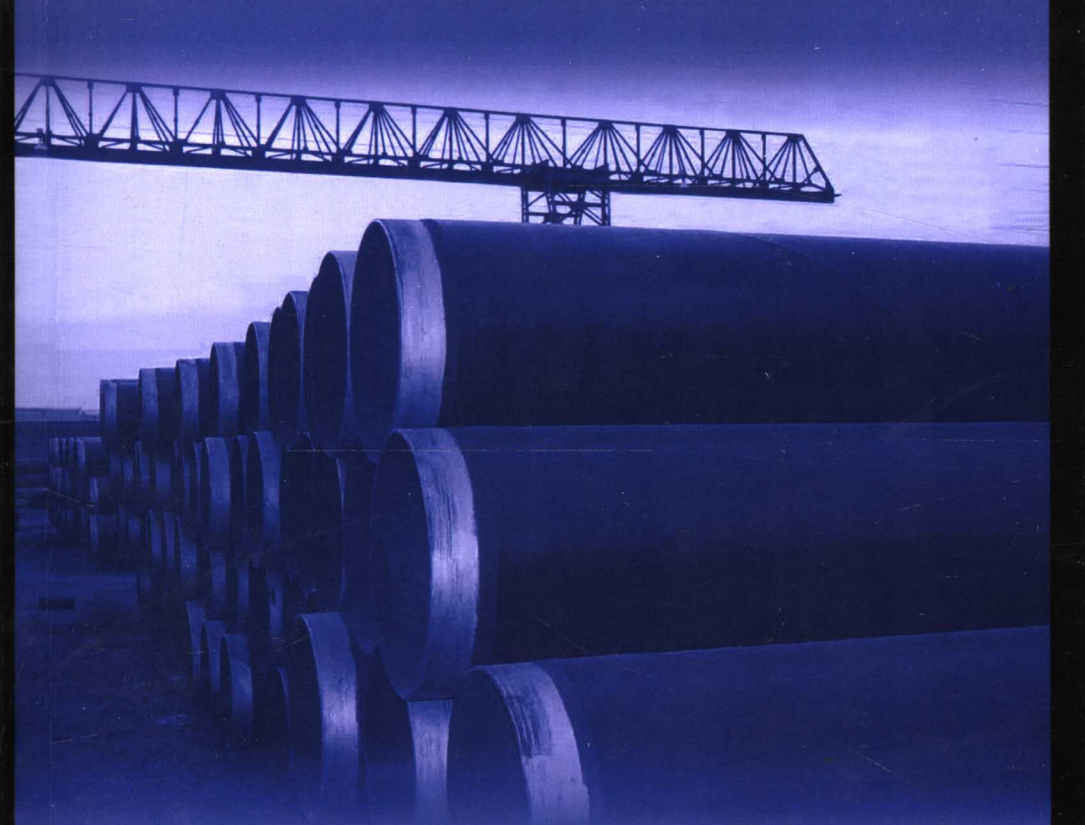




管道防腐蚀工程

柳金海 编著

便携手册



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



管道防腐蚀工程 便携手册

柳金海 编著



机械工业出版社

本手册系根据国家最新颁发的有关设计、施工规范和标准编写而成,系统地介绍了有关管道防腐蚀工程的实用知识和经验。主要内容有:金属的腐蚀、表面处理、涂料防腐蚀工程、管道外壁防腐蚀覆盖层、电化学保护、内防腐涂层技术、衬里管道的施工、管道防腐蚀工程安全技术。

本书可供管道工程设计及施工技术人员阅读,也可供相关专业的大中专院校师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

管道防腐蚀工程便携手册/柳金海编著. —北京:机械工业出版社, 2008. 1

ISBN 978 - 7 - 111 - 22762 - 5

I. 管… II. 柳… III. 管道防腐 - 技术手册
IV. U177 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 173432 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:何文军 责任校对:张媛

封面设计:姚毅 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷(兴文装订厂装订)

2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

148mm × 210mm · 20.625 印张 · 590 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-22762-5

定价:58.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 68327259

封面无防伪标均为盗版

前 言

管道工程是国民经济的重要基础设施，是很多工业发展的依托，是实现现代化的重要保障。

由于管道工程是由各类管材组成，且处于各种不同的运行条件和地质、地理或大气环境中，受到各种腐蚀因素的作用，因而形成不同的腐蚀状态。腐蚀造成的经济损失是人所共知的，因此必须采取适当的防护措施，才能使管道工程安全可靠地运行。

管道防腐蚀工程虽然非常重要，毋庸讳言，在整个管道工程中总归是一项附属工程。因而往往在工程的整体中处于“边沿”化的状态而不为重视。因此，以专题手册编写出版，除系统地介绍有关防腐蚀的知识和经验外，也希望借此书的出版，提请管道工程的设计施工人员认真对待和解决管道防腐蚀的问题。

管道电化学保护，以前基本上仅是长输管道的“专利”，但近二三十年来，已在市政煤气、热力管网上得到应用。特别是自 1989 年中国防腐蚀学会在北京专门召开了城市管道阴极保护会议以来，更是较快地推动了市政管网阴极保护工程的发展，为了使这一技术很好地得到推广应用，故专列一章予以介绍。

本手册在编写过程中承蒙洛阳航空建筑设计公司领导 and 同志们的大力支持，在此特致谢意。

由于编者的能力和条件所限，疏漏之处在所难免，谬误之处恳请广大读者批评指正。

柳金海

目 录

前言

第 1 章 金属的腐蚀	1
1.1 概述	1
1.1.1 腐蚀的基本概念	1
1.1.2 腐蚀的分类和等级划分	2
1.1.3 金属腐蚀速度表示方法	11
1.2 金属的电化学腐蚀	14
1.2.1 电极电位	14
1.2.2 腐蚀原电池	19
1.2.3 极化作用及产生的原因	25
1.2.4 氢去极化腐蚀和氧去极化腐蚀	27
1.2.5 腐蚀电池的极化图解	28
1.2.6 电位-pH 图	29
1.3 埋地管道的腐蚀	31
1.3.1 土壤腐蚀	31
1.3.2 细菌腐蚀	37
1.3.3 杂散电流腐蚀	38
1.4 腐蚀的危害及其防止	40
1.4.1 腐蚀的损失及危害	40
1.4.2 腐蚀的控制技术	41
第 2 章 表面处理	46
2.1 涂装前表面处理的作用和方法	47
2.1.1 涂装前表面处理的作用	47
2.1.2 涂装前表面处理的方法和特点	48
2.1.3 涂装前表面处理方法的选择	50
2.2 钢铁表面锈蚀等级和除锈等级	50

2.2.1	钢铁表面锈蚀等级	50
2.2.2	钢材的除锈等级	51
2.2.3	锈蚀等级和除锈等级的检验	55
2.2.4	涂装前钢材表面粗糙度等级	55
2.2.5	除锈等级的选择	56
2.3	除锈技术	59
2.3.1	机械除锈	60
2.3.2	喷、抛射除锈	64
2.3.3	喷砂除锈作业施工	71
2.3.4	化学处理	74
2.4	脱脂	76
2.4.1	碱液化学除油	76
2.4.2	有机溶液除油	77
2.5	磷化	79
2.5.1	磷酸盐膜的组分与分类	79
2.5.2	磷化工艺	81
2.5.3	磷化膜的质量检验	81
2.6	管道旧涂层处理	82
第3章 涂料防腐蚀工程		87
3.1	涂料的特点及组成	87
3.1.1	涂料的特点	87
3.1.2	涂料的防腐蚀作用	88
3.1.3	涂料的组成	90
3.2	涂料产品分类	101
3.2.1	涂料分类原则	101
3.2.2	涂料的型号组成	102
3.3	防腐蚀涂装的基本要求与涂料选择	103
3.3.1	防腐蚀涂装的基本要求	103
3.3.2	防腐蚀涂料品种的选择	107
3.3.3	常见环境防腐蚀涂料的选用	122
3.4	涂料涂装设计	133
3.4.1	名词、术语	133
3.4.2	防腐蚀涂装设计的程序与实施	135

VI

3.4.3 涂装工艺规程的编制	138
3.4.4 设计通则	144
3.5 常用涂料的品种及应用	168
3.5.1 防锈漆和底漆	168
3.5.2 常用面漆	171
3.6 防腐蚀涂层的施工	194
3.6.1 防腐蚀涂层施工的基本规定	194
3.6.2 涂装前表面处理与检查	206
3.6.3 涂料的配制与施工	208
3.6.4 埋地设备和管道防腐蚀施工	217
3.7 重防腐蚀涂装	220
3.7.1 重防腐蚀涂装的特点和要求	220
3.7.2 重防腐蚀涂料种类	221
3.7.3 重防腐蚀涂层施工	223
第4章 管道外壁防腐蚀覆盖层	228
4.1 管道覆盖层概述	228
4.1.1 覆盖层的作用	228
4.1.2 覆盖层和阴极保护	228
4.1.3 防腐蚀材料的基本要求	229
4.2 钢质管道及贮罐腐蚀控制	232
4.2.1 基本规定	232
4.2.2 防腐层	233
4.3 埋地钢质管道外壁涂覆有机覆盖层技术规定	235
4.3.1 一般规定	235
4.3.2 术语	236
4.3.3 材料管理	236
4.3.4 表面预处理	238
4.3.5 涂覆及检测	238
4.3.6 现场补口	239
4.3.7 覆盖层缺陷的修补	240
4.3.8 覆盖层钢管的搬运和安装	240
4.4 埋地钢质管道石油沥青防腐层施工	241
4.4.1 防腐层等级与结构	243

4.4.2	材料要求	244
4.4.3	钢管石油沥青防腐层的涂装工艺	246
4.4.4	施工技术要求	248
4.4.5	防腐管生产过程质量检验	250
4.4.6	标识、堆放和运输	251
4.4.7	补口和补伤	251
4.5	煤焦油瓷漆涂层技术	252
4.5.1	防腐层等级与结构	252
4.5.2	材料要求	253
4.5.3	施工技术要求	256
4.6	管道环氧煤沥青防腐涂层技术	258
4.6.1	涂层等级、结构及材料要求	259
4.6.2	施工工艺及技术要求	261
4.6.3	防腐层检验及修补	262
4.7	管道聚乙烯防腐层技术	264
4.7.1	聚乙烯防腐层结构、等级及材料要求	264
4.7.2	聚乙烯防腐层施工工艺	267
4.7.3	施工技术要求	269
4.7.4	补口和补伤	270
4.8	管道聚乙烯胶粘带防腐层技术	272
4.8.1	防腐层等级与材料要求	273
4.8.2	施工机具及施工技术要求	275
4.8.3	质量标准及检验方法	277
4.8.4	防腐胶粘带参考用量	278
4.9	管道熔结环氧粉末涂层技术	281
4.9.1	熔结环氧粉末外涂层的结构及材料要求	281
4.9.2	熔结环氧粉末的涂覆工艺	283
4.9.3	质量检验	285
4.9.4	涂层的补口及修补	286
4.9.5	涂覆生产的安全、环保要求	287
4.10	聚氨酯泡沫防腐保温技术	288
4.10.1	聚氨酯泡沫防腐保温层结构及材料要求	288
4.10.2	聚氨酯泡沫防腐保温工艺流程及施工技术要求	290
4.10.3	质量检验	292

4.10.4 补口与补伤	293
4.11 常用外壁防腐蚀层材料评选	294
第5章 电化学保护	297
5.1 概论	297
5.1.1 电化学保护定义	297
5.1.2 电化学保护分类	298
5.1.3 术语	299
5.2 电化学保护原理	300
5.2.1 理想极化曲线	300
5.2.2 铁类金属的电化学防护法	301
5.3 阳极保护原理	303
5.3.1 金属的钝态	303
5.3.2 阳极极化曲线	304
5.3.3 阳极保护原理	305
5.3.4 阳极保护的基本参数	305
5.4 阳极保护的应用	307
5.4.1 概述	307
5.4.2 阳极保护的主要装置	308
5.4.3 阳极保护的应用	310
5.5 阴极保护概述	311
5.5.1 阴极保护原理	311
5.5.2 阴极保护方法	314
5.5.3 阴极保护条件	316
5.5.4 阴极保护的基本参数	318
5.5.5 阴极保护设计规定	322
5.6 强制电流阴极保护系统的组成部件	328
5.6.1 电源设备	329
5.6.2 常用阳极材料	336
5.6.3 辅助阳极设计	342
5.6.4 常用导线及连接	347
5.6.5 电绝缘装置	354
5.6.6 其他配套设施	362
5.7 外加电流阴极保护设计	370

5.7.1	一般规定	370
5.7.2	主要工艺计算	372
5.7.3	保护站的设置原则	376
5.7.4	罐底外壁阴极保护	377
5.8	管道阴极保护工程施工	380
5.8.1	阴极保护管道防腐绝缘要求及绝缘法兰安装	380
5.8.2	电源设备的验收与安装	380
5.8.3	汇流点及辅助阳极的安装	381
5.8.4	测试桩、检查片的制作与安装埋设	383
5.8.5	牺牲阳极的安装	384
5.8.6	调试及交接验收	385
5.9	牺牲阳极保护	386
5.9.1	基本原理	386
5.9.2	常用牺牲阳极材料	389
5.9.3	工艺计算	403
5.9.4	牺牲阳极的施工	407
5.10	容器内壁阴极保护	409
5.10.1	保护电流密度的确定	409
5.10.2	所需阳极数量、形状、尺寸的确定	409
5.10.3	阳极的布置与安装	412
5.10.4	参比电极的安装	414
5.11	直流杂散电流干扰及其防护	414
5.11.1	概述	414
5.11.2	直流干扰的调查与测定	417
5.11.3	直流干扰的防护措施	420
5.11.4	排流保护的实施	424
5.12	交流杂散电流干扰影响的防护	432
5.12.1	主要交流杂散电流干扰源	432
5.12.2	交流干扰的判定与测试方法	433
5.12.3	不同类型交流干扰的防护措施	435
5.12.4	交流电干扰防护的运行管理	439
第6章	内防腐涂层技术	440
6.1	容器与贮罐内防腐涂层技术	440

6.1.1	容器与贮罐内防腐涂层技术要求	440
6.1.2	容器与贮罐内壁液体涂料防腐技术	441
6.1.3	防腐涂料的施工	442
6.2	管道内防腐涂层技术	445
6.2.1	内涂层的效果及技术要求	445
6.2.2	常用内壁涂料技术	447
6.2.3	钢管内涂层工艺设计对质量的影响因素	452
6.2.4	管道内防腐涂层质量控制	453
6.2.5	液体涂料内涂覆工艺	454
6.2.6	熔结环氧粉末内涂覆工艺	456
6.3	管道内涂层补口技术	459
6.3.1	管道内涂层补口技术要求	459
6.3.2	管道内涂层液体涂料补口机补口技术	459
6.3.3	记忆材料内补口技术	464
6.4	管道水泥砂浆衬里技术	466
6.4.1	水泥砂浆衬里工程的设计	466
6.4.2	衬里施工	475
6.4.3	风送法挤涂技术	479
6.4.4	离心法水泥砂浆衬里生产技术	485
6.4.5	管道水泥砂浆衬里涂覆机涂覆工艺	490
6.4.6	水泥砂浆衬里的质量检验和修补	494
6.5	管道液体涂料整体涂覆技术	496
6.5.1	工艺流程	496
6.5.2	施工准备	496
6.5.3	施工管段清管	498
6.5.4	施工管段内表面清理	499
6.5.5	施工管段内涂层整体涂覆	501
6.5.6	施工管段接口处内涂层补口	502
第7章	衬里管道的施工	504
7.1	综述	504
7.1.1	管道及设备对不同介质的防腐	504
7.1.2	管道衬里技术和操作要求	511
7.1.3	衬里管道的安装	512

7.1.4	管道衬里的基本规定	513
7.1.5	对碳素钢、铸铁设备、管道及管件的要求	514
7.2	橡胶防腐腐蚀衬里	516
7.2.1	衬里橡胶	516
7.2.2	天然橡胶板的选择	521
7.2.3	对衬橡胶设备及橡胶板的要求	524
7.2.4	天然橡胶衬里施工方法	526
7.2.5	橡胶衬里施工规定	531
7.2.6	氯丁橡胶衬里	540
7.2.7	橡胶衬里施工的最终检查及修补	556
7.2.8	衬胶钢管和管件	559
7.3	玻璃钢防腐腐蚀衬里	563
7.3.1	玻璃钢衬里的层间结构	564
7.3.2	玻璃钢衬里施工	566
7.3.3	玻璃钢衬里施工规定	569
7.4	软聚氯乙烯塑料衬里	575
7.4.1	软聚氯乙烯塑料的性能	576
7.4.2	软聚氯乙烯塑料衬里的施工方法	577
7.4.3	软聚氯乙烯板衬里的规定	579
7.5	衬铅及搪铅	583
7.5.1	衬铅	583
7.5.2	搪铅	586
7.5.3	衬铅和搪铅的规定	589
7.6	砖板防腐腐蚀衬里	595
7.6.1	砖板衬里的特点	595
7.6.2	砖板及衬板用胶泥的选择	596
7.6.3	对衬里设备的结构要求	598
7.6.4	衬里层结构及其节点的选择	599
7.6.5	底层材料及作用	601
7.6.6	砖板衬里施工与检查的规定	604
第8章	管道防腐腐蚀工程安全技术	623
8.1	管道防腐腐蚀工程现场安全管理	623
8.1.1	管道防腐腐蚀施工的现场安全管理重要性	623

XII

8.1.2 安全生产责任制	624
8.1.3 原材料贮存安全技术措施	624
8.1.4 除锈及管道、容器内作业安全技术措施	625
8.2 管道防腐蚀涂装的安全技术	626
8.2.1 防火安全技术	626
8.2.2 防毒安全技术	630
8.2.3 安全技术规定	633
8.3 防腐蚀涂装中的三废治理	636
8.3.1 涂装废气和漆雾的处理	636
8.3.2 涂装废水的处理	638
8.4 管道化学清洗安全技术	640
8.4.1 化学清洗安全措施	640
8.4.2 化学清洗废液处理	641
参考文献	643

第 1 章 金属的腐蚀

1.1 概述

1.1.1 腐蚀的基本概念

“腐蚀”一词出自拉丁文“*corrodere*”，意即“损坏”。从广义上讲，任何材料（金属或非金属材料）受到周围介质（如湿气、水、化工大气、电解液、有机溶剂、酸、碱等）的化学作用或电化学反应作用而遭到破坏的现象，统称为“腐蚀”。但习惯上，往往仅指金属材料受周围介质的化学或电化学反应作用而遭到破坏的现象称为腐蚀。从这一定义出发，不难推导出如下结论：

1) 腐蚀只涉及金属材料，不包括非金属材料的破坏。例如，塑料的老化、花岗石的风化、木材的腐烂等，尽管都是由于受大气等介质的复杂化学作用而引起的，但统统不包括在腐蚀的范围之内。

2) 腐蚀只涉及由化学或电化学反应作用而引起的金属材料的破坏，不包括其他作用而产生的破坏。因单纯机械作用而使金属材料破坏（如折断、破碎…）或磨损的现象称为侵蚀（*erosion*）。侵蚀和腐蚀（*corrosion*）是有本质区别的。

3) 化学或电化学反应的破坏包括一切金属由元素状态转变为化合物状态的各种破坏过程。例如，高温氧化以及在干燥气体、电解溶液、大气、土壤、有机溶剂等中的破坏。

4) 腐蚀既可指破坏的现象，也可指破坏的过程，这包括固体与液体或气体介质的相互作用，因此，腐蚀的过程是一个非常复杂的不均相反应过程。

金属分黑色金属和有色金属两大类。前者指钢铁及其合金；后者指除黑色金属以外的所有金属。在全部金属材料中，黑色金属占 90% 以上。黑色金属的腐蚀产物主要是附着在它的表面，通常能用

肉眼看到的棕黄色或棕红色的铁锈 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)，因此钢铁及其制品在大气中的腐蚀又称锈蚀。而有色金属在高温等环境条件下受大气、水、土壤、化学药品等介质的化学或电化学作用而引起的破坏现象均称腐蚀。黑色金属除受大气作用外，受水、土壤、化学药品介质作用而遭到的破坏现象也称腐蚀。由此可见，腐蚀一词是广义的，对黑色和有色金属均适用，而锈蚀一词的意义则比较狭窄，仅适用于黑色金属在大气中的腐蚀。国外都是这样区分腐蚀与锈蚀的，但在国内却不那么严格，甚至不加区别，往往把金属的生锈都统称为腐蚀。

1.1.2 腐蚀的分类和等级划分

为了深入的研究各种腐蚀现象的起因及防治措施，很有必要对各种介质环境下的腐蚀进行科学的分类。通常根据腐蚀因素、腐蚀环境和腐蚀表面状态来进行分类。

1. 按腐蚀因素分类

(1) 化学腐蚀 化学腐蚀是指金属表面与非电解质直接发生纯化学作用而引起的破坏。其反应过程的特点为，在一定条件下，非电解质中的氧化剂直接与金属表面的原子相互作用而形成腐蚀产物，即氧化还原反应是在反应粒子相互作用的瞬间与碰撞的那一个反应点上完成的。例如，铝在四氯化碳或乙醇中的腐蚀等就属于化学腐蚀。在化学腐蚀过程中电子的传递是在金属与氧化剂之间直接进行的，因而没有电流产生。实际在生产实践中单纯化学腐蚀的例子是很少见的。

(2) 电化学腐蚀 电化学腐蚀是指金属表面与离子导电的介质（电解质溶液）发生电化学作用而产生的破坏。任何一种按电化学机理进行的腐蚀反应至少包含一个阳极反应和一个阴极反应，并以流过金属内部的电子流和介质中的离子流联系在一起。阳极反应是金属离子从金属转移到介质中和放出电子的过程，即阳极氧化过程。阴极反应便是介质中氧化剂组分吸收来自阳极的电子的还原过程。电化学腐蚀的特点在于其腐蚀过程可分为两个相对独立、并且可以同时进行的过程。由于在被腐蚀的金属表面上一般具有隔离的阳极

区和阴极区，腐蚀反应过程中电子的传递可通过金属从阳极区流向阴极区，其结果有电流产生。

电化学腐蚀是最普遍、最常见的腐蚀。金属在各种电解质水溶液中，在大气、海水和土壤中的腐蚀都属于这一类型。一般说来，金属的电化学腐蚀要比金属的化学腐蚀强烈得多。金属的破坏大多数是电化学腐蚀所致。

(3) 物理腐蚀 物理腐蚀是指单纯的物理溶解作用而引起的破坏。许多金属在与高温熔盐、熔碱、液态金属相接触时会出现这种腐蚀。例如，用来盛熔融锌的钢容器，会被液态锌熔解变薄。

2. 按腐蚀环境分类

(1) 大气腐蚀·大气腐蚀属于电化学腐蚀。

大气腐蚀是金属处于表面薄层电解液下的腐蚀过程，因而具有与浸没在电解液内的腐蚀过程不同的特点。金属表面含饱和氧的电解液膜的存在，使大气腐蚀的电化学过程中氧去极化过程变得容易进行。在工业大气中，液膜常常呈酸性，这时可能产生氢去极化腐蚀。但由于氧极易到达阴极，所以氧的去极化作用仍然是主要的。

在薄液膜层下，腐蚀微电池的电阻显著增大，微电池作用变小。阳极区反应产物的金属离子和阴极区生成的离子，将在与金属表面紧密连接的电解液薄层中相互作用，生成不溶性腐蚀产物，并附着于金属表面，成为具有一定保护性能的腐蚀产物层。因此，大气腐蚀的腐蚀形态较为均匀一致。

在大气腐蚀条件下，腐蚀产物的成分和结构往往很复杂。

在实际的大气条件下，大气湿度一般不会很低。因此通常所说的大气腐蚀，就是指金属材料在常温下于潮湿空气中的腐蚀。

按国家标准 GB/T 15957—1995《大气环境腐蚀性分类标准》，在乡村大气、城市大气、工业大气（包括化工大气）和海洋大气四种大气环境下，露天裸露的普通碳钢结构大气环境腐蚀等级分类见表 1-1。该标准是防护涂料和防护材料选择的重要依据。表中腐蚀性气体类型 A、B、C、D 见表 1-2。

管道在大气中的腐蚀性物质可分为腐蚀性气体、酸雾、颗粒物（包括盐、气溶胶、粉尘等）、滴溅液体等。它们对钢质件表面的腐

蚀可按腐蚀性气体、酸雾、颗粒物、滴溅液体的腐蚀程度分为强腐蚀、中等腐蚀、弱腐蚀三类。见表 1-3。

表 1-1 普通碳钢结构大气环境腐蚀等级分类

腐蚀类型		腐蚀速率 / ($\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$)	腐 蚀 环 境		
等级	名称		环境腐蚀性 气体类型	相对湿度 (年平均)(%)	大气环境
I	无腐蚀	<0.001	A	<60	乡村大气
II	弱腐蚀	0.025 ~ 0.050	A	60 ~ 75	乡村大气
			B	<60	城市大气
III	轻腐蚀	0.025 ~ 0.050	A	>70	乡村大气
			B	60 ~ 75	城市大气和
			C	<60	工业大气
IV	中腐蚀	0.05 ~ 0.20	B	>75	城市大气
			C	60 ~ 75	工业大气和
			D	<60	海洋大气
V	较强腐蚀	0.20 ~ 1.00	C	>75	工业大气
			D	60 ~ 75	
VI	强腐蚀	1 ~ 5	D	>75	工业大气

注：在特殊场合与额外腐蚀负荷作用下，应将腐蚀类型提高等级，如：

1. 机械负荷；a. 风砂大的地区，因风携带颗粒（砂子等）使钢结构发生腐蚀的情况；b. 钢结构上用于（人或车辆）通行或有机械重负载并定期移动的表面。
2. 经常有吸潮性物质沉积于钢结构表面的情况。

表 1-2 腐蚀性气体的分类

腐蚀性气体类型	名 称	浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)
A	二氧化碳	≤ 2000
	二氧化硫	<0.5
	氟化氢	<0.05
	硫化氢	<0.01
	氮的氧化物	<0.1
	氯	<0.1
	氯化氢	<0.05