械结构可分为支撑模块、运动模块、防护模块等；电气系统可分为控制模块、驱动模块、检测模块等。明确每个模块的接口参数、性能指标与安装要求，确保模块间的兼容性。设计过程中，各专业团队可并行开展不同模块的设计工作，通过协同平台共享模块信息。模块化设计便于后期设计调整与设备升级，当某一功能需求变更时，仅需修改对应模块，无需对整体设计进行大幅调整。同时，标准化的模块还可重复应用于不同机电工程，缩短设计周期，提升设计效率。

5 协同设计的质量控制与保障措施

5.1 多维度评审机制

建立多维度设计评审机制，是保障协同设计质量的重要措施。从功能匹配、空间布局、性能安全、成本控制等多个维度构建评审指标体系，确保评审全面性。功能匹配维度主要审查机械与电气设计是否满足设备整体功能需求；空间布局维度重点检查元件与结构的空间适配性；性能安全维度关注设备运行精度、稳定性及操作安全性；成本控制维度则考量设计方案的经济性。组织由机械工程师、电气工程师、工艺师、质量检测人员组成的跨专业评审团队，采用会议评审与线上评审相结合的方式。对设计方案、仿真结果及阶段性成果进行全面审查，提出修改意见。评审过程需形成书面记录，明确问题整改责任人与完成时限，确保评审发现的问题及时解决，提升设计质量。

5.2 动态管控手段

引入设计过程的动态管控手段，可实现对协同设计全流程的有效监督。依托协同设计平台，实时监控各设计环节的进度情况，对比计划进度与实际进度，及时发

现进度滞后问题并分析原因。平台自动记录设计文件的修改痕迹，包括修改人、修改内容及修改时间，确保设计变更可追溯。建立规范的设计变更流程，任何设计调整需提交申请，经相关团队审核通过后才能实施，避免无序修改。同时，设置关键节点管控点，在设计方案确定、仿真优化完成等重要节点进行专项检查，确保各阶段设计成果符合要求。通过动态管控，保障设计过程有序推进，提升设计效率与质量。

5.3 跨专业素养培养

强化设计人员的跨专业素养培养，是提升协同设计水平的人才保障。组织开展跨专业培训活动，邀请机械与电气领域的专家授课，让机械设计人员系统学习电气控制基础、元件选型等知识，电气设计人员掌握机械结构原理、材料特性等内容。定期举办技术交流研讨会，鼓励不同专业设计人员分享工作经验与设计案例，促进专业知识融合。建立跨专业项目实践机制，让设计人员参与综合性机电项目，在实践中提升跨专业协作能力。

6 结论

机电工程中机械结构与电气系统的协同设计，是适应智能制造发展的必然趋势，也是提升工程质量与效率的核心路径。传统割裂式设计模式已无法满足现代机电设备的发展需求，流程壁垒、信息孤岛等问题严重制约设计水平提升。本文提出的协同设计体系，以统一标准、共享平台与沟通机制为基础，通过双向同步流程、数字化仿真、模块化设计等具体方法，实现了机械与电气设计的高效协同。

参考文献

- [1] 申文戎,黄广鹏. 机电自动化系统集成优化在工程机械智能化制造中的关键技术研究[J]. 仪器仪表用户, 2025, 32(11): 54-56.
- [2] 张彦斌. 机电设备安装调试在机械设备安装工程中的关键技术研究[J]. 仪器仪表用户, 2025, 32(06): 80-82.
- [3] 王新伟,李卫社. 工程机械中机电设备安装与调试常见的技术问题[J]. 模具制造, 2025, 25(04): 177-179.
- [4] 陈林. 机电一体化技术在机械工程改造中的应用[J]. 工程抗震与加固改造, 2025, 47(02): 193.
- [5] 李卫社,王新伟. 机电自动化在工程机械制造中的应用[J]. 造纸装备及材料, 2025, 54(02): 52-54.