

耐候钢稳定化锈层处理技术研究

张雅婕, 吴锡忠

(中铁山桥集团有限公司, 河北 秦皇岛 066200)

摘要: 水淋法是目前普遍采用的一种加速耐候钢表面形成稳定化锈层的处理技术,但在耐候钢结构桥梁实际制造过程中,发现焊缝、热矫、打磨、切割面存在表面稳定化锈层生成速率慢且效果不佳,高强螺栓连接部位抗滑移系数不达标现象。因此,本文对耐候钢不同表面状态的锈层稳定化处理的工艺进行了研究。结果表明:1)对于焊缝、热切割自由边等特殊区域,由于钢板表面硬度较高,需要通过打磨或其他方式降低钢板硬度,以保证后续喷砂效果,从而加速其表面稳定化锈层的形成;2)耐候钢高强螺栓部位在锈层形成后抗滑移性能显著提升,且能够满足桥梁架设的要求。

关键词: 水淋法; 耐候钢; 稳定化锈层; 不同表面状态

中图分类号:TQ639 文献标志码:A 文章编号:1007-9548(2025)12-0069-04

Study on Stabilizing Rust Layer Treatment Technology of Weathering Steel

ZHANG Ya-jie, WU Xi-zhong

(China Railway Shanhaiguan Bridge Group Co., Ltd., Qinhuangdao 066200, Hebei, China)

Abstract: Water spraying method is a widely used treatment technology to accelerate the formation of stable rust layer on the surface of weathering steel. However, in the actual manufacturing process of weathering steel structure bridges, it is found that the formation rate of surface stable rust layer is slow and the effect is not good on the weld, thermal rectification, grinding and cutting surfaces, and the anti-slip coefficient of high-strength bolt joint is not good. Therefore, the stabilization process of rust layer in different surface states of weathering steel is studied in this paper. The results show that: 1) for special areas such as welds and hot cut free edges, due to the high surface hardness of steel plates, it is necessary to reduce the hardness of steel plates by grinding or other means to ensure the subsequent sandblasting effect, thus accelerating the formation of surface stabilization rust layer; 2) the anti-slip performance of high-strength bolt parts of weathering steel is significantly improved after the formation of rust layer, and can meet the requirements of bridge construction.

Key words: water spraying method; weathering steel; stable rust layer; different surface states

0 引言

目前常用的耐候钢表面锈层稳定化处理技术为水淋加速锈蚀以及喷洒锈层稳定剂加速锈蚀,但随着环保要求越来越高,锈层稳定剂污染较大,因此水淋法是一种经济实用的方案。但在实际施工过程中发现不同

表面状态下,例如焊缝、热矫、打磨、切割面等区域存在表面稳定化锈层生成速率慢且效果不佳的现象。此外,对于耐候钢高强螺栓部位,表面稳定化锈层的形成对抗滑移性能的影响也是关乎耐候钢桥梁质量的重要部分。因此,为满足耐候钢结构桥梁的实际生产要求,需要对耐候钢不同表面的锈层稳定化处理的工艺进行进一步研究,从而为耐候钢桥梁的实际生产过程提供一定的参考价值。

本文通过对钢板的不同表面状态进行洒水处理及工艺改进,对稳定化锈层的形成过程进行了对比研究,

收稿日期: 2024-06-26

作者简介: 张雅婕(1995—),女,硕士,助理工程师,主要从事钢结构桥梁腐蚀及防护的研究工作。E-mail: 1055568784@qq.com。

利用抗滑移试验探究了耐候钢试板高强螺栓部位的抗滑移性能,验证了不同表面状态锈层形成的工艺可行性。

1 试验部分

1.1 材料

试验材料选取 Q500qENH、HTW-62GNH 两种材质的耐候钢板制作试板。

1.2 方法

1.2.1 试板制备

制备了 8 块试板,其中对接焊样板 4 块,热矫样板 4 块,所有试板的自由边均采用热切割方式,分别编号为 1#~8#。其中 1#、3#、5#、7# 为 Q500qENH 材质,2#、4#、6#、8# 为 HTW-62GNH 材质,并制作 1#、2#、5#、6# 对接焊

试板,3#、4#、7#、8# 热矫试板。其中试板 1#、2#、3#、4# 采用打磨除锈,热切割自由边部位局部打磨处理做对比试验;试板 5#、6#、7#、8# 采用喷砂除锈(Sa2.5,Rz=25~50 μm),热切割自由边局部喷砂处理做对比试验。具体处理方案如表 1 所列。

1.2.2 洒水养护

对编号为 1#~8# 钢板每天洒水 2 次。洒水处理后,让钢表面自然干燥,此时用吸水材料吸掉钢结构下部残积的水,以保证上下部的干燥时间一致。多次洒水处理时,需待钢结构干燥后,再进行重复洒水。对 8 组样品进行连续的洒水处理,观察并记录耐候钢表面锈层变化情况。

表 1 试板制备相关信息

项目	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#
材质	Q500qENH	HTW-62GNH	Q500qENH	HTW-62GNH	Q500qENH	HTW-62GNH	Q500qENH	HTW-62GNH
试板类型	接焊试板	接焊试板	热矫试板	热矫试板	接焊试板	接焊试板	热矫试板	热矫试板
处理方式	打磨除锈	打磨除锈	打磨除锈	打磨除锈	喷砂除锈	打磨后喷砂除锈	打磨后喷砂除锈	喷砂除锈
自由边	打磨除锈	打磨除锈	打磨除锈	打磨除锈	喷砂除锈	打磨后喷砂除锈	打磨后喷砂除锈	喷砂除锈

2 结果与分析

2.1 焊接区域锈层形成过程中表面形貌分析

分别记录了 1#、2# 经打磨除锈后的两种材质的焊接试板、5#、6# 经喷砂除锈后的两种材质的焊接试板在经过连续 7 d 洒水后的第 1 天、第 2 天、第 3 天、第 8 天钢板表面锈蚀形成情况。编号情况如表 2 所列,表 3 分别记录了焊接钢板表面锈蚀形成过程。

表 2 试板编号信息

试板编号	1#	2#	5#	6#
第 1 天	1-1	2-1	5-1	6-1
第 2 天	1-2	2-2	5-2	6-2
第 3 天	1-3	2-3	5-3	6-3
第 8 天	1-8	2-8	5-8	6-8

表 3 焊接试板表面锈蚀形成过程

试板	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 8 天
1#	1-1 焊缝位置几乎未出现锈蚀,其余区域局部有轻微锈蚀出现	1-2 焊缝位置出现轻微锈蚀;其余区域有锈蚀出现,部分区域锈层颜色加深	1-3 焊缝位置出现轻微锈蚀;其余区域有锈蚀出现,部分区域锈层颜色加深	1-8 焊缝位置和其他区域均有锈层生成,且部分区域锈层颜色加深
2#	2-1 焊缝位置几乎未出现锈蚀,其余区域局部有浅色锈层生成	2-2 焊缝位置出现轻微锈蚀;其余区域有锈蚀出现,部分区域锈层颜色加深	2-3 焊缝位置出现轻微锈蚀;其余区域有锈蚀出现,部分区域锈层颜色加深	2-8 焊缝位置出现轻微锈蚀;其余区域有锈蚀出现,部分区域锈层颜色加深
5#	5-1 焊缝位置及其余区域均有浅色锈层出现,但焊缝区域局部未锈蚀	5-2 焊缝位置及其余区域均有浅色锈层出现,局部锈蚀颜色较深。但焊缝区域局部未锈蚀	5-3 焊缝位置锈层不均匀,局部锈蚀较浅,其余部位出现较均匀锈层,且锈蚀颜色较深	5-8 焊缝位置锈层不均匀,局部锈蚀较浅,其余部位出现深色的均匀锈层
6#	6-1 焊缝位置及其余区域均有浅色锈层出现	6-2 焊缝位置及其余区域均有浅色锈层出现,局部锈蚀颜色较深	6-3 焊缝位置及其余区域均出现较均匀锈蚀,且锈蚀颜色较深	6-8 焊缝位置及其余区域均出现均匀的深色锈层

分别观察 1#、2#、5#、6# 的锈层形成全过程,可以发现焊缝锈层形成速度明显要慢于正常表面。

对 1#、2# 表面经打磨处理后的两种材质钢板与 5#、6# 表面经喷砂处理后的两种材质钢板进行对比发现,

钢板喷砂表面锈层的形成速度要明显快于打磨表面。说明粗糙度较高的表面状态是有利于锈层形成的。原因分析:喷砂钢板表面粗糙度高于打磨表面,洒水处理后,由于钢板表面粗糙度较高,使钢板与水接触的比表面积增大,即钢板表面原电池存在的时间要明显长于光滑表面,因此有利于锈层的形成。

对 5# 进行喷砂除锈后的试板与 6# 打磨后再喷砂除锈的试板对比发现,打磨后喷砂处理锈层的形成效果好于直接喷砂除锈的试板。原因分析:在生产制造过程中,焊缝区域由于受到高温、自身结构组织、焊接材料、焊接工艺等多重影响,往往导致焊缝位置与钢板其余部位相比硬度提升,硬度较高的这些区域不易被喷射,导致粗糙度明显低于周边,因此在车间施工时这些部位需要着重喷砂处理或打磨降低表面硬度后再进行喷砂除锈,保证焊缝区域达到一定的粗糙度后再进行

洒水养护。

2.2 热矫区域锈层形成过程中表面形貌分析

分别记录了 3#、4# 经打磨除锈后的两种材质的热矫试板、7#、8# 经喷砂除锈后的两种材质的热矫试板在经过连续 7 d 洒水后的第 1 天、第 2 天、第 3 天、第 8 天钢板表面锈蚀形成情况。编号情况如表 4 所列,表 5 分别记录了热矫钢板表面锈蚀形成过程。

表 4 热矫试板编号信息

试板编号	3#	4#	7#	8#
第 1 天	3-1	4-1	7-1	8-1
第 2 天	3-2	4-2	7-2	8-2
第 3 天	3-3	4-3	7-3	8-3
第 8 天	3-8	4-8	7-8	8-8

表 5 热矫试板锈蚀形成过程

试板	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 8 天
3#	3-1 除热矫区域外,局部有轻微的浅色锈蚀出现	3-2 热矫区域及其余部位局部出现较浅的锈蚀,但锈层不均匀,局部区域未出现锈蚀	3-3 热矫区域及其余部位局部出现较浅的锈蚀,但锈层不均匀,局部区域未出现锈蚀	3-8 热矫区域及其余部位局部出现较深的锈蚀,但锈层不均匀,局部区域未出现锈蚀
4#	4-1 除热矫区域外,局部有轻微的浅色锈蚀出现	4-2 热矫区域及其余部位局部出现较浅的锈蚀,但锈层不均匀,局部区域未出现锈蚀	4-3 热矫区域及其余部位局部出现较浅的锈蚀,但锈层不均匀,局部区域未出现锈蚀	4-8 热矫区域及其余部位局部出现较深的锈蚀,但锈层不均匀,局部区域未出现锈蚀
7#	7-1 热矫部位几乎有轻微锈蚀,其余区域出现浅色锈层	7-2 热矫部位有浅色锈层出现,其余区域出现深色锈层	7-3 热矫部位有浅色锈层出现,其余区域出现深色锈层	7-8 热胶部位及其余区域出现了均匀的深色锈层,但热矫部位锈蚀相对较浅
8#	8-1 热矫部位几乎有轻微锈蚀,其余区域出现浅色锈层	8-2 热矫部位有浅色锈层出现,其余区域出现深色锈层	8-3 热矫部位及其余区域均出现深色且均匀的锈层	8-8 热矫部位及其余区域均出现深色且均匀的锈层

分别观察 3#、4#、7#、8# 的锈层形成全过程,可以发现热矫区域锈层形成速度稍慢于正常表面,但在进行连续 7 d 的洒水处理后,热矫区域锈层与其余部位锈层无较大差别;对比 7#、8# 试板的锈层形成过程,可以发现两者锈层形成速度稍慢于正常表面,但在进行连续 7 d 的洒水处理后,热矫部位也会形成与其他区域颜色较深的稳定化锈层;上述现象均表明热矫行为对耐候钢性能影响较小,可按照正常钢板进行洒水处理即可。

通过对 3#、4# 表面经打磨处理后的两种材质的钢板与 7#、8# 表面经喷砂处理后的两种材质的钢板进行对比发现,钢板喷砂表面锈层的形成速度及锈

层状态比打磨表面好,粗糙度较高的表面状态是有利于锈层形成的。原因分析:喷砂钢板表面粗糙度高于打磨表面,洒水处理后,由于钢板表面粗糙度较高,使钢板与水接触的比表面积增大,即钢板表面原电池存在的时间要明显长于光滑表面,因此有利于锈层的形成。

2.3 热切割自由边区域锈层形成过程表面形貌分析

3#、4# 经过 3 d、7 d 洒水操作的钢板正常表面及自由边表面经过打磨处理后的锈层形貌对比如图 1~2 所示,7#、8# 经过 3 d、7 d 洒水操作后的钢板正常表面及自由边表面经过喷砂处理后的锈层形貌对比如图 3~4 所示。



图1 3# 试板钢板表面锈蚀形成状态与自由边锈蚀形成状态对比



图2 4# 试板钢板表面锈蚀形成状态与自由边锈蚀形成状态对比

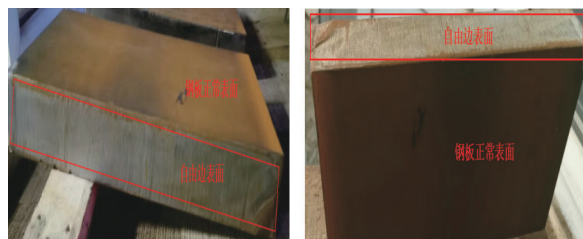


图3 7# 试板钢板表面锈蚀形成状态与自由边锈蚀形成状态对比



图4 8# 试板钢板表面锈蚀形成状态与自由边锈蚀形成状态对比

可以发现自由边部位锈层形成速度明显要慢于正常表面,且无论打磨处理、喷砂处理、打磨后喷砂处理,自由边表面也未形成紧密及均匀的锈层,但打磨后喷砂处理的效果好于其他表面。经分析,主要是由于热切割操作导致自由边表面硬度过高,表面粗糙度明显低于周边,且自由边部位由于位置的特殊性,水在表面停留的时间较短,即原电池在自由边部位的存在时间较短,因此在车间施工时这些部位需要着重喷砂处理或是打磨降低表面硬度后再进行喷砂除锈,且应对自由边着重进行多次反复的洒水操作。

2.4 特殊部位(高强螺栓连接摩擦面)的研究

高强螺栓连接摩擦面是钢结构主要连接方式的一种,板间摩擦系数是决定这种连接方式是否有效的关

键参数。国内现行标准要求初始摩擦系数不低于 0.55,安装时不低于 0.45,但现行标准未包含耐候钢项目,因此需要对耐候钢项目高强螺栓连接摩擦面进行进一步研究。

对耐候钢试件摩擦面部位采用仅喷砂不涂装的表面处理方式,并分别对洒水后 1 个月、3 个月、6 个月的试板进行抗滑移试验,如图 5 所示。

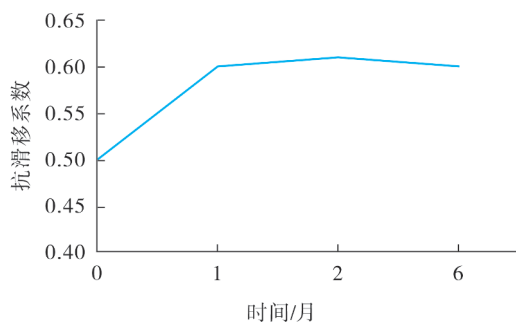


图5 放置不同时间的抗滑移系数变化趋势

从图 5 可以看出,初始抗滑移系数为 0.5,不符合标准初始要求 0.55,但随着耐候钢表面锈层的逐渐形成,其抗滑移性能提升了 20%,满足标准中关于初始值(0.55)及安装架设值(0.45)的要求。耐候钢表面的抗滑移性能将随着锈层的形成状态呈现上升趋势。结合上图分析,洒水 7 d 后,耐候钢表面锈层还未形成,部分区域还未形成锈层颗粒,30 d、90 d、180 d 后试板表面均已形成了一层紧密且颜色深的均匀锈层,表面覆盖了一层紧密的锈层颗粒。上述现象说明耐候钢表面形成的锈层颗粒在受到剪切作用时,颗粒相互间会产生摩擦作用,这种作用会使钢板表面的摩擦系数增大,从而显著增加了高强螺栓连接面间的抗滑移系数。

3 结语

1)对于焊缝、热切割自由边等特殊区域,由于工艺操作的特殊性,导致钢板表面的硬度较高,需要通过打磨或其他方式降低钢板硬度,以保证后续喷砂效果,从而加速其表面稳定化锈层的形成;且对于自由边部位,在降低钢板表面硬度的同时,应同时增加洒水次数,保证洒水效果。

2)耐候钢高强螺栓部位在锈层形成后抗滑移性能显著提升,且能够满足桥梁架设的要求。

参考文献:

- [1] 孙洪斌,杨少军,张丛,等.耐候钢 Q370qENH 埋弧焊焊接接头锈蚀行为与机理研究[J].矿冶工程,2024(1):152-156.
- [2] 李宗强,韦素欣,王艳丽,等.550NH 耐候钢在 3 种典型大气环境中的初期腐蚀行为[J].材料保护,2024(3):104-111.