



# 矿山井筒装备 防腐蚀技术

段慎修 编著

煤炭工业出版社

封面设计: 赵 鸿 亮



**ISBN 7-5020-0663-X/TD·608**

书号: 3432      定价: 3.15元

T D 262.4  
D-766

# 矿山井筒装备防腐蚀技术

段慎修 编著

地信网论坛

BBS.3S001.COM

煤炭工业出版社

(京)新登字042号

### 内 容 提 要

本书详细介绍了《煤矿井筒装备防腐设计、施工及验收规范》所推荐的防腐材料和施工技术。内容包括各种金属表面处理方法, 矿山防腐涂料的选择及施工, 金属镀层及施工, 玻璃钢复合材料的性能及制作, 分析与测试, 安全防护等。

本书可供从事矿山设计、基建施工、生产管理、设备维修等方面的工程技术人员、施工人员及管理人员参考、使用, 也可供大专院校师生, 以及从事金属腐蚀与防护的有关人员参考。

### 矿山井筒装备防腐蚀技术

段慎修 编著

责任编辑: 孙金铎

\*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

\*

开本787×1092mm<sup>1/32</sup>; 印张6<sup>1/16</sup>

字数131千字 印数1—1,080

1992年7月第1版 1992年7月第1次印刷

ISBN 7-5020-0663-X/TD·608

书号 3432

定价 3.15元

## 前 言

腐蚀是一个普遍而严重的问题，由腐蚀造成的经济损失和危害是巨大的，我国煤矿井筒装备的腐蚀状况亦相当严重。据原煤炭工业部调查，我国煤矿井筒装备的平均使用寿命为10年左右，个别地方只有7~8年，更换一次井筒装备需要几十到几百吨钢材，耗资数百万元，并要停产60天左右，造成巨大经济损失。1984年，原煤炭工业部责成中国腐蚀与防护学会煤炭学科组对本系统下属32个单位的腐蚀情况进行了详细调查，腐蚀损失约为总产值的3%，合吨煤1元左右，现在的吨煤腐蚀损失更大。

井筒是矿山的咽喉，是进、出矿井的必经之路。搞好井筒装备的防腐蚀，延长设备的使用年限，对搞好安全生产和增加煤炭产量都有重要意义。

井筒装备的防腐蚀问题早已引起采矿行业的高度重视。从80年代初，原煤炭工业部基建司、技术发展司就组织力量进行煤矿井筒装备防腐材料和施工技术的研究，在钢铁表面处理技术、矿山防腐涂料、玻璃钢代用材料等方面进行了大量研究，涌现出了一批水平较高的科研成果，较好地解决了煤矿井筒装备的防腐蚀问题。在此基础上，原煤炭工业部基建司组织有关技术人员在进行广泛调查的基础上，编制了《煤矿井筒装备防腐设计、施工及验收规范》，并于1988年2月由原煤炭工业部正式颁发、试行，使矿山设备的防腐工作进入了一个新阶段。

ABE 04 / 04

本书的编写以《煤矿井筒装备防腐设计、施工及验收规范》为基础，并适当吸收了国内外矿山设备防腐蚀及国内其他行业防腐蚀的经验教训。虽然本书篇幅有限，但仍尽最大努力使内容丰富、全面，尽量结合施工实际，以适应读者的需要。

编者希望本书的编写能对我国从事矿山建设和管理的同志有所帮助，能为防腐蚀技术的传播作一点微薄的贡献，力求减少腐蚀对矿山的危害。但是由于编者水平有限，难免有不足和错误之处，敬请读者批评、指正。

本书在编写过程中，得到煤炭科学研究总院毛光宁高级工程师的大力支持和帮助，江苏煤矿研究所程瑞珍工程师帮助绘制了所有图表，并对本书的编写提了许多有益的建议。在本书出版中，得到矿山防腐涂料定点生产厂——张家港市第二化工厂和江苏华东防腐施工公司的支持和帮助，特此致谢。

编 者

1991.6.5 于徐州

# 目 录

前 言	
<b>第一章 防腐工作的重要性</b> .....	1
第一节 腐蚀的危害 .....	1
第二节 井筒装备防腐技术的发展 .....	3
第三节 防腐工作的重要性 .....	5
<b>第二章 腐蚀与防护基本知识</b> .....	6
第一节 腐蚀的定义及分类 .....	6
第二节 电化学腐蚀的机理 .....	11
第三节 腐蚀程度的评定方法 .....	17
第四节 控制腐蚀的方法 .....	20
第五节 常用名词、术语 .....	26
<b>第三章 防腐涂装前的表面处理</b> .....	28
第一节 表面处理与防腐效果的关系 .....	28
第二节 除锈质量等级的划分 .....	30
第三节 常用的表面处理方法 .....	33
第四节 酸洗、钝化或磷化处理工艺 .....	43
第五节 带锈底漆 .....	55
<b>第四章 矿山防腐涂料</b> .....	59
第一节 涂料的基本知识 .....	59
第二节 矿山防腐涂料 .....	61
<b>第五章 金属镀层</b> .....	76
第一节 钢铁的金属镀层 .....	76
第二节 热喷镀 .....	77
第三节 热浸镀锌 .....	84

<b>第六章 重防腐涂层</b> .....	98
<b>第七章 防腐涂料施工</b> .....	104
第一节 防腐涂层的选择 .....	104
第二节 涂料消耗量的计算 .....	105
第三节 防腐涂层的施工 .....	107
第四节 涂料施工中常见的弊病及预防 .....	111
<b>第八章 玻璃钢复合材料</b> .....	118
第一节 玻璃钢的性能和特点 .....	118
第二节 玻璃钢的化学基础 .....	121
第三节 玻璃钢的原材料 .....	124
第四节 玻璃钢的成型方法 .....	131
第五节 玻璃钢的设计和施工 .....	134
<b>第九章 老矿井井筒装备的防腐蚀维护</b> .....	140
第一节 老矿井井筒装备防腐的现状 .....	140
第二节 防腐涂装前的表面处理 .....	141
第三节 老矿井防腐涂料 .....	143
第四节 老矿井的防腐蚀施工 .....	145
<b>第十章 防腐工作中应注意的问题</b> .....	147
<b>第十一章 施工安全</b> .....	155
第一节 涂料、玻璃钢施工中的安全防护 .....	155
第二节 金属镀中的安全防护 .....	157
第三节 预防中毒 .....	158
<b>第十二章 测试与分析</b> .....	160
第一节 涂料的一般检验 .....	160
第二节 金属镀层的一般检验 .....	172
第三节 酸洗、钝化液的分析 .....	175
<b>附录 煤矿井筒装备防腐设计、施工及验收规范</b> .....	180
<b>参考文献</b> .....	186

## 第一章 防腐工作的重要性

### 第一节 腐蚀的危害

金属腐蚀与防护是一门涉及面很广、综合性很强的边缘学科，它是随着国民经济的发展而逐步发展壮大的。特别是与能源工业、化学工业、冶金工业、航海运输工业、军事国防工业，以及尖端科学技术等领域的发展密切相关。腐蚀给工业生产造成了巨大的危害，浪费了资源、污染了环境，降低了产品质量，有时甚至会引起各种事故，给生产和人身安全都带来严重的危害。

据有关资料统计，全世界每年因腐蚀造成的钢铁损耗量约占当年钢产量的30%左右。目前，全世界钢铁的年产量约为8亿t，每年因腐蚀造成的钢铁损耗量就达2.3亿t，将近为我国钢铁年产量的4倍。其中2/3可以回炉再炼，另外1/3就变成废物散失了。1989年我国的钢铁年产量约为6000万t，每年的腐蚀损失约为1800万t，超过我国第一大钢都鞍山和第二大钢都武汉的年产量之和，每年散失的钢铁约为600万t，超过武钢的年产量。

腐蚀是一个普遍而严重的问题，腐蚀的危害遍及国民经济的各个部门。腐蚀造成的直接损失和间接损失都是非常巨大的。美国国会发表的统计数字表明，1975年美国由于腐蚀造成的直接经济损失约为700亿美元，占美国当年国民经济总产值的4.2%，比全国的水灾、火灾、风灾、地震灾害、交

通事故, 以及其他自然灾害损失的总和还要多。1984年美国公布的腐蚀损失数字达1460亿美元, 成为损失最大的灾害。其他工业发达国家的腐蚀状况也大致相同, 腐蚀造成的直接损失约占当年国民经济总产值的2%~4%。例如, 英国1970年的腐蚀损失为43.65亿英镑, 占英国当年国民经济总产值的3.5%; 德国1969年的腐蚀损失为190亿马克, 约占当年国民经济总产值的3%; 日本1977年的腐蚀损失为2.55万亿日元, 约占当年国民经济总产值的2.5%。这些惊人的数字震动了这些国家的政府、议会和广大科技界, 使它们紧急行动起来, 从基础工作、机理研究和防腐技术开发入手, 努力提高防腐技术水平。另外, 还采取了一系列措施, 加强防腐蚀的技术管理, 制定了规划和防腐标准、规范, 努力推广已有科技成果, 取得了显著的成效。

我国的腐蚀损失也是相当严重的。根据国家有关部门的指示, 1980年中国腐蚀与防护学会组织有关单位对国内部分企业的腐蚀与防护状况进行了摸底调查, 腐蚀损失与国外相似。例如, 被调查的10个化工企业, 1979年的腐蚀损失为7972.9万元, 占当年总产值的3.97%; 鞍山钢铁公司1979年的腐蚀损失约为1亿元, 占当年总产值的2%。1980年煤炭系统对30个有代表性厂矿企业的腐蚀状况进行了调查, 平均腐蚀损失约占当年总产值的3%, 按当时的价格, 折合吨煤损失1元左右。据专家们估计, 我国每年因腐蚀造成的直接经济损失约占当年国民经济总产值的2.5%左右, 1985年的腐蚀损失约为300亿元人民币, 相当于当年财政收入的16.4%。到2000年, 我国国民经济总产值按28000亿元计算, 2.5%的腐蚀损失就是700亿元, 这是一个多么巨大的数字!

实际上, 腐蚀所引起的危害还远不仅限于金属本身的损

耗和设备的损坏、报废。在生产上由于腐蚀造成的停产或生产过程中的跑、冒、滴、漏而造成的减产,设备更换造成的人力、物力的浪费、产品污染引起的产品质量下降,物料流失引起的公害,甚至造成中毒、爆炸等事故,以及一些新工艺因腐蚀问题无法解决而不能及时的工业化等等所受到的间接损失往往比金属损耗、设备报废本身的损失要大得多。

煤炭行业由于腐蚀造成的直接损失和间接损失都很严重。1984年仅生产矿井自身的损失就达吨煤1元左右,加上辅助工厂、车间及其他部门的腐蚀损失数字就更大了。煤矿井下湿度大、风速高,是金属发生电化学腐蚀的理想环境,据实验室测试和现场考核,普通A<sub>3</sub>钢在煤矿井下的腐蚀速率为0.3~1.2mm/a,远远超过海洋环境中钢铁的腐蚀速度,井筒装备的使用寿命一般为10~15a。酸性矿井的腐蚀就更严重了,井筒装备的使用寿命不到10a,排水管道的使用寿命只3~4a,有的1~2a,不少矿井没有投产就要部分或全部更换井筒装备,造成巨大的经济损失。例如,400m深的百万吨矿井更换一次井筒装备需耗资500万元左右,停产60~80d,少出煤矿20万t左右,总损失超过1000万元。

## 第二节 井筒装备防腐技术的发展

井筒是矿山的咽喉,是进出人员、物料的必经之路。认真搞好矿山井筒装备的防腐工作,延长其使用寿命,对保证矿山安全和增产都有重要意义。

煤矿井筒装备主要由普通A<sub>3</sub>碳钢加工制造。在煤矿井筒环境中,A<sub>3</sub>钢腐蚀严重,其速率达0.3~1.2mm/a,井筒装备10a左右就要更换。根据目前我国煤炭工业的生产水平和矿井的设计要求,大、中型矿井的开采时间一般都要求

50 a 以上, 有的甚至要达到 100 a, 属永久性工程。为了延长井筒装备的使用寿命, 减少停产维修时间, 提高煤炭产量, 认真搞好井筒装备的防腐工作是具有重要意义的。

但是, 在过去相当长的时间内, 煤矿井筒装备的防腐问题没有引起足够的重视, 可采取的防护方法和可借鉴的资料都很少。本世纪60年代以前, 我国煤矿基本上都是中、小型矿井, 井筒装备和井下设备基本上都没有采取任何有效的防腐蚀措施, 任其自然锈蚀。当时大家都认为锈蚀损坏是正常现象, 是不可避免的。60年代后期, 腐蚀造成的危害已逐渐被认识, 但由于缺乏防腐蚀的基本知识, 也没有能采取有力的防护措施。一些单位参照地面设备防腐蚀的办法涂刷 1~2 道普通沥青漆、红丹漆或其他防锈漆; 也有的单位采用热浸沥青的办法对井筒装备进行防护。设备安装前在地面放置时, 采用上述办法尚能在较短的时间内起到防护作用, 下井安装后, 由于安装时的碰、撞、烧、焊, 再加上井筒中恶劣的环境条件, 漆膜很快就失去了防护作用, 矿山设备的锈蚀依然严重。70年代后期, 我国新建的大、中型矿井增多, 金属的腐蚀问题引起了各方面的严重关注, 这时国内外的防腐蚀技术也有了迅速发展, 相继出现了一批高质量的防腐新材料和新的防腐施工技术, 防腐效果大大提高。为了较好地解决煤矿井筒装备的防腐蚀问题, 在借鉴国外矿山设备防腐蚀的经验和国内其他行业防腐蚀的先进经验、教训的基础上, 提出矿山井筒装备防腐蚀以涂料防护为主, 其他防护涂层和化学代用材料为辅的基本方针。通过煤炭系统广大科技人员 10 多年的努力, 井筒装备和其他井下设备的防腐技术有了很大提高, 研究出一大批具有我国特点, 适合矿山井下使用的防腐新材料、新技术和新工艺, 使矿山井筒装备的腐蚀状况

大大减轻。1988年,在总结煤矿井筒装备防腐蚀经验、教训的基础上,制定、颁发了《煤矿井筒装备防腐设计、施工及验收规范》,较好地解决了煤矿井筒装备的防腐蚀问题,使我国矿山设备防腐蚀工作进入了一个新阶段。

### 第三节 防腐工作的重要性

从第一、二两节可以看出,认真搞好防腐工作是非常重要的,不但可以延长设备使用寿命,节省大量人力、物力,避免巨大的经济损失,而且还可以防止许多恶性事故的发生,有利于安全生产。在煤炭行业,认真搞好防腐工作,对增产节约,促进新技术、新工艺的发展都是非常重要的。

搞好防腐工作,对大多数基层单位来说,就是如何合理地利用已有的防腐技术,提高防腐施工质量,这样就能解决大量的腐蚀问题,从而大大减少由于腐蚀造成的损失。例如,美国国家标准局的统计报告提供的数字,利用现有的防腐技术,至少可避免15%的腐蚀损失;还有的研究者估计,利用现有的防腐技术可减少35%的腐蚀损失。煤炭行业1990年的腐蚀损失按10亿元人民币计算,减少25%的腐蚀损失就是2.5亿元,能够新建一个大型煤矿。利用现有防腐蚀技术,煤矿井筒装备的使用寿命可延长1~2倍,在整个开采过程中可以不更换或减少更换。由此可见,充分利用现有的防腐蚀技术,努力搞好防腐蚀工作,是一项增收节支、企业挖潜的有力措施。作为一名防腐蚀工作者,应充分认识到自己责任的重大和任务的光荣,要努力学习有关腐蚀与防护的基础知识,积极宣传腐蚀的危害和防腐工作的重要性,学习、掌握先进的防腐蚀技术,以主人翁的高度责任感,认真搞好防腐工作,为祖国的四化建设作出应有的贡献。

## 第二章 腐蚀与防护基本知识

### 第一节 腐蚀的定义及分类

#### 一、腐蚀的定义

腐蚀是一个普遍而严重的问题，它是指材料在周围环境作用下所发生的损坏或变质，它包括除单纯的机械破坏以外材料的所有损坏形式。对金属材料来说，除金属的氧化外，还包括金属在特定环境中使用，虽然没有发生明显的生锈，但出现了微小的裂纹，使金属丧失强度的损坏形式，例如，不锈钢在硝酸介质中的晶间腐蚀和应力腐蚀破裂等。另外，橡胶、塑料、玻璃钢等非金属材料在各种环境因素作用下发生的老化、龟裂、溶胀；混凝土、砖石等无机材料经风吹、日晒、雨淋及周围大气侵蚀而发生的风化或溶蚀；木材的腐烂等都属于腐蚀的范畴。

对金属材料来说，腐蚀主要是由周围介质的化学作用或电化学反应引起的，有时伴随有机械、物理或生物的作用，所以金属腐蚀定义为“金属和周围介质发生化学或电化学反应而引起的损坏”。对于非金属来说，损坏一般是由直接的化学作用或物理作用（如氧化、溶解、溶胀等）所引起的。

#### 二、金属腐蚀的分类

金属腐蚀的分类方法很多，通常是根据腐蚀机理、腐蚀破坏的形式和腐蚀环境三个方面进行分类的。

## 1. 按腐蚀机理分类

金属腐蚀按照腐蚀机理可分为化学腐蚀和电化学腐蚀两大类。

(1) 化学腐蚀。化学腐蚀是指在高温下,或在干燥的大气中,金属表面直接与空气中的氧气、氯气、硫化氢、二氧化硫等酸性气体,或与纯的非电解质直接发生化学作用而引起的金属破坏,在腐蚀过程中没有电流产生。钢铁表面的黑色氧化皮是典型的化学腐蚀产物,另外,铝在纯四氯化碳中或纯乙醇中的腐蚀,镁和钛在纯甲醇中的腐蚀等也都属于化学腐蚀。

(2) 电化学腐蚀。电化学腐蚀是指金属和电解质发生电化学反应而引起的金属破坏。其主要特点是在腐蚀过程中存在两个相对独立的反应过程——阳极反应和阴极反应,并有电流产生。钢铁在酸、碱、盐溶液中的腐蚀就是典型的电化学腐蚀,煤矿井下的金属腐蚀均属于电化学腐蚀。电化学腐蚀是最普遍的一种腐蚀形式,由电化学腐蚀造成的破坏损失也是最严重的。

## 2. 按腐蚀破坏的形式分类

根据腐蚀破坏的形式,金属腐蚀可分为全面腐蚀和局部腐蚀两大类。

(1) 全面腐蚀。全面腐蚀亦称均匀腐蚀,是指整个金属表面以基本相同的速度进行腐蚀作用。如碳钢在煤矿井下发生的腐蚀一般都是全面腐蚀。由于这种腐蚀可以根据使用材料和腐蚀介质的性质测算出它的腐蚀速度,在设计时留出一定的腐蚀余度,所以全面腐蚀的危害一般比较小。

(2) 局部腐蚀。局部腐蚀是指腐蚀作用仅发生在金属的某一局部区域,而其他部位基本上没有发生腐蚀;或者是

金属某一部位的腐蚀速度比其他部位的腐蚀速度快得多,显示了局部腐蚀破坏的痕迹。局部腐蚀往往是在阳极面积较小,阴极面积较大的情况下进行的,所以腐蚀速度特别快,甚至会在难以预料的情况下突然发生破坏,这是危害性较大的腐蚀形式。局部腐蚀又分多种类型,其中常见的有以下几种。

a. 小孔腐蚀。又称点腐蚀,是指金属表面某一局部区域出现向深处发展的小孔,而其他部位不腐蚀或腐蚀很轻。小孔腐蚀的蚀孔深度大于孔径,蚀孔一旦形成,便具有向深处自动加速进行的作用。具有自钝化能力的金属材料,如不锈钢、铝及其合金,钛及其合金等在含有氯离子的介质中最易发生小孔腐蚀。

b. 应力腐蚀破裂。亦称应力腐蚀,是指金属材料在固定拉应力和特定介质的共同作用下引起的腐蚀破裂。外文资料中以SCC表示。

产生应力腐蚀必须同时具备两个条件,一是作用在材料上的固定拉伸应力(包括加工过程中产生的内应力和使用中的外加应力);另一个是能使材料发生应力腐蚀的特定介质(不是任意介质),即构成一个应力腐蚀体系所需要的一定的材料和一定的介质组合。

应力的存在可使金属材料的电位发生变化,从而加剧金属的腐蚀,已受腐蚀的地方,在应力作用下,又会造成应力集中,进一步加速金属的腐蚀速度。应力腐蚀的特点主要是在金属局部区域出现从表及里的腐蚀裂纹,一般是主干裂纹与拉伸应力互相垂直,而在主干裂纹延伸的同时,还有若干分支同时发展,发展到严重状态时从断面开裂,破裂断口呈现出脆性断裂的特征。

c. 电偶腐蚀。又称双金属腐蚀,这是指电位序相差较

大的两种金属或者合金在腐蚀性和导电性的同一介质中相互接触而引起的腐蚀。在电偶腐蚀中，耐蚀性较差的金属（即电位序较低的活泼金属）变为阳极，耐蚀性较好的金属（即电位序较高的惰性金属）变为阴极，形成一个宏观的电偶腐蚀电池。在这种偶连形式中，阴极或阴极性金属的腐蚀速度很慢，或者完全不腐蚀，而阳极材料的腐蚀速度就显著增大。

在工程设计中，选用不同材质的材料组合在一起在经济上往往是有利的，但必须采用大阳极、小阴极的配合形式，对于小阳极、大阴极的组合，除非采取外加牺牲阳极的形式，否则是绝对不允许的。

d. 缝隙腐蚀。这是指金属与金属，或金属与非金属之间形成特别小的缝隙（其宽度一般为 $0.025\sim 0.1\text{mm}$ ）内发生的金属腐蚀。这是一种很普遍的现象，几乎所有的金属材料都会发生缝隙腐蚀。例如法兰连接面、螺母压紧面、搭接面、焊缝气孔、锈层，以及沉积在金属表面的泥砂、积垢、杂屑等，都会形成缝隙而使金属发生缝隙腐蚀。

e. 晶间腐蚀。这是指发生在金属晶粒边界或它的邻近区域的一种腐蚀现象。晶间腐蚀的特点是金属表面无明显变化，晶粒本身基本没有腐蚀，而晶粒间的结合力大大削弱，严重时可使金属的机械强度完全丧失，使设备发生突然破坏，其危险性极大。是否存在晶间腐蚀可用敲击金属材料的方法来检查，如果无金属音响和容易碎裂，则表示可能存在晶间腐蚀。

不锈钢、镍基合金、铝合金、镁合金等都是对晶间腐蚀敏感性较高的材料。

f. 氢脆。这是指各种化学或电化学反应（包括腐蚀反应）所产生的原子态氢，扩散到金属内部引起的破坏形式。

当渗入到钢铁内部的夹层、孔隙和位错等缺陷部位的氢原子复合成氢分子时,将会产生极大的压力,有时能达到  $3 \times 10^8 \text{Pa}$ ,从而使金属晶格产生高度变形,使金属材料的机械性能受到严重损害。例如可使金属的韧性和延性降低,硬度和脆性提高,有时甚至还能造成细微的裂纹。

g. 腐蚀疲劳。金属材料在腐蚀介质和交变应力的共同作用下产生的耐疲劳能力的下降或破裂称为腐蚀疲劳。

腐蚀疲劳在能产生小孔腐蚀的介质中最易发生。首先,在交变应力的作用下产生滑移台阶,为小孔腐蚀提供了活动点,而蚀孔的产生将导致初始裂纹,由于极化作用,最后形成发源于同一个深蚀孔中的多条裂纹。腐蚀疲劳易产生于以振动、滑动以及其他运动形式的零部件。对称交变应力,低应力交变频率和扭转弯曲最易产生腐蚀疲劳。

介质的腐蚀性越强,腐蚀疲劳现象就越严重。这里的介质并不仅限于特定的腐蚀介质,溶解氧、温度、pH值和溶液成分都能对腐蚀疲劳产生重要影响。阳极极化能促使腐蚀疲劳,阴极极化能抑制腐蚀疲劳,因此,阴极保护对抑制腐蚀疲劳是有利的。

h. 局部腐蚀还有其他形式,如空泡腐蚀,选择性腐蚀等,但在矿山环境中较少发生。

### 3. 按腐蚀环境分类

金属在各种环境中都可能发生腐蚀,所以金属腐蚀又可按腐蚀环境来进行分类,如化学介质腐蚀、高温腐蚀、大气腐蚀、海水腐蚀,矿山腐蚀、土壤腐蚀等。但这种分类方法并不很严密,例如,大气和土壤中都可能含有各种化学介质,而海水本身就是一种化学介质,矿山环境中既包括大气,又包括含有各种化学介质的淋水……。不过这种分类方

法可以帮助我们宏观的环境因素去分析和认识腐蚀的规律。

## 第二节 电化学腐蚀的机理

尽管金属腐蚀破坏的形式多种多样,但就其腐蚀过程的反应来说,绝大部分都是属于电化学腐蚀的范畴,煤矿井下的腐蚀属于典型的电化学腐蚀,都可以用电化学反应的过程来解释。

### 一、电化学腐蚀的机理

为了说明电化学腐蚀的机理,我们先进行下面的实验:将1块铜片和1块锌片浸入稀硫酸溶液中,中间用1块电流表把2块金属连接起来,如图2-1所示,结果发现电流表的指针发生摆动,表明有电流通过。这种装置称为原电池,又称伏特电池。

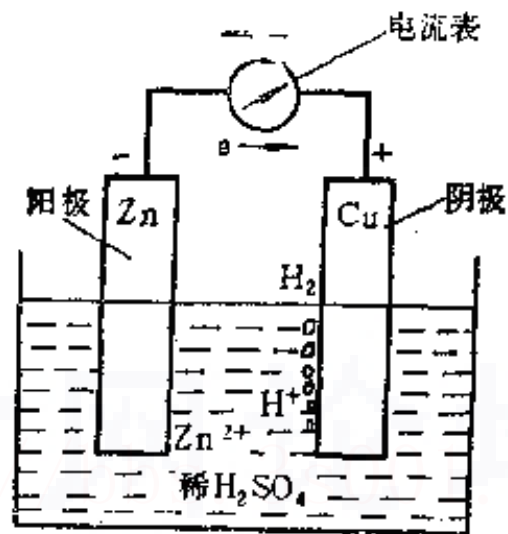
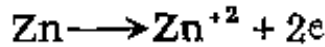


图 2-1 铜-锌原电池示意图

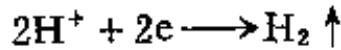
铜-锌原电池为什么会产生电流呢?这是因为铜、锌两种金属在稀硫酸溶液(电解质溶液)中的电极电位不同,铜的电极电位比锌高,它们之间存在一定的电位差,当用导线把它们连接起来时,电位较低的锌板上的电子在电位差的作用下便通过导线流向电位较高的铜板,因而产生了电流。任何两个电极电位不同的金属材料放在同一电解质溶液中都能构成原电池。通常我们把电位较低的锌板称为电池的阳极,电位较高的铜板称为阴极。由于电子的流动,使锌板和铜板在溶液中形成的双电层的平衡状态被破坏,导致锌板上的锌以离子的

形式不断转入溶液中，而流至铜板上的电子则与溶液中的氢离子结合生成氢气析出。这一过程不断进行下去，锌就不断溶解，铜板上就不断有氢气析出，导线上就不断有电流通过，直至锌板被完全溶解。在这一过程中，两个电极上分别进行如下的电极反应：

阳极反应，锌失电子，进行氧化反应。



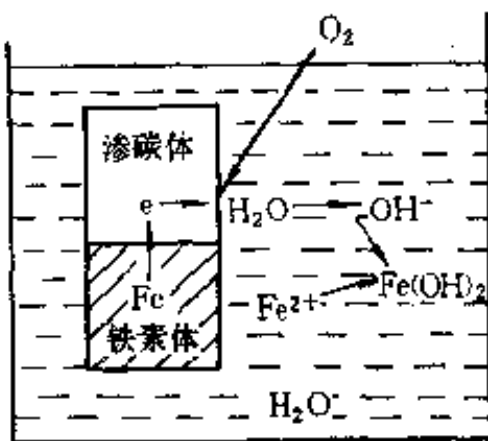
阴极反应，溶液中的  $\text{H}^+$  在铜板上获得电子，进行还原反应。



总反应式为



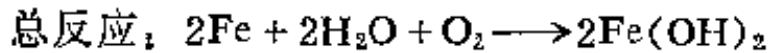
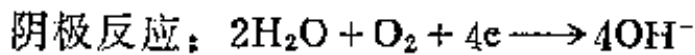
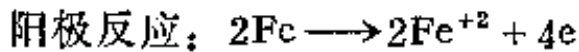
应当注意的是，物理学上规定电位高的一端为正极，电位低的一端为负极，电流是从电位高的正极流向电位低的负极；而在研究腐蚀问题时，规定电位高的为阴极，电位低的为阳极，电子是从电位低的阳极流向电位高的阴极，正好与物理学上规定的阴极、阳极相反。



普通碳钢浸入水中也会构成许多微小的原电池。这是因为普通碳钢是由铁素体和渗碳体组成的，这两者的电极电位也不相同。铁素体的电位较低，成为原电池的阳极；而电位较高的渗碳体成为阴极。阳极上的铁以铁离子的形式进入

图 2-2 碳钢在水中腐蚀示意图 水中，电子由阳极流向阴极，并在阴极上与水中的氧和水作用生成氢氧根。在水中，铁离

子和氢氧根相互作用生成氢氧化亚铁  $[\text{Fe}(\text{OH})_2]$ ，如图 2-2 所示。其电极反应如下：

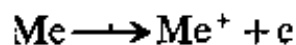


其他含有杂质的金属在电解质溶液中也能形成腐蚀原电池。

在金属电化学腐蚀过程中，阳极上的反应是相同的，金属由原子变成离子，阳极金属慢慢被溶解；而阴极上的还原反应则不相同，通常在酸性介质中，阴极反应是氢离子还原，有氢气析出；而在中性或碱性溶液中，由于氢离子的浓度小，阴极上析出氢的反应比较困难，一般都是溶解在溶液中的氧被还原，生成氢氧根。钢铁在中性、碱性溶液，海水，大气，土壤，矿山井下，弱酸等介质中的腐蚀都是在阴极上生成氢氧根的吸氧腐蚀，这是最普遍、也是破坏损失最大的一种腐蚀现象。

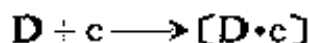
根据上述分析可知，金属电化学腐蚀的机理实际上就和一个原电池的机理相同。当金属与电解质接触时，由于金属表面各部位的电极电位不尽相同，两个不同电位的相邻部位很自然构成一个微小的原电池，电位较低的部位成为阳极，容易失去电子而被腐蚀；电位较高的部位成为阴极，仅起到传递电子的作用，一般不被腐蚀。电化学腐蚀一般包括三个基本过程：

(1) 在阳极上，金属 (Me) 失去电子 (e)，以离子 (Me<sup>+</sup>) 的形式溶解进入溶液中，称为氧化过程，其反应为：



(2) 阳极上的电子流向阴极, 这是产生电流的过程。

(3) 在阴极上, 从阳极流来的电子与溶液中能够吸收电子的物质 (D) 结合, 称为还原过程, 其反应式为:



在阴极附近, 能够与电子结合的物质是很多的, 但通常是与溶液中的氢离子或氧结合。

上述三个过程是相互联系并同时进行的, 如果其中某一过程受阻或停止进行, 那么整个腐蚀过程就会减缓或完全停止。电化学腐蚀过程的原电池通常称为腐蚀电池。

## 二、影响电化学腐蚀的因素

我们研究腐蚀的目的是为了控制腐蚀, 所以必须了解影响腐蚀速度的各种因素。

### 1. 极化作用

根据电化学腐蚀的原理, 几乎所有的金属都会发生电化学腐蚀, 只要有腐蚀介质存在, 腐蚀就会不断进行下去, 金属很快就会被腐蚀掉。但实际并非如此, 在很多情况下, 金属的腐蚀速度并不是很快, 有的开始很快, 后来就慢了, 这主要是腐蚀电池出了“故障”。

由于各种因素的影响, 使腐蚀电池三个基本过程中的某一过程受到阻碍, 都会使腐蚀电池的电位差减小, 这种现象称为腐蚀电池的极化。介质浓度的变化, 金属表面形成钝化膜, 介质中的氢离子或含氧量减少等都会使腐蚀电池产生极化作用。结果使腐蚀电流减小, 从而大大降低了腐蚀速度。

与极化作用相反, 介质中的某些成分会减弱或消除腐蚀电池的极化作用, 使腐蚀速度加快, 这种现象称为去极化作用。在酸性介质中, 氢离子会减弱极化作用, 加速腐蚀, 这称为氢的去极化作用, 氢离子称为去极化剂; 同理, 在中性

介质中,氧的存在也会减弱极化作用而使腐蚀加速,这称为氧的去极化作用,氧是去极化剂。

极化作用对减缓金属的电化学腐蚀速度是非常重要的和有益的。如果没有极化作用,金属的电化学腐蚀速度将会比实际大得多,金属材料 and 设备的破坏情况也将严重得多,以至大多数金属材料都不能使用。我们可以人为地使腐蚀电池产生极化作用,从而减小腐蚀速度,使金属设备得到保护,这就是电化学保护方法。

## 2. 金属的内在因素

(1) 金属的反应活性。金属是否容易被腐蚀,与金属自身的反应活性有关,可近似地用金属的标准电极电位来评定。一般是自身电位越高,化学稳定性越好,金属越不易被腐蚀,例如,金、银、铂等;相反,铝、镁、锌、铁等金属的电位较低,反应活性大,在许多介质中都易被腐蚀。

(2) 金属的成分。金属的化学成分对金属的耐蚀性能有直接影响。一般说来,杂质的存在会降低金属的耐蚀性能,而加入某些合金元素,则可提高金属的耐蚀性能。如普通碳钢,降低其碳含量和硫、磷等杂质元素的含量,并加入一定量的铬、镍等合金元素,就能明显提高其化学稳定性,使其具有良好的耐腐蚀性能,例如各类耐蚀低合金钢和不锈钢等。另外,高纯金属的耐蚀性能比普通金属要好得多。

(3) 金属的组织结构。当金属的化学成分一定时,由于受热和冷却的速度和温度不同,会使金属内部产生不同的组织结构,并能影响金属的耐蚀性能。如奥氏体不锈钢1Cr18Ni9Ti在焊接过程中,受焊接温度的影响,在焊缝的热影响区会出现粗晶粒区和碳化铬析出区,在靠近焊缝的粗晶粒区容易产生刀口腐蚀(属晶间腐蚀),而在碳化铬析出区附

近的贫铬区，则容易产生晶间腐蚀。

(4) 金属的表面状态。一般说来，粗糙的金属表面比光滑的金属表面更容易被腐蚀。金属表面的机械损伤、缝隙、孔穴、焊接缺陷等部位在电解质溶液中往往会成为腐蚀源，容易引起金属的局部腐蚀。

(5) 金属的受力情况。设备加工时，由于受到拉伸、弯曲、冲压、焊接等而发生变形，使内部产生较大的残余应力，这既能加速金属的一般腐蚀，而在特定的介质中还会产生应力腐蚀破裂。如果金属受到交变应力的作用，还会发生腐蚀疲劳。反之，如设备进行喷丸处理而受到压应力的作用，则能提高设备的耐蚀性能。

### 3. 影响腐蚀的外部因素

(1) 介质的pH值。介质的pH值(酸碱度)对金属腐蚀的影响比较大，也比较复杂。一般规律是pH值越小，酸性越强，腐蚀性也就越强。但对不同金属将会产生不同的影响，例如金、铂等贵金属在任何酸度下都不受腐蚀；铁、镁、镍、镉等金属表面的氧化膜只溶于酸而难溶于碱，所以在酸性介质中易被腐蚀而在碱性介质中稳定；锌、铝、铅等两性金属在酸性和碱性介质中都易被腐蚀。但也有例外，如铝在 $\text{pH} = 1$ 的浓硝酸中和铁在浓硫酸中都能耐腐蚀，所以要具体情况具体分析。

(2) 盐溶液的浓度。一般说来，金属在中性盐溶液中的腐蚀性随盐浓度的增加而增加，当达到某一最高点时，又会逐渐降低。这是由于 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 的浓度增加，使金属的保护膜遭到破坏，因而腐蚀加速。当盐的浓度增加到一定数值后，由于溶液中氧的溶解量随盐浓度的增加而减少，所以腐蚀速度反而下降。如图2-3所示。

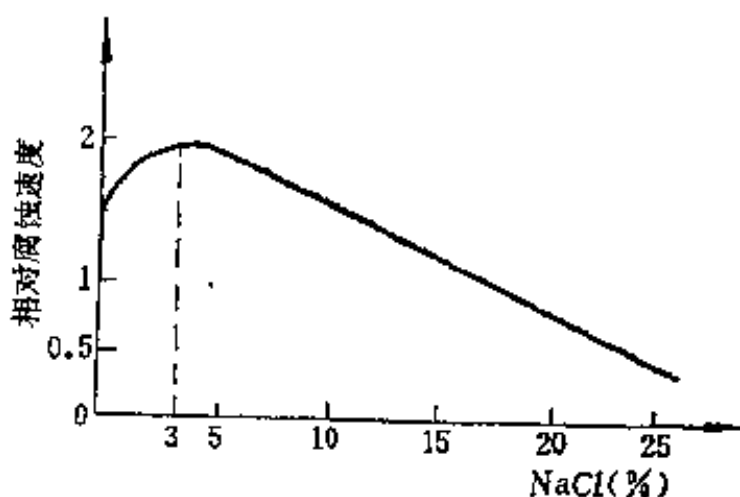


图 2-3 NaCl 的浓度对铁腐蚀的影响

(3) 介质的温度。一般情况下, 温度升高会增加反应速度, 促进溶液的对流、扩散, 从而加速腐蚀电池的阳极过程和阴极过程。所以温度升高会使腐蚀速度增加。但超过  $80^{\circ}\text{C}$ , 则由于溶解氧的显著降低而腐蚀速度减小。

(4) 介质的流速。由于介质的流动, 会造成介质对金属表面的冲刷, 使金属的表面膜容易损坏, 腐蚀产物容易脱落。同时, 不断更新金属表面的溶液, 有利于腐蚀反应的进行。所以, 多数情况下, 增加介质的流速会加速金属的腐蚀。煤矿井筒中, 由于风大、淋水大, 介质流速大, 所以井筒装备的腐蚀速度远高于其他环境中金属的腐蚀速度。

### 第三节 腐蚀程度的评定方法

金属受到腐蚀后, 其外观形态、重量、机械强度, 组织结构等都会发生变化。我们可以根据这些物理和机械性能的变化来评定金属的腐蚀程度。由于腐蚀破坏的形式多种多样, 评定腐蚀程度的方法也各不相同。通常是根据腐蚀前后重量的变化或厚度的变化来评定全面腐蚀; 对于晶间腐蚀和

应力腐蚀等局部腐蚀则可分别用测定孔密度和机械强度等的变化来评定。

### 1. 根据重量的变化来评定

在腐蚀过程中，由于金属的溶解或腐蚀产物在金属表面的积存，会使腐蚀前金属的重量发生增、减变化。根据这种变化，以被腐蚀金属的单位面积 ( $m^2$ ) 在单位时间 (h) 内由于腐蚀而引起的重量 (g) 变化来评定其腐蚀程度，可用下面的公式计算出腐蚀速度：

$$K_{\text{重量}} = \frac{g_0 - g_1}{S_0 \cdot t}$$

式中  $K_{\text{重量}}$ ——腐蚀速度， $g/m^2 \cdot h$ ；

$g_0$ ——腐蚀前重量，g；

$g_1$ ——腐蚀后重量，g；

$S_0$ ——被腐蚀面积， $m^2$ ；

$t$ ——腐蚀时间，h。

### 2. 根据厚度变化来评定

金属腐蚀后，一般都是外形尺寸减薄。我们可根据单位时间 (a) 内金属因腐蚀而减薄的尺寸 (腐蚀深度，mm) 来评定其腐蚀程度。这种评定方法能更直观地反应出全面腐蚀的严重程度，具有更大的实用意义。因为它可直接估算出设备的使用寿命，同时可以直接比较不同密度金属的腐蚀程度。其腐蚀速度可用下面的公式计算。

$$K_{\text{厚度}} = \frac{K_{\text{重量}}}{d_{\text{金属}}} \times \frac{24 \times 365}{1000} = 8.76 \times \frac{K_{\text{重量}}}{d_{\text{金属}}}$$

式中  $K_{\text{厚度}}$ ——腐蚀速度， $mm/a$ ；

$K_{\text{重量}}$ ——腐蚀速度， $g/m^2 \cdot h$ ；

$d_{\text{金属}}$ ——金属的密度， $g/cm^3$ ；

金属材料的耐蚀性能可根据金属材料腐蚀速度 ( $K_{\text{腐}}$ ) 的大小分为四个等级, 见表2-1。这就可以比较方便地根据金属的耐腐蚀能力进行选材。

表 2-1 金属耐蚀性等级标准表

级 别	腐蚀率(mm/a)	评 价
一	<0.05	优 良
二	0.05~0.5	良 好
三	0.5~1.5	可用, 但腐蚀较重
四	>1.5	不适用, 腐蚀严重

### 3. 局部腐蚀的评定

金属局部腐蚀的形式很多, 其反应在金属物理和机械性能方面的变化也很不相同。但总的来说, 对于局部腐蚀不能采用上述简单的重要变化或厚度变化来评定, 而要根据具体的腐蚀形式, 采用相应的, 能真实反映其物理机械性能变化的指标来评定。例如, 小孔腐蚀可用测量蚀孔密度和平均蚀孔深度等方法来评定; 对于晶间腐蚀和应力腐蚀, 可用测试金属腐蚀前后的机械强度变化来评定。

### 4. 非金属材料腐蚀程度的评定方法

金属材料与非金属材料的腐蚀是有本质差别的。非金属材料的腐蚀主要是环境介质向材料内部渗透、扩散, 引起化学反应、溶胀、溶解, 以及应力开裂等破坏形式。当前, 还没有很好的评定非金属材料腐蚀程度的方法。它不能像金属材料那样用腐蚀率作标准来评定其耐蚀性能。通常是以材料的失强(%), 增、减重(%) 和外形破坏的描述作为综合考察的指标。可分为以下三种不同的情况;

(1) 石墨、玻璃、陶瓷、混凝土等这类非金属材料可参照金属材料的等级标准来评定其耐蚀性能, 混凝土还可根据腐蚀前后抗压强度的变化来评定其耐蚀性。

(2) 有机高分子材料。塑料、橡胶、玻璃钢、粘合剂等有机高分子材料可参照下列标准来确定其是否可用:

- a. 抗弯强度下降  $< 25\%$ ;
- b. 重量或尺寸变化  $< \pm 5\%$ ;
- c. 硬度 (洛氏  $M$ ) 变化  $< 30\%$ 。

凡满足上述三项条件的, 就认为这种材料在试验期限或更长一些时间内是可用的。

(3) 其他非金属材料。除 (2)、(3) 所列以外的其他非金属材料, 一般采用下列三级标准来评定其耐蚀性能。

一级: 良好, 基本无腐蚀或有轻微腐蚀;

二级: 可用, 有较明显的腐蚀, 如轻度变形、变色、失强或增减重量等;

三级: 不可用, 有严重的变形破坏或失强。

上述三级标准是根据生产实践经验划分的, 有相当的可靠性。但在实际应用中, 也要根据具体情况灵活掌握。

#### 第四节 控制腐蚀的方法

在矿山井下环境中, 金属的腐蚀是由于金属设备在电解质溶液中构成腐蚀电池而引起的电化学腐蚀破坏。根据矿山环境和煤矿井筒装备的使用条件, 控制腐蚀一方面要采用耐蚀性好的金属材料或非金属材料, 尽量提高设备的耐蚀性能; 另一方面可采用耐腐蚀的复盖层将耐蚀性差的金属与环境隔离, 或采用电化学方法来减小腐蚀电池的作用, 以达到

保护金属设备的目的。在其他领域常用的改善周围环境因素来减轻腐蚀的方法对煤矿井筒装备防腐蚀显然是不适用的。

在选择防腐蚀方法时,必须强调具体情况具体分析,采用的防腐材料与防护方法必须与使用环境相适应(即耐腐蚀),同时还要考虑其经济效益、材料来源和施工方便等因素。

在具体选择防腐方法时,首先要了解环境因素,对煤矿井筒装备来说,首先要搞清矿井淋水的 pH 值,含盐量以及  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  的含量。同时还要了解各种防腐材料的性能,如耐腐蚀性能,物理机械性能和施工情况等,要尽力避免盲目性。煤矿井筒装备常用的控制腐蚀的方法如下:

### 一、提高金属的耐腐蚀性能

煤矿井筒装备大量使用的是普通 A<sub>3</sub> 碳钢。该钢种有较好的物理机械性能,各种型钢品种、规格齐全,价格便宜。但其耐蚀性较差,在许多环境中,特别是在淋水 pH 值较低的酸性矿井中使用,耐蚀性能不好。

低合金钢通常是指含有合金元素总量不超过 3% 的碳钢材料。这类钢材强度高,综合性能好,价格适中,与普通碳钢相比具有许多优点,引起了国内外的广泛重视。耐蚀低合金钢是针对一定的使用条件,添加少量某些合金元素而制成的低合金钢。适合煤矿井筒装备使用的低合金钢主要有 09MnCuPTi、10MnSiCu、10MnPNbRe、16MnCu 和 10PCuRe 等。但由于型钢的规格、品种不全,大范围推广存在一定的困难。

### 二、采用耐腐蚀保护层

采用耐腐蚀性能较好的金属或非金属保护层,使基体金属与腐蚀介质隔离,以达到防腐蚀的目的,这是煤矿井筒装备应用最广泛的一种防腐蚀方法。煤矿井筒装备采用的防腐

蚀保护层主要有金属保护层、非金属保护层和重防腐蚀涂层三大类。

### 1. 金属保护层

采用不同的施工方法可以在钢铁表面获得各种性能优良的金属保护层。煤矿井筒装备防腐蚀可采用的金属材料主要有锌和铝，涂在钢铁表面形成阳极性保护层，可采用的涂装方法主要为热喷镀和热浸镀。

锌、铝等金属的电位比钢铁低，为电化学腐蚀的阳极。在腐蚀性介质中，当锌、铝等阳极性保护层存在针孔或裂纹时，钢铁材料作为电化学腐蚀的阴极也能受到保护。阴极性复盖层只有非常完整时才能可靠地保护钢铁设备，否则将形成小阳极、大阴极的腐蚀电池，加速裸露部位钢铁设备的腐蚀，一般不宜用作煤矿井筒装备的防腐保护层。

### 2. 非金属保护层

煤矿井筒装备防腐蚀主要采用非金属防护层。非金属防护层又可分为涂料防护层和玻璃钢防护层两类。

(1) 涂料防护层。涂料防护具有施工方便、种类繁多、用途广泛、价格便宜等优点。到目前为止，绝大多数矿井都是采用涂料防护层。煤矿井筒装备防腐涂料当前主要有环氧沥青和氯化橡胶两大类。

(2) 玻璃钢防护层。玻璃钢是指用玻璃纤维增强的高分子材料。玻璃钢防护层是用玻璃纤维布增强的有机树脂材料防护层。它具有涂层厚、强度高、封闭性好等优点，是酸性淋水的矿井排水系统常用的防腐蚀方法。

有关各种防护层的性能及施工工艺将在以后各章详细介绍。

### 三、阴极保护

根据腐蚀电池极化的原理,人为地向被保护的金属外加直流电,使原腐蚀电池的阴极或阳极产生极化,这样就能减小或防止金属腐蚀;或者是将一块电位较低的金属与被保护的金属设备连结在一起,构成一个大电池,使被保护的金属成为阴极而得到保护。这种防腐蚀的方法称为电化学保护。电化学保护又分为阴极保护和阳极保护,但只有阴极保护可用于煤矿井筒装备防腐蚀。

阴极保护是将金属进行外加阴极极化以减小或防止金属腐蚀的方法。它包括外加电流的阴极保护和牺牲阳极的阴极保护两种方式。

#### 1. 外加电流阴极保护法

这种方法是将被保护的金属设备用导线与外加直流电源的负极连接。为了构成电流回路,在电解质溶液中放置一个辅助阳极,并与外加直流电源的正极连接,如图2-4所示。通电后,外加电源负极的电子通过导线流入金属设备的表面,使由于电化学不均一性而构成腐蚀电池的阴极部位电子增加,电位值降低,即发生了阴极极化。这样,腐蚀电池的电位差就会减小,降低了腐蚀速度,从而使设备得到了保护。

外加电流阴极保护简单易行,保护效果良好,目前已广泛应用于海上的码头、采油平台、船舶、水闸、地下设备等方面。若采用外加电流阴极保护与涂料联合保护,可降低外加电流的消耗,改善电流的分散能力,使设备各部分的电位分布比较均匀。尤其对结构比较复杂的设备,效果更为明显。

#### 2. 牺牲阳极保护法

该法又称护屏保护。它是将一块电位较低的金属作为阳

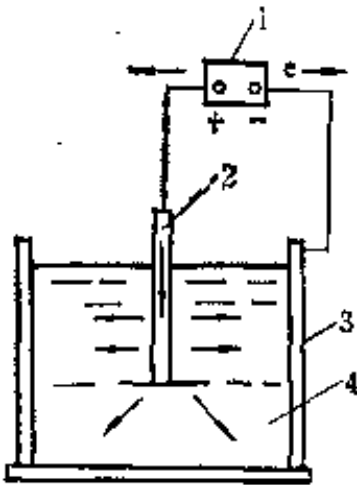


图 2-4 外加电流阴极保护示意图

1—外加直流电源，2—辅助阳极；  
3—被保护设备，4—腐蚀介质

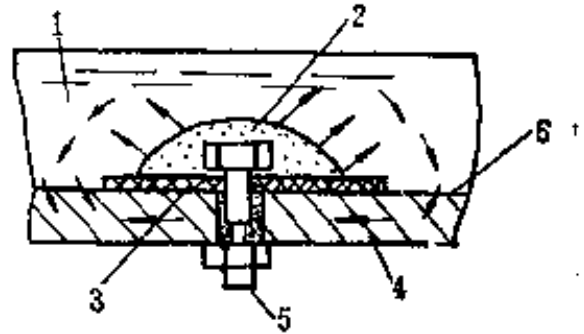


图 2-5 牺牲阳极阴极保护示意图 (箭头表示电流方向)

1—腐蚀介质，2—牺牲阳极，3—绝缘垫，4—被保护设备，5—连接螺栓；6—屏蔽层

极连接在被保护的金属上，与被保护金属在电解质溶液中构成一个大电池，使被保护金属成为阴极。如图2-5所示，电流由阳极经过电解质溶液流入金属设备，使金属设备发生阴极极化而得到保护。

由于牺牲阳极保护法不需要外加电源、不会干扰邻近设备、结构简单、施工方便、电流分散能力好、不需要经常的维护检修，所以在舰船、海上设备、水下设备、地下设备已得到较广泛应用；在煤矿井筒装备防腐蚀方面的试验也获得较好的防护效果。在煤矿井筒装备防腐中，通常用锌、镁的合金材料作为牺牲阳极来保护钢铁设备，特别是酸性矿井的排水系统。

另外，阳极保护也是电化学保护的一种形式。它与外加电流的阴极保护相反，它是将被保护的金属设备与外加直流电源的正极连接，电源的负极与一个辅助阴极连接，通电后，使金属设备进行阳极极化，使金属设备建立并维持钝化

状态,其表面生成一层稳定的钝化膜,从而受到保护。阳极保护一般用于强酸性介质中碳钢或不锈钢的保护,对井筒装备的防护,一般不宜采用。

#### **四、采用玻璃钢复合材料**

近年来,采用玻璃钢复合材料加工、制造煤矿井筒装备取得了很大进展,它用来加工安全栅栏、梯子、大小梁、平台、水管、风管等,目前,已有一些风井实现了全井筒玻璃钢化。煤矿井筒中无紫外线照射,对防止玻璃钢制品老化、延长其使用寿命是非常有利的。

#### **五、抓好设计、施工和管理**

设计、施工和管理是搞好防腐蚀工作的三个重要环节,只有认真抓好这三个环节,才能充分发挥上述各种防腐措施的作用。

##### **1. 设计**

设计是搞好防腐蚀工作的第一步,也是关键性的一步。它包括合理选择耐腐蚀材料、防腐施工方法以及设备结构的合理性。防腐蚀方案的设计首先要考虑所用材料在使用环境中的耐蚀性,材料的来源、施工性能、成本高低、使用寿命长短,以及对设备使用寿命的要求等因素。设备的结构除了要满足生产工艺的要求外,还必须考虑防腐施工的要求,要尽量方便防腐施工。

##### **2. 施工**

这是关系到防腐措施能否达到预期防腐效果的重要环节。同一种防腐措施,施工质量不同,设备使用寿命可相差几倍到十几倍。搞好防腐施工,是充分发挥防腐措施的保护作用、延长设备使用寿命的关键。防腐施工必须严格按照施工规程进行,按质量标准进行检查验收。

### 3. 管理

管理包括施工管理和使用管理两部分。施工管理包括施工计划、工艺规程、施工方案制定、施工中的质量检查和施工记录等；使用管理主要是对已防腐好设备的管理。安装前，要防止长时间露天曝晒和人为的损坏，安装和使用过程中，要防止机械损伤，以及烧焊、切割等漆膜损坏部位的修补，并定期进行检查、维护，建立设备防腐蚀档案。

另外，及时推广应用防腐新材料、新技术，对搞好防腐工作也是十分重要的。

## 第五节 常用名词、术语

本章前四节已涉及到大量与防腐有关的名词、术语，本节主要包括前几节还未介绍的内容。

(1) 腐蚀性。指腐蚀的活性。

(2) 大气腐蚀。金属在大气中，由于大气中的水分、氧气、以及污染而导致金属发生的腐蚀，称大气腐蚀。大气腐蚀属于电化学腐蚀，它的两个基本要素是氧气和水分。

(3) 腐蚀速率。又称腐蚀率，它有多种表示方法，其中：

“ipy”表示每年腐蚀穿透的英寸数；

“mpy”表示每年腐蚀穿透的密耳数；

“mdd”表示每平方分米每天因腐蚀失去的毫克重；

“ $\mu\text{m}/\text{year}$ ”表示每年腐蚀穿透的微米数；

“mmpy”表示每年腐蚀穿透的毫米数；

$1\mu\text{m} = 0.0394\text{mil}$  (密耳)。

(4) 电极电位。金属浸于电解质溶液中时，显示出电的效应，即金属的表面与溶液间产生电位差。这种电位差称为金属在此溶液中的电位或电极电位。

(5) 标准电极电位。以标准氢半电池的电位为零作为度量单位来量度某种金属在其盐的水溶液中的电极电位称为该金属的标准电极电位。

(6) 腐蚀电位。在电解质溶液中, 金属的腐蚀表面相对于参比电极(基准电极)的电位称为腐蚀电位。

(7) 腐蚀疲劳极限。金属在规定的腐蚀环境和受力条件下, 在使用过程中承受定期的交变应力, 在未被破坏时所能承受的最大应力值称腐蚀疲劳极限。

(8) 杂散电流腐蚀。是由于从额外电源来的无控制的电流(主要是直流电或高压直流电), 不按规定的路径流动, 通过金属结构和其他极易导电的路径使漏电增加, 而引起被连结的结构和设备的腐蚀称杂散电流腐蚀。

(9) 电流密度。表示流入电解液中的电流的平均值, 也有多种表示方法, 电流分别用安培或毫安培表示, 面积分别用平方英尺、平方分米、平方厘米表示, 分别写为 $A/ft^2$ 、 $A/dm^2$ 、 $A/cm^2$ 和 $mA/cm^2$ 等。

(10) pH值。酸性和碱性的量度, 为溶液中氢离子浓度的负对数值( $-\log[H^+]$ )。用0~14的数值表示水溶液的酸性或碱性。在25℃时, 中性溶液的pH值为7。pH值的范围从7至0意味着酸性增加, 而从7至14表明碱性增加。

(11) 氧化皮。高温时在金属表面上所生成的一层很厚的腐蚀产物。钢铁表面的氧化皮又称蓝皮, 是高温轧制钢材时形成的, 其主要成分是 $Fe_2O_3$ 和 $Fe_3O_4$ 。

(12) 钝化。金属由于介质的作用生成的腐蚀产物如果具有致密的结构, 形成了一层薄膜紧密地覆盖在金属的表面, 降低了处于电化学反应中电极的阳极反应速率, 使成为耐蚀的钝态, 这种现象我们称钝化。

## 第三章 防腐涂装前的表面处理

煤矿井筒装备和井下设备在防腐涂装前必须进行认真的表面处理,彻底清除钢铁表面的锈蚀、氧化皮及各种污物,并达到规定的要求。钢铁表面的处理状况对涂层的附着力、涂层的耐久性和防护效果都有重要影响。当前,国内外都非常重视矿山井筒装备和井下设备防腐涂装前的表面处理工作。

### 第一节 表面处理与防腐效果的关系

“三分涂料、七分施工”。这里强调了防腐施工的重要性。采用高质量的防腐涂料,如果表面处理的质量不高,施工工艺不合理,也难以达到预期的防护效果。防腐施工最重要的就是表面处理。

煤矿井筒装备使用的钢材大多是热轧型钢。新加工的设备表面总有一层坚硬的氧化皮(俗称蓝皮),另外,还有铁锈、尘土、水分,油污等有害物质存在。表面处理就是要除去对涂层能产生有害影响的这类附着物。表面处理的情况与钢铁设备的防护效果有密切的关系。J.C.Huason在歌费尔德曾进行过表面处理与防腐效果的关系试验,使用相同的防腐涂料和涂装方法,最后的涂装厚度也大致一样,但表面处理方法不同,最后的防护效果可相差几倍,见表3-1。

根据国内外防腐工作的经验、教训,要提高涂层的质量,并延长其使用寿命,涂装前必须认真搞好表面处理,彻底除去被涂基材表面的各种有害物质,使之呈现出干燥、清

表 3-1 涂层耐久性与表面处理方法的关系表

耐久性 (a)	保护涂层	二道铁红	二道红丹防锈底漆
		防锈面漆	+二道铁红防锈面漆
表面处理方法			
	手工除锈	1.2	2.3
	酸洗除锈(钝化)	4.6	9.5
	喷砂除锈	6.3	10.4

洁的金属表面。表面处理需要花费一定的人力、物力，要增加部分工程费用，并延长工期。但如果表面处理不彻底，将严重地影响涂层的附着力和防护效果。涂装一段时间后，涂层就会出现鼓泡、脱落，逐渐失去防护作用。一般说来，表面处理的程度应根据工程防腐施工的要求、设备的结构、使用条件、服务年限等因素来决定。

煤矿井筒内环境恶劣，风大、淋水大，尤其是干湿交替段，钢铁的腐蚀、损坏速度相当快，10年左右28号工字钢的复板就基本上锈穿。更换井筒装备，费钱、费时又费工，而且很不安全。矿山井筒装备防腐施工的实践证明，认真搞好钢铁构件防腐涂装前的表面处理工作对延长井筒装备的使用寿命具有重要意义。喷砂(丸)除锈效果最好，既能彻底除去钢铁表面的锈蚀、氧化皮及各种污物，又能获得一定的粗糙度，有利于提高涂料在钢铁表面的附着力。酸洗除锈和钝化处理工艺也很适用于井筒装备防腐涂装前的表面处理，也能使表面涂层获得较好的附着力和较长的防护作用。人工除锈既费力，质量又差，不能达到井筒装备防腐蚀对表面处理的要求，除非在特殊情况下，一般不宜采用。带锈底漆对锈蚀有一定的转化、稳定作用，但难以与氧化皮进行反应，涂

在新钢材上, 表面涂层损坏很快, 应禁止使用。

## 第二节 除锈质量等级的划分

当前, 我国还没有制定统一的钢铁表面除锈质量等级标准。在实际应用中主要参考瑞典标准化委员会 (SIS) 等单位制的《SIS055900-1967标准》, 和美国钢结构涂装委员会 (SSPC, USA) 制定的美国《SSPC表面预处理规范》, 这是当前国际上比较通用的表面处理质量等级划分标准。

### 一、瑞典《SIS055900-1967标准》

该标准是由瑞典腐蚀协会与美国材料试验学会 (ASTM) 和美国钢结构涂装委员会 (SSPC, USA) 共同制定的。根据除锈方法和除锈质量的不同, 该标准共分为  $St_2$ 、 $St_3$ 、 $Sa_1$ 、 $Sa_2$ 、 $Sa_2\frac{1}{2}$  和  $Sa_3$  等六个等级, 每个等级对除锈质量都有具体的要求。

#### 1. $St_2$ 级

这是该标准中除锈质量等级最低的一级。使用刀、铲、钢丝刷、电动砂轮、钢丝刷轮等除锈工具进行施工, 又称人工机械除锈。 $St_2$  级要求除去钢铁表面松动的氧化皮, 疏松的铁锈和其他污物。

#### 2. $St_3$ 级

这也是低质量的除锈等级。要求除去钢铁表面松动的氧化皮, 疏松的铁锈和其他污物, 钢铁表面呈现明显的金属光泽。 $St_3$  级也称人工机械除锈, 使用的工具与  $St_2$  级相同, 也是刀、铲、钢丝刷, 以及电动砂轮、钢丝刷轮等, 但要求除锈更认真、更仔细一些。

#### 3. $Sa_1$ 级

这是喷射除锈质量最低的等级，又称轻度喷射除锈。该等级要求除去全部疏松的氧化皮，锈蚀和其他污物，并在基底金属表面显出大量均匀散布的基底金属斑点。可采用的除锈方法有喷砂、喷丸、湿喷砂和高压水射流等。

#### 4. Sa<sub>2</sub>级

又称工业级喷射除锈。该等级要求除去钢铁表面几乎所有的氧化皮，铁锈及其他污物，表面稍呈灰色。大型工程和重要设备防腐前的表面处理一般要求达到Sa<sub>2</sub>级以上的水平。

#### 5. Sa2 $\frac{1}{2}$ 级

这是该标准中除锈质量较高的等级。要求基本上清除钢铁表面全部氧化皮、锈蚀和其他污物，钢铁表面仅允许残留轻微的点状或纹状锈蚀的痕迹，整个表面呈现银白色的金属光泽。喷射除锈和酸洗除锈都能达到该等级的要求。大型工程和重要设备防腐蚀前的表面处理都要求达到该除锈等级。

#### 6. Sa<sub>3</sub>级

这是该标准中除锈质量最高的等级，只有喷丸、喷砂除锈才能达到该等级的除锈质量要求。Sa<sub>3</sub>级要求清除钢铁表面的全部锈蚀、氧化皮和其他污物，表面呈现漂亮的银白色的金属光泽。一般说来，只有涂装无机富锌漆等防腐涂料才要求达到该除锈等级。

另外，《SIS055900标准》把热轧钢材表面的原始锈蚀程度也分成了4个等级，分别用A、B、C、D 4个大写英文字母表示，其含义如下：

A——近期生产的新钢材。钢材表面完全被氧化皮所覆盖，几乎没有任何锈蚀和剥落。

B——已放置了一段时间的钢材。表面已开始锈蚀，氧

化皮已不完整, 并有局部开始剥落。

C——钢材表面的锈蚀已较严重。部分氧化皮已因生锈而剥离, 或者可以刮除, 但几乎没有能用肉眼看得见的孔蚀。

D——表示钢材表面已发生了严重锈蚀, 氧化皮因生锈而严重剥离, 并且有不少能用肉眼看得见的孔蚀。

代表原始锈蚀程度的英文字母和除锈质量等级写在一起代表某种锈蚀程度的钢材经某种除锈方式处理后达到的除锈质量等级。例如, B $Sa_2$ 表示原来轻微锈蚀的钢材经喷砂除锈后达到了《SIS055900标准》中 $Sa_2$ 级的水平。按照规定, 原始锈蚀程度和除锈质量等级都是对照1:1的彩色照片来确定的。

## 二、美国《SSPC表面预处理规范》

《SSPC表面预处理规范》是世界上最早的一部分金属表面预处理质量等级划分标准, 我国有部分单位参照执行。

《SSPC表面预处理规范》把金属表面的除锈质量分成了10个等级, 并列出了可供选择的除锈方法。该标准基本上包括了所有的表面处理方法, 除机械除锈、喷射除锈外, 还包括酸洗除锈、火焰除锈、溶剂清洗等, 它比SIS标准的适用范围更广泛。《SSPC表面预处理规范》与SIS标准的对应关系见表3-2。

酸洗除锈、火焰除锈在《SIS055900标准》中均没有专门说明, 在实际使用中可根据表面处理的状况来确定相应的等级。一般说来, 认真地进行酸洗除锈, 再及时进行中和、钝化处理或磷化处理, 可达到 $Sa_2$ 级至 $Sa2\frac{1}{2}$ 级的水平, 能满足

大型重要工程和设备防腐前表面处理的需要。而火焰除锈一般只能达到 $St_3$ 级, 或接近 $Sa_1$ 级的水平, 钢铁井塔、桥梁等大型地面工程现场作业经常采用这种除锈方法。

表 3-2 钢铁表面除锈质量等级对照表

除锈方法	除锈等级		表面处理质量要求
	SIS 055900	SSPC	
手工或动力 工具除锈	St <sub>2</sub>	SP <sub>1</sub>	除去松动的氧化皮, 疏松的铁锈和其他 污物
手工或动力 工具除锈	St <sub>3</sub>	SP <sub>2</sub>	除去松动的氧化皮, 疏松的铁锈和其他 污物, 表面呈现出明显的金属光泽
喷射除锈 (清扫级)	Sa <sub>1</sub>	SP <sub>3</sub>	轻度喷射, 除去疏松的氧化皮、锈斑和 疏松的涂层, 露出大量均匀散布的基体金 属斑点
喷射除锈 (工业级)	Sa <sub>2</sub>	SP <sub>4</sub>	除去几乎所有氧化皮、铁锈及其他污物, 表面稍呈灰色
喷射除锈 (接近出白级)	Sa <sub>2-1/2</sub>	SP <sub>5</sub>	表面呈银白色, 仅允许残留轻微的点状 或纹状锈蚀痕迹
喷射除锈 (出白级)	Sa <sub>3</sub>	SP <sub>6</sub>	完全除去表面污迹, 显露出纯粹的金属 表面
酸洗除锈		SP <sub>7</sub>	完全除去铁锈和氧化皮。酸洗后要及 时进行中和、钝化或磷化处理
火焰除锈		SP <sub>8</sub>	适用于新钢材; 主要用来脱除表面的氧 化皮、油脂、旧漆膜等
溶剂清洗		SP <sub>9</sub>	用溶剂、蒸气、碱或乳剂清洗, 除去油 脂、灰尘、泥土、盐类和污物
风蚀继以 喷射除锈		SP <sub>10</sub>	风蚀除去部分氧化皮, 继之喷射除锈, 达到上述标准中的某一等级

### 第三节 常用的表面处理方法

煤矿井筒装备在进行防腐涂装和维护处理前可采用的表面除锈方法有喷砂(丸)除锈、高压水除锈、酸洗除锈、机械除锈、手工除锈、火焰除锈、钝化处理、磷化处理、带锈底漆等。不同表面处理方法的主要特点及应用范围见表3-3。

表 3-3 钢铁表面处理方法比较

表面处理方法	主要优点	缺点	应用范围	施工要点
手工除锈 (包括使用砂纸、刮刀、钢丝刷等工具)	施工方法简单, 工具容易解决	劳动强度大, 工效低, 质量差	用于防腐质量要求不高的油漆施工	要尽量除去松动的氧化皮、疏松的铁锈及其他污物
工具除锈 (使用风动、电动除锈工具)	工效及质量都优于手工除锈	劳动条件差	用于设备死角除锈、除毛刺、焊缝打光等	同手工除锈
喷砂除锈	工作效率高, 除锈质量好, 粗糙面均匀	劳动条件差, 环境污染严重	大面积除锈、除氧化皮、除旧漆膜, 用于衬里和高质量防腐涂装	使用0.4—0.6MPa的压缩空气, 喷嘴内径8~12mm, 喷砂后, 将粉尘吹扫干净, 8h内涂刷第一遍底漆
湿喷砂除锈	粉尘小, 工作条件比干法好	湿砂回收困难, 冬季不能施工, 不能用于金属喷涂	用于油漆施工和衬里施工, 但表面必须干燥	0.5%~1.0%的亚硝酸钠水溶液与干砂在喷嘴处混合喷出, 砂罐压力0.5MPa, 水罐压力0.35MPa, 砂粒直径0.5~1.5mm, 砂、水比2:1
封闭式喷砂除锈	劳动条件好, 除锈质量高	一次性投资大, 适用于规则工件和连续作业	适用于高质量的钢铁除锈	同喷砂除锈

续表

表面处理方法	主要优点	缺 点	应用范围	施 工 要 点
抛丸除锈	效率高, 能提高金属表面的疲劳强度	对工作冲击大, 对薄壁钢铁设备不宜采用	适用于大型钢铁设备的连续流水作业	钢丸直径 0.5~3mm, 利用高速旋转的抛丸机叶轮将钢丸以 170m/s 的速度抛向工件表面
高压水磨料射流除锈	固体废物少, 工作效率高	冬季不宜施工	用于安装后的井筒装备和其他固定设备除锈、除污	先将砂、水按 1:1 混合后由空气压入喷枪, 再用 5~20MPa 的高压水喷射到物面上, 砂粒直径 0.5~2.0mm
火焰除锈	工作效率高, 可趁热涂漆, 干燥快	能耗大, 除锈、除氧化皮不彻底, 工件易变形	适用于大型设备涂漆前的表面处理	用氧-乙炔焰喷烧设备表面, (达 3000℃), 氧化皮受热崩裂, 旧漆膜碳化, 用钢丝刷清除残迹
酸洗除锈 (化学除锈)	速度快、效率高、成本低、质量均匀	酸对钢铁有腐蚀和渗氢作用	适用于钢铁设备除锈、除氧化皮	酸浓度以 20% 为宜, 要加入缓蚀剂防止氢脆, 酸洗后要及时钝化或磷化处理
带锈底漆	对铁锈有转化、稳定作用, 表面处理要求低	对氧化皮、旧漆膜、油污等无效	适用于旧设备防腐维护前的表面处理	要尽量除去设备表面的锈层, 尘埃及其他污物, 表面宜残存适量浮锈, 外面要罩防护漆

### 一、喷砂(丸)除锈

喷砂(丸)除锈是利用压缩空气作动力, 将砂石或金属

弹丸等磨料以每秒钟几十米的速度甩向物体表面，利用磨料的冲击和摩擦作用将工件表面的锈层、氧化皮、焊渣、型砂、旧漆膜等污物除去，可得到比较清洁、并具有一定粗糙度外，在喷砂（丸）除锈过程中，由于磨料对钢铁表面的冲击度的金属表面。另而产生的压应力能提高材料自身的耐蚀能力，预防应力腐蚀，效果尤其突出。大型矿山机械设备和各种铸件防腐涂装前应尽量采用喷砂（丸）除锈。

以黄砂作为喷射材料的敞开式喷砂除锈工艺曾一度在煤矿井筒装备防腐中得到推广应用，虽然除锈质量较高，但砂尘飞扬，严重地污染环境 and 大气，危害操作人员的身体健康，很快就被淘汰了。目前相继出现了密闭喷砂、水喷砂等新的除锈工艺。

### 1. 喷砂（丸）除锈的机械、设备

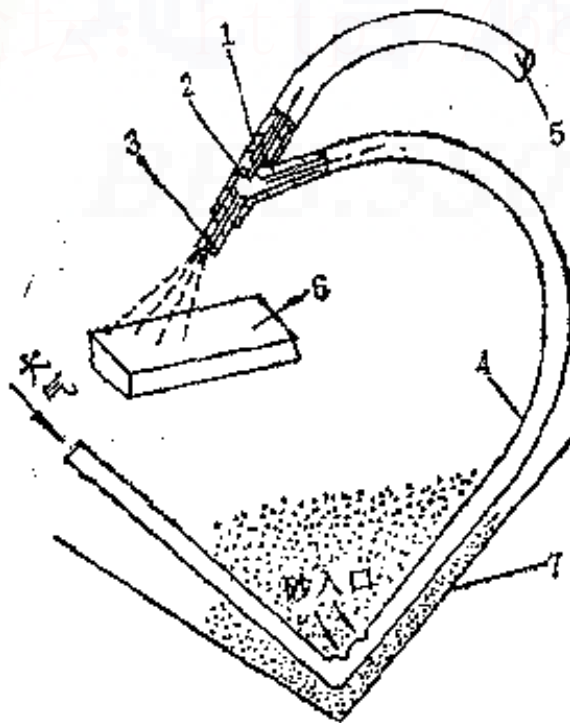


图 3-1 吸入式喷射器的原理

1—压缩空气喷嘴；2—混合室；3—工作喷嘴；4—吸引管；5—压缩空气管；6—工件；7—集砂坑

在喷砂（丸）除锈过程中，当压缩空气的工作压力为  $0.4 \sim 0.5 \text{MPa}$  时，喷射器喷出的钢丸或砂粒的速度可高达  $50 \sim 70 \text{m/s}$ 。钢丸和砂粒的喷射作用是通过喷射器来实现的，喷射器有吸入式和压出式两种，其工作原理和作用见图 3-1 和图 3-2。

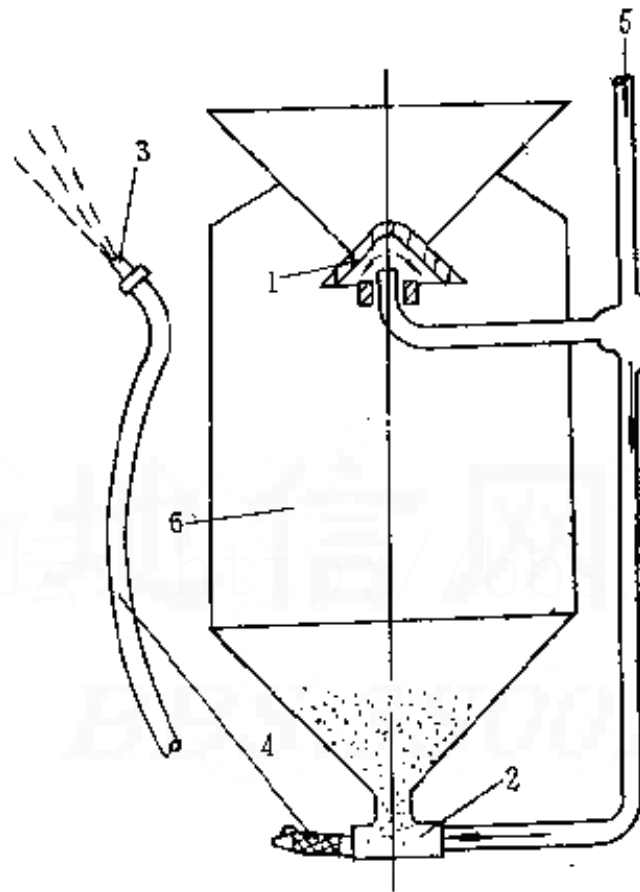


图 3-2 压出式喷射器原理

1—气动伞阀；2—混合室；3—喷嘴；4—喷丸胶管；5—压缩空气；  
6—压力室

### (1) 吸入式喷射器。

图3-1是吸入型喷射器，它是利用气力引射器的原理，当压缩空气从喷嘴 1 中喷出，使混合室 2 内的自由空气发生引射作用，在混合室产生负压，吸引集砂坑 7 内的砂粒，经吸引管 4 吸入混合室 2 内，在空气喷嘴 1 不断喷射的气流作用

下, 经工作喷嘴 3 喷出, 使砂粒冲击在工件 6 上。

为了在混合室内产生较高的负压, 保证从喷嘴 3 喷出的砂粒具有一定的速度和冲击力, 工作喷嘴 3 的截面积应比压缩空气喷嘴 1 的截面积大 2~3 倍。

吸入型喷射器, 由于引射作用而使混合室内产生的负压(真空度)不太高, 因而只能以砂粒作喷射材料; 对于比重较大的钢丸, 在吸引管内不能形成强大的钢丸流速, 因而不宜作喷丸使用。

### (2) 压出式喷射器。

图3-2是压出型喷射器。工作时, 压力室 6 内的压力和压缩气管 5 内的压力相同。压力室下部的钢丸或砂粒在压力和自重的作用下, 不断流入混合室 2 内。由于来自压缩气管内的横向气流不断地向喷砂胶管 4 和喷嘴 3 的方向流动, 使磨料在混合室、喷丸胶管和喷嘴内与压缩空气充分混合, 并使其以一定的速度输送至喷嘴出口处。在出口处, 压缩空气迅速膨胀、扩大, 使钢丸、砂粒等磨料又一次加速, 其喷出速度可高达 50~70m/s, 其喷射能力大大提高。

压出型喷射器的最大优点是在整个系统中不引射自由空气, 压缩空气在混合室内没有膨胀损失, 压缩空气能得到充分利用, 喷射力强。采矿行业采用的喷砂(丸)除锈机械大多是压出式喷射器。

### (3) 喷枪。

喷枪由枪体、喷嘴和胶管三部分组成, 喷嘴是喷枪的主要组成部分。

以前, 喷砂(丸)除锈大多使用陶瓷喷嘴, 很不耐磨。在 2h 的连续喷射中需多次更换喷嘴。目前多使用钨钢(即碳化钨)喷嘴, 其硬度高, 耐磨性好, 可连续使用 1000~2000

h 不需要更换喷嘴。

喷嘴的口径与所用磨料的粒径有关，它们之间的相互关系见表3-4。常用喷嘴内径为8~12mm。

表 3-4 喷嘴口径与磨料直径的关系

序 号	磨料直径 (mm)	喷嘴口径 (mm)
1	0.3~0.5	7~8
2	0.8	8~9
3	1	10
4	1.5	12
5	2	14

喷丸使用的胶管一般使用18或25mm内径的夹布橡胶管，其质地柔软、耐磨性好。

#### (4) 磨料。

适合煤矿井筒装备喷射除锈的磨料有金属丸、河砂、海砂、石英砂等。磨料粒度小，所得表面的锚孔深度（指表面凸处的顶峰和凹处最低点的距离）小，涂层防护效果好，但磨料耗量大，用砂作磨料空气污染严重。煤矿井筒装备均由厚壁钢材制作，宜选用0.5~1.5mm直径的磨料。

金属丸作磨料可多次反复使用，环境污染也轻，但长期放置时，金属丸的锈蚀损失是不容忽视的一个因素；砂石作磨料成本低、来源广，但大气污染严重。

磨料在使用之前应晒干或烘干，既能避免由于湿气影响而产生的二次锈蚀，又能获得较大的摩擦效应，提高除锈质量。

#### (5) 风源。

喷砂（丸）除锈使用压缩空气作动力，其压力不小于

0.5MPa。由于压缩空气内含有大量水气和润滑油气，在混合室内冷凝下来，将影响除锈质量。所以从空压机出来的压缩空气在进入喷射除锈系统之前，必须进行稳压处理和清洁处理，经油、水过滤器，使空气干燥、清洁。

## 2. 湿喷砂

为了克服开放式喷砂除锈的缺点，一些单位采用了水砂混合喷射除锈，这对减轻粉尘飞扬起到了较好的效果，但仍对周围场地及排水产生一定的污染，并且在寒冷的季节受气温影响无法施工。

湿喷砂处理后，钢板表面是湿的，容易引起第二次锈蚀，使表面处理后的钢材重新泛黄生锈。为此，要求在湿喷砂用的水中加入0.5%左右的亚硝酸钠，或加入碳酸钠、磷酸盐等对钢铁有钝化作用的添加剂，使钢板在一定时间内不生锈，所以湿喷砂又称化学水喷砂除锈。

湿喷砂的原理、机械设备与干喷砂相同，而磨料不必经过烘焙即可使用，在喷砂过程中，黄砂与化学水溶液的重量比为2:1。

湿喷砂处理后，表面必须彻底干燥后才允许涂刷底漆。

## 3. 封闭式喷砂（丸）除锈

为了防止粉尘对环境和大气的污染，保障操作人员的身体健康，喷砂除锈可在密闭的室内完成，淮北矿务局在1984年就建成了封闭式喷砂除锈车间。

封闭式喷砂车间一般采用自动化作业，配备适当的除尘设施。工件的搬运、翻转，磨料的输送、回收，喷枪的转向、移动等均由人在室外控制，既大大减轻了劳动强度，又基本消除了对环境的污染。

封闭式喷砂除锈大多采用石英砂或黄钢丸作磨料。石英

砂比重小,可采用吸入式喷射器;黄沙和钢丸一般应采用压出式喷射器。用钢丸作磨料、工件的清理质量和工效都有显著地提高。

封闭式喷砂除锈的优越性是众所周知的,但建立一套完整的固定设施需要近百万元的投资。对煤矿井筒装备防腐处理来说,如按地区集中、统一地建立防腐车间,集中进行防腐处理,建一个封闭式喷砂车间在经济上是合算的,淮北矿务局早已这样做了。对于多年进行一次防腐处理的流动型的矿建单位建一个封闭式喷砂车间在经济上则是不可取的。

喷砂除锈后,要求在8h内涂装防护底漆,不宜隔夜存放,更不允许喷砂除锈后的工件放在露天中过夜。喷砂除锈适用于需要进行高质量防腐处理的大型构件和重要设备。对于薄壁钢管和厚度不足5mm的钢板、钢件,以及小部件、精密件都不宜采用喷砂除锈。

## 二、高压水除锈

高压水除锈是利用高压水柱的冲击力来除去钢铁表面的锈蚀、氧化皮和其他污物。高压水中添加适量的砂子作磨料可提高除锈效果,又称高压水磨料射流除锈。

用于高压水除锈的水压一般大于15MPa,可用高压水枪直接喷射除锈的表面,清除表面的锈蚀、氧化皮及其他污物。用于高压水磨料射流的水压一般为5~15MPa,先将砂、水按1:1混合后,压入喷枪,再用5~15MPa的高压水喷射到工件表面,砂、水总的重量比约为1:20,砂粒直径为0.5~2.0mm。

高压水除锈具有污染小、无固体废弃物堆积的特点,适合在煤矿井下现场使用,尤其适用于煤矿井筒装备和井下支护设备在现场维护涂装前的表面处理。井下设备用高压水现

场除锈后,应立即涂装干湿两用系列防锈涂料,可获得较好的防腐维护效果。

高压水磨料射流除锈可用于带氧化皮的新钢材的表面处理,但要进行钝化或磷化处理,防止放置时发生二次锈蚀,待表面彻底干燥后再涂刷防锈底漆。

### 三、手工除锈

手工除锈是最简单的除锈方法。主要使用刮刀、铲、锤、凿、钢丝刷、砂布等工具靠手工敲打、刷扫、搓擦等方式来除去钢铁表面松动的氧化皮、疏松的铁锈和其他污物。该方法劳动强度大、工作效率低、除锈质量差,一般只能达到《SIS055900标准》中的 $St_2$ 级的水平。该方法主要用在其他方法无法使用或不方便的地方。煤矿井筒装备在井下进行防腐蚀维护之前可采用人工除锈的方法进行表面处理,但新加工制造的煤矿井筒装备和其他井下设备则不宜采用这种除锈方法。

### 四、机械除锈

机械除锈是靠机械的冲击和摩擦作用来除去金属表面松动的氧化皮、疏松的铁锈和其他污物。机械除锈最常用的工具有风动刷、除锈枪、打锈锤、电动砂轮、电动刷轮等。机械除锈的效率比手工除锈高,质量也比手工除锈好,但也不能除尽紧附的锈蚀和氧化皮,一般也只能达到 $St_2$ 级或 $St_3$ 级的水平。这种除锈方法可用于地面设备或旧设备重新防腐前的表面处理,但也不能满足新加工的煤矿井筒装备防腐前的表面处理要求。

### 五、火焰除锈

火焰除锈是利用钢材和表面氧化皮热膨胀系数的差异,通过高温火焰喷射,使钢材急剧升温。由于钢材的热膨胀系

数远大于氧化皮的热膨胀系数，因而氧化皮发生崩裂，继而用强动力钢丝刷，可除去大部分松动的氧化皮、疏松的铁锈、烧焦的旧漆膜及其他污物，然后用压缩空气清洗表面。

火焰除锈适用于厚度大于5mm的钢铁构件，否则将会发生变形。火焰除锈必须与机械除锈相结合，其除锈质量优于单纯的机械除锈。在采矿行业，火焰除锈适用于井塔、桥梁等大型钢铁设备在现场除锈，在这种情况下，其除锈质量优于其他方法。

## 六、酸洗除锈

酸洗除锈又称化学除锈，它是利用酸溶液与金属氧化物发生化学反应而将锈蚀除去。酸洗除锈具有除锈、除氧化皮彻底，质量好，费用低，省工，省力等特点，是采矿行业广泛使用的钢铁表面处理方法。该方法既能用于井筒装备的除锈，也适用于薄壁钢板和各种矿山机械零部件的除锈、除油。酸洗除锈的有关问题详见本章第四节酸洗、钝化或磷化处理工艺。

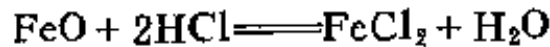
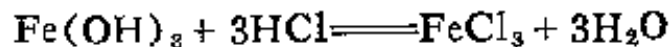
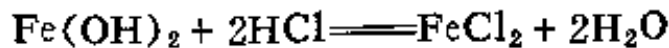
### 第四节 酸洗、钝化或磷化处理工艺

矿山井筒装备防腐涂装前的表面处理大多数单位采用酸洗除锈，然后进行钝化或磷化处理的工艺过程。

矿山井筒装备防腐处理大多由施工单位承担，又多是临时性的。井筒装备结构庞大，形状复杂，表面不规则。而对表面处理的要求又比较高，因而采用酸洗除锈是适宜的。酸洗后的钢铁构件再及时进行中和、钝化或磷化处理，可获得比较理想的金属表面，表面涂层可获得较高的附着力。除热喷镀锌（铝）必须采用喷砂（丸）除锈外，其他防护层均可采用酸洗、钝化或磷化处理工艺进行表面处理。

## 一、酸洗除锈的原理

铁锈的主要成分是氧化铁和氢氧化铁。酸洗除锈是利用酸溶液与铁的氧化物、氢氧化物发生化学反应而使其溶解在酸溶液中，从而达到从钢铁表面除去锈蚀和氧化皮的目的。以盐酸为例，钢铁除锈的主要化学反应如下：



铁锈的主要成分 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 和 $\text{FeO}$ 容易和酸发生化学反应而溶解；高温氧化皮的主要成分是 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 和 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ，与酸反应比较困难，但金属铁能与酸发生放出氢气的反应，新生态的氢活性大，能把 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 和 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 还原成容易和酸发生反应的 $\text{FeO}$ 。另外，氢分子从金属表面析出时，能对氧化皮和锈层产生自然压力，促使其从金属表面剥落，以加快除锈的速度。

## 二、酸洗液的选择

根据煤矿井筒装备防腐施工的特点，酸洗除锈一般应在室温下进行。酸洗液可根据酸洗的要求进行选择。其浓度一般为20%左右，大多采用硫酸和盐酸的混合溶液，或单一的盐酸溶液，见表3-5。

盐酸溶液除锈、除氧化皮的速度快，适合冬季使用。其缺点是挥发性大，尤其是在夏季，酸的无功损耗严重，挥发的酸蒸气对周围环境造成严重的污染。在现场，操作人员的呼吸道会感到明显的刺激，周围的金属设备容易发生锈蚀，温度越高，盐酸的挥发越厉害。20%的硫酸溶液对周围的大气基本上不会造成污染，其除锈能力与盐酸相似，但除高温

氧化皮的能力较慢。实践证明,在20℃以上的气温条件下混酸溶液除锈综合效果好,如方案1(表3-5序号1),既能较快地除去钢铁表面的锈蚀和氧化皮,又不会对周围环境造成大的污染;在20℃以下的气温条件下,混酸除锈的速度显著降低,这时应选以盐酸为主配成的酸洗液,如方案3(表3-5

表 3-5 矿山设备常用的酸洗除锈液表

序号	类型	组成		处理温度(℃)	处理时间(min)	主要应用
		成分	含量(g/L)			
1	除锈、氧化皮	工业硫酸( $d=1.84$ )	120~150	>20	10~60	主要用于煤矿井筒装备及其他机械设备除锈、除氧化皮,适合夏、秋季节使用
工业盐酸( $d=1.18$ )		210~240				
食盐		50~80				
六次甲基四胺		5~10				
自来水		余量				
2		工业硫酸( $d=1.84$ )	180~200	60~80	25~40	清理铸铁及钢材表面的氧化皮、锈蚀
		食盐	40~50			
		硫脲	3~5			
		自来水	余量			
3		工业盐酸( $d=1.18$ )	500~700	0~25	10~60	应用于煤矿井筒装备及其他机械设备除锈、除氧化皮,适合冬、春季节使用
		六次甲基四胺	5~10			
		自来水	余量			
4		工业硫酸( $d=1.84$ )	180~200	60~80	20~40	清除铸铁件表面的氧化皮及型砂
		食盐	40~50			
		氢氟酸	20~30			
		硫脲	3~5			
		自来水	余量			
5		工业盐酸( $d=1.18$ )	12~20	40~50	15~16	用于高合金钢除锈
		硝酸( $d=1.35$ )	110~120			
		若丁	1~2			
		自来水	余量			

续表

序号	类型	组成		处理温度(℃)	处理时间(min)	主要应用
		成分	含量(g/L)			
6	除锈、除油	工业硫酸( $d = 1.84$ )	150~170	50~70	20~30	适用于钢铁零件的除锈、除油
		烷基磺酸钠(601)	30~40			
		自来水	余量			
7	除锈、除油	工业硫酸( $d = 1.84$ )	150~250	室温	20~30	乳化除油与酸洗除锈相互促进,能除去沾染油污的钢铁设备表面的锈蚀和氧化皮
		若丁	1			
		平平加或OP缓蚀剂	6			
		烷基苯磺酸钠	6			
		自来水	余量			
8	除锈、除油、磷化	工业磷酸( $d = 1.79$ )	150~300	室温	20~30	用于钢铁零部件除油、除锈、磷化,可浸、可喷,工艺简单
		硫脲	3~5			
		M-7有机硅酸盐溶液	0.1			
		OP-7乳化剂	3~5			
		自来水	余量			
9	酸洗	硫酸	3份	室温	3~6h	用来除去大型钢铁构件和固定建筑结构表面的氧化皮和锈蚀
		盐酸	1份			
		磷酸	0.1份			
		硅藻土	5份			
		缓蚀剂	0.05份			
		水	4~5份			

序号3)。

### 三、酸洗施工

酸洗时间应根据实际除锈效果决定。新鲜酸洗液除锈速度快,酸洗时间短。随着酸液浓度的降低和铁离子等杂质含量的升高,酸洗速度越来越慢,表面质量越来越低,最后需几个小时才能除净。但不论新溶液还是旧溶液,都应彻底除去表面所有的附着物质。

为了节省酸洗时间,提高除锈质量,一般应同时建造2~3个酸洗池,先在第一个酸池内配制酸洗液进行酸洗处理,待第一个池内的酸洗速度超过1小时后,再在第二个酸池内配制酸液,以第二个池为主,第一个池为辅进行酸洗处理。在第二个酸洗池内进行正常酸洗的同时,可将部分构件先放在第一个酸洗池内浸泡,待锈层基本消除后,再转移到第二个酸洗池内浸泡数分钟,可获得比较理想的除锈效果。当第一个酸池内酸溶液的浓度太低、杂质含量过高时,可将第一个酸池内的废液处理后排掉,单独使用第二个酸洗池,依次循环。

根据现场施工的实践,1m<sup>3</sup>20%的酸洗液一般可处理200~300m<sup>2</sup>表面积的钢铁构件,除锈质量相当于瑞典标准中Sa2 $\frac{1}{2}$ 级的水平。新配制的酸溶液除锈速度快,酸洗质量高,当酸浓度下降到10%以下,或酸液中铁离子的含量升高到80g/L以上时,酸洗时间大大延长,酸洗质量明显降低。必须采取两个酸池同时使用的办法来提高酸洗质量,节省酸洗时间。

#### 四、氢脆的预防

在酸洗除锈过程中,必须采取适当的措施预防氢脆的发生。

氢脆是由于酸洗中酸与铁反应放出的氢原子渗入钢铁内部的夹层、孔隙、位错等缺陷部位,在复合成氢分子时,将会产生极大的压力,从而使钢铁的机械性能受到严重损害,其韧性、延展性和塑性降低,硬度、脆性提高,有时甚至会产生细微的裂纹,这种现象叫氢脆。氢脆是十分有害的,它使材料的机械性能严重下降,有时甚至会发生意想不到的损坏事故。

在酸洗中，防止钢铁设备发生氢脆的主要方法是在酸洗液中添加适当数量的缓蚀剂。缓蚀剂都是一些本身带正电荷的物质，在微电场的作用下，能被吸附到阴极周围，在金属表面形成一层分子隔膜，从而提高了氢的析出电位，阻止酸与金属铁之间的反应，达到缓蚀和避免氢脆发生的目的。

最常用的酸洗缓蚀剂有六次甲基四胺(乌洛托平)、硫脲及其衍生物，KC、ΠB-5、若丁、氯化钠等，除氯化钠外，其他缓蚀剂的添加量一般为溶液重量的0.5%左右(见表3-5)。

### 五、酸洗池的制备

酸洗池分永久性和临时性两种，可根据施工要求选择，其大小根据工件的尺寸决定。

#### 1. 永久性酸洗池

永久性酸洗池要求使用的材料都具有较好的耐酸性能。花岗岩、耐酸水泥、环氧玻璃钢、呋喃玻璃钢和酚醛玻璃钢都具有优秀的耐酸性能，可作酸洗池的基本材料。

用玻璃钢制作酸洗池，既可采取整体结构，也可采用耐酸水泥池内衬玻璃钢的办法。整体结构可以搬动、转移，但需进行特殊的加固，使用时要当心，避免过重的冲撞和压砸。耐酸水泥池内衬玻璃钢是高质量的酸洗池，可使用多年。用花岗岩砌筑的酸洗池也有良好的耐酸性能。

#### 2. 临时性酸洗池

煤矿井筒装备防腐蚀大多是矿建单位临时组织施工，建一个永久性的酸洗池浪费太大，大多数单位是建一个临时酸洗池，在满足酸洗质量的前提下尽量少花钱。临时酸洗池大多是在普通水泥池内壁涂贴耐酸材料。

“三油两毡”是简易酸洗池最常采用的内衬材料。在干燥后的水泥池内壁热涂三道沥青、贴两层油毡，总厚度大约

1cm。这种酸洗池制作简单、成本低，耐酸性能和机械性能都较好，完全能满足临时酸洗施工的要求。其缺点是酸洗液表面往往浮有一层油状物，对酸洗质量有所影响。

氯化橡胶涂料或氯磺化聚乙烯涂料都具有较好的耐酸性能，在钢铁、水泥表面都具有优秀的附着力。在完全干透的水泥池内壁或用钢板焊接的酸洗池内壁涂刷四道氯化橡胶涂料或八道氯磺化聚乙烯涂料，涂层厚度大于 $200\mu\text{m}$ ，可作临时酸洗池使用。这种酸洗池制作简单、成本低，且对酸液无污染。但由于涂层太薄，其机械强度不如“三油两毡”，使用中要注意避免碰撞；换酸时要注意检查涂层是否损坏，并及时进行修补。

## 六、酸洗废液的处理

当酸洗液中铁离子的浓度达到 $80\text{g/L}$ 以上时，除锈速度明显降低，除锈质量越来越差，最后必须丢弃。酸洗废液不得随意排放，首先要用石灰石或石灰渣将其中的残酸中和掉。澄清后，上层清液用自来水稀释排入地沟中，固体物质可挖坑深埋，这样不会对环境造成污染和危害。若酸洗量大，时间持久，则可考虑从废酸液中回收铁红、铁黄，既能回收资源，又能减轻污染。

## 七、钝化处理

酸洗除锈后的钢铁构件由于表面及内部微孔中有残存的酸液，湿喷砂除锈后的钢铁表面有一层水膜，再加上材料自身及表面的不均匀性，因此非常容易发生第二次锈蚀。在空气中放几分钟后，表面就会出现一层黄棕色的浮锈。为了保证除锈质量，酸洗除锈或湿喷砂除锈后的钢铁构件必须及时进行中和、钝化或磷化处理。

钝化处理通常是把酸洗后的钢铁构件放在一个含有氧化

剂和成膜物质的碱性溶液中浸泡。首先是溶液中的碱把工件内残存的酸中和掉，然后通过氧化作用，以及与成膜物质的相互反应，在钢铁表面形成一层薄而致密，并有固定组成的氧化膜，在一定时间内，可保护内部的金属免遭大气腐蚀。适合煤炭系统使用的钝化液配方及使用条件见表3-6。

表 3-6 采矿设备常用钝化液配方表

序号	组成		处理温度 (°C)	处理时间 (min)	主要应用
	成分	含量 (g/L)			
1	洗衣粉(烷基苯磺酸钠) 工业碳酸钠 工业亚硝酸钠 水	15 15 15 余量	室温	>30	主要用于酸洗除锈、 湿喷砂除锈后钢铁构件 的钝化处理，在煤炭系 统广泛使用
2	生石灰 工业亚硝酸钠 水	30~50 8~12 余量	室温	>30	用于酸洗除锈后钢铁 构件的钝化处理
3	工业亚硝酸钠 三乙醇胺 水	3~5 8~10 余量	室温	10~30	钢铁构件酸洗后的钝 化处理
4	重铬酸钾 工业碳酸钠 水	1 2~3 余量	60~80	5	钢铁构件酸洗后的钝 化处理
5	重铬酸钾 水	3 余量	90~95	1	矿用机械零、部件的 钝化处理。温度高、速 度快、效果好
6	(钝化膏配方) 重铬酸钾 亚硫酸纤维素碱液 硅藻土 水	9份 1份 80份 90份	室温	60	适用于酸洗膏除锈后 的钝化处理

续表

序号	组 成		处理 温度 (°C)	处理 时间 (min)	主 要 应 用
	成 分	含 量 (g/L)			
7	工业亚硝酸钠 工业碳酸钠 酒石酸钾钠 水	50 50 1~10 余量	70~80	1	主要用于机械设备零 部件的钝化处理。处理 温度高、速度快、效果 好
8	铬 酐 酒石酸钾钠 水	3 3 余量	60~80	5~10	用于矿用机械制造业 钢铁构件酸洗除锈后的 钝化处理

配方1~3能在室温下进行钝化处理，在煤炭系统应用较多，但由于钝化时间较长，不宜采用流水线作业；配方4、5、7钝化温度高、速度快，可进行流水线作业。

配方中的亚硝酸钠、重铬酸钾等是氧化剂，烷基苯磺酸盐是成膜物质，碳酸钠、石灰、三乙醇胺等是pH调节剂。整个溶液控制在pH值10~12之间。亚硝酸钠的稳定性差，耗量大，尤其是在高温季节，亚硝酸钠的消耗速度更快，每天都要进行适当的补充。一般说来，在10~35℃的气温条件下进行钝化处理效果较好。温度太低，反应速度慢；温度太高，亚硝酸钠分解速度快。

从钝化池中取出的钢铁构件至少要在大气中放置4h以上，待金属表面微孔中的水分挥发完以后，再涂刷底漆。若涂漆太早，一部分水分将被封闭在微孔内，温度升高时，由于水分的蒸发、汽化将会使漆膜发生鼓泡，严重地影响涂层的质量。

配方1和2是煤炭系统应用较多的钝化液配方，认真进行钝化处理，钢铁构件通常可保持10d以上不锈蚀；在室外

比较恶劣的气候条件下（阴天、雾天或霜、露影响）也能保持3 d以上不锈蚀。该钝化工艺简单、费用低、容易控制和操作。其他钝化液配方也都有较好的钝化效果，但大多有铬的污染，使用温度和价格都略微偏高，使用中要注意环保问题。

## 八、磷化处理

彻底除锈后的钢铁构件若进行磷化处理，则能大大增加涂层与金属表面的结合力，提高防腐效果。

分别在经过磷化处理及未经磷化处理的钢板上涂刷同一底漆和面漆作防腐试验。经磷化处理的样品使用寿命显著提高，一般延长2倍以上。

磷化处理包括磷化液浸渍和磷化底漆两种方式，它们都能在钢铁表面生成以磷酸盐为主要成分的保护膜。磷化膜的主要成分是磷酸氢铁、磷酸亚铁和磷酸锌等。

### 1. 磷化液

磷化液适合矿山设备防腐前的磷化。磷化处理可在钢铁表面形成一层不溶性的磷酸盐保护膜。磷化膜有较好的抗腐蚀性能，能大大提高防护涂层与金属之间的附着力。在室温条件下，磷化处理的样品能在1年左右的时间内保持完好、无锈蚀。常见的磷化液配方见表3-7。高温磷化，反应速度快，适合流水线作业；室温磷化，反应速度慢，只能间断作业。

磷化处理的防腐质量优于钝化处理，其费用也比钝化处理高。

### 2. 磷化底漆

磷化底漆是以聚乙烯醇缩丁醛树脂为粘结剂、磷酸为磷化剂、添加适当防锈颜料调配而成，可代替钢铁的一般磷化

表 3-7 常用磷化液的组成及使用表

序号	组成		磷化温度 (°C)	磷化时间 (min)	主要特点
	成分	含量 (g/L)			
1	马耳日夫盐 硝酸锌 水	50 100 余量	60~70	3~5	磷化时间短, 但需在高温下进行
2	磷酸二氢锌 硝酸锌 水	40~50 100~120 余量	60~70	10~15	磷化时间短, 但需在高温下进行
3	马耳日夫盐 硝酸锌 氧化锌 氟化钠 水	60~65 50~100 5~10 3~6 余量	20~30	30~40	室温下进行磷化处理, 时间较长
4	工业磷酸( $d=1.79$ ) 亚硝酸钠 氧化锌 水	100~120 5 25 余量	室温	30	室温下进行磷化处理, 时间长, 效果好
5*	(喷涂磷化液配方) 工业磷酸( $d=1.79$ ) 硝酸钾 氧化锌 重铬酸钾 磷酸三钠 羧甲基纤维素 钼酸钠 水	300~400 5~6 7 10~12 5~6 10~12 2 余量	室温		可喷涂或刷涂, 设备简单, 工效高, 不需加热, 节省化学药品, 费用低

\* 喷涂磷化液的配制步骤: 1. 重铬酸钾加水溶解; 2. 加硝酸钾溶解; 3. 加入工业磷酸混合均匀; 4. 加氧化锌溶解; 5. 加羧甲基纤维素溶解; 6. 加磷酸三钠、钼酸钠溶解。

配制磷化液不得接触金属容器或工具, 最好使用塑料制品。

处理，故称为磷化底漆。磷化底漆的涂层很薄，一般只有10~15 $\mu\text{m}$ ，它不能代替一般的防锈底漆。

磷化底漆特别适宜不能在槽内进行磷化处理的大型结构件，可刷、可喷，施工方便，干燥快，不用烘烤，室温下半小时左右即可全干。既能用于钢铁，也能用于有色金属，8~10 $\mu\text{m}$ 的漆膜即可起到防护作用。

在进行磷化处理前，金属表面必须干净，不得存在氧化皮、锈蚀、油污以及其他污染物。磷化涂层的厚度不要大于15 $\mu\text{m}$ ，太厚了，效果反而不好。进行磷化处理后，先在空气中放置几个小时，彻底干燥后才能涂刷其他防护层。磷化底漆分一液型磷化底漆和二液型磷化底漆二种，一液型磷化底漆配方如表3-8，二液型磷化底漆配方如表3-9。

表 3-8 一液型磷化底漆配方表

聚乙烯醇缩丁醛树脂	10.75%
33.3%铬酸水溶液	1.40%
10%磷酸丙酮溶液	10.95%
酒精	62.2%
正丁醇	14.70%

表 3-9 二液型磷化底漆配方表

甲组分	
聚乙烯醇缩丁醛树脂	7.2%
碱式铬酸锌	6.9%
滑石粉	1.1%
酒精	48.7%
正丁醇	16.1%
乙组分 (磷化液)	
85%磷酸	3.6%
水	3.2%
酒精	13.2%

二液型磷化底漆为两罐分装,使用前将甲、乙组分按4:1混合,搅拌均匀后使用。配制和使用磷化底漆或磷化液不要使用金属容器和工具,最好使用塑料制品,因金属与磷化液发生反应。

## 第五节 带锈底漆

带锈底漆就是能够直接涂刷在带有一定锈蚀的钢铁表面上,能把钢铁表面的锈蚀转变成稳定、无害的状态,并能起一道防锈底漆作用的涂料。它是由成膜物质和防锈颜料等成分组成。

### 一、带锈底漆的分类及防护机理

带锈底漆按其作用机理可分为转化型、稳定型和渗透型三种。

#### 1. 转化型带锈底漆

转化型带锈底漆是利用各种能与铁锈起化学反应的物质把铁锈转化成为无害的,或具有一定保护作用的络合物,并与成膜物质一起粘附在钢铁基材上,对钢铁起保护作用。转化型带锈底漆多采用磷酸—丹宁酸,磷酸—水杨酸,磷酸—亚铁氰化钾等作转化剂,聚乙烯醇缩丁醛,环氧等树脂作粘合剂。转化型带锈底漆适用于锈层薄而均匀,表面不留氧化皮及厚锈残余的钢铁设备防腐维护前涂装,可代替表面处理和一道防锈底漆。

转化型带锈底漆在钢铁表面附着力不好。由于磷酸的存在,外面的防护漆膜容易老化、变脆。

#### 2. 稳定型带锈底漆

稳定型带锈底漆主要是通过某些活性颜料与稳定剂的组合,使之能与活泼的铁锈反应生成稳定、难溶的杂多酸络合

物,使铁锈失去活性,从而达到稳定锈蚀的目的。

稳定型带锈底漆大多使用铬酸盐、磷酸盐等混合颜料,水解后能生成铬酸根、磷酸根离子,进一步反应形成杂多酸。该杂多酸与铁锈中活泼的铁锈酸  $\text{FeOOH}$  生成杂多酸的络合物,从而对铁锈起到稳定作用。稳定型带锈底漆适用范围广,但不宜涂刷在锈层太厚的钢铁表面上。另外,由于干燥速度太快,大面积施工时,涂刷性能欠佳。

### 3. 渗透型带锈底漆

渗透型带锈底漆本身与铁锈不发生化学反应,完全靠物理渗透和包封作用使铁锈同外界腐蚀介质隔绝,阻止锈蚀的进一步发展,同时又借助于颜料起防锈作用。

渗透型带锈底漆适用于锈蚀较严重的陈旧设备表面的涂装,尤其适用于铆接、螺栓联接等部位,借助于该涂料的良好渗透能力,可起到一般防锈漆难以达到的保护作用。

随着科学技术的发展,单一类型的带锈底漆越来越少。目前研制、生产的带锈底漆多是以一种作用原理为主,同时兼有其他类型带锈底漆特点的复合性带锈涂料。

## 二、带锈底漆在矿山设备防腐中的应用

由于带锈底漆具有不要除锈的优点,因而在多种行业里得到迅速推广,在矿山设备防腐中也有大量的应用。实践证明,对于地面设备,因维护方便,对表面处理要求不高,可用带锈底漆代替表面处理,具有一定的效果。矿山井筒装备和井下设备的防腐蚀维护也可采用机械除锈与带锈底漆配合使用。但对于新加工制作的矿山井下设备,特别是井筒装备,则不宜采用带锈底漆代替表面处理。因为矿山井筒装备大多由热轧型钢加工制作,钢材表面有一层  $15\mu\text{m}$  左右厚度的高温氧化皮,若不除去,不论涂刷哪一种类型的带锈底

漆,都不能将氧化皮转化或稳定。再者,由于氧化皮的热膨胀系数与金属及漆膜的膨胀系数相差较大,这就严重地影响涂层的附着力,温度变化,将发生崩裂。1984年以前有部分新安装的煤矿井筒装备采用带锈底漆进行处理,使用的情况证明,带锈底漆不仅不能起到防护作用,反而加速了它的破坏。在地面放置时,就开始发生锈蚀,在井筒安装后,由于碰撞更加速了漆膜的损坏,半年左右,锈蚀已相当严重。

用穆斯堡尔谱学对国产带锈底漆与铁锈反应生成物的分子结构进行分析的结果表明,当前市场上的带锈底漆大多没有达到预期的使用目的。根据当前的技术水平,矿山井筒装备防腐蚀仍应强调进行认真的表面处理,不要轻易使用带锈底漆,以获得高质量的防护涂层。对于井下旧设备,如井筒装备、各种管道等,因氧化皮已锈蚀脱落,井下也没有条件采用高质量的表面处理方法,所以可以用干湿两用带锈底漆配合干湿两用防锈漆进行防腐蚀维护,以延长其使用寿命。

### 三、带锈底漆使用中应注意的几个问题

矿山设备防腐蚀的实践证明,旧设备的防腐蚀维护可用带锈底漆代替表面处理,可获得较好的防护效果。为了真正发挥带锈底漆的作用,使用中必须注意以下几个问题:

(1) 带锈底漆仅适用于表面具有一层薄而均匀浮锈的钢铁设备,若表面存留有高温氧化皮和陈旧的锈层,则不宜使用。

(2) 一般带锈底漆必须涂装在干燥的钢铁表面,涂装之前,要认真清理表面的氧化皮、块状锈层、大量浮锈,以及粘附的油污、泥土、灰尘等污物,否则,将影响涂层的附着力。对于潮湿、有水的钢铁表面,必须使用GS-861干湿两用带锈底漆。

(3) 设备表面的旧漆膜应认真除去, 尽量不留残余。

(4) 带锈底漆只能起表面处理的作用, 外面必须罩以适当厚度的防护面漆。应根据不同的使用目的来选择外部涂层, 并确定其涂装遍数和总厚度。

(5) 当以亚铁氰化钾作转化剂时, 若需进行焊接和热加工, 必须有适当的劳动保护。

## 第四章 矿山防腐涂料

### 第一节 涂料的基本知识

#### 一、涂料的组成

涂料又称油漆，通常是由不挥发分和挥发分两部分组成。

不挥发分是涂料的成膜物质，又称涂料的固体分；挥发分通常是指溶剂和稀释剂。

涂料的成膜物质又分为主要成膜物质、次要成膜物质和辅助成膜物质三种。主要成膜物质是指涂料的粘合剂，一般是合成树脂或天然树脂，它可以单独成膜，也可以和颜料共同成膜，它是涂料的基础。次要成膜物质是指颜料，它也是涂料的主要成分之一，它能显著地改善涂层的物理机械性能和耐腐蚀性能。次要成膜物质包括着色颜料、防锈颜料和体质颜料三种。辅助成膜物质又称助剂，它可改善涂料的性能和质量，有些是必不可少的。辅助成膜物质主要包括固化剂、催干剂、增韧剂、防潮剂、触变剂等。

#### 二、涂料的分类

我国是以涂料的主要成膜物质为基础进行分类的，共分17大类，每一大类都用一个大写的汉语拼音字母表示。例如：C表示涂料的主要成膜物质是醇酸树脂，H表示涂料的主要成膜物质是环氧树脂……。各种树脂的代号见表4-1。若成膜树脂是两个以上树脂的混合物，则以在漆膜中起主要

表 4-1 主要成膜物质的名称及符号

序号	代表符号	读音	名称	序号	代表符号	读音	名称
1	Y	衣	油脂	10	X	西	乙烯树脂
2	T	特	天然树脂	11	B	玻	丙烯酸树脂
3	F	佛	酚醛树脂	12	Z	资	聚酯树脂
4	L	勒	沥青	13	H	喝	环氧树脂
5	C	雌	醇酸树脂	14	S	斯	聚氨酯
6	A	阿	氨基树脂	15	W	握	元素有机化合物
7	Q	欺	硝基纤维	16	J	基	橡胶类
8	M	模	纤维酯及醚	17	E	鹅	其他
9	G	哥	过氯乙烯树脂	18			辅助材料

作用的一种树脂为基础进行分类。

### 三、涂料的命名原则

大多数涂料的命名是按照下面的方式进行的。

全名称 =  $\frac{\text{颜料或颜}}{\text{色名称}} + \frac{\text{成膜物}}{\text{质名称}} + \text{基本名称}$

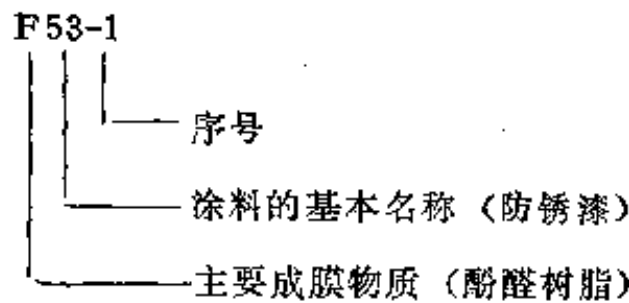
例如，灰醇酸磁漆、红丹酚醛防锈漆等，另外，对某些专用涂料，必要时可在成膜物质后面加以阐明。例如，白硝基外用磁漆。

### 四、涂料编号原则：

一般涂料的代号是由三部分组成：

- (1) 主要成膜物质的汉语拼音字母；
- (2) 用两位数字表示涂料的基本名称（见表4-2）；
- (3) 涂料的排列序号，表示主要成膜物质相同，而组成、配比、用途不同的同类涂料的流水号。

由上述三部分组成一个型号，代表涂料的一个配方，而不会重复。例如：



### 五、涂料基本名称的数字表示

涂料的基本名称是采用00~99二位数字表示的。00~09代表基础品种；10~19代表美术漆；20~29代表轻工用漆；30~39代表绝缘漆；40~49代表船舶漆；50~59代表防腐漆；60~79代表特种用漆；80~99备增。各种涂料的基本名称和代号如表4-2所示。

表 4-2 涂料基本名称和编号

代号	涂料基本名称	代号	涂料基本名称	代号	涂料基本名称	代号	涂料基本名称
00	清油	08	水溶漆	51	耐碱漆	80	地板漆
01	清漆		乳胶漆	52	防腐漆	82	锅炉漆
02	厚漆	09	大漆	53	防锈漆	83	烟囱漆
03	调合漆	10~19	美术漆	54	耐油漆	84	黑板漆
04	磁漆	20~29	轻工漆	55	耐水漆	86	标志漆
05	烘漆	30~39	绝缘漆	60	防火漆		路线漆
06	底漆	40~49	船舶漆	61	耐热漆	98	胶液
07	腻子	50	耐酸漆	65	粉末涂料	99	其他

## 第二节 矿山防腐涂料

涂料防护是当前煤矿井筒装备防腐蚀采用的主要方法。涂料防护具有施工简单、费用低、涂装期短、易于维修等特点，适用于大面积施工和造型比较复杂的钢铁设备的防腐涂装。涂料防护与金属热喷镀、热浸镀、电化学保护等防护措施配合使用，可获得比较满意的防护效果。

## 一、矿用涂料的性能要求

为了延长井筒装备涂料防护层的服务时间,达到长效防护的目的,煤矿井筒装备防腐蚀选用的防护涂料必须符合以下条件:

- (1) 在钢铁表面有良好的附着力;
- (2) 涂层有较好的物理机械性能;
- (3) 耐水、防渗透性好;
- (4) 对腐蚀性介质有良好的稳定性;
- (5) 施工性能好,价格适中。

## 二、主要矿用防腐涂料

《煤矿井筒装备防腐设计、施工及验收规范》推荐富锌底漆、环氧沥青系列防腐涂料、氯化(氯丁)橡胶系列防腐涂料和干湿两用系列防腐涂料作为当前煤矿井筒装备的防腐涂料。

### 1. 富锌底漆

富锌底漆一般是指干漆膜中超细锌粉含量达到85%以上的高效防锈底漆,富锌底漆又可分为有机富锌底漆和无机富锌底漆两大类。有机富锌底漆一般采用环氧树脂、氯化橡胶树脂、乙烯系树脂、聚氨酯等合成树脂作粘合剂,其中以环氧树脂应用最多。无机富锌底漆一般以硅酸盐或硅酸酯作粘合剂,其中以硅酸钠(水玻璃)和正硅酸乙酯使用最多。

富锌底漆的防护效果已为国内外所公认。一层厚度为 $20\mu\text{m}$ 的富锌底漆在室外至少可保护钢材2 a不锈蚀。兖州鲍店煤矿和铁法晓南煤矿的部分井筒装备采用无机富锌底漆进行防护,1979年涂装,涂层大约厚 $70\mu\text{m}$ ,井下使用12 a,情况良好。邢台东庞煤矿和兖州鲍店煤矿的部分井筒装备采用环氧富锌底漆防护,至今已安装8 a左右,涂层仍完好,内

部的钢结构受到了良好的保护。

富锌底漆之所以具有优异的防腐蚀性能，主要有以下三个原因：

(1) 涂层的屏蔽作用。在干漆膜中，超细锌粉微粒之间，以及漆膜与基底金属之间都能紧密接触，而且具有很好的附着力。要把已干燥、固化的富锌底漆从基底金属表面除去是困难的，富锌底漆涂层具有良好的屏蔽作用。

(2) 涂层的化学防护作用。富锌底漆发生腐蚀反应时产生锌离子，它能与介质中的二氧化碳、水等作用生成碱式碳酸锌，充满或堵塞涂膜中的孔隙，使涂膜能挡住周围介质的继续侵蚀。这不仅保护了未反应的锌微粒和基底金属免遭腐蚀，而且提高了涂膜对氧、电解液和其他介质的化学稳定性。

(3) 锌的阴极保护作用。在富锌涂层中，由于锌含量高达85%以上，因此，锌微粒之间、锌粒与基底金属之间都有良好的接触。当设备受到周围介质的作用而发生电化学反应时，由于锌的电位低，可充当腐蚀电池的阳极，钢铁作阴极，结果由于阳极锌的自我牺牲而使钢铁设备受到保护。

富锌底漆涂层具有优良的耐热、耐油、耐溶剂、耐老化性能和物理机械性能，能经受搬运、冷弯等工序而涂层不损坏。当气割或烧焊时，焊缝周围仅损伤10mm左右，而且不影响焊接质量。但要注意烧焊时产生氧化锌烟雾的防护，人体长期、连续吸入过多的氧化锌，将会引起“锌热病”。

富锌底漆的适应性强，能与多种防锈漆配套，但它对表面处理要求高，必须达到瑞典标准中的 Sa2  $\frac{1}{2}$  级以上。涂装无机富锌底漆，必须采用喷砂除锈，施工操作要求比较严

格；而有机富锌漆的要求要低一些，喷砂除锈和酸洗、钝化除锈均可满足使用要求。

无机富锌漆分水性后固型（硅酸钠）、水性自固型（硅酸钠和硅酸锂）、溶剂自固型（硅酸酯）三类，其中以水性后固型应用最多。

水性后固型无机富锌漆一般是自己购原材料，现用现配。其主要粘合剂是硅酸钠，固化剂是磷酸（或氯化镁等金属卤化物），锌粉是主要的防锈添加材料，常用的后固型无机富锌漆配方如下：

超细锌粉（300目，锌含量>95%）	100g
水玻璃（ $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$ 的模数比为2.6~2.8）	20g
一氧化铅（化学纯）	1g
自来水	10g

#### 调配与使用：

先将水玻璃和自来水混合，再加入一氧化铅，最后加入锌粉，混合均匀后，静置10min再涂刷。

无机富锌漆要涂装在经喷砂除锈的钢铁表面上，2h后，用小刀刻刮漆膜，若有光泽，表明漆膜已干燥，可涂刷固化剂。固化剂溶液要均匀涂刷2遍，硅酸将被置换出来，和金属锌、铁发生化学反应，生成硅酸盐。硅酸钠还能与氧化锌、一氧化铅等起反应，生成不溶性的 $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{ZnO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ 或 $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{PbO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ 等复盐，共同形成保护膜。另外，固化后，还必须用水冲洗掉固化时表面析出的一层可溶性的盐。

水性自固型无机富锌漆是用高模数的（4左右）硅酸钠和硅酸锂的混合物作漆料，配方与后固型相似，只是涂刷后不必再涂刷固化剂，而是靠慢慢吸收空气中的 $\text{CO}_2$ 而逐步完

成固化过程的。其固化时间较长，性能亦不如后固型富锌漆。

溶剂自固型正硅酸乙酯富锌漆实际上是半无机粘合剂。涂刷后，溶剂挥发，正硅酸乙酯逐步水解变成聚硅氧烷，最后转变成金属锌的聚二氧化硅结构而固化成膜。溶剂自固型正硅酸乙酯富锌漆要求在较高的相对湿度下施工，以利于它的水解、固化。若空气的相对湿度低于70%，则所得涂层的附着力很差而无使用价值。而其他类型的无机富锌漆则要求在比较干燥的大气中涂刷、固化，若空气相对湿度高于75%，则不宜施工，两者截然相反。

近年来，煤矿井筒装备防腐蚀使用较多的是环氧富锌漆和氯化（氯丁）橡胶富锌漆，有机富锌漆使用方便，防腐效果好。环氧富锌底漆为三罐装；用聚酰胺树脂作固化剂，涂层的物理机械性能和电化学保护作用都比较理想，但一般要求在10℃以上的气温条件下施工。氯化（氯丁）橡胶富锌漆一般为双罐装，能在零下20℃的低温下施工，这是其他富锌漆所无法相比的。

煤矿井筒装备防腐蚀，一般不宜单独使用富锌涂料防护，外面需罩适当厚度的环氧沥青防锈漆或氯化橡胶防锈漆。为了提高涂层的附着力和防护效果，富锌底漆一般只宜涂刷1~2道，涂层厚度控制在30~70 $\mu\text{m}$ 的范围内，而防护面漆一般控制在150~200 $\mu\text{m}$ 的厚度范围内。

## 2. 环氧沥青防腐涂料

环氧沥青防腐涂料是当前国内外地下使用的金属设备防腐蚀广泛采用的涂料品种之一。它既具有环氧涂料的优秀附着力、化学稳定性和机械强度，又具有沥青涂料的优良耐水性能，是《煤矿井筒装备防腐设计、施工及验收规范》推荐

使用的防腐涂料。

环氧沥青涂料可涂刷在环氧富锌底漆和各种金属镀层上面，也可涂刷在经过表面处理的钢铁设备表面，均可获得良好的附着力和较长的使用寿命。当局部涂层被破坏时，可进行修补。

环氧沥青涂层的机械性能优异、涂层硬度高，并具有优良的抗冲击性能和耐摩擦性能。经试验，要把已干透的环氧沥青涂层除去将是非常困难的。另外，环氧沥青涂层具有优良的耐水性，涂层对水蒸汽和水的透过率都很低，在中、碱性淋水的矿井中均表现了较好的防护性能。

环氧沥青涂料一般为双包装。甲组分包括601或634环氧树脂、55~60号煤焦油沥青、颜料和其他填充料。环氧树脂和煤焦油沥青的比例一般为50:50或60:40。若要提高涂层的耐水性、降低成本，可适当提高煤焦油沥青的比例，若要提高涂层的防腐蚀性能，则要适当提高环氧树脂的比例。乙组分主要是固化剂。现在生产的环氧沥青漆多以200号、300号或400号聚酰胺树脂作固化剂，其挥发性低、毒性小，不要添加增塑剂，漆膜就有良好的机械性能。也可使用乙二胺、二乙烯三胺、三乙烯四胺或己二胺等多元胺类化合物作环氧沥青涂料的固化剂，但一般要添加邻苯二甲酸二丁酯或邻苯二甲酸二辛酯等作增塑剂以提高漆膜韧性。近年来，地下管道防腐蚀多采用T<sub>31</sub>树脂作环氧沥青涂料的固化剂，使用效果也比较好。

环氧沥青涂料的溶剂一般是芳香类化合物和酮类化合物。使用单一的溶剂，涂装、固化效果不好，现在大多使用甲苯、二甲苯、环己酮、正丁醇等的混合溶剂，最常用的混合溶剂配方如下：

- (1) 甲苯:二甲苯:环己酮:正丁醇 = 40:20:30:10;
- (2) 甲苯:二甲苯:环己酮:正丁醇 = 35:35:20:10;
- (3) 二甲苯:环己酮:正丁醇 = 60:30:10;
- (4) 二甲苯:正丁醇 = 80:20。

环氧沥青防腐涂料是煤矿井筒装备防腐使用最多的涂料品种之一,尤其适宜在中、碱性淋水的矿井中使用。厚浆型环氧沥青涂料一次涂装可得到 $80\mu\text{m}$ 左右的干膜厚度。为了保证煤矿井筒装备防腐蚀的质量,在富锌底漆涂层的外面必须至少涂装三道环氧沥青涂料,涂层总厚度大于 $200\mu\text{m}$ 。环氧沥青防腐涂料还可用于地下管线、矿山提升、地下运输设备,以及船舶、码头、各种水利设施的防腐蚀。但由于环氧沥青涂层长时间受紫外线照射后易发生老化、龟裂,因而不宜用于地面钢铁设备的防护。另外,大范围使用环氧沥青涂料必须在 $10^{\circ}\text{C}$ 以上的气温条件下施工。温度低,涂料粘度显著增大,施工操作困难。再者,环氧涂料在低温下固化速度太慢,施工周期拖得太长。

环氧沥青涂料一般为双包装,用前按比例混合,混合均匀后放置熟化半小时再用,其适用期为4h。用多少配多少,多配了将会造成浪费。层间时间间隔不小于8h,每天只能涂刷一道,每道消耗涂料量约为 $0.20\sim 0.25\text{kg}/\text{m}^2$ 。

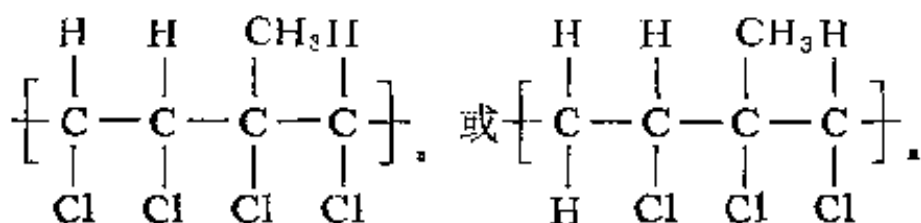
### 3. 氯化橡胶类防腐涂料

氯化橡胶类防腐涂料是性能优良的高效能防腐涂料,近年来在我国发展较快,应用范围越来越广,目前也被推荐为煤矿井筒装备防腐涂料之一。

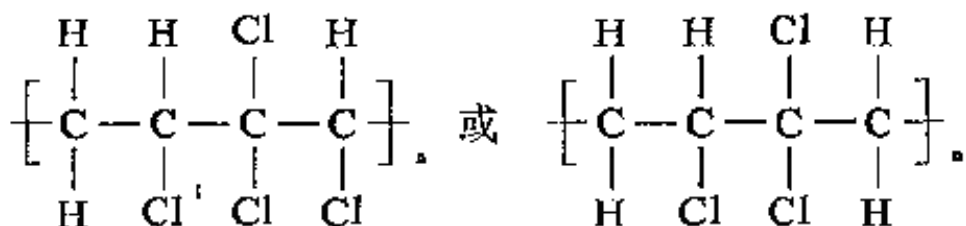
矿用氯化橡胶类防腐涂料包括氯化橡胶防腐涂料和氯化氯丁橡胶防腐涂料两个系列。氯化橡胶是由天然橡胶或合成橡胶氯化而得,含氯量在60%以上;氯化氯丁橡胶是由人工

合成的氯丁橡胶氯化而得，含氯量略高于氯化橡胶。

氯化橡胶分子结构为：



氯化氯丁橡胶分子为：



氯化氯丁橡胶分子中的  $\begin{array}{c} \text{Cl} \\ | \\ \text{C} \\ | \\ \text{Cl} \end{array}$  基团，与氯化橡胶分子中

的  $\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ | \\ \text{C} \\ | \\ \text{Cl} \end{array}$  相比，氯原子的稳定有明显提高，一般情况下不会

脱氯，耐腐蚀性能好。

在氯化橡胶分子中，由于氯原子的电负性强，其结构紧密，使涂层具有较低的水、氧渗透率和较强的封闭性能。若因漆膜弊病或漆膜损坏而引起少量腐蚀性物质渗入涂层内部，也只能破坏一点，而不会引起周围涂层的大范围破坏。特别适宜在矿山井下或其他潮湿和有水环境中使用。

氯化橡胶涂料在钢铁表面和其他涂层上面都有良好的附着力。对除锈不彻底的金属表面的容忍性超过其他任何涂料，与多种旧涂层都有良好的相容性，不会发生咬底、脱层

等弊病，氯化橡胶涂料不仅适用于新设备的表面涂装，而且还适用于旧设备的维护，这是其他涂料所不具备的。

氯化橡胶涂料是溶剂挥发型的单罐装涂料，搅拌、混合均匀即可使用，能保证涂层质量，使用方便。另外，氯化橡胶分子释放溶剂的速度快，粘度受气温影响较小，甚至在零下 $30\sim 40^{\circ}\text{C}$ 的低温下仍能使用。这是其他类型的涂料所无法相比的。我国煤炭基地主要分布在长江以北，大多又集中在华北和东北，这些地区全年有近一半的时间平均气温在 $10^{\circ}\text{C}$ 以下，而井筒装备防腐施工的周期又长达几个月，使用其他类型的涂料受气温影响较大。而氯化橡胶涂料全年都可使用，这是氯化橡胶类防腐涂料在矿山井筒装备防腐中使用最有竞争力的因素。

氯化橡胶易溶于芳烃、卤代烃、酮类和酯类溶剂中，为了提高氯化橡胶涂料的涂装性能，往往在上述溶剂中加入适量的脂肪烃或醇类作稀释剂。常用的氯化橡胶涂料溶剂如下：

- (1) 200号煤焦油：200号溶剂汽油 = 75:25；
- (2) 200号煤焦油：二甲苯 = 70:30；
- (3) 醋酸丁酯：环己酮 = 70:30；
- (4) 直接用200号煤焦油或二甲苯。

用于煤矿井筒装备防腐蚀，氯化橡胶涂料可直接涂刷在富锌底漆上和各種金属镀层上，至少要涂刷四道漆，涂层总厚度要大于 $200\mu\text{m}$ ，每道涂料用量约为 $0.17\sim 0.20\text{kg}/\text{m}^2$ 。既可喷涂，又可刷涂，涂刷时间间隔为 $6\sim 8\text{h}$ ，干燥时间是环氧涂料的 $1/2$ ，每天可涂刷二道漆。由于溶剂挥发快，涂刷时不要反复润饰、修整，否则会出现拉丝现象，影响涂装质量。

氯化橡胶类防腐涂料用途很广，在矿山，除用作井筒装备防腐蚀外，也可用作井塔及其他地面、地下设备防腐蚀涂装及日常维护，还可用作化工、水利、航运设施的防腐蚀涂装及维护，均可获得较好的使用效果。

#### 4. 干湿两用系列防腐涂料

干湿两用系列防腐涂料包括 GS-861 干湿两用带锈底漆和 GS-841 干湿两用防锈漆。其最大特点是能在潮湿有水的钢铁表面涂刷，适合井筒装备安装时漆膜损坏部位的修补和井筒装备的日常维护。

干湿两用系列防腐涂料能在水中涂刷、固化是由涂料本身的组成决定的。在配方中添加了适当比例的具有亲水和疏水两种功能的添加剂和溶剂。在水中涂刷时，在涂料与金属表面之间能产生良好的浸润，使得涂料在水中能刷得上，并贴得牢。由于溶剂的亲水作用，使它能将涂层与基底金属之间残存的水分逐步转移出来，使涂层紧紧贴附于基底金属表面。又由于溶剂的疏水作用，使得涂料在水中不能被溶解分散，而保持一个完整的体系。由于络合剂的加入，提高了涂层在金属表面的附着力。

GS-861 干湿两用带锈底漆的作用是将湿钢铁表面的铁锈转化成稳定的形式，GS-841 干湿两用防锈漆主要起防护作用，不宜直接涂刷在带锈的钢铁表面。

(1) GS-861 干湿两用带锈底漆。该底漆是以一种在水中几乎不溶的弱酸性络合物作铁锈转化剂，环氧—氯化橡胶作成膜粘结剂，环己酮—醋酸丁酯作溶剂，并含有适当量的磷酸盐系防锈颜料和其他防锈剂，总固分含量约为55%。该底漆涂装在有水有锈的钢铁表面以后，能慢慢将钢铁与涂膜之间的水连同溶剂一同转移出来，形成紧紧贴附于钢铁表面

的保护膜。铁锈转化剂同时将铁锈转变成稳定的杂多酸络合物，使锈层失去活性，并起到一道防锈底漆的作用。

GS-861 干湿两用带锈底漆为双罐装涂料，用前按比例混合，其适用期为24 h。该涂料主要用于煤矿井筒装备和其他井下设备的防腐蚀维护，涂刷在已锈蚀的钢铁表面，可降低表面处理的要求，其使用量约为  $0.15\sim 0.20\text{kg/m}^2$ 。该涂料不宜单独使用，外面必须罩上适当厚度的 GS-841 干湿两用防锈漆，才能真正起到防止进一步锈蚀的目的。

(2) GS-841 干湿两用防锈漆。该涂料也是以环氧—氯化橡胶作成膜粘合剂，醋酸丁酯—环己酮的混合液作溶剂，T<sub>31</sub> 树脂作环氧成分的固化剂，再加入磁性氧化铁、片状云母氧化铁、红丹粉及其他添加剂配制而成。该涂料的触变性好，总固体分含量大于65%，胶含量也高于一般防锈漆。

GS-841 干湿两用防锈漆适用于煤矿井筒装备安装时漆膜损坏部位的修补和井筒装备的日常维护，与常用涂层都有良好的相容性，该涂料的主要特点如下：

既能在各种湿度的大气环境中使用，又能在水中使用，均有较好的涂刷、固化性能和良好的附着力，能满足各种淋水条件的矿井使用；

该涂料固化成膜后，具有较好的防止大气、水蒸气、水渗透的能力和耐化学腐蚀性能，能在各种水质的矿井里使用；

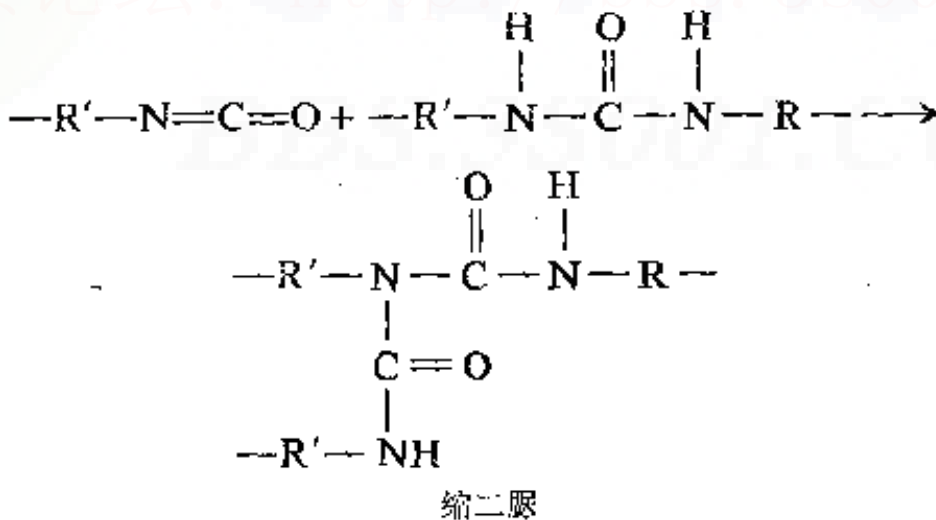
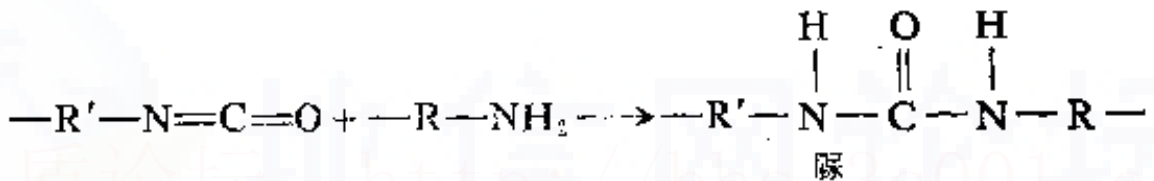
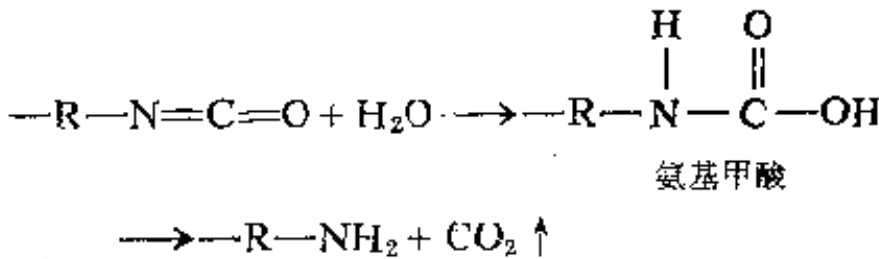
当水进入盛漆的容器后，不论进水多少，漆、水都能分开，水在上，漆在下，将水倒出，仍不影响涂料的继续使用和涂层的防护效果；

干燥速度快，几分钟就可形成漆膜，6 h 左右可涂刷第



聚氨酯涂层的性能由NCO/OH的配比决定，NCO的含量低，漆膜柔韧、抗化学性能差；若NCO的含量高，则涂层的网状结构增加，交联密度增大，结果是涂层的硬度大，耐化学性好，但漆膜柔韧性变差。

潮固化聚氨酯涂料为单包装。它利用NCO基与OH基反应制得含有游离—NCO基的涂料，涂刷以后，通过吸收空气中的水分再发生反应，生成脲键而固化成膜。



潮固化型聚氨酯涂料可在潮湿的基材表面或高湿度的大气环境中使用。这类涂料的固化速度与空气的相对湿度有关，若相对湿度低，则涂层固化速度慢。这类聚氨酯涂层致密，抗污性能和抗化学腐蚀性能都比双组分涂料好，涂层坚硬、耐磨，能经受重型设备的振动和滚压而涂层不会损坏。

该涂料可用于煤矿井筒装备和地面设备的现场防腐蚀涂装。也可用于井筒混凝土结构的防护。

聚氨酯涂料施工时易产生针孔、麻点等病态，这主要是由于固化过程中产生的 $\text{CO}_2$ 所致。为了克服这种病态，提高涂层质量，每层应当刷薄一些，通过多次涂刷来完成，这样既能加快固化速度，又能减少针孔等病态，保证防腐效果。

聚氨酯涂料生产工艺比较复杂，对施工的要求也比较严格，价格偏高，当前用于矿山设备防腐蚀的涂料品种还很少，是一个应该努力开拓的新领域。

#### 6. 酚醛防腐涂料

酚醛涂料是最早出现的合成树脂涂料。酚醛树脂是酚类化合物和醛类化合物的缩聚产物。涂料工业中使用的酚醛树脂可分为100%油溶性酚醛树脂、松香改性酚醛树脂和醇溶性酚醛树脂三种。

100%油溶性酚醛树脂是用对位叔丁基酚或对位苯基酚代替苯酚，与甲醛反应制得。该树脂不用其他树脂改性即可与油混溶。用这种树脂制造的涂料有较好的耐水性、耐酸性和耐溶剂性能。100%油溶性酚醛树脂与桐油等干性油共同炼制的油基涂料，漆膜干燥快、坚固耐久，有良好的防腐、防潮，耐海水和耐化学腐蚀性能，是优秀的涂料品种之一，可用于船舶、桥梁、矿山井筒装备等耐久工程的防腐蚀。

当前在涂料工业中应用较多的是松香改性酚醛树脂，具有较好的油溶性，成本比100%油溶性酚醛树脂低得多。改性酚醛树脂与桐油一起熬炼而制造的酚醛涂料干性好，漆膜坚韧耐久，具有较好的耐化学腐蚀性能。改性酚醛防锈漆单独作煤矿井筒装备的防腐涂料是不可取的。但酚醛红丹底漆与氯化橡胶防锈漆配套使用，可在酸性淋水的矿井中用于煤

## 第五章 金属镀层

金属镀层是将某些金属镀覆到另一些金属上构成的双层或多层金属复合系统。该体系综合了两种金属的优点,克服了各自的不足,可以较廉的价格,获得较好的综合使用效果。

### 第一节 钢铁的金属镀层

耐蚀性的金属镀层几乎都是用来保护钢铁材料的。钢铁是产量最高、使用范围最广的金属材料。它易于加工成型,具有较高的机械强度和较低的价格;但对腐蚀敏感,外观粗糙,耐磨性能欠佳。根据不同的使用目的和要求,在钢铁制品的外表面镀装适当的金属保护层,能有效地克服它在使用中的缺陷,获得较理想的使用效果。煤矿井筒装备防腐蚀推荐使用的金属防护层主要有金属锌镀层和金属铝镀层。

以钢铁设备防锈为目的的金属锌、铝镀层的防锈作用是通过电化学反应来实现的。锌和铝都是比铁电位低的金属,涂装在钢铁表面上,可对钢铁起到阴极保护作用。尤其是金属锌镀层,正常情况下,其电势一直比钢铁低,是钢铁最理想的阳极性镀层,在 pH 值为 5~12 的较大范围内,可用作钢铁的电化学保护层,甚至在大面积镀锌层上出现 5 mm 宽度的擦伤时,仍能保护钢铁设备免遭腐蚀。而金属铝是一种与周围环境有强烈反应倾向的活泼金属,暴露于空气中,很快会生成一层很薄的氧化铝层(约 0.01 $\mu$ m),保护金属铝免遭腐蚀。而在大多数情况下,铝又表现出了较低的电势,在

pH 值为 4~8 的范围内, 可对钢铁起到阴极保护作用。由于锌、铝的氧化物都是两性化合物, 既溶于酸、又溶于碱, 因此, 在较强的酸、碱介质中铝、锌都表现了较高的腐蚀速度, 不宜再作钢铁的电化学保护层。

煤矿井筒装备采用锌、铝等金属镀层进行防护可供选择的涂装方法有热喷镀和热浸镀两种。钢铁的保护程度几乎完全是由单位面积上保护金属的涂覆量和均匀程度决定, 一般与涂覆的方法无关。涂层耐久性与金属涂覆量及涂层厚度的关系见表5-1。

表 5-1 镀锌层的估计耐用年数

镀锌层重量	400g/m <sup>2</sup>		500g/m <sup>2</sup>		600g/m <sup>2</sup>	
	估计寿命 腐蚀量 [g/(m <sup>2</sup> ·a)]	耐用年数 (a)	腐蚀量 [g/(m <sup>2</sup> ·a)]	耐用年数 (a)	腐蚀量 [g/(m <sup>2</sup> ·a)]	耐用年数 (a)
重工业地区	40.1	9	40.6	11	40.1	13
海岸地区	10.8	33	10.9	41	10.8	50
市内地区	17.5	21	17.7	25	17.7	30
郊外地区	5.4	67	5.2	86	5.2	104

热喷镀与热浸镀都能获得高质量的金属保护层。热喷镀设备简单、施工方便、一次性投资少、工作可不连续、批量可大可小, 而主要缺点是劳动强度大、表面处理质量要求高、工作效率低、环境污染严重。热浸镀成本低、劳动强度低、工作效率高、镀层致密, 但一次性投资大, 热浸炉需要精心安装、维护, 必须连续工作, 而且批量越大越好。

## 第二节 热 喷 镀

热喷镀是利用某种热能(燃烧热或电能)将金属喷镀材料(线材、棒材或粉末)加热到熔化状态, 通过高速气流将

其雾化成极细的微粒，以较高的速度喷射到工件表面上而形成金属镀层的方法。

喷镀金属保护层具有防老化、防粉化、不龟裂等特性，并具有一定的硬度、韧性、耐冲击性能和耐磨性能，在外力作用下，结构变形时也不致翘起、脱落。

热喷镀在防腐蚀方面主要是用来保护钢铁结构和设备免遭大气腐蚀。热喷镀的方法很多，既包括在煤矿井筒装备防腐中使用的氧-乙炔焰喷镀、电喷镀等，也涉及到在高技术领域使用的喷镀高熔点金属和合金的等离子喷镀、爆炸喷镀、高频感应喷镀等新技术。金属喷镀的主要特点是设备简单，容易操作，工件不受形状、尺寸的限制，施工非常方便。小件可喷镀电容和印刷电路，大件可喷镀桥梁、矿山井筒装备、井架等大型钢铁构件。既可在车间里施工，也可到现场施工。

热喷镀工件一般不需预加热，喷镀过程中工件表面的温度一般不超过  $100^{\circ}\text{C}$ ，不会造成基体金属内部组织结构的变化，也不会使基体金属发生变形。金属锌、铝喷镀层虽然是多孔的，但在煤矿井筒环境中不会影响它的防腐蚀性能。外部再采取适当的防腐蚀涂料进行封闭，可获得长效防腐的目的。

### 一、热喷镀工艺

煤矿井筒装备防腐蚀主要采取热喷镀锌，防腐蚀效果比较突出，也可采取热喷镀铝及其合金，效果也不错。优良的热喷镀金属覆盖层应该是镀层均匀，在使用中不脱层、不剥落。为了满足这一要求，金属热喷镀层施工时，应严格按照施工规程进行。

金属喷镀过程可分为工件表面预处理、金属喷镀材料的

熔化与雾化, 液态金属微粒的飞行和金属颗粒的粘附四个阶段。

### 1. 工件的表面预处理

热喷镀对被镀基材表面的预处理质量要求高, 既要求除去表面所有的锈蚀、氧化皮及其他污物, 又要求表面保持一定的粗糙度。热喷镀工件表面的粗糙度一般要求达到  $50\sim 100\mu\text{m}$ , 也可高达  $150\mu\text{m}$ , 但不允许小于  $50\mu\text{m}$ 。粗糙的基体表面能与喷镀层形成良好的啮合, 镀层附着力好。基材表面过于光滑, 则镀层容易发生翘起、剥落、镀层附着力不好。

近年来, 热喷镀有时也采用先酸洗、后喷砂的表面处理方法。这样的改进既可保证基材对表面粗糙度的要求, 又可减少劳动强度, 降低表面处理的费用。

喷砂处理时, 工件表面必须干燥, 天气不好时, 要采取适当的保护措施。喷砂处理后, 工件表面要进行认真地吹洗, 然后用三氯乙烷、二氯乙烷、四氯化碳等有机溶剂脱脂, 清水洗涤。干燥后, 在 4 h 内必须进行喷镀施工, 以免存放时间过长, 钢铁表面又会重新氧化、生锈或受污染。

### 2. 金属喷镀材料的熔化与雾化

金属喷镀材料的熔化速度及雾化程度是直接影响金属喷镀层的粘附强度及镀层质量的重要因素。金属材料的熔化速度取决于自身的熔点和热源的温度。但由于氧-乙炔焰的温度可达  $3000\text{℃}$  左右, 电弧的温度可达  $5000\sim 6000\text{℃}$ , 这些温度远远超过锌、铝等常用金属线材的熔点, 所以它们都能在喷涂过程中迅速熔化。但在喷镀施工中, 一般应根据金属的熔点来调整喷镀温度和走丝的速度。

熔融金属的雾化程度直接影响镀层的质量。雾化不好,

对镀层的结合强度不利；如果熔融金属过分雾化，又易在喷镀微粒飞行过程中使其表面发生氧化，降低金属防护层的质量。当金属的熔化速度一定时，熔融金属的雾化程度主要取决于压缩空气的压力。为了保证金属喷镀层的质量，并提高镀层在基材表面的结合强度，采用氧-乙炔焰喷镀锌、铝时压缩空气的压力一般控制在 $0.4\sim 0.6\text{MPa}$ ，采用电喷镀时，空气压力一般控制在 $0.5\sim 0.7\text{MPa}$ 。

### 3. 液态金属微粒的飞行

为了提高喷镀层与基体金属的结合强度，要求液态金属微粒喷射到工件表面时要具有最大的速度和较高的温度。因为较高的温度和速度会使金属颗粒具有较大的动能，撞击到工件表面时会产生较大的塑性变形，金属颗粒与工件表面的接触面积就会增大，颗粒与颗粒之间的夹杂物、孔隙会相对减少，能提高喷镀层结构的紧密性，从而促进了相互间的物理吸附作用。另外，金属颗粒与工件表面撞击时，动能越大，转化成的热能也就越高，金属颗粒的温度也就随之增高，金属原子的活动能力相对增强，这些因素都有利于提高喷镀层的结合强度。

热喷镀时，金属颗粒起初是静止的。在压缩空气 ( $V_0 = 140\sim 250\text{m/s}$ ) 的驱动下，金属颗粒的速度急剧增高，出现了飞行现象，在离喷枪口 $30\text{mm}$ 处，金属颗粒的飞行速度达到其最大值，接近压缩空气的速度。其后，金属颗粒的飞行速度随着气流速度的下降而减小。但由于金属颗粒的惯性作用，其飞行速度则要稍高于气流速度。另外，由于金属颗粒在飞行中要向周围散发热量，所以离喷枪口越远，金属颗粒的温度就越低。

为了方便施工，并使雾化了的金属微粒保持较高的飞行

速度和温度,金属喷镀施工时,喷枪嘴与工件一般保持70~150mm的距离,并与工件保持 $45^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 的夹角。为了避免反弹对施工人员的伤害,一般不主张进行垂直喷射。

#### 4. 金属颗粒的粘附

雾化后的金属颗粒在喷射到工件表面之前,几乎都保持着液体状态。只是在液体颗粒撞击工件表面的一瞬间,由于受到压缩空气的吹击和向温度较低的工件表面散发热量后,温度才急剧下降、冷凝而粘附于工件表面,形成喷镀层。

喷镀层在基体金属表面的粘附是机械连接、物理吸附和扩散等综合作用的结果。不同的喷镀材料和施工方法,其喷镀层的粘合力差异很大。锌在钢铁表面的粘合力约为 $400\text{N}/\text{cm}^2$ 左右,而铝在钢铁表面的粘合力一般都大于 $1000\text{N}/\text{cm}^2$ 。工件在 $200^{\circ}\text{C}$ 进行预热处理再喷镀,铝在钢铁表面的粘合力可高达 $4000\text{N}/\text{cm}^2$ 。为了提高喷镀层对基体金属的结合力,喷镀前,工件表面必须进行粗糙处理。

## 二、热喷镀的方法

热喷镀一般要求使用高纯度的金属材料,其纯度要求99.5%以上。根据热喷镀中采用的加热方式不同,热喷镀可分为多种类型,但在矿山井筒装备防腐中采用的主要有火焰喷镀和电弧喷镀两大类。

### 1. 火焰喷镀

火焰喷镀是应用最早、使用范围最广的热喷镀方式。火焰喷镀以乙炔、煤气等作燃料,用氧气或压缩空气助燃,以提高火焰温度。该方法操作简便、设备购置及运转费用低。煤矿井筒装备防腐蚀采用喷镀层时,大多采用氧-乙炔焰加热的熔线式气喷枪,也有采用粉末式气喷枪施工的。

熔线式喷枪使用的锌丝或铝丝的直径一般在3mm以下,

个别大喷枪使用的锌丝直径可达5~7mm，而粉末式喷枪使用的粉末材料的粒径则没有严格而明确的要求，以畅流不堵塞为好。

火焰喷镀时，喷镀材料输送到加热火焰的氧化区使金属熔化，火焰周围的压缩空气将熔化的金属雾化，并喷射到待镀工件表面上，形成金属保护层。火焰喷镀操作主要取决于进料的速度。适当的进料速度可使金属快速熔化，保证喷镀过程能连续进行。

一般说来，喷镀材料的进料速度与其熔点有关，金属的熔点越低，喷镀的进料速度越快。在煤矿井筒装备防腐中使用的金属锌（熔点419℃）的进料速度比金属铝（熔点658℃）快。

喷嘴与被镀基体材料表面要保持一定的距离。喷距大小与喷镀材料的种类、线料直径等因素有关，一般以50~250mm为宜。喷距过小，被喷基体材料易发生热变形；喷距过大，则由于喷镀微粒的飞行距离远，使温度显著降低，造成粘附性能下降和镀层表面粗糙。煤矿井筒装备采用喷锌、喷铝防护，喷距以50~100mm为宜。雾化的喷镀材料要尽可能以较垂直的角度冲击被镀金属表面，这样会提高金属镀层在钢铁上的粘附性能，但也要防止反弹对操作人员的伤害。喷射角度越小，镀层的粘附性能越低。根据矿井防腐的实践，喷射角不得小于45°。

熔线式喷枪一般有三个气体进口，一个进可燃性气体，以提供热源；第二个进氧气，以提高温度；第三个进压缩空气，以雾化、喷射金属。氧-乙炔焰的温度可达3100℃；氧-煤气焰的温度可达2000℃；空气-煤气焰的温度可达1530℃。可根据所喷镀的金属材料选用不同的燃气系统。

煤矿井筒装备采取火焰喷锌、喷铝防护，一般采用氧-乙炔焰作热源。乙炔气的压力一般控制在 $5\sim 7\text{N}/\text{cm}^2$ ，氧气的压力控制 $40\sim 50\text{N}/\text{cm}^2$ ，压缩空气的压力控制在 $40\sim 60\text{N}/\text{cm}^2$ 。金属丝的直径为 $2.0\sim 3.0\text{mm}$ ，走丝速度为 $3\sim 6\text{m}/\text{min}$ ，喷距为 $50\sim 100\text{mm}$ ，喷射角度为 $45^\circ\sim 90^\circ$ ，金属喷镀层的厚度一般控制在 $100\sim 250\mu\text{m}$ 。从喷枪点火到调整工作状态这段时间需要注意喷嘴不要对着要喷涂的基材表面。在喷镀时，要注意在线料表面不要附有油脂等不洁物，更不能产生“白锈”。

## 2. 电喷镀

电喷镀与气喷镀的主要差别是热源不同。电喷镀采用电弧作热源。

电喷镀是从喷枪的喷嘴送出两条金属丝作电极，使其短路，这样在线料的端部中央产生电弧，见图5-1。

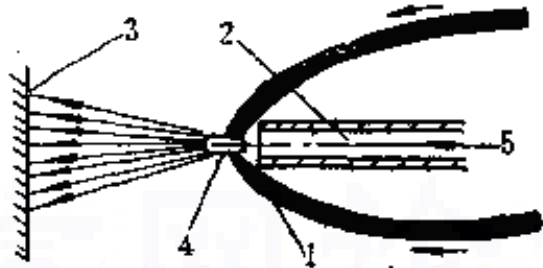


图 5-1 电弧喷涂过程简图

1—金属丝；2—喷嘴；3—零件表面；  
4—电弧；5—空气

电喷镀的表面处理与火焰喷镀一样，既要全部清除钢铁表面的锈蚀、氧化皮及其他污物，又要求具有 $50\sim 100\mu\text{m}$ 的粗糙度。

喷镀材料必须做成金属丝，其热源既可使用直流电，又可使用交流电。但交流电的噪声大，电流也不稳定，而使用直流电的电喷镀应用较多。直流电电喷镀的工作电压一般控制在 $20\sim 40\text{V}$ ，电流变化较大，一般根据喷涂材料的性能控制在 $40\sim 200\text{A}$ 的范围内，见表5-2。

在直流电弧喷镀中，阳极喷镀线材的熔化速度要比阴极的熔化速度快50%，所以理论上有必要使阳极线材的输送速

表 5-2 电弧喷镀的主要技术条件

技术参数	锌			铝		
	交流	交流	直流	交流	直流	直流
电 源	交流	交流	直流	交流	直流	直流
电 压(V)	28	20	35	24	25	28
电 流(A)	100	230	85	75	45	200
空气压力(N/cm <sup>2</sup> )	50	56	50	50	40	49
金属丝直径(mm)	2	1.6	2	2	1.2	1.6
走丝速度(kg/h)	6	10	13	2		

度比阴极快一些。但实际上，两线的输送速度不需要分别处理，而是采取相同的进料速度。为了使电弧维持一定的长度，需要准确地调整电流，以保证线熔化的速度和输送速度的平衡，这在实际操作中非常重要。

煤矿井筒装备采用电弧喷锌一般使用直流电源，电压控制在25~35V，电流控制在50~100A，使用3mm左右的金属锌丝，金属丝的输送速度为3~4m/min，喷镀距离为100mm左右，金属丝的接触点距喷嘴的距离为10~15mm，喷镀层的厚度一般控制在100~250μm。

### 第三节 热 浸 镀 锌

热浸镀锌是世界上应用最广泛、最普通的钢铁材料的防腐蚀方法。热浸镀锌层的镀层致密，其镀层厚度能根据镀液温度和浸镀时间而进行有效地控制，镀层与钢铁表面有良好的结合力，其大小远超过热喷镀锌，因而对钢铁具有优良的电化学保护作用和隔离保护作用。

热浸镀锌层具有优良的耐蚀性、加工成型性和装饰性。热浸镀锌工艺设备简单、投资少、成本低，受到国内外各行各业的高度重视，广泛地被用于板、带、丝、管、网及各

种金属构件的防腐蚀。

所谓热浸镀即是将适当处理的待镀工件浸入装有熔融金属的镀槽中进行涂覆的工艺过程。工件浸入镀槽后，熔融金属与基体金属之间发生相互作用，互相渗透，使工件形成一定厚度的合金层。热浸镀锌是国内外煤矿井筒装备防腐蚀采用的质量较高的金属保护层，对其防腐蚀性能、金属浸镀工艺等进行了广泛、深入的研究。

热浸镀锌工艺主要包括表面处理、助镀和热浸镀锌三个主要工序。

### 一、表面处理

需要热浸镀锌的钢铁构件首先要进行表面处理，彻底清除表面的锈蚀、氧化皮和其他污物，以便使钢铁表面获得一种活性的表面状态，保证在热浸镀时能够形成附着力良好、均匀、连续的镀锌保护层。井筒装备热浸镀锌前可采用的表面处理方法主要有酸洗除锈和喷砂、喷丸除锈两种。

#### 1. 酸洗

热浸镀锌的钢铁表面要绝对禁止油污的存在，否则将会出现漏镀的现象，这是很难挽救的弊病。为了避免这种漏镀现象发生，要求酸洗前先用热碱脱脂剂脱脂；取出，用自来水冲洗干净后，再放入含有缓蚀剂的酸洗液中，彻底清除钢铁表面的锈蚀、氧化皮及其他污物，但也要防止过度酸洗和氢脆发生。

热浸镀前的酸洗可采用与涂料防护相同的酸洗溶液配方和操作方法（见第三章）。酸洗后，要用自来水冲洗干净，但不必进行钝化处理，以保证钢铁表面的活性状态，提高镀层质量。为了防止酸洗后的钢铁构件在热浸镀前这段时间内发生锈蚀，用自来水冲洗干净后要及时浸入助镀剂溶液中进行

行处理。

## 2. 喷砂(丸)处理

喷砂、喷丸除锈是钢铁构件高质量的表面处理方法,同样适用于热浸镀锌前钢铁构件的表面处理。

喷砂、喷丸处理能干净、彻底地清除钢铁表面的锈蚀、氧化皮及其他污物,同时增加了钢铁表面的粗糙度,提高了基材表面与熔融锌反应的活性,可获得比酸洗除锈更好的镀层。喷砂(丸)除锈的有关问题见第三章。

## 二、助镀

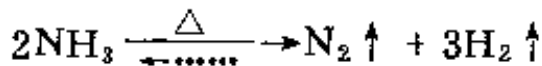
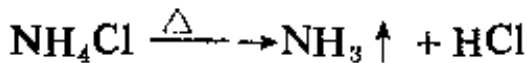
助镀处理是保证热浸镀锌质量的关键步骤之一。助镀的主要目的有二个,一是改善熔融锌对待镀钢铁基体材料的浸润性,克服漏镀现象,提高热浸镀锌层的质量;二是清除热浸镀工件表面残存的锈蚀、氧化皮及其他氧化物,并对酸洗后的工件提供短时间的临时保护。钢铁热浸镀锌最常采用的助镀剂是氯化铵、氯化锌和氯化锌铵。氯化钙、氯化镁、硼砂、盐酸、氢氟酸、磷酸、棕榈酸、松香,苯胺等也可作为助镀剂。

### 1. 助镀的原理

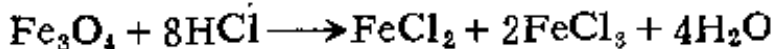
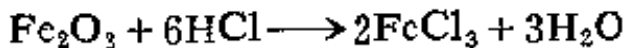
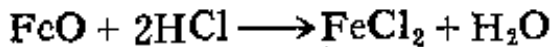
钢铁构件酸洗除锈不一定能完全、彻底,锈坑中也可能仍附有一些残锈;另外,镀件酸洗除锈后到热镀锌前这段时间也可能在空气中再次发生锈蚀;工件进入锌液时还有可能发生高温氧化;工件表面也可能有残存的铁盐,……,上述问题的存在会直接影响镀层质量,甚至会发生漏镀现象,同时还会产生大量锌渣,增加锌耗,提高热浸镀的费用。

氯化铵及其分解产物能与铁及其氧化物发生一系列化学反应。

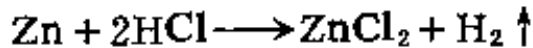
#### (1) 受热分解。



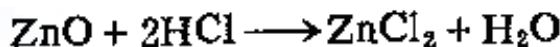
(2) 分解出的盐酸可溶解镀件表面的铁锈。



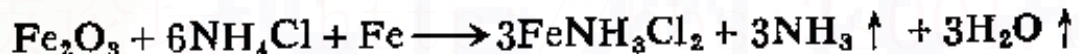
(3) 盐酸与锌液反应。



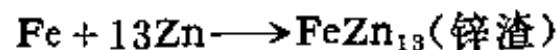
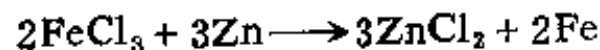
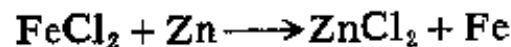
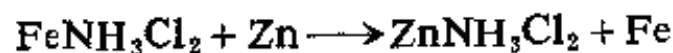
(4) 盐酸与锌灰(ZnO)起作用。



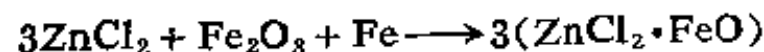
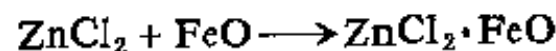
(5) 氯化铵与铁锈起作用。



(6) 铁及其盐与锌液的作用。



(7) 氯化锌对氧化铁的溶解作用。



上述反应有溶解铁锈、锌灰的功能,同时,上述反应中产生的大量气体也有驱除镀件表面污物的作用,均有利于镀

锌层的形成,减少漏渡发生。

## 2. 干法助镀

热浸镀锌的助镀分干法和湿法两种。

干法助镀是工业上采用较多的助镀方式。它是将酸洗处理后的待镀工件浸入助镀剂的浓溶液中,取出后,放入预热干燥箱或隧道烘炉中进行干燥,使表面均匀地涂上一层热镀锌的助镀剂。最常采用的助镀剂是氯化铵或氯化锌铵。氯化铵的浓度以8%~15%,其波美度( $^{\circ}\text{Be}$ )为3~5为好,溶液温度为80~90 $^{\circ}\text{C}$ ;采用氯化锌铵( $\text{ZnCl}_2 \cdot 3\text{NH}_4\text{Cl}$ )时其波美度( $^{\circ}\text{Be}$ )为10~20,铁离子含量必须小于10g/L,处理温度为80~90 $^{\circ}\text{C}$ 。

镀件酸洗除锈、并经水洗除去尾酸后,放入助镀剂槽内浸渍(也可采用喷涂的办法),烘干后才能送入锌锅进行热浸镀锌。助镀剂溶液浸渍的时间要尽可能短,以减少溶液对铁件的溶解,减少铁盐的产生,从而减少带进锌锅的铁盐,减少锌渣。工件进锌锅之前必须彻底烘干,避免有水存在。含有水的工件进入锌锅时,将会使熔融的锌液发生喷溅,即所谓的“炸锅”。热浸镀中的“炸锅”现象是很危险的,大量的滚热锌液飞溅出锅外,不仅浪费了材料,回收料也降低了纯度,而且容易造成严重的烫伤事故。另外,“炸锅”将引起锌液紊流,增加了氧化锌形成的机会,既会造成锌灰量的增加。浪费了原材料,又将影响镀层的质量。

烘干温度要进行控制,一般以100 $^{\circ}\text{C}$ 左右为好,最高不能超过150 $^{\circ}\text{C}$ 。温度过高,助镀剂容易挥发,破坏助镀剂层,影响热浸镀锌层的质量。

当助镀液中铁离子的含量超过10g/L,必须进行处理。将铁离子含量超标的助镀剂溶液抽到另一个辅助槽内,加入氢

氯化铵和过氧化氢将其沉淀，待澄清后再打回原槽。

### 3. 湿法助镀

湿法热镀锌又称熔融溶剂法镀锌。它是将熔融的助镀剂覆盖在锌液表面上，熔融助镀剂层可起到预热金属制品、保温、助镀、防止锌液氧化，并对镀后工件表面存留的锌液起擦拭作用。

(1) 湿法助镀的主要优点如下：

- a. 助镀效果好，清洗能力强，即使前处理不理想，也不会出现漏镀现象；
- b. 减少爆溅的危险。未完全干燥的工件在通过温度较低的助镀剂层时被熔盐干燥，可防止水分直接带入锌液而引起爆溅；
- c. 减少工件在预热时的变形；
- d. 减少锌液表面的氧化，锌灰生成量小；
- e. 可对镀后工件表面起擦拭作用，提高了表面质量，减少了锌耗；
- f. 设备、工艺简单。

(2) 湿法助镀的几个缺点：

- a. 助镀剂稳定性差，消耗量大，需要不断补充。由于氯化铵在337℃就升华、分解，因此需要不断补充氯化铵，以保证助镀剂层的良好流动性和必要的氯化铵含量，一般每2小时就要补充一次氯化铵，保证其含量维持在7%~9%的范围内；
- b. 由于氯化铵的分解、升华，因此环境污染严重；
- c. 锌渣生成量大；
- d. 在锌液与助镀剂的接触处，锌锅腐蚀严重。

为了减少助镀剂的分解，真正发挥助镀剂的功能，助镀

剂层的厚度一般控制在150mm左右,助镀剂采用带发泡剂的氯化锌铵 ( $\text{ZnCl}_2 \cdot 2 \cdot \text{NH}_4\text{Cl}$ 或 $\text{ZnCl}_2 \cdot 3\text{NH}_4\text{Cl}$ ) 的复盐或采用氯化锌与氯化铵的混合物,其中氯化铵的含量为55.4%。添加的发泡剂通常是甘油、其用量为1~2%,还可添加适量油脂、锯木屑和细糠等发泡剂,牛油、葡萄糖等也有类似的作用。由于助镀剂层变厚,因此表面的温度降低,可减少助镀剂的分解。同时,工件通过助镀剂层的时间延长了,干燥作用显著。

助镀剂上层低于330℃,中层约为350℃,下层约为420℃,这样可阻止 $\text{NH}_4\text{Cl}$ 升华,减少分解损失。

当锌液中含铝较高时,由于生成的氧化铝将影响镀层的质量,因此需要在助镀剂中添加冰晶石 ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ )。氟化钠或氟铝酸钠都是可以溶解氧化铝的物质,含10%冰晶石的助镀剂溶液可以在锌锅上保持一层含铝0.04%以下的令人满意的覆盖层,但助镀剂同铝反应生成易挥发的氯化铝是难以避免的。

为了减少锌锅上面的烟气、减轻环境污染,最近一些国家研制无烟助镀剂,效果很好,典型配方如下:

$\text{ZnCl}_2$ : 65%~85%;  $\text{KCl}$ 或 $\text{NaCl}$ : 10%~35%;

$\text{BaCl}_2$ : 2%~8%;  $\text{CaCl}_2$ : 0%~6%。

强调助镀剂的合理使用,这就保证了热镀锌最后一道除污工序的可靠性,就不必过分强调酸洗除锈要绝对干净。酸洗除锈越干净,花的功夫就越多,甚至要花几倍的功夫。若酸洗除锈的质量能有所放宽,则可大大提高酸洗效率,节约酸洗时间,镀件被腐蚀的重量也将大大减少,保证了镀件的机械强度,而镀层质量也将更可靠地得到保证。

### 三、热浸镀锌

热浸镀锌是在熔融的锌液中进行的。经助镀剂处理的钢铁构件放入熔融的锌锅内，钢件被熔融的锌液所浸润，并与之反应生成锌-铁合金层。当工件从锌锅取出时，合金层的外面还要粘附一层纯的熔融锌，冷却后形成均匀的金属锌保护层。

热镀锌的质量与锌锅的温度控制、加热方式及锌锅材料的选择等有密切关系。

#### 1. 热镀锌的温度

温度控制是热镀锌的最关键问题之一。锌铁合金层的厚度取决于锌液温度和镀锌的时间，与镀件从锌液中移出的速度无关；而外部纯锌层的厚度决定于锌液温度和移出速度，其厚度随着锌液温度的上升而减少，随着移出速度的加快而增厚。

锌液温度在 $480^{\circ}\text{C}$ 以下时，铁在锌液中的溶解量与时间的平方根成正比，生成的合金层比较紧密。因为锌、铁之间的反应是扩散反应，紧密的合金层阻碍了扩散作用的进行，所以反应比较缓慢。当温度高于 $490^{\circ}\text{C}$ 时，锌与铁之间的反应不再是扩散反应而是相间的界面反应，几乎变成了铁在锌中的直接溶解，反应速度迅速加快，铁损大量增加。尤其是在 $495\sim 505^{\circ}\text{C}$ 时，铁在锌中的溶解量与时间成直线关系上升，对锌锅造成极大的危害，应当绝对禁止。

热镀锌的锌温一般应控制在 $450\sim 465^{\circ}\text{C}$ ，浸镀时间控制在 $1\sim 5\text{min}$ 。温度低于 $440^{\circ}\text{C}$ ，距锌的熔点（ $419.6^{\circ}\text{C}$ ）太近，影响镀层的质量。

在正常的温度范围内，锌液对钢板的侵蚀是很弱的，如果锌锅在理想状态下工作，锌锅的使用寿命可达 $8\sim 10\text{a}$ 。凡

尼尔曾对壁厚38mm锌锅在不同温度下的使用寿命进行过统计, 结果见表5-3。

表 5-3 不同温度下锌锅的使用寿命 (38mm钢板)

锌液温度(℃)	使用寿命(d)	锌液温度(℃)	使用寿命(d)
432	888	500	28
477	543	540	19

## 2. 热镀锌锅及加热方式

热镀锌锅是国内外热镀锌行业重点研究的课题之一。目前有多种热镀锌锅在使用, 性能各有千秋, 可根据自己的实际情况选用。

### (1) 侧边加热的热镀锌锅。

这是一种传统而古老的热镀锌方法。它具有造价低、投资少、上马快等优点, 至今被世界各国广泛采用。它的主要缺点是锌与铁生成锌渣的反应不可避免, 既导致锌的损耗, 又缩短了锌锅的寿命。

这种热镀锌炉的常用燃料是煤、煤气和电, 加热用的火焰或电热经锌锅两侧传递热量到锌液。不论采用何种热源, 必须保证各部位受热均匀, 严禁局部过热。如果采用电加热或者铅夹套加热, 受热均匀的问题能得到保证, 炉体设计简单, 效果较佳。但耗电量太大, 成本高, 一般单位难以承受。如果采用煤、油、气等燃料加热, 要保证受热均匀是困难的, 特别是烧煤的炉子, 对炉体设计有比较高的要求, 必须予以充分的注意。

以煤为原料的侧边式炉燃烧室在锌锅两头, 火焰由燃烧

室经炉两侧火道到炉端，反下进入炉底部火道，最后到靠近燃烧室的底侧集中进入烟道，用燃烧火焰强弱及烟道闸板来调节锌温。

以煤气为原料的侧边式炉可在锅炉两侧设置多个燃烧室，每个燃烧室安1~2个高压喷射式烧嘴，它与壁面成 $45^\circ$ 角，注意火焰不能直接对着锌锅的侧壁，而应绕过隔火墙再与锌锅壁接触。然后分别反下进入炉底火道。

值得注意的是热镀锌炉属于低温型炉，刚离开炉膛或喷嘴的炉气温度高，传热率大，对铁锌锅的威胁极大，必须采取适当措施将炉气与铁锅的外壁隔开，最常用的办法是在铁锅外壁贴耐火砖。另外火道的面积要相应扩大，以减小炉气流速，降低给热系数，使传热率下降。只有待炉气温度降至 $735^\circ\text{C}$ 以下时才允许直接与铁锅壁接触，在整个加热过程中，侧壁主要加热部位炉气的温度不得低于 $630^\circ\text{C}$ 。

锌锅底部的温度应该较低，这样可避免锌渣上浮影响热镀锌的质量，所以只有炉气温度最低时才能转入炉底。也有人主张炉底干脆不加热，这也不尽合理，因为这样增加了热损失，低温炉气从锅底经过，起码可起到不让锅底散失热量的作用。

侧边加热式锌锅必须用含硅、含碳量极低的沸腾钢板制作，在我国以05F和08F钢为最好，厚度大于30mm，焊条也要含硅最低的，焊缝要尽量少。在热浸镀过程中，要控制锌温不要超过 $475^\circ\text{C}$ 。锌耗一般控制8%~10%。煤矿井筒装备防腐蚀，热镀锌的锌耗可控制在5%以下，煤耗控制在100~120kg/吨钢材。

为了减少上表面散热和减少锌灰量，在条件允许的情况下，减小锌锅宽度，增加锌锅深度是最有效的措施。

## (2) 上部加热的热镀锌锅。

这种锌锅用陶瓷或耐火材料制作,以远红外电热为最佳,幅射管加热也较理想。它克服了铁锅的致命弱点,消除了铁与锌反应生成锌渣的问题,降低了锌耗,锌温可任意升高,锌锅寿命长,曾一度很受欢迎。

上加热锌锅的主要缺点是只能在上表面加热,受热面积受到很大限制,氧化现象严重,锌灰多;槽体砌筑要求高,造价较高。

上加热锌锅多由下部连通的两个并列的槽子组成,较宽的一个用来加热,上盖保温罩;较窄者为镀锌槽,一般敞口。加热槽的宽度必须等于或大于镀锌槽的1.5倍,否则温度不易保证。但加热温度也不能超过 $900^{\circ}\text{C}$ 。

上加热又分为两侧上加热、半面上加热或中间上加热等型式。锌温和加铝量可任意升高,高温镀锌和镀铝锌合金的工艺均可采用。

## (3) 工频炉。

工频炉是液态锌循环式炉,传递热量的方式是传导,包括液态锌的对流传热。

工频炉是用高温耐火材料砌成,一般周边装有6个溶沟,溶沟上装有感应线圈,通过工频(50Hz)电流,根据电磁感应的原理,溶沟内锌液产生感应电流而被加热。此种炉子仅适用于液态锌的加热。

工频炉具有热效率高,投锌量少,锌消耗量低(锌渣、锌灰均少),便于自动控制等优点。但投资大,启动复杂;感应器次级-溶沟易出问题,这是工频炉的致命弱点。若能较好地解决工频炉溶沟的漏锌问题,工频炉就有了更强的生命力。

### 3. 煤矿井筒装备的热浸镀锌

煤矿井筒装备采取热浸镀锌保护，国内外的实践均已证明，在中、碱性淋水的矿井中可起到长效防护作用。

煤矿井筒装备均是大型构件，其长度和厚度都超过常规热镀锌件，应根据实际情况设计锌锅，其技术参数也应与常规有所不同。

由于建井周期长，可镀工件的数量有限，除非采取集中防腐，一般应采用造价低、施工方便的双侧加热的镀锌锅。以煤作燃料，在两头设燃烧室，采用两侧加热，最后经炉底部火道进入烟道。锌材应选0号或1号锌，锌温控制在450~470℃，严禁超过480℃。

锌锅设计时，其容量大小要与每小时的镀件量成一定的比例关系，煤矿井筒装备防腐蚀可取20:1，比例过大，能源消耗大，锌耗增加，比例过小则温度波动大，易产生过热。

锌锅设计时，应根据镀件的规格、形状大小，使锌锅的上口面积减到最低限度，尽量以增加深度来提高容积。

为了充分发挥锌锅的能力，尽量做到连续化生产，酸洗、助镀等前处理工序必须配套。热浸镀锌的工艺流程见图5-2。

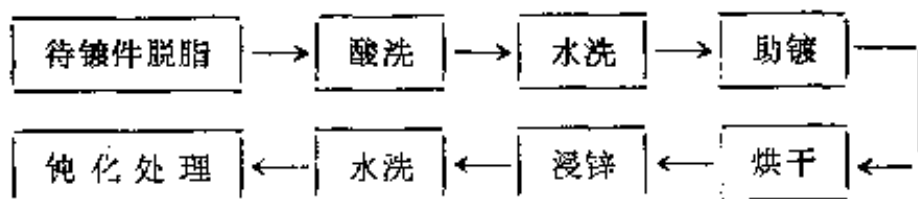


图 5-2 热浸镀锌工艺流程示意图

酸洗速度是影响热浸镀锌连续生产的关键步骤。煤矿井筒装备热镀锌防腐一般应砌筑2个或3个酸洗池，根据酸洗液的浓度和酸洗质量交替使用，始终保持一个池内盛装新

鲜酸液。热镀锌前的酸洗既可采用常温的酸洗液配方（见第三章第三节酸洗除锈部分）。又可采用添加缓蚀剂的硫酸溶液加温酸洗。加温酸洗可使用20%左右的硫酸溶液，添加0.5%左右的硫脲作缓蚀剂，酸洗液的温度控制在50~60℃，可利用从锌锅烟道出来的余热加温。待镀工件的酸洗除锈要求除去所有的锈蚀、氧化皮及其他污物，表面呈现出钢铁本色。

彻底除锈的工件从酸洗液中取出，立即用自来水冲洗干净。此步操作最好在能不断连续更换池内容水的水槽内进行。以除去工件表面残留的酸液。

煤矿井筒装备热镀锌最好采用干法助镀。助镀剂为氯化铵或氯化铵与氯化锌的复盐，助镀剂溶液的浓度为15%左右，一般采用室温浸渍，然后进行烘干处理。浸渍时间以3~5min为好，时间太长，将使钢铁构件遭腐蚀。

经助镀剂溶液浸渍的工件放入烘炉干燥，烘炉用锌锅余热加热，控制在80~100℃，待水分完全蒸发后，再去进行浸锌工序。

热浸镀时，用起重设备将助镀处理后的工件缓缓放入锌锅中。空心设备进行热浸镀时，要注意留有适当的进料口、通风口和排料口，以便工件放入锌液，就能迅速地排出内部的空气和其他气体而内部充满锌液；工件提出锌液液面时，能迅速排出锌液，确保镀层的均匀性和连续性。没有排气孔的封闭构件进行热浸镀锌是非常危险的，当酸、水或助镀液通过焊接针孔进入封闭体系时，在熔融锌液中，酸洗液、助镀剂液产生的蒸气会因压力过大而引起爆炸，对厚壁体系也是非常危险的。

热浸镀锌的温度一般控制450~470℃，浸锌时间为3~

5min, 锌层厚度控制在80~120 $\mu$ m。

热浸后的工件必须迅速在水中降温, 对防止镀层剥落有一定的作用。为了防止称之为“白锈”的湿贮存锈物出现, 水冷后的工件可进行简单的钝化处理, 即将热浸后的工件浸到微酸性的重铬酸钠溶液中进行钝化处理, 或涂以含有铬酸盐的油漆。

热浸镀锌涂层同有机涂层一样, 可用大致相同的方法检查、验收。镀层质量主要检查镀层厚度, 镀层附着性, 以及镀层表面起泡、沉渣、疙瘩、流挂、表面粗糙度等宏观缺陷。对于表面存在的裸点、起泡以及较大沉渣的镀层, 一般要进行局部清除, 采用热喷镀锌或热修补焊条来修补缺陷, 并保证达到规定的厚度。

煤矿井筒装备采用热浸镀锌防护层, 锌含量一般为99%以上。增加少量的铅, 可提高锌液对钢铁表面的浸润能力。铝也是主要添加元素之一, 它可提高镀层的光泽和耐蚀性能。铝含量为0.05%以下时, 镀层的结构和厚度都无明显的变化; 铝含量超过0.05%, 会抑制钢铁与锌之间的反应, 使镀层变薄; 当铝含量超过2%时, 所得镀层的耐蚀性、耐自锈性与涂漆性能都比普通镀锌层要高得多。煤矿井筒装备热浸镀锌如果采用上加热式锌锅或工频炉时, 应采用锌-铝合金镀层。如果使用常规的双侧加热锌锅, 由于铝的熔点大大超过铁锌锅的使用温度, 所以无法使用锌-铝合金镀层, 只能采用高纯锌浸镀。

由于热浸镀锌的温度不超过500 $^{\circ}$ C, 所以对煤矿井筒装备的强度不会引起多大变化, 而热浸镀锌的耐蚀性能则明显优于其他防护层, 具有较高的综合经济效益。

## 第六章 重防腐涂层

重防腐涂层又称复合防护系统。它是指在特殊情况下使用的钢铁设备采用金属锌、铝进行防护后，又在金属镀层上涂装有机涂料防护层进行补充的长效防护体系。

重防腐涂层的发展是控制腐蚀的一个极为重要的进步。在使用得当的环境中，它使钢铁结构的使用寿命比单独使用金属防护层或有机涂料防护层的寿命之和长一倍以上。荷兰热浸镀锌研究所进行的试验表明，如果漆层与金属镀层结合良好，则在镀锌层起到保护作用之前，漆层将等同地、缓慢地经受环境的作用，“直到最后一微米”。重防腐涂层的耐久性被定义为裸露出来的钢生锈5%的保护时间。在荷兰进行的研究表明，重防腐涂层的耐久性比单独的金属防护层、有机涂料防护层的耐久性的总和高出50%~130%，这种效应称之为最佳协同作用：(Synergy effect)，或所谓2+2=5效应。

荷兰热浸镀锌研究所在苛刻的环境中对重防腐涂层的防护性能进行过对比试验，发现用适当的有机涂料涂装镀锌钢制品，维修前的寿命等于同种涂料涂在未镀锌钢上的三倍。70~100g/m<sup>2</sup>的较薄镀锌层（大约厚10~15μm）提供的保护作用，按定义的失效时间计算为4a。在未镀锌钢上涂两道漆，可提供3a的保护，而把同样厚度的油漆涂在上述10~15μm厚度的镀锌层上，可提供10a的保护，其协同作用非常显著。

有机涂料在较厚镀锌层上涂装的试板与在未镀锌钢板上直接涂装有机涂料的试板相比,重防腐涂层的防护效果更加突出。镀层重 $750\text{g}/\text{m}^2$ 的镀锌试板(锌层厚约 $105\mu\text{m}$ ),与未镀锌的试板都涂二道防锈漆,后者经过3a失效,而前者16a后仍然完好无损。这充分显示了重防腐涂层的最佳协同作用。

煤矿井筒装备采用金属锌镀层与矿用防腐涂料相结合的重防腐涂层进行防护,要比单独镀锌或涂刷油漆要贵一些,但该涂层能提供长得多的不需维护的使用时间,减少和避免中间维修保养费用和停产损失。它能以最低的总成本提供最长的有效保护时间。从长远的观点看,经济上是最合算的。正是基于这种考虑,国内外采矿业采用重防腐涂层对矿山井筒装备进行防护的矿井越来越多,其防腐效果受到公认。

煤矿井筒装备采用重防腐涂层,大多数矿井的金属防护层采用热喷镀锌和热浸镀锌层,也有采用浸或喷锌-铝合金层的,个别矿井采用金属铝防护层。

与锌、铝等金属防护层配套的有机涂料防护层的选择应根据矿井水质pH值和施工季节来决定。中、碱性淋水的矿井可使用氯化橡胶系列防腐涂料、环氧沥青系列防腐涂料,聚氨酯涂料等;微酸性淋水的矿井优先选用氯化橡胶系列防腐涂料、聚氨酯涂料、酚醛涂料和取代聚烯烃涂料;在冬季施工,只能使用氯化橡胶涂料和取代聚烯烃涂料。

煤矿井筒装备防腐蚀金属锌镀层的厚度一般控制在 $100\sim 120\mu\text{m}$ ,即镀锌量为 $700\sim 850\text{g}/\text{m}^2$ ,有机涂层的厚度控制在 $200\mu\text{m}$ 左右,重防腐涂层的总厚度不低于 $300\mu\text{m}$ 。

由镀锌层和矿用涂料防护层组成的重防腐涂层对绝大多数矿井来说是一种理想的结合。在中、碱性淋水(pH值为

5~8) 的矿井中, 镀锌层提供了稳定的、免遭腐蚀作用的基底, 大大提高矿用涂料防护层的耐久性, 而涂料防护层又保护镀锌层免于在高度侵蚀性的环境中可能受到的高速腐蚀。

很多现有的涂料和施工方法都适合在镀锌钢的表面进行涂装, 但有机涂料与镀锌层的附着力并不如有机涂料与裸露碳钢的附着力好。一般规律是, 在未经大气老化作用的新镀锌层上涂刷油漆, 大多数油漆开始都有良好的附着力; 但经老化作用一段时间后, 便不再能维持这种结合了。这种失效常常是因为在锌层和有机涂料层之间的界面上形成了一层脆性的、对水敏感的锌皂而使涂料层与锌层之间的附着力越来越差, 最后涂料防护层将慢慢发生鼓泡、剥落, 大大缩短了有机防护层的耐久性。

为了克服有机涂层和镀锌层之间附着力慢慢下降的问题, 保证有机涂层和镀锌层之间有良好的初始附着性和长期附着性, 以及有机涂层的稳定性和最佳的易涂性, 必须在涂漆之前采取适当的预处理措施, 防止锌皂的产生, 以保证重防腐涂层质量的稳定性。

对镀锌层表面进行预处理的常用方法有机械处理、化学侵蚀、化学转化处理、涂刷预处理底漆和自然老化等。

### 一、机械处理

过去一直认为, 用机械的方法(如喷砂、喷丸)处理镀锌表面是一种不好的方法。然而研究表明, 仔细选择喷射的介质、精确控制喷嘴的压力(低压), 可以使喷射处理成为镀锌层最有效的表面预处理方法, 可以使有机涂层和镀锌层之间获得极好的结合力。

### 二、化学侵蚀

一些单位采用用盐酸酸化的硫酸铜溶液洗涤热镀锌件,

这对提高涂层初期的附着性确实起了很好的作用。然而,这种处理办法可能存在一些隐患,由于各种原因可能存在的残酸将会对有机涂层和镀锌层起破坏作用,影响之间的附着性能,现在不提倡使用这种方法。

### 三、化学转化处理

化学转化处理主要是指磷化和铬酸盐处理。

磷化膜较易形成,对提高涂层的初始附着性能很有效。磷化的最大用途是作为表面保护涂层的基体,主要用来处理钢基体,对于锌、镀锌铁和铝也很有效。金属锌层多用磷化处理。

进行磷化处理的一般方法是将工件浸泡在含有磷酸铁、磷酸锰、磷酸锌的稀磷酸溶液中。磷化液的使用浓度可根据需要控制,但磷化液中的磷酸、磷酸盐之间的比例一般以1:7为宜。磷酸的量太高,将影响磷酸三盐沉积层的形成。

磷化处理时间根据对磷化层厚度的要求决定,一般为10~20min。加入硝酸盐、亚硝酸盐或氯酸盐等氧化剂,常可使磷化处理在较低温度下进行。加入硝酸盐后,金属溶解过程中释放的氢气数量明显减少,特别是磷酸锌溶液更是如此。

磷化处理后需对工件进行彻底的冲洗,以除去可溶性的磷酸盐。冲洗水中加入铬酸,其浓度控制在0.05%~0.2%,将改善镀层的耐蚀性能,降低有机涂层的鼓泡倾向,但超过这个浓度,磷化层有溶解的趋势。

人们熟悉的对锌进行铬酸盐处理的过程是Cromak过程。该过程使用的处理液大约含有200g/L的重铬酸钠和5~6mL的硫酸。溶液的pH值控制在1~4的范围内,在铬酸盐处理过程中锌的溶解是必不可少的第一步,所以生成铬酸盐膜的速度随着锌溶解速度的增大而加快。铬酸盐膜形成的最佳

pH值范围是1.2~1.6。在锌表面形成的铬酸盐膜基本上是由水合铬的铬酸盐组成,所含六价铬占10%左右,相当于20%的 $\text{CrO}_4^{2-}$ 。

锌、铝等金属用铬酸盐处理可形成0.1~10 $\mu\text{m}$ 厚的铬酸盐氧化膜。这种氧化膜对扩散具有较好的阻挡作用,可大大降低金属的腐蚀速度,对金属能产生一定的保护作用,另外,铬酸盐氧化膜能大大改善油漆在金属表面的附着力。

#### 四、涂刷预处理底漆

新获得的镀锌层也可不经其他的预处理形式而直接在镀锌层上涂刷预处理底漆,同样也能获得长期的附着性,这最适宜采用重防腐涂层的煤矿井筒装备在涂漆前使用。最常使用的预处理底漆有磷化底漆、锌粉—氧化锌底漆和100%丙烯酸含水自打底漆。

##### 1. 磷化底漆

用双罐装的磷化底漆对镀锌钢进行表面预处理是比较理想的,并显出优良的附着性和耐久性。既可喷涂,也可刷涂。但应当注意的是,用于镀锌钢的磷化底漆,应该用聚乙烯醇缩丁醛树脂为基质,用铬酸锌着色,用磷酸的酒精溶液活化处理,结果生成半透明的黄绿色膜,它与锌层发生反应,并紧密地结合在一起。但外面必须罩以适当厚度的其他防护涂层,才能起到增效防护的目的。

##### 2. 100%丙烯酸含水自打底漆

该底漆涂在新的镀锌钢板上表现了优异的性能,既能有效地提高有机涂层和镀锌层之间的附着力,又表现了较好的耐久性,非常适用于在野外或潮湿环境中使用的镀锌钢件在涂漆之前的表面预处理,并表现了良好的防护性能。煤矿井筒装备采用镀锌层和有机涂料层相结合的重防腐涂层进行防

护, 可选用100%丙烯酸含水自打底漆处理镀锌表面。

### 3. 锌粉-氧化锌底漆

与丙烯酸含水自打底漆相似, 锌粉-氧化锌底漆既可作底漆、又可作面漆, 主要用于野外工业性涂装, 具有价格低, 使用寿命长的特点。但涂层色调灰暗, 一般不用它作面漆使用。

预处理底漆有的虽然有一定的防护作用, 但用作煤矿井筒装备重防腐涂层的外防护层还是很不够的, 只能作预处理底漆, 外面必须罩以适当厚度的防护面漆。防护面漆应优先选用《煤矿井筒装防腐设计、施工及验收规范》中推荐使用的矿用环氧沥青系列防腐涂料或氯化橡胶系列防腐涂料, 涂装3~4遍, 可起到非常好的防护作用。若选用近年开发的环氧玻璃鳞片涂料其效果更佳。

重防腐涂层的防护作用已不断得到证实, 在当今材料资源非常紧张的世界里, 重防腐这种长效保护材料的方法必将得到日益广泛的应用。煤矿开采周期长, 井筒内腐蚀严重, 井筒装备安装、维护、更换都很困难。采用重防腐涂层进行防腐处理, 煤矿井筒装备的使用寿命可达50 a 以上, 对矿山安全和增产都有重要意义。

## 第七章 防腐涂料施工

防腐涂料施工包括表面处理、防腐涂层的选择、消耗材料的计算、防腐涂层的施工等内容。表面处理在第三章已详细介绍,本章不再重复。

### 第一节 防腐涂层的选择

当前,我国煤矿井筒装备防腐蚀主要采用涂层防护,其中又以涂料防护为主。正确选择防护涂层,对延长设备使用寿命具有重要意义。防腐涂层的选择包括防腐材料和施工方法两个方面。不同使用环境对防腐材料和施工条件有不同的要求。为了使井筒装备达到长效防护的目的,一般应根据矿井淋水的酸碱度和施工温度对防腐涂层进行认真的选择。

(1) 在pH值为6以上的中、碱性淋水的矿井中,井筒装备防腐蚀应选择具有阴极保护作用的富锌涂料作底漆,有条件的矿井选择锌、铝等金属防护层则效果更好。富锌底漆的干膜厚度不小于 $50\mu\text{m}$ ,锌、铝等金属镀层的厚度不小于 $80\mu\text{m}$ 。

(2) 富锌底漆或金属镀层的外面必须涂装适当厚度的涂料防护层。应优先选用厚浆型环氧沥青涂料或氯化橡胶系列防腐涂料,涂层的干膜总厚度不小于 $250\mu\text{m}$ 。

(3) 在矿井淋水的pH值为6以下的酸性水的矿井中,一般不选用富锌底漆或锌、铝等金属防护层。防护涂料应选择氯化橡胶系列防腐涂料、聚氨酯类防腐涂料,也可选择油

溶性酚醛防腐涂料和过氯乙烯防腐涂料。涂料中的颜料应尽量选用耐酸性好的玻璃鳞片、片状云母氧化铁等，尽量提高涂层的封闭性能，延长设备的使用寿命。涂层的总厚度必须大于 $250\mu\text{m}$ 。

(4) 大多数防腐涂料在低温下施工困难。在冬季施工，最好选择氯化（氯丁）橡胶系列防腐涂料，也可选用低温固化环氧涂料，若使用普通环氧沥青系列防腐涂料或聚氨酯等其他涂料，最有效的办法是提高施工环境的温度。

(5) 井筒安装时，用于漆膜损坏部位的修补，应选择GS-841干湿两用防锈漆；用于井筒装备的日常维护，先使用GS-861干湿两用带锈底漆，外部再涂刷GS-841干湿两用防锈漆，涂层总厚度不小于 $150\mu\text{m}$ 。

## 第二节 涂料消耗量的计算

在防腐涂料选定之后，防腐施工部门首先遇到的问题就是如何计算、确定涂料的消耗定额，以便提出施工预算和涂料的采购计划。正确合理地确定涂料的使用量是保证工程用料，避免积压、浪费的前提，也是克服消耗无定额、质量无标准的有力措施。

确定涂料的消耗定额是一个比较复杂的问题。影响涂料消耗量的因素很多，如涂料的种类、工件的形状、表面处理状况、施工条件、施工方法、施工人员的技术熟练程度等都对涂料的使用量有很大影响；另外，在施工中，不可避免地会有滴落、飞溅、挥发、工具和包装容器的沾附及残留等损耗都会对涂料的使用量产生一定的影响，在计算涂料消耗定额时必须予以考虑。

确定某项工程的涂料使用量主要依据涂装面积和涂层厚度。由于不同涂料的粘度、固体分含量等指标各不相同，每种涂料的干、湿膜厚度比也不一样，因此，事前必须通过实验来确定某种涂料的单位面积使用量。

单位面积的涂料使用量既可通过实验室试验测得，也可根据现场施工的实际消耗推算，还可根据涂料的有关技术指标计算出来，主要试验、计算方法如下：

### 1. 涂料固体比重法

$$\text{涂料耗用量 (kg)} = 10^3 \times \frac{\text{涂层厚度 } (\mu\text{m})}{1} \times \frac{\text{涂料固体比重 (g/cm}^3\text{)} \times \text{涂刷面积 (m}^2\text{)}}{\text{涂料的固体含量}}$$

涂料的固体分含量（重量百分比）是通过测定均匀标准的涂料样品干燥后的剩余物而求得的。涂料固体比重的测定需要预先制备游离涂层，待干燥后，在天平上测得其在空气中的重量，再根据阿基米德定律用细铜丝将干涂层悬挂在天平上，将试样全浸入水中，称得其在水中的重量，精确到1mg，然后用下面的公式计算涂料的固体分比重。

$$\text{涂料固体分比重 (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{空气中干涂层重量}}{\text{空气中干涂层重量} - \left( \text{在水中称重} - \text{悬挂线重} \right)}$$

此关系式的右端的分母应除以水的比重，但由于水的比重近似于1g/cm<sup>3</sup>，所以可省去此项，但应注意最后右端分母的单位应变成立方厘米。

在进行水中称量实验时，表面及涂层间的气泡应驱尽，否则，测得的结果会偏小。

### 2. 直接计算法

在涂料生产厂提供的产品说明书中，一般都给出涂料的比重，干、湿漆膜厚度比等数据，根据煤炭系统防腐施工数量大、涂层厚的特点，可直接采用下面的公式计算出涂料的使用量。

$$\text{涂料使用量 (kg)} = 10^3 \times \text{预期涂层厚度}(\mu\text{m}) \times \text{涂料比重}(\text{g/cm}^3) \times \\ \times \text{防腐面积}(\text{m}^2) \times \frac{\text{湿膜厚度}(\mu\text{m})}{\text{干膜厚度}(\mu\text{m})}$$

由于涂层的不均匀性及不可避免的施工损耗，涂料的实际使用量一般都高于理论计算值。不同施工方法的涂料使用量也相差很大。根据煤炭系统煤矿井筒装备防腐施工的实践，若采用刷涂施工，涂料的使用量应在理论计算值的基础上乘以1.15，采用高压无空气喷涂施工，应乘以1.30，若采用空气喷涂，则应乘以1.45。

### 第三节 防腐涂层的施工

“三分涂料，七分施工”。在防腐涂料选定之后，施工就成了最重要的因素。在防腐蚀施工中，设备的结构及表面状况对防腐涂层的质量及使用寿命有极大的影响。在井筒装备设计和加工时，必须考虑设备的结构是否合理，是否便于防腐施工，是否存在不易排放物料的死角，焊缝是否饱满、平整，能否引起缝隙腐蚀，是否存在能引起接触腐蚀的不合理结构等因素。对于需要进行防腐处理的各种工件和设备都必须符合防腐蚀施工的要求，才能保证防腐施工的质量，以达到预期的防腐蚀效果。如果切割、烧焊部位存在焊瘤，焊缝处存在凹陷、孔隙等缺陷，则会引起防腐涂层与基体金属之间附着力不好，在使用过程中，易发生鼓泡、剥落。防腐施工单位在接受防腐任务时，必须对需要进行防腐处理的设

备、工件进行认真的检查、验收，对不符合要求的设备不能凑合施工，以免影响防腐施工的质量。

表面处理是防腐蚀施工的头一道重要工序，它对防腐涂层的质量和使用寿命起着决定性的作用，必须十分重视。煤矿井筒装备防腐蚀，大多采用酸洗、钝化表面处理工艺，也可采用喷砂或喷丸除锈。酸洗除锈可满足涂料防护层和热浸镀锌防护层对表面处理的要求；如果采用热喷镀锌或热喷镀铝防护层，则必须采用喷砂或喷丸除锈。

煤矿井筒装备采用涂料防护大多数单位采取刷涂施工，也有些单位采用高压无空气喷涂施工。刷涂施工不要其他机械设备，施工方便，适应性强。由于煤矿井筒装备结构不规则，采用刷涂施工，既能很方便地涂刷到设备的各个部位，能消除死角。另外，由于沾漆的毛刷在金属表面往复涂刷，使涂料容易渗透到金属微孔中去，能提高涂层的附着力，还能节省涂料，减轻对环境的污染。其缺点是劳动强度大，工作效率低，涂层均匀性差，表面往往有刷痕。为了提高刷涂施工的涂层质量，施工时必须注意以下几个问题：

(1) 应根据工件的形状、表面积大小和所用涂料的粘度选用适当的刷子，总的原则是，表面积大的工件应尽量选用大号刷子，形状复杂的工件应尽量选用小号刷子，粘度高的涂料要使用短棕刷子，粘度低的涂料要用长棕刷子。刷子沾漆之前，要首先检查是否掉毛。新刷子用前要反复搓擦几次，把不牢的毛除去，若刷子严重掉毛，则不宜使用。

(2) 涂刷施工时，刷毛浸入涂料的部分不应多于毛长的 $\frac{2}{3}$ ，每次沾少许涂料，先斜后直，纵横涂刷，使成为均匀一致的涂膜，最后用刷子修饰边缘、棱角，垂直的表面最后一次涂刷应由上往下进行，水平的表面最后一次涂刷应按来

光方向进行。

(3) 在涂料施工中,应依次按顺序进行,切忌随意乱涂。应尽量选用不同颜色的底、面漆,以避免漏涂,也要避免流挂,要使涂层均匀一致。

(4) 采用刷涂法施工,涂料的最佳粘度是40~90s(用涂-4杯粘度计测量)。采用高触变性的厚浆型涂料也不必稀释,可直接进行涂刷。若因涂料放置时间过长,粘度过大时,可酌情添加少量专用稀释剂,但不宜超过涂料用量的5%。

(5) 施工完毕后,刷子要及时用溶剂清洗干净,凉干放起来,下次再用。注意刷子不要长时间泡在溶剂中,因为矿山涂料的溶剂溶解能力强,易使刷子的粘接剂遭到破坏,使刷子大量掉毛,影响涂装质量。

高压无空气喷涂在造船行业广泛采用,近年来,在煤矿井筒装备防腐中也有一些矿井使用。它具有施工效率高,漆膜均匀,光洁度好,适用于罐道、罐道梁、管道、井架等大型构件的防腐蚀涂装。

高压无空气喷漆系统包括空气压缩机、调压阀、高压泵、喷枪等部分。高压泵是该系统的核心,它是由低压空气缸、压缩空气分配室、高压油漆缸等三部分组成。工作时需要 $4 \times 10^5 \sim 6 \times 10^5 \text{Pa}$ 的压缩空气作动力,驱动往复运动的柱塞泵。由于泵内低压缸活塞的有效面积比高压油漆缸的活塞面积大得多,因而使涂料获得高压,其数值一般为空气压力的25~36倍,达到 $10^7 \text{Pa}$ 以上,然后让涂料通过一个特殊的喷嘴到达大气,立刻剧烈膨胀,雾化成极细的漆粒,喷射到工件表面上。高压无空气喷涂可提高涂层的致密性、均匀性和附着力。

高压无空气喷涂使用的涂料需经100目的滤网过滤,防

止喷嘴堵塞。涂料的粘度用涂-4杯粘度计测量控制在100 s以下。对于触变性的厚浆型涂料,也可以直接使用高压无空气喷漆机喷涂,一次可得到100~300 $\mu$ m厚的漆膜。

高压无空气喷漆机是利用低压空气驱动高压泵使涂料增压,而压缩空气与涂料不直接接触,因而增压喷出的漆流里不混有压缩空气,使由于夹带而飞扬到大气里的漆雾显著减少,使涂料的消耗量比一般压缩空气喷涂减少10%以上。

高压无空气喷涂不宜使用含有低沸点溶剂的涂料。因为在喷涂时,低沸点溶剂挥发快,易产生拉丝现象。调整涂料粘度时,要尽量少加溶剂。

每次喷涂后,都必须使用大量溶剂对设备进行彻底的清洗,尤其是双组分或多组分涂料更要经常清洗,否则会造成管道堵塞,影响下一次使用。

为了达到预期的防护目的,防护涂层必须达到规定的涂装遍数和涂层厚度。根据煤矿井筒的环境特点,煤矿井筒装备涂料防护层的厚度不应低于250 $\mu$ m,并至少应通过4次涂装来达到规定的厚度。在设备的边角、螺钉、焊接、铆接等处,涂层的厚度有必要再增加一些。

在现场施工中,经常发生只注意涂装遍数而不注意漆膜厚度的倾向。为了施工方便,涂料中大量添加稀释剂,结果漆膜厚度显著降低,严重地影响防护效果。

一般说来,涂料粘度、涂刷遍数和涂层厚度三者是紧密相关的。认真控制涂料的施工粘度和涂装总遍数,可保证涂层的总厚度。井筒装备防腐施工时,从工厂购买的涂料一般不允许添加稀释剂。由于涂料放置时间过长而涂料粘度过大时,稀释剂的添加量也不允许超过涂料重量的5%。

为了保证防腐施工的质量,在施工前必须对施工人员进行

行专门的技术培训和考核，还要建立一套完整的质量检查制度，质检员要随时对施工质量进行抽查。现场使用的检查仪器主要有涂-4杯粘度计、湿膜厚度计、干膜测厚仪、刀片、尺子等。主要检查涂料粘度、湿漆膜厚度、干漆膜厚度、漆膜附着力。发现问题，及时调整、补救。只要每道涂层的施工质量能得到保证，最后得到的涂层就会符合施工技术要求的規定。

另外，对于以热浸镀锌、热喷镀锌、热喷镀铝等金属镀层作底部防护层的重防腐涂层，其施工方法及要求参见第五章的有关内容，本章不再重复。但要注意涂料与金属防护层之间的配套性和长期性。金属镀层采用机械的方法或化学的方法进行表面处理，可防止一段时间后在锌层和涂料层之间产生锌皂，以保证重防腐涂层的稳定性和长久性。

#### 第四节 涂料施工中常见的弊病及预防

由于涂料自身的质量问题，或者由于管理、使用不当，在涂料运输、贮存及使用过程中会出现一些问题，有些弊病不仅会影响涂层的外观质量，而且会降低涂层的防护能力。为了保证井筒装备的防腐质量，我们需要了解弊病产生的原因，采取相应的措施，防止弊病发生。当弊病出现时，要采取有效的措施，及时加以消除。

(1) 变稠，即涂料粘度增大。涂料在贮存过程中变稠的原因很多，如树脂聚合过度；树脂的酸值过高，与碱性颜料化合成盐；颜料中含有水分或水溶性的盐未洗净等都会使涂料在贮存过程中变稠。这些问题需要生产厂在原材料选择方面加以改进。另外，包装桶漏气、漏液、溶剂挥发和贮存期度过低等也会使涂料变稠，采取相应的措施即可解决。

(2) 沉淀。矿用涂料发生沉淀的主要原因是颜料的密度大, 颗粒太粗, 体质颜料太多, 涂料中的稀料太多而粘度太小等。防治的方法是在贮存期间定期将漆桶倒放或横放、翻转, 使用前充分摇动, 搅拌混合均匀, 用100目的铜网过滤后使用。

(3) 胶凝。由于漆料或油料聚合过度, 聚合胶体把细的颜料粒子结成大块, 不是粘度增高, 便是结成冻胶, 这是一种物理变化。经过机械强力搅拌, 还可以重新分散开。若胶凝是由于少量脂肪酸或树脂的游离酸所引起, 加入较多量的同类漆便可把胶凝转化为液体。

(4) 流挂。在垂直的表面涂漆, 部分涂料在重力作用下产生的流淌现象, 形成不均的漆流, 称为流挂。发生流挂的原因是由于涂料粘度过低, 漆膜涂得太厚, 漆内重质颜料过多, 涂料干燥太慢等。另外, 由于被涂物体表面凹凸不平, 或表面有水; 涂刷工具使用不当, 如漆刷太小, 刷毛太软、太短, 涂刷不均匀, 转角或沟槽存漆过多, 漆刷沾漆过多等也会发生流淌。喷漆时, 由于喷距不一致或压力不均匀也容易产生流挂。防治的方法是保持工件表面干燥无水, 调配漆料时控制好粘度, 选用挥发速度适中的溶剂, 采用合适的漆刷, 提高施工技巧, 喷涂施工要掌握好喷漆的压力和距离。

(5) 咬底。是指面漆中较强的溶剂侵蚀底层漆膜, 使底层的漆膜发生软化、膨胀、甚至起皱的弊病。其主要原因是由于底、面漆不配套, 或者底层漆尚未干透就涂上面漆。预防的方法是在涂料施工时注意底、面漆的配套性和干燥情况。出现咬底的地方要铲除干净, 重新涂刷, 待底漆充分干燥后再涂刷下一道漆。

(6) 慢干或返粘。漆膜超过干燥时间仍未全干叫做慢

干, 涂料干结成膜后, 仍有粘手的现象叫返粘。产生慢干或返粘现象除涂料制造方面的原因外, 在施工方面主要有以下几个问题: 施工现场的湿度太大或温度太低; 被涂物件表面残存有松脂、蜡质、矿物油污及酸、碱、盐等都会造成漆膜的慢干或返粘。属于慢干的, 可适当延长干燥时间, 或进行适当的加热处理, 提高施工现场的温度, 或改用其他较适宜的防腐涂料。如果是表面处理不好, 由污染物引起的返粘, 则应把返粘部分的漆膜清理掉, 用溶剂清洗干净, 再重新涂漆。如果是环氧类固化剂型的涂料的慢干或不干, 则是由于固化剂的用量太少, 应适当增加固化剂的用量, 对于不干的漆膜, 一般应清理后重新刷漆, 也可用含有固化剂的溶剂涂刷一遍。

(7) 表面粗糙。这是由于涂料中存在颗粒状的杂质而引起的一种弊病。漆膜上存在颗粒杂物, 将使漆膜颗粒突起的部分提前损坏, 影响防腐效果。产生漆膜表面粗糙的原因如下: 涂料在制造过程中研磨、过滤不好; 施工中使用的工具(如盛漆容器、漆刷等)不干净、残存有细碎的漆皮、刷毛; 喷涂挥发性涂料时, 枪口小、压力大、距离太远; 施工现场不干净, 粉尘太大, 漆膜还没干燥就落下砂尘; 被涂表面不干净; 不同性质的油漆混合使用等。防治的办法是在施工前将涂料过滤好, 将施工工具清理干净, 保持施工环境的清洁, 选用合适的喷枪, 调节好喷涂的压力和距离, 工件表面要处理干净, 同时还要注意不要把性质不同的漆料混合使用。对于已出现的严重粗糙表面, 应除掉重新涂漆。

(8) 泛白。这是溶剂挥发型涂料涂装后在干燥过程中出现的漆膜无光、半透明和泛白等弊病。主要原因是施工环境的湿度太大(相对湿度超过80%), 溶剂挥发太快, 使涂

层表面的温度急骤下降,大量水蒸汽凝聚于漆膜表面,引起漆料中的树脂析出;工件表面有水,或漆料和施工工具中混入了水分,也会使漆膜泛白。应根据漆膜泛白的原因采取相应的预防措施,主要有:

a. 控制施工环境的温度和湿度,相对湿度大于80%时,不得进行涂漆施工,冬季温度较低,应采取保温措施,尽量使施工环境的温度保持在10℃以上;

b. 保持施工工具清洁、干燥;

c. 在漆料中加入适量防潮剂或高沸点的溶剂,例如在挥发性涂料中加入醋酸丁酯、醋酸戊酯、丁醇等可抑制原有溶剂因挥发太快而产生的冷凝作用,防止水气凝聚。

(9) 收缩。俗称发笑,这是漆膜在干燥过程中由于收缩而形成露底之麻点、花脸和球状现象。这种弊病最易发生在环氧树脂漆、聚氨酯漆和红丹底漆的漆膜上。其主要原因是由于这类涂料对基底材料表面的润湿性不好,很难形成一层均匀的漆膜。纯酚醛树脂漆的润湿性极差,因而也容易出现收缩的弊病;另外,漆膜太薄也易出现漆膜收缩。这种弊病的防治应提高表面处理质量,被涂表面既要清洁,又要有一定的粗糙度。有些涂料,如聚氨酯漆,加入少量丁醇即可明显改进漆膜质量。对于已出现病态的漆膜,一般是将表面清洗干净后再重新涂刷。

(10) 针孔。漆膜表面出现的一种圆形凹陷露底的针尖细孔称为针孔。在浸涂或喷涂施工时易产生这种弊病。产生的原因是漆料中存在空气泡或颜料的润湿性不好,以及漆膜太薄等。引起针孔的直接原因有以下几点:

a. 溶剂、稀释剂选择不当,用量太多,或挥发太快;

- b. 稀释漆料时, 温度过低或稀料加的过快, 易形成溶剂气泡;
- c. 底漆中还有溶剂没有挥发就涂了下一遍漆;
- d. 施工时刷子用力过大, 空气泡来不及放出;
- e. 在发汗或有油腻的表面上涂漆;
- f. 施工现场的温度高于 $30^{\circ}\text{C}$ , 涂刷挥发性的漆易产生针孔;
- g. 喷涂时, 喷嘴小、压力大, 喷枪离工件太远;
- h. 沥青漆熬炼不当, 细粒太多, 或沥青漆烘温太高等都会在漆膜表面产生针孔。

预防针孔的产生应认真分析针孔产生的原因, 然后采取相应的措施。

(11) 失光。这是指漆膜干燥后有光, 经过几小时或数天后, 光泽又逐渐消失的一种弊病。漆膜失光的原因: 涂料自身的原因, 如树脂含量太少, 聚合度不当, 或稀释剂太多, 各组分相容性不好; 漆料中含有水分, 颜料太粗, 研磨不好; 表面处理不好, 残存有油污、碱类、水分、蜡质、脏物, 以及表面过于粗糙等; 新的水泥面含有碱性物质会将油性漆膜皂化而失光; 在低温下施工, 水汽凝结在漆膜上, 将刚涂过漆的工件由低温移至高温处, 或被雨水、露水淋湿等也易造成失光; 由于煤气或其他化学气体的侵蚀, 也会引起漆膜不同程度的失光。预防失光, 只能根据引起失光的不同原因而采取相应的措施来解决。

(12) 粉化。随着漆膜失光之后而出现的一种弊病, 它是指漆膜受日光、大气的作用而使涂层表面慢慢成粉状脱落。其原因是由于漆膜受紫外线、水汽、腐蚀性的大气和化学药品等作用, 使颜料颗粒失去漆料的粘附力而造成的。粉化只限

于漆膜表面，每次掉粉很少，逐步向内部深入，直至全部被破坏。防治的办法是合理选用涂料品种，特别是室外地面涂装，一定要选用耐候性好的涂料品种，并保证漆膜有足够的厚度；漆膜未干透之前不能遭受日晒雨淋；在漆料中加入一些碳酸钡作防粉剂。

(13) 开裂。是指漆膜涂刷不久就出现的开裂现象。产生开裂的原因很多，例如，底漆和面漆不配套，在长油度底漆上涂刷较坚硬的面漆，面漆缺乏弹性，两层涂膜的伸缩不一致，容易引起开裂；底漆涂得过厚，未干透就涂上面漆最易开裂；涂料使用前搅拌不均匀，面漆中的挥发分太多；在油性底漆上罩挥发性的面漆等都会造成不同程度的开裂。防治的办法是合理选用配套的涂料品种，施工前将涂料充分搅拌均匀，每层涂刷不宜太厚，而且每层要干透后才能涂下一层。

(14) 脱落。可分为局部小面积脱落和大面积成张脱落。一般局部小面积脱落是由于表面处理不好，局部有水分、铁锈、油垢，灰尘等杂物，涂层在使用过程中，由于环境条件的变化，这些基体表面存有缺陷的局部涂层就容易损坏脱落。大面积成张脱落往往是由于涂料配套不当，底漆附着力差或没有涂底漆。此外，施工环境的湿度太大，表面有潮气，或温度太低等，都会造成漆膜的大面积成张脱落。预防的办法是要合理选用配套涂料，要注意不要在湿度大、温度低的环境中施工，认真搞好表面处理，已出现脱落的地方要除去漆膜，将表面处理干净，重新涂刷。

(15) 鼓泡。涂层局部起泡主要是由于施工时不注意，如搅拌涂料时速度太快，产生一些气泡，涂刷时将气泡带到涂层表面；或由于涂刷速度太快，稀料太多，也会使涂层夹

带气泡。涂层的大面积起泡一般多产生于热固性涂料，由于没有自然干燥好就进行烘烤，或者是升温速度过快，都会造成鼓泡，特别是涂层过厚时，更易鼓泡。防治的办法只能是针对上述原因采取相应的措施。对于已出现的气泡，可用砂布将泡磨掉，再重新涂刷。

## 第八章 玻璃钢复合材料

玻璃钢是一种新型复合材料。它的全称是玻璃纤维增强塑料，缩写为GRP或FRP。玻璃钢具有优秀的防腐蚀性能和物理机械性能，其比重为钢铁的1/4左右，但其强度却可与钢材媲美，因而人们称它为玻璃钢。

玻璃钢是以树脂作基体，加入玻璃纤维及其制品作增强材料，再加入一些辅助材料加工而成。在强腐蚀性介质中，玻璃钢是钢铁材料最理想的代用品。

我国从1958年开始进行玻璃钢材料的开发研究，起初偏重于军事应用，后来逐步发展到建材行业及其他工业部门。1983年我国玻璃钢制品的年产量为4万t，1985年达6万t，1989年的年产量约为10万t。虽然我国发展玻璃钢工业的历史不长，但在加工制造技术方面取得了较大进展。

采矿行业是从1978年前后开始使用玻璃钢材料的，最早用它加工矿井梯子间的栅栏。由于它具有重量轻、耐腐蚀性好等突出的优点，应用效果很好，从而促进了矿用玻璃钢工业的发展。现在矿用玻璃钢制品已发展到玻璃钢风筒、压风管、水管、梯子、踏板、栅栏、罐道梁等设备，个别煤矿的风井实现了全井筒玻璃钢化。玻璃钢制品的产量逐年增加，1989年煤炭系统使用的玻璃钢制品的数量已超过1000t。

### 第一节 玻璃钢的性能和特点

玻璃钢是一种轻质高强度塑料。与普通塑料、钢铁材料

相比，它具有许多优点和特性。

### 一、轻质、高强度

玻璃钢的密度为1.8左右，比金属材料轻得多，仅为钢铁密度的1/4，但它的比强度（即强度与密度之比）可与金属媲美，甚至超过铜合金和钢材。虽然玻璃钢的密度比一般塑料大一些，但其强度要高出一般塑料3倍以上。同样，玻璃钢的密度比木材大1倍多，而强度却高出木材3倍以上。事实证明，与传统的材料相比，玻璃钢材料具有非常明显的轻质、高强度的特点，见表8-1。

表 8-1 玻璃钢与各种材料强度比较表

材料名称	玻 璃 钢	缠绕成型 玻 璃 钢	普通塑料	铝 合 金
密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.5~2.1	1.8~2.1	0.9~1.4	2.8
拉伸强度 (N/cm <sup>2</sup> )	10000~40000	70000~140000	10000以下	20000~60000
比拉伸强度 (N/cm <sup>2</sup> )	8000~20000	40000~70000	7000~11000	12000~23000
材料名称	钛 合 金	钢	铜 合 金	松 木
密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	4.8	7.8	8.3	0.85
拉伸强度 (N/cm <sup>2</sup> )	40000~160000	30000~70000	20000~60000	4400
比拉伸强度 (N/cm <sup>2</sup> )	9000~32000	4000~9000	2500~7000	5170

从表中数据可以看出，玻璃钢的比强度高，尤其是缠绕成型的玻璃钢制品，其比强度大大高于其他金属制品。如果用高强度纤维增强特种树脂，其强度还要高，这就为许多受力结构提供了一种新型的高强材料。使用中，在保证具有同

等强度的前提下,可使受力结构自身的重量大大减轻。在金属笨重且易腐蚀的矿山井下环境中;玻璃钢正可大展所长,是理想的代用材料,其发展前景广阔。

## 二、耐腐蚀性能好

玻璃钢制品耐腐蚀性能优异。它既不像金属那样易生锈,也不像木材那样易朽烂,而且可针对不同的使用环境和腐蚀介质,选用不同的树脂材料和配方,以期达到最佳防腐效果。耐水性能优良的189聚酯树脂是加工、制造矿山设备较理想的树脂材料。近年新开发的双酚A型不饱和聚酯树脂,如197号,323号树脂,以及丙烯酸环氧树脂(MFE-2)等是耐腐蚀性能优良的新产品。

另外,玻璃钢制品也存在着防老化的问题。所谓“老化”是指玻璃钢制品不同程度地暴露于大气、江河、海水、油、酸、碱等介质中,经过若干年后,会发生玻璃钢制品性能下降的变化。紫外线照射是促进玻璃钢制品老化的主要因素之一。由于矿山井下无紫外线照射的条件,因而矿用玻璃钢制品的老化速度缓慢。我国60年代加工的个别矿用玻璃钢制品,1978年加工的风井玻璃钢栅栏等,至今仍然完好,没有明显的变化。

## 三、设计灵活,成型简便

玻璃钢制品不受形状的限制,许多奇形怪状的物件也可用玻璃钢加工成型,而且工艺简单。在实际生产中,许多不规则的异型物品可以用玻璃钢取代金属加工,可大大简化成型工艺,缩短加工周期,提高工作效率。许多制品在模具上成型,可获得上佳的表面光洁度,其工艺过程大大简化。

然而玻璃钢制品也存在以下几个方面缺点,在使用中必须设法改进或回避。

(1) 弹性模量低、刚性差。玻璃钢材料的弹性模量只有钢铁的 $1/20 \sim 1/10$ , 铝的 $1/7 \sim 1/4$ , 给制造一些受力构件和产品带来困难。设计者必须在设计中采取补救措施。例如矿用玻璃钢制品的受力件采用钢材增强。

(2) 耐热性不如金属。玻璃钢制品一般只能在 $100^{\circ}\text{C}$ 以下的环境中使用, 但这与矿用玻璃钢制品关系不大。

(3) 阻燃性差, 易燃烧。一般树脂都易燃烧, 加入阻燃剂又要提高成本, 同时降低制品的物理机械强度。但矿用玻璃钢制品必须很好地解决阻燃问题, 否则将影响矿山安全, 不准下井使用。

(4) 手糊成型生产效率低, 产品质量不够稳定。搞机械化生产, 矿用玻璃钢制品的批量小, 经济上也不太合算。

## 第二节 玻璃钢的化学基础

玻璃钢是一种塑料基的复合材料。它是由合成树脂与玻璃纤维及其制品复合而成。合成树脂是一种有机化合物, 玻璃纤维是一种无机化合物, 两者复合在一起, 可大大增强制品的机械强度, 改善其使用性能。

### 一、合成树脂

玻璃钢所用的树脂基体主要分为两大类。一类是热塑性树脂, 其特点是在加热时会软化或熔融, 能发生流动、变形, 冷却后又能恢复成固体。只要不过分加热使其分解, 加热前后的性质是不会改变的。典型的热塑性树脂有聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚酰胺(尼龙66等)和饱和聚酯等。热塑性树脂一般采用挤出、注塑、吹塑、压铸等方法成型。另一类是热固性树脂。热固性树脂的主要特点是固化成型后树脂的结构发生了变化, 它不能再回复到原来的性

质。典型的热固性树脂有环氧树脂、酚醛树脂、不饱和聚酯树脂、呋喃树脂、聚氨酯和有机硅树脂等。热固性树脂一般采用模压法成型。这类树脂在固化前具有可塑性，在常温或加热的状态下流入模框，在一定的温度下会固化成型，脱模后便是成品。

我们目前生产的矿用玻璃钢制品基本上全部是采用热固性的树脂作基体材料。不饱和聚酯树脂和环氧树脂是使用较多的两种树脂材料。它们均可在常温下固化，加工使用方便。尤其是不饱和聚酯树脂，由于自身粘度小，工艺性能好，成本低，被采矿行业广泛用来加工生产矿用玻璃钢制品。热塑性玻璃钢在我国尚处于研究、开发阶段，当前在采矿行业基本上还没有使用。

## 二、不饱和聚酯树脂的固化反应

不饱和聚酯树脂又称聚酯，是矿用玻璃钢制品的主要基体材料。它是由不饱和二元酸（或酸酐）和二元醇缩聚而成。这类高分子化合物的特征是主链上同时具有多个酯基和不饱和双键。为了加工使用方便，通常将不饱和聚酯树脂溶解在苯乙烯之类的活性单体中。在一般的市售产品中，不饱和聚酯树脂与苯乙烯的含量之比为65:35。

热固性的不饱和聚酯树脂固化前是线性的高分子化合物。这类树脂一般需要加入含有双键的活性单体。它是通过过氧化物引发剂分解产生的游离基引发聚合反应而固化。常用的引发剂有过氧化环己酮和过氧化苯甲酰等。这些过氧化物在较低的温度下能发生均裂反应产生游离基，这些游离基存在着未成对的电子，非常需要夺取其他电子来使本身达到饱和，因而具有很高的反应活性。活性游离基能引发不饱和聚酯树脂大分子链中的双键与苯乙烯分子中的双键进行共聚合

反应。在常温下施工，一般应加入低温促进剂，可使引发剂在较低的温度下加速分解，从而加速热固性树脂固化反应的过程。

由于不饱和聚酯树脂大分子中含有多个双键，在与乙烯类单体的共聚反应中发生交联，形成三向网状结构的分子，使体系充分固化，变成不溶、不熔的热固性分子（见图8-1）。

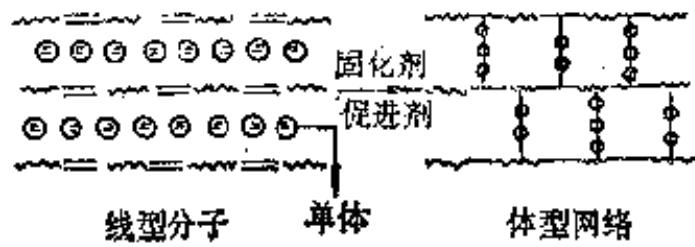


图 8-1 不饱和聚酯树脂固化反应

不饱和聚酯树脂的聚合反应一旦开始，由于伴随着放热反应发生，使体系温度升高，加快固化反应的速度，整个体系会很快固化。

树脂固化完全与否，直接影响产品的质量与性能。要使树脂完全固化，除正确的选择配方，选用适宜的促进剂、固化剂外，还要认真控制好固化温度、压力和反应时间等外界的重要因素。

### 三、复合材料与性能复合

合成树脂与玻璃纤维复合时，树脂是作为粘结剂。在引发剂的作用下，线性的树脂交联成网络结构的体型网络大分子，形成具有较好强度的固体物质。树脂把松散、柔软的玻璃纤维固结在中间，使其成为玻璃钢的“骨骼”，真正起到增强作用。复合材料的成型和性能主要决定于使用的树脂和玻璃纤维材料，不同原料会有不同的复合效果。

玻璃纤维和合成树脂在性能上各有特点,两者复合后,起到了相辅相成的作用,使玻璃钢制品形成新的特性。例如,玻璃纤维的拉伸强度高、阻燃、耐腐蚀、电绝缘性能优良,而合成树脂耐温、耐腐蚀、电性能也好,两者复合成玻璃钢材料后,两者相同的特性得到进一步加强,而相异的则相互补充。另外,树脂将分散的玻璃纤维粘结起来,并将纤维定向、定位,起着应力传递作用,使玻璃钢复合材料的强度更高,性能更优越。

### 第三节 玻璃钢的原材料

玻璃钢是由合成树脂、增强材料和其他辅助材料复合而成。原材料的选择对玻璃钢制品的性能影响很大,在购买原材料时必须予以注意。

#### 一、树脂基体

树脂是玻璃钢的主要组成部分,是玻璃钢的基础材料。玻璃钢制品除了力学性能主要决定于增强材料外,其他性能,如质轻、绝缘、防腐、隔热、塑性等主要都是取决于树脂基体。在玻璃钢材料中,树脂含量一般占20%~60%。

矿用玻璃钢制品主要使用不饱和聚酯树脂和环氧树脂加工,大多为手工操作;一些机械设备的零部件有些采用酚醛树脂加工,一般采用模压成型。热塑性树脂不能手工糊制,都需要机械模压成型。在矿用玻璃钢制品加工中,热塑性树脂较少采用。

##### 1. 不饱和聚酯树脂

不饱和聚酯树脂简称聚酯。是由不饱和二元酸(或酸酐)和二元醇缩聚而成,是矿用玻璃钢制品的主要粘结材料。

不饱和聚酯树脂具有粘度低、工艺性能好,价格低廉、

品种多样的特点,能满足各种不同的使用要求,在采矿行业当前需要量最大。但不饱和聚酯树脂也存在固化时体积收缩率大,强度不太理想等缺点,产品还具有一定的气味和毒性。

我国目前能生产数十种不饱和聚酯树脂,主要是反丁烯二酸酯型。在合成树脂时,改变醇、酸配比,或添加一些其他物质,可生产出不同性能的聚酯树脂,以满足对产品性能的不同需求。例如,若原料中不饱和二元酸的量增加,则树脂双键多,固化快、硬度高、耐热性好,但弹性较差。树脂中所用二元醇的链愈长,则固化后的树脂柔性愈大。丙二醇与乙二醇相比,分子中多了一个憎水性的甲基,因此,用丙二醇为原料生产的不饱和聚酯树脂的耐水性优于乙二醇……。矿用玻璃钢制品常用的不饱和聚酯树脂的牌号见表8-2。

表 8-2 矿用玻璃钢使用的聚酯牌号

牌 号	主 要 成 分	性 能 特 点
302	乙二醇、顺酐、HET酸酐	自身阻燃
7901	顺酐、苯酐、含卤二元醇	自身阻燃、能自熄
197	乙二醇、顺酐、双酚A-环氧丙烷缩合物	耐腐蚀性能好
307	丙二醇、顺酐、苯酐	刚 性
191	丙二醇、顺酐、苯酐	刚 性
196	丙二醇、一缩二乙二醇、顺酐、苯酐	半刚性
189	乙二醇、顺酐、苯酐、醋酐	刚 性
3193	乙二醇、顺酐、苯酐、己二酸	韧 性
323	苯酐、顺酐、丙二醇、D <sub>113</sub> 二醇	刚性、耐腐蚀
199	丙二醇、间苯二甲酸、反丁烯二酸	刚性、耐热(120℃)

不饱和聚酯树脂通常是固体或粘稠状的液体。市场上出售的不饱和聚酯树脂则是加入了一定量苯乙烯的混合液。苯

乙烯和聚酯树脂的比例一般为4:6或3:7。一般情况下,不饱和聚酯树脂最理想的固化剂是过氧化环己酮-萘酸钴体系。在低温和潮湿的条件下,过氧化苯甲酰-二甲基苯胺体系显示了优异的快速固化性能。

通用型不饱和聚酯树脂适用于手糊成型,在70℃以下的环境中,具有较好的耐腐蚀、耐溶剂性能。通用型不饱和聚酯树脂也是外加型阻燃树脂的主要原材料。

用不饱和聚酯树脂加工玻璃钢制品要求在15℃以上的气温条件下进行。树脂的胶凝速度随引发剂、促进剂用量的增加而加快,同时也随温度的升高而加快,温度低于15℃,必须进行后加温固化,否则固化不完全,严重地影响产品的质量。

## 2. 环氧树脂

环氧树脂是分子中含有二个或二个以上环氧基团

$(-C \begin{array}{c} \diagup O \diagdown \\ | \quad | \\ - \quad - \end{array} C-)$  的高分子化合物,也是矿用玻璃钢制品

的主要树脂基体。环氧树脂能与多种类型的固化剂发生交联反应,形成三元网络结构,得到不溶、不熔的体型高聚物。

环氧树脂是玻璃钢制品较理想的基体材料,它具有粘接性能好、机械强度高、固化收缩率低、贮存周期长、耐水、防潮、耐蚀等优点,因而受到各行各业的欢迎。

环氧树脂有多种类型,当前我国主要生产双酚A型(或称E型)环氧树脂。除溴改性双酚A型环氧树脂和氯改性双酚A型环氧树脂具有阻燃性能外,其他环氧树脂均易燃烧,用来加工制造矿用玻璃钢制品均需添加阻燃剂,以保证安全使用。常用的环氧树脂有601, 6101, 634, 618, 637等牌

号。近年来,具有各种特殊性能的环氧树脂不断涌现,为发展玻璃钢工业提供了更多可供选择的基体和改性材料。

环氧树脂采用的固化剂主要有多元胺类、聚酰胺类、酸酐类、咪唑类和树脂类等。低分子量的多元胺类化合物挥发性大,对人体健康和环境都有一定影响,其用量逐年下降;低毒的环氧固化剂聚酰胺和T<sub>31</sub>树脂等其用量迅速增长。

环氧树脂存在着粘度大、工艺性能差、低温不能使用、价格偏高等缺点,在选材时应予以考虑。

### 3. 酚醛树脂

酚醛树脂是价格最低、使用最早的热固性树脂,由于它具有优异的性能,因而在合成树脂中它的产量一直名列前茅。

酚醛树脂是由苯酚、甲醛缩聚而成。分子中由于存在着极性的羟基(-OH),因而具有良好的粘结性能。酚醛树脂分热固性和热塑性两大类。热固性树脂不需另加固化剂。只需加热,就可转变成不溶、不熔的三向网状结构状态。热固性酚醛树脂的抗弯强度、耐冲击强度、介电性能都优于热塑性酚醛树脂。玻璃钢制品一般使用热固性酚醛树脂。

酚醛树脂可用多种树脂进行改性。其中,聚乙烯醇缩醛改性的酚醛树脂,环氧改性的酚醛树脂和二甲苯改性的酚醛树脂均可用于玻璃钢的生产。

酚醛树脂不必添加固化剂,能直接加温、加压固化成型。酚醛玻璃钢制品的热稳定性好,热变形温度高,在较高温度下使用,制品不易变形,强度损失也很小,且有较好的耐腐蚀性能。但酚醛玻璃钢也存在着固化速度慢、固化时有低分子化合物(如水、甲醛等)产生等缺点,因而必须加热、加压成型,而不能采用常温手糊成型,不宜制作大型玻

于试验阶段。

为了保证矿用玻璃钢制品的安全使用,用于井筒中的罐道梁、梯子、栅栏、风筒、水管等除用玻璃纤维增强外,还必须用钢筋、钢带等作进一步增强。

### 三、填料

填料是与合成树脂不发生化学反应,能改善玻璃钢的性能、降低成本的惰性材料。填料的主要作用是调节树脂的粘度,改善树脂性能,降低玻璃钢成型时的收缩率和热膨胀率,降低产品成本,提高表面光洁度。

玻璃钢加工成型的实践证明,加入量少于20%的填料,可填充玻璃布的网格,降低树脂收缩率,减少应力集中,有利于提高制品的强度和弹性模量。

在玻璃钢加工中,加进一部分填料是降低制品成本的手段之一。实践证明,在玻璃钢复合材料中树脂含量占25%左右就能保证有足够好的浸渍和粘接性能。树脂含量过高,无疑是一个浪费。

玻璃钢加工中,最合适的树脂粘度为 $0.4\text{Pa}\cdot\text{s}$ 左右。加入40%的填料后,树脂粘度增至 $0.7\sim 0.8\text{Pa}\cdot\text{s}$ 左右;而再加入4%的苯乙烯后,树脂的粘度又可恢复到 $0.4\text{Pa}\cdot\text{s}$ 左右。

由于玻璃钢有着不同的用途和性能,因而根据选择不同的填料是非常必要的。现将玻璃钢各种性能对填料的要求列于表8-3。

### 四、其他辅助材料

玻璃钢使用的辅助材料很多,就树脂而言有固化剂、交联剂、促进剂;就增强材料而言有玻璃纤维化学处理剂。另外还有脱模剂、稀释剂、触变剂、颜料、紫外线吸收剂、阻燃剂、抗静电剂等。因此,玻璃钢是名符其实的复合材料。

各种玻璃钢使用的胶液成分见表8-4。

表 8-3 玻璃钢各种性能对填料的选择表

目 的	适合使用要求的填料
着色	碳酸钙、二氧化钛、滑石粉、炭黑
触变性	活性二氧化硅、乳液法聚氯乙烯粉末、石棉粉
难燃性	三氧化二锑、氢氧化铝、氯化石蜡、溴系阻燃剂、磷系阻燃剂
耐腐蚀性	滑石粉、二氧化硅、硫酸钡、玻璃粉(片)
耐磨性	石墨、二硫化钼、硫酸钡、石英粉
导电性	炭黑、石墨、氢氧化铝、金属粉
低收缩性	氧化铝、陶土、碳酸钙、玻璃粉、石墨
硬度及抗压性	氧化铝粉、石英粉、瓷粉、还原铁粉

表 8-4 湿法成型玻璃钢的胶液成分表

玻璃钢类型 成分	不饱和聚酯 树脂玻璃钢	环氧玻璃钢	酚醛玻璃钢	环氧改性 酚 醛 玻璃钢	改性呋喃 玻 璃 钢
树 脂	191、196、 197、302、 323、7901、 307等	6101、601、 634、618等	2130、 2124、2127 等	2130酚 醛、6101 环氧	糠醇、糠 醇、6101环 氧、2130酚 醛
固化剂	(1) 过氧 化环己酮- 萘酸钴  (2) 过氧 化苯甲酰- 二甲基苯胺	多元胺类、 聚酰胺类、 酸酐、聚氨 酯等	苯磺酰氯、 对甲苯磺酰 氯、硫酸乙 酯、石油磺 酸	苯磺酰 氯、硫酸 乙酯或乙 二胺、间 苯二胺	硫酸乙酯、 苯磺酰氯混 合
增塑剂	邻苯二甲 酸二丁酯、 塑性聚酯	邻苯二甲 酸二丁酯、 亚磷酸三苯 酯、聚酯树脂	桐油钙松 香	邻苯二 甲酸二丁 酯	聚酰胺、 环氧树脂、 亚磷酸三苯 酯

续表

玻璃钢类型 成分	不饱和聚酯 树脂玻璃钢	环氧玻璃钢	酚醛玻璃钢	环氧改性 酚醛 玻璃钢	改性呋喃 玻璃钢
稀释剂	苯乙烯	丙酮	乙醇	丙酮、 乙醇	丙酮、乙 醇
成型特点	简便	简便	加温、加 压成型，要 求高	简便	加温、加 压成型，要 求高

#### 第四节 玻璃钢的成型方法

玻璃钢的成型方法很多，但使用较广泛的有手糊成型、喷射成型、模压成型和纤维缠绕成型几种。

##### 一、手糊成型

手糊成型是使用最早、最易实施的成型方法，目前在我国应用最广泛。

手糊成型工艺简单，只需毛刷、刮刀、滚筒等简单的工具就可进行玻璃钢制品的制作。该方法虽然原始，但很实用。所用模具成本低，容易维修，投资少，成型技术容易掌握，尤其适用于试制产品或生产量少的大型制品。

手糊成型的主要缺点是生产效率低，产品质量不稳定，内部易产生气泡。另外，由于模具简单，产品尺寸的精确度难以保证。

保证手糊成型玻璃钢制品质量的关键是操作工人的技术熟练程度和认真、负责的工作态度，如果操作马虎，则容易造成部分产品的质量低劣，必须引起高度重视。

##### 二、喷射成型

喷射成型是在手糊成型的基础上发展起来的。是将树脂

和玻璃纤维预先混合，采用机械喷射到模具上的成型方法，实际上是将手糊成型法中的原料供给系统机械化、连续化。

喷射成型需要二个喷枪同时工作，一个喷固化剂加树脂，一个喷促进剂加树脂，在喷出的同时实现混合，参见图 8-2。相应的连续纤维束（无捻粗纱）不间断地被切成一定的长度，用压缩空气及时喷出，使树脂与玻璃纤维堆积在模具表面上，达到要求的厚度。停喷后，用辊轮在上面滚压，驱赶气泡，使制品表面光滑。

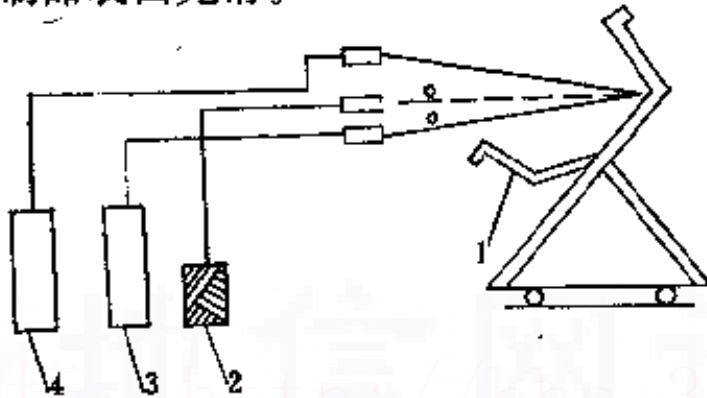


图 8-2 玻璃钢喷射成型示意图

1—模具；2—无捻粗纱；3—促进剂与树脂；4—固化剂与树脂

喷射成型的工作效率高，劳动强度降低。主要缺点是设备投资大、技术要求高、树脂含量高、成本高，而制品强度却较低。另外，喷射成型对环境的污染也较严重。

### 三、缠绕成型

缠绕成型是一种机械化、自动化程度相当高的成型方法，可通过电脑控制，是一种很有发展前途的高效率的成型方法。缠绕制品强度高，适用于内压管、高压容器的制作。

缠绕成型时，用电动机带动芯模旋转，丝嘴按照一定的轨迹运动。用一股或数十股无捻粗纱，边加张力边浸树脂，然后通过丝嘴有规律地缠绕在芯模上。当达到设计要求的厚度时，停止缠绕，固化后脱模，即为成品。

缠绕成型设备复杂，成本高。当前主要用于管道、玻璃钢氧气瓶、玻璃钢槽车等的制作。

#### 四、模压成型

模压成型分热压和冷压二种。模具一般是采用金属对模。冷压成型采用室温固化树脂并加压固化，压力一般为1~5MPa，生产效率高，费用也高，只能生产壁厚小于6mm的制品；热压的温度高，压力高，制品质量好，但设备费用昂贵，耗能高，适用于批量大的产品。

模压法成型需要使用预成型坯、片状模塑料 (SMC) 和团粒模塑料 (BMC) 等原材料。

模压成型的模具一般要求高级铸铁制作，或采用碳素工具钢、碳素结构钢制作，型面采用镀铬处理。这样可提高模具耐用性，容易脱模，并能改善制品的外观质量。

SMC和BMC两种材料在给模具加压时，都能在模具中流动，这给许多不易成型的制品提供了方便，使得能够成型。SMC和BMC的成型温度为120~170℃之间，成型压力为300~600N/cm<sup>2</sup>。

玻璃钢的成型方法各有利弊，一般应根据产品的性能和

表 8-5 玻璃钢成型方法的经济技术分析表

项目 成型方法	指数 经济技术分析指数 (最高为10, 最低为1)							
	设备投资	生产效率	制品强度	工人技术的重要性	技术上的简便	产品质量稳定性	生产灵活性	总分
手糊法	8	1	4	10	10	1	10	44
喷射法	6	3	2	8	9	1	8	37
缠绕法	3	6	10	4	4	8	2	37
模压法	2	8	9	5	5	8	2	39
连续法	1	10	6	1	1	10	1	30
树脂注射法	2	7	6	6	6	8	2	37

要求、几何形状的繁简、批量大小等进行选择,各种方法的经济、技术分析列于表8-5中。

### 第五节 玻璃钢的设计和施工

由于玻璃钢材料存在弹性模量低、易着火的缺点,不符合矿山井下的使用要求,必须进行改性和增强处理,在设计时就要给予充分考虑,施工时要严格按照设计要求进行。

根据原煤炭工业部规定,矿用玻璃钢制品的阻燃性能和抗静电性能必须符合原煤炭工业部标准 MT113-85《煤矿井下用非金属(聚合物)制品安全性能检验规范》中的规定,物理机械性能必须达到矿用玻璃钢制品的技术要求,见表8-6。

表 8-6 矿用玻璃钢制品的技术要求表

性 能	测 试 方 法	技 术 要 求
阻 燃 性	燃烧氧指数法	> 26
	酒精灯燃烧试验	每组 6 条试件的有焰燃烧时间的总和不得超过 18s, 其中任何一条试件的续燃时间不大于 10s
	酒精喷灯燃烧试验	每组 6 条试件的无焰燃烧时间的总和不得超过 120s, 其中任何一个试件的续燃时间不得超过 60s
抗静电性	表面电阻值试验	外表面电阻小于 $8 \times 10^8 \Omega$ (求算术平均值)
物 理 机 械 性 能	拉伸强度 (MPa)	$\geq 150$ (GB1447-78)
	压缩强度 (MPa)	$\geq 240$ (GB1448-78)
	弯曲强度 (MPa)	$\geq 150$ (GB1449-78)

矿用玻璃钢制品的阻燃性和强度是关系到矿山安全的大问题，已引起各方面的关注。要保证玻璃钢制品符合矿用要求，必须从结构设计、原材料选择、成型工艺及其他有关方面采取措施。

### 一、树脂的选择

可制造玻璃钢的树脂种类很多，树脂的选择对玻璃钢制品的性能影响很大。对矿用玻璃钢制品来说，力学性能是要考虑的一个最主要因素。

玻璃钢的力学性能主要取决于玻璃纤维。但玻璃纤维不能承受压缩力和弯曲力，同时玻璃钢的层间剪切强度也主要是由树脂以及树脂对纤维的粘结力决定的。因此，玻璃钢的压缩强度、弯曲强度、剪切强度等均与树脂本身有关。使用中，应根据不同的力学要求，选择不同的树脂基体，见表8-7。

表 8-7 常用热固性树脂浇铸体力学性能表

性 能	树 脂	634环氧树脂 (苯酐固化)	307不饱和 聚酯树脂	酚醛树脂
伸长率		1.7	5	1.5~2.0
拉伸强度 (N/cm <sup>2</sup> )		5800	4500	4200~6400
拉伸弹性模量 (N/cm <sup>2</sup> )		$3.6 \times 10^8$	$4.3 \times 10^8$	$3.2 \times 10^8$
压缩强度 (N/cm <sup>2</sup> )		13000	15700	8800~11000
压缩弹性模量 (N/cm <sup>2</sup> )		$3.9 \times 10^8$	$3.9 \times 10^8$	$3.5 \times 10^8$
弯曲强度 (N/cm <sup>2</sup> )		9000~11000	4800	7800~12000
弯曲弹性模量 (N/cm <sup>2</sup> )		$3.7 \times 10^8$	$3.01 \times 10^8$	$3.6 \times 10^8$
剪切强度 (N/cm <sup>2</sup> )		6200	2050	
剪切弹性模量 (N/cm <sup>2</sup> )		$1.38 \times 10^8$	$1.44 \times 10^8$	

热固性树脂的固化程度对玻璃钢的力学性能影响很大,为了保证矿用玻璃钢制品的机械强度,除选择力学性能优异的树脂外,还要保证加工条件,使树脂完全固化。

## 二、结构增强

由于玻璃钢制品存在弹性模量低和剪切强度低等缺点,在许多情况下,仅用玻璃纤维或其制品增强的玻璃钢制品难以满足矿山条件对玻璃钢制品机械强度的要求。如矿用梯子、罐道梁、栅栏等在使用中均可能受到较大的冲击力和剪切力,单纯的玻璃钢制品难以承受。这时可采用钢筋、钢带、钢板等加入玻璃钢中进一步增强,以保证足够的强度。

## 三、成型工艺

玻璃钢的成型一般与温度、压力、反应时间等有关,固化温度是一个重要指标。

玻璃钢固化一般分为常温固化(15~25℃),中温固化(60~90℃)和高温固化(90~170℃)三种。手糊一般采用常温固化,缠绕成型一般采用中温固化,只有片状模塑料(SMC)和团状模塑料(BMC)成型才采用高温固化。

为了进一步提高矿用玻璃钢制品的机械性能,玻璃钢厂必须建一个烘烤炉。玻璃钢制品采取室温或中温固化后,再移入烘炉,逐步升温进行后固化处理;玻璃钢制品的机械强度将有大幅度的提高。

## 四、玻璃纤维的前处理

合成树脂是有机材料,玻璃纤维是无机材料。为了防止玻璃纤维的损伤,在拉丝时,要施加石蜡乳剂浸润剂作玻纤保护剂。这种保护剂会严重妨碍树脂和玻纤之间的粘接,影响制成玻璃钢产品的强度和其他性能。

为了使玻璃纤维和合成树脂之间获得良好的粘接性,加

工前必须对玻璃纤维进行表面处理，也就是将玻璃纤维表面的蜡质润滑剂等除去。常用的热处理方法是在150~500℃的温度下烘烤脱蜡，既要尽量除去浸润剂，又要保证不降低玻璃纤维的强度。

为了改善玻璃纤维和树脂的粘接性，一般在热处理后还要进行表面化学处理，以提高两个界面之间的粘接力。玻璃纤维的化学处理剂实际上是一种偶联剂，偶联剂是一种分子两端含有不同性质基团的化合物，其一端与玻璃纤维表面反应，形成坚固的键；另一端与合成树脂发生作用形成化学键。偶联剂以化学键的形式将玻璃纤维和合成树脂紧密地结合在一起，将玻璃钢内部界面间的粘接从物理结合变成化学结合，从而使玻璃钢制品的强度大大提高。

玻璃钢制品最广泛使用的偶联剂是甲基丙烯酸氯化铬络合物，商业上称“沃兰”。我国生产的“沃兰”为异丙醇溶液，易溶于水，适用于各种树脂。

沃兰偶联剂一般先配成2%的沃兰水溶液，再缓慢地加入2%浓度的氨水，直到pH值为5~6时为止，这时溶液呈浅绿色。为了提高沃兰的偶联效果，最好与KH-550同时使用。

玻璃纤维及制品放在配制好的沃兰溶液中浸渍后，还必须烘干才能使用。沃兰溶液处理的玻璃纤维一般应在140℃的温度下烘烤10~15min。不同偶联剂溶液处理的玻璃纤维其烘烤温度和时间各不相同。其他可供选择的偶联剂有A-151, A-172, A-174, A-1100, A-187等。

用经过热处理和化学处理的玻璃纤维制品成型的玻璃钢，其强度将大大提高。实践证明，热处理后浸润剂的残留量越少，化学处理效果越佳，玻璃钢的强度就越高。有人曾用0.2mm的玻璃纤维方格布和3193不饱和聚酯树脂成型玻璃

钢，其处理前后的数据列于表8-8中。

表 8-8 玻璃布处理前后的玻璃钢性能表

玻璃布处理情况	弯曲强度 (N/cm <sup>2</sup> )	
	干 态	淡水煮 2 h
未处理	27800	16500
热洗处理	30400	22000
500℃热处理(烘6min)	30800	10400
500℃热处理(烘6min)再经偶联剂溶液处理	41200	36600
350℃热处理(烘6min)再经偶联剂溶液处理	32700	24800

由表8-8可见,玻璃布经热处理和化学处理后,能够有效地提高玻璃钢的强度。但热处理的温度和时间要选择适当,这主要从试验中得到。市场上供应的玻璃纤维方格布有不少已进行过热处理和化学处理,在使用时就不必再进行处理了。

判断购买的方格布是否进行过处理,首先从布的外观看,如果呈现蛋清色,就未经处理。另外用火柴点一下,看其是否烧着,是否有蜡的气味?能烧着,并有蜡气味者是未经处理的玻璃布。

### 五、阻燃、抗静电

玻璃钢所用合成树脂均为有机高分子化合物,主要是由碳、氢两种元素组成,本身易燃烧,表面易产生静电积聚。

为了保证非金属制品在矿山井下的安全使用,原煤炭部曾规定,在煤矿井下使用的非金属材料,自身必须阻燃,表面不得存在静电积聚。

玻璃纤维是无机物,自身为不燃物。改进合成树脂的易燃性能,使其具有难燃或自熄性,则可使玻璃钢材料阻燃。

最好的阻燃措施是选用不燃或自熄性的合成树脂。这种树脂的结构中含有某些自熄性的元素或基团,如上海生产的

302 聚酯树脂和无锡树脂厂生产的 EX-40 溴化环氧树脂，本身就是自熄型的新型树脂。用这种树脂生产的玻璃钢质量稳定，阻燃性能好，机械强度高。但成本较高，难以大范围推广使用。

廉价而实用的阻燃方法是在通用型合成树脂中加入阻燃剂来达到阻燃的目的。常用的阻燃剂有有机卤化物、磷酸酯、超细氢氧化铝等。它们以适当的比例，以单独或几种组合的方式加入到合成树脂中，可起到较好的阻燃作用。溴系阻燃剂与三氧化二锑组合，有机氯类化合物与氢氧化铝、磷酸酯类化合物组合都能获得较好的阻燃效果。在煤炭系统被广泛采用。

克服静电积聚的方法也有二种。一是在树脂内添加抗静电剂，二是在非金属制品表面涂刷抗静电涂料。

常用的抗静电剂有金属粉、石墨粉、碳黑和一些表面活性剂。树脂中加入适当比例的抗静电剂，可起到防止表面静电积聚的作用，但同时也降低了制品的物理机械性能。尤其是有机抗静电剂的加入，对制品的物理机械性能影响较大。而石墨粉、碳黑均为黑色，其遮盖力强，这就大大限制了其使用范围。

制品表面涂刷抗静电涂料是矿用玻璃钢制品最常采用的抗静电方法。KR-1型抗静电涂料是适用于各种类型的玻璃钢制品和各种聚烯烃塑料制品表面涂装的溶剂挥发型涂料，它在非金属制品表面有优秀的附着力，并可使表面电阻降到  $10^{-6} \Omega$  以下，而玻璃钢制品的机械强度则不发生任何变化。

## 第九章 老矿井井筒装备的防腐蚀维护

### 第一节 老矿井井筒装备防腐的现状

井筒是矿井的咽喉,它既是煤炭提升、人员进出、物料上下、供电、排水、通风的通道,又是整个矿井的安全出口。矿井井筒能否正常运行,直接关系到煤炭生产和矿山的安全。

煤矿井筒装备主要是由钢铁材料加工制作。安装一个井筒少则需要上百吨,多则需要上千吨的钢材。煤矿井筒内的主要特点之一是阴暗、潮湿、下部有较大的淋水;另一特点是风量大,风速高,供氧充足。因而煤矿井筒内具备金属发生电化学腐蚀的两个基本条件——氧气和水分,煤矿井筒装备的腐蚀状况相当严重。据调查,一般是北方、干旱地区腐蚀较轻,南方和沿海地区腐蚀严重。随地区和水质的不同,井筒内钢铁的腐蚀速度有很大差异,其腐蚀速度一般在 $0.2\sim 1.2\text{mm/a}$ 之间。井筒装备的使用寿命一般为 $10\sim 15\text{a}$ ,腐蚀严重的地区,井筒装备的使用寿命不足 $10\text{a}$ 。更换一次井筒装备,需要累计停产 $60\text{d}$ 以上,既要花费大量人力、物力,又要影响生产,造成巨大的经济损失。矿山设备的腐蚀是影响煤炭产量和矿山安全的重要因素之一。

从80年代初开始,煤炭系统逐步重视腐蚀对煤炭生产和矿山安全造成的影响,矿山设备,特别是煤矿井筒装备的防腐状况有了很大变化,先后研制成功了多种矿山专用防腐涂

料,摸索出一套适合煤矿井筒装备防腐使用的施工工艺,使井筒装备的防腐质量大大提高,使用寿命可延长10 a 以上,一般情况下可保证30 a 不要更换。

但是我国还有2000多对在安装时没有进行认真防腐处理的老矿井,现在已严重锈蚀。按照《煤矿井筒装备防腐设计、施工及验收规范》在现场对这些已严重锈蚀的井筒装备重新进行防腐处理是困难的。首先井筒环境中不能像在地面那样进行高质量的表面处理,喷砂(丸)除锈在井筒中不能使用,酸洗除锈在井筒中更无法进行。再者,一般矿山涂料和其他常规涂料在井筒这种高湿度、大淋水的环境中也无法涂刷、固化。

江苏省煤矿研究所根据老矿井井筒装备防腐蚀维护的需要,以及煤矿井筒的环境特点和现场防腐施工的要求,研制了GS系列干湿两用防腐涂料和井筒装备防腐维护施工工艺。该工艺要求在涂漆之前采用人工机械除锈和水冲洗相结合的表面处理方法,然后再涂刷一道GS-861干湿两用带锈底漆和二道GS-841干湿两用防锈漆,获得了较好的防腐蚀效果,一次涂装,可在3~5 a 内起到较好的防护作用。

## 第二节 防腐涂装前的表面处理

金属防腐涂装之前的表面处理,对防腐效果是十分重要的。一般说来,表面处理的质量越高,防腐涂层的耐久性能就越好。从实际使用的角度看,新建矿井的井筒装备在地面进行防腐蚀施工,要求表面处理质量达到瑞典标准中的Sa 2  $\frac{1}{2}$ 级是比较合理的。而在煤矿井筒内要达到Sa 2  $\frac{1}{2}$ 级则是不可能,也是不现实的。因为井筒装备已安装固定,上

下几百米深,设备多,空间狭小,喷砂、酸洗等高质量的表面处理方法都不能实施,只能采用人工机械除锈,配合水冲洗进行表面处理,只能除去钢铁表面松动的锈蚀、旧漆膜、泥砂、煤尘等污物,对于紧紧贴附在钢铁表面的锈蚀则很难除净。但GS-861干湿两用带锈底漆能对钢铁表面残存的铁锈起到较好的转化、稳定作用,在潮湿的钢铁表面也能涂刷、固化。

另外,高压水射流除锈也适合在井筒现场使用。

### 1. 机械除锈

在煤矿井下使用电动刷、除锈枪、风动刷、刮刀、锤、凿、铲、钢丝刷等人工或动力机械,靠人工慢慢清除设备表面的松动氧化皮,疏松铁锈、泥砂、煤尘等各种污物,然后用自来水冲洗干净,再涂刷GS-861干湿两用带锈底漆。

### 2. 高压水射流除锈

高压水射流清洗、除锈是近年来才发展起来的一种新技术。由于它的高效清洗功能,以及无污染、低噪音、低成本等特点,近年发展很快。

高压水射流技术用于老矿井防腐涂装前的表面处理是理想的,虽然不能达到Sa 2  $\frac{1}{2}$ 级的要求,但比手工机械除锈和水冲洗的质量要高得多。高压水射流除锈要求水的压力大于15MPa。

### 3. 磨料射流

所谓磨料射流,也是利用高压水作动力,以极高的速度带动砂粒等坚硬的小磨料颗粒(0.5~2.0mm)运动,磨料撞击锈蚀的钢铁表面,能大大提高高压水的除锈能力。通过调节泵的压力和磨料的用量,可调节磨料射流的除锈能力。

磨料射流用于老矿井井筒装备防腐维护涂装前的表面处理,一般采用10MPa的高压水泵和低比例的磨料用量。老矿井井筒装备采用磨料射流除锈后,再涂刷干湿两用系列防腐涂料,可大大提高涂层的耐久性,减轻劳动强度,是值得推广的一种表面处理方法。

### 第三节 老矿井防腐涂料

老矿井防腐涂料,即GS系列干湿两用防腐涂料,包括GS-861干湿两用带锈底漆和GS-841干湿两用防锈漆。该涂料的主要特点是能在潮湿、有水、有锈的钢铁表面涂刷、固化,解决了煤矿井筒装备和井下设备在现场进行防腐蚀维护的问题。

GS系列干湿两用防腐涂料是由环氧改性氯化橡胶作成膜粘合剂,醋酸丁酯—环己酮作溶剂,配方中添加了适当比例的具有亲水和疏水两种功能的表面活性添加剂,在水中涂刷时,由于涂料与金属表面能产生良好的亲润性,使得涂料在水中能刷得上,贴得牢。由于溶剂的亲水作用,使它能把涂层与基体金属之间残存的水分逐步转移出来,使涂层紧紧贴附在基体金属表面;由于溶剂的疏水作用,使得涂料在水中不能被溶解分散,而保持一个完整的整体。由于络合剂的加入,提高了涂层在金属表面的附着力。

除溶剂和表面活性添加剂之外,GS-861干湿两用带锈底漆与普通带锈底漆的主要差别是铁锈转化剂。普通带锈底漆是以磷酸或丹宁酸作铁锈转化剂的,在水中使用时,铁锈转化剂会因在水中的溶解而流失,造成漆膜疏松、起泡、锈层转化效果差,涂层在钢材表面的附着力也不好,干湿两用带锈底漆是使用一种在水中几乎不溶的弱酸性络合物作铁锈转化剂

的，并加入适量磷酸盐系防锈颜料和其他防锈颜料，干湿两用带锈底漆能使潮湿的钢铁表面残存的铁锈转变成稳定的杂多酸络合物，使铁锈钝化而失去活性，从而达到了稳定锈层的目的。干湿两用带锈底漆用于煤矿井筒装备的防腐蚀维护，降低了除锈的质量要求，节省了大量的人力、物力，缩短了施工周期，在经济上是合算的。

GS-841 干湿两用防锈漆具有良好的物理机械性能和防护性能，能在各种不同的环境中使用，具有和氯化橡胶涂料类似的防腐蚀能力。

GS 系列干湿两用防腐涂料解决了煤矿井筒装备防腐蚀维护的需要，能在各种淋水的矿井中使用，该涂料具有以下特点：

(1) GS 系列干湿两用防腐涂料既能在不同湿度的大气中使用，又能在水中使用，都有较好的涂刷、固化性能，良好的附着力和防护效果，能在各种淋水条件的矿井中使用；

(2) GS-861 干湿两用带锈底漆能将铁锈转化成稳定的形式，人工除锈即可满足其使用要求，避免了繁重的除锈劳动；

(3) GS-841 干湿两用防锈漆的漆膜具有较好的防止大气、水蒸气和水渗透的能力和较好的耐化学腐蚀性能，既能在酸性淋水的矿井中使用，又能在碱性淋水的矿井中使用；

(4) 由于井筒下部淋水较大，在使用过程中，盛漆的容器要完全避水是不可能的。当淋水进入盛漆的容器后，不论进水多少，水、漆都能分开，水在上，漆在下，将水倒出，仍不影响涂料的继续使用和防腐效果；

(5) 该涂料的干燥速度快。涂刷后, 几分钟就能形成漆膜, 6 h 左右, 就能涂刷第二遍漆, 能适应井筒作业的特点, 保证防腐施工质量;

(6) 该涂料与氯化橡胶、环氧沥青、酚醛、聚烯烃等类型的防腐涂料都有良好的配套性, 不论原设备涂刷的是哪种涂料, 使用该涂料进行维护, 都不会出现咬底、脱层等异常现象;

(7) 该涂料的价格与环氧沥青涂料相当, 使用单位容易接受, 有利于大范围的推广。

#### 第四节 老矿井的防腐蚀施工

GS-861 干湿两用带锈底漆和 GS-841 干湿两用防锈漆配合人工机械除锈或高压水除锈, 用于煤矿井筒旧装备的防腐蚀维护, 能获得较好的防护效果。

为了提高防腐涂层的施工质量, 在涂刷防腐涂料之前, 要先用锤、凿、钢丝刷或其他动力机械把设备表面的锈层、旧漆膜、煤泥、泥砂等污物除去, 再用水冲洗干净, 表面仅允许存留少量锈蚀。若能采用高压水射流或磨料射流清理要涂装的表面, 则效果更好。涂料防护层依次涂刷一遍 GS-861 干湿两用带锈底漆, 二遍 GS-841 干湿两用防锈漆, 时间间隔不小于 6h, 干膜总厚度大于 150 $\mu$ m。

GS 系列干湿两用涂料均为双包装, 用前按比例混合, 搅拌混合均匀后放置半小时再用, 其适用期不小于 8h。混合后的涂料粘度较高, 为厚浆触变型, 一般不得随意添加稀释剂。特殊情况下, 也必须使用专用稀释剂, 其用量不得超过涂料量的 5%。若乱用稀释剂, 则可能发生在水中不能使用的问题。

该涂料可在水中涂刷。但对于井壁附近的较大冲击性落水,必须采取适当的遮挡措施,15min以后漆膜表干,遮挡物即可拿掉,否则,将影响漆膜的形成。

对于原来涂料防护层基本完好的部位,原来的漆膜可不必除去,要求在清洗干净的旧漆膜上直接涂刷GS-841干湿两用防锈漆;对于已锈蚀的部分,先除锈、除污,然后依次涂刷GS-861干湿两用带锈底漆和GS-841干湿两用防锈漆。

GS系列干湿两用防腐涂料用于老矿井井筒装备的防腐蚀维护是适宜的,但不宜用于新加工的井筒装备,因为新钢材表面都有一层较厚的惰性氧化皮,对酸、碱都有较大的稳定性,带锈底漆的转化剂是很难将它渗透、转化的。新加工井筒装备的防腐处理必须严格按照《煤矿井筒装备防腐设计、施工及验收规范》执行。

进行老矿井井筒装备防腐蚀维护时,一定要认真遵守施工规程,切不可认为带锈底漆能在任意的锈蚀表面涂刷而不重视防腐涂装前的表面处理。

GS系列干湿两用防腐涂料用于井筒装备和井下旧设备的防腐蚀维护,一般要求涂刷三遍,每平方米需涂料1kg左右,干膜总厚度为150~200 $\mu$ m,其有效防护时间为3~5a。

## 第十章 防腐工作中应注意的问题

近年来，井筒装备的防腐工作普遍受到重视，防腐施工质量不断提高，1988年2月原煤炭工业部颁发了《煤矿井筒装备防腐设计、施工及验收规范（草案）》。对全面提高矿山井筒装备的防腐质量有重要意义。

但是，在执行规范的过程中，也出现了一些问题急需解决和克服，否则将严重地影响防腐工作的开展。

### 一、各级领导要重视防腐工作

金属腐蚀造成的直接和间接损失都是巨大的，认真搞好防腐工作可获得巨大的经济效益。但是矿山设备，特别是井筒装备的防腐工作不但在近期内看不到经济效益，而且还要多付出一定的防腐费用，十几年后才能逐步看到它取得的巨大经济效益。这就要求各级领导，特别是那些能起决定作用的领导要树立长远的全局观点，要像抓安全、抓生产那样认真对待防腐工作，狠抓《煤矿井筒装备防腐设计、施工及验收规范》的落实。工作上给予支持，经费上予以保证，积极支持防腐新技术、新成果的推广，不断提高矿山设备的防腐质量。

### 二、妥善解决防腐定额偏低的问题

煤矿井筒装备防腐工作中遇到的最大问题之一是防腐定额过低。现在执行的防腐定额仍是十几年以前的老定额，当时仅要求涂刷一道红丹漆，一道沥青漆，既不要求表面处理，材料价格也很低。现在防腐技术发展了，对表面处理和防腐涂料的要求都大大提高了，防腐费用也大幅度地增加，

但防腐定额并未作及时地调整。大多数单位都能从实际出发,根据技术的发展和施工需要,合理调整防腐预算定额,保证防腐工作的顺利进行。但也有不少单位不愿修改定额,为了迁就过低的防腐预算定额,不得不选用低档的防腐涂料,或选用手工机械除锈,使防腐新技术无法实施。现在,在一些新建矿井中,既有低档涂料与手工除锈的配套,也有高档涂料与手工除锈的配套,或高质量的表面处理与低档涂料的配套。这都不能获得好的防腐效果。

根据防腐技术的发展实事求是地及时调整防腐预算定额是搞好防腐工作的重要环节。

### 三、培养一支训练有素的专业队伍

“三分涂料,七分施工”。施工人员的技术素质对施工质量起重要作用。有条件的单位最好能建立专门的防腐施工队伍,加强技术培训,购置必要的设备、器材,以利于防腐技术水平的不断提高和发展。没有条件搞专业队伍的单位,平时也要有专人分管防腐工作,注意资料的收集和防腐新技术的学习、引进。施工前,对参加施工的人员要进行专门的技术培训,待考试合格后才允许上岗。施工中严格质量检查,确保施工质量。那种认为防腐工作简单,只是拿着刷子涂涂漆的观念必须彻底清除。

### 四、表面处理方法的选择

《煤矿井筒装备防腐设计、施工及验收规范》规定,新建矿井井筒装备防腐涂装前,表面处理的质量应达到瑞典标准Sa2 $\frac{1}{2}$ 级,推荐采用喷砂除锈或酸洗、钝化表面处理工艺。

喷砂(丸)除锈质量高,效果好,在防腐界早有定论。喷砂(丸)除锈不仅能将钢铁表面的锈层、氧化皮、油污等

清除干净,而且能消除钢件内部的应力,并使表面呈现一定的粗糙度,能提高涂层与基材表面的附着力,延长防护涂层的寿命。尤其是对热喷涂施工,不论是喷涂金属还是非金属,涂装前最好能采用喷砂(丸)除锈。然而,喷砂除锈确实也存在着费用高、劳动强度大、污染严重等缺点,尤其是开放式喷砂,施工现场一般不愿采用。对于采用涂料防护的矿山设备,没有条件采用封闭式喷砂除锈的,可采用酸洗、钝化表面处理工艺,也同样能获得较好的涂装和防护效果。

对于已使用多年的旧设备,特别是井筒装备和其他井下固定设备,在现场进行防腐维护之前,也必须进行认真的表面处理。但喷砂除锈或酸洗、钝化除锈都无法实施时,可考虑采用机械除锈与干湿两用带锈底漆相结合的表面处理方法。也可采用酸洗膏、钝化膏或高压水射流清洗与干湿两用带锈底漆相结合的方法。但是必须注意这两种除锈方法的区别,喷砂除锈和酸洗、钝化除锈工艺适用于新钢材的表面处理;干湿两用带锈底漆和酸洗膏、钝化膏等则只能用于旧设备重新进行防腐维护前的表面处理,决不允许用于新设备的表面处理。

### 五、酸洗除锈的方案选择

酸洗、钝化表面处理工艺是煤矿井筒装备防腐蚀推荐使用的表面处理方法之一,也是国家科委“七五”重点推广项目之一。该工艺从1982年正式应用以来,先后处理了100~200个新建矿井的井筒装备,并推广到了其他行业。

江苏煤矿研究所和淮北矿务局科研所推荐使用的钢铁酸洗、钝化表面处理工艺虽然在配方上有所不同,但效果相似,都已应用了几十个矿井,没有出现明显的技术质量问题,被证明是有效的。

但也有一些单位使用了自己选择的,或其他单位推荐使用的酸洗、钝化液配方,在煤炭系统没有经过实践,结果效果很不好,山西大同矿务局晋华宫矿,山东兖州矿务局东滩矿等都曾有这方面的教训。

另外,有些在机械行业使用的“三合一”、“四合一”除锈液,在煤矿井筒装备防腐中使用,都不会得到好的表面处理质量。其主要原因是使用对象不同。机械行业的零部件表面无氧化皮,仅存在油污和加工后形成的锈蚀,这些处理液是有效的;而煤矿井筒装备是由热轧型钢加工而成,表面存在一层大约15 $\mu$ m厚的氧化皮,氧化皮主要由 $Fe_3O_4$ 和 $Fe_2O_3$ 组成,其结构紧密、且耐酸、碱腐蚀。“三合一”、“四合一”和带锈底漆中的酸很难将它除去,或转化成稳定的形式。兖州矿务局东滩矿主井开始采用“四合一”除锈液除锈,它只能将钢铁表面的氧化皮变得疏松,根本形不成坚硬、致密的保护膜。

另外,不少单位在酸洗除锈过程中,既不对酸洗液、钝化液及时进行检测、调整,也不对除锈质量作认真的检查分析,只是机械地按工序进行操作,其结果相差很大。合格的酸洗、钝化处理要求彻底除去钢铁表面的锈蚀、氧化皮及其他污物,表面呈现光亮的银灰色,在空气中放置不允许出现返锈现象。而当前大多数单位酸洗、钝化后,钢铁表面呈灰褐色或呈现暗棕黄色,没有达到预期的表面处理效果。

在选择酸洗、钝化除锈液配方时,应以实践为依据。首先要选择稳妥、可靠的工艺方案,不能过分地追求工艺简单或成本低。对于研制、开发的新技术、新工艺,应在煤炭系统的工业性应用实践为依据。不同行业,工作条件和使用条件不同,不能生搬硬套其他行业的经验。

## 六、酸洗液浓度的测定

在酸洗除锈过程中,不少单位采用比重计来测定酸洗液中酸的浓度,以估计酸洗液的质量和酸洗时间,这种做法是错误的。纯净酸溶液的比重与酸的含量成正比例关系,一般是酸的比重越大,其酸的浓度越高。但在酸洗过程中,随着酸的消耗,铁离子和其他杂质要不断进入酸洗液中去,时间越长,酸洗的工件越多,则酸的含量愈低,而铁离子和其他杂质的含量则越来越高。这时,酸洗液的比重不但不会因酸的消耗而降低,反而因铁离子和其他杂质的进入而越来越高。这时再用测量比重的方法来确定酸洗液的浓度显然是不对的。

酸洗液的酸度在现场只能用酸、碱滴定的方法进行分析。由于酸洗液的颜色深,在正常滴定过程中又会有 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 沉淀产生,影响滴定终点的判定。酸洗溶液的分析需要采用酸洗液反滴标准碱液的办法,以酚酞的乙醇溶液或甲基红-美兰的乙醇溶液作指示剂,终点比较清晰,基本不受酸洗液颜色和沉淀的干扰。

## 七、根据应用条件,选择防腐涂料

防腐涂料选择、使用不当是导致防护涂层寿命短的重要因素之一。

《煤矿井筒装备防腐设计、施工及验收规范》推荐环氧沥青类防腐涂料和氯化橡胶类防腐涂料作为煤矿井筒装备的防腐涂料。这两类涂料在煤炭系统应用已有10多年,被证明是适合矿山井下设备使用的长效防护涂料。当前井筒装备防腐在涂料选择方面存在以下几个问题。

(1) 氯化橡胶类防腐涂料和环氧沥青类防腐涂料属于中、高档涂料,价格比醇酸、酚醛等常规涂料高。但这些年

来防腐定额一直未作调整，一些矿建单位不得不迁就过低的定额而选用了酚醛调和漆或沥青防锈漆。酚醛、醇酸漆的耐水性差，沥青漆的机械性能不好，用于井筒装备的防护，其效果很不好。

(2) 设计单位有时不能根据矿山条件和施工季节灵活地选用涂料。而设计单位规定使用的涂料品种，施工单位无权更改。这往往造成施工困难。例如，滕南某矿井原计划夏季进行防腐施工，设计单位选用了环氧沥青系列防腐涂料，这是没有任何问题的。但由于工程一再拖期，直到12月份才开始防腐施工，当地气温处于 $0^{\circ}\text{C}$ 以下，又无适当的保温措施，结果由于涂料的粘度过大，拉不开刷子，刷上的涂层也不能正常固化，以至出现了流淌、不干等弊病，既影响了工程进度，又降低了防腐质量。

氯化橡胶系列防腐涂料适应性强，在酸、碱性淋水的矿井中都能使用，在各个季节都能施工，尤其是酸性淋水的矿井和在冬季进行防腐施工时，一般应选用氯化橡胶系列防腐涂料。环氧沥青系列防腐涂料防腐效果比较好，质量比较稳定，受到施工单位的欢迎。但如果施工时的平均气温低于 $10^{\circ}\text{C}$ ，而又无适当保温措施时，一般不宜选用。

#### 八、保证防护层的涂装厚度

涂层的涂装厚度对防护效果是非常重要的。涂层太薄影响防护效果，涂层太厚，特别是一次涂装太厚，涂层难干透，且影响涂层的附着力。煤矿井筒装备涂料防护层的厚度一般控制在 $200\sim 250\mu\text{m}$ ，并至少要通过4次涂刷来达到。但目前大多数单位的涂装厚度达不到规定的要求，有的甚至相差很大，这主要是因为施工人员为了施工方便，在涂料中添加大量稀释剂造成的。也有的因为涂料严重沉淀，施工时

不按规定将沉淀搅起,混合均匀后再用,而是只倒上层清液涂刷,将沉淀丢弃,造成涂层太薄,防护效果不好。

矿用环氧沥青涂料为厚浆型涂料,矿用氯化(氯丁)橡胶涂料固体分含量比较高,粘度较大,施工气温偏低时粘度更大,但涂刷时一般不允许添加稀释剂。如果存放时间过长,或施工时的气温过低时,稀释剂的用量也不宜超过涂料重量的5%。只为了施工方便,大量添加稀释剂的做法是不宜采用的。另外,当涂料严重沉淀时,使用前必须将沉淀搅起,混合均匀后再用,保持涂料配方的合理性。

涂装后,如果干膜厚度达不到规定的要求,要及时采取补救措施,再加涂一至数道,直至达到规定的涂装厚度。

### 九、要保证防护涂层彻底干燥

有些井筒装备安装时,由于工期紧,采取边防腐处理,边安装的办法。工件防腐处理后,马上运去安装。在运输、安装过程中,由于漆膜未完全固化,损伤、破坏严重,大大降低了涂层的防护效果。

为了保证防护涂层的质量,漆膜干透后再挪动也是很重要的一条。涂装时,各遍漆之间要保持适当的时间间隔,以保证涂层内的溶剂全部挥发出来,使涂层彻底干燥、固化。产品说明书中推荐的层间时间间隔一般是指25℃的气温条件,气温低于该温度时,一般应根据每低10℃,层间间隔时间延长1倍的办法进行大致的估算,或者事前作小样测定。

涂装全部完成后,不要马上搬运、安装,也不宜用钢丝绳吊装,要待涂层彻底干燥后再移动,以防漆膜损伤。在25℃的气温条件下,至少要放置7d才允许搬运、安装,温度低时,要适当延长放置时间。那种边进行防腐处理,边进行井筒安装的办法要坚决禁止。

## 十、认真搞好涂料的质量检验工作

根据现场调查,有些矿井确实是因涂料质量不合格而影响了防腐效果。个别厂家多次出现不合格产品,有的涂料在使用时发生了胶凝,不能使用,有的产品的固体分含量和粘度明显偏低,有的胶量偏少,有的沉淀严重等等。

保证矿山涂料的使用质量要从三个方面着手。一是生产厂家要加强责任心,把质量放在第一位,严格按照产品鉴定的配方和生产工艺生产,确保合格产品出厂;二是加强矿山涂料质量的监督管理,必须经煤炭系统有关部门抽检合格,发给生产许可证的厂家才能组织生产,在生产过程中,要不定期地对其产品进行抽检,发现问题及时处理;三是各使用单位在使用之前按照标准对所购涂料进行检验,发现问题,及时处理,以免造成不良后果。

## 第十一章 施工安全

### 第一节 涂料、玻璃钢施工中的安全防护

在涂料施工和玻璃钢制作中，都使用大量溶剂，必须以防火和防中毒为中心，认真搞好安全施工。

(1) 在施工之前，要对施工人员进行一次安全技术培训，使他们熟悉施工中的安全技术规程和安全施工方法，掌握施工机械的使用和维护方法，了解可能接触的溶剂性能、中毒症状、预防及急救方法，这对保证安全施工是非常重要的。

(2) 涂料、玻璃钢施工中使用的溶剂和稀释剂大多是挥发性很强的有毒物质，因此，防毒、防火是头等大事。若是在室内施工，必须有适当的通风、排气设施，工作时要连续开动，尤其是在喷涂车间，每小时至少要使室内的空气全部更换两次，要尽量降低大气中有害物质的浓度，要确保把有害成分的浓度控制在允许范围以内。

(3) 车间防火要引起领导和施工人员的高度重视。施工场所的火种主要来源于明火，碰击产生的火花，电火花和静电发火等。应采取严格的防范措施，彻底根除可能引起火灾的各种隐患。

a. 涂料、玻璃钢施工现场，应严禁吸烟，禁止携带火柴、打火机以及其他火种进入现场。车间内及周围地区应禁止使用明火，现场周围应有“严禁烟火”的大字醒目标语；

b. 施工现场应严格禁止能够产生火花的工作。不得用铁器打开封闭的金属桶盖, 或敲击铁器, 若进行上述工作时, 可使用铜制或木制的工具;

c. 静电发火是人们所忽视的问题。当溶剂或漆液从甲桶倒进乙桶时, 在从空气中落下的过程中, 将分散成许多小滴, 每一小滴在空气中移动的过程中, 都积聚了自己的电荷, 并贮存在乙桶中, 它们与流出液的甲桶形成了电位差, 最后就有可能发生静电火花, 点燃溶剂的蒸汽。因此, 为了有效地防止静电火花, 涂料、玻璃钢车间的设备、管道及容器等都必须接地, 防止静电积聚;

d. 在车间内, 必须安装防爆照明灯, 并定期检查电路及设备的绝缘有无破损, 电动机有没有超负荷, 电器设备的接地是否可靠, 配电盘禁止安装闸刀开关、断路器, 普通电动机必须使用三线插头等。凡是能引起火花而导致火灾的电器设备和仪器仪表都不准使用。

(4) 施工完毕后, 应及时清理余料, 封闭漆桶、清洗工具、设备。擦过油漆、树脂和溶剂的棉纱、破布必须放进有水的金属桶内密封起来, 并定期予以清理烧毁, 不能乱扔、乱丢, 或任其自然堆积, 否则, 也能引起自燃。

(5) 在施工中需要使用空压机、喷漆机以及其他新型机械设备时, 需配备专人负责管理、使用和维护。有关人员应熟悉机械的性能, 保养规则及安全技术措施。使用空气压缩机时, 要注意压力计的指针不能超过极限的压力红线。使用高压无空气喷漆机之前, 应先检查高压涂料缸、高压过滤器的螺母, 高压管接头和气路接头是否旋紧。在喷涂过程中, 最高进气压力不得超过  $0.7\text{MPa}$ 。停喷时, 应及时将扳机的自锁挡片锁住。不论使用何种喷涂设备, 也不论在任何情况

下，喷枪口都不准对着自己或他人。

(6) 施工时，要带安全防护用具，如工作服、手套、护目镜、口罩、胶靴和呼吸器等。施工完毕后，应把它们放在专用柜中保存。

## 第二节 金属镀中的安全防护

井筒装备防腐蚀中的金属镀主要是指热喷镀和热浸镀。这都是将金属熔融的施工过程，若忽视安全防护问题，则可能引起严重烫伤和慢性中毒等重大事故。必须采取有效措施，认真搞好施工中的安全防护工作。

(1) 金属热喷镀、热浸镀必须在通风排气设施齐全、并能正常运行工作环境中进行，在施工过程中雾化或挥发到空气中的金属蒸气必须随时排出，不得扩散到整个工作场所中去。

(2) 从事金属喷镀操作的工作人员，工作时必须戴护目镜、劳保手套和防毒口罩，掌握好喷镀角度，尽量减少回弹，喷枪口任何时候都不得对着他人或自己。

(3) 热浸镀件在入锅浸镀之前，必须彻底干燥，防止水分随镀件进入热镀锅而发生“炸锅”。“炸锅”引起熔融金属四处飞溅，能引起严重烫伤事故，是非常危险的，必须尽力避免。

(4) 热浸镀件进出热镀锅时，必须采用天车提升，入锅速度既要快，又要稳，需防止入锅速度过快、过猛而将滚烫的金属液溅出锅外。出锅后，要用机械的方法迅速将多余的熔融金属除去，并迅速放入冷水池冷却，要待工件彻底冷却后才可用手触摸。

体而中毒，而且还会通过胃和皮肤的吸收而产生危害。人体皮肤如果长期与溶剂接触，就能溶解皮肤表面的脂肪，造成皮肤干燥、开裂及发红等症状，并可能引起皮肤病。因此，在施工中，以及在施工后清洗涂料喷枪和工具时，应尽量不让皮肤与油漆溶剂直接接触，更不能大量用溶剂洗手。施工完毕后，应擦去皮肤上的凡士林，再用温水和肥皂洗手，工作后最好能洗一次淋浴。

(4) 红丹、铅铬黄等均是毒性较大的颜料，在使用含有这些颜料成分的涂料时，一般应尽量避免采用喷涂施工，最好采用刷涂的方法进行施工，并要采取必要的预防措施。

(5) 从事金属喷镀、热浸镀、或从事涂料施工的工作人员，连续工作2个小时后，要到空气新鲜的地方休息一段时间。实践证明，这样做对防止和减轻溶剂、金属蒸气的中毒也是非常有效的。

(6) 从事油漆或金属镀层施工的工作人员要定期进行职业病检查，发现问题，及时采取休息、治疗或调离等措施。

## 第十二章 测试与分析

涂料与涂（镀）层质量的检验与分析是防腐施工中不可缺少的重要环节。通过检验与分析，能保证所用涂料的质量及防腐施工的质量，对提高涂（镀）层的质量和防护效果有重要作用。

### 第一节 涂料的一般检验

矿山涂料产品的检验项目一般分三个方面，一是涂料用作涂饰材料以前检查比重、不挥发分、粘度、贮存稳定性等；二是涂料涂到物体表面时检查使用量、干燥时间等施工性能；三是成膜后检查漆膜厚度、冲击强度、柔韧性、附着力等漆膜质量。

#### 一、取样

取样是检验成败的关键，试验结果的可靠程度与取样的正确与否直接相关，取样时要注意以下三个问题：

（1）取样时所用的工具、器皿必须干燥、清洁，所取的漆样在该批产品中应具有足够的代表性；

（2）所取的样品数量应足以进行要求的全部试验项目，并有足够的剩余量作贮存试验，以及日后需要时可对某些性能作重复试验；

（3）样品贮放在干燥、清洁、密封性好的金属盒内或磨口玻璃瓶内，贴上标签、注明取样日期，并存放在气温变化不大的场所。

## 二、比重

比重系指涂料产品单位容积的重量。矿用防腐涂料一般采用比重瓶来测量其比重；如果需要精确测定涂料的比重，可采用威氏比重天平测量。一般不宜用比重计来测量矿用涂料的比重，因为矿用涂料中含有大量颜、填料，固体分含量高，用比重计测量不准确。

涂料性能测试之前，要求将涂料样品充分搅拌、混合均匀，不得有沉淀或悬浮的颗粒物存在，保证样品的均一性。采用比重瓶测量时，要求温度恒定，称量准确；采用液体天平时，要求漆液均匀，温度恒定，浸没于漆液中的测锤表面无气泡存在。

通过比重的测定可以较快地核对连续几批产品混合后的均匀程度；可知道产品装桶时单位容积的重量；可以计算出单位面积上所耗用涂料的重量。

## 三、不挥发分

不挥发分是指涂料在一定温度下加热，干燥后剩余物重量与试样重量的比值，用百分数来表示。不挥发分是矿用涂料生产中常用的质量控制指标之一。一般采用烘箱法和红外灯法进行测定。烘箱法是矿用涂料采用最多的方法，尤其是氯化橡胶系列防腐涂料，在70℃以上开始发生分解，需在较低的温度下测定，最好采用烘箱法。

测定涂料固体分含量时，先将称量用的表面皿清洗干净，在测试要求的温度下进行恒重 ( $W_0$ )；然后倒入1.5~2.0g要测样品，在天平上精确称量总重量 ( $W_1$ )；尔后将称重后的漆液通过倾斜表面皿使均匀涂布在表面皿的底部，将表面皿敞口放入烘箱中，氯化橡胶类涂料烘箱温度控制在80℃左右，其他涂料控制在90~120℃，烘干、冷却，烘至恒重 ( $W_2$ )

为止。通过公式  $\frac{W_2 - W_0}{W_1 - W_0} \times 100\%$  可计算出涂料的固体分含量。

红外灯法测定涂料的固体分含量比较简单,但不适用于高温分解的涂料。测定时,将红外灯泡固定在铁架上,悬挂于四周均为白铁板的方型箱中,底部铺上石棉及一块白铁板,用调压器控制灯泡的温度。测定样品放置在已调好温度的灯光下面,样品的称量与恒重同烘箱法。

#### 四、粘度

粘度是液体分子间相互作用而产生的阻碍其分子间相对运动能力的量度,即液体流动的阻力,或称内摩擦力,通常以每单位面积所受的力——剪切应力来计算。

粘度的单位叫泊(克/厘米·秒),以P表示( $1P = 10^{-1}Pa \cdot s$ ),这是绝对粘度的量度;工业上常用它的百分之一做单位,称厘泊(1/100泊),以cP表示( $1cP = 10^{-3}Pa \cdot s$ )。在施工现场,绝对粘度一般用旋转粘度计测量。在生产和施工中,条件粘度是最常采用的。条件粘度是一定量的漆,在一定温度下从规定直径的孔所流出的时间,以秒来表示。涂-4杯粘度计最适宜生产和施工现场使用。

##### 1. 旋转粘度计

最常见的有旋转桨式粘度计和同轴圆筒旋转粘度计等。旋转粘度计是利用马达带动转速可以调节、内筒在给定的较低转速下(6~120r/min)转动,使液体的流动条件符合于简单运动,测定内筒在外筒造成的力矩,就可以换算成绝对粘度的数值。具体测试方法可参照仪器的使用说明书进行。

##### 2. 涂-4杯粘度计

该仪器的构造如图12-1所示。以试样从粘度杯流出的全

部时间(s)来作为该试样的条件粘度。涂-4杯粘度计适用于测定粘度在150s以下的涂料产品。

涂-4杯粘度计的优点是容积大,流出孔粗短,清洗、操作均较方便,能满足现场使用的要求。但由于孔径大,长度短,其流动的稳定性较差,精确度不高,不宜用于科学研究方面。

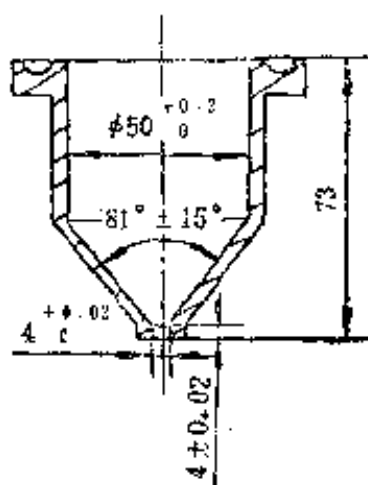


图 12-1 涂-4杯粘度计

其他粘度测定方法,如毛细管粘度计、气泡粘度计、落球粘度计等,由于矿用涂料的颜色深、粘度大、终点不清晰,一般不宜用来测定矿用涂料的粘度。

### 五、贮存稳定性

这是测定涂料在密闭桶内贮存,其质量是否发生变化的试验。涂料的有效贮存期一般是保证一年。由于涂料生产后往往要存放几个月,甚至几年后才使用,因此不可避免地会有增稠、颗粒变粗、沉淀、结块等弊病产生,这些变化若超过允许的限度,就会影响涂料的成膜性能,有的甚至开桶后就不能使用,造成浪费。目前,贮存稳定性的测定一般是存放一定时间后测定涂料的粘度(或流动性)、干燥时间等指标的变化,以及沉淀状况,这就能对涂料产品在一定贮存期后的使用性能作出评价。

涂料沉淀状况的试验一般采用1/3 L的铁盒存放产品,密封后,在阴凉处放置6个月,然后开盖,用一把120×20mm,重45g的平头铲插入漆内,按照表12-1的规定来评

表 12-1 测定沉降试验的级别表

评 级	试 验 情 况
10	与初始状态相同, 没有什么变化
8	铲刀面横向移动没有明显阻力, 有轻微沉淀粘住铲刀
6	铲刀能以自重通过沉淀物下降到底部, 铲刀面横向移动有一定阻力, 部分结块粘住铲刀
4	以铲刀自重不能通过结块下降到底部, 铲刀面横向移动困难, 以铲刀刀刃移动有轻微阻力, 用铲刀能容易地恢复均匀的悬浮液
2	铲刀面横向移动有很大的阻力, 铲刀刀刃移动有一定的阻力, 仍能恢复成均匀的悬浮液
0	结块很硬, 用铲刀搅动不能恢复成均匀的悬浮液, 甚至于把上层清液倒出来以后也恢复不了

定沉淀的性质和级别。

为了快速得到贮存结果也可进行加速沉降试验, 一般采用升温贮存, 冷、热交变和离心分离法等。升温贮存最高以 50℃ 为宜, 温度继续提高, 与正常贮存所得的结果差距较大, 尤其是对氯化橡胶、过氯乙烯等涂料会产生某些副作用。冷热交变既可采用冰箱和烘箱交替进行, 又可在既能升温、又能降温的高低温箱内进行。通过冷热交变试验, 可找出某些品种与正常贮存之间的大致关系。离心分离法是采用一定的转速, 经一定的时间后测定产品沉降的数量, 此方法的优点是测试速度快, 但有时结块的软、硬程度不定。

### 六、干燥时间

涂料的干燥可分为表面干燥、实际干燥和完全干燥三个阶段。由于涂料完全干燥需要较长时间, 在实际应用中, 一般只测定表面干燥和实际干燥两项。一般说来, 漆膜的干燥时间越短越好, 既可免沾雨、露、尘土, 又可大大缩短施工

块齿形板的两端在同一水平面上，而中间各齿距水平面有依次变化的不同间隙。使用时，应先估计涂层的大致厚度范围，然后选择一块量程适宜的测厚仪，量程越小，精度越高。测量时，轻轻把测厚仪垂直按在刚刚涂过漆的工件表面上，将有部分齿被漆液沾湿，湿膜的厚度为沾漆和未沾漆的两齿之间的数值，一般取两齿标度的平均值。每次测量后，必须用溶剂将测厚仪上沾的漆液全部擦洗干净，以保证以后使用的精度。齿形测厚仪是一种简单有效的测量仪器，特别适宜在施工现场使用。

### 2. 圆盘湿膜测厚仪

其原理与齿形湿膜测厚仪相同。其结构主要由三块圆形金属盘和一个中心导轮组成，两边两块形状、大小完全相同，完全平行地安装在同一导轮上，中间是一块距圆心依次有不同距离的齿形盘，仪器直径50mm，厚11mm。测试时，用大拇指和中指握住中心的导轮，并且从最大读数点开始把圆盘压着试验表面滚动到零点，然后拿开，当湿膜首先与中间偏心表面接触的点即为湿膜的厚度，可由刻度上直接读出。仪器使用时，必须垂直于被测表面，否则得出不正确的结果。

### 3. 磁性干膜测厚仪

该仪器是利用磁阻法来测量钢铁底板上涂层的厚度。其磁场一种是利用永久性磁铁产生的磁场，另一种是利用电磁场。测试时，由于磁路的改变而带动动片，使指针发生偏转而得出漆膜厚度的读数。

磁性测厚仪的使用分调零、校正、测量三个步骤。首先把仪器指针调到零位，然后用标准厚度片调整、校正量程。测试时，在距样板边缘不小于1cm的上、中、下三个位置上进行测量，取各点厚度的算术平均值即为漆膜的平均厚度。

磁性测厚仪结构简单,便于携带,适用于现场使用。

### 八、漆膜耐冲击强度

是测试漆膜受高速冲击负荷作用下的变形程度,表现了被试验漆膜的弹性和对底板的附着力,以1kg的重锤落在漆膜上而不引起漆膜破坏的最大高度(cm)的乘积来表示,单位用N·cm表示。专用仪器为耐冲击试验器(见图12-2)。

按照GB1727-79中的规定在 $50 \times 120 \times 0.2 \sim 0.3$ mm的马口铁板上制备漆膜。待漆膜实干后,将涂漆样板漆膜朝上平放在试验器的铁砧上,样板受冲击部分距边缘不少于15mm,每个冲击点的边缘相距不少于15mm。重锤借控制装置维持在产品标准规定的高度,按压控制钮重锤即自由地落于冲头上。提起重锤,取出样板,用4倍放大镜观察,判断漆膜有无裂纹、皱纹及剥落现象。试验应在恒温恒湿条件下进行,冲头下端的钢球必须光洁、平滑、冲头进入铁砧凹槽的深度为 $2 \pm 0.1$ mm,铁砧凹槽直径为 $15 \pm 0.3$ mm,冲击中心与铁凹槽中心要对准。

### 九、漆膜柔韧性

将涂漆的马口铁试片在不同直径的轴棒上弯曲,以其弯曲后不引起漆膜破坏的最小轴棒的直径来表示漆膜的柔韧性。柔韧性试验器(见图12-3)是由粗细不同的6个钢制轴棒所组成。6个钢制轴棒的长度均为35mm,直径尺寸分别为:

轴棒1: 截面10mm, 曲率半径5mm套管;

轴棒2: 截面 $5 \times 10$ mm, 曲率半径2.5mm;

轴棒3: 截面 $4 \times 10$ mm, 曲率半径2mm;

轴棒4: 截面 $3 \times 10$ mm, 曲率半径1.5mm;

轴棒5: 截面 $2 \times 10$ mm, 曲率半径1mm;

轴棒6: 截面 $1 \times 10$ mm, 曲率半径0.5mm。

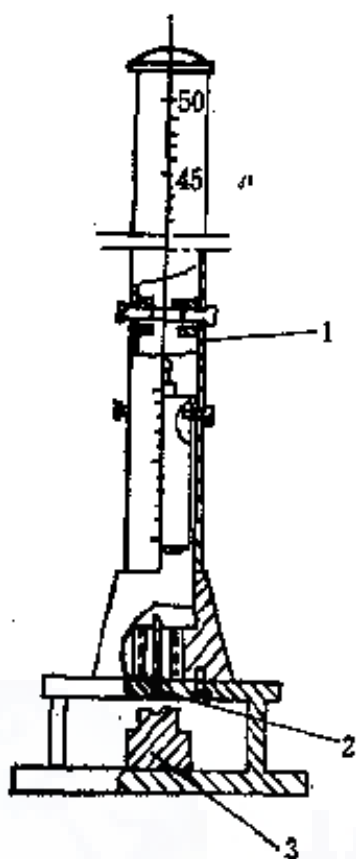


图 12-2 耐冲击试验器  
1—重锤；2—冲头；3—铁砧

按GB1727-79中的规定在  $25 \times 120 \times 0.2 \sim 0.3\text{mm}$  的马口铁板上制备漆膜，待漆膜实干后，在恒温恒湿条件下，漆膜朝上，用双手将涂漆样板紧压于按产品标准规定直径的轴

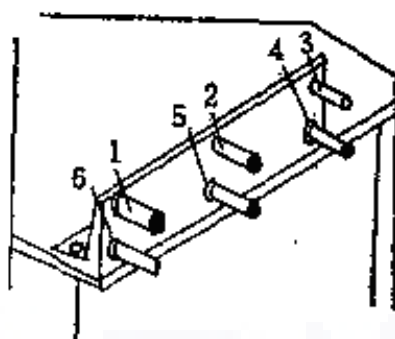


图 12-3 柔韧性试验器  
注：图中数字为轴棒序号

棒上，绕棒弯曲。弯曲时，双手拇指应对称于轴棒中心线，弯曲动作必须在  $2 \sim 3\text{ s}$  内完成。然后用 4 倍放大镜观察，看是否有网纹、裂纹及剥落等现象，若有上述现象发生则为不合格。为了避免测试结果的误差，操作时，手法要尽可能一致。

### 十、漆膜附着力

漆膜附着力即是漆膜对底材粘合的牢固程度。在实验室，一般是按圆滚线划痕范围内的漆膜完整程度来评级；在现场可采用划格法或交叉切痕法来评定。

#### 1. 画圈法

即用附着力测定仪（见图12-4）在漆膜上画圆滚线的试验方法。按照GB1727-79中的规定在 $50 \times 100 \times 0.2 \sim 0.3\text{mm}$ 的马口铁板上涂制样片三块，待漆膜实干后，于恒温恒湿条件下测定。利用留声机的唱针做针头，将样板漆膜朝上，固定于仪器的试验平台上，使转针的针尖接触到漆膜，如画痕未露底板，应酌加砝码，然后用手将摇柄按顺时针转动，以回转半径 $5.25\text{mm}$ ，转速 $80 \sim 100\text{r/min}$ 为宜。针尖在漆膜上匀速地画圈，所画出的圆圈依次重叠，得出类似圆滚线的图形（见图12-5）、长度约为 $7 \sim 8\text{cm}$ ，取出试片，用四倍放大镜检查划痕并评级。

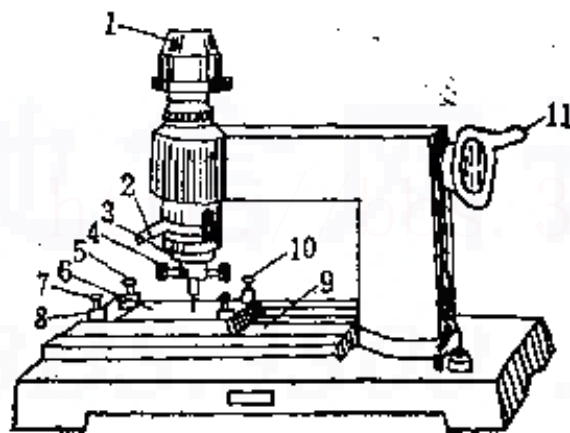


图 12-4 附着力测定仪

1—荷重盘；2—升降棒；3—卡针盘；4—回转半径调整螺栓；5、8—固定样板调整螺栓；6—试验台；7—半截螺帽；9—丝杠；10—调整螺栓；11—摇柄



图 12-5 画圈法附着力的分级

评级时，以样板上划痕的上侧为检查目标，依次标出1、2、3、4、5、6、7等七个部位，相应分为七个等级。按顺序检查各部位的漆膜完整程度，如某一部位的格子有70%以上完好，则认定该部位是完好的，否则应认为损坏。评级办法：部位1漆膜完好，附着力最佳，定为一级；部位1漆膜损坏而部位2完好，附着力次之，定为二级。依次类推，七级附着力最差。结果以至少两块样板的级别一致为准。

### 2. 划格法

用保险刀片在漆膜上切六道平行的切痕，长约10~20mm，切痕间的距离为1mm，要注意切穿漆膜的整个深度。然后再切与前者垂直的同样六道切痕，形成许多小方格，然后用手指轻轻触摸，漆膜不应从方格中脱落，而仍与底板牢固结合者为合格。此法比较简单，不需要特殊的仪器设备，

适合在施工现场使用。但划痕时，手腕用力大小及划痕间距离的不一致将影响测试的准确性。

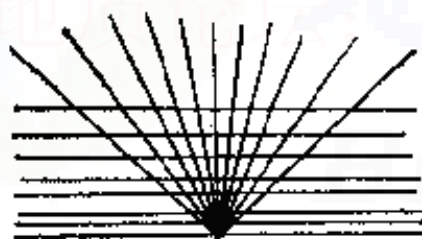


图 12-6 交叉划痕法测定漆膜附着力

### 3. 交叉切痕法

与划格法的原理相同，但用多样交叉的切痕以形成各种大小不同的面积来观察附着力，如图12-6。先用保险刀片在12mm宽的漆膜上划八条相互平行的切痕，平行切痕间的距离分别为1mm、1.5mm或2mm，在这一组平行线的中间划一条与之垂直的切痕，然后以与最下面一条切痕的交点为顶点，以这条垂线为角平分线，划一个100°的角。再把该角分成10等份，用刀片划出相应的切痕，就形成许多面积大小不等的四边形。

根据图形中漆膜的脱落情况来评定漆膜的附着力。漆膜全部完好者为优；上面四行全部完好者为良；上面三行全部完好者为中；上面三行也出现脱落者为差，一般不宜使用。

作画圈试验时，标准漆膜的厚度是15~20 $\mu\text{m}$ ；划格法和交叉切痕法测试实际使用的漆膜厚度。

### 十一、涂料使用量

涂料使用量即在单位面积的底板上制成一定厚度的漆膜所需要的涂料量，以 $\text{g}/\text{m}^2$ 表示。

#### 1. 刷涂法

先在感量为0.1g的天平上称出盛有试样的容器及漆刷的重量 $W_1(\text{g})$ ，在面积为 $S(\text{cm}^2)$ 的马口铁板上按GB1727-79《漆膜一般制备法》中的方法制备样板，再称出盛剩余试样的容器及漆刷的重量 $W_2(\text{g})$ ，按照下面的公式可计算出涂料使用量 $x(\text{g}/\text{m}^2)$ 。

$$x(\text{g}/\text{m}^2) = \frac{W_1(\text{g}) - W_2(\text{g})}{S(\text{cm}^2)} \times 10^4$$

#### 2. 根据固体含量测出油漆使用量

先在感量为0.01g的天平上称出马口铁板重 $A(\text{g})$ 。将已稀释好的试样按GB1727-79《漆膜一般制备法》中喷涂法制备样板，按产品标准规定的条件下干燥24h后，称出喷漆后的马口铁板重 $B(\text{g})$ ，根据喷漆面积 $S(\text{cm}^2)$ 和该涂料的固体含量 $D(\%)$ ，利用下面的公式可计算出涂料的使用量为 $x(\text{g}/\text{m}^2)$ 。

$$x(\text{g}/\text{m}^2) = \frac{B(\text{g}) - A(\text{g})}{S \cdot (\text{cm}^2) \cdot D} \times 100 \times 10^4$$

## 第二节 金属镀层的一般检验

煤矿井筒装备采用的金属镀层主要有热喷镀锌(铝)、热浸镀锌和电镀锌等。镀层质量直接影响防腐蚀效果和井筒装备的使用寿命。根据实际情况,在镀锌施工中,主要检验、控制镀层厚度和与基底金属的结合强度。其他指标,如镀层的耐蚀性,镀层的物理机械性能等在生产和施工中一般不进行测试。

### 一、镀层厚度的测定

镀层厚度是衡量镀层质量的最重要技术指标之一。测定镀层厚度的方法很多,但对镀锌防护的煤矿井筒装备比较实用的方法有溶解法和磁性法两种方法。这两种方法,所用仪器、设备费用低,操作简便,易于掌握。

#### 1. 溶解法

溶解法测定的是整个镀层的平均厚度,测量误差小于5%。测定时,将试样放入适当的溶液中浸泡,使镀层或基体金属溶解,然后比较溶解前后的重量,来测定镀层的质量。或者待镀层完全溶解后,用化学分析法测定溶液中镀层金属的质量。根据质量、密度和试样面积的关系,计算出试样上镀层的平均厚度。

钢铁镀锌件的测定方法如下:先将试件用有机溶剂除油,然后用清水洗净,再用酒精脱水并干燥,称重为  $m_1(g)$ ;

取浓盐酸( $d=1.19$ )250mL,加5g三氧化二锑( $Sb_2O_3$ )搅拌,使其溶解,得试验溶液;

将称重后的试样放入试验溶液中,常温下,金属锌与盐酸迅速发生反应而溶解,由于铁的活性比锌差,在锌溶解完

之前，铁将不与盐酸发生作用；

将镀层溶解后剩余的铁用水冲洗干净、干燥后称重  $m_2(g)$ ，根据试样的面积，可计算出镀层的平均厚度：

$$h = \frac{m_1 - m_2}{S \cdot d} \times 10^4$$

式中  $h$  —— 镀层的平均厚度， $\mu\text{m}$ ；  
 $m_1$  —— 镀层未溶解时的试样质量， $\text{g}$ ；  
 $m_2$  —— 镀层溶解后的试样质量， $\text{g}$ ；  
 $S$  —— 试样上镀层的表面积， $\text{cm}^2$ ；  
 $d$  —— 镀层金属的密度， $\text{g/cm}^3$ 。

## 2. 磁性法

磁性测厚仪可以用来测量钢铁表面镀锌层或镀铝层的厚度。该仪器既可用于测量钢铁表面非磁性金属镀层的厚度，又可用于测量钢铁表面有机涂层的厚度，是防腐施工现场必备的仪器之一。

磁性测厚仪测量的误差一般为10%左右，使用时，可选用不同结构的磁性测厚仪。具体操作应按仪器使用说明书进行。在对粗糙表面（如热喷镀层）进行测量时，应在不同点上进行多次测量，取其平均值作为镀层的平均厚度；采用双极式探头的仪器时，基体金属的机加工方向对测量结果有影响。因此，在测量时，应使探头的取向与校准时的取向一致，或将探头在相互成 $90^\circ$ 角的两个方向上进行两次测量。

## 二、镀层结合强度试验

评价镀层与基体金属结合强度的方法很多，但定量测定较困难，目前常用的是一些定性的试验方法。适合金属锌、铝在钢铁表面形成镀层的试验方法主要有摩擦抛光试验、钢球摩擦滚光试验、划线划格试验、弯曲试验、拉伸试验等。

### 1. 摩擦抛光试验

在面积小于 $6\text{cm}^2$ 的镀层表面上, 用一个直径为 $6\text{mm}$ , 末端为光滑半球形的圆钢摩擦 $15\text{s}$ , 摩擦时所施加的压力只抛光而不能割割镀层。随着摩擦的继续进行而出现长大的鼓泡, 则说明镀层的结合强度差。本方法适合检验较薄的镀层。

### 2. 钢球摩擦滚光试验

将试样装入盛有直径为 $3\text{mm}$ 的钢球和用皂液作润滑剂的滚筒或振动滚光机内, 其转速或振动频率及试验时间视试样的复杂程度而定。结合不良的镀层经此试验后会起泡。本试验适合检验小零件上的薄镀层。

### 3. 划线划格试验

用一把刃口为 $30^\circ$ 锐角的硬质钢划刀在镀层上划两条相距为 $2\text{mm}$ 的平行线或 $1\text{mm}^2$ 的正方形格子。观察划线间的镀层是否翘起或剥离。划线的压力应使划刀一次就能划破镀层, 达到基体金属。本方法适用于薄镀层。

### 4. 弯曲试验

(1) 将试样沿直径等于试样厚度的轴弯曲 $180^\circ$ , 然后用4倍放大镜检查弯曲部分, 镀层不允许起皮、剥落。

(2) 将试样夹在台钳中, 反复弯曲或拐折, 直至基体与镀层一起断裂。观察断口处镀层的附着情况。必要时可用小刀挑、撬镀层, 镀层应不起皮脱落, 或用4倍放大镜检查, 镀层与基体之间不允许分离。本方法广泛用于薄片试件。

### 5. 拉伸试验

使电镀或其他金属镀层试样在拉力试验机上承受拉伸应力, 直至断裂。观察断口处镀层与基体的结合情况, 必要时

可用小刀剥离检查。试样的规格尺寸和其他要求按机械性能试验时拉力棒的设计要求处理。拉力棒应在与零件完全相同的条件下电镀或用其他镀层涂装后再进行结合强度试验。必要时，拉力棒的材质和热处理工艺应与实际镀件相同。

### 第三节 酸洗、钝化液的分析

在酸洗除锈、钝化处理过程中，正确测定和控制酸洗液的酸度、铁离子浓度和钝化液中亚硝酸根离子的浓度，对保证酸洗、钝化表面处理质量是非常重要的。

#### 一、酸洗溶液的酸度分析

正常情况下，溶液的酸度可采用酸碱滴定法进行分析，以酚酞作指示剂，用标准碱滴定酸溶液即可测出酸的浓度。但在酸洗过程中，铁离子和其他杂质的浓度会逐渐升高，溶液的颜色不断加深，最后呈红棕色。若用正常的酸碱滴定法分析酸洗液的浓度，会出现溶液自身颜色和氢氧化铁沉淀的严重干扰，使终点无法判断。

为了排除干扰，可采用酸溶液滴定标准碱的办法。在滴定过程中虽然也会产生沉淀，但接近终点时，沉淀将全部消失，不会造成干扰。另外，指示剂颜色的变化也比较清晰，容易判断终点。

酸洗液的浓度一般都在10%以上，现场分析对精确度的要求也不太高，所配制的标准碱以3N为宜，指示剂一般使用0.5%的酚酞酒精溶液，具体操作步骤如下：

取10mL标准氢氧化钠溶液放在容积为150mL的锥形瓶内，加4滴酚酞指示剂和15mL蒸馏水，然后用被分析的酸溶液滴定到终点。用下面的公式计算酸的当量浓度（ $N$ ）：

$$N_{\text{酸}} \cdot V_{\text{酸}} = N_{\text{碱}} \cdot V_{\text{碱}}$$

$$N_{\text{混}} = \frac{N_{\text{酸}} \cdot V_{\text{酸}}}{V_{\text{混}}}$$

式中  $N_{\text{酸}}$  ( $N_{\text{混}}$ )——酸 (碱) 的当量浓度;

$V_{\text{酸}}$  ( $V_{\text{混}}$ )——酸 (碱) 的消耗量。

此公式既适用于单酸, 也适合混酸。

若要计算酸的百分浓度, 则首先要用比重计测出酸溶液的比重  $d$ 。对于单酸, 可用下面的公式精确计算出酸的百分含量。

$$X(\%) = \frac{N_{\text{酸}} \cdot \text{当量值}}{d \cdot 1000} \times 100\%$$

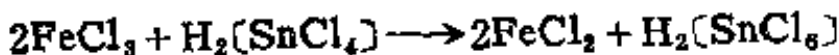
对于混酸, 只能求出近似值。混酸的当量值等于混酸中各组分的当量值乘以各自所占的比例之和。例如, 混酸中, 硫酸和盐酸的当量比为2:1, 混合酸的平均当量值为  $49 \times \frac{2}{3} +$

$36.5 \times \frac{1}{3} \approx 44.9$ 。以44.9的当量值代入上面的公式即可近似求出混酸的百分含量。

另外需要说明的是, 比重计不能用来测定酸洗液的浓度, 因为酸洗液中含有大量其他成分和杂质。

## 二、铁离子浓度的分析

酸洗液中铁离子浓度的分析要经过还原氧化二个过程。首先用氯化亚锡作还原剂将溶液中的三价铁离子还原为二价, 其反应如下:

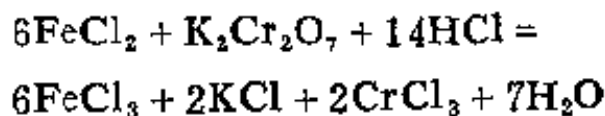


为了保证三价铁被还原得完全, 必须加入过量1~2滴氯化亚锡, 而过量的氯化亚锡再用二氯化汞溶液氧化:



二氯化汞不能将二价铁离子氧化，只能氧化亚锡离子，其本身则成为不溶的银丝状的氯化亚汞沉淀。氯化亚锡不能过量太多，否则将影响最后的分析结果。

将还原后的二价铁用重铬酸钾标准溶液滴定，氧化至三价铁，用二苯胺磺酸钠作指示剂，根据消耗的重铬酸钾的毫升数，计算出铁的含量，其反应式如下：



所需试剂：

- (1) 6%的氯化亚锡溶液；
- (2) 二氯化汞饱和溶液；
- (3) 硫酸 (1:2) 溶液；
- (4) 二苯胺磺酸钠指示剂 (1%水溶液)；
- (5) 0.1*N*重铬酸钾标准溶液 (精确称量多次结晶并经110~130℃烘过的重铬酸钾4.9035克，置于1 L容量瓶内，用适量水溶解，然后稀释至标线，混匀。此溶液作标准溶液不必进行标定)。

分析操作：

取酸洗液10mL放在250mL锥形瓶中，于低温电炉微微加热，然后小心滴加氯化亚锡还原三价铁离子，轻轻摇动直至溶液由黄色变为浅黄色，再小心过加一滴变为无色，另多加二滴。用水稀释至100~120mL，冷至室温，加入二氯化汞饱和溶液5mL，摇动后，静置2~3min。加硫酸 (1:2) 5mL，二苯胺磺酸钠指示剂4滴，以重铬酸钾标准溶液滴定，直至溶液由浅红色变为红紫色为终点 (在灯光下观察)，每升溶液中铁离子的含量按下式计算：

$$\text{Fe}^{++}(\text{g/L}) = \frac{N_{\text{KCr}_2\text{O}_7} \cdot V_{\text{KCr}_2\text{O}_7}}{V_{\text{酸}}} \times 55.85$$

式中  $N_{\text{KCr}_2\text{O}_7}$ ——重铬酸钾标准溶液的当量浓度(0.1N);

$V_{\text{KCr}_2\text{O}_7}$ ——消耗重铬酸钾溶液的体积, mL;

$V_{\text{酸}}$ ——所取酸洗液的体积, mL;

55.85——在此氧化还原反应中铁的当量值。

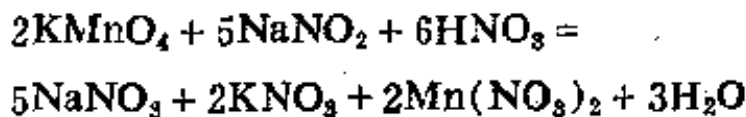
本实验的关键是还原时氯化亚锡不可过量太多, 若偶尔不慎加入过多, 可加入高锰酸钾氧化至溶液呈黄色, 将溶液加热, 再加入氯化亚锡至黄色消失。若氯化亚锡加入过多, 加入二氯化汞时, 如有黑色金属汞出现, 试验即告失败, 必须重新开始。

在接近滴定终点时, 应以较慢的速度进行, 并要充分振荡, 不然滴定终点容易过量。

若稀释体积不超过 60mL, 也可加 8 滴二苯胺磺酸钠指示剂, 不加硫酸直接滴定, 对结果无影响。

### 三、亚硝酸根浓度的分析

高锰酸钾氧化法是最常采用的溶液中  $\text{NO}_2^-$  含量的分析方法, 其反应式如下:



亚硝酸钠的分子量是 69, 在氧化-还原反应中的当量是 34.5。

主要试剂:

(1) 0.2N 的高锰酸钾标准溶液;

(2) 1:3 的硝酸溶液;

分析操作步骤:

用移液管准确量取 0.02N 的高锰酸钾标准溶液 10mL,

放在250mL的锥形瓶内。加水50mL, 1:3的硝酸 20mL, 然后用需要进行分析的亚硝酸盐溶液(钝化液)滴定至红色消失, 即为终点。

亚硝酸根当量浓度的计算:

$$N_{\text{KMnO}_4} \cdot V_{\text{KMnO}_4} = N_{\text{NO}_2^-} \cdot V_{\text{NO}_2^-}$$

$$N_{\text{NO}_2^-} = \frac{N_{\text{KMnO}_4} \cdot V_{\text{KMnO}_4}}{V_{\text{NO}_2^-}}$$

亚硝酸钠百分浓度的计算:

$$\text{NaNO}_2(\%) = \frac{N_{\text{NO}_2^-} \times 34.5}{d \times 1000} \times 100\%$$

因为钝化液的比重接近于1, 所以:

$$\text{NaNO}_2(\%) = 3.45 \times N_{\text{NO}_2^-}(\%)。$$

## 附录

# 煤矿井筒装备防腐设计、 施工及验收规范

(试 行)

## 第一章 总 则

**第1.1条** 为了延长煤矿井筒装备的使用寿命,减少井筒装备因腐蚀给生产带来的损失,保证防腐工程质量,提高经济效益,特制定本《规范》。

**第1.2条** 本《规范》适用于新建及改扩建立井(包括老井延伸及修复)的井筒装备、管道、连接件的防腐设计、施工及验收\*。

**第1.3条** 井筒装备都必须采取防腐措施。凡采用普通碳钢加工的装备,都必须采用涂层防护。

## 第二章 设 计

**第2.1条** 在编制矿井设计时,必须明确提出井筒装备内的罐道(不包括钢轨罐道及钢丝绳罐道)、罐道梁、梯子间、各种管路及连接件所应采取的防腐措施,或选用玻璃钢制品。

**第2.2条** 防腐设计的内容包括:选用防腐材料、确定施工工艺和编制工程防腐预算。

---

\* 提升容器、井口、井底摇台、装载硐室金属结构以及斜井中的钢结构等的防腐处理可参照本规范试行。

**第2.3条** 依据井筒水质分析报告 (pH值等项), 结合国内的资源情况、防腐材料的类型及矿区的实际条件, 提出技术可行、经济合理的防腐设计。采用涂料防护时, 在pH值大于6的中、碱性水质条件下, 可优先选用环氧(沥青)类涂料; 在pH值小于6的酸性水条件下和地下水含盐量高的地区, 可优先选用氯化(氯丁)橡胶类防腐涂料; 在5℃以下的气温条件下施工, 必须选用氯化(氯丁)橡胶类涂料。

**第2.4条** 金属构件涂装前必须进行表面处理。表面处理的技术要求应达到国际通用的瑞典标准Sa2 $\frac{1}{2}$ 级。

**第2.5条** 选择适合本矿区使用的防腐涂料。一般选择环氧富锌底漆、氯化(氯丁)橡胶富锌底漆或无机富锌底漆之一作涂层的底漆, 涂刷1~2道, 漆膜厚度30~70 $\mu\text{m}$ 。防护面漆选用相应的环氧(沥青)类防腐涂料或氯化(氯丁)橡胶类防腐涂料, 至少涂刷3道, 漆膜总厚度不小于200 $\mu\text{m}$ , 漆膜附着力不低于80%。

**第2.6条** 安装后, 焊缝及漆膜损坏处必须进第二次防腐处理, 其漆膜厚度不低于150 $\mu\text{m}$ 。

**第2.7条** 井壁和托架间的间隙处, 要用充填材料充填密实, 以解决托架和锚杆的防腐问题, 并提高承载能力。充填材料可采用聚氨酯弹性胶泥、不饱和聚酯树脂胶泥和其他可靠的充填材料。

### 第三章 施 工

**第3.1条** 施工单位应根据设计单位的防腐设计要求编制防腐施工工艺和防腐施工组织措施。

**第3.2条** 井筒装备的防腐工作主要在地面进行, 一般

应在机械加工完成后, 再进行防腐施工。

**第3.3条** 防腐施工所用的原材料必须符合质量要求, 具有产品合格证, 并在其有效期内使用。

**第3.4条** 为确保施工质量, 施工前必须对参加施工人员进行技术培训, 保证由掌握施工技术的管理人员及工人从事防腐施工。

**第3.5条** 施工现场不得堆放易燃、易爆物品, 严禁吸烟。不得将食物、饮料等带入施工现场。存放涂料、溶剂及其他防腐材料的仓库要远离现场, 要备有消防器材, 并安排专人管理。

**第3.6条** 在施工期间, 应参照国家的有关规定, 对直接参加施工的有关人员发放必要的劳动保护用品和保健津贴。

### 第一节 金属的表面处理

**第3.7条** 金属表面的处理方法可采用喷砂(丸)除锈或采用酸洗除锈、钝化处理的方法, 确保除锈质量达到设计要求。

**第3.8条** 采用酸洗除锈、钝化处理工艺时, 应先除去表面的油污和其他可除去的污物; 采用喷砂除锈时, 压缩空气应干燥清洁, 喷砂材料应选用质坚有棱角的石英砂、硅质河砂、海砂以及金属丸等。砂石的含水量不大于1%, 并应解决防尘问题。

**第3.9条** 为保证施工安全, 防止工件过蚀、氢脆, 酸洗液必须按规定配方和顺序配制, 称量准确, 边搅拌, 边将酸液慢慢倒入水中。严禁将水直接倒入酸内。酸洗时间应根据工件表面锈蚀清除情况, 自行调节, 但应彻底除净。

**第3.10条** 经酸洗后的金属表面, 必须及时进行中和、

钝化处理。酸洗除锈的整个过程为：除油→酸洗→自来水冲洗→中和钝化→晾干→刷富锌底漆。

**第3.11条** 酸洗废液必须进行妥善处理，不得随意排放，造成环境污染。

## 第二节 防腐涂层的施工

**第3.12条** 防腐涂层应按规定配套，并严格按照设计要求进行施工。

(1) 富锌底漆必须采用刷涂方法。一般涂刷1~2道，也可喷（浸）一层金属保护层代替富锌底漆，其涂层厚度均应符合设计要求。

(2) 防护面漆可采用刷涂或喷涂的方法涂装3~4道，涂层总厚度符合设计要求。

(3) 井下安装时的烧焊及其他涂层损坏处，必须重新进行防腐处理。涂装前将其表面清理干净。修补涂料可采用干湿两用涂料，一般涂刷二道。

**第3.13条** 不同厂家，不同品种的防腐涂料不得随便掺和使用。严禁使用不符合规定的或不合格的防腐涂料。

**第3.14条** 涂料涂装前，应先进行试涂。使用时应搅拌均匀，不得存在粒、块状物质。涂料开桶取料后，必须立即密封保存。施工工具应保持干净，用后应及时清洗。

**第3.15条** 在进行涂料施工时，每涂一层都应进行检查。漆膜不得有针孔、气泡、流淌和漏涂等弊病。否则，在涂下一层漆之前，必须认真采取补救措施。

**第3.16条** 施工环境温度，环氧（沥青）类以5℃以上为宜，氯化（氯丁）橡胶类可在-20℃以上的气温条件下使用。施工时，应通风良好，以便漆膜充分干燥。要保证涂层

之间相应的时间间隔,全部涂装完成后,一般需自然干燥7天后方可使用。在雨、雾、雪天不得在室外施工,夏季施工严防曝晒。

## 第四章 验 收

**第4.1条** 井筒装备验收时,应将防腐质量作为一项重要指标。防腐涂层质量验收应分两步进行:

- (1) 防腐施工后的地面验收;
- (2) 工程竣工验收。

**第4.2条** 防腐工作验收应具备下列资料:

- (1) 涂料或其他防腐材料的出厂合格证,或质量检验合格证;
- (2) 防腐设计说明书,漆膜测试数据及防腐施工技术总结报告;
- (3) 变更防腐设计,要有设计变更通知单。重大变更,要经原审批单位批准。

**第4.3条** 地面防腐施工初期,施工单位应通知建设单位、设计单位及质量监督部门共同到现场察看,检查是否符合防腐施工工艺。在整个防腐施工期间,上述单位可随时到现场检查,及时指出施工中的问题并督促处理。

**第4.4条** 地面防腐结束后,即可组织防腐质量验收。地面验收主要检查漆膜厚度和附着力。涂层厚度抽检工件的5%,每个工件均匀取10个点进行测试;附着力抽检工件的1%,每个工件靠端部测1个点。

**第4.5条** 防腐质量分为优良、合格、不合格三个等级,根据测试结果,对工程防腐质量进行评定。如果抽检结果不合格,必须在安装前采取补救措施。

**第4.6条** 工程竣工时,防腐验收主要检查由于切割、烧焊及碰撞等原因而引起的漆膜损坏部位的修补情况。若发现上述部位没有修补,必须重新检查,并进行认真修补。

## 参 考 文 献

1. 魏宝明主编, 金属腐蚀理论及应用, 化学工业出版社, 1982
2. M.G.方坦纳等著, 腐蚀工程, 左景伊等译, 化学工业出版社, 1987
3. 段慎修编, 矿山设备的腐蚀与防护知识问答, 煤炭工业出版社, 1987
4. 化学工业部化工机械研究院主编, 腐蚀与防护手册, 化学工业出版社, 1990
5. 张明慧等编, 化工腐蚀与防护技术, 成都科技大学出版社, 1988
6. 燃料化学工业部涂料技术训练班编, 涂料工艺, 化学工业出版社, 1976
7. 刘应虎等编译, 钢材涂装防护技术, 上海腐蚀科学技术学会出版, 1981
8. 化学工业部化工防腐蚀科技情报中心站编, 实用防腐蚀施工技术手册, 1986
9. 船舶除锈防腐工艺, 人民交通出版社, 1980
10. 陈孟桃, 玻璃钢生产实用技术, 安徽科学技术出版社, 1987
11. 上海玻璃钢研究所, 玻璃钢手糊成型工艺, 中国建筑工业出版社, 1987
12. 麻毓璜主编, 氧乙炔焰粉末喷涂技术, 四川科学技术出版社, 1983
13. 中国腐蚀与防护学会等编, 全国首届热镀锌、铝学术交流会论文集, 1988
14. J.C.Scully, The Fundamentals of Corrosion, 2nd Edition, Pergamon International Library, 1975
15. J.Boxall et al, Paint Formulation Principles and Practice, First Published in Great Britain by George Godwin Li-

ited, 1980

16. A.G.奥斯特罗夫等著, 腐蚀控制手册, 王向农等译, 石油工业出版社, 1988

17. 煤炭科学技术(矿山防腐蚀专辑), 1990

18. 煤矿腐蚀与防护, No.1~15

19. 奈杰尔·沃伦著, 船舶中的金属腐蚀, 吴敏等译, 国防工业出版社, 1987

20. 太原化工厂编, 化工设备防腐蚀施工工艺, 1975

[ G e n e r a l I n f o r m a t i o n ]

书名 = 矿山井筒装备防腐蚀技术

作者 =

页数 = 187

SS号 = 10979731

出版日期 =



封面  
书名  
版权  
前言  
目录  
正文

