

# 建筑钢结构工程质量控制中无损检测技术的引入

都寒江

(浙江绿筑检测技术有限公司, 浙江 绍兴 312030)

**摘要:** 相较于建筑工程其他结构而言, 钢结构具有重量轻、强度高、韧性强、施工周期短等特征, 可以重复利用等优势, 实际应用范围更广。现阶段国内已经建成了数量众多的高层钢结构施工工程。为根本上保障建筑钢结构工程施工质量水平, 还需要引入先进的无损检测技术, 及时发现与解决存在于钢结构建设与运营期间的各类问题。基于此, 本文以无损检测技术概念为切入点, 提出无损检测技术, 在建筑钢结构工程质量控制中的应用优势。分析建筑钢结构工程不同无损检测技术应用要点, 制定能够提升无损检测工作开展水平的具体管控对策, 以期对相关工作人员提供理论性帮助。

**关键词:** 建筑钢结构工程; 质量控制; 无损检测技术

**中图分类号:** TU317

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.12230/j.issn.2095-6657.2021.47.017

通过将无损检测技术应用在建筑钢结构工程质量控制中, 能够在不破坏钢构件性质及结构的前提下全面分析结构各项性质, 分析钢结构质量问题, 并制定出专项管控对策。现阶段无损检测技术已发展出了多种类型, 不同检测技术的应用要求与适用范围存在较大差异, 需要工作人员结合建筑钢结构工程具体建设要求, 制定出专项可行的无损检测管控机制。

## 一、概述无损检测技术

### (一) 无损检测技术概念

无损检测就是在不损坏或不影响被检测对象性能、内部组织结构的同时, 借助物理或化学手段, 分析因建筑结构异常或缺陷问题引发的热、声、光、电变化, 从而判断被检测对象状态、缺陷类型、数量、性能变化规律等。

现有无损检测技术已经成为建设工程质量管理重要方式, 对工程生产建设期间的综合效益具有直接影响<sup>[1]</sup>。随着科学技术发展速度不断加快, 无损检测工作也涌现出了更多检测方式, 如射线检测、超声波检测、磁粉检测或液体渗透检测等。

### (二) 建筑钢结构工程无损检测技术发展现状

建筑钢结构工程具有强度高、工业化水平显著、经济效益良好等优势。现阶段钢结构工程在我国建设规模不断扩大, 但钢结构材料应用劣势也较为显著。如钢结构防火效果不佳, 在火灾发生时极易出现建筑整体垮塌问题。钢结构的防腐蚀性较弱, 极易受到周边环境中的温度与湿度影响出现性质改变现象, 导致建筑工程整体的安全性与可靠性难以得到根本上保障。

现阶段评估钢结构安全性、稳定性的方式主要采用模拟实验、破坏性试验、无损检测等<sup>[2]</sup>。其中, 模拟试验就是通过模拟钢结构规格、材质、结构形式, 对钢结构整体性能进行定量评估。在具体运行检测期间的成本高、周期长; 破坏性试验就是采用破坏手段检测试件各项性能指标, 虽然检测结果更加精准、直观, 但难以对全部构件进行检测, 检测效率较低; 无损检测可以在不破坏被检测构件的情况下获得全面精准检测结果, 现阶段应用范围逐步扩大。

我国于 20 世纪 50 年代初次引入无损检测技术, 距今已实现广泛普及, 并获得了巨大的经济与社会效益。现阶段无损检测技术已经成为融合众多新兴技术、先进设备的综合学科, 通

过分析检测对象物理原理及化学现象, 评估其安全性、可靠性。

无损检测共经历无损探伤、无损检测、无损评价三个阶段。无损探伤就是对被检测对象的缺陷问题进行探测与分析; 无损检测应当在探测及发现缺陷的基础上, 更加细致地检测出缺陷大小、缺陷位置、缺陷性质与缺陷状态。无损评价工作不仅需要发现被检测对象缺陷问题, 还需要对被检测对象结构、性质、状态展开系统分析, 进而评估被检测对象的运行状态与使用寿命。

当前应用在建筑钢结构工程中的无损检测技术主要为磁粉检测技术、渗透检测技术、涡流检测技术、超声波检测技术等。

### (三) 建筑钢结构工程无损检测技术实际应用优势

一方面, 优化工程钢结构施工技术。通过开展建筑钢结构无损检测工作, 能够切实保障工程钢结构整体施工质量管控水平<sup>[3]</sup>。当前钢结构施工技术种类更加完善, 施工技术更加成熟, 无损检测工作也可进一步推动工程施工工艺的升级工作。通过发现并解决存在于钢结构施工期间的各类问题, 提升工程参建单位对引进先进施工技术的重视度。

另一方面, 增强工程钢结构施工综合效益。通过使用合理的建筑钢结构工程无损检测技术, 切实提升工程钢结构施工期间的可控性, 增强各类物资资源利用率, 控制工程钢结构后期维护成本。

## 二、建筑钢结构工程质量控制中不同无损检测技术的应用要点

### (一) 磁粉检测技术

磁粉检测技术就是磁性材料在磁化后, 在被检测对象上均匀分布磁力线。钢结构表面出现不平整、不连续的情况下, 表面与近表面的磁力线也会出现局部畸变与漏磁场情况。漏磁场施加在被检测对象表面磁粉处, 形成肉眼可见的磁痕, 从而判断钢结构质量。

磁粉检测技术主要被应用在铁磁性原料, 如钢板、钢管、铸钢件、铁磁性结构件。

由于磁粉检测技术的检测原理简单, 实际应用之间的成本较低、检测效率与灵敏度较高<sup>[4]</sup>。但该种检测技术只适用于铁磁性材料、合金表面与近表面的缺陷检测, 并在实际应用期间

对检测人员专业技能、检测环境、被检测钢结构规格与形状具有较高要求。

### （二）渗透检测技术

渗透检测技术就是在被检测钢结构表涂抹荧光染料或色染料渗透液。渗透液会在毛细管作用下渗透到结构开口的缺陷中。经过一段时间的渗透去除被检测表面多余渗透液。表面干燥后再施加附加介质，如显像剂。显像剂也会吸附质缺陷中的渗透液，并使渗透液回渗到显像剂内，使钢构件表面的缺陷问题能够在光照充足的情况下直观展现出来实现实际检测目标。

渗透检测技术主要被应用在钢结构非多孔状固体表面开口检测环节，实际应用期间的设备较少，操作简便、检测结果更为直观<sup>[5]</sup>。但与其他检测技术相比，渗透检测技术的应用范围较为狭窄，且对钢结构表面光洁度要求较高。在钢结构表面存在锈蚀、氧化等情况下，会严重影响到渗透检测结果。不仅如此，渗透检测技术也不得应用在检测多孔性输送材料工件与表面粗糙工件中。由于渗透检测即能够检测表面缺陷问题，难以判断缺陷深度，尽可作为对钢结构质量定量评价的辅助方式。

### （三）涡流检测技术

在金属材料处于交变磁场的情况下会出现涡流，通过分析涡流分布区域以及涡流分布大小，能够更为直观地检测出铁磁材料与非铁磁性材料缺陷问题。涡流检测技术可应用在各类导电材料表面与进表面缺陷检测中，不适用于不导电材料检测，复杂钢结构涡流检测结果的精准性无法得到根本上把控。现阶段涡流检测设备种类不断增多，检测范围进一步扩大，自动化水平更为显著。

### （四）声发射检测技术

在钢材材料及钢结构受到内力或外力作用下而出现形变、断裂问题时，会释放出弹性波。声发射检测主要就是结合先进检测设备，检测出受力期间钢材材料释放出的应力波，判断结构损伤程度，并找到构件损伤部位。

声发射检测技术可被应用在各类被检测对象的动态检测中，如桥梁、核电设备动态检测，可以远距离监测设备及运行缺陷问题，全面评估钢结构安全性与可靠性。但就目前来看，声发射检测无法检测钢构件静态缺陷，检测结果的精准性与可靠性极易受到周边环境的影响。同时，声发射检测设备投入成本高，现有检测体系尚未成熟。

### （五）超声波检测技术

超声波检测技术就是使用频率大于 20 千赫兆的机械波，基于振动传播时介质振动方向，判断波形传播方向<sup>[6]</sup>。超声波可分为纵波、横波、表面波及板型波等多种形式，钢结构检测主要使用纵波及横波。在超声波检测时，检测探头产生的超声波会在被检测钢结构中依照具有既有速度传播。如钢结构异质界面出现气孔、夹渣等问题情况下，一部分超声波会被反射出来，经过仪器处理后进入到示波屏，直观展示出缺陷回波。

超声波检测技术的应用范围较广，可被应用在建筑钢结构材料焊缝、板材、管件、复合材料检测工作中。脉冲反射式超声波探伤仪是现阶段常见检测设备，对于同一均匀介质，脉冲

波传播时间与声程存在密切关系。通过判断缺陷回波信号，可以及时发现缺陷所在位置，并对缺陷问题进行定性定量评价。

在超声波检测技术应用过程中，检测结果的追溯性较差，定性定量不精准。同时，检测结果的精准性极易受到人员检测专业水平与职业技能因素影响，需要在实际检测过程中加强管控力度。

### （六）射线检测技术

射线检测技术就是利用射线波长短、频率高特征，通过使用 X 射线机、放射性同位素等作为放射源发射射线，射线穿透被检测钢结构表面，经过射线吸收与射线作用，快速找到钢结构厚度差位置以及发生原因。基于射线原理，不同强度射线的记录介质与射线胶片位置处会吸收特定数量光子，在经过暗室处理时，底片处会出现不同黑度缺陷影像，通过分析此些影像也能够判断缺陷大小以及缺陷具体性质。

因射线吸收率与材料密度密切相关，因此可被更好应用在焊缝裂缝、夹渣、未焊透等问题检测过程中。同时，射线检测技术不仅能够直观展示缺陷位置，还可以检测出缺陷尺寸，并及时将检测结果存档。在具体应用期间，射线检测更加适用于较薄工件中。如钢构件厚度超过 80 毫米，则需要采用加速器等特殊设备检测。

射线检测技术检测期间的成本较高、检测周期长，在角焊缝、板材及管材检测过程中的检测效果不佳。

## 三、建筑钢结构工程质量控制中无损检测技术的实际应用流程

因无损检测技术种类不同，实际应用范围、应用优势存在较大差距，根据无损检测技术发展趋势技术以及特征，应制定出专项可行的无损检测技术方案，分析无损检测应用要点。现阶段建筑钢结构工程无损检测技术主要被应用在原材料检测、焊缝检测、工程失效性评价检测。

### （一）原材料检测

建筑钢结构主要包括钢板、钢管、钢铸件及螺栓等。结合钢材材料批量、几何尺寸以及缺陷发生性质、发生部位，实际检测规范要求，可将多种无损检测技术融合在一起<sup>[7]</sup>。如在钢板、钢管、铸件无损检测过程中可采用超声波检测技术。在大型构件检测过程中，可使用磁粉检测技术。

在原材料检测时，需要由原材料生产厂家以及钢构件加工厂家配合完成。部分建筑钢结构工程需要原材料生产厂家提供检验合格证，并要求钢结构加工制造厂家进行复检。

钢板中的常见缺陷问题主要为白点、夹渣、折叠等，裂缝问题较少。部分工程要求复检钢板的数量较大，可以使用超声波检测技术。结合现行检测技术规定，在厚度小于 20 毫米的钢板检测中，需要配合使用专用的双晶直探头在阶梯试块上检测灵敏度；在钢板厚度大于 20 毫米的情况下，需要使用单晶磁探头，并在平底试块上校验灵敏度。依照钢板延压方向开展 100% 扫查，最大限度提升钢板质量检测覆盖面。

### （二）焊缝无损检测

经过实际调查发现，建筑钢结构工程焊缝缺陷问题主要体现在气孔、夹渣、未焊透、裂缝等方面。

其中，气孔主要就是在钢构件焊接时，焊接熔池高温金属

吸收了较多气体,冷却后气体未能及时排出而残留在金属焊缝,形成空穴结构,多数为椭圆形或球形,分布单个或密集气孔。单个气孔的回波高度高、波形较为稳定;密集气孔中的反射波或随气孔的大小变化而发生改变。由于焊接期间坡口没有做到及时清洁、焊接速度较快等情况,会极易出现气孔问题。

夹渣主要就是在钢构件焊接后,焊缝内残留下了非金属的夹杂物或者金属熔渣,且夹杂表面不规则。导致夹杂问题出现的原因因为焊接式管控力度不严,没有对焊接工作进行安全管理。

钢构件也会在具体焊接期间出现未焊透与未熔合问题。因焊接接头部分金属没有完全焊透,在超声波探头平移到此处的欠缺两侧移动反射波相同;未熔合就是金属与母材金属没有完全融合在一起,探头在缺陷两侧移动时也会出现反射波不一致情况。

裂缝主要发生在钢构件焊接时或焊接完成后,钢结构与焊缝热影响区受到破坏,可具体分为热裂缝与冷裂缝两种类型。在超声波探头移动到裂缝处时,转动波峰会朝上下方向错动。

### (三) 工程失效性评价

工程失效性评价主要就是对建筑钢结构工程的构件、设备运行状态、设备使用寿命等进行综合性评估,是现有无损检测技术重要应用趋势。在现阶段建筑钢结构工程实施过程中,工程失效评价应用范围日渐扩大。如对钢构件内部与外部结构进行目测检查,观察其外表是否出现损伤问题。清洗并对钢结构表面进行除锈处理,对易发生腐蚀部位的构件开展超声波检测,判断出构件腐蚀情况。针对超声波发现的疑似裂缝缺陷问题,还需要对比其他检测结果,以从根本上保障检测结果的精准度。

综合无损检测结果,对比分析建筑钢结构原始数据、参照相似钢材或钢结构,全寿命周期,对钢结构工程施工质量以及钢构件各项性能进行综合评估。

### 四、建筑钢结构工程质量控制中无损检测工作管控要点

首先,提升检测人员综合素质。检测人员专业素质与职业素养可直接影响到无损检测技术的应用效果,为充分发挥出无损检测技术在建筑钢结构工程质量管理工作中的积极作用,还需要着重构建起一支高素质无损检测团队,确保各类先进的无损检测技术能够被更好的应用在工程质量管理过程中。要求检测部门定期在人员群体中开展理论知识与专业技能的培训工作,确保检测人员能够明确检测工作开展标准,灵活操作各项检测设备。将无损检测结果与人员绩效评估结合在一起,使检测人员能够自觉遵守无损检测规范。

其次,加强检测现场管控力度。在检测工作开展前对设备进行校准处理,着重关注现场环境因素对工程质量水平造成的不利影响。严格实施全值班制度或全面检测管理制度,借助先进的检测技术平台的建设工程建设进度及质量进行全程监管。为防止样本材料与使用材料不一致情况,还需要做好样本采集与选用管控工作,确保选择出检测材料样本具有较强的代表性,能够在建筑钢结构工程质量问题检测中发挥出重要参考作用。着重关注重要部位的无损检测,如在钢材焊缝检测过程中,检测人员可以将检测探头放入到不同连接带处进行超声巡回;电脑系统接受超声巡回信息并转化成3D图像,直观展现出焊缝

结构以及焊缝缺陷问题,使此些问题能够得到及时解决,从根本上保障建筑钢结构工程施工质量与效率,最大限度消除建筑建设与运营期间的隐患问题。

最后,做好抽样检测管控工作。在建筑钢结构检测过程中,需要结合施工现场勘查情况确定检测项目、检测位置,选择是一个检测计划。明确重点检测目标,并在质量检测中使用随机抽样检测方式。钢结构检测工作可以通过敲击听声响的方式判断其内部结构是否存在裂缝,由于此种方式操作简便,因此可被应用在钢桁架结构、钢网架结构检验中,以从根本上提升检验工作开展效率。对于难以直观观察到的质量问题的钢结构,如钢结构内次梁、主梁等,需要注重划分检测重要等级,并结合检测具体要求选择适宜的无损检测手段。

不仅如此,为从根本上提升无损检测技术应用水平,还需要结合建筑钢结构工程实际建设要点,建立起专项可行的检测体系。现有城市化发展进程日渐加快,钢结构建设规模进一步扩大。为从根本上增强钢结构施工质量水平,还需要在具体施工与质量管理期间引入适宜的无损检测技术,及时发现钢结构损伤,根据检测结果优化施工技术方案。着重建立多元检测技术体系,配合使用超声波或磁粉等无损检测技术对钢结构构件进行非接触式检测,从根本上提升检测精准度,扩大检测范围。

### 五、结束语

总而言之,在建筑钢结构工程中,不同无损检测技术的应用原理以及应用优缺点不同,适宜的检测范围存在较大差异。为从根本上发挥出无损检测技术在提升建筑钢结构工程质量控制效果中的积极作用,还需要针对钢结构性能、检测成本、缺陷性质、缺陷发生部位等制定出专项可行的无损检测技术方案。加强无损检测技术应用环节管控力度,构建起一支高素质无损检测团队,从根本上保障无损检测结果的全面性与精准性,为全面评估钢结构工程施工质量提供重要理论依据。

### 参考文献:

- [1] 杨文大. 无损检测技术在钢结构检测的应用探讨[J]. 广东建材, 2020, 36(01): 53-54+63.
- [2] 刘静. 建筑钢结构的磁记忆感应机理及信号采集处理方法研究[D]. 西安建筑科技大学, 2014.
- [3] 王亮. 基于磁记忆的建筑钢结构焊接试件弯曲试验研究[D]. 西安科技大学, 2017.
- [4] 孙灏江. 基于磁记忆检测的建筑钢构件弯曲试验和特征参数研究[D]. 西安建筑科技大学, 2017.
- [5] 魏嵩铸. 浅谈钢结构无损检测的推广及发展方向[J]. 四川水泥, 2018(09): 309.
- [6] 张泽宇. 基于监测的空间钢结构健康状态评价体系研究[D]. 浙江大学, 2017.
- [7] 张博. 结合有限元分析的钢结构桥梁检测与评估研究[D]. 重庆交通大学, 2018.

作者简介: 都寒江(1985-),男,安徽安庆人,助理工程师,浙江绿筑检测技术有限公司,从事无损检测研究。