

工业涂料与涂装技术丛书

铁道涂料与涂装技术

席时俊 编著

167257/02

化学工业出版社

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

铁道涂料与涂装技术/席时俊编著. —北京:化学工业出版社,
1999.9
(工业涂料与涂装技术丛书)
ISBN 7-5025-2607-2

I. 铁… II. 席… III. 铁路线路-工程材料:涂料 N.U214

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 34054 号

工业涂料与涂装技术丛书

铁道涂料与涂装技术

席时俊 编著

责任编辑:顾南君 马强

责任校对:马燕珠

封面设计:郑小红

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

北京市燕山印刷厂印刷

北京市燕山印刷厂装订

*

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 8 $\frac{7}{8}$ 字数 189 千字
1999 年 10 月第 1 版 1999 年 10 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4000

ISBN 7-5025-2607-2/TQ·1160

定价: 20.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

序 言

金属在周围环境介质的作用下，要发生腐蚀破坏，这已经是众所周知的事实。据发达国家的调查统计，每年金属的腐蚀直接损失约占国民经济生产总值的3%~5%，这是一个很惊人的数字。由金属组成的结构，主要是钢结构，因为腐蚀不仅会带来巨大的经济损失，更重要的是可能引发严重的安全事故，造成人身伤亡。这一点对铁路运输来说，尤为突出。

铁路，一向号称国民经济的大动脉，其能否安全正点的运营有着牵一发而动全局的特点，因此，对铁路钢结构，如武汉、南京、九江长江大桥的钢梁，以及机车车辆等的腐蚀防护，历来受到有关部门的重视。对铁路钢结构的防腐蚀主要是靠涂装有机涂层。中国铁道学会下属一个防锈防蚀学组，先后已举办过六次学术研讨会，就铁路钢结构的防腐蚀涂装，进行了广泛深入的讨论。参加会议的除科研单位、铁路桥梁管理处（或工程处）、铁路机车车辆工厂的涂装工程师以外，各涂料生产厂家也都踊跃参加。中国铁路学会还组织有关人员编写过一本内部资料——《车辆除锈涂装技术》。但是，还从来没有一本介绍铁路涂料与涂装的，完整而又系统的正式出版物，非常高兴也非常意外的是化学工业出版社给我们提供了这样一个好的机会。

1997年，应化工出版社之约，我开始编写该社《工业涂料与涂装技术》系列丛书中的《铁道涂料与涂装技术》分册。虽然我从事铁道涂料与涂装的研究工作已近30年，而且1983年我还曾赴日本涂料公司中央研究所研修数月，30年中也曾涉猎

了英、美、日、德、俄等工业发达国家的有关书籍、文献和技术资料，然而在编写过程中还是感到有些力不从心，这时得到了化工出版社的顾南君高级工程师和原北京红狮涂料公司总工程师马庆林高工的鼓励与帮助，才得以完稿，在这里表示深切谢意。

这本书力求完整地总结铁道涂装中的实践经验，系统地介绍国内外有关涂料与涂装的新技术、新工艺、新装备，对许多质量检查试验方法作出中肯的评价。谈不上对铁道涂装工程技术人员有指导作用，只希望能对他们的工作有所帮助和提高，以有利于他们的涂装实践，从而对保证和延长铁路钢结构的使用寿命，确保安全运输能收到积极的效果。这本书的编写内容肯定会有许多漏缺和不足之处，甚至还有错误，欢迎读者批评指正。

在编写本书时，曾引用了铁路内外同行们的技术资料，和我所在研究室的同事们研究成果，也曾不时地获得我的同事们的协助，在此也一并表示真诚的感谢。

16年前，正当樱花烂漫的时候，我去到日本研修，在那里和许多日本朋友共同渡过了许多美好的时光，在那里获得的知识信息对编写本书也起到一定的好作用，谨此祝那些日本朋友，特别要祝山本隆、福岛稔两位先生身体健康！

席时俊

目 录

第一章 综述	1
第二章 金属的腐蚀与防护	4
第一节 金属的腐蚀机理	4
第二节 环境和腐蚀	5
第三节 防腐蚀方法	8
第四节 铁路金属结构的腐蚀特性	10
一、铁路桥梁的腐蚀特性	10
二、机车车辆的腐蚀特性	13
三、铁路其他金属结构的腐蚀特性	16
第三章 铁路用涂料	18
第一节 概述	18
第二节 涂膜的防腐蚀机理	20
一、涂膜的物理覆盖作用	21
二、防锈颜料的缓蚀作用	23
三、阴极保护作用	26
第三节 涂料用漆料与颜料	26
一、涂料用颜料	26
二、涂料用漆料	40
第四节 铁路涂料的种类及标准	57
一、铁路钢桥用涂料	57
二、机车车辆用涂料	69
三、铁路其他设施和机械用涂料	92
第五节 铁路用涂料展望	99
一、关于水性涂料	99

二、关于带锈防锈底漆	100
三、几种新的缓蚀颜料和耐蚀涂层	103
第四章 涂装前的表面处理	107
第一节 概述	107
第二节 喷射除锈处理	108
第三节 酸洗与磷化	114
一、酸洗	114
二、磷化	116
三、铝及铝合金的表面处理	119
第四节 钢材预处理线	124
第五节 除锈标准	126
第五章 涂装配套体系	130
第一节 涂装体系的设计	130
第二节 涂装体系举例	137
一、铁路钢桥涂装系	137
二、机车车辆涂装系	138
三、其他	141
第六章 涂装工艺	143
第一节 概述	143
第二节 涂装方法	144
一、刷涂 (brush coating)	145
二、喷涂 (air spray)	146
三、高压无气喷涂 (airless spray)	150
四、静电喷涂 (electrostatic spraying)	154
五、电泳涂装 (electrodeposition)	157
六、其他涂装方法	162
第三节 干燥固化	165
一、自然干燥法	166
二、强制干燥法	167
第四节 铁路钢结构的涂装工艺流程	171

一、钢梁涂装工艺	171
二、铁路机车车辆涂装工艺	172
三、其他铁路钢结构的涂装工艺	177
四、铁路客车的防火阻燃涂装	181
第七章 铁路用涂料和涂层的质量检验	184
第一节 质量检验的重要性	184
第二节 涂料及涂膜的常规检测项目概述	184
一、涂料液态时性能的测定	185
二、涂料在施工中性能的检查	186
三、涂料在成膜后的质量检查	187
四、涂膜的环境试验和耐蚀性试验	189
第三节 几种检测方法的比较评述	191
一、涂料粘度的测定	191
二、涂膜附着力的测定	194
三、涂膜硬度的测定	197
四、涂膜光泽的测定	200
五、涂膜厚度的测定	202
六、涂膜耐磨性的测定	203
第四节 新的检测项目推荐	206
一、涂膜颜色的测定	206
二、涂膜的水汽和离子渗透试验	208
三、飞石试验	215
四、涂膜的杯突试验	217
五、水性涂料的冻融性测定	220
第五节 涂膜耐候性评价	221
一、环境因素	221
二、天然曝露试验	224
三、人工加速老化试验	226
第六节 涂膜防腐性能的评价	230
一、加速腐蚀试验	230

二、电化学研究试验方法	235
第八章 涂装中的安全与卫生	250
第一节 概述	250
第二节 涂装作业中火灾、爆炸的危险性及其防止	251
一、一般叙述	251
二、涂料、稀料（溶剂）的可燃性和爆炸极限	253
三、涂装时火灾、爆炸的防止	255
第三节 涂料、稀料对人体的危害性	258
一、概述	258
二、与涂料有关的卫生指标	259
三、防止涂装中人体中毒的措施	261
第四节 涂装作业的环保问题	262
第五节 设备的日常安全检查	266
第六节 其他安全卫生问题	268
参考文献	273

第一章 综 述

改革开放以来,我国的国民经济得到了飞速发展,但是,交通运输,特别是铁路运输依然是制约经济发展的“瓶颈”。可见,铁路部门在整个国民经济的发展中,处于一个十分重要的地位。

大家知道,作为铁路运输中主要钢结构的机车车辆和铁路钢桥,从来都需要涂装。其他如电气化铁路中的输电铁塔、接触网以及各种金属机具,也有一部分需要涂装。这些钢结构进行涂装的目的有以下几点。

铁路钢结构的腐蚀是相当严重的。据统计,美国 1955 年铁路金属的腐蚀直接损失是四亿美元,其中车辆的腐蚀直接损失为 28000 万美元(货车为 22000 万美元,客车为 6000 万美元)。前苏联每年铁路货车因腐蚀而损失钢材为 3~4 万 t。我国铁路车辆在 70 年代和 80 年代前期,腐蚀也十分严重。比如,一辆硬座客车,运行 6 年后进行第一次厂修,顶板因腐蚀要全部更换;雨檐、墙板、立柱、地板两端等由于腐蚀过限也需要截换,共需更换钢材约 2t。如果按每年有 1/5 的车辆要进行厂修,则全国铁路客车因腐蚀而要更换钢材约 15 万 t。这里还没有计算因为一辆车进厂检修要停运的天数(客车 2 个月,货车 10 多天)所造成的工时费用及损失的运输费。这就是说,进行涂装的主要目的是为了防止和减少铁路钢结构的腐蚀破坏。

众所周知,涂膜层还可以赋予被涂物以不同的色彩和光泽,得到不同的视觉效果,从而提高了被涂物的商品价值和艺术价值。铁路钢结构,不论是钢桥,还是机车车辆和输电铁塔,天

天都处在人们的注视之下，因此，毫无疑问就必须进行涂装而获得装饰性的效果，这是涂装目的之二。

第三，机车车辆上还需要涂装某些涂料，以达到减振阻尼、隔音和标志作用的目的。栓焊梁栓接钣要涂装防锈防滑涂料。这些目的统称为特殊功能作用。

铁路用涂料在解放前和解放初期，基本上使用的是油性调合漆和油性红丹防锈漆。50年代中期以来，随着高分子化学工业和石油化学工业的发展，积极引进了性能优良的合成树脂涂料，从普通的酚醛、醇酸涂料，到环氧、环氧酸、聚氨酯、丙烯酸聚氨酯、丙烯酸改性醇酸涂料等，都应有尽有。从环境保护、节能和节省资源的立场出发，也使用了水性涂料，厚浆涂料以及重防蚀涂料（如有机或无机的富锌底漆）。可以说，自80年代以来，我国铁路用涂料进入了一个繁荣、竞争的时期。

总的来说，铁路用涂料有如下特点。

(1) 很好的耐候性和防腐蚀性。尤其是铁路钢梁用涂料，由于铁路钢桥基本上是永久性的建筑，而且安全性要求极高，因此标准规定钢梁用防锈底漆只允许使用特制红丹底漆和富锌底漆。为提高耐候性，钢梁用面漆则使用诸如片状铝粉、云母氧化铁（MIO）、石墨粉等鳞片状颜料制成的磁漆。

(2) 优良的物理机械强度和耐化学性。对于车辆用涂料来说，这一点尤为重要，特别是铁路正向高速重载方向发展，更需要所使用的涂料有很高的抗冲击强度和耐磨性。比如运煤敞车内侧则要使用玻璃鳞片涂料（Glass Flake Coating）。

(3) 由于铁路用涂料的用量很大，因此，必须货源广、价格低廉；而且由于铁路遍布全国，机车车辆工厂也是分布在全国各地，因此其涂料不可能像改革开放以前那样，由一家涂料工厂供给，也就是说，它需要有普及性。

铁路钢结构种类很多，主要的是铁路钢梁和机车车辆，其他如电气化铁道的输电铁塔、接触网金属机具和夹具，还有大量钢轨等等，每年铁路用涂料的用量为数万吨，其中4/5用于机车车辆，其余的又有一半以上用于钢梁，仅很少一部分用于输电铁塔等。本书将重点叙述钢梁和机车车辆用涂料及其涂装，介绍国内外，包括介绍一些工业发达国家的铁路用涂料和涂装的经验和状况，还将适当地介绍非铁路用涂料，特别是世界涂料的最新发展。

尽管我国将发展高速铁路，客车外墙板将采用不锈钢或铝材，车内部分将要大量使用塑料贴面板、阳极氧化铝制品、不锈钢制品和玻璃钢制品等，这将大大减少涂料的用量，然而车体外墙仍然要求丰富的色彩，底架部位和隐蔽部位也仍然要求进行防蚀处理，再说大量货车（占铁路车辆总数的2/3以上）和其他如钢桥、输电铁塔仍然存在，因此，涂料和涂装将依然在我国铁路部门占有较为重要的地位。

第二章 金属的腐蚀与防护

第一节 金属的腐蚀机理

所谓金属的腐蚀是指金属在周围环境介质的作用下，所发生的化学或电化学破坏的现象。金属的腐蚀有两大类。

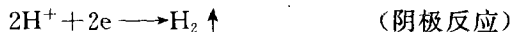
(1) 干蚀 (dry corrosion) 即金属在高温下和环境中的物质直接反应。如高温加热时 (热轧、焊接、铆接、切割等)，钢铁和空气中的氧反应，在钢铁表面形成黑色氧化皮，这基本上是化学反应。

(2) 湿蚀 (wet corrosion) 即金属在常温下，在有水和氧气存在时，发生腐蚀破坏，这是电化学腐蚀。经过人们的长期研究，确认这是由于在电解质溶液的作用下，金属表面形成局部电池而产生的腐蚀。

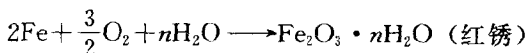
因为铁路用金属绝大部分是钢铁，铁路钢结构涂装的最重要的目的是防止腐蚀，所以这里以钢铁的腐蚀为例，简略介绍金属的腐蚀机理。

前面已述，湿蚀可以理解为基于在金属表面形成了局部电池而发生的电化学反应。那么这种局部电池是怎样形成的呢？如在钢铁表面由于杂质、氧化皮的缺陷、晶体结构、机械的或热加工等原因产生的不均匀性；从环境方面讲，则有温差、氧浓度的不均匀性，因此在钢铁表面就可以分为两个部分，一个是铁变成铁离子而释出电子的部分，另一个是氢离子的还原反应和生成氢氧根离子而消耗电子的部分。发生释电子反应（氧化

反应)的部分称为阳极(anode),发生耗电子反应(还原反应)的部分称为阴极(cathode)。其反应方程式如下:



从整体看,反应为:



这里,阳极反应和阴极反应一定按当量关系等速进行,以保持电中性,因而,如果抑制了一个反应,则自动地抑制另一个反应。腐蚀反应进行的动力是阳极和阴极之间的电位差,流过两极间的电流称为腐蚀电流。钢铁的腐蚀示意图见图 2-1。

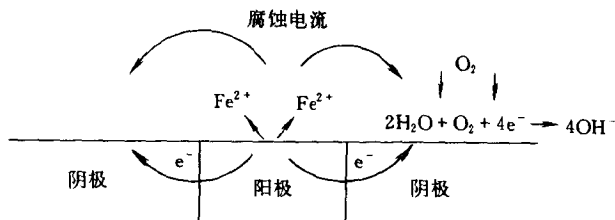


图 2-1 钢铁腐蚀的局部电池

要弄清楚金属的腐蚀行为,显然应该研究阳极和阴极之电流与电位的关系。这称之为极化特性。这在下面的章节中再详细讨论。

第二节 环境和腐蚀

根据上述金属腐蚀的定义,显然,金属的腐蚀是和环境密切相关的。不同的环境,金属的腐蚀速度是不一样的。表 2-1 是英国不同大气环境下的钢铁的腐蚀速率。

表 2-1 环境与钢铁的腐蚀速率

环 境	腐蚀速率/(mm/a)
农 村	0.064
海 滨	0.053
	0.079
工 厂 区	0.097
	0.102
	0.137
	0.163
	0.173

大气腐蚀的因素包括温度、湿度、日光、雨水、污染物（盐分、工业废气等）。当相对湿度达到一个临界值时，金属开始产生腐蚀，这时称之为临界相对湿度。相对湿度低于此值时，金属几乎不发生腐蚀。对中碳钢来说，其临界相对湿度为 60%~75%。

铁路钢结构主要受到的是大气腐蚀，少部分受到水溶液腐蚀（如内燃机车水冷系统）和土壤腐蚀。

海洋大气中海盐粒子（氯离子）对金属的腐蚀破坏是非常厉害的。表 2-2 为日本统计的离海岸线的距离与钢铁的腐蚀速率之间的关系。

表 2-2 离海岸线的距离与钢铁的腐蚀速率

离海岸线的距离/m	腐蚀速率/(mm/a)
45.72	0.958
182.88	0.378
365.76	0.056
1188.72	0.041
1852.00	0.005

从表 2-2 可见，在距海岸线 200m 以内，钢铁的腐蚀非常严重，超过 200m，腐蚀明显减少。

1969 年，日本钢结构防蚀研究会调查了大气中的各种腐蚀因子对钢铁的腐蚀量的影响，回归为一个公式，现列出来供大家参考。

$$y = 136.91 + 0.05x_1 + 2.56x_2 + 0.12x_3 + 3.60x_4 \\ - 24.63x_5 + 2.00x_6 - 14.37x_7 + 13.43x_8 \\ + 3.65x_9 - 1351.99x_{10}$$

式中 y ——腐蚀量，即每天每平方米钢铁表面腐蚀掉的毫克数， $\text{mg}/(\text{d} \cdot \text{dm}^2)$

x_1 ——气温， $^{\circ}\text{C}$ ；

x_2 ——相对湿度， $\text{RH}\%$ ；

x_3 ——降水量， mm ；

x_4 —— SO_2 气体含量， $\text{mg}/(\text{d} \cdot \text{dm}^2)$ ；

x_5 ——海盐粒子含量， mg/dm^3 ；

x_6 ——风速， m/s ；

x_7 ——溶解性物质质量， g （如 NaCl 、 CaCl_2 等可溶于水的物质）；

x_8 ——不溶物质质量， g ；

x_9 ——硫酸盐量， g ；

x_{10} ——焦油物质质量，含有此成分会侵蚀涂膜， g 。

由此公式明显地可以看出，海盐粒子的含量，换句话说，氯离子的含量，对钢铁的腐蚀最为严重。

国内外的经验表明，在海洋环境中，对金属腐蚀最严重的是潮差区，其次是飞溅区，再其次是海洋大气区，最轻的是全浸区和海底土壤区。这就是说干湿交替的环境，对金属的腐蚀影响最大。类似的情况，当金属遇有凝露的情况，腐蚀破坏就较大。

值得在这里提一下的是，许多耐蚀金属是相对特别环境而言。比如，不锈钢在普通大气中和在一定的化学介质中，腐蚀是很小的，但在海水中有时还不如普通碳钢耐腐蚀。再比如所

谓的耐候钢，也是指在普通大气环境下，如果在海洋大气中，或在强烈的酸性大气中，其腐蚀破坏也是较严重的。这是因为它们表面所形成的钝化膜，易被氯离子所破坏。

第三节 防腐蚀方法

金属的腐蚀过程，从热力学上讲是不可避免的，但从动力学上讲却可以大大降低其腐蚀速度，甚至到很小。也就是说，所谓防腐蚀，实际上是减缓金属的腐蚀速度。下面从电化学腐蚀原理来探讨金属的防腐蚀方法。

如前所述之金属腐蚀行为讨论的是阳极和阴极的电位与电流之间的关系，这就是所谓的极化特性。假设在没有电流通过时的阳极电位和阴极电位分别为 E_a^0 和 E_c^0 ，在有电流通过（也就是进行腐蚀反应时）时的电位分别为 E_a 和 E_c ，则极化 y 即定义为：

$$\text{阳极} \quad E_a = E_a^0 + \eta_a$$

$$\text{阴极} \quad E_c = E_c^0 - \eta_c$$

当两极间的反应速度相等时，其时的电位为腐蚀电位 E_{corr} ，流过的电流为腐蚀电流 I_{corr} ，则

$$\begin{aligned} I_{\text{corr}} &= (E_c - E_a) / R \\ &= \{ (E_c^0 - \eta_c) - (E_a^0 + \eta_a) \} / R \\ &= \{ (E_c^0 - E_a^0) - (\eta_c + \eta_a) \} / R \end{aligned}$$

因此，从电化学角度来考虑防腐蚀的话，即为减小 I_{corr} ，那么，从上式看，要防止腐蚀就有如下途径：

- ①驱动力 $(E_c^0 - E_a^0)$ 减小，热力学稳定性增加，除去反应产物；
- ②两极间电阻 (R) 增大；
- ③阳极极化 (η_a) 增大；

④阴极极化 (η_c) 增大。

前苏联托马晓夫教授据此制定了一个表格, 从电化学腐蚀原理分类了各种防腐蚀方法, 见表 2-3。

表 2-3 按电化学的防蚀方法分类^①

电化因素	防蚀方法分类	具体的防蚀方法	实例
降低热力学不稳定性	改变金属本身	1. 增大热力学稳定性的合金 2. 腐蚀生成物是连续膜的合金	1. 紫铜、Cu-Ni 合金 2. 含铜的低合金钢-耐候钢
	表面处理	1. 镀耐腐蚀性好的金属 2. 覆盖不渗透的非金属层	1. 铁上镀铜、镀锌
	环境改变	1. 使被防蚀表面生成保护膜 2. 除去腐蚀反应物质	1. 从水中除去多余的 CO ₂ , 使 CaCO ₃ 易于沉淀 2. 增大金属离子的浓度, 除去阴极去极化剂 (H ⁺ 、O ₂) 及其他氧化剂 3. 保存在干燥器中, 和加有惰性气体的密闭容器中
增大阴极极化	改变金属本身	1. 减小阴极面积 2. 增大氢过电位的合金	1. 高纯度 Zn、Al、Fe 等在 HCl、H ₂ SO ₄ 中是稳定的 2. 铁和 As、Sb、Bi 等的合金、锌的汞齐化
	表面处理	1. 覆盖具有高氢过电位的金属	1. 钢上镀 Zn 或镀 Cd (酸性环境)
	环境改变	1. 加阴极型缓蚀剂 2. 除去阴极去极化剂 3. 阴极保护	1. 钢酸洗时使用 As、Sb、Bi 2. 增大 pH 值, 减少溶解氧气 3. 外加电流式的阴极保护
增大阳极极化	改变金属本身	1. 增大阳极钝化能的合金	1. Fe-Ni 或 Fe-Cr 合金
	表面处理	1. 镀易于钝化的金属 2. 使用含有钝化作用的颜料的涂料、油脂	1. 钢上镀铬 2. 使用铬酸锌类的颜料 (大气暴露条件)
	环境改变	1. 阳极型缓蚀剂 2. 阳极处理	1. CrO ₄ ²⁻ 、NO ₂ ⁻ 等 2. 外加电流法阳极防蚀
增阳阻大极抗阴间的	表面处理		1. 涂料及其他保护层
	环境处理	1. 增大欧姆阻抗那样的腐蚀环境的改变	1. 土壤中排水、增大阻抗, 减少土壤腐蚀

①引自 N. D. Tomashov; Corrosion Sci. 1961 (1); 77.