

建筑钢结构检测及损伤分析

刘效廷

北京诚宇阳建设工程检测有限公司 北京 100010

摘要: 建筑钢结构在建筑工程中应用广泛,其安全性与稳定性至关重要。本文详细阐述建筑钢结构检测技术体系,涵盖材料性能、连接部位、构件尺寸偏差及表面缺陷检测技术。分析钢结构损伤类型及形成机理,包括材料本身、连接部位、构件受力及环境因素引发的损伤。探讨损伤识别方法,如基于外观、物理特性、信号分析的识别方法及识别流程。提出损伤防控与处理思路,包括预防技术、处理原则、技术路径及后续维护要点,为建筑钢结构安全运行提供保障。

关键词: 建筑钢结构;检测技术;损伤分析;防控处理

引言:随着建筑行业的持续发展,建筑钢结构凭借强度高、自重轻、施工快等优势,在各类建筑工程中得到广泛应用。然而,钢结构在生产、加工、使用过程中,受多种因素影响,易出现各类损伤,严重影响结构安全性与耐久性。建筑钢结构检测及损伤分析成为保障结构安全的关键环节。通过全面检测钢结构各项性能指标,准确识别损伤类型与位置,深入分析损伤形成机理,进而采取有效的防控与处理措施,对确保建筑钢结构长期安全稳定运行具有重要意义。

1 建筑钢结构检测技术体系

1.1 钢结构材料性能检测技术

钢材作为建筑钢结构的核​​心构成材料,其性能优劣直接关乎整个结构的安全性及稳定性。在材料性能检测领域,化学成分分析是基础且关键的环节^[1]。借助光谱分析仪等先进设备,能够精准测定钢材中各类元素的含量,以此判断钢材是否符合设计规定的牌号要求。因为不同元素在钢材中发挥着不同作用,例如碳元素含量影响钢材的强度与硬度,锰元素可提高钢材的韧性与可焊性,若元素含量偏离标准范围,钢材性能将大打折扣。力学性能检测同样不可或缺,拉伸试验可测定钢材的屈服强度、抗拉强度以及伸长率等指标,这些数据反映了钢材在受力过程中的变形与承载能力。冲击试验则用于评估钢材在低温或动载条件下的韧性,通过测定冲击功来判断钢材抵抗脆性断裂的能力。硬度测试操作简便,能快速获取钢材表面硬度信息,间接推断其强度水平,为材料性能评估提供重要参考。

1.2 钢结构连接部位检测技术

钢结构连接部位是保证结构整体性的关键区域,连接质量的好坏直接影响结构安全。焊接连接是常见方式,对焊缝的检测需运用多种技术手段。超声波检测利

用超声波在钢材中的传播特性,通过分析反射波的形态与时间,能够精准发现焊缝内部的气孔、夹渣、裂纹等缺陷。射线检测则借助X射线或 γ 射线穿透焊缝,在底片上形成影像,根据影像的黑白对比判断缺陷的位置与大小。对于螺栓连接部位,需检测螺栓的预紧力是否符合设计要求。通过扭矩扳手或超声螺栓测力仪等工具,可测量螺栓的紧固程度,确保连接牢固可靠。同时,还需检查螺栓有无松动、断裂以及螺纹磨损等情况,及时发现问题并处理。

1.3 钢结构构件尺寸与偏差检测技术

构件尺寸与偏差的准确检测是保证钢结构安装质量与使用功能的重要前提。在检测过程中,需使用激光测距仪、全站仪等高精度测量设备。对于梁、柱等主要构件,要精确测量其长度、宽度、高度以及截面尺寸等参数,与设计图纸进行细致比对,判断是否存在尺寸偏差。对于复杂形状的构件,如桁架节点,需采用三维激光扫描技术,获取构件的精确三维模型,通过与理论模型对比分析,全面掌握构件的尺寸偏差情况。此外,还需检测构件的垂直度、平整度等几何偏差,确保构件在空间中的位置准确,满足结构受力与使用要求。

1.4 钢结构表面缺陷检测技术

钢结构表面缺陷不仅影响结构外观,还可能成为腐蚀的起始点,降低结构耐久性。表面缺陷检测主要依靠目视检测与仪器检测相结合的方式。目视检测可快速发现明显的裂纹、起皮、锈蚀等缺陷。对于细微缺陷,则需借助磁粉检测、渗透检测等无损检测技术。磁粉检测利用铁磁性材料表面磁场泄漏产生的磁痕,显示表面裂纹等缺陷的位置与形状。渗透检测通过将渗透剂渗入表面开口缺陷中,再经显像剂显示缺陷形态,适用于非磁性材料表面缺陷的检测。通过这些检测技术,能够及时

发现钢结构表面缺陷并采取修复措施,保障结构安全与耐久性。

2 建筑钢结构损伤类型及形成机理

2.1 钢结构材料本身损伤类型及形成原因

钢材在生产与加工过程中,受冶炼工艺、轧制条件等因素影响,内部可能存在原始缺陷。晶粒粗大是常见问题,当冶炼温度控制不当或冷却速度不合理,钢材内部晶粒会异常长大,这会降低材料韧性,在受力时易引发脆性断裂^[2]。非金属夹杂物同样不容忽视,在冶炼环节若除杂不彻底,硫、磷等元素会形成硫化物、磷化物夹杂,这些夹杂物会破坏钢材基体连续性,成为裂纹萌生源头。此外,钢材在长期使用中,内部组织会发生变化,如碳元素扩散导致珠光体球化,降低钢材强度与硬度,影响结构承载能力。

2.2 钢结构连接部位损伤类型及形成原因

焊接连接是钢结构主要连接方式,但焊接过程易产生缺陷。未焊透现象多因焊接电流过小、焊接速度过快,导致焊缝金属未能完全填充接头根部,这会削弱焊缝有效截面积,降低连接强度。气孔产生与焊接材料潮湿、保护气体纯度不足有关,气孔会成为应力集中点,在交变载荷作用下易引发裂纹扩展。螺栓连接部位损伤主要源于安装偏差与长期受力。螺栓松动是常见问题,若初始安装时预紧力不足,或结构在使用中承受振动、冲击载荷,螺栓连接会逐渐失效。螺纹磨损也不可忽视,频繁拆装或螺纹加工精度不够,会使螺纹配合间隙增大,降低连接可靠性。

2.3 钢结构构件受力损伤类型及形成原因

钢结构构件在受力时,若长期处于高应力状态,会发生塑性变形。当应力超过材料屈服强度,构件会产生不可恢复变形,影响结构正常使用与外观。疲劳损伤是受力构件典型损伤形式,在交变载荷反复作用下,构件内部微裂纹逐渐萌生、扩展,最终导致断裂。应力集中是疲劳损伤重要诱因,构件截面突变、孔洞边缘等部位易产生应力集中,加速疲劳裂纹发展。此外,构件局部屈曲也不容忽视,当构件受压时,若宽厚比过大或约束不足,会发生局部失稳,降低构件承载能力。

2.4 环境因素引发的钢结构损伤类型及形成原因

大气环境对钢结构影响显著,腐蚀是主要问题。在潮湿环境中,钢材表面会形成电解液薄膜,与空气中氧气、二氧化碳等物质发生电化学反应,生成铁锈。铁锈体积膨胀会挤压周围钢材,导致涂层剥落,加速腐蚀进程。工业环境中,存在二氧化硫、氮氧化物等腐蚀性气体,会加剧钢材腐蚀速度。海洋环境对钢结构腐蚀更

为严重,海水中含有大量氯离子,会破坏钢材表面钝化膜,直接侵蚀钢材基体,引发点蚀、缝隙腐蚀等局部腐蚀形式,严重威胁结构安全。

3 建筑钢结构损伤识别方法

3.1 基于外观特征的损伤识别方法

建筑钢结构外观是直观反映结构状态的重要窗口。通过人工目视检查,专业人员凭借丰富经验与专业知识,能快速察觉钢结构表面的明显损伤迹象^[3]。锈蚀是常见外观损伤,在潮湿或腐蚀性环境长期作用下,钢材表面会逐渐出现红褐色锈斑,随着锈蚀程度加深,锈斑范围扩大、颜色加深,甚至出现起皮、剥落现象,这会削弱钢材有效截面,降低结构承载能力。裂纹也是不容忽视的外观损伤,在应力集中区域或焊接部位,裂纹可能悄然萌生并扩展,初期裂纹细微难以察觉,但随着时间推移会逐渐变宽、变长,目视检查可及时发现这些裂纹并评估发展态势。此外,钢结构表面的涂层损伤同样重要,涂层剥落、褪色会降低钢材防腐蚀性能,加速结构劣化进程,通过目视检查能准确掌握涂层状况,为后续维护提供依据。

3.2 基于物理特性的损伤识别方法

钢结构物理特性与结构健康状态紧密相连。硬度测试是常用方法之一,钢材硬度变化能反映内部组织结构改变,如长期受载或处于高温环境,钢材可能发生蠕变或回火软化,导致硬度降低,通过硬度计测量钢材表面硬度,可间接判断结构是否出现损伤。电阻应变测量则利用钢材电阻随应变变化的特性,在结构关键部位粘贴电阻应变片,当结构受力产生变形时,应变片电阻发生变化,通过测量电阻变化可精确获取结构应变信息,进而判断结构受力状态与是否存在损伤。此外,超声波检测技术基于超声波在钢材中传播特性,当超声波遇到内部缺陷时会发生反射、折射等现象,通过分析接收到的超声波信号,可确定缺陷位置、大小与性质,为损伤识别提供重要依据。

3.3 基于信号分析的损伤识别方法

随着信息技术发展,信号分析在钢结构损伤识别中应用日益广泛。振动信号分析是重要手段,钢结构在环境激励或人工激励下会产生振动,通过在结构上布置加速度传感器等设备,采集振动信号并进行频谱分析、模态分析等处理。结构损伤会导致固有频率、振型等模态参数发生改变,通过对比损伤前后模态参数差异,可准确识别损伤位置与程度。声发射检测技术则利用材料内部损伤产生应力波释放声发射信号的原理,当钢结构出现裂纹扩展、塑性变形等损伤时,会发射出高频声发射

信号,通过声发射传感器采集并分析这些信号,可实现对损伤的实时监测与定位。

3.4 损伤识别的流程与步骤

建筑钢结构损伤识别需遵循科学流程。先进行初步调查,收集结构设计资料、使用历史、环境条件等信息,了解结构基本情况。接着开展外观检查,全面查看结构表面状况,记录锈蚀、裂纹、涂层损伤等外观缺陷。随后进行详细检测,运用物理特性检测与信号分析等方法,深入分析结构内部损伤情况。最后综合分析检测结果,结合相关标准规范,判断结构损伤程度与安全性,制定针对性维护与修复方案,确保建筑钢结构安全可靠运行。

4 建筑钢结构损伤防控与处理思路

4.1 建筑钢结构损伤预防

建筑钢结构损伤预防需从设计、施工及使用维护等多环节着手。设计阶段,要依据结构使用功能与所处环境,精准确定钢材型号与规格^[4]。合理布局结构形式,避免应力集中,通过优化节点设计,提升结构整体受力性能。施工过程严格把控质量关,遵循规范进行钢材加工与连接作业。焊接时,精准控制焊接工艺参数,保证焊缝质量;螺栓连接确保预紧力符合要求,防止连接松动。使用阶段,密切关注环境变化对结构的影响,对于处于腐蚀性环境中的结构,采取有效防腐措施,如涂刷高质量防腐涂料,定期检查涂料状况并及时补涂。同时,避免结构超载使用,防止因过载引发损伤。

4.2 不同类型损伤的处理原则

针对不同类型损伤,处理原则各有侧重。对于轻微锈蚀,可采用机械除锈或化学除锈方法,清除表面锈层后,重新涂刷防腐涂料,恢复结构防腐性能。若锈蚀较为严重,导致钢材有效截面显著减小,需对锈蚀部位进行加固处理,如粘贴钢板或碳纤维布增强。对于裂纹损伤,先对裂纹进行详细检测,确定裂纹位置、长度与深度。对于浅而短的裂纹,可采用打磨消除应力集中后补焊的方法处理;对于深且长的裂纹,需制定专项处理方案,可能涉及局部构件更换。连接部位损伤,若为螺栓松动,重新拧紧螺栓并达到规定预紧力;若螺栓断裂,更换新螺栓并对连接部位进行全面检查。

4.3 损伤处理的技术路径

损伤处理技术路径涵盖检测、评估、方案制定与实施等步骤。先运用无损检测技术,如超声波检测、射线

检测等,精确确定损伤范围与程度。依据检测结果,结合结构设计要求与相关规范,对损伤进行评估,判断结构安全性与使用性能受影响程度。根据评估结果制定详细处理方案,明确处理方法、材料选用与施工工艺。实施处理过程中,严格按照方案要求操作,确保处理质量。处理完成后,再次进行检测与评估,验证处理效果是否达到预期目标。整个损伤处理技术路径的实施周期根据损伤严重程度而定,一般轻微损伤处理需要1-2周,严重损伤处理可能需要1-2个月甚至更长时间。

4.4 损伤后续维护的技术要点

损伤处理后,后续维护至关重要。定期对结构进行全面检查,重点关注处理部位及易发生损伤区域,及时发现潜在问题。根据结构所处环境与使用状况,制定合理维护计划,如定期清洁结构表面、重新涂刷防腐涂料等^[5]。建立结构健康监测系统,运用传感器实时采集结构应力、应变等数据,通过数据分析及时发现结构异常变化,为维护决策提供科学依据,保障建筑钢结构长期安全稳定运行。

结束语

建筑钢结构检测及损伤分析是一个系统且复杂的过程,涉及检测技术、损伤识别、防控处理等多个方面。通过构建完善的检测技术体系,能够全面、准确地掌握钢结构性能状况;运用科学的损伤识别方法,可及时发现潜在损伤并评估其严重程度;依据合理的防控与处理思路,能有效预防损伤发生并对已出现损伤进行妥善处理。在实际工程中,需将各环节紧密结合,形成一套完整的质量保障体系,切实提高建筑钢结构的安全性 with 可靠性,为建筑工程质量提供坚实支撑。

参考文献

- [1]赵宗鹏,孙瑞莲.建筑工程钢结构检测技术及优化措施分析[J].砖瓦世界,2025(24):25-27.
- [2]涂木兰,李海锋.热像图增强的装配式建筑钢结构损伤检测研究[J].计算机仿真,2021,38(12):420-423,444.
- [3]蒋洪伟.无损检测技术在钢结构建筑工程检测中的应用[J].中国住宅设施,2025(9):179-181.
- [4]胡海天,刘伯奇,赵鑫.高速铁路客站建筑钢结构检测现状与展望[J].铁道建筑,2023,63(4):94-98,103.
- [5]张红英,高赫阳,于均园.数字孪生技术在建筑钢结构检测中的应用[J].中国建筑金属结构,2025,24(7):107-109.