

试论工程机械设计与安全设计

石多伟

鸿鹄智能制造(宁夏)有限公司 宁夏 银川 751100

摘要: 工程机械设计以作业功能与运行效能为核心,安全设计则是贯穿全流程的核心准则,二者存在目标统一性。核心在于将安全理念融入结构、动力传动、控制等设计环节,通过结构优化、系统防护、环境适配及智能防控等路径,实现性能提升与安全保障的双向赋能。研究旨在明确二者协同内涵,梳理设计核心要素与安全设计关键维度,为现代工程机械设计中风险防控与性能协同提供思路。

关键词: 工程机械设计; 安全设计; 结构优化; 性能协同; 风险防控

引言: 工程机械在各类工程场景应用广泛,设计质量影响作业效能与运行安全。工程场景复杂化使设计综合要求提高,单纯追求效能的设计难满足需求,安全设计价值凸显。厘清工程机械设计与安全设计的协同逻辑,明确核心要素与实施路径,对提升装备性能、规避风险很关键,下文将展开探讨。

1 工程机械设计与安全设计的协同内涵

工程机械设计以实现作业功能、提升运行效能为核心目标,涵盖结构设计、动力系统设计、传动系统设计等多个维度,而安全设计并非独立于常规设计的环节,而是贯穿设计全流程的核心准则。两者的协同性体现在设计目标的统一性上,即通过科学的设计方案,在保障装备作业性能的基础上,最大限度规避运行风险。脱离安全设计的机械设计,即便作业效能再高,也难以满足实际作业的安全需求;而脱离机械设计基础的安全设计,则会陷入形式化误区,无法发挥实际防护作用。在设计全流程中,需将安全理念融入结构选型、参数匹配、系统集成等各个环节,实现性能提升与安全保障的双向赋能,这也是现代工程机械设计的核心要求^[1]。

2 工程机械设计的核心要素与技术逻辑

2.1 设计目标的精准定位

工程机械的类型多样,涵盖挖掘机、装载机、起重机、压路机等多个品类,不同品类的作业场景与功能需求存在显著差异,因此设计目标的精准定位是工程机械设计的首要环节。设计前期需全面梳理装备的作业对象、作业强度、作业环境等核心需求,明确装备的额定负载、作业范围、运行速度等关键参数。例如,针对矿山作业的工程机械,需重点考量重载工况下的结构承载能力;针对高原地区作业的装备,则需关注动力系统的高原适应性。设计目标的精准定位,能够为后续结构设计、系统选型提供明确方向,避免因设计偏差导致性能不足或安

全隐患。

2.2 结构设计的合理性构建

在结构设计过程中,需基于材料力学、结构力学等理论基础,开展结构选型与优化设计。首先,需合理选择结构材料,根据装备的作业工况,选用强度、韧性、耐磨性符合要求的材料,确保结构能够承受作业过程中的载荷冲击。其次,需优化结构形态设计,通过合理的结构布局,降低应力集中现象,提升结构的整体承载性能。例如,在工程机械的臂架结构设计中,采用变截面设计能够有效提升结构的抗疲劳性能;在底盘结构设计中,优化车架的受力分布,可增强装备的运行稳定性。此外,结构设计还需考量轻量化需求,在保障结构强度的前提下,通过材料优化与结构简化,降低装备自重,提升动力系统的运行效率^[2]。

2.3 动力与传动系统设计

动力系统是工程机械的“心脏”,传动系统是实现动力传输的核心载体,两者的设计质量直接决定装备的作业效能与运行稳定性。动力系统设计需根据装备的作业需求,合理选择发动机类型与参数,确保动力输出能够满足作业负载需求。同时,需优化动力系统的燃油经济性与排放性能,提升装备的环保性与运行经济性。传动系统设计需实现动力的高效传输,降低能量损耗,常见的传动方式包括机械传动、液压传动、气动传动等,需根据装备的作业特性选择合适的传动方式。例如,液压传动具有传动平稳、负载能力强的特点,广泛应用于挖掘机、装载机等装备;机械传动则具有传动效率高、结构简单的优势,适用于轻载工况的工程机械。在设计过程中,需重点考量动力与传动系统的匹配性,通过合理的参数设计,确保动力传输的顺畅性与稳定性。

2.4 控制系统设计的精准性优化

控制系统设计需基于作业需求,构建精准的控制逻

辑,实现对装备作业动作的精准调控。例如,在起重机的控制系统设计中,需实现对起升、变幅、回转等动作的协同控制,确保作业过程的平稳性与安全性;在挖掘机的控制系统设计中,需优化操作手柄与执行机构的联动响应速度,提升作业效率。同时,控制系统设计还需考量操作的人性化需求,优化操作界面布局,降低操作人员的劳动强度。此外,随着智能化技术的融入,可在控制系统中增设状态监测模块,实时反馈装备的运行状态,为后续的维护保养与安全防护提供数据支撑。

3 工程机械安全设计的关键维度与实施路径

3.1 结构安全设计:筑牢安全基础

(1) 需要开展全面的载荷分析,结合装备的作业工况,梳理结构可能承受的静载荷、动载荷、冲击载荷等各类载荷,基于载荷分析结果开展结构强度校核。通过有限元分析等技术手段,对结构的应力分布进行精准模拟,识别结构的薄弱环节,针对性地开展优化设计。例如,在工程机械的臂架、车架等核心承载结构设计中,需通过强化薄弱部位的材料厚度、优化结构形态等方式,提升结构的强度储备。(2) 需要强化结构的抗疲劳设计,工程机械在长期作业过程中,结构会受到周期性载荷的作用,易引发疲劳损伤,因此需在设计中选用抗疲劳性能优良的材料,优化结构的受力分布,降低周期性载荷对结构的影响。同时,需合理设计结构的连接部位,采用高强度的连接螺栓与可靠的连接方式,确保连接部位的稳定性,避免因连接失效导致结构解体。(3) 针对工程机械作业过程中可能出现的倾翻风险,需优化结构的稳定性设计,通过合理的心重布局、加宽底盘跨度等方式,提升装备的抗倾翻能力。例如,在装载机的设计中,可通过优化前后桥的载荷分布、加宽轮距等方式,提升装备在作业过程中的稳定性;在起重机的设计中,需根据作业幅度与载荷的匹配关系,设计合理的支腿结构,增强装备的支撑稳定性^[3]。

3.2 系统安全设计:保障运行稳定

(1) 需要强化动力系统的安全设计,动力系统故障可能导致装备动力中断或失控,因此需在设计中增设冗余保护装置。例如,在发动机设计中,可增设过载保护模块,当发动机负载超过额定值时,自动降低输出功率,避免发动机因过载损坏;在液压系统设计中,需增设溢流阀、安全阀等压力保护装置,当系统压力超过设定阈值时,自动泄压,避免液压管路因超压破裂。(2) 优化传动系统的安全设计,传动系统的失效可能导致动力传输中断或作业动作失控,因此需在设计中强化传动部件的可靠性。例如,在齿轮传动设计中,需优化齿轮的模

数与齿形,提升齿轮的承载能力与耐磨性;在链条传动设计中,需增设张紧装置与防脱链装置,确保链条传动的稳定性。同时,需在传动系统中增设制动装置,例如,在工程机械的行走系统设计中,需配备可靠的行车制动与驻车制动装置,确保装备能够在作业过程中随时实现制动,规避滑行风险。(3) 控制系统的安全设计需强化控制逻辑的可靠性,增设故障诊断与容错机制。当控制系统出现故障时,容错机制能够确保装备不会出现误动作,故障诊断模块能够及时识别故障类型与位置,并通过报警装置反馈给操作人员,为故障处理提供指导。例如,在控制系统设计中,可采用双重冗余的控制逻辑,当主控制模块出现故障时,备用控制模块能够自动切换,保障装备的基本作业功能与安全防护功能正常运行。

3.3 防护安全设计:规避直接风险

(1) 针对工程机械的运动部件设置防护装置,例如,在齿轮、链条、皮带等传动部件外部设置封闭的防护罩,防止操作人员肢体卷入;在起重机的起升机构、变幅机构等运动部位设置防护栏,避免人员靠近引发危险。防护装置的设计需满足强度要求,能够承受作业过程中的碰撞与冲击,同时需具备便于维护保养的特性,不影响装备的正常检修。(2) 优化作业平台的安全设计,工程机械的作业平台是操作人员的主要工作区域,需设置可靠的防护栏杆,栏杆高度与间距需符合安全设计要求,防止人员坠落。同时,作业平台的表面需采用防滑设计,铺设防滑垫或设置防滑纹路,避免人员在作业过程中滑倒。(3) 针对高空作业的工程机械,需设置可靠的登机梯与扶手,保障操作人员上下作业平台的安全。再次,需考虑作业过程中的物体打击防护,在工程机械的作业区域上方设置防护棚或防护网,防止高空坠物砸伤操作人员。例如,在起重机的驾驶室上方设置防护棚,在装载机的铲斗作业区域周围设置防护网。(4) 优化驾驶室的安全设计,驾驶室作为操作人员的核心防护空间,需采用高强度的驾驶室结构,具备抗冲击、抗坠落的防护能力。驾驶室内需设置安全座椅与安全带,座椅的设计需具备减震功能,降低作业过程中振动对操作人员的影响;安全带需采用三点式或五点式设计,确保固定的可靠性。(5) 驾驶室的车窗需采用钢化玻璃或防弹玻璃,具备良好的抗冲击性能,同时需设置雨刮器、遮阳板等辅助装置,保障操作人员的视野清晰^[4]。

3.4 环境适应性安全设计:应对复杂工况

(1) 针对高原环境的适应性设计,高原地区气压低、氧气稀薄,易导致发动机动力下降、燃烧不充分,因此需优化发动机的进气系统,增设增压装置,提升发动机

的进气效率；同时，需强化液压系统的密封性能，避免因气压变化导致液压油泄漏。（2）针对高寒环境的适应性设计，高寒地区低温易导致液压油、润滑油黏度增大，影响系统运行，因此需选用低温性能优良的液压油与润滑油，在关键系统中增设加热装置，确保装备在低温环境下能够正常启动与运行；同时，需强化装备的防冻性能，优化水箱、油路的保温设计，避免冻裂现象。（3）针对高温环境的适应性设计，高温环境易导致发动机过热、液压系统油温升高，因此需优化冷却系统设计，增大散热器的散热面积，提升冷却效率；同时，需选用耐高温的材料与密封件，避免因高温老化导致部件失效。（4）针对多尘环境的适应性设计，需强化空气滤清器的过滤性能，增设防尘罩与密封装置，防止灰尘进入发动机、液压系统等核心部件，规避部件磨损引发的安全风险。

3.5 智能安全设计：提升防控效能

（1）需要构建全面的状态监测系统，在工程机械的核心部件与关键系统中布设传感器，实时采集结构应力、油温、油压、发动机转速等运行参数。通过数据传输模块将监测数据传输至控制中心，利用数据分析算法对数据进行处理，识别装备运行过程中的异常状态。例如，当监测到结构应力超过设定阈值时，系统能够及时发出预警信号，提醒操作人员停机检查；当监测到液压系统油温过高时，自动启动冷却系统强化散热。（2）需要增设主动安全防控装置，基于状态监测数据与作业环境信息，实现对安全风险的主动干预。例如，在起重机的作业过程中，智能安全系统能够根据作业幅度、载荷重量等参数，自动计算安全作业范围，当操作人员的操作超出安全范

围时，系统能够自动限制作业动作，避免超载或超幅作业引发的倾翻风险；在挖掘机的作业过程中，当监测到作业区域内有人员靠近时，系统能够自动降低作业动作速度，并发出声光报警，提醒人员远离危险区域。（3）可融入远程监控与应急响应功能，通过远程通信技术，实现对工程机械运行状态的远程监测。当装备出现严重安全隐患时，远程监控中心能够及时发出应急指令，指导操作人员开展应急处理，甚至实现对装备的远程停机控制，最大限度降低安全事故的损失^[5]。

结语：工程机械设计与安全设计协同融合是现代装备设计核心，二者相辅相成。科学构建结构等设计要素是安全基础，结构安全等路径为效能发挥提供保障。将安全理念融入设计全流程，能实现性能提升与风险规避。未来要持续强化二者协同逻辑，推动技术优化，助力工程机械领域达成安全与效能的统筹发展。

参考文献

- [1]陈茂宏,毛荣欢,樊金宝.工程机械产品结构设计与优化研究[J].工程机械,2025,56(7):150-154+I0007,I0008.
- [2]张扬,季永义.巨型工程机械子午线轮胎成型机多功能定型鼓操作平台的设计与应用[J].橡胶科技,2025,23(9):524-527.
- [3]罗斌.工程机械快换装置结构与仿真[J].一重技术,2025(2):70-72+76.
- [4]闫亚宾,白扬,李磊.基于模型的工程机械安全控制研究与应用[J].机械工程与自动化,2023(6):78-80.
- [5]朱伟伟.基于ZigBee的工程机械安全防护系统设计[J].国外电子测量技术,2022,41(2):78-83.