

AWS D1.1 目视检验标准在钢结构焊接质量控制中的应用实践

于万淼

(杰瑞石油天然气工程有限公司, 山东 烟台 264600)

摘要 在现代建筑行业蓬勃发展的背景下, 钢结构凭借其强度高、施工便捷等优势, 在高层建筑、桥梁等重大工程中得到广泛应用。而焊接质量是决定钢结构工程成败的关键因素, 直接关系到结构的安全性与耐久性。在此基础上, 深入探索了 AWS D1.1 目视检验标准在钢结构焊接质量控制中的应用; 说明了该标准的各项要求, 包括焊缝的外观、尺寸、缺陷评判等; 通过实例分析, 探讨了如何按标准进行质量控制, 强调质量控制在保证钢结构焊接质量、提高工程安全与可靠性方面的作用; 讨论了应用过程中可能出现的问题以及解决的途径, 以为钢结构焊接工程更好地实施 AWS D1.1 目视检验标准提供参考。

关键词 AWS D1.1 目视检验标准; 钢结构; 焊接质量

中图分类号: TU39

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.25.005

0 引言

钢结构因其强度高、重量轻、施工周期短等优点, 在现代建筑与基础设施建设中得到广泛的应用。而焊接是钢结构连接的主要方式, 它的质量直接关系到整个结构的安全性与可靠性。AWS D1.1 标准是世界范围内公认的钢结构焊接标准, 对焊接质量控制有全面严格的规范。其中目视检验是应用最为广泛、直观、经济的检验方法, 在 AWS D1.1 中应用较为广泛。

1 AWS D1.1 目视检验标准技术要求

1.1 焊缝外观要求

1.1.1 焊缝成型

AWS D1.1 要求焊缝表面均匀、平滑, 过渡自然, 不能有明显的高低起伏或不规则形状。焊缝波纹应细密、整齐, 宽度一致。例如: 角焊缝表面应为凹形或平形, 不能凸形, 以保证应力在承受荷载时的均匀分布。焊缝与母材之间过渡圆滑, 无明显台阶和突变, 过渡区的表面粗糙度符合有关规定, 一般要求不小于一定值, 如 $Ra\ 25\ \mu m$, 减少应力集中的可能。

1.1.2 焊缝颜色与光泽

标准要求焊缝颜色均匀一致, 有金属光泽。对于不同的焊接方法和焊接材料, 焊缝颜色可以有所差异, 但应符合正常焊接颜色特征。比如手工电弧焊焊缝多为暗灰色, 气体保护焊焊缝颜色较亮。如果焊缝表面

出现氧化色、黑色或其他异常颜色, 可能表明焊接过程中存在保护不足、过热等问题, 影响焊缝的质量和耐腐蚀性。同时, 焊缝表面不应有明显的油污、铁锈等杂质, 保持清洁状态, 以保证焊缝的外观质量和后续的涂装效果。

1.2 焊缝尺寸要求

1.2.1 焊缝宽度

焊缝宽度应符合设计要求, 并在一定的公差范围内。AWS D1.1 标准规定了不同焊接接头形式和母材厚度对应的焊缝宽度允许偏差。一般来说, 对接焊缝的宽度偏差控制在 $\pm 2\ mm$ 以内, 角焊缝的焊脚尺寸偏差在 $\pm 1\ mm$ 左右。例如: 对于厚度为 $10\ mm$ 的 Q345 钢对接焊缝, 设计要求焊缝宽度为 $14\sim 16\ mm$, 实际测量的焊缝宽度应在此范围内。准确控制焊缝宽度对于保证焊缝的承载能力和外观质量至关重要。焊缝过宽可能导致焊接材料浪费、热影响区增大, 降低母材性能; 焊缝过窄则可能无法保证焊缝的有效熔合, 影响焊缝强度。

1.2.2 焊缝余高

焊缝余高是指焊缝表面超出母材表面的那部分高度。AWS D1.1 标准对不同类型焊缝的余高做出了明确规定。对于承受静荷载的对接焊缝, 余高一般控制在 $0\sim 3\ mm$ 之间; 对于承受动荷载的对接焊缝, 余高要求更为严格, 通常在 $0\sim 2\ mm$ 。例如: 桥梁钢结构因

受动荷载比较频繁，对接焊缝的余高应控制在较小范围内，以减少应力集中。合适的焊缝余高既保证焊缝强度，又可避免因余高过大而引起应力集中问题。但余高过小可能使焊缝承载能力差，所以焊接过程中要控制焊接参数，保证余高符合标准要求^[1]。

1.3 焊接缺陷评判标准

1.3.1 裂纹

裂纹是焊接缺陷中最严重的缺陷之一，在AWS D1.1中，任何形式和尺寸的裂纹都是不允许存在的。无论是表面裂纹还是内部裂纹，都会使焊缝的强度和韧性大幅降低，在结构承受荷载时极易引发裂纹扩展，最终导致结构失效。裂纹的产生可能与焊接材料、焊接工艺、母材质量、结构刚性等有关。

1.3.2 气孔

在气孔指焊接过程中，焊缝中因气体不及时逸出而形成的空洞。AWS D1.1标准根据气孔的大小，数量和分布情况来判断是否合格（见表1）。对于单个气孔，其直径一般不得超过一定数值（如3 mm）；对于多个气孔，其间距和累计尺寸也有严格限制。例如：在一定长度的焊缝内，气孔的累计长度不得超过焊缝长度的5%。气孔的存在会削弱焊缝的有效截面积，降低焊缝的强度和致密性。为减少气孔的产生，需要严格控制焊接材料的含水量、清理母材表面的油污和铁锈，以及优化焊接工艺参数，如调整焊接电流、电压和焊接速度等。

表1 AWS D1.1 标准气孔缺陷评判纯数字数据参数表

评判维度	具体条件	允许数值	备注
单个气孔	直径限制	—	≤ 3 mm
多个气孔	气孔间距	相邻气孔中心距	≥ 6倍最大气孔直径
多个气孔	累计长度限制	在焊缝长度L范围内	≤ 5%×L
多层焊缝气孔	单层面气孔数量	每100 mm焊缝长度内	≤ 3个
密集气孔群	气孔群范围	在直径10 mm圆内	≤ 2个
气孔与焊缝边缘距离	距焊缝边缘	—	≥ 1.5 mm
不同板厚焊缝气孔	厚板 (t > 20 mm)	单个气孔最大深度	≤ 1/3 t 且 ≤ 6 mm
不同板厚焊缝气孔	薄板 (t ≤ 20 mm)	单个气孔最大深度	≤ 1/2 t 且 ≤ 3 mm

1.3.3 夹渣

夹渣是指焊接过程中熔渣残留在焊缝中的缺陷。AWS D1.1标准规定，夹渣的尺寸和数量应符合相应的允许范围。对于条状夹渣，其长度和宽度都有明确限制；对于点状夹渣，在一定面积内的数量不得超过规定值。夹渣会降低焊缝的强度和韧性，影响焊缝的质量。夹渣的产生主要与焊接操作不当、焊接电流过小、熔渣清理不彻底等因素有关。在焊接过程中，应注意控制焊接电流，确保熔渣能够充分上浮，并及时清理焊缝表面的熔渣，以减少夹渣缺陷的出现^[2]。

2 AWS D1.1 目视检验标准在实际工程中的应用案例

2.1 工程概况

北京丽泽 SOHO 项目总建筑面积达 17 万平方米，作为扎哈·哈迪德建筑事务所设计的地标性建筑，其主体结构采用复杂的钢结构扭曲网格体系。项目钢结构部分包含对接接头超 3 000 个、角接头约 5 000 个、T 形接头近 4 000 个，焊接工作量庞大且工艺要求极高。为保障建筑结构安全与外观质量，项目全程采用 AWS D1.1 标准进行焊接质量管控，目视检验作为关键环节贯穿施工全程。

2.2 目视检验实施过程

2.2.1 检验人员资质与培训

项目组建由 15 名 AWS 认证焊接检验师 (CWI) 领衔的专业团队，其余 20 名检验员均通过中国钢结构协会专业培训考核。施工前开展为期 2 周的专项培训，结合丽泽 SOHO 扭曲结构焊接难点，通过 BIM 模拟缺陷案例与现场实体焊缝实操，强化检验人员对标准的应用能力。

2.2.2 检验工具与设备

配备瑞士 TESA 高精度焊缝测量尺 (精度 ±0.05 mm)、德国 LED 强光探伤手电筒 (1 200 流明)、10 倍光学放大镜及定制化焊缝成型检验样板。所有设备按 ISO 17025 标准，每月由中国计量科学研究院进行校准维护。

2.2.3 检验流程与方法

项目实施“三检+飞检”制度，构建起严密的质量管控体系。焊工完成焊缝后，必须使用焊缝尺对焊缝进行 100% 自检，重点检查焊缝外观成型、尺寸偏差等明显问题，一旦发现问题立即进行整改。班组质检员按照 50% 的比例对焊工完成的焊缝进行互检，检查内容涵盖焊缝表面质量、缺陷情况以及自检记录的完

整性。项目质检团队则按 20% 的比例进行专检，针对关键节点和复杂部位的焊缝，采用 3D 激光扫描辅助定位，结合放大镜进行毫米级缺陷排查。在检验过程中，检验人员严格按照 AWS D1.1 根据标准要求从焊缝起始端开始，逐段检查焊缝的外观成型、颜色、光泽，测量尺寸参数，仔细查找裂纹、气孔、夹渣等缺陷。发现问题后，通过项目管理系统实时推送整改通知，明确缺陷位置、类型及整改要求。整改完成后，由第三方检测单位进行复检确认，确保每一道焊缝质量达标^[3-4]。

2.3 质量控制成果与数据分析

施工期间，项目团队累计完成焊缝目视检验 12 300 次，发现整改各类缺陷 615 处。经系统统计分析，焊接缺陷类型分布如表 2 所示。

表 2 北京丽泽 SOHO 项目焊接缺陷类型分布表

缺陷类型	数量 (处)	占比 (%)
气孔	246	40
夹渣	185	30
裂纹	62	10
其他 (咬边、尺寸超差等)	122	20

项目组组织专家团队对气孔、夹渣两大高发缺陷进行了深入分析，制定了针对性的工艺优化措施。将焊材烘干时间由 2 小时增加至 4 小时，严格控制烘干温度在 350±10 °C，保证焊材含水量符合要求；采用自动化喷砂设备，对母材表面进行预处理，提高表面的清洁度和粗糙度；通过焊接工艺评定试验，优化 MAG 焊的电流、电压、气体流量等参数，调整焊接速度和角度，改善熔池的流动性和气体逸出条件^[5]。

3 AWS D1.1 目视检验标准在应用过程中的挑战与应对策略

3.1 检验人员主观因素影响

目视检验在很大程度上取决于检验人员的专业技能和经验，不同检验人员对标准的理解和判断有可能存在差异，从而带来检验结果的主观性。为解决此问题，一方面要强化检验人员的培训和考核，定期组织内部培训和技术交流活动，聘请行业专家进行授课和指导，不断提高检验人员的专业水平和对标准的理解程度。另一方面，建立检验结果的复核制度，对于重要焊缝或检验结果有争议的，由多名检验人员共同复核，确保检验结果的准确性和公正性。

3.2 复杂结构部位检验困难

在钢结构工程中，一些结构部位比较复杂，如节点区、狭小空间内的焊缝等，由于位置特殊、视线受阻，使目视检验困难较大。这类问题要采用特殊的检验方法和工具。例如：节点区的焊缝可以用内窥镜进行内部观察，通过内窥镜探头深入节点内部，将焊缝的图像传入外显示屏上，便于检验人员观察焊缝质量。对于小空间的焊缝，可采用微型焊缝测量尺、迷你强光手电筒等小型便携式检验设备，便于小空间的检验。

3.3 焊接缺陷修复后的质量验证

在发现焊接缺陷并进行修复后，还要保证焊缝质量符合标准要求。但在实际应用中有时有修复后的焊缝再次出现缺陷的情况。为解决这一问题，首先应规范焊接缺陷修复工艺，根据缺陷的类型及严重程度制定相应的修复方案，明确修复方法、焊接材料和工艺参数等。在修复过程中，要严格按照修复工艺进行操作，确保修复质量。修复完成后对修复部位进行重点检验，除目视检验外，可根据需要增加无损检测手段如超声波检测、磁粉检测等对修复部位内部质量进行验证。

4 结束语

AWS D1.1 目视检验标准在钢结构焊接质量控制中有着不可替代的作用。通过严格检验焊缝外观、尺寸及缺陷，及时发现焊接过程中的问题，为焊接质量提供有力保障。在实际工程应用中，按照该标准进行质量控制，取得了较好的效果，大大提高了钢结构焊接质量，降低了工程风险。但是在应用过程中也存在着检验人员主观因素的影响、复杂结构部位检验困难以及焊接缺陷修复后的质量验证等问题。通过加强检验人员的培训、采用特殊的检验方法和工具和规范焊接缺陷修复工艺等对策，可以较好地解决上述问题，保证 AWS D1.1 目视检验标准在钢结构焊接质量控制中实施。

参考文献:

- [1] 李晓康,徐斌荣,肖虎,等.基于 AWS D1.1 标准焊接工艺评定解析[J].机械工程师,2023(07):89-91.
- [2] 徐刚.钢结构焊接施工中的质量控制与管理方法[J].中国建筑金属结构,2025,24(10):136-138.
- [3] 蔡顺辉.钢结构施工中的焊接质量控制措施[N].河南经济报,2025-04-19 (011).
- [4] 陈晨.钢结构焊接质量控制措施与检测技术探讨[J].四川水泥,2025(02):174-176.
- [5] 林晓政.探讨目视检测在钢结构中的现状及重要性[J].建筑与预算,2021(10):128-130.