

建筑材料腐蚀

[西德] D·诺菲尔 著 陆建业 译

中国建筑工业出版社

建筑材料腐蚀

[西德] D·诺菲尔 著

陆建业 译

中国建筑工业出版社

建筑材料为什么会腐蚀？在水中、空气中、土壤中的腐蚀是不是一回事？它们各有那些特点，用什么方法进行检查和预防？这是工程建设中的重要问题，也是建筑施工人员关心的问题。本书以通俗易懂的形式，详细地解答了上述有关的问题，特别是对砂浆、混凝土以及建筑金属的腐蚀原理和防腐措施，作了深入的叙述。

本书作者D·诺菲尔教授长期从事建筑材料腐蚀的试验研究工作，对各种材料的防腐技术，积累了大量的实践经验，尤其对一些腐蚀性介质的长期试验的数据，是非常有价值的参考资料，本书根据1978年R·M·E戴姆的英译本译出，可供建筑施工人员及有关高等院校的师生阅读。

Corrosion of Building Materials

D. Knöfel

Translated from the German by

R. M. E. Diamant

VAN Nostrand Reinhold Company

1978

* * *

建筑材料腐蚀

陆建业 译

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：35/16 字数：74千字

1983年1月第一版 1983年1月第一次印刷

印数：1—13,600册 定价：0.36元

统一书号：15040·4334

前 言

建筑材料的腐蚀并不是一个很新的问题。暴露在腐蚀性的地下水中或使用不当的建筑构件，往往是很容易损坏的。

近年来，由于我们的环境越来越受到污染，这个问题变得更尖锐了。废水、废气排出的增加，使现在进行建设的地方，正是过去有意要避开的场地。原材料越来越短缺，特别是有色金属，而且价格上涨，突出了在建筑上防止腐蚀损坏的重要性。

避免腐蚀的一个最重要因素是要了解为什么发生腐蚀。本书根据有关材料的重要性次序，编写了各种腐蚀发生的过程和防止方法。

建筑施工人员应能亲自进行简单的化验，并能估计更复杂的调查结果，因此，最后一章概述了分析方法。

这本小册子只打算对本题作一概略介绍，供现场施工人员及学生使用，以帮助他们了解和避免腐蚀问题。如能对本书提出改进建议，作者非常感谢。

目 录

前言

1. 绪论	1
2. 水硬砂浆和混凝土的腐蚀及防腐	5
2-1 基本原理	5
2-2 凝固混凝土的腐蚀及防腐	10
2-2-1 溶解性腐蚀	11
2-2-2 膨胀性腐蚀	13
2-2-3 其他腐蚀	14
2-2-4 化学腐蚀的评价	14
2-2-4-1 基本原则	14
2-2-4-2 水蚀的性质	16
2-2-4-3 土壤腐蚀的性质	17
2-2-4-4 气体腐蚀的性质	18
2-2-5 混凝土及砂浆中凝结水泥的防腐	18
2-3 由碎石反应引起的损坏	21
2-4 钢筋的腐蚀及防腐	25
2-4-1 基本原理	25
2-4-2 钢筋的腐蚀	25
2-4-3 钢筋的防腐	27
3. 陶瓷建筑材料的腐蚀及防腐	31
4. 玻璃的腐蚀及防腐	33
5. 其他非金属无机建筑材料的腐蚀及防腐	34
5-1 天然石料	34
5-2 石棉水泥及加气混凝土	37
5-3 硅酸盐混凝土及硅酸钙石	38

6. 建筑金属材料的腐蚀及防腐.....41

6-1 建筑用金属的腐蚀.....41

6-1-1 一般观察.....41

6-1-1-1 化学腐蚀作用.....42

6-1-1-2 电化学腐蚀作用.....42

6-1-1-2-1 差异金属腐蚀.....44

6-1-1-2-2 差异氧化腐蚀.....44

6-1-2 大气腐蚀.....45

6-1-2-1 一般观察.....45

6-1-2-2 铝.....48

6-1-2-3 铅.....48

6-1-2-4 铁和钢.....48

6-1-2-5 铜.....51

6-1-2-6 锌.....51

6-1-3 水介质中的腐蚀.....53

6-1-3-1 一般观察.....53

6-1-3-2 雨水及冰雪融水.....53

6-1-3-3 饮用水及消费用水.....54

6-1-3-3-1 铝.....54

6-1-3-3-2 铅.....54

6-1-3-3-3 铁、钢及锌.....55

6-1-3-3-4 铜.....57

6-1-3-4 河水.....57

6-1-3-5 海水.....58

6-1-4 在土壤中的腐蚀.....59

6-1-4-1 一般观察.....59

6-1-4-2 涉及的因素.....59

6-1-4-2-1	土壤种类	59
6-1-4-2-2	微生物	61
6-1-4-2-3	化学及物理-化学因素	61
6-1-4-3	对土壤腐蚀性的估计	63
6-1-4-4	电解腐蚀或电池作用腐蚀	67
6-1-5	由非金属建筑材料引起的腐蚀	67
6-2	建筑金属的防腐	68
6-2-1	一般观察	68
6-2-2	积极防腐	69
6-2-3	消极防腐	71
6-2-3-1	金属镀层	72
6-2-3-1-1	电沉积、电镀	72
6-2-3-1-2	在熔化的金属中浸渍	73
6-2-3-1-3	扩散处理	73
6-2-3-1-4	喷镀金属层	73
6-2-3-2	有机涂层	74
6-2-3-2-1	一般观察	74
6-2-3-2-2	表面预处理	74
6-2-3-2-3	油漆涂料的性能及应用	77
6-2-3-2-4	油漆材料	79
6-2-3-2-5	塑料涂层	85
7.	有机建筑材料的腐蚀及防腐	90
7-1	木材	90
7-2	沥青建筑材料	91
7-3	塑料	92
7-3-1	塑料用作建筑材料	92
7-3-2	塑料用于防腐	94
8.	腐蚀介质的化验	95
	参考文献	97

1. 绪论

腐蚀的定义是：材料如金属及无机建筑材料受到周围介质不知不觉的破坏。这种介质一般为液体（腐蚀剂）。对金属来说，腐蚀是由化学作用及电化学作用引起的，损坏一般开始于表面，然后可扩展到材料内部。有生命的有机物也可使建筑材料腐蚀。

腐蚀及防腐在经济上的重要性，可用下列例子说明：据估计，约3%年产量的钢损失于腐蚀。1974年美国生产了1亿4千万吨钢，每吨约4百美元，由于腐蚀，在经济上损失约17亿美元。显然，尽可能减少腐蚀的财政损失非常重要。腐蚀不只影响钢，而且，在某种程度上也影响所有其他建筑材料。

金属腐蚀的最共同形式是电化学反应所引起的。那时，两个金属相（如氧化铁和铁）在电解溶液的参与下进行反应。混凝土腐蚀是因为腐蚀性物质，通过水溶液（天然水、工业水、溶于水的气体等）带到建筑材料上，使其表面形成新的易溶化合物，而引起溶解性腐蚀。膨胀性腐蚀发生在材料内部，形成庞大的新的化合物。对建筑玻璃及陶瓷建筑材料来说，与所有无机建筑材料一样，腐蚀只是纯化学反应，一般非常轻。

用于建筑防腐的有机材料，特别是沥青建筑材料及塑料，一般均具有极好的耐大气腐蚀性。表1-1为建筑材料的几种最主要腐蚀形式。对建筑材料起破坏作用的因素多种多样，

影响建筑材料的几种最主要腐蚀形式

表 1-1

建 筑 材 料	腐 蚀 介 质	主 要 反 应
金属建筑材料	电解溶液 ^① （至少存在二个金属相） 盐溶液、酸、碱溶液如天然水及工业水	电化学反应，次贵金属相分解 化学反应，使材料溶解
无机非金属材料	盐溶液、酸、碱溶液如天然水及工业水	化学反应，使材料溶解或膨胀
有机建筑材料	盐溶液、酸、碱溶液如天然水及工业水	化学反应，使材料溶解膨胀或变脆

① 电解溶液为含有离子的一切溶液，如酸、碱，天然水及工业水。

下面是最重要的因素：

物理因素：

热

温度变化

霜冻

流动的水

太阳辐射（特别是紫外线）

风

尘埃

化学因素：

酸

碱

盐溶液

有机物质

烟道气体

生物因素

微生物

霉菌
藻类
海洋动物
蠕虫：
昆虫
多细胞植物

这些因素可以单独作用，但通常它们共同作用，这样腐蚀的程度就增加了。一般引起建筑材料腐蚀的最主要因素是化学因素。另外各种不同形式的湿气（雨、冷凝水、雾、较高的大气湿度、地下水、蒸气、地下湿气、沼泽水、海水、湖水及河水）往往是一般建筑中发生腐蚀的先决条件。

不同的建筑材料以不同的方式受各种腐蚀介质的作用，或者完全不受介质的作用。紫外线辐射可使塑料老化，但对金属或混凝土无影响。即使弱酸也能腐蚀混凝土及许多金属，但对塑料只有少数几种能受影响。有机溶剂如四氯化碳能溶解沥青建筑材料，但对无机建筑材料却无影响。某些微生物能促进土壤中铁的腐蚀，而霉菌却引起木材腐朽。还可举出很多其他例子。

根据遇到的情况，联系具体场合（气候，材料在地上或是地下等）的具体建筑材料，人们处理各种不同的腐蚀物质。即使在某些具体使用范围内，腐蚀剂的性质也可有很大不同。例如，镀锌钢板是否在乡村空气（洁净的空气）、城市空气、工业空气（严重污染的空气）或海洋空气（含盐）中使用，这是个相当重要的问题。工业空气及城市空气中含有烟道气体，这种气体有二氧化硫（ SO_2 ），在潮湿情况下能形成亚硫酸（ H_2SO_3 ），经氧化后形成硫酸（ H_2SO_4 ）。这种酸不仅腐蚀锌，也腐蚀铁、混凝土等，这些问题将在后

面几章详细论述。

除腐蚀外，纯粹的机械作用可影响建筑材料的表面，并遭到损坏。含有固体颗粒的流动液体就是个例子，它引起冲刷，如果冲刷介质同时有化学活性，就会发生结合性的破坏，这称为冲刷腐蚀。

2. 水硬砂浆和混凝土的腐蚀及防腐

2-1 基本原理

来自外部与混凝土接触的物质引起破坏性腐蚀是混凝土腐蚀的主要原因。其破坏性反应可由混凝土的组分，如水、水泥所引起，严格地说碎石不是“混凝土腐蚀”的成分。

就拌合水来说，应该只有大多数天然水适合这种用途。如果水泥与水中存在的各种化合物的化学反应，发生在混凝土凝固之前就不会产生任何破坏。但另一方面，对凝固过程也许会带来某些干扰。含盐量小于3.5%（以重量计）一般是无害的，甚至海水也能用。严重污染的水、沼泽水及工业废水，可能含有碳水化合物或其他有机物，应当避免使用。为了不危及钢筋的防锈，因此水中含氯量应不超过规定。对预应力混凝土来说，氯离子 Cl^- 必须少于300毫克/升，最好一直使用清洁水（饮用水）。

水泥本身是否会带来什么麻烦，这极不可能。因为水泥厂实施了极周密的生产控制。白垩、氧化镁、硫酸盐损坏（由水泥引起的），实际上现今未发现过。碎石应符合DIN^① 4226或相应的美国规范（2-3节）。因此，这里担心的唯一腐蚀形式是外部介质对凝固混凝土的作用。

混凝土及砂浆的化学腐蚀，一般通过水或含水溶液引

① DIN德国工业标准（西德）。——译注

起。某些气体和土壤也可能产生破坏作用，但只有在潮湿时才发生。根据德国工程师斯普朗格（Sprung）和雷切伯格（Rechenburg）最近的研究，认为混凝土龄期对腐蚀的倾向性没有影响。

对现场腐蚀介质的检查，往往要靠经验。不过，某些现象是明明白白的警告（见表2-1）。长期受相同环境条件的邻近建筑地段，能提供进一步的证据。一张地质图或土壤分类图，可以检查出下层土含有硫酸盐岩石的证据，这就暗示了有腐蚀混凝土的危险。许多工厂（如啤酒厂、制革厂、煤气厂、染料厂、矿山、牛奶场、罐头厂、肥皂厂、碱厂、糖厂、玻璃蚀刻厂、油漆厂、漂白厂）也产生对混凝土有害的物质。

引起混凝土损坏的可疑介质

表 2-1

水	土 壤	气 体
呈 黑 色 有讨厌的气味 有上升的气泡 溶液中析出盐	非一般颜色的土壤 土壤呈黑到灰色，特别如果有红棕色斑点， 在黑色腐殖质土壤下 脱色成淡灰到白色的 土壤	工业烟道气体 煤燃烧炉或石油燃烧炉 的烟道气体 除废气外含有 H_2S 的 气体

一般光凭眼睛观察来评定当地的水是否会腐蚀混凝土是不可能的。所以，最好始终进行水质分析，或至少有点怀疑时进行水质分析。用默克（Merck）水定量分析箱，能容易地进行简单的水样分析。这种分析箱提供了足够的取样方法，能可靠地区别腐蚀性水和非腐蚀性水。如果这样初步化验表明可能有腐蚀混凝土的物质，则应找化验室帮助化验。

当表明土壤有疑问，但又采集不到水样时，也应请化验室帮助。

为了取得可靠的分析数据和预期腐蚀程度的正确估计，有必要采用精确的、有代表性的采样方法。例如：水不能被雨水冲淡，各种地层的地下水不能混合。有关水质分析方法更详细的情况见第8章。

混凝土由水泥及碎石组成，有时还加有钢筋。通常，碎石对出现的腐蚀介质是稳定的。石灰石及一些别的碎石例外，石灰石能被酸水溶解，含有云母的碎石在有硫酸盐的情况下，其中石膏能形成结晶，使混凝土结构因膨胀而裂开。

水泥是混凝土中最容易受腐蚀的部分，它是硅酸盐水泥熟料与水反应而产生的。水泥的主要组份为：

硅酸三钙 C_3S

硅酸二钙 C_2S

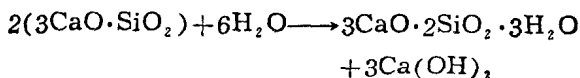
铝酸三钙 C_3A

铝铁酸钙 $C_2(A \cdot F)$

石膏 $Cs \cdot 2H$

这些式子以水泥符号表示 $C=CaO$, $S=SiO_2$, $A=Al_2O_3$, $F=Fe_2O_3$, $Cs=CaSO_4$, $H=H_2O$

根据不同的原始相组成，其水化的新结构彼此有很大的差别。最典型的反应是 C_3S ，硅酸盐水泥50%以上（重量）由 C_3S 组成，它说明水泥水化作用的复杂性。



或 $2C_3S + 6H \longrightarrow C_3S_2H_3 + 3CH$

硅酸三钙 + 水 $\longrightarrow$ 水化硅酸钙 + 氢氧化钙

凝结水泥主要由水化硅酸钙、氢氧化钙以及铝酸钙（如

水化铝酸四钙)和铝铁酸钙的反应产物所组成。特别是水化硅酸钙使混凝土具有强度、氢氧化钙使凝结水泥和最终的混凝土成为碱性($\text{pH}^{\text{①}} > 12$)性质的原因。

水化产物耐不同腐蚀介质的性能是不同的。图2-1表示这些介质对混凝土的有害影响。

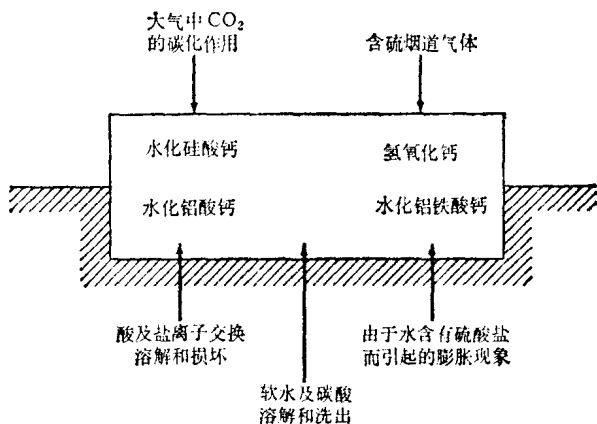


图 2-1 对混凝土的破坏作用

如果在腐蚀作用时产生水溶性的反应产物，则凝结的水泥就从表面开始溶解，这就是溶解腐蚀。能引起溶解腐蚀的介质有酸、离子交换的盐类、软水、有机油类及脂肪。

如果腐蚀作用在凝结水泥内部产生难溶而又体积很大的反应产物，则这些膨胀结构将对其周围施加压力，而使混凝土

① pH值在0~14范围内，是衡量酸、碱强度的值，其数值相当于每升 $-\log_{10}$ 的氢离子克分子浓度。(pH7=中性，pH>7=碱性，pH<7=酸性)

土结构松散，这种现象称为膨胀腐蚀。膨胀腐蚀是由硫酸盐、镁离子、非结晶的二氧化硅所引起的。

图2-2表示溶解腐蚀和膨胀腐蚀。这二种腐蚀形式可同时发生。

从理论上说，水泥完全水化约需30%的水，即水与水泥之比为0.3。硬化后，多余的水作为氢氧化钙溶液留在混凝土的毛细孔内。剩余的未结合的水越多，即水灰比超过0.3越大，则凝固混凝土的孔隙越多，能被腐蚀的内表面积也就越大，使腐蚀性的溶液及气体容易渗进混凝土。

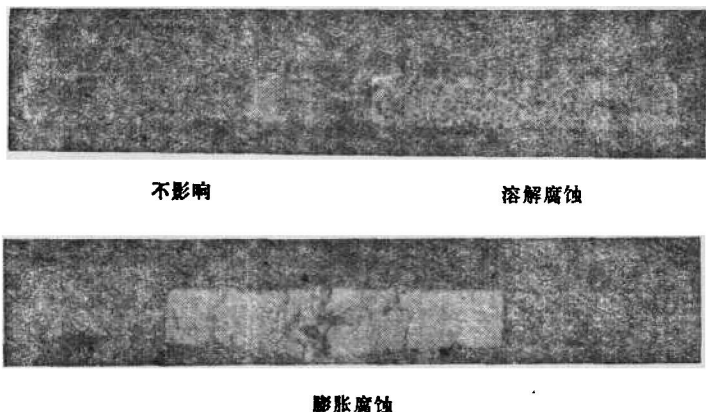


图 2-2 膨胀腐蚀和溶解腐蚀

钢筋混凝土及预应力混凝土中的钢筋，通常被存在的氢氧化钙 ($\text{pH} > 12$) 钝化，因此不会生锈。不过，钢筋的钝化能被外部因素所破坏。例如，吸收二氧化碳，混凝土碳化作用的结果，能使钢筋腐蚀，因而钢筋强度降低，钢筋周围的混凝土剥落。这将在2-4-2节详述。

2-2 凝固混凝土的腐蚀及防腐

表2-2为各种化学物质作用于凝结水泥的方式。

作用于凝固混凝土的某些物质

表 2-2

物 质	存 在 的 地 方	作 用
化学上的完全纯水	冷凝水, 雨水、融雪水、 软泉水	溶解、浸出, 实际上硬 度小于1.1毫克当量时作 用快
无机酸 (HCl 、 H_2SO_4 、 H_2SO_3 、 HNO_3 、 H_3PO_4 、 H_2SiO_4 、 H_2CO_3)	化学工业 特别是碳酸和亚硫酸 在天然水中也有	溶解; 酸越浓腐蚀越强烈 pH值降低, 活性增加 硫酸还有膨胀作用 碳酸腐蚀取决于游离 CO_2
有机酸 醋酸 乳酸 鞣酸 甲[蚁]酸	牛奶场(店)、罐 头 (食品)厂 饲料库、染料厂等发酵 期间	溶解缓慢 能减慢凝固过程
腐植酸	土壤及不洁的碎石中	缓慢腐蚀 取决于腐植酸的种类
草酸	染料厂 化工厂	无破坏性
碱 (氢氧化钠和氢 氧化钾)	化学工业	只在高浓度时溶解
动植物油、脂 (橄榄油、菜籽油、 亚麻籽油、罂粟籽油、 豆油、鱼油、板油、使 糕饼松脆的油、猪油)	食品工业及食品商业	使结构松散 被脂肪酸与钙盐作用 形成的软钙皂溶解。 松节油无破坏作用