

工业建筑

腐蚀与防护工程

秦国治 吉静 金志强 马仁川 编著

中国石化出版社

工业建筑腐蚀与防护工程

秦国治 吉静 金志强 马仁川 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书结合作者多年科研成果和施工经验,概括了一整套工业建筑上有关防腐蚀工程的基础、材料、结构、涂料、检验方法以及安全技术等。书中内容理论与实践结合颇为紧密,可操作性很强,是工业建筑腐蚀与防护工程不可多得的一部参考书。

本书读者对象为建筑、建材、化工、涂料、防腐等行业的工程技术人员和管理人员,高等院校相关专业的师生。

图书在版编目(CIP)数据

工业建筑腐蚀与防护工程/秦国治等编著. —北京:
中国石化出版社, 2000
ISBN 7-80164-002-0

I. 王… II. 秦… III. 工业建筑-防腐
IV. TU896

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 67738 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010) 84271859

<http://press.sinopec.com.cn>

中国石化出版社照排中心排版

海丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开本 15.25 印张 387 千字 印 1—3000

2000 年 11 月第 1 版 2000 年 11 月第 1 次印刷

定价:30.00 元

目 录

第一章 建筑腐蚀分类及材料选择	(1)
第一节 腐蚀给国民经济带来巨大的损失	(1)
第二节 建筑材料的腐蚀特点和腐蚀形式	(2)
第三节 腐蚀性分类	(6)
一、建筑材料腐蚀等级	(6)
二、气体腐蚀分类	(7)
三、液体腐蚀分类	(9)
四、固体腐蚀分类	(11)
第四节 耐腐蚀材料的选择	(12)
第二章 表面处理	(14)
第一节 概述	(14)
第二节 金属表面处理	(14)
一、除油处理	(14)
二、除锈处理	(15)
三、钝化、磷化处理	(19)
四、旧漆层的处理	(20)
五、金属表面处理的等级标准	(23)
第三节 水泥砂浆混凝土基层的处理	(24)
一、对基层的要求	(24)
二、表面处理	(25)
第四节 木材表面处理	(26)
第五节 玻璃和陶瓷表面的处理	(26)
第六节 塑料表面的处理	(27)
第三章 建筑防腐蚀特点	(29)
第一节 地基上的腐蚀及其防护	(29)
第二节 基础的腐蚀与防护	(30)
一、一般基础	(30)
二、桩基	(31)
第三节 地面防腐蚀构造	(31)
一、防腐蚀地面的基本构造	(32)
二、面层材料的选择及厚度的确定	(33)
三、垫层、隔离层及结合层的要求及规定	(35)
四、防腐蚀地面的类型	(36)
五、地面坡度、挡水和变形缝	(41)
六、防腐地面使用、设计及维护	(42)

第四节 设备基础的防腐蚀构造	(43)
一、耐酸混凝土覆面设备基础	(44)
二、混凝土设备基础衬玻璃钢	(44)
三、混凝土设备基础衬耐酸砖板	(45)
四、整体花岗石设备基础	(45)
五、整体浇灌耐酸混凝土设备基础	(45)
六、硫磺混凝土浇灌整体设备基础	(45)
第五节 地沟、地坑、地漏的防腐蚀结构	(46)
第六节 构件的表面处理及防护	(47)
一、混凝土构件	(47)
二、钢结构	(47)
第七节 门窗的防护	(48)
第八节 屋面、木屋架和木天棚的防护	(48)
一、屋面	(48)
二、木屋架和木天棚	(49)
第九节 室外管架的防护	(49)
一、钢筋混凝土管架	(49)
二、钢结构管架	(50)
第十节 非金属槽、池	(50)
一、槽体结构	(50)
二、槽、池的内表面防护	(52)
三、非金属槽、池的防腐蚀衬里	(53)
第十一节 工业排气筒	(55)
一、排气筒的腐蚀原因	(55)
二、排气筒设计要点及型式选择	(56)
三、排气筒的选材、结构设计和表面防护	(59)
第四章 建筑结构材料	(61)
第一节 水泥、水泥砂浆、混凝土和钢筋混凝土	(61)
一、建筑常用的普通硅酸盐水泥	(61)
二、矿渣硅酸盐水泥	(62)
三、火山灰质硅酸盐水泥	(62)
四、水泥砂浆和混凝土	(62)
第二节 耐腐蚀材料	(67)
一、天然耐酸材料	(67)
二、人造耐酸材料	(70)
三、建筑用砖	(74)
四、木材	(75)
五、金属	(77)
六、塑料	(78)
七、玻璃钢	(80)

第五章 建筑胶结材料防腐蚀工程	(85)
第一节 沥青类防腐蚀工程	(85)
一、原材料和制成品的质量要求	(85)
二、碎石灌沥青的施工	(88)
三、冷底子油的配制和涂刷	(89)
四、隔离层的施工	(90)
五、沥青胶泥铺砌块材的施工	(91)
六、沥青砂浆和沥青混凝土的施工	(93)
七、沥青浸渍砖的铺砌	(95)
八、沥青类材料物理及耐腐蚀性能	(95)
第二节 水玻璃类防腐蚀工程	(97)
一、原材料的要求	(97)
二、水玻璃胶泥、砂浆、混凝土的配制及施工配合比	(101)
三、水玻璃胶泥、砂浆、混凝土的施工	(103)
四、养护及酸化处理	(105)
五、水玻璃类材料耐腐蚀性能	(106)
第三节 硫磺类材料防腐蚀工程	(106)
一、原材料要求	(107)
二、硫磺胶泥、砂浆的熬制	(109)
三、硫磺胶泥、砂浆、混凝土施工	(110)
四、硫磺类耐酸材料的耐腐蚀性能	(113)
第四节 合成树脂类防腐蚀工程	(113)
一、环氧类防腐蚀工程	(113)
二、环氧煤焦油类防腐蚀工程	(115)
三、环氧酚醛类防腐蚀工程	(118)
四、环氧呋喃类防腐蚀工程	(119)
五、酚醛树脂类防腐蚀工程	(120)
六、二甲苯甲醛改性酚醛树脂胶泥防腐蚀工程	(122)
七、呋喃类防腐蚀工程	(124)
八、呋喃沥青类防腐蚀工程	(127)
九、不饱和聚酯类防腐蚀工程	(128)
十、橡胶水泥砂浆防腐蚀工程	(133)
十一、乙烯基酯类树脂玻璃钢、胶泥、砂浆防腐蚀工程	(135)
十二、聚丙烯酸酯乳液水泥砂浆防腐蚀工程	(136)
十三、聚合物浸渍混凝土防腐蚀工程	(137)
十四、改性聚氯乙烯胶泥防腐蚀工程	(138)
第六章 工业建筑防腐蚀涂料	(140)
第一节 防腐蚀涂层的作用、性能 and 特点	(140)
一、防腐蚀涂层的作用	(140)
二、防腐蚀涂层的性能	(140)

三、防腐蚀涂层的特点	(141)
第二节 防腐蚀涂料	(141)
一、防腐蚀涂料的选择	(141)
二、防腐蚀涂层的结构选择	(144)
第三节 防腐蚀涂料配套举例	(145)
第四节 常用的防腐蚀涂料	(145)
一、各种防锈涂料	(145)
二、带锈防锈涂料	(150)
三、磷化底漆	(153)
四、无机富锌涂料	(155)
五、沥青漆	(157)
六、乙烯类树脂涂料	(166)
七、环氧树脂类防腐涂料	(169)
八、橡胶类防腐涂料	(176)
九、聚氨酯防腐涂料	(184)
十、漆酚树脂涂料	(189)
十一、防污涂料	(190)
十二、特种防水防渗材料——氰凝	(191)
十三、玻璃磷片树脂胶泥与涂料	(193)
十四、有机硅类防腐涂料	(195)
第七章 耐酸陶管工程	(198)
第一节 沥青胶泥接口	(198)
第二节 硫磺砂浆接口	(199)
第三节 树脂胶泥接口	(199)
第四节 水玻璃砂浆接口	(200)
第五节 铸石管道接口	(200)
一、管箍接口	(200)
二、水泥砂浆接口	(201)
三、沥青水泥砂浆接口	(201)
四、石棉水泥接口	(201)
五、膨胀性填料接口	(202)
第八章 原材料及制成品的检测方法	(203)
第一节 原材料的检测方法	(203)
一、陶瓷制品、铸石板、条石、骨料和粉料耐酸率的测定方法	(203)
二、陶瓷制品和条石吸水率的测定法	(203)
三、耐酸砖、热稳定性板的测定法	(203)
四、条石抗压强度和浸酸安定性的测定法	(204)
五、粉料含水率和细度的测定法	(204)
六、粉料亲水系数的测定法	(204)
七、粗骨料浸酸安定性的测定法	(205)

八、填料混合物空隙率的测定法	(205)
九、水玻璃模数的测定法	(205)
十、水玻璃相对密度的测定法	(206)
十一、硫磺含磺量的测定法	(206)
十二、酚醛树脂游离酚含量、游离醛含量、水分和粘度的测定法	(206)
十三、呋喃树脂的固体含量、灰分、水分和粘度的测定法	(207)
十四、乙二胺纯度的测定法	(208)
十五、苯磺酰氯和甲苯磺酰氯纯度的测定法	(209)
十六、氟硅酸钠纯度的测定法	(209)
第二节 涂料及涂层的性能检验方法	(209)
一、涂料性能的测试	(209)
二、涂层性能测定法	(211)
第三节 制成品的试验方法	(211)
一、沥青类制成品的性能测定	(211)
二、水玻璃类制品的性能测定	(213)
三、硫磺类制成品的性能测定	(214)
第九章 安全技术	(216)
第一节 防火	(216)
第二节 防毒	(217)
附录 1 各类防腐蚀材料耗用量估算数据	(219)
附录 2 国内外筛网数据及对照	(224)
附录 3 涂膜厚度有关数据	(228)
附录 4 钢铁及其结构腐蚀的相关参数	(228)
附录 5 各种粘度对照表	(229)
附录 6 酸、碱溶液浓度与 pH 值对照表	(230)
附录 7 常见生产厂房或部位腐蚀类别举例	(230)

第一章 建筑腐蚀分类及材料选择

第一节 腐蚀给国民经济带来巨大的损失

随着近代工业迅速地发展,金属腐蚀问题越来越严重,因此国家科技部门、工业部门越来越重视腐蚀问题。因为金属腐蚀给国民经济带来巨大的损失,据统计每年由于腐蚀而报废的金属设备和材料相当于金属年产量的1/3。假定其中的2/3的金属尚可回炉重新熔炼,那么剩下的1/3,或者说约有1/10的金属材料因腐蚀而无法回收。现在全世界每年的金属生产量约 $8 \times 10^8 \text{t}$,相当于每年有 $8 \times 10^7 \text{t}$ 钢铁因腐蚀而损失。我国年产钢铁若以 $16 \times 10^7 \text{t}$ 计,则每年因腐蚀要消耗掉 $6 \times 10^6 \text{t}$ 钢材,这个数字刚好等于上海宝山钢铁总厂的年产量。可见腐蚀对自然资源是极大的浪费。

腐蚀的危害不仅在于金属资源的浪费,更重要的是金属结构的破坏,提前退出服役。金属设备的造价费用远远超过金属材料本身的价格。

据一些工业发达的国家统计,每年由于腐蚀造成的经济损失约占国民经济生产总值的1%~4%。1984年世界主要工业发达国家的年腐蚀损失统计如下表所示:

工业发达国家 1984 年腐蚀损失表

国 别	腐 蚀 损 失	占国民经济生产总值	国 别	腐 蚀 损 失	占国民经济生产总值
美国	750 亿美元	4%	英国	100 亿英镑	3.5%
前苏联	147 亿卢布	2%	法国	1150 亿法郎	1.5%
德国	300 亿马克	3%	日本	160 亿美元	1.8%

我国的腐蚀损失究竟有多少,目前尚未作详细调查。但根据原化工部对下属10个化工厂的调查情况看,腐蚀轻的工厂损失占其产值1%,而腐蚀严重的工厂损失要占其产值的11%。显然,我国每年由于腐蚀所造成的损失也是相当严重的。如按国民经济总值1.25%计算,约合70亿以上人民币的损失。如按国民经济总值4%估算,一年腐蚀损失约合250亿人民币。据调查,国内年总产量 $30 \times 10^4 \text{t}$ 合成氨的中型化肥厂,每年因腐蚀报废的钢铁达1350~2100t,平均每吨氨耗钢材4.5~7kg。某大型染料厂,每年因腐蚀而报废的钢材也达到2000多吨。

腐蚀造成的经济损失可分为直接损失和间接损失两类。直接损失包括更换设备和构件,为了防止腐蚀采用涂料、衬里、加缓蚀剂、阴极保护、采用耐蚀合金代替碳钢等,这些费用容易估算。间接损失包括设备停车的利润损失,腐蚀泄漏引起产品的流失、污染、中毒、着火、爆炸等,这些损失是无法估算的。在石油化工生产中因腐蚀而造成的事故占50%。此外腐蚀除了引起严重经济损失之外,腐蚀还可使设备使用寿命和运转周期缩短,从而造成减产和设备制造维修费的增加。

腐蚀是社会上人们关注的一个重大问题。腐蚀问题解决不了往往会直接影响新技术、新材料、新工艺的实现。尤其是现代化的石油化工中高温、高压、复杂的腐蚀介质,设备腐蚀问题解决不了无法生产,所以防腐工作是现代工业迫在眉睫的问题。

掌握现代腐蚀与防护新技术，搞好防腐工作是一项新的任务。搞好防腐工作对促进新技术的发展，节省钢材，延长设备使用寿命，节省大量资金，保证安全生产，减少环境污染有着重大意义。望各界防腐有识之士肩负重任，搞好防腐工作，促进科学技术发展，减少经济损失和灾害，造福于社会子孙后代。

第二节 建筑材料的腐蚀特点和腐蚀形式

随着近代工业迅速发展，腐蚀问题越来越严重。尤其是石油化工工艺复杂，化学腐蚀介质种类多，温度、压力、流速、磨损对设备产生强烈的腐蚀。工厂排放的废气、废水、废渣、废液对建筑物和构筑物也产生强烈的腐蚀。这些含酸、碱、盐的废物及酸性气体对建筑结构的危害极大，加速建筑物的破坏。因此，在石化系统中的建筑物要做好防腐蚀工作，对延长建筑物的寿命，保证安全生产是有重要意义的。

化工厂房不仅要承受一般工业厂房的荷载，还要遭受腐蚀性介质的侵蚀，如地面、地沟、墙壁、柱子等。腐蚀介质渗入地下与地基、基础、地下管道、电缆发生腐蚀作用。工业大气含有酸性腐蚀介质，因空气潮湿凝结成酸雾，使建筑物、桥梁、设备、塔架遭到腐蚀，缩短建筑物的寿命。

钢铁容易在水、蒸汽、化学侵蚀性气体、酸碱盐溶液的作用下，发生电化学腐蚀。据测定化工大气对钢铁的腐蚀速度达 $500 \sim 1000 \mu\text{m/a}$ ，比一般工业大气的腐蚀速度约大 3~5 倍。木材在某些酸(醋酸、磷酸、氢氟酸、盐酸、硫酸)的稀溶液中比较稳定，但在浓酸中，特别是加热时，则容易被破坏；含氧酸类(硝酸、浓硫酸和铬酸等)、酸式盐溶液均能使木材腐蚀，苛性碱和碱金属碳酸盐的水溶液，就是浓度很低也能破坏木材。普通粘土的主要成分是二氧化硅和氧化铝，在苛性碱和碱性金属碳酸盐溶液作用下极易破坏。粘土砖、石灰砂浆、水泥砂浆的孔隙度较高，由于侵蚀性盐类，特别是带有结晶水的盐类进入孔隙内，盐的结晶会膨胀挤破孔壁使砖砌体疏松解体，失去承载能力。钢筋混凝土抗蚀性与混凝土相同。混凝土的耐腐蚀性能主要取决于成分，即水泥和集料的耐腐蚀能力以及混凝土的密实性。一般水泥与有机酸、无机酸、酸式盐、氯化盐、糖类等溶液，均能起化学反应，使混凝土逐渐腐蚀破坏。只有硅酸盐、氢氟酸盐、碳酸盐和碱的溶液对水泥无害。化工大气对钢筋混凝土结构也有腐蚀，但只是在湿度过高和通风不良的情况下才会发生作用。

化工建筑物及构筑物抵抗化学腐蚀能力，主要取决于所用建筑材料的耐腐蚀性能，以及构体表面的耐腐蚀保护层和构造措施。因此，合理选择耐化学腐蚀的建筑材料是非常重要的。建筑材料的耐化学腐蚀性不仅与它的化学成分、构造密实度有关，而且与腐蚀介质种类、状态、粘度、温度、作用方式、作用强度、持续时间也有关。

在工业生产过程中，化学介质对建筑物和构筑物的腐蚀过程是比较复杂的，都是介质对各种建筑材料的腐蚀。按作用介质可分为液相、气相和固相。综合各种介质对非金属建筑材料的腐蚀原理各种破坏现象，又大体可归纳为化学溶蚀和膨胀腐蚀两种主要腐蚀形式。

1. 气相介质腐蚀

在化工生产中由于跑、冒、滴、漏或废渣废液的挥发、烟气的排放，使空气中含有各种酸性气体如氯气、氯化氢、二氧化硫、氨、二氧化氮、硫化氢等。气体遇到水蒸气、潮湿情况下冷凝形成酸雾液体会腐蚀混凝土及钢铁结构。混凝土被腐蚀发生裂缝后，又腐蚀钢筋。

气相腐蚀程度取决于气体的性质、作用量和环境相对湿度， also 和被腐蚀材料的性质以及

密实性密切相关。

对气相介质最敏感的建筑材料是金属，其次是钢筋混凝土。钢筋混凝土受气体的腐蚀，主要是钢筋腐蚀。在同等条件下，粘土砖、混凝土和木材，受气相介质腐蚀的程度相对轻一些。

在各种气体中，以氯化氢、氯、硫酸酸雾和氧化氮等酸性气体对钢结构和钢筋混凝土结构的腐蚀最为严重。碱性气体对钢结构和钢筋混凝土结构的腐蚀最为严重。碱性气体对各种建筑材料的腐蚀较轻微。

湿度是气体对金属电化学腐蚀的重要因素之一。在一定温度下，大气相对湿度在 60% 以下，金属的腐蚀速度比较缓慢，但当大气湿度增加到一定数值时，腐蚀速度突然升高，这一湿度的数值即称为临界湿度。对于钢铁来说，临界湿度是在 60% ~ 70% 之间。

对非金属材料而言，材料的密实程度与腐蚀有密切的关系。国内外的实验研究一致认为，混凝土的密实性对降低其中钢筋的腐蚀速度起着重要的作用。资料表明，在 C20 号混凝土中的钢筋锈蚀速度，比在 C25 号混凝土中快 30%。

2. 液相介质的腐蚀

酸碱盐废渣废液废水等液体对混凝土及钢铁腐蚀比气体腐蚀程度快且严重。在工业生产中经常接触的酸性介质有硝酸、盐酸、硫酸、铬酸、醋酸、磷酸等。它们对砖、水泥、钢材、木材等大多数建筑材料起化学破坏作用，且破坏力远比碱类介质、盐类介质明显。

酸按其在水溶液中产生氢离子数目的多少，可分为强酸和弱酸。硝酸、硫酸、盐酸、铬酸属于强酸，醋酸属于弱酸。酸性介质的腐蚀，除决定于本身强弱程度之外，还取决于它的氧化能力。硝酸、浓硫酸和铬酸的氧化能力最大，对有机建筑材料如木材、沥青、煤焦油、合成树脂等的腐蚀是剧烈的，而对含有氧化硅的无机材料如耐酸砖板、花岗石、陶瓷制品、铸石板和水玻璃类耐酸材料无腐蚀作用。盐酸在水溶液中能生成次氯酸，同样具有较强的氧化能力，对建筑物的腐蚀也相当剧烈。无机酸和有机酸对钢铁、混凝土及水泥砂浆破坏非常快，所以必须进行防腐。

液相介质对材料的腐蚀是最严重的，腐蚀程度主要取决于介质的性质、浓度、温度和作用量，同时又与被腐蚀材料的性质和密实性有关。

在建筑物和构筑物中，液相介质主要作用于设备基础、楼地面、基础和地基，也偶尔作用于墙面和柱面等其它部位。所接触的主要是混凝土、钢筋混凝土、钢和粘土砖。不同性质的液体对不同材料的腐蚀性有很大差别。例如酸对混凝土的腐蚀比较严重，而碱对混凝土的腐蚀较轻微。硝酸的腐蚀对比脂肪酸严重得多。硫酸钠虽然是盐类，但是浓度高的硫酸钠溶液对砖墙的腐蚀甚至比酸还严重。同样的溶液，温度愈高，腐蚀性愈强。对一般建筑材料，溶液的浓度愈高，腐蚀性也愈强。

介质作用量也是十分重要的，这就是所谓的“作用强度”。例如，湿法冶炼的脱铜电解厂房，大量含酸的硫酸铜脱铜电解液作用于厂房地面，经常是处于潮湿状态。它的腐蚀性要比浓硫酸贮槽附近的地面严重得多，因浓酸不经常滴漏，地面通常处于干燥状态。酸洗、电镀车间的酸洗、电镀液浓度也并不很高，但是滴落在地面上的液体量很多，因此腐蚀性较大。

3. 固相介质腐蚀

固相介质绝大部分是盐类。颗粒较小的固体称为粉尘，颗粒极小的粉尘在空气中呈悬浮状时被称为气溶胶，粉尘和气溶胶的腐蚀与气相介质有些类似。

盐类的腐蚀性，与其性质、溶解度、吸湿性以及环境的温度、湿度有关。完全干燥的固体，不具有腐蚀性。固体只有在吸湿溶解成为液体后，才具有腐蚀性。附在金属构件表面上的盐类吸湿性愈大，形成的液膜就愈厚。从电化学腐蚀的观点解释，此时电阻降低而腐蚀加快。吸湿性粉尘的存在，会使所接解的构件表面的露点降低。特别是有些氯化物，如海盐等，可以使钢结构材料的临界湿度降低到 35% 以下，大大地扩大了腐蚀的范围。这就是为什么一些相对湿度很低的地区，盐雾仍然会对建筑材料产生腐蚀的原因。

盐类吸湿或溶解后，与液相介质的盐溶液基本相同，因此，盐的溶解度和吸湿性愈大，腐蚀性也愈大。一些盐类、气溶胶和粉尘的溶解度和吸湿性的特性，见表 1-1。

表 1-1 盐类、气溶胶和粉尘的特性

溶解度和吸湿性	盐类、气溶胶和粉尘举例
难溶解	硅酸盐和铝酸盐的粉尘，硅酸盐；磷酸盐（磷酸-氢盐、磷酸正盐）；碳酸钙、碳酸钡、碳酸铅；硫酸钡、硫酸铅；氧化铁和氢氧化铁、氢氧化铬，氢氧化铝
易溶解难吸湿	氯化钠，氯化钾，氯化铵，氯化锂；硫酸钠，硫酸钾，硫酸锂，硫酸铵；硝酸钾，硝酸钡，硝酸铅，硝酸镁；碱金属碳酸盐；氢氧化钙，氢氧化镁，氢氧化钡
易溶解吸湿	氯化钙，氯化镁，氯化铝，氯化锌，氯化铁等；硫酸铁，硫酸锰，硫酸镁，硫酸锌，硝酸钠，硝酸镁，亚硝酸钠，亚硝酸铵；全部磷酸二氢盐；磷酸一氢钠，氧化钠，氧化钾，氧化钡，氧化钙，氧化镁；氢氧化钠，氢氧化钾，氢氧化锂

注：难溶解的盐类是指溶解度小于 2g/L；

易溶解的盐类是指溶解度大于 2g/L；

难吸湿的盐类是指湿度为 20℃ 时，相对平衡湿度等于或大于 60%；

吸湿的盐类是指 20℃ 时，相对平衡湿度小于 60%。

大部分盐类都有膨胀腐蚀的特点，盐类吸湿溶解后渗入材料内，在材料孔隙中产生再结晶，体积膨胀而造成对材料的应力破坏。此时，材料的密实性和盐类再结晶后的体积膨胀率是腐蚀程度的重要因素。部分盐类再结晶后的体积膨胀率举例如表 1-2。

表 1-2 一些盐类结晶水化物的膨胀率

介质名称	结晶水化物	转换温度/℃	膨胀率/%
NaCl	NaCl·2H ₂ O	0.15	130
Na ₂ CO ₃	Na ₂ CO ₃ ·10H ₂ O	33.00	148
Na ₂ SO ₄	Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	32.30	311
MgSO ₄ ·H ₂ O	MgSO ₄ ·6H ₂ O	73.00	145

盐类介质的溶液粘性小渗透力强，干燥后产生结晶膨胀。尤其是氯盐、硫酸盐对建筑物钢筋混凝土、砖和金属有强烈的腐蚀作用。氯盐对钢结构和钢筋混凝土结构的破坏最为严重。据资料所载新建的化工厂投产不到 6 年时间，地面、混凝土被腐蚀裂纹，分层剥落钢筋被腐蚀。

碱类介质腐蚀作用。工业生产中经常接触的碱性腐蚀介质有氢氧化钠、碳酸钠、氨水等。根据碱在水溶液中的离解度与产生氢氧根离子的多少，可分为强碱和弱碱。氢氧化钠、氢氧化钾、碳酸钠等属于强碱、氢氧化铵、氢氧化铝属于弱碱。

碱性介质主要有有机材料如木材、沥青类材料、水玻璃类材料、硫磺类材料及合成树脂类材料有腐蚀破坏作用。由于碱性介质对水泥砂浆、混凝土有侵蚀破坏作用，主要生成铝酸盐——铝酸氢钙。因此，要求耐碱水泥氧化铝含量要小于 2%~3%；要求硅酸钙含量最高，

它耐碱性能强；最耐碱的是氧化铁含量 7%~8%、氧化铝含量 2%~3% 的铁矿水泥。

碱性介质与地面接触，如混凝土垫层，用水泥砂浆粘结瓷砖板。碱性介质首先对水泥接缝起作用。渗入水泥砂浆后，水泥砂浆孔隙中由于碱的结晶膨胀作用，产生局部应力造成裂痕。碱液通过裂痕渗到混凝土垫层，破坏混凝土的表面。因此衬的瓷砖板脱落，面层遭到破坏。

瓷砖板本身的耐碱性要根据它的孔隙度来决定。例如一级瓷砖板具有熔结烧材，孔隙度又很低，则完全不受碱液的破坏作用，实际上可长期使用。如孔隙度为 4%~5% 受到碱的腐蚀作用，其腐蚀速度约相同于水泥接缝。

无机材料耐酸碱的性能取决于它的化学成分和矿物成分、孔隙度(开孔和闭孔)、结构、细粒结晶及酸碱种类、浓度、温度、作用量及持续时间等。从材料成分上来看，酸性氧化物占多数的材料耐酸不耐碱，碱性氧化物占多数的材料耐碱不耐酸。无机材料中含二氧化硅占 55% 以上为耐酸材料。

一般硅酸盐材料能溶于氢氟酸，300℃ 热磷酸、钼酸、钨酸。

材料的孔隙率和无孔的性质对酸碱介质腐蚀有重大的影响，孔隙率愈高，介质侵蚀性愈强，孔隙率愈小侵蚀性也愈小，而且强度高又密实，但传热系数小脆性也愈大。

具有晶体结构的无机材料，抗酸碱性能好，抗冲击韧性好。例如石英石、铸石、石墨等耐腐蚀性能好。

化学溶蚀作用。腐蚀介质与材料相互作用，生成溶性的化合物或者无胶结性能产物，属于化学溶蚀。

化学溶蚀与三个因素有关。首先与介质的 pH 值有关。pH 值愈低，则腐蚀愈强；第二与材料的成分有关。介质与材料中起反应的组分愈多，则腐蚀性愈强；第三腐蚀程度与腐蚀产物的溶解度有关。腐蚀产物的溶解度愈高，则腐蚀速度愈快；腐蚀产物难溶或不溶时，则腐蚀速度减慢直至停止。

这类腐蚀以酸对水泥类材料的腐蚀最具有代表性。大多数酸与水泥砂浆、混凝土游离的氢氧化钙以及铝酸钙、硅酸钙中的氧化钙反应，生成水溶性的盐。强的无机酸，如硫酸、盐酸、硝酸等能溶解全部胶结水泥的成分，形成钙盐、铝盐、铁盐和硅胶。弱酸和大多数有机酸，例如碳酸、乳酸等，仅能与水泥形成水溶性盐和一些钙化物，而且反应慢腐蚀性小。

酸与粘土砖中的氧化铝反应，生成易溶的盐。

碱对材料也有溶蚀作用，如氢氧化钠与水泥砂浆混凝土、木材、粘土砖都能生成可溶性或易溶性的腐蚀产物。碱与水泥中的硅酸钙、铝酸钙作用，生成氢氧化钙、硅酸钠、铝酸钠可溶性盐。镁盐和铵盐能与水泥中的氢氧化钙生成可溶性盐。以上这些都是化学溶蚀，也叫化学腐蚀。

膨胀腐蚀作用。介质与材料中的组分发生化学反应，生成体积膨胀的新生成物，因而在材料中产生内应力，使材料结构破坏；或盐的溶液渗入材料的孔隙中积聚后脱水结晶，固相水化物体积膨胀，同样也产生内应力而使材料结构破坏。以上两种现象通称为膨胀腐蚀。

一般情况下，硫酸盐类的膨胀比较严重，而且有代表性，强酸弱碱的盐往往又比强碱弱酸的盐腐蚀性大。因为酸离子对大多数无机材料还有分解作用。腐蚀大小还与腐蚀产物或者结晶水化物的体积增大程度有关，体积膨胀率愈大，腐蚀性愈强。

硫酸盐腐蚀常见于硫酸盐对水泥砂浆、混凝土、粘土砖、地基土等作用。单纯的盐类结晶膨胀大多是在盐类对多孔材料作用后，在温度、湿度变化条件下发生的。例如碳酸钠渗入

不密实的砖或混凝土内，结晶后的十水碳酸钠的体积为原来的 2.48 倍，这样大的体积膨胀足以使材料膨胀、开裂，甚至剥落。腐蚀程度与介质结晶后的膨胀率以及材料的密实性有关。膨胀率小的盐破坏性小，密实性材料使介质不易渗入，体积膨胀率小的盐类对密实性材料可视为无腐蚀性。

第三节 腐蚀性分类

一、建筑材料腐蚀等级

根据介质分类、介质品种、腐蚀对象，对不同建筑材料划分腐蚀性等级。介质对建筑材料破坏情况、强度的损失及破坏的速度等进行腐蚀性综合评定，划分为：强腐蚀、中等腐蚀、弱腐蚀、无腐蚀四个等级，见表 1-3。

表 1-3 建筑材料腐蚀等级

腐蚀等级	非金属、金属建筑材料表面状态
强腐蚀	在介质作用下，一年后表面有明显破坏或强度降低不大于 8% ~ 20%；金属腐蚀速度不大于 0.5mm/a
中等腐蚀	在介质作用下，一年后表面有局部破坏或强度降低为 5% ~ 20%；金属腐蚀速度为 0.1 ~ 0.5mm/a
弱腐蚀	在介质作用下，一年后表面有轻度破坏或强度降低小于 5%；金属腐蚀速度小于 0.1mm/a
无腐蚀	在介质作用下，一年后表面无腐蚀征状或只有极轻微的破坏而不影响材料正常使用寿命

非金属和金属建筑材料的腐蚀与介质状态、种类、腐蚀对象有关，分述如下：

1. 介质状态

腐蚀介质可分为液相、固相、气相三态。固态介质有其自身的腐蚀规律，除介质化学腐蚀性外还有与腐蚀密切相关的物理特性——溶解度和吸湿。因此，固态介质以独立形态分类更为确切。当有液体共同作用时，易溶固体溶解为液态时，按液态考虑。

液态介质分为腐蚀性水和酸碱盐两部分。腐蚀性分以 pH 值或腐蚀性离子含量分类；主要作用于地下构筑物或污水处理池等部位。酸碱盐介质以不同性质和浓度的溶液进行分类；主要用于贮槽、楼地面、基础等部位。

气体中的硫酸酸雾和碱蒸汽，实际上都属于气溶胶，从定义上应是液态介质。但是它们主要作用于上部结构，与溶解于空气水分中的气体腐蚀特征相同。因此，为便于应用，纳入气态介质。而固态中的气溶胶和粉尘，虽然也作用于上部结构，但也作用于地面和墙等部位，而且腐蚀特征与气体不尽相同。因此仍保留在固体范畴。

2. 介质品种

腐蚀性介质很多，可分为酸碱盐溶液、腐蚀性水、腐蚀性气体、污染土（以污染土壤中含 SO_4^{2-} 和 Cl^- 及氢离子浓度为标准）等。

3. 腐蚀对象

腐蚀性介质气态、液态及固态对建筑厂房、地面、地沟、基础、墙、钢筋混凝土、砖砌体、木材、钢、铝等都有腐蚀。其中也包括对特种构筑物在内如储槽、污水处理池、排气筒等。

二、气体腐蚀分类

大气中腐蚀性物质可分为腐蚀性气体、酸雾、碱蒸汽、颗粒物(包括盐、气溶胶、粉尘等)、滴溅液体等。它们对钢介质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强腐蚀、中等腐蚀、弱腐蚀三类,见表1-4到表1-10。

表1-4 大气中腐蚀性气体的腐蚀程度

空气相对湿度/%	气体类别	腐 蚀 程 度	空气相对湿度/%	气体类别	腐 蚀 程 度
≤60	A	弱腐蚀	61~75	C	中等腐蚀
	B	弱腐蚀		D	强腐蚀
	C	中等腐蚀	>75	A	中等腐蚀
	D	强腐蚀		B	中等腐蚀
61~75	A	弱腐蚀		C	强腐蚀
	B	中等腐蚀		D	强腐蚀

表1-5 腐蚀性气体的分类

气体类别	名 称	浓度/(mg/m ³)	气体类别	名 称	浓度/(mg/m ³)
A	二氧化碳	≤2000	C	二氧化硫	11~200
	二氧化硅	<0.5		氟化氢	5.1~10
	氟化氢	<0.05		硫化氢	5.1~100
	硫化氢	<0.01		氮的氧化物	5.1~25
	氮的氧化物	0.1		氯	1.1~5
	氯	0.1		氯化氢	5.1~10
	氯化氢	0.05			
B	二氧化碳	>2000	D	二氧化硫	201~1000
	二氧化硅	0.5~10		氟化氢	11~100
	氟化氢	0.05~5		硫化氢	>100
	硫化氢	0.01~5		氮的氧化物	26~100
	氮的氧化物	0.1~5		氯	5.1~10
	氯	0.1~1			
	氯化氢	0.05~5			

注:当大气中有含数种腐蚀性气体,而其中每种气体浓度均在本表所列浓度范围内时,腐蚀程度取最高的一种。

表1-6 大气中酸雾的腐蚀程度

酸雾性能	作用量	腐蚀程度	酸雾性能	作用量	腐蚀程度
弱酸酸雾	少量 较多	弱腐蚀 中等腐蚀	强酸酸雾	少量 较多	中等腐蚀 强腐蚀

表1-7 滴溅液体的腐蚀程度

滴溅液体类别	腐蚀程度	滴溅液体类别	腐蚀程度
一般有机液体	弱腐蚀	有机酸、无机酸、碱溶液、酸性水	强腐蚀
盐溶液、工业水(pH<3)	中等腐蚀	(pH≤3)	

表 1-8 大气中颗粒的腐蚀程度

空气相对湿度/%	颗粒物特性	作用量	腐蚀程度
≤60	难溶解	较多	弱腐蚀
	易溶解、难吸湿		弱腐蚀
	易溶解、吸湿		中等腐蚀
61~75	难溶解	较多	弱腐蚀
	易溶解、难吸湿		中等腐蚀
	易溶解、吸湿		中等腐蚀
>75	难溶解	较多	弱腐蚀
	易溶解、难吸湿		中等腐蚀
	易溶解、吸湿		强腐蚀

表 1-9 大气中颗粒物(包括盐类、气溶胶和粉尘)的特性

颗粒物的特性	常见颗粒物名称
难溶解	硅酸盐和铝酸盐的粉尘、硅酸盐、磷酸盐(磷酸氢盐、磷酸正盐)、碳酸钙、碳酸钡和碳酸铅、硫酸钡和硫酸铅、氧化铁和氢氧化铁、氢氧化铬、氢氧化铝
易溶解难吸湿	氯化钠、氯化钾、氯化铵、氯化锂、硫酸钠、硫酸钾、硫酸锂、硫酸铵、硝酸钾、硝酸钡、硝酸铅、硝酸镁、碱性金属碳酸盐、氢氧化钙、氢氧化镁、氢氧化钡
易溶解吸湿	氯化钙、氯化镁、氯化铝、氯化锌、氯化铁、硫酸镁、硫酸锰、硫酸锌、硫酸铁、硝酸钠、硝酸铵、亚硝酸钠、亚硝酸铵、磷酸氢钠、氧化钠、氯化钾、氯化钡、氯化钙、氧化镁、氢氧化钠、氢氧化钾、氢氧化锂

- 注:(1)难溶解的盐类指溶解度小于 2g/L;
 (2)易溶解的盐类指溶解度大于 2g/L;
 (3)难吸湿的盐类指温度 20℃时,相对平衡湿度 ≥60%;
 (4)吸湿的盐类指温度 20℃时,相对平衡湿度 <60%。

表 1-10 气态介质对建筑材料的腐蚀性分级

类别	介质名称	介质浓度/(mg/m ³)	环境相对湿度/%	钢筋混凝土	素混凝土	烧结粘土砖砌体	木	钢	铝
气 ₁	氯	1~5	>75	强	弱	弱	弱	强	强
			60~75	中	弱	弱	无	中	中
			<60	弱	无	无	无	弱	弱
气 ₂	氯化氢	1~10	>75	强	中	中	弱	强	强
			60~75	强	弱	弱	弱	强	强
			<60	中	无	无	无	中	中
气 ₃	氮氧化物	5~25	>75	强	中	中	中	强	弱
			60~75	中	弱	弱	弱	中	无
			<60	弱	无	无	无	弱	无
气 ₄	硫化氢	5~100	>75	强	中	弱	弱	中	中
			60~75	中	弱	无	无	中	弱
			<60	弱	无	无	无	弱	弱

续表

类别	介质名称	介质浓度/(mg/m ³)	环境相对湿度/%	钢筋混凝土	素混凝土	烧结粘土砖砌体	木	钢	铝
气 ₅	氟化氢	10~50	>75	弱	无	无	弱	强	强
			60~75	弱	无	无	无	中	中
			<60	无	无	无	无	弱	弱
气 ₆	硫酸酸雾、 二氧化硫	10~200	>75	强	中	中	弱	强	中
			60~75	中	弱	弱	弱	中	弱
			<60	弱	无	无	无	弱	无
气 ₇	醋酸酸雾	1~10	>75	强	中	中	弱	强	弱
			60~75	中	弱	弱	无	中	无
			<60	弱	无	无	无	弱	无
气 ₈	二氧化碳	>2000	>75	弱	无	无	弱	中	弱
			60~75	弱	无	无	无	弱	无
			<60	无	无	无	无	无	无
气 ₉	氨	>20	>75	弱	无	无	弱	中	中
			60~75	弱	无	无	弱	弱	弱
			<60	无	无	无	无	弱	无
气 ₁₀	碱蒸汽	任意	>75	中	中	强	强	弱	强

三、液体腐蚀分类

液态介质包括腐蚀水和酸、碱、盐溶液，主要作用于地基、基础、楼地面、设备基础、墙裙、排水沟、储槽、污水处理池等，其对建筑材料的腐蚀性取决于作用介质的性质、浓度、温度、作用量以及作用情况(干湿交替)等因素，见表1-11，表1-12。

表1-11 腐蚀性水(常温)对建筑材料的腐蚀性分级

类别	介质名称	指标	钢筋混凝土	素混凝土	烧结粘土砖砌体
水 ₁	氢离子浓度 (pH)	<3	强	强	强
水 ₂		3~4.5	中	中	中
水 ₃		4.5~6	弱	弱	弱
水 ₄	侵蚀性二氧化碳 mg/L	>40	弱	弱	弱
水 ₅	硫酸盐 SO ₄ ²⁻ 含量/(mg/L)	>4000	强	强	强
水 ₆		1000~4000	中	中	中
水 ₇		250~1000	弱	弱	弱
水 ₈	氯盐 Cl ⁻ 含量/(mg/L)	>5000	强	弱	弱
水 ₉		500~5000	中	无	无
水 ₁₀		<500	弱	无	无