

钢结构无损检测技术的应用研究

方俊

上海建科深水港检验有限公司 上海 201306

摘要：钢结构无损检测与加固是确保其安全与稳定的关键环节。本文深入探讨了超声检测、磁粉检测、射线检测及涡流检测等多种无损检测方法的应用要点，包括检测前的准备、过程实施、结果评定及报告编制，并且分析了增大截面、黏贴钢板、预应力及改变结构体系等常见加固方法的选择与实施要点。通过综合评估结构缺陷与受力特点，合理选择检测与加固手段，可有效提升钢结构的承载能力与安全性，确保其在各种使用条件下的稳定运行。

关键词：钢结构；无损检测；加固方法

引言

随着现代工业的飞速发展，钢结构在建筑、桥梁等领域得到了广泛应用，但是钢结构在使用过程中可能因各种原因产生缺陷，影响其安全与稳定性，所以开展钢结构无损检测与加固研究具有重要意义。本文旨在通过对钢结构无损检测与加固方法的实践探讨，为相关从业人员提供参考和指导，以期提高钢结构的安全性能和使用寿命。

1 钢结构无损检测的方法

1.1 超声检测法

超声检测法基于超声波在钢结构中的传播特性，当超声波在传播途中遇到气孔、夹渣、裂纹等缺陷时，会产生反射、折射等现象，通过精准检测反射波或透射波的特性，可准确判断缺陷的位置、大小和形状。超声检测法优点突出，检测灵敏度极高，能捕捉微小缺陷；可检测厚度大，适用于不同规模的钢结构；还能实时成像，让检测人员直观了解缺陷情况，它常用于检测焊缝内部缺陷，因焊缝是钢结构的关键连接部位，其质量关乎整体结构安全。超声波在钢材中的传播速度与钢材的弹性模量和密度相关，遇缺陷时传播路径和能量分布改变，检测人员据此分析确定缺陷特征。检测中若发现质量问题，需及时与工厂焊接工程师配合，制定返修方案，分析问题环节以避免重复出现。例如构件本体焊缝出现根部未焊透缺欠，经查看发现预拼装坡口角度和焊缝间隙尺寸过小，与焊接工程师探讨后修改焊接工艺，有效解决了后续构件的此类问题。

1.2 磁粉检测法

磁粉检测法主要依据铁磁性材料在磁场中的独特性质开展检测工作，当铁磁性材料置于磁场中被磁化后，若材料表面和近表面存在缺陷，会在缺陷部位形成漏磁场，此时在材料表面撒上磁粉，磁粉便会被漏磁场吸

附，进而形成清晰的磁痕，将缺陷的位置和形状直观地展现出来。该方法具有多方面优势，操作十分简单，检测人员无需经过复杂专业培训就能快速上手，降低了检测工作难度；检测速度极快，能在短时间内完成大面积检测任务，提高检测效率；成本较低，不需要昂贵检测设备和复杂操作流程，节省大量成本；尤其对表面和近表面的裂纹等缺陷具有极高检测灵敏度，能精准发现潜在安全隐患。磁粉检测法常用于铁磁性钢结构的表面缺陷检测，像钢板的表面裂纹、螺栓的螺纹根部裂纹等都能准确检测出来，但是却无法有效检测钢结构内部缺陷，且检测环境的温度和湿度会对检测结果产生影响，温度过高或过低、湿度过大或过小都会影响磁粉的吸附效果^[1]。

1.3 射线检测法

射线检测法利用X射线、 γ 射线等穿透钢结构，因射线在缺陷处与正常钢材处衰减程度不同，会在胶片上形成黑度有别的影像，检测人员通过分析这些影像，能精准判断缺陷的具体状况。检测人员依据胶片影像清晰掌握缺陷形态，还能将其留存为资料，为后续分析和处理提供有力支撑，常用于检测焊缝内部的气孔、夹渣等体积型缺陷，对保障焊缝质量至关重要，但是射线具有辐射危害，会威胁人体健康，检测时必须严格做好防护措施；检测成本较高，专业设备和胶片的使用增加了经济负担；检测速度较慢，射线发射、胶片曝光和显影等环节均需时间，影响检测效率。为解决厚板焊缝超声检测难题，可选用低频、高功率探头，合理调整仪器参数以增强声波穿透力，提高回波信号清晰度；采用双面双侧检测法，从不同方向多次扫查，降低误判风险，在射线检测受限时，还可探索应用TOFD技术，利用缺陷端点衍射波成像，快速对厚板焊缝内部缺陷定性定量分析，提升检测精度与效率。

1.4 涡流检测法

当交变磁场作用于钢结构表面,会在表面激发出涡流,若表面存在缺陷,涡流的分布和大小便会改变,通过精准检测这些变化,就能判断缺陷是否存在。该方法优点突出,检测速度极快,能在短时间内完成大面积检测,极大提高检测效率;无需耦合剂,既简化了检测流程,又避免了因耦合剂使用不当带来的问题;还可实现自动化检测,借助先进设备与技术,能连续、稳定作业,减少人为因素干扰,适用于导电材料的表面和近表面缺陷检测,像钢管的表面裂纹、腐蚀坑等都能有效检出。但是涡流检测法对缺陷的定性和定量分析能力较弱,只能大致判断缺陷存在,难以精确确定缺陷性质、大小和深度等信息,限制了其在缺陷分析要求较高场合的应用,且受检测对象形状和尺寸影响较大,对形状复杂或尺寸过小的对象,检测效果可能不佳甚至无法检测^[2]。针对结构复杂产生的检测盲区,可采用相控阵超声检测技术(PAUT)和内窥镜检测设备,PAUT灵活控制超声波束,减少盲区;内窥镜深入狭小空间观察缺陷,与超声结果相互印证,此外定制多种特殊形状和尺寸的超声探头,也能满足不同结构部位的检测需求。

2 钢结构无损检测技术应用要点

2.1 检测前准备

(1) 资料收集与分析。需全面收集钢结构相关资料,通过这些资料,深入了解结构的设计参数,如构件尺寸、荷载要求等;明确材料类型,包括钢材的牌号、规格等;掌握焊接工艺,如焊接方法、焊缝形式等;知晓结构的使用历史,如是否经历过特殊荷载、是否进行过维修改造等。(2) 检测人员培训与资质审核。检测人员必须具备扎实的专业知识和熟练的操作技能,熟悉各类无损检测标准和规范。要定期组织培训活动,及时更新知识体系,提升操作水平,同时严格审核检测人员的资质证书,确保其具备开展相应检测工作的合法资格,保证检测工作由专业人员实施。(3) 检测设备校准与调试。检测设备应定期进行校准,保证其准确性和可靠性,在使用前要对设备进行细致调试,仔细检查各项性能参数是否符合检测要求,如超声检测仪,需准确设置增益、时基线性等参数,确保检测过程中信号稳定、准确,为获取可靠的检测结果提供设备支持。

2.2 检测过程实施

在钢结构无损检测过程中,表面处理是保障检测结果精准度的关键环节。对于磁粉检测与渗透检测而言,彻底清理被检表面至关重要。油污、铁锈、氧化皮等杂质会严重干扰检测效果,杂质会削弱磁粉吸附能力,

阻碍渗透液渗入缺陷,使缺陷难以清晰、准确地显示。为此,可采用机械清理方式,有效去除铁锈与氧化皮;同时利用有机溶剂清洗表面油污,确保被检表面达到清洁、干燥、光滑的理想状态。而且表面粗糙度需严格遵循检测标准,粗糙度超标会干扰检测信号传输,降低检测灵敏度,影响缺陷检出,除了表面处理,检测操作的规范性也不容小觑。检测时,要精准控制探头移动速度,使其处于规定范围内,并保证耦合剂充分填充探头与被检表面间的间隙,以确保声波有效传播。检测过程中的数据记录与实时分析同样关键,需及时、精确地记录检测部位、检测方法、设备参数以及缺陷信号特征等信息,这些数据不仅为当前检测提供支撑,更为后续的数据分析、缺陷评定和结构评估奠定基础^[3]。通过详尽记录,能深入了解钢结构当前状态,为后续可能开展的维修或加固工作提供精准依据,此外结合无损检测和力学性检测结果,及时反馈给施工单位,指导其进行必要的修补和改进,从而保障施工质量和安全。

2.3 检测结果评定

(1) 缺陷识别与分类。依据检测获取的数据及影像呈现的特征,精准识别缺陷类型。常见的缺陷类型包括裂纹、气孔、夹渣、未焊透、未熔合等。裂纹通常呈线状,可能由应力集中、材料缺陷等因素引发;气孔表现为圆形或椭圆形暗区,是焊接过程中气体未及时逸出所致;夹渣则是焊接熔渣残留形成的不规则影像。识别出缺陷类型后,需对其进行分类,明确一般缺陷与严重缺陷。一般缺陷对结构安全性的影响相对较小,在特定条件下可允许一定程度地存在;而严重缺陷会显著削弱结构的承载能力和稳定性,对结构安全构成直接威胁。

(2) 缺陷尺寸测量与定量分析。采用恰当的方法对缺陷尺寸进行测量,为后续的结构安全性评估提供精确数据。超声检测中,利用缺陷回波高度法可估算缺陷当量尺寸,通过时差法能够确定缺陷的实际深度;射线检测则依据底片上缺陷影像的黑度、尺寸等参数开展定量分析。(3) 依据标准进行评定。严格遵循相关无损检测标准和钢结构设计规范,对检测结果进行全面评定。将缺陷的尺寸、位置、类型等信息与标准规定的允许限值进行细致比较,以此判断钢结构是否满足安全使用要求。

2.4 检测报告编制

检测报告涵盖多方面关键信息,首先是工程概况,要清晰说明工程名称、地点、结构类型、规模大小等基本情况,让使用者对检测对象有整体认知。检测目的应明确阐述开展此次无损检测想要达成的目标,如评估钢结构在特定使用阶段的安全性、检测焊接质量是否达

标等。检测依据要列出所遵循的相关无损检测标准、钢结构设计规范及行业技术要求等。检测方法部分需详细记录本次检测所采用的技术手段,如超声检测、射线检测、磁粉检测或渗透检测等。检测设备要写明设备名称、型号、编号及校准有效期等,确保设备符合检测要求。检测部位应精确描述被检测钢结构的具体位置,可结合图纸标注。检测结果要客观呈现检测过程中获取的数据、影像等信息。缺陷评定需依据检测结果,对缺陷类型、尺寸、位置等进行准确分析判断,结论部分则要明确给出钢结构是否存在缺陷,以及是否满足安全使用要求的结论。建议施工和监理单位进行防火涂料厚度检测,确保防火涂料厚度满足设计要求,以免无法达到规定的耐火极限,威胁生命财产安全。

3 钢结构的加固方法

3.1 常见加固方法

(1) 增大截面加固法是在原结构构件表面增焊钢板、型钢或浇筑混凝土,以此增大构件截面面积和配筋量,进而提升构件承载能力与刚度,此方法技术成熟,适用场景多,但会加重结构自重,对原结构空间有占用,且焊接施工易产生残余应力。(2) 黏贴钢板加固法运用建筑结构胶把钢板黏贴于钢结构构件表面,让钢板与原构件协同受力,增强构件承载能力、抗弯及抗剪性能,该方法施工便捷、速度快,对原结构外观和空间影响小,不过结构胶性能对加固效果影响显著,长期使用需留意其耐久性。(3) 预应力加固法通过在结构施加预应力,改变原结构内力分布,提高构件承载能力和抗裂性能,能有效减小构件变形和应力水平,适用于大跨度结构和承受动力荷载的结构,但施工工艺复杂,需专业预应力张拉设备及技术人员。(4) 改变结构体系加固法是增设支撑、拉杆、剪力墙等构件,改变原结构受力体系,使结构受力更合理,提升整体稳定性和承载能力,适用于结构体系存在严重缺陷或需大幅提高承载能力的

情况,但会对原结构较大改动,施工难度较高^[4]。

3.2 加固方法选择与实施要点

加固方法的选择需综合多方面因素。要依据结构存在的缺陷类型、程度,分析其受力特点,是受弯构件还是受压构件,以及不同受力形式下的薄弱环节。同时考虑结构的使用要求,包括荷载变化、使用功能调整等。施工条件也不容忽视,像施工空间是否受限、现场环境是否适宜等。实施加固前,必须对原结构展开详细检测与评估,明确其实际承载能力、损伤状况,以此为依据制定科学合理的加固方案。施工时,要严格依照加固设计图纸和施工规范操作,把控加固材料质量,确保其符合相关标准,还要注重加固连接部位,保证连接牢固可靠,避免出现松动、脱开等问题,加固结束后要对加固效果进行检测和验收,通过各项性能指标的检测,确认结构满足安全使用要求。

结语

综上所述,钢结构无损检测与加固是保障其安全与稳定的重要手段,通过合理选择和应用无损检测方法,可准确评估钢结构的缺陷情况;而针对不同缺陷类型和程度,选择合适的加固方法进行科学实施,可以有效提升钢结构的承载能力及安全性。未来,随着技术的不断进步和创新,钢结构无损检测与加固技术将更加成熟和完善,为保障钢结构的安全稳定运行提供有力支持。

参考文献

- [1]王永亮,陈瑞浩.关于钢结构无损检测常用方法优缺点的分析[J].百科论坛电子杂志,2021(16):2854.
- [2]杨洪菊.关于钢结构无损检测常用方法优缺点的分析[J].建筑工程技术与设计,2020(1):2173.
- [3]李立斌.建筑工程中钢结构检测技术的应用[J].中国建筑金属结构,2020(12):114-115.
- [4]黄亮.钢结构加固设计探讨与实践[J].中国建筑金属结构,2023,22(3):122-124.