

机电类特种设备质量检验的技术探讨

黄志强

内蒙古自治区特种设备检验研究院通辽分院 内蒙古 通辽 028000

摘要：机电类特种设备质量检验涉及多方面技术与流程。检验技术包含无损检测、力学性能测试等多类，关键参数确定需结合设备特性与标准。核心流程涵盖设计、制造、安装调试及使用阶段的检验。先进技术如智能化检测、数字化与虚拟化技术及多技术融合体系，提升了检验效率与精度。技术选型需遵循适用性、经济性等原则，以保障设备安全稳定运行，为特种设备质量管控提供全面技术支撑。

关键词：机电类特种设备；质量检验；无损检测；技术流程；先进技术

引言：机电类特种设备在生产生活中应用广泛，其质量安全直接关系到运行稳定性与操作安全性。质量检验作为保障其安全的关键环节，需依托多样技术方法与规范流程。不同设备结构、运行环境及失效模式，对检验技术提出差异化要求。随着技术发展，传统检验方式不断升级，智能化、数字化等先进技术逐渐融入，推动检验体系向更高效、精准方向发展。明确检验技术基础、核心流程及先进方法，对提升特种设备质量检验水平具有重要意义。

1 机电类特种设备质量检验的技术基础

1.1 检验技术分类

无损检测技术包含超声射线磁粉渗透等方式，可在不损伤设备结构前提下探查内部缺陷。超声技术通过声波反射判断材料内部是否存在裂纹或空洞，射线技术借助穿透能力显示材料内部密度差异，磁粉技术利用磁场吸附特性显现铁磁性材料表面的细微裂纹，渗透技术则通过液体渗透作用揭示表面开口缺陷^[1]。力学性能测试聚焦材料强度疲劳寿命等方面，通过模拟设备运行时的受力状态，评估材料在长期载荷作用下的耐受能力。材料强度测试关注结构在极限载荷下的抗断裂能力，疲劳寿命测试考察设备在反复载荷作用下的耐久性，确保设备在设计使用周期内不会因材料疲劳发生失效。电气系统检测涉及绝缘性能控制逻辑安全回路等内容，绝缘性能测试通过测量电阻值判断电气部件的绝缘状态，防止漏电或短路风险。控制逻辑检测验证设备运行程序的合理性，确保各部件动作协调一致。安全回路检测检查紧急停止等保护机制的有效性，保障异常情况下设备能及时停机。液压与气动系统检测着重密封性压力稳定性等指标，密封性检测通过压力保持试验查找泄漏点，避免因流体泄漏影响系统性能。压力稳定性检测监测系统在不同工况下的压力波动，确保动力输出持续稳定。

1.2 关键技术参数与标准

国际标准如ISO/IEC等与行业规范在技术要求上存在差异，国际标准侧重通用性和兼容性，适用于全球范围内的设备贸易和协作。行业规范则更贴合特定领域的实际需求，对某些细节作出更具体的规定。核心参数的确定需结合设备用途和运行环境，载荷参数依据设备承载对象的重量分布和运动方式确定，速度参数根据设备运行效率和安全要求设定，制动距离参数则与设备运行速度和惯性相关联。这些参数的确定需综合考虑设备结构特性和使用场景，通过理论计算和实际工况模拟逐步调整优化，使参数值既满足运行需求又符合安全准则。不同类型的设备对参数的侧重点不同，起重设备更关注载荷和制动性能，输送设备则对速度和运行平稳性有更高要求。

1.3 检验技术选型原则

适用性原则要求根据设备类型运行环境及失效模式选择匹配技术，高温环境下优先选用红外热成像而非超声检测，因高温可能影响超声波的传播特性。腐蚀性环境中需避免使用易受腐蚀影响的检测设备，防止因设备损坏导致检测结果偏差。经济性原则强调平衡检测成本与效益，避免过度检测，低风险部件可简化检测流程，减少不必要的资源投入。高风险部件需保证检测的全面性，通过精准检测降低故障发生概率，间接控制潜在损失。可操作性原则需考虑现场条件对技术实施的限制，狭窄空间对射线检测设备的尺寸有特定要求，需选用小型化设备以适应操作环境。潮湿环境中需确保电气检测设备具备相应的防护能力，避免因环境因素影响检测过程。前瞻性原则要求预留技术升级空间，兼容未来智能化改造需求，传感器接口的标准化设计可方便后续增加检测点位，数据传输协议的通用性有助于与未来的智能管理系统对接，使现有检测体系能逐步融入更先进的技术。

术框架。

2 机电类特种设备质量检验的核心流程

2.1 设计阶段检验

设计文件的合规性审查涵盖结构合理性安全冗余设计等内容。结构合理性审查需考察设备整体布局是否符合力学原理,各部件连接方式是否能承受预期载荷,避免因结构失衡导致局部应力集中。安全冗余设计审查关注关键部件是否具备备用功能,当主系统出现故障时,冗余部分能否及时启动,防止设备突然失效引发风险^[2]。设计文件还需审查材料选择是否匹配设备工作环境,如高温环境下需确认材料的耐热性能,腐蚀性环境中需验证材料的抗腐蚀能力。仿真分析与验证包含有限元分析运动学模拟等手段。有限元分析将设备结构分解为多个单元,通过计算各单元在不同工况下的受力状态,预测整体结构的变形趋势,提前发现潜在的结构弱点。运动学模拟通过数字化模型再现设备运行轨迹,观察各部件运动时的协调性,判断是否存在卡顿或干涉现象,优化运动参数以提升运行流畅度。仿真过程中需模拟极端工况下的设备反应,如突然加载或紧急制动时的结构稳定性,确保设计方案具备应对突发状况的能力。

2.2 制造阶段检验

原材料与零部件的入厂检测涉及化学成分机械性能等项目。化学成分检测通过分析材料的元素组成,确认其是否符合设计要求,防止因成分偏差影响材料性能。机械性能检测评估材料的硬度韧性等指标,确保原材料在加工和使用过程中能保持稳定的力学特性。零部件入厂时需核对尺寸精度和表面质量,剔除存在裂纹或变形的部件,从源头控制制造质量。对于密封件等易损部件,需检查其老化性能是否符合使用周期要求。加工工艺监控包括焊接质量热处理效果等方面。焊接质量监控需检查焊缝成形是否均匀,熔深是否达到标准,避免因焊接缺陷导致结构强度下降。热处理效果监控通过测量材料硬度变化,判断加热和冷却过程是否符合工艺规范,确保材料经过处理后获得预期的力学性能。加工过程中需实时监测切削参数和成型精度,防止因工艺波动造成零部件尺寸超差。表面处理工艺监控需检查镀层厚度和附着强度,避免后期使用中出现镀层脱落。装配过程检验注重尺寸公差配合间隙等细节。尺寸公差检验使用精密量具测量装配后的关键部位尺寸,确保其在设计允许范围内,保证设备运行时的稳定性。配合间隙检验关注运动部件之间的间隙大小,间隙过大会导致运行晃动,间隙过小则可能引发摩擦过热,需通过调整达到最佳配合状态。装配完成后需检查各连接部位的紧固程

度,防止设备运行中出现松动。装配过程还需验证管路走向是否合理,避免管路相互挤压或与其他部件摩擦。

2.3 安装与调试阶段检验

安装环境评估包含基础强度空间布局等要素。基础强度评估需检测安装基础的承载能力,判断其是否能支撑设备自重及运行时产生的附加载荷,避免因基础沉降影响设备精度。空间布局评估考察设备与周边环境的距离是否合理,预留的操作和维护空间是否充足,确保安装后不影响设备正常运行和后期检修。安装环境还需评估温度湿度等条件,如电气设备需远离潮湿区域,精密机械需避免强光直射。系统联调测试涉及电气连锁机械同步性等内容。电气连锁测试验证各电气部件之间的联动关系,当某个部件出现异常时,相关联的部件能否按预设程序做出反应,保证系统运行逻辑准确无误。机械同步性测试检查多组运动部件的动作协调性,如传动机构的转速比是否一致,执行部件的动作时间是否同步,通过调整使机械系统整体运行协调。联调过程中需测试设备在不同负载下的运行状态,观察速度和动力输出是否保持稳定。

2.4 使用阶段检验

定期检验与状态监测包括振动分析油液检测等方法。振动分析通过采集设备运行时的振动信号,判断振动频率和振幅是否在正常范围,异常振动可能预示轴承磨损或部件松动。油液检测通过观察油液的颜色和黏度变化,分析其中的杂质含量,评估润滑系统的工作状态,及时更换变质油液以减少部件磨损。定期检验还需检查安全附件的完好性,确保限位开关和安全阀等装置功能正常。定期检验需关注设备外观变化,如结构件是否出现锈蚀或变形,连接部位是否有渗漏痕迹。故障诊断与预测性维护依托基于大数据的异常识别技术。通过收集设备长期运行的各项参数,建立正常运行时的参数模型,当实时监测数据偏离模型范围时,识别出可能存在的故障隐患^[3]。预测性维护根据设备运行状态趋势,提前规划维护时间和内容,避免传统定期维护可能造成的过度检修或维护不足,在保障设备安全的同时提高运行效率。故障诊断需结合设备结构和运行原理,从异常现象入手追溯问题根源,制定针对性的修复方案,减少故障重复出现的可能。故障诊断过程中需关联历史维护记录,分析同类故障的发生规律,为预防类似问题提供依据。

3 机电类特种设备质量检验的先进方法

3.1 智能化检测技术

传感器网络与物联网的应用体现在设备关键部位布设多种类型传感器,实时采集温度压力振动等运行参

数。这些传感器通过无线传输方式将数据汇聚至中枢系统,形成对设备整体状态的动态感知。传感器网络可覆盖设备难以直接接触的区域,突破传统检测在空间上的限制,使隐蔽部位的状态变化也能被捕捉。物联网技术实现传感器数据与管理平台的无缝对接,支持数据的实时共享和远程访问,为检验工作提供连续且全面的信息支撑。机器视觉在表面缺陷检测中的实践借助高清摄像头和图像处理算法,对设备表面进行高速扫描。通过对图像的灰度对比和纹理分析,识别出划痕凹陷等细微缺陷。机器视觉可适应不同材质和光照条件,通过预设的缺陷特征库,自动区分正常纹理与异常痕迹。检测过程中无需与设备表面接触,避免因检验操作对设备造成二次损伤,同时提高表面缺陷检测的效率和一致性。

3.2 数字化与虚拟化技术

数字孪生技术在设备全生命周期管理中的作用表现为构建与实体设备完全对应的虚拟模型。虚拟模型会随着实体设备的运行实时更新状态参数,映射出设备的磨损老化等变化。在设计阶段,虚拟模型可模拟不同工况下的设备反应,优化结构设计;在制造阶段,虚拟模型与生产数据同步,监控加工过程的偏差;在使用阶段,虚拟模型根据实时数据预测可能出现的故障,为维护提供精准指引。数字孪生技术使设备的状态变化可追溯可预测,实现从设计到报废的全流程数字化管理。虚拟现实辅助的远程检验与培训通过构建设备的三维虚拟场景,使检验人员无需到达现场即可完成对设备的虚拟巡检。虚拟场景还原设备的内部结构和运行细节,检验人员可通过交互操作观察设备各部件的状态。在培训中,虚拟现实技术模拟各种故障场景,让学员在虚拟环境中练习检验流程和故障处理方法,熟悉不同设备的检验要点。远程检验可解决设备分布分散或现场环境复杂带来的检验困难,培训过程则能降低实际操作的风险。

3.3 多技术融合的综合检验体系

无损检测与人工智能的结合体现在自动缺陷识别方面。人工智能算法对大量无损检测图像进行学习,掌握不同类型缺陷的特征模式^[4]。在实际检测中,算法可快速处理超声射线等技术生成的图像,自动标记出疑似缺陷

区域,并判断缺陷的类型和严重程度。这种结合减少人工判读的主观性,使缺陷识别更加客观一致,同时加快检测数据的处理速度,缩短检验周期。声发射技术与振动分析的联合诊断通过两种技术的互补实现对设备内部状态的全面评估。声发射技术捕捉材料内部因缺陷活动产生的应力波,判断缺陷的活动性;振动分析通过设备运行时的振动特征,评估部件的磨损和装配状态。将两种技术的检测结果相互印证,可区分由材料内部缺陷引起的异常与由外部装配问题导致的故障,提高诊断的准确性。联合诊断适用于复杂设备的故障排查,能更精准地定位问题根源,为修复方案提供可靠依据。多技术融合还体现在不同检测手段的协同应用。例如将红外热成像与电气检测结合,通过设备表面温度分布异常辅助判断电气回路的接触不良问题;将超声检测与磁粉检测结合,全面评估材料内部和表面的缺陷状况。综合检验体系打破单一技术的局限性,通过技术间的相互补充和验证,提升对设备状态评估的全面性和可靠性,适应复杂特种设备的检验需求。

结束语

机电类特种设备质量检验是一项系统性工作,涉及技术基础、核心流程及先进方法等多个维度。从检验技术分类与选型,到各阶段检验流程的实施,再到先进技术的融合应用,共同构成了完整的检验体系。这些技术与流程的有效结合,为特种设备安全运行提供了坚实保障。随着技术的持续进步,未来特种设备质量检验将更加智能化、精准化,不断适应设备发展与安全需求,为特种设备行业的健康发展奠定基础。

参考文献

- [1]刘陆,赵佳萱,徐治中.机电类特种设备质量检验的技术探讨[J].机械工业标准化与质量,2024(4):17-20.
- [2]杨奎丰.机电类特种设备钢丝绳检测中无损检测技术的应用[J].商品与质量,2023(16):69-72.
- [3]曹喜平.机电类特种设备的质量检验和管理研究[J].中国设备工程,2024(15):190-192.
- [4]陈艾珂.特种设备检验检测机构仪器信息化管理[J].设备管理与维修,2023(18):9-11.