

面向机电产品的耐老化龙骨连接技术研究

马耀魁

浙江格兰电气有限公司 浙江嘉兴 314000

【摘要】机电产品应用场景复杂多变，结构部件耐老化性能影响可靠性，开展耐老化龙骨连接技术研究，筛选高性能材料，创新连接结构，优化工艺参数，经模拟试验验证技术可行，采用复合材料与新型连接结构，机电产品复杂环境使用寿命延长，故障风险降低，这项技术提升机电产品全生命周期稳定性，推动产业升级意义重大。

【关键词】机电产品；耐老化；龙骨连接；材料优化；结构创新

Research on aging resistant keel connection technology for electromechanical products

Ma Yaokui

Zhejiang Gran Electric Co., LTD. Zhejiang Jiaxing 314000

【Abstract】 The application scenarios of electromechanical products are complex and varied. The aging resistance of structural components affects reliability. Research on aging-resistant keel connection technology involves selecting high-performance materials, innovating connection structures, and optimizing process parameters. Simulation tests have verified the technical feasibility. By using composite materials and new connection structures, the service life of electromechanical products in complex environments is extended, and the risk of failure is reduced. This technology enhances the stability of electromechanical products throughout their lifecycle and is significant for promoting industrial upgrading.

【Key words】 mechanical and electrical products; aging resistance; keel connection; material optimization; structural innovation

引言

“双碳”目标与智能制造发展，机电产品要高性能且长寿命，龙骨连接是机电产品核心结构，耐老化性能关乎设备运行安全，材料老化、结构设计不佳、工艺参数不合理，让连接部位在复杂环境易失效。从材料、结构、工艺协同优化入手，打破传统技术局限，研发新型耐老化龙骨连接技术，对提升机电产品可靠性、减少维护成本、促进行业高质量发展有现实需求与创新价值。

作难度。连接结构设计环节，机电产品外观形状各不相同，小型机电设备对连接结构要求紧凑且传力高效，大型机电设备须具备抵抗强烈震动能力，复杂外形设备更要同时考虑强度与安装便捷性，这些都给结构创新工作增添难题^[1]。连接质量稳定层面，温湿度变化影响不容小觑，温度循环致使龙骨和连接件热胀冷缩节奏不一，产生热应力导致松动，湿度变化会引发金属腐蚀、非金属变形，在温湿度频繁波动区域，连接部位常出现位移、振动异常情况，严重威胁机电产品运行安全。

一、机电产品耐老化龙骨连接技术面临的难题

材料领域，金属龙骨与非金属龙骨老化特征复杂难测，金属龙骨在潮湿环境里，发生电化学腐蚀现象，高温工况下，强度和硬度出现下降；非金属龙骨受紫外线照射，化学键断裂，不同材料老化进程存在明显差异，加剧了选材与防护工

二、耐老化龙骨连接技术关键要素研究

（一）龙骨材料筛选与优化

金属材料里，不锈钢因铬、镍等合金元素，表面形成致密氧化膜增强耐腐蚀性，适合高湿度、强酸碱恶劣环境，铝合金凭借低密度和高比强度减轻机电产品重量，经阳极氧化

等表面处理,耐老化性能得以增强,在航空航天等对重量要求高的机电领域大量应用。非金属材料中,纤维增强复合材料像碳纤维增强塑料(CFRP),比强度出色、抗疲劳良好、耐化学腐蚀卓越,CFRP老化性能取决于纤维与基体界面结合力、纤维耐环境能力及基体耐候性,优化材料性能,金属可通过合金化、加微量元素实现,复合材料能改进纤维与基体界面处理工艺,提升载荷传递效率,增强整体耐老化性能。

(二) 连接结构创新设计

榫卯螺栓复合连接结构,榫卯部分凭借凹凸契合形态,实现初始精准定位与高效传力,契合众多对空间布局要求严苛的机电产品安装需求,其依靠榫头榫眼紧密咬合,可有效抵御剪切作用力与部分拉伸应力,后续螺栓介入,进一步强化连接稳固程度,当承受动态荷载时,榫卯结构发挥缓冲特性吸收振动能量,螺栓则保障连接部位始终处于紧固状态^[2]。该结构优势突出,对比传统单一螺栓连接方式,在狭小空间内实现稳固连接的同时,极大提升空间利用率;相较于单纯榫卯结构,其承载强度大幅提升,能够从容应对各类复杂受力状况,尤其适用于电子设备内部龙骨连接场景,针对大型振动设备研发的弹性阻尼连接结构,于连接关键部位嵌入特制弹性阻尼材料,利用该材料粘弹性特质,将震动产生的机械能转化为热能予以耗散,显著削弱震动传递效应,切实提升设备在震动环境下连接可靠性,有效降低疲劳损伤发生概率。

(三) 连接工艺参数确定

焊接工艺里,焊接电流、电压与速度是核心要素。焊接电流过高,焊缝出现过热情况,热影响区域的金属组织变得粗大,直接致使材料耐腐蚀性减弱,力学性能也随之降低;焊接电压不稳定,焊缝成型会出现问题,产生气孔、夹渣等缺陷,这些缺陷如同通道,让腐蚀介质轻易侵入,加快老化进程。只有合理把控焊接速度,才能使焊缝金属充分熔合,保证热输入处于合适范围,研究发现,在对不锈钢龙骨进行氩弧焊连接时,当焊接电流控制在100-120A,电压维持在18-20V,焊接速度保持在80-100mm/min,能收获良好的焊缝质量,提升耐老化性能,铆接工艺中,铆钉直径、长度以及铆接压力,对铆接接头强度和密封性影响显著。铆钉直径若过小,连接强度无法满足要求;长度不合适,铆接效果难以保证,唯有恰当的铆接压力,能让铆钉充分变形,填满连接缝隙,增强耐老化能力。螺栓连接时,预紧力大小极为关键,预紧力过小,螺栓容易松动;预紧力过大,则可能导致

螺栓拉伸变形甚至断裂,通过大量实验结合理论计算,确定适配不同机电产品龙骨连接的最佳工艺参数组合,切实增强连接耐老化性能。

三、耐老化龙骨连接技术的实践应用

(一) 模拟试验验证

多因素耦合加速老化用于试验,借环境试验箱模拟高温、低温、高湿度、盐雾等单一或复合环境,联合振动台模拟动态载荷工况,按机电产品实际运行参数,设环境试验箱温度-40℃至80℃、相对湿度20%-95%、盐雾浓度5%NaCl溶液,振动台频率10-200Hz、加速度0.5-5g。把装耐老化龙骨连接结构的试件放试验箱,开展周期性循环试验,每个循环含环境暴露与振动加载,定期取出试件,用金相显微镜、电子万能试验机检测连接部位微观组织、力学性能,航空航天设备高空环境模拟试验,经500小时高低温循环和振动加载,榫卯-螺栓复合连接结构试件连接部位位移变0.03mm,表明此结构在极端环境稳定性良好。

(二) 实际应用场景适配

在工业机械设备范畴,诸多案例彰显龙骨连接的关键意义与多样方式,大型注塑机,其脱模机构需承受巨大合模力,选用高强度合金钢作为龙骨材料,搭配多层焊接工艺,将各连接部位牢固焊合,同时在关键应力集中处增设三角形加强筋,有效提升抗疲劳性能,保障设备长期稳定运行,历经多年高强度生产,龙骨连接部位依然牢固如初。起重机领域,桥架龙骨作为主要承载结构,采用优质低碳合金钢,运用埋弧焊工艺,保证焊缝质量与强度,在桥架与支腿连接位置,设计特殊的榫卯式结构配合高强螺栓紧固,既增强连接刚性,又方便安装拆卸,适应不同工况下的频繁起吊作业,大幅降低维修频次,提高工作效率^[3]。再看大型通风设备,风机外壳龙骨选用耐腐蚀合金钢,考虑到运行时的振动与气流冲击,连接部位采用焊接与铆接相结合的方式,先以焊接奠定基础强度,再用铆钉进一步固定,防止焊缝在长期振动下开裂,并且在连接处增加橡胶减震垫,减少振动传递,提升设备运行稳定性,确保在复杂工业环境中能持续可靠运转。

(三) 质量控制与保障措施

材料进场时,用光谱分析仪测金属材料成分,红外光谱仪分析复合材料分子结构,确保材料耐老化达标,加工时,

焊接机器人精准控制电流、电压等参数,视觉检测系统实时监测铆接质量,螺栓预紧力用扭矩-转角双控法校准。使用中,定期维护,用超声相控阵检测技术对连接部位无损探伤,监测裂纹萌生扩展;易老化区域喷涂自修复防腐涂层,涂层破损时微胶囊释放修复剂补缺陷,建质量追溯系统,记录原材料采购、加工工艺到装配使用全流程数据,快速定位处理问题,确保耐老化龙骨连接全生命周期性能稳定。

四、耐老化龙骨连接技术成果评估与推广

(一) 技术成果优势分析

材料领域,高性能不锈钢和碳纤维增强复合材料应用,显著延长龙骨在盐雾、酸碱等腐蚀环境失效时间,不锈钢耐蚀周期是传统钢材 5 倍,有效防护连接部位受环境侵蚀,复合材料因低疲劳特性,将航空航天设备结构寿命从 15 年提升至 25 年多。连接结构上,榫卯-螺栓复合结构与弹性阻尼连接技术,经工业设备 1000 小时连续振动测试,连接部位位移量控制在 0.1mm 内,极大减少因松动引发设备故障风险,工艺优化确保连接部位微观结构稳定,焊接接头抗热疲劳性能增强,温度循环试验里连接部位无明显裂纹扩展,有效延长机电产品全生命周期,设备维护频次降低超三分之二,大幅提高运行可靠性。

(二) 推广应用面临的挑战

技术领域,航空航天、电子、工业机械等行业耐老化标准差异显著,航空航天要求连接部件在-60℃-120℃极端温度及强辐射环境下,20 年以上性能稳定;民用电子设备只需在常规温湿度环境满足 5-10 年使用,致使技术参数难以统一适配,中小企业异种材料连接工艺经验匮乏,复合材料与金属界面处理技术难度大,设备短缺且技术人才不足,限制其应用^[4]。成本方面,高性能材料价格昂贵,碳纤维增强复合材料单价是普通钢材 5 倍,精密加工设备采购超千万元,自修复涂层等新型工艺使单件生产成本增加近五分之一,产品售价提高,市场竞争力下降,市场上,企业对传统连接技术依赖严重,对耐老化技术长期经济效益认识不足,技术转化需 3-5 年,行业技术壁垒阻碍推广。

(三) 应对策略与建议

行业协会牵头制定基础共性标准,确定耐老化性能核心指标,也给企业留定制参数空间,借助产学研合作成立区域技术共享中心,为中小企业开展复合材料连接工艺培训,提供设备租赁服务,成本管控上,组织行业联合采购高性能材料,构建可回收复合材料循环体系来压低成本;运用模块化设计减少设备改造支出,借数字孪生技术模拟工艺、优化参数,降低研发试错花费。市场推广时,选典型场景打造示范工程,像在大型工业设备中展现耐老化连接技术让设备寿命增长一倍、维护成本降低一半的成效,政府通过专项补贴、税收减免等政策鼓励企业用新技术,搭建技术交易平台推动成果快速转化,将技术推广周期缩至 1-2 年,加快技术产业化步伐。

结语

耐老化龙骨连接技术经材料筛选改良、连接结构革新和工艺参数把控,解决机电产品复杂环境老化失效难题,模拟试验证实技术可行可靠,于各类场景延长产品寿命、降低故障风险。虽推广遇技术适配和成本难题,但靠统一标准、协同创新与政策鼓励,能加快技术应用,这项技术对提升机电产品可靠性、推动产业绿色高质量发展意义重大,或成为行业技术升级的关键力量。

参考文献

- [1]赵更歧,贺黎博,赵会丽,等.轻钢龙骨防火组合楼板梁板节点连接试验研究[J].工程抗震与加固改造,2024,46(05):37-43.
 - [2]苗纪奎,孙飞,单后壮,等.轻钢龙骨复合墙板研究进展[J].新型建筑材料,2024,51(09):61-68.
 - [3]陈逢杜.一种新型墙面板龙骨架施工技术的应用[J].福建建材,2024,(03):98-100.
 - [4]李立波,左林涛,卢久立,等.外墙龙骨、吊车梁与钢结构连接创新施工技术应用[J].建筑技术,2023,54(17):2103-2105.
- 作者简介:马耀魁,出生年月:1981.09.09,男,汉族,籍贯:陕西省富平县,学历:本科,职称:工程师,研究方向:机电设计开发。