

# 钢结构桥梁防腐施工技术

程蔚菘, 贺燕平, 赵家翔

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610213)

**摘要:**随着国家基础设施建设的快速发展,钢结构设计逐步朝着跨度大、强度高、自重轻、设计经济等方向发展,使桥梁工程的建设迎来了崭新的局面。钢结构桥梁的结构腐蚀、应力腐蚀、疲劳是使钢结构桥梁寿命降低的重要原因之一。以钢结构桥梁建设为例,结合工程实际对钢结构桥梁防腐施工技术及钢结构防腐的重要性进行了阐述。

**关键词:**钢结构;防腐;涂装;桥梁

**中图分类号:**U445;U445.7+1

**文献标志码:**B

**文章编号:**1001-2184(2024)05-0090-04

## Anti-corrosion Construction Technology of Steel Structure Bridge

CHENG Weisong, HE Yanping, ZHAO Jiexiang

(Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610213)

**Abstract:** With the rapid development of national infrastructure, steel structure design has gradually moved to the direction of large span, high strength, light weight, and design economy, which has ushered in a new situation for social bridge construction. However, structural corrosion, stress corrosion and fatigue of steel bridge are the important causes for reducing the life of steel bridge. Taking steel structure bridge as an example, the importance of anti-corrosion construction technology of steel structure bridge and steel structure anti-corrosion is analyzed in combination with engineering practice.

**Key words:** Steel structure; Anti-corrosion; Coating; Bridge

### 1 概述

以往因防腐技术落后导致钢结构桥梁的一些节点在其使用不久就出现了严重的腐蚀,即使不定期进行涂层维护也无法明显改善而导致钢结构桥梁使用寿命降低,结构功能退化,最终需要拆除重建,进而造成巨大的经济损失。大气环境引起的结构应力腐蚀,加上受外力影响导致桥梁倒塌而造成严重损失的先例在国际上也时有发生。为此,钢结构的防腐涂层引起了各国从事桥梁建设的工程技术人员的高度重视。

钢结构桥梁的防腐涂层曾经是桥梁行业备受重视的问题。人们已经认识到:只有在设计和施工过程中采用性能良好的防腐体系,才能有效地保护其结构的长寿命。由于国内许多地区潮湿的空气和恶劣的环境,钢结构桥梁防腐涂料的施工质量受到了严峻的考验。因此,选择一种耐用、经济、工艺简单的防腐涂层体系对钢结构桥梁的长期安全使用至关重要。

### 2 钢结构防腐的重要性<sup>[1]</sup>

钢是铁和碳的合金。其中铁是一种活性金属元素,容易在空气中氧化;与水、盐酸、化学污渍接触容易腐蚀。虽然钢结构中具有一定的碳混合物,但其也有可能潮湿的环境及恶劣的天气下腐蚀。

当前的环境污染问题仍然突出,许多工程受到大量的粉尘和其他化学气体的不断侵蚀,对钢结构的腐蚀造成极大的威胁。在钢结构表面采用涂料进行涂装保护可有效减缓钢结构的腐蚀,甚至达到不腐蚀的情况。此外,用于钢结构防腐的涂层具有以下作用:

(1)屏蔽缓蚀作用:涂装于钢结构表面的涂层可以有效阻止腐蚀介质、水分与材料表面接触,提高涂层的防腐蚀能力,延缓或杜绝钝化等腐蚀情况的发生。

(2)外观装饰作用:涂料在为钢结构提供防腐的同时,亦对其外观起到了很关键的作用,使其更好地融入到周围环境中、形成了一道靓丽

收稿日期:2024-06-30

的风景线。

(3)经济与安全:钢结构的防腐施工是确保其结构长期性能和安全的工序。通过实施适当的防腐措施,可以降低桥梁的后期维护成本,延长其使用寿命,保护结构的完整性,同时能节省运维成本。

### 3 钢结构防腐施工技术

采用钢结构建造的大桥大多数存在切割、焊接、装配过程,其又以焊接工作较多;而焊接造成的高温、黄烟、焊渣和飞溅物对桥梁防腐涂装前的表面处理要求更高。

钢材的表面处理是钢材涂漆前对需要涂漆的工件表面进行的一项准备工作,也是一项非常重要的基础工作。涂装前对钢材表面处理的好坏直接关系到整个涂装系统的耐腐蚀性与寿命保护。多年的实践证实;许多涂装保护体系过早地失效,其超过 70%的原因是构件表面处理不当所致。

钢结构表面清理的工艺要求:

(1)表面清理包括表面缺陷的修补、打磨、除尘,表面油污、水锈的检查及清除,涂料、胶带等表面附着物及杂物的清除。表面清理的质量直接影响到喷砂除锈处理后的基底表面质量,对基材与底漆之间的结合力具有至关重要的影响<sup>[2]</sup>。

表面清理的工艺流程为:焊接缺陷补焊、打磨→清洗剂清洗油污→压缩空气吹净、干燥→防止再次污染。焊缝及缺陷部位的打磨标准见表 1。

表 1 焊缝及缺陷部位打磨标准表

部位	焊缝及缺陷部位的打磨标准
自由边	用砂轮机磨去锐边或其它边角,使其圆滑过渡,处理后的锐边或边角的最小曲率半径为 2~3 mm
飞溅	用工具除去可见的飞溅物,或用砂轮机磨钝
焊缝咬边	超过 0.8 mm 深或宽度小于深度的咬边均采取补焊或打磨的方式进行修复
表面损伤	超过 0.8 mm 深的表面损伤、坑点或裂纹均采取补焊或打磨的方式进行修复
手工焊缝	表面超过 3 mm 不平度的手工焊缝或焊缝有夹杂物的地方均采用磨光机打磨至表面不平度小于 3 mm
自动焊缝	一般不需要进行特别处理
正边焊缝	带有铁槽、坑的正边焊缝应按“咬边”的要求进行处理
焊接弧	按“飞溅”和“表面损伤”的要求进行处理
割边表面	打磨至凹凸度小于 1 mm
板边缘切割硬化层	用砂轮机磨掉 0.3 mm

(2)为了提高涂膜的施工质量,钢结构表面应在二次喷砂后再进行涂装。表面清理的过程为:用高压气体清理涂面→用干净的棉或布料擦净→对构件进行覆盖保护以避免再次污染。清洁要求见表 2<sup>[3]</sup>。

表 2 清洁要求表

项目	清洁要求
油脂	肉眼不可见
水分、盐分	肉眼不可见
肥皂液	肉眼不可见
焊割烟尘	用手指轻抹,不见烟尘跌落
白锈	用手指轻抹,不见烟尘跌落
粉笔记号	用干净棉纱抹净,允许可见痕迹
涂料笔记号	用铲刀等工具清除,肉眼不可见
漆膜破损	肉眼不可见的包括烧损起泡等漆膜缺陷
其它损伤	用碎布、棉纱抹净

(3)待表面清理检验合格后立即进行喷砂施工。所选择的砂砾其清洁、干燥性能必须符合设计及相关规范的要求;其粒度和形状符合相关要求,表面粗糙度经喷砂处理后磨料干净、干燥,质量符合有关规定。施工过程中应经常检查磨料的损耗情况并及时进行补充和调整。

采用吸砂机和人工清洗铲收砂。为了保证喷砂处理的表面具有所需要的粗糙度和清洁度,在其使用过程中应定期检查磨料,对每次使用的砂进行筛分和粉尘分离,清除废砂并及时添加新砂。

压缩空气的质量对其表面处理的质量(包括后续喷漆的质量)具有重要影响,对空压机出口的压缩空气进行冷却和油水分离过滤处理能够保证施工所用的压缩空气干燥洁净。

现场修补及喷砂视情况不同分别采用手动机械打磨(对于小面积及边角)和真空封闭式喷砂机(对于较大面积)进行。为保证喷砂质量,可以采用上述两种设备进行组合处理,防止出现遗漏。喷砂作业的环境要求见表 3。

① 喷砂作业。磨料喷射的施工夹角为 75°~85°,喷枪与工作面的距离为 20~40 cm。当喷嘴直径增加 20%时需更换喷嘴。

② 清砂与清尘。采用机械吸砂后,附着在钢板表面的粉尘无法通过吹灰完全去除,粉尘仍会漂浮在空气中,最终沉落在喷砂处理过的施工表

表 3 喷砂作业的环境要求表

项目	控制要求	检测方法
环境温度	5℃~38℃	温度计测量
空气相对湿度	≤80%	干湿球温度计测量后再查表进行换算,或直接用仪器测量空气湿度
钢板表面温度	≥空气露点温度+3℃	钢板温度计测量
空气露点	由空气温度和空气相对湿度查表求出	

面,因此,应使用大功率吸尘器或带吸尘装置的真空吸砂机充分吸收喷砂处理过的施工表面的粉尘。

涂装油漆前,必须对将要涂装油漆的表面进行清理。对喷砂表面应清理干净残存的磨料并吹净其表面的浮灰;对于机械打磨的表面,应清理干净打磨时残存的杂物并吹净其表面浮灰;对电弧喷涂层表面附着的颗粒及粉尘进行清理;对于原有油漆涂层,应首先处理涂层缺陷,然后除去其表面杂物并吹净表面的浮灰。

③ 清洁层的表面保护。接近喷砂表面时,所有人员应穿着专用工作服、鞋套和手套,防止污染清洁后的表面。

#### (4) 喷漆技术要求

① 涂料的品种及质量。涂料进场前必须进行检测并合格,经监理单位验收批准后方可使用。

② 喷漆作业采用的方法。喷涂采用刷涂和高压无气喷涂两种方式,刷涂仅用于预涂和边角补涂。

涂装施工时,钢板表面不得有雨水或结露,其相对湿度不应高于 80%,环境温度不得低于 5℃。当风大于 3 级时应停止喷漆作业。涂装后 4 h 内应采取保护措施,使其不遭受雨淋。底漆与中间漆涂层涂装完成的间隔时间不宜超过 7 d。

③ 始喷时间。表面喷砂处理并经检验合格后,对其清洁表面进行覆盖保护,防止二次污染。保护过程中,应控制其相对湿度小于 80%。若湿度不能得到良好控制,则应在喷砂结束后 4 h 内喷涂密封漆。

④ 预涂。为保证预涂质量,所有预涂均为手工刷涂。在对箱体外表面进行涂装并在箱体内部涂底漆前,应提前对所有焊缝、边角及设备不能喷涂的部位进行预涂,并确保边角处的涂装厚度符合要求。为了保证上述部位的涂装质量,在喷涂中间漆和面漆之前,还需对上述部位进行预涂。

⑤ 涂料的调配。涂料调配前,使用搅拌机将各种成分均匀搅拌,必要时进行过滤,然后根据需要进行混合。配料时一定要注意涂料的养护期和混用期,待其达到养护期方可施工。严禁使用过期的涂料,必须做到涂料现配现用,控制好最后一套油漆使用的必要性和调配时间,避免浪费涂料。

⑥ 涂料的稀释。必要时,可在所配置的涂料中加入稀释剂进行稀释以便于施工,但稀释剂与涂料的体积比除封闭漆外,不得超过规定值的 5%,封闭漆中稀释剂的添加量一般为 30%~50%,并根据喷涂后的表面状态进行调整。

⑦ 操作。严格控制涂装施工过程,喷枪与工件表面的距离必须保持适当的距离。喷涂时,始终与待涂表面保持 90°左右,使涂层分布均匀,无流挂、渗漏、干喷涂、开裂等质量缺陷出现。喷枪移动喷涂时,其上下工作面喷涂需重叠 1/3。

⑧ 记录。对施工过程中使用的环境条件、油漆种类、数量和涂装部位、涂层厚度等均需进行记录。

#### (5) 现场涂装

① 对拼装现场涂层损坏处的修补涂装。对储存、运输、吊装过程中因摩擦、碰撞等机械因素造成的涂层破损及现场焊缝区域(装配现场涂装前预留 50 mm)按破损区域的大小及破损程度遵循修补涂层的工艺要求进行修补。修复后的涂层性能应与母涂层相似。

② 环缝的涂装。对箱内外的焊缝需在表面清扫后进行打磨处理。采用机械磨砂机、砂纸等工具进行磨削除锈,使其表面洁净度达到 St3 级;对涂层周围的斜面进行抛光以显示出不同的油漆层,并在除锈后将所有的灰尘清除。

在对外表面焊缝涂装时,应选用安全可靠的施工平台并搭设安全设施。

喷涂、刷涂有机涂层,待自检、专检合格后报监理验收;在局部重涂期间对其他环焊缝进行后续涂层的喷涂、刷涂施工,使干膜厚度达到设计要求,待全面自检表面状态达到验收细则要求、专检合格后报监理工程师验收;监理工程师按照相关要求全面检测其总厚度、外观和涂层结合力是否合格。

③ 施工现场面漆的涂装。对已喷涂涂层的表面污染处进行清洁,并将损坏处的涂层进行修复,

然后进行整桥面漆的涂装。

④ 油漆涂层缺陷的类型与修补方法<sup>[4]</sup>。油漆涂层缺陷的类型与修补方法见表4。

表4 油漆涂层缺陷的类型与修补方法表

名称	原因/现象	预防/处理方法
厚度不均匀	喷枪移动速度不均匀	规范喷枪的操作方法,提高工人的操作技能
	送丝速度太快,使得铝丝熔化不充分	
脱落起壳	金属表面锈、油未清除、表面粗糙度太小	处理表面的清洁度,粗糙度复查,不良部分按修补工艺进行修补
流挂	涂料沿涂覆表面流淌	涂层未干时用刷子刷掉流挂的涂料;如涂料已干,则用砂纸将其砂掉后再喷
干喷	涂料在到达涂覆表面前已成粉状,涂覆表面形成了一个像砂纸一样粗糙的膜	除掉干喷层后重新喷涂,同时调整好操作参数并注意环境条件
桔皮	涂覆表面形成类似桔皮状的漆膜	涂层未干时用刷子刷掉桔皮,如涂层已干则用砂纸砂掉桔皮后重喷
大龟裂	涂层表面形成了网状裂纹,其形状类似于干裂的泥地(多发生于快干型涂料)	除掉龟裂的涂层,调整操作参数,重喷
皱折	涂层表面呈现出类似皱纹一样的漆膜	铲除皱折层重新喷涂
针孔	漆膜上出现小而深、肉眼可见的小孔,通常呈一簇一簇地出现	采用多次喷涂将针孔封闭或采用刷子用机械法进行修补
脱层	两层漆膜之间或涂层与底材之间出现分离	去掉分离层,重新进行处理和喷涂

#### (6)特殊工序的处理

① 焊缝处理。对于沿焊缝两侧 30~50 mm 的范围需用砂轮除锈、清理表面,并需达到相应的要求。

整体涂装前,对焊缝区域需要采用刷涂的方式进行预涂,杜绝漏涂现象的发生。涂装前,应对焊缝进行去除表面缺陷、除渣、除油脂、去除污染物等的处理,然后实施相应的表面处理工艺并及时进行后续的涂装。

实际施工过程中,在保证焊缝区域底漆(环氧富锌漆)厚度的基础上,可适当增加中间涂层的控制厚度(如将中间漆的厚度提高 1.2 倍),以保证该区域的整体涂层厚度和质量。

焊缝处理前,对其周围已完成防腐施工的表面进行保护。

② 损坏区域的修补<sup>[5]</sup>。对于储存、运输、吊装过程中因摩擦、碰撞等因素造成的涂层损坏,遵循修复涂层的工艺要求,按损坏区域的大小和损坏程度进行修复和检查。修复后涂层的性能应与母涂层一致。

对于小面积的涂层修补,可以在设计配套及涂料可作业的环境前提下采用机械除锈至表面清洁度 St3 级,然后根据其所在位置涂层配套进行修补,亦可用手涂刷至设计厚度。施工前,破损、缺陷区域的修补方法和步骤应需通过工程师的审核。

#### 4 防腐涂装的重要性

钢结构腐蚀会缩短钢结构的使用寿命。通过防腐保护可以延长钢结构的寿命,减少其维护和更换的频率,进而降低其整体维护的成本。

腐蚀会损害钢结构的完整性,可能会导致其结构弱化和失效。对于一些关键基础设施项目来说,如桥梁结构可能会带来巨大的安全隐患。

与腐蚀修复和结构更换高昂的费用相比,防腐涂层的成本相对较低,可以节省大量的资金。

腐蚀的成本包括腐蚀造成损失的修复成本、严重腐蚀造成结构损坏而停运、停产的损失。这些成本可能是巨大的,特别是对于那些关键基础设施项目。相比而言,防腐涂层的费用相对较低。

#### 5 结语

国内各地区钢结构防腐涂层施工技术水平参差不齐,存在对基层处理、环境温湿度控制、除锈设备校验、层间衔接时间控制等质量验收把控不严,有限空间区域检测不彻底等导致后期结构使用过程中出现不同程度的质量缺陷。因此,针对不同地域条件进行涂层结构的设计,多采用工厂预制品,减少现场施工作业,做好施工工序的精细化管理,不断进行施工总结,积极更新、引进先进的设备设施,提高施工技术及质量管理水平,才能更好地延长涂层的使用寿命和结构的耐久性以及运维的经济性。

#### 参考文献:

- [1] 孟祥凯,张盈.防腐设计在工业建筑设计中的应用分析[J].中国建筑金属结构,2024,23(5):124-126.
- [2] 王宏宾.钢结构桥梁工程防腐涂装工艺及质量控制措施[J].大众标准化,2023,42(24):25-27.

(下转第 102 页)

上做好标记,以便后续对缺陷进行处理和复检。

质量级别见表 4。

钢管焊接纵向、环向对接焊缝超声波无损检测的

#### 4 超声波探伤质量控制的要点

表 4 钢管焊接纵向、环向对接焊缝超声波无损检测质量级别表

焊接接头 等级	焊接焊缝内部缺陷		环向焊接焊缝接头单面焊根部未焊透缺陷	
	反射波幅所在区域	单个缺陷指示长度允许值 /mm	指示长度允许值 /mm	累计长度允许值 /mm
I	I	$\leq 40$	$\leq t/3$ , 最小可为 8	长度小于等于焊缝周长的 10%, 且小于 30
	II	$\leq t/3$ , 最小可为 8, 最大为 30		

注:(1)当对接接头的钢管厚度存在差异时,采用厚度较薄侧的厚度为检测值;(2)在对接焊缝两侧 10 mm 范围内同时存在条状缺陷和未焊透缺陷时,应评定为 III 级;(3)当该级别单个指示长度允许值大于缺陷允许值累计长度时,以单个缺陷指示长度允许值为准;(4) $t$  为管材的壁厚,mm。

(1)超声波探伤检测前,必须让焊缝自然冷却至常温(包括复检)。该工程的焊缝超声波检测均在施焊结束 24 h 后进行;

(2)超声波探伤检测前,对其检测面必须进行清除铁屑、油漆、油垢、焊渣飞溅及其他异物的工作,以免影响到声波耦合和对缺陷的判断;

(3)检测面的清理范围一定要覆盖整个探头移动区域,以方便探头扫查时能够正常移动;

(4)进行超声波无损检测时必须覆盖全部检测区,因此,探头移动区域的宽度必须覆盖全部检测区;

(5)超声波探伤检测应在焊缝外观检查合格后进行;

(6)由于不同的环境温度会影响声波在材料中的传播速度、影响检测结果的准确性,故检测过程中应保持环境温度稳定;

(7)超声波检测的前提:要求仪器及其探头无故障、性能正常;

(8)在实际检测时,耦合剂的选择应与仪器调校时所用的耦合剂保持一致;

(9)对焊缝的超声波检测结果的准确性存在质疑时,应采用射线探伤检测对超声波检测结果进行复核。

## 5 结 语

焊缝质量是钢管稳定运行的重要因素,其直接影响到管道的承载能力、使用寿命和安全性,在

(上接第 93 页)

- [3] 王洪胜,冯欢欢,丁相吉. 钢结构建筑防腐保护工程的质量控制途径[J]. 工程建筑与设计,2024,72(2):203-205.
- [4] 杨晨. 钢结构桥梁防腐涂层病害原因分析及修复方案优选分析[J]. 全面腐蚀控制,2020,34(1):83-84.
- [5] 色吉拉呼. 钢结构建筑防腐保护工程的质量控制[J]. 四川建材. 2015,41(3):230,232.

工程施工中必须重视焊缝质量的检测工作,准确判定焊缝是否合格。检验钢管焊缝质量的有效方法是焊缝无损探伤检测。在工程实践中,应根据管道的材质、壁厚等因素综合比选合适的焊缝检测技术;在使用超声波探伤检测技术时,应做好仪器设备的准备工作,包括探头的选择、仪器的调节、距离-波幅曲线的绘制及灵敏度选择,同时应选择一致的耦合剂,提前对焊缝检测面进行处理至合格,并按照正确的操作规程进行探伤检测及缺陷判定,准确评定焊缝质量以确保钢管焊接质量满足相关要求。

#### 参考文献:

- [1] 陈振刚. 浅析磁粉探伤在检测焊接质量上的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版),2016,6(11):5649-649.
- [2] 张书瑄. 超声波探伤 304L 不锈钢焊接缺陷研究[D]. 西安:长安大学,2017.
- [3] 张义磊,张彬. 锅炉接管角焊缝超声波检测工艺的探讨[J]. 化工装备技术,2019,40(6):34-36.
- [4] 张佳银. 手动常规超声法检测焊接接头横向缺陷可行性关键因素的探讨[C]. 2017 远东无损检测新技术论坛论文集. 2017:173-180.
- [5] 冯华平. 对 NB/T 47013.3-2015 标准中焊接接头超声检测内容的探讨[J]. 无损检测,2018,40(11):80-84.

#### 作者简介:

祁 涛(1988-),男,安徽宿州人,副高级工程师,学士,从事水利水电与市政工程施工技术与管理工  
李海军(1997-),男,四川南充人,助理工程师,从事水利水电与市政工程施工技术与管理工  
(编辑:李燕辉)

#### 作者简介:

程蔚蕊(1997-),男,四川南充人,技术员,从事市政工程施工技术与质量管理工作;  
贺燕平(1996-),女,陕西铜川人,助理工程师,学士,从事市政工程施工技术与质量管理工作;  
赵家翔(1997-),男,甘肃天水人,助理工程师,从事市政工程施工技术与质量管理工作。  
(编辑:李燕辉)