

腐蚀与防护全书

煤炭工业的腐蚀与防护

中国腐蚀与防护学会 主编

魏伯科 段慎修等 编著

化学工业出版社

腐 蚀 与 防 护 全 书

煤炭工业的腐蚀与防护

中国腐蚀与防护学会 主编

魏伯科 段慎修等 编著

化 学 工 业 出 版 社

(京)新登字039号

内 容 提 要

该书介绍了煤炭生产、煤的洗选、管道输煤、煤的燃烧与转化过程中其设备所处环境、腐蚀状况,阐述了腐蚀机理,分析了影响因素,提出了相应的防护措施,其中包括煤炭行业在防腐蚀研究中取得的新成果。

本书可供煤炭生产、煤炭运输、煤的洗选煤的燃烧和转化等部门从事腐蚀与防护工作的工程技术人员、技术工人及大专院校有关专业师生参考。

腐蚀与防护全书

煤炭工业的腐蚀与防护

中国腐蚀与防护学会 主编

魏伯科 段慎修等 编著

责任编辑:李志清

封面设计:任 辉

化学工业出版社出版发行

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ 印张6 $\frac{1}{2}$ 字数173千字

1991年11月第1版 1991年11月北京第1次印刷

印 数 1 2,230

ISBN 7-5025-0960-7/TQ·558

定 价 5.90元

序

腐蚀与防护科学是本世纪30年代发展起来的一门综合性技术科学，目前已成为一门独立的学科，并正不断发展。

腐蚀是材料在各种环境作用下发生的破坏和变质，遍及国民经济各部门，给国民经济带来巨大损失。根据工业发达国家的调查，每年因腐蚀造成的经济损失约占国民生产总值的2—4%，我国每年因腐蚀造成的经济损失至少达二百亿元。搞好腐蚀与防护工作，已不是单纯的技术问题，而是关系到保护资源、节约能源、节省材料、保护环境、保证正常生产和人身安全、发展新技术等一系列重大的社会和经济问题。全面普及腐蚀科学知识，推广近代的防护技术，以减少腐蚀造成的经济损失，延长材料和设备的使用寿命，促进城乡经济的发展和企业经济效益的提高，是当前急待解决的问题。

为此，中国腐蚀与防护学会和化学工业出版社决定共同组织编写《腐蚀与防护全书》。《全书》分总论、腐蚀理论、环境腐蚀与防护、耐蚀材料、防蚀技术、腐蚀试验与监控等六篇数十个分册，并将陆续出版。

《全书》属于专业百科性质的大型综合性工具书，全面系统地阐述腐蚀学科的理论和应用，总结国内外的腐蚀与防护经验，反映近代的防护技术；内容广泛，兼顾知识性、教育性和实用性。主要供腐蚀与防护专业以及与该专业有关的工程技术人员阅读使用，也可供企业管理干部与大专院校有关专业师生参考。

《全书》的编写工作曾得到腐蚀与防护领域许多专家、工程技术人员及所在单位领导的热情协助和支持，对此，表示衷心地感谢。

由于我们水平有限，缺点和错误在所难免，望读者批评指正。

《腐蚀与防护全书》编委会

1988.3

ABA 25/04

《腐蚀与防护全书》编委会成员

主任委员：肖纪美

副主任委员：石声泰 曹楚南 朱日彰 杨永炎

郭长生

顾问：张文奇 李苏 沈增祚

委员：（按姓氏笔划序）

火时中	王广扬	王正樵	王光雍	许维钧
刘国瑞	刘翔声	朱祖芳	杜元龙	杜发一
宋诗哲	劳添长	李兴谦	李志清	李铁藩
吴宝琳	吴荫顺	杨文治	杨武	杨熙珍
杨璋	张其耀	张承谦	顾国成	徐乃欣
徐兰洲	徐克薰	袁玉珍	傅积和	曾宪焯
褚武扬	虞兆年	黎樵槃	戴新民	
吴荫顺	王光雍	褚武扬	袁玉珍	李志清
刘威				

编辑组：吴荫顺 王光雍 褚武扬 袁玉珍 李志清

刘威

前 言

1989年我国原煤产量达到10.05亿吨，居世界第一位，与1949年相比，增长31倍。在我国一次能源中，煤炭约占76%，在实现四个现代化的进程中，它起着十分重要的作用。

近年来煤炭工业发展很快，随着科学技术的迅猛发展，数字地震勘探，遥感找矿、冻结凿井、大型深井钻井、全断面掘进机、采掘综合机械化、矿井安全监测等一系列新技术、新装备得到配套推广。数百万职工的物质文化生活得到进一步改善。现代化矿井正在迅速建成。随着社会主义商品经济的发展，一业为主，多种经营日益深入矿山的经济生活。一个更加富于经济活力的煤炭工业正展现在华夏大地。

在众多的发展中，尚显得有些空白的大概要算煤炭工业中的腐蚀与防护工作。据1981年煤炭部组织对140个矿井井筒装备腐蚀与防护状况的调查，43.7%的井筒装备完全没有采取防腐措施，已采取防腐措施的也多为涂红丹、沥青等比较初级的方法。大多数井筒装备的单侧年腐蚀深度为0.2mm，严重的地区高达1.2mm。井筒装备的平均使用寿命只有15年，严重的不到10年就被迫停产更换全部井筒装备。又如，钢丝绳规定应当使用2年，但因锈蚀断丝，有的矿井只能使用8-10个月，个别矿井甚至不到三个月。

根据煤炭部1988年颁行的《井筒装备防腐设计、施工及验收规范》，如果精心施工，井筒装备的服务年限可达30年以上。换句话说，井筒装备的平均服务年限可延长一倍。更换井筒装备需耗资数十万至数百万元，加上停产损失，可达近千万元，然而按《规范》施工，认真进行防腐处理，可使上述损失减少60%左右。

我们编写本书的目的在于，一是提起注意，二是提出建议。提起注意，首先要引起重视，克服只顾眼前的短期行为，同时要转变

一些观念,比如,认为煤矿腐蚀不严重,防腐是其他行业的事等。另外,长期以来我们好追求廉价的设备与备件,常常不自觉地忽视了整体效益。要知道,无论矿井还是洗煤厂,它都是一个联动的系统,任何一个环节的可靠性差,都影响整体。南非的煤矿条件相当好,但为了克服腐蚀造成的问题,他们开发了一种耐腐蚀的专用钢材——3CR12,它使包括洗煤厂在内的整个矿区的维修量减少40%。很明显,煤炭工业的腐蚀与防护绝非可有可无,相反值得花大力气,而且是很有经济潜力的领域。

在提出建议方面,我们首先推荐江苏省煤矿研究所、淮北矿务局科研所和淮南矿务局合成材料厂等单位近年来在腐蚀与防护方面取得的一系列优秀科研成果,比如,获得国家发明奖和发明专利的干湿两用防锈漆和钢铁酸洗、钝化表面处理工艺,国家“七五”攻关的钢丝绳防锈脂,井筒装备的防腐涂料和施工工艺,各种玻璃钢复合材料制品等。同时对管道输煤和煤炭燃烧与转化过程(限于篇幅仅涉及粉煤燃烧,沸腾床燃烧和气化中的一些主要工艺)也介绍并推荐了优先选择的材料。

本书是在中国腐蚀与防护学会能源专业委员会主任许维钧高工、副主任陈鹤鸣副教授的指导下编写的。第1章由煤炭科学研究所毛光宁高工编写;第2章第1、2、3节由江苏省煤矿研究所武宜寅工程师编写;第2章第4节、第3章由江苏煤矿研究所段慎修高工编写;第4章、第6章由中国统配煤矿总公司技术发展局魏伯科高工编写;第5章由清华大学材料系副教授马春来编写,魏伯科负责全书统稿。

由于作者水平有限,疏漏和错误难免,敬请读者不吝赐教与指正。

编者

1990年12月

目 录

第1章 概论	1
1. 煤炭在国民经济中的地位	1
2. 煤炭工业的特点	2
2.1 需要大量井巷工程和金属材料	2
2.2 工作场地经常移动	2
2.3 矿井建设周期长	3
2.4 生产环境恶劣	3
3. 煤炭工业分类	4
3.1 煤炭生产	4
3.2 煤炭加工	5
3.3 煤炭转化	6
3.4 煤炭化工	6
第2章 煤矿井下设备的腐蚀与防护	7
1. 煤矿简介	7
1.1 井筒和井筒装备	7
1.1.1 井筒	7
1.1.2 井筒装备	8
1.2 采、掘、运系统	10
1.2.1 采煤	10
1.2.2 掘进	11
1.2.3 运输	12
1.3 通风和排水系统	12
1.3.1 通风	12
1.3.2 排水	12
1.4 其它	13
2. 煤矿的环境特点	13
2.1 空气	13

2.1.1	井下空气成分	13
2.2	矿井涌水	14
2.2.1	地下水的来源	14
2.2.2	地下水水质	14
2.2.3	酸性水的危害	15
2.3	土壤	15
2.4	地温	15
2.4.1	变温带	15
2.4.2	恒温带	16
2.4.3	增温带	16
3.	煤矿井下设备的腐蚀	16
3.1	腐蚀状况	16
3.1.1	井筒装备腐蚀状况	16
3.1.2	其它金属设备的腐蚀	20
3.2	主要腐蚀形式	23
3.2.1	大气腐蚀	23
3.2.2	土壤腐蚀	24
3.2.3	电偶腐蚀	25
3.2.4	应力腐蚀	25
3.2.5	磨损腐蚀	26
3.2.6	缝隙腐蚀	26
3.2.7	孔腐蚀	26
4.	煤矿井下设备的防护	27
4.1	材料的选择	28
4.1.1	矿用金属材料	28
4.1.2	矿用非金属材料	40
4.2	防腐涂装前的表面处理	45
4.2.1	表面处理与防腐效果的关系	45
4.2.2	除锈质量等级的划分	46
4.2.3	矿山设备常用的表面处理方法	49
4.3	表面保护层	61
4.3.1	涂料保护层	61
4.3.2	非金属保护层	66

4.3.3	金属保护层	68
4.3.4	搪瓷保护层	71
4.4	煤矿井筒装备的防护	72
4.4.1	煤矿井筒装备的防护概况	72
4.4.2	材料的选择	73
4.4.3	表面处理方法	74
4.4.4	表面保护涂层	77
4.4.5	电化学保护	81
4.5	钢丝绳的防腐蚀	82
4.5.1	钢丝绳材料的选择	82
4.5.2	矿用钢丝绳的选择	83
4.5.3	钢丝绳的防护	84
4.5.4	钢丝绳的日常管理	87
4.6	采煤和运输机械的防护	88
第3章	露天煤矿的腐蚀与防护	89
1.	露天煤矿简介	89
1.1	矿岩预松碎过程	90
1.2	采装工艺	91
1.3	运输工艺	91
1.3.1	公路运输系统	91
1.3.2	铁路运输系统	92
1.4	排卸工艺	92
1.5	辅助生产环节	93
2.	露天煤矿采矿设备的腐蚀状况	93
2.1	露天煤矿的环境特点	93
2.2	露天矿山机械腐蚀与损坏状况	94
2.3	露天矿山机械的主要腐蚀形态	96
2.3.1	均匀腐蚀	96
2.3.2	磨损腐蚀	96
2.3.3	电偶腐蚀	96
2.3.4	缝隙腐蚀	97
2.3.5	应力腐蚀	97
3.	露天采矿机械设备的防腐蚀	97

3.1 材料的选择	98
3.1.1 低合金钢	98
3.1.2 合金钢和特种钢材	98
3.1.3 铝合金	102
3.1.4 工程塑料制品	102
3.2 露天采矿机械的涂料防护	102
3.2.1 露天矿山机械防护涂料的特点	102
3.2.2 露天矿山机械防护涂料	103
3.3 金属电镀保护层	105
3.4 矿山机械涂漆前的表面处理	106
3.4.1 喷砂(丸)除锈	106
3.4.2 酸洗除锈、除油工艺	106
3.4.3 中和、钝化处理	106
3.4.4 磷化处理	107
3.5 传动部件的防护	107
3.6 排水系统的防腐蚀	110
第4章 洗煤厂的腐蚀与防护	112
1. 煤的洗选工艺简介	112
1.1 跳汰	112
1.2 流槽	112
1.3 摇床	113
1.4 水介旋流	113
1.5 重介	113
1.6 浮选	114
1.7 其它	115
2. 洗选设备的腐蚀	115
2.1 洗煤厂的环境特点	115
2.2 设备的腐蚀状况	116
2.3 典型的腐蚀形态	117
2.3.1 煤浆的腐蚀	117
2.3.2 重介旋流器的腐蚀	123
2.3.3 结论	129
3. 洗选设备的防护方法	132

3.1 对钢铁材料的选择	132
3.2 衬陶瓷	134
3.3 衬橡胶	135
3.4 衬塑料	135
第5章 管道输煤设备的腐蚀与防护	137
1. 管道输煤	137
1.1 管道输煤的特点	138
1.1.1 管道输送水煤浆	138
1.1.2 经济高效的运输方式	139
1.2 主要设备	141
1.2.1 管道输煤工艺	141
1.2.2 主要设备	141
2. 管道输煤设备的腐蚀	144
2.1 管道输煤的环境特点	144
2.1.1 土壤电解质	144
2.1.2 管道水煤浆的浆体特性	146
2.2 设备的腐蚀状况	149
2.2.1 管道外表面的土壤腐蚀	149
2.2.2 管道内表面的腐蚀	151
2.2.3 制浆设备的腐蚀	151
3. 管道输煤设备的防护	152
3.1 埋地管道的防护	152
3.1.1 外防护涂层	152
3.1.2 阴极保护	153
3.1.3 防护施工要求	154
3.2 管道煤浆腐蚀的防护	156
3.2.1 材料选择	156
3.2.2 控制浆体的物理参量	156
3.2.3 添加缓蚀剂	157
3.2.4 改进设计	159
第6章 煤的燃烧与转化设备中的腐蚀与防护	161
1. 燃烧设备的腐蚀与防护	161
1.1 粉煤燃烧	162

1.1.1	炉墙的腐蚀与防护	162
1.1.2	过热器与省煤器的腐蚀与防护	164
1.2	沸腾床燃烧	169
1.2.1	鼓泡床的环境气氛	170
1.2.2	合金在鼓泡床环境气氛中的行为	172
1.2.3	操作条件与腐蚀	173
1.2.4	高温腐蚀试验与材料选择	177
2.	气化设备的腐蚀与防护	181
2.1	气化工艺简介	181
2.2	典型气化器的选择	183
2.3	典型换热器的选择	190
参考文献		193

第1章 概 论

1. 煤炭在国民经济中的地位

煤炭是我国的主要能源，占全国一次能源的76%以上。我国煤炭资源丰富，探明储量达6400亿吨，大小煤矿，星罗棋布，遍及全国，1989年煤炭产量已超过10亿吨；煤炭品种齐全，既有优质焦煤、烟煤，又有低硫低灰无烟煤，还有褐煤和石煤。煤炭在工、农业和人民生活具有举足轻重的作用，对国民经济的发展有着重大影响。

煤炭是火力发电的主要燃料，年耗煤量占全国煤炭消耗量的20%左右。电力能源总消耗量中，除重油、原油和水力资源外，煤炭占了61%左右。工业生产用的工业锅炉基本上全用煤炭作燃料，年耗煤量占全国煤炭消耗量的23%左右。煤炭也是金属冶炼的重要燃料，年耗煤量占全国煤炭消耗量的10%，而焦煤产量的三分之二都用于炼铁。建筑材料的生产多以煤炭作燃料，如烧砖、烧瓦、生产水泥等产品都离不开煤炭，年耗煤量占全国煤炭总消耗量的10%左右。此外，煤炭也是我国铁路运输的动力基础，承担铁路运输主要任务的蒸汽机车年耗煤量占全国煤炭总消耗量的4%左右。

我国化学工业，既用煤炭作燃料，也用煤炭作原料，正在迅速发展的煤化学工业也是以煤炭为基础，而煤化工产品又是有机合成的重要原料，如炼焦过程中可以回收的基本有机化工原料就有60多种，而合成氨、合成树脂、塑料、合成纤维等生产都离不开煤炭。

煤炭也是农业的重要能源。农业现代化，农副业的发展和城乡人民生活都需要大量能源。根据统计资料，农村直接消耗的商品能源（含煤、电、油）占32%，其中煤炭又占约56%。农村煤炭总消耗量约占原煤产量的20%左右。每年民用煤的消耗量约占全国

煤炭总消耗量的25%，而在城镇民用能源中煤炭又占有85%。因此，煤炭的发展与城镇、农村人民生活有着极密切的关系。

此外，近年来煤炭出口量迅速增长，每年为国家赚取大量外汇。

2. 煤炭工业的特点

煤炭工业是开采地下煤炭资源的工业，受到多方面制约，有其独特的工艺和不利的腐蚀环境，与其他在地面生产的工艺有很大差别。

2.1 需要大量井巷工程和金属材料

要开采煤炭，首先要建设通往煤层的各种井巷工程。井筒工程就是从地面建设立井或斜井，巷道工程就是从井底开拓平巷通往煤层附近，再掘进采区的各种巷道，准备出采煤工作面，以便进行生产。

其次，要为煤炭生产提供必要的生产条件。这就是，一方面要将供水、供电、供风、压气、排放瓦斯等管道、线路从地面通到工作场所，另一方面还要建设长距离的轻轨铁路、胶带输送机的运输线路，将生产必需的材料送往井下，把生产出的煤炭运往地面。此外，为了保证井下作业安全，需架设各类支架，需大量采掘机械提高生产效率。地面还需要后勤支援和原煤处理设施，如提升绞车与井塔，洗煤厂和煤仓，地面运输、装卸系统等。这些都需要大量钢轨、钢管、金属支架和采掘设备。而井下湿度大，由于常年通风向井下供应新鲜空气，还有一些有害气体，对金属腐蚀十分严重，也给生产带来严重影响，尤其是井筒装备影响更大。

2.2 工作场地经常移动

不论是井下开采，还是露天开采，采煤工作面都是在不断移动的。一个采煤工作面的煤炭采完后，就要将采煤设备搬往另一个事先准备好的采煤工作面去生产。为此，在这一采煤工作面生产的同时，就要及早开拓、掘进巷道准备另一个接续的采煤工作面。一般

生产矿井每生产一万吨煤炭大体需要掘进巷道150~250米,即所谓的“万吨掘进率”。新工作面要铺设各种管道、线路和运输设备,旧工作面要拆除,搬运全部设备和支架,以及相应的管道线路。二者必须密切配合,以保证生产正常接替。如安排不当,甚至不能保持采掘平衡,就会出现采掘紧张,甚至失调的被动局面,严重时可能被迫减产或停产。

2.3 矿井建设周期长

煤矿建设,就一个矿井来说,工业广场往往受到地形、交通条件和煤炭资源赋存情况的限制,场地狭窄,尤其是在山区,问题更突出。矿井建设包括矿建、土建和设备安装三类工程,有许多金属结构、构筑物、管道、线路和大量的机电设备,任务很大,作业复杂,施工地点受限制,工期较长。有时还需要进行三类工程施工的平行立体交叉作业,技术难度很大。就一个矿区来说,不仅有若干矿井(露天)为主体,还有洗煤厂、机修厂、供水、供电、交通运输、通讯、照明、市政及相应的居民区和生活福利设施,有的矿区还有自备电厂、铁路专用线、水泥厂等,建设内容繁多,程序复杂,没有十几年时间是很难完全建成的。建设一个年产煤炭一千万吨的大型矿区需要20年左右的时间。即使基本建成投产,还会有一些收尾配套工程需要继续完善,达到设计生产能力,进行正常生产,还需要一定的时间。这就决定了煤矿建设同其他行业相比,建设周期较长,投资数额较大而资金回收较慢的一些特点。因此,在建设过程中就要进行一定的防腐工作。

此外,井下采掘作业都局限在断面只有几平方米到十几平方米的采煤、掘进工作面,生产作业和操纵设备受到作业场地的约束,需要选用一些专用的采掘设备。这是和地面露天作业或工厂车间作业不同的,因而增大了作业的难度。

2.4 生产环境恶劣

煤炭生产建设是地下作业,井下见不到阳光,又有水、火、瓦

斯、地热、地压和顶板冒落等自然灾害的威胁。因此，为了保证安全生产，在生产、施工中要经常注意采取预防措施，同井下突然涌水，煤层自然发火，火灾，瓦斯、煤尘爆炸，瓦斯突出，冲击地压，高地温，泥石流，顶板冒落，塌方等灾害作斗争。同时还要把新鲜空气送往井下各个工作场所，把水送到采掘工作面，进行通风、防尘和降温，改善作业环境；及时支护巷道和采煤工作面，防止冒顶事故发生；搞好瓦斯抽放和个人防护，防止煤尘、岩尘和有害气体对工人身体健康的危害。这些特点又决定了煤矿工人劳动条件艰苦，经常要保持高度警惕，防止意外事故发生，及时采取预防措施，确保安全生产。因为恶劣的井下环境，需要经常保证新鲜风流送到井下，使得供氧充足，加上井下一些有害气体和很高的湿度，加速了井下金属的腐蚀。

鉴于井下的特殊环境，金属腐蚀问题比较严重，尤其是立井井筒装备（罐道梁、罐道、梯子间等），提升容器（罐笼、箕斗），各种管路，普遍受到腐蚀影响，最严重的地区井筒装备使用寿命只有十年就得停产而全部更换，造成很大的经济损失。井下开采的煤矿一般都需要提升、运输、通风、排水、供电、供水（除尘、降温）、供气（压缩空气）、通讯、照明、采煤、掘进等系统，以保证安全生产和持续稳产。这些系统也受到不同程度的腐蚀。

3. 煤炭工业分类

煤炭工业大体上可分为煤炭生产，煤炭加工，煤炭转化和煤炭化工四大类。

3.1 煤炭生产

煤炭生产可根据开拓方式分为两类：

一类是井下开采，即通过开拓井筒（立井、斜井、平硐）及大量的巷道直达煤层，再在煤层中掘进顺槽、切眼而形成采煤工作面，然后进行生产（采煤），开采出来的煤类再经巷道、井筒运往地面的生产方法。井下开采都是地下作业，目前我国煤炭产量中井