

## 浅谈钢结构件的腐蚀防护与成本控制

刘金贵<sup>1</sup>, 张斌<sup>1</sup>, 康学锋<sup>1</sup>, 雷凯<sup>1</sup>, 牛旭东<sup>2</sup>, 任宗亮<sup>1</sup>, 韩鑫宝<sup>1</sup>, 李天雷<sup>1</sup>  
(1.兰州兰石石油装备工程股份有限公司, 兰州 730314; 2.兰州兰石集团有限公司, 兰州 730314)

**摘要:** 腐蚀是自然界中所有物质都要面对的消损破坏现象,它不仅会造成巨大的损失和资源消耗,更会危及人类的健康和安全。有效的防腐不仅可以美化产品外观,更能延长设备的使用寿命。对于企业来说,降低工序成本就意味着创造了经济效益。本文在保证产品防腐质量的前提下,通过控制表面粗糙度、涂料配套、喷涂设备、漆膜厚度、返修率以及包装防护等,有效降低钢结构件的腐蚀防护成本。

**关键词:** 钢结构; 腐蚀防护; 成本控制

中图分类号:TQ639 文献标志码:B 文章编号:1007-9548(2025)02-0059-04

### Discussion on Corrosion Protection and Cost Control of Steel Structural Parts

LIU Jin-gui<sup>1</sup>, ZHANG Bin<sup>1</sup>, KANG Xue-feng<sup>1</sup>, LEI Kai<sup>1</sup>, NIU Xu-dong<sup>2</sup>, REN Zong-liang<sup>1</sup>,  
HAN Xin-bao<sup>1</sup>, LI Tian-lei<sup>1</sup>

(1.Lanzhou Lanshi Petroleum Equipment Engineering Co., Ltd., Lanzhou 730314, China;  
2.Lanzhou Lanshi Group Co., Ltd., Lanzhou 730314, China)

**Abstract:** Corrosion is a destructive phenomenon that all materials in nature have to face. It will not only cause huge losses and resource consumption, but also endanger human health and safety. The effective anti-corrosion can not only beautify the appearance of the product, but also prolong the service life of the equipment. For enterprises, reducing process costs means creating economic benefits. On the premise of ensuring the anti-corrosion quality of products, this paper effectively reduces the corrosion protection cost of steel structural parts by controlling surface roughness, coating matching, spraying equipment, film thickness, repair rate and packaging protection.

**Key words:** steel structure; corrosion protection; cost control

### 0 引言

腐蚀是自然界中所有物质都要面对的消损破坏现象,具有普遍性、隐蔽性、渐进性和突发性的特点,它给人类造成了巨大的损失,不仅消耗资源,污染环境,而且造成了大量的工业事故,危及人类的健康和安全。就腐蚀速度而言,全世界每90 s就有1 t钢腐蚀成铁锈,全世界每生产1 t铁,大约50%被用来补充生成铁锈的部分<sup>[1]</sup>。腐蚀会带来危害,而腐蚀防护可带来效益。

有效的腐蚀防护不仅可以提高其外观质量,起到

画龙点睛的效果,更可以防止钢结构腐蚀,延长设备的使用寿命。在实际生产中,高质量往往意味着高的生产成本。对企业来说,成本是市场竞争力的关键影响因素。追求长远发展的企业会致力于探索高质量、低成本的方式方法。钢结构件的腐蚀防护,影响成本的因素很多,例如表面粗糙度的大小、涂料配套的设计、喷涂设备的选择、漆膜厚度的控制、返修率的控制以及包装防护等。

### 1 表面粗糙度的选择

表面粗糙度的作用是增加工件与涂料的接触面,有机械吻合的作用,可提高涂层与底材的附着力。粗糙度过小,达不到预期的效果。粗糙度过大,往往会因波峰处涂层厚度不足,导致早期的点蚀。钢结构件的表面

收稿日期:2024-07-15

作者简介:刘金贵(1988—),女,本科,高级工程师,主要从事涂装工艺管理工作。E-mail:kxfeng1@126.com。

处理主要是磨料喷射清理,目的是获得理想的清洁度和粗糙度。目前常用的清洁度标准是 GB/T 8923,粗糙度标准是 GB/T 13288。

粗糙度的大小与磨料息息相关。喷砂磨料的形状各不相同,有角状、块状、半圆状或者球状。有锐边的角状磨料在去除基材上附着紧密的物质或者污染物时清洁率最高,角状磨料的锐边可以使钢材表面形成锚链状的外观,为涂层提供良好的机械性附着。除非非常难以去除的污染物外,块状磨料都能保证很好的清洁率。半圆或者球状磨料能够在钢结构表面形成凹痕,这种磨料除了达到清洁度外主要是增加表面硬度。近年来随着环保要求的日益严苛,非金属磨料在实际生产中的使用受到限制,而金属磨料作为可以循环利用的磨料,市场占比逐步提高。金属磨料要想获得理想的粗糙度,需要控制磨料的尺寸和不同型号磨

料的配比。关于不同的磨料,JB/T 8354 标准有详细的定义和要求;而不同粗糙度对应磨料的配比,更推荐 AS 1627.4 标准。

在实际生产中,表面清洁度要求一般是 Sa2.5 级,粗糙度要求达到  $Rz\ 40\sim 85\ \mu\text{m}$ 。要达到该要求,笔者推荐磨料组成为合金钢丸:钢丝切段:钢砂=5:3:2,磨料尺寸为 0.8~1.2 mm。

## 2 防腐涂料配套的设计

涂料配套的选择很大程度上决定了产品的腐蚀防护成本。GB/T 30790.5 对不同环境下防护涂料体系的选择给出了指导性建议。在满足相关要求的情况下,对制造企业来说,涂料成本越低越有利。在实际生产中,涂料的价格不能简单地以涂料单价来确定,而需根据单价、理论涂布率、要求膜厚等进行核算单位面积理论单价。各厂家涂料单价见表 1 所列。

表 1 各厂家涂料单价

产品名称	颜色	A 厂家		B 厂家		C 厂家	
		固体含量/%	单价/(元·L <sup>-1</sup> )	固体含量/%	单价/(元·L <sup>-1</sup> )	固体含量/%	单价/(元·L <sup>-1</sup> )
环氧富锌底漆	灰色	48	97.00	66	115.00	66	125.00
环氧中间漆	灰色	56	39.00	70	45.40	80	41.00
聚氨酯面漆	白色	50	55.93	57	50.23	63	56.44

以设备在 C5 环境服役,设计干膜厚度为环氧富锌底漆 75  $\mu\text{m}$ 、环氧云铁中间漆 200  $\mu\text{m}$ 、脂肪族聚氨

酯面漆 60  $\mu\text{m}$  为例,依据理论涂布率计算,各厂家涂料理论用量如表 2 所列。

表 2 各厂家涂料理论用量计算

厂家	产品名称	理论涂布率(产品说明书推荐)/(m <sup>2</sup> ·L <sup>-1</sup> )	理论涂布率(根据设计膜厚转换)/(m <sup>2</sup> ·L <sup>-1</sup> )	涂料用量/(L·m <sup>-2</sup> )
A	环氧富锌底漆	6.90(60 $\mu\text{m}$ )	5.52(75 $\mu\text{m}$ )	0.181
	环氧云铁中间漆	4.10(120 $\mu\text{m}$ )	2.46(200 $\mu\text{m}$ )	0.407
	脂肪族聚氨酯面漆	8.90(60 $\mu\text{m}$ )	8.90(60 $\mu\text{m}$ )	0.112
B	环氧富锌底漆	11.00(60 $\mu\text{m}$ )	8.80(75 $\mu\text{m}$ )	0.114
	环氧云铁中间漆	5.83(120 $\mu\text{m}$ )	3.50(200 $\mu\text{m}$ )	0.286
	脂肪族聚氨酯面漆	9.50(60 $\mu\text{m}$ )	9.50(60 $\mu\text{m}$ )	0.105
C	环氧富锌底漆	10.20(60 $\mu\text{m}$ )	8.16(75 $\mu\text{m}$ )	0.123
	环氧云铁中间漆	6.67(120 $\mu\text{m}$ )	4.00(200 $\mu\text{m}$ )	0.250
	脂肪族聚氨酯面漆	10.50(60 $\mu\text{m}$ )	10.50(60 $\mu\text{m}$ )	0.095

由表 1~2 可以看出,固体分含量越高的涂料,在干膜厚度相同的情况下,单位面积的理论用量越少。

根据表 1~2 可计算出各厂家单位面积理论涂料成本,见表 3 所列。

根据表 1~3 的数据,最终获得计算结果 A、B、C 三个厂家的单位面积理论成本分别是 39.7、31.37 和

30.94 元/m<sup>2</sup>。A 厂家的底漆和中间漆单价低于 B、C 厂家,面漆单价比 B 厂家的高、比 C 厂家的低,但是单位面积理论成本却是三家最高。这主要是由于 A 厂家的涂料固体含量较低,单位面积理论用量相对较多。所以,涂料的比价不能单一地只看涂料单价,而是要经过系统的计算来最终确定。

表3 各厂家单位面积理论涂料成本

厂家	产品名称	涂料单价/(元·L <sup>-1</sup> )	理论用量/(L·m <sup>2</sup> )	单位面积涂料单价/(元·m <sup>2</sup> )	单位面积理论成本/(元·m <sup>2</sup> )
A	环氧富锌底漆	97.00	0.181	17.57	39.70
	环氧中间漆	39.00	0.407	15.85	
	聚氨酯面漆	55.93	0.112	6.28	
B	环氧富锌底漆	115.00	0.114	13.11	31.37
	环氧中间漆	45.40	0.286	12.98	
	聚氨酯面漆	50.23	0.105	5.27	
C	环氧富锌底漆	125.00	0.123	15.32	30.94
	环氧中间漆	41.00	0.250	10.25	
	聚氨酯面漆	56.44	0.095	5.38	

注:单位面积理论成本中,涂料利用率为100%。

### 3 涂装方法的选择

古语有云“工欲善其事,必先利其器”,选择合适的工具,有利于更高效地完成工作。

钢结构的涂装方式有刷涂、辊涂、空气喷涂、高压无气喷涂及静电喷涂等,其中高压无气喷涂是工业涂装中最常用的涂装方法。刷涂是最简单的手工涂装方式,优点是渗透性强,可以深入到细孔、缝隙中,主要用于小面积的涂装或者预涂,缺点是劳动强度大、生产效率低且易产生刷痕。辊涂适用于较大面积的涂装,效率高于刷涂,但辊涂在滚动时,由于刷毛散开和压紧压力大小,易产生不均匀现象和截留空气,一般不推荐用于第一道涂层和高固体含量涂料的施工。空气喷涂涂装效率比刷涂和辊涂高得多,且漆膜平整光滑,外观质量好;缺点是漆雾飞散,小件的涂装涂料利用率不高,且不适用于高黏度的涂料。高压无气喷涂以压缩空气为动力,驱动液压泵,将涂料增压后通过高压软管、喷枪、喷嘴,瞬时喷出,形成极细的扇形雾状,迅速喷向被涂物表面形成漆膜<sup>[2]</sup>,涂装效率高且适应性强,漆膜外观质量较好。

对比几种涂装方法,刷涂和辊涂涂料利用率较高但效率较低,而空气喷涂由于在大型钢结构件涂装过程中实用性不强,在本文中也不做赘述。在高压无气喷涂过程中,喷涂设备的选择、喷嘴尺寸和压缩空气进气压力的大小均会一定程度上影响涂装防腐成本。本文

中主要讨论喷枪和喷嘴尺寸的选型。

目前工业涂装常用的长江喷涂设备有GPT6525K(压力比65:1)和GPQ9C-II(压力比32:1,富锌涂料喷涂专用机)。喷涂设备压力比决定了它们对涂料的雾化情况,同时决定了它的适用范围——高压比适合喷涂面漆,低压比适合喷涂底漆和中间漆。喷枪搭配不同的喷嘴获得理想的喷涂效果。C型喷嘴雾化较好、均匀细腻,喷涂后漆膜较光滑、美观,适合面漆的喷涂;B型喷嘴雾化较C型喷嘴略差,适宜对漆膜外表要求不是太严格的产品;Z型喷嘴耐磨性好、适用于喷涂富锌涂料;W型喷嘴为水溶性涂料专用喷嘴。而不同的喷嘴又有各自不同的型号,例如09C20喷嘴:C表示面漆专用喷嘴,09表示流量为0.9 L/min,20表示在距离喷嘴300 mm处雾幅宽度为200 mm。

在实际生产中,喷涂设备的选择主要依赖于涂料类型和喷涂工件的外形尺寸,使涂料的利用率控制在70%以上。喷涂大尺寸工件时,适合选择大流量、大喷幅的喷嘴,而喷涂小工件时,适合使用小流量、小喷幅的喷嘴。但部分小流量小喷幅的喷嘴,受涂料本身的影响,不太适应于底漆和中间漆的喷涂,如04B10。而对于栏杆、笼梯等窄边工件,刷涂和辊涂更具经济效益。

### 4 漆膜厚度的控制

毫不夸张的说,通过膜厚控制节省的成本远高于通过其他途径节省的费用,详见表4所列。

表4 实际喷涂中漆膜厚度增加涂料成本变化

厂家	单位面积理论成本/(元·m <sup>2</sup> )	单位面积实际成本/(元·m <sup>2</sup> )					
		总膜厚增加 20%		总膜厚增加 50%		总膜厚增加 70%	
		理论成本	实际成本	理论成本	实际成本	理论成本	实际成本
A	39.70	40.12	57.33	50.15	71.66	56.83	81.21
B	31.37	37.64	53.79	47.06	67.24	53.33	76.21
C	30.94	37.13	53.06	46.41	66.32	52.60	75.16

注:实际成本中涂料的利用率为70%,即损耗系数为1.429。。

由表4可以看出,漆膜厚度的增加会导致防腐成本呈倍数增长。GB/T 13452对漆膜厚度的测定给出了具体的推荐,而GB/T 30790中对最大干膜厚度给出了建议。

在工业涂装中手工喷涂占比较高,漆膜厚度的控制受人的影响较大。高压无气喷涂机在喷涂过程中,喷枪压力、移动速度、喷枪距离工件尺寸、稀释剂添加比例等都会对漆膜厚度造成影响。

#### 4.1 喷枪压力

以长江无气喷涂设备为例,无气喷涂设备带有1 MPa压力表,用来监控喷涂过程中压力值。喷涂压力并不是越大越好,过高的喷涂压力会导致过度雾化,降低涂料利用率,且不利于操作工人安全;喷涂压力过低会导致雾化不彻底,出现橘皮等缺陷。一般应该按照涂料产品说明书推荐,结合操作工经验,漆膜雾化即可。

#### 4.2 喷枪移动速度

对手工喷涂来说,喷枪的移动速度很难量化,但总的操作原则是匀速。现场施工时,移动速度对漆膜厚度有着至关重要的影响。喷枪移动速度慢,会使工件表面局部漆膜厚度过厚,甚至出现橘皮等缺陷,移动速度过快,又会导致膜厚过薄、漏底。

#### 4.3 喷枪距离工件尺寸

高压无气喷涂过程中,喷枪应始终与被喷涂面保持垂直且移动时应等距离(30 cm左右)移动,应避免因手腕转动而使喷枪弧形移动,以保证漆膜厚度均匀。每喷一道应在前一道上重叠50%,少于50%的重叠会使末道涂层表面出现条痕。

#### 4.4 稀释剂添加比例

高压无气喷涂需要加入一定比例的稀释剂降低液体漆的固体含量,以便于更好地施工和获得理想的漆膜。稀释剂的添加比例不同,会影响根据湿膜厚度计算所得干膜厚度的结果。稀释剂添加比例不足,漆膜雾化不彻底、干喷等,稀释剂比例添加过多,又会出现流挂、

厚度不足等问题。一般情况下,刷涂或者辊涂稀释剂的添加比例为5%~10%,空气喷涂稀释剂的添加比例为20%~50%,高压无气喷涂稀释剂的添加比例为5%~10%,混气喷涂稀释剂的添加比例为10%~20%。

### 5 控制返修率

在实际生产中,返修不仅指漆膜缺陷的返修,更是指产品喷涂完成后结构的返修。漆膜缺陷可以通过认识缺陷来有效避免,但是结构的返修缺陷往往是不可预料且对漆膜造成巨大损害。GB/T 30790.3对钢结构产品防腐结构设计给出了专业建议,GB/T 8923.2和GB/T 8923.3对局部表面处理有明确要求。理想的结构设计和完美的工序搭配,可以有效降低产品的返修率。

### 6 包装防护

制作精美的产品,如果没有经过恰到好处的包装防护,在送达客户之前已造成损伤,那损失无疑是巨大的。细节的处理是品质的体现,而专业的包装绝对是产品腐蚀防护必不可少的一部分。

### 7 结语

有金属的地方,就有可能发生腐蚀。作为专业的防腐蚀工程师,我们的价值体现在保证产品防腐性能的同时,最大限度地为企业创造经济效益。目前,防腐施工过程中要想完全避免涂料的损耗、实现百分之百的利用率基本不可能,只能尽可能地提高利用率,实现一定程度上的“节流”。未来充满未知和可能,希望随着科学技术的发展,这一“不可能”突破为“可能”。

#### 参考文献:

- [1] 谢学军,付强,廖冬梅,等.金属腐蚀及防护效益分析[M].北京:中国电力出版社,2015:31.
- [2] 庞启财.防腐蚀涂料涂装和质量控制[M].北京:化学工业出版社,2003:181-185.
- [3] 何晓锋,王艳.钢结构防腐蚀涂装中涂料损耗原因分析及应对措施[J].现代涂料与涂装,2020(12):11-13. ◆

(上接第58页)

### 4 结语

采用MG-200雪域白CB修补漆对雪域白色漆中涂打磨问题点进行修补,在进行9:1稀释后,调整喷枪的吐出量至1.5圈,喷涂12枪,综合膜厚在86 μm的情况下可以解决雪域白色漆在线修补露底和发黄的问题,满足生产现场生产需求,在生产过程中结合处理面积的大小进行微调,目前已在量产工艺下使用。通过对特殊工艺下的雪域白色漆在线修补进行研

究,解决了由于雪域白色漆无遮盖力带来的“中涂层出现破漆时重喷中涂层”课题,减少重喷车造成的成本浪费,同时大幅提升雪域白颜色车身的生产效率,也为相同工艺条件下导入珠光白色漆的修补工作提供技术参考。

#### 参考文献:

- [1] 高洪宾.汽车用水性色漆施工过程中常见弊病及解决方法[J].现代涂料与涂装,2015(2):3-5. ◆