

建筑物诊断系列集

第一集

混凝土、钢筋混凝土的损坏及防护

蒋之峰 何肇弘 选编



建筑技术情报研究室

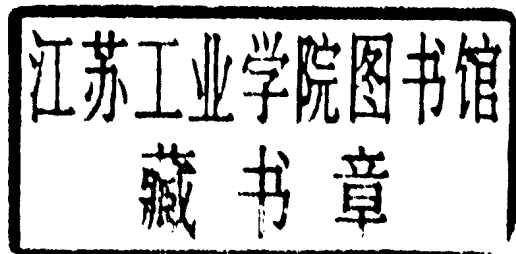
86.1
3501407

建筑物诊断系列集

第一集

混凝土、钢筋混凝土的损坏及其对策

蒋之峰 何肇弘 选编



冶金部建筑研究总院技术情报研究室

1985年5月

本集原著莫斯克维恩(苏)等, 特约许贤敏翻译
(据英译本1983年第一版翻译), 谨致谢意。

建筑物诊断系列集

第一集

混凝土、钢筋混凝土的损坏及其对策

蒋之峰 何肇弘 选编

*

冶金部建筑研究总院技术情报研究室(内部)出版
(北京海淀区学院路43号)

北京景山学校印刷厂印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 16 字数: 404300字

1985年5月第一次印刷

选 编 说 明

本系列集定名为《建筑物诊断系列集》，首先是因为目前在国外建筑技术书刊和文献资料中普遍采用“建筑物诊断”（或“工程诊断”）一词。如日文叫けんちくぶつしだん，俄文叫Инженернодиагноз，英文叫Diagnosis。其次，顾名思义，建筑物“诊断”的含义是对建筑物的“病患”进行“辩证施治”，内容包括“病情”的观察、检查，“病因”的分析、判断以及“处方”的开出等，因此具有较强的概括性和形象性。本系列集将要介绍的建筑物缺陷分析、建筑物的现代检测技术、建筑物的评价标准和评价方法、建筑物上部结构缺陷对策、建筑物地基基础缺陷对策、建筑物的改建扩建、建筑物的拆除技术等，包含“诊”和“治”两个意思，用诊断来概括是恰当的。

建筑物诊断的发展是由以下两个因素促成的：随着工业的迅速发展，很多建筑物都置于侵蚀性的环境作用下，建筑结构损耗严重，特别是有色金属、化工、造纸等部门每年损耗总值约占工业建筑固定资产总值的10%以上，严重的损耗引起了人们严重的关注，迫使人们去研究建筑物的诊断问题；随着科学技术进步所造成的现代化、合理化、社会体系和生产体系的变革，以及省能源、省资源的社会倾向，促使人们更加关心建筑物的剩余寿命，更加关心旧建筑物的再利用，从而更加关心建筑物的诊断工作。

从四十年代至八十年代，在近半个世纪中，建筑物的诊断大体上经历了三个阶段：

探索阶段。这一阶段主要包括四十年代和五十年代。其主要特点是，注重对建筑物缺陷原因的分析 and 修补方法的研究；检测工作大多采用以目测为主的传统方法。

发展阶段。这一阶段包括六十年代和七十年代，其主要特点是注重对建筑物检测技术和评价方法的研究。提出了破损检测、半破损检测、非破损检测、物理检测、化学检测、试验检测等几十种现代检测技术，介绍了总体评价、分项评价、对照规范评价、模糊评价、概率评价等多种评价方法。

完善阶段。主要是指进入八十年代以后的阶段，其主要特点是一边完善传统的检测、评价方法，一边探索检测、评价的新技术、新方法，特别注重评价标准的探讨和制订。苏联、西德、日本、美国等国都非常重视，设立专门机构，广泛组织力量，进行理论研究和技术开发。

我国这项工作起步较晚，虽然早在五十年代的时候，建工出版社就翻译出版了苏联《建筑物缺陷和对策》，铁道出版社出版了《铁路房屋维修工作》等书，但建筑物的诊断工作并没有引起人们的真正重视。直至七十年代末，八十年代初，我国强调工业技术改造是工业发展的重要任务后，人们开始关注建筑物的诊断问题。当前，我国这项工作的特点是：（1）建筑物诊断的情报工作正在向纵深发展；（2）建筑物诊断的研究工作已经展开并取得了初步成果；（3）建筑物诊断的实际工作已在一些部门和单位进行。《建筑物诊断系列集》正是为着适应这种形势而选编的。

采用系列集的形式是为了能及时而又较系统、连续地介绍有关这一专题范围内的国内外情况。

本系列集打算采用三种形式：一为译作集，介绍日本、苏联、欧美关于建筑物诊断方面的最新文献；二为汇编集，反映国内在这方面的理论研究和实际应用情况；三为编写集，对国内外大量信息资料进行去粗取精、浓缩提炼、分析综合的加工，以提高单位载体的信息量。各集内容既相对独立，又相互关联。

本系列集不是按内容的逻辑关系编排，而是按出版的时间先后为序，因此是一个不封底的集子，只要有新颖、适用的材料，我们将一直续下去，并欢迎来稿。

蒋之峰 何肇弘

1984.12

《建筑物诊断系列集》

《建筑物诊断系列集》包括建筑物缺陷分析、建筑物现代检测技术、建筑物评价标准和评价方法、建筑物上部结构缺陷对策、建筑物地基基础缺陷对策、建筑物改建扩建、建筑物拆除技术等内容。形式多样，既有译作集介绍日本、苏联、欧美的最新文献，也有汇编集反映国内的研究成果，还有编写集对国内外大量信息资料进行去粗取精、浓缩提炼、分析综合的加工，以提高单位载体的信息量。

本系列集不是按内容的逻辑关系编排，而是以出版的时间先后为序，因此是一个不封底的集子，只要有新颖、适用的材料，我们将一直续下去。现在已经出版和近期即将出版的有以下六集：

第一集：《混凝土、钢筋混凝土的损坏和对策》

（译作集）

第二集：《建筑物的现代检测方法》

（译作集）

第三集：《建筑物的缺陷评价和安全评价》

（译作集）

第四集：《建筑物的使用可靠性》

（译作集）

第五集：《民用和工业建筑改建扩建工程实例》

（汇编集）

第六集：《建筑物的解体工法》

（译作集）

目 录

第一章 混凝土与钢筋混凝土的历史和现在的研究.....	(1)
第二章 侵蚀的环境和损坏的形式.....	(6)
2.1 腐蚀介质同混凝土与钢筋混凝土的关系.....	(6)
2.2 环境的侵蚀性.....	(8)
2.3 侵蚀性液体.....	(10)
2.3.1 天然的地表水和地下水.....	(10)
2.3.2 加工水和工业用水.....	(12)
2.4 侵蚀性气体.....	(13)
2.5 侵蚀性固体.....	(14)
2.6 损坏的形式和腐蚀的环境：分类.....	(15)
第三章 混凝土与钢筋混凝土的材料.....	(18)
3.1 水泥.....	(18)
3.2 骨料.....	(21)
3.3 拌合水.....	(22)
3.4 钢筋.....	(22)
第四章 混凝土结构.....	(25)
4.1 概述.....	(25)
4.2 孔隙.....	(26)
4.2.1 孔隙水：对硬化水泥的影响.....	(29)
4.2.2 硬化水泥和砂浆：特征与环境.....	(30)
4.3 混凝土结构.....	(35)
第五章 混凝土的渗透性和抗蚀性.....	(37)
5.1 渗透性：一般情况.....	(37)
5.2 渗透率的允许值.....	(38)
5.3 混凝土结构的渗透率.....	(40)
5.4 胶结材料中的扩散.....	(44)
第六章 I 型损坏.....	(47)
6.1 硬化水泥的溶解度，水化产物——水体系中的平衡.....	(47)
6.2 损坏速率.....	(49)
6.3 水泥的作用.....	(55)
6.4 混凝土的生产工艺和混凝土抗蚀性.....	(58)
6.5 各种混凝土构件的 I 型损坏及其对策.....	(60)
第七章 II 型损坏.....	(65)

7.1 碳酸的腐蚀, 基本概念	(65)
7.2 碳酸溶液对硬化水泥和混凝土的腐蚀	(69)
7.2.1 水泥对碳酸腐蚀的抵抗能力	(74)
7.2.2 H_2CO_3 溶液的侵蚀性	(75)
7.3 酸对硬化水泥的影响	(77)
7.3.1 水泥的抗蚀性	(79)
7.3.2 酸溶液的侵蚀性	(81)
7.4 酸对混凝土和钢筋混凝土的腐蚀及其防护措施	(83)
7.5 镁盐溶液的影响	(84)
7.6 碱金属的作用	(88)
第八章 Ⅲ型损坏	(92)
8.1 硫酸盐腐蚀	(93)
8.1.1 开始和发展	(93)
8.1.2 水泥的影响	(97)
8.1.3 溶液浓度的影响	(103)
8.1.4 膨胀变形	(106)
8.1.5 水泥中碱金属的影响	(110)
8.2 盐的结晶作用的影响	(111)
8.2.1 部分浸泡	(111)
8.2.2 干湿交替	(112)
8.2.3 苛性碱金属的影响	(114)
8.3 混凝土结构的Ⅲ型损坏	(115)
8.4 碱—硅反应	(118)
第九章 钢筋混凝土成分对气体的抗蚀性	(124)
9.1 酸性气体与混凝土的相互作用	(125)
9.1.1 第Ⅰ组气体的腐蚀	(127)
9.1.2 第Ⅱ组气体的影响	(130)
9.1.3 第Ⅲ组气体的影响	(133)
9.1.4 酸性气体的共同腐蚀	(134)
9.2 气体腐蚀的动态特征	(136)
9.3 混凝土的生产工艺对碳化率的影响	(139)
9.4 环境对碳化率的影响	(140)
第十章 混凝土中钢筋的腐蚀	(143)
10.1 钢筋的腐蚀	(143)
10.1.1 普通钢筋	(144)
10.1.2 碳素钢与低合金钢化学成分对抗蚀性的影响	(144)
10.1.3 应力的影响	(145)
10.1.4 高强钢筋的应力腐蚀和力学性能	(147)
10.2 腐蚀裂缝	(148)

10.2.1 高强钢筋的抗蚀性	(148)
10.2.2 危害的标准	(149)
10.2.3 钢筋及其对腐蚀裂缝的抗蚀性	(152)
10.2.4 提高了抗蚀性的热硬钢筋	(153)
第十一章 混凝土的保护能力	(156)
11.1 混凝土中钢筋的电化学性能	(156)
11.2 混凝土中钢筋腐蚀的动态特征	(160)
11.3 胶结料和掺合料对混凝土保护能力的影响	(167)
11.3.1 胶结料的影响	(167)
11.3.2 电解质的影响	(172)
11.4 混凝土裂缝的影响	(178)
11.5 钢筋电腐蚀的发生和防止	(182)
11.6 混凝土的长期钝化作用	(184)
第十二章 混凝土与钢筋混凝土在海水中的损坏	(188)
12.1 海水的化学性质	(188)
12.2 气候的影响	(189)
12.3 海水中的混凝土与钢筋混凝土	(191)
12.4 海水腐蚀的特点	(196)
12.5 海水结构中混凝土与钢筋混凝土的性能	(199)
第十三章 钢筋混凝土在荷载下的抗蚀性	(201)
13.1 应力类型的影响	(201)
13.2 应力状态的影响	(202)
13.3 环境对普通钢筋混凝土的影响	(205)
13.4 环境对预应力钢筋混凝土的影响	(213)
13.5 通过设计来提高抗蚀性	(216)
第十四章 钢筋混凝土的保护	(219)
14.1 初步的表面处理	(219)
14.2 防水	(220)
14.3 油漆涂料	(220)
14.4 隔离的薄膜材料	(225)
14.5 衬垫和覆面	(226)
第十五章 对环境侵蚀性的评价	(228)
15.1 评价的内容	(228)
15.2 结构寿命的计算	(231)
结束语	(232)
参考文献	(233)

第一章 混凝土与钢筋混凝土的历史和现在的研究

化学工业和产品能腐蚀钢筋、损坏混凝土的其他有关工业的发展，在含盐的土壤和矿物质含量较高的地方进行大规模的建筑施工，以及必须满足抗蚀性和耐久性的特殊要求的钢筋混凝土结构物的建设，已经对混凝土和钢筋混凝土材料及其结构物的耐久性，提出了全面研究的迫切任务。水力发电厂的大坝、桥梁、隧道、海港的防波堤、船坞设施、纪念性结构物和其他工程，尽管受到环境的各种影响，可是都希望能使用几个世纪。

在分析各种损坏过程的机理及其发生的规律性之前，或在制定防护措施之前，最好是根据生产技术的进展，来看一下建筑材料和环境的相互作用条件，是如何变得愈来愈复杂的。研究一下混凝土与钢筋混凝土结构和建筑产品耐久性的历史问题，也许是会有好处的。

最早的建筑物，包括庙宇、金字塔、教堂、宫殿以及温带和热带地区的住宅等起初是用砖石，后来是用混凝土建造的。那时候用于这种建筑物中的建筑材料，其主要的强度指标是抵抗自然风化和雨雪。当水坝、灌溉工程、桥梁、海上工程和码头成为经常性的施工实践时，胶结料的使用及其重要性大为增长。早期用天然石块（起初是不规则的毛石工程，后来是块石砌体）建造的这些结构物，后来用粘结剂，如粘土、石膏和石灰，使得砌筑起来更加容易，后来又用石灰—火山灰灌浆勾缝。砂浆石砌体的进一步发展就是混凝土，未经加工的大粒径砾石、大卵石，甚至个别岩块在混凝土中用作骨料。

在使用过程中受到侵蚀性溶液腐蚀的结构物，评价其混凝土的耐久性，对于一项工程来说是至关重要的。其中包括供水工程（如渡槽）、热水浴槽、海水养鱼池和其他结构物。考古学家发现，从挖掘出来的罗马帝国时代的遗址中，就有腐蚀问题。

石灰同水硬性天然材料相拌合，与氢氧化钙起反应，生成了不溶解的或略溶于水的化合物，长期以来在要受到水作用的建筑结构物中，用作主要的水硬性胶结料。火山灰，也就是意大利的火山凝灰岩（最初是在波佐利城发现的，由此而得名），德国火山灰，煅烧和磨细的粘土，在一些国家用作石灰砂浆的掺合料，借以提高防水性能。用煅烧当地的原材料（即石灰与粘土的混合物）得到的水硬性石灰，在胶结料的生产中起着重要作用。这种材料在低温煅烧中产生一种胶结料，由于它在含水介质中能逐渐凝固，所以硬化后就能长期经受水的作用。这种粘土含量很高的胶结料称为罗马水泥，因为它类似于古罗马所用的胶结材料。回顾水硬性胶结料的历史，对研究混凝土抵抗侵蚀的作用（特别是海水），也许是有好处的。1840年法国工程师兼学者维卡特为了探索约在同时期建造的土伦码头被海水毁坏的原因，对水硬石灰的性能，以及石灰与火山灰制成的砂浆进行了研究。

维卡特分析了石砌体中残留的砂浆（有分解的，也有完好的），他发现在结构外部的石灰（氧化钙）含量几乎减少了一半，而镁土（氧化镁）的含量却增加到将近六倍。维卡特由此得出结论：海水中的镁盐（硫酸镁）同氢氧化钙和氢氧化硅起反应，生成氢氧化镁和硫酸钙，它进一步同硬化水泥中的其他成份起反应，造成进一步的破坏。维卡特的研究是分析海

水对用水硬性胶结料制成的混凝土损坏的一个科学的探索。

尽管在上一世纪用石灰—火山灰胶结料进行了大规模的建设工程，可是由于波特兰水泥的生产，这种胶结料的作用已逐渐消失，因为波特兰水泥的强度较高，而且还在继续提高。所以对于这种胶结料及其抗蚀性作进一步的讨论，看来已无必要了。

我们最好还是回顾一下用波特兰水泥及其混合物和用几种其他水泥制成的混凝土的发展与使用的基本情况。我们的兴趣在于混凝土更加广泛应用的阶段，混凝土已经受到的和在使用中将进一步受到的大量腐蚀。

J. Aspdin 水泥（英国专利，1824）和 Iegor Cheliev 的水泥（在他的著作中有说明），可并列为现代波特兰水泥的先驱。这些水泥虽然含有基本上是弱碱性的硅酸钙和铝酸钙，但还是可以制成多少有点防水性的砂浆和混凝土。在1812年的拿破仑战争中，莫斯科的克里姆林宫遭到严重破坏。在克里姆林宫的重建工程中，Cheliev 的水泥获得了广泛的应用。

在十九世纪初期，各国都在进行更大规模的土木工程，防水性是对所用胶结料的基本要求。

正是波特兰水泥满足了这个要求，尽管在最初的年月里，对波特兰水泥的抗水性能还是不大清楚的。直到二十世纪初期，波特兰水泥混凝土在各种天然水中的耐久性，才最后被我们所认识。

用波特兰水泥制成的混凝土，其损坏和抗蚀性是同这种胶结料的硬化机理同时研究的。由于较好的生产技术，较高的煅烧温度和对水泥—水系统的拌合过程有更多的了解，从而提高了水泥的质量，这已导致了在各种环境条件下，对混凝土的硬化水泥的损坏、抗蚀性和细微组织的研究。

水泥生产技术的提高，以及由此带来的水泥质量的提高，都是以水泥的强度来鉴别的。可是强度高并不意味着抗蚀性能好。高度碾磨的水泥和高比例的石灰，在某种程度上都会降低硬化水泥对各种外界影响的抗蚀性。

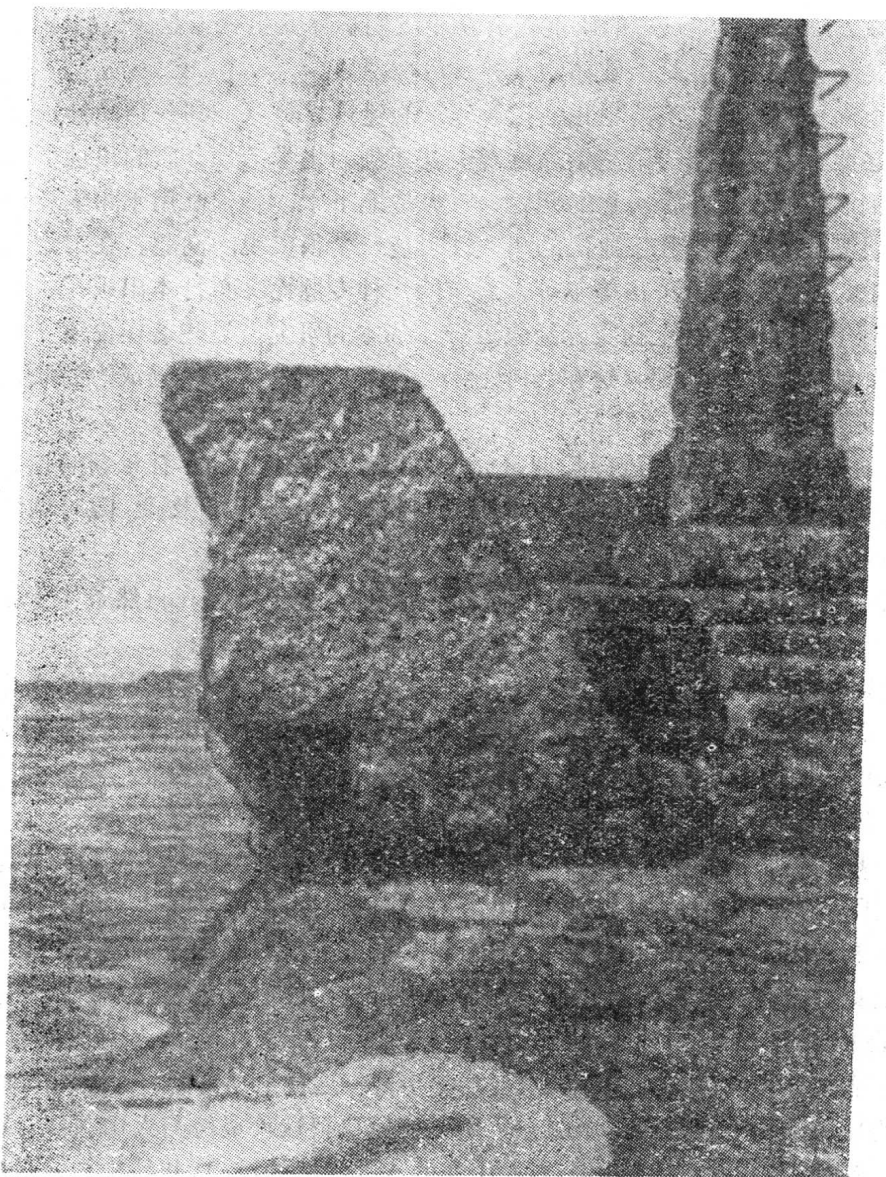
海岸防波堤、路堤、船坞设施、灯塔，以及诸如此类的其他结构物，长期受到周围环境的物理因素（波浪的作用，泥砂的磨损，冰和霜冻的作用）和化学因素（溶解在海水中的盐的腐蚀）的侵蚀，造成迅速损坏（图1.1）。这就是为什么最初研究混凝土的抗蚀性，主要是关于海上工程的这些性能的缘故。几乎与此同时，为了制订提高结构物耐久性的建筑规程，开始了对混凝土试件和建筑构件的足尺试验。

对于用混凝土和钢筋混凝土建造的海上工程进行足尺试验，过去是、现在仍然是在各种气候条件下鉴别各种混凝土耐久性的主要方法。由土木工程师舒莱切科和查诺姆斯基于1902年在欧洲的几个港口中，对混凝土和钢筋混凝土上的船坞设施进行了一次测量，这对我们使用钢筋混凝土修筑海上工程的发展是一个重大的贡献。由于这次测量的结果，使我们认识到波特兰水泥是适用于水上工程的。大体积混凝土和其他结构物经养护后，在侵水之前混凝土表面自然形成一层碳酸盐，再加上混凝土的密实度，被认为是混凝土耐久性的充分的标准。

1904年在俄国的港口也进行了一次类似的检查。混凝土的严重损坏和在混凝土的块体内部发现带白色的不同反应物的聚块，这使得研究人员得出这样的结论：用波特兰水泥制造的混凝土不能抵御海水的侵蚀。例如有一种意见认为：氢氧化钙同硫酸镁的相互作用不可避免地会导致混凝土的破坏，而混凝土密实度的增加只能使结构物的寿命延长25~30年。

波特兰水泥混凝土在海水中的损坏原因和耐久性极限，仍然是有争议的问题。可是对混

(a)



(b)

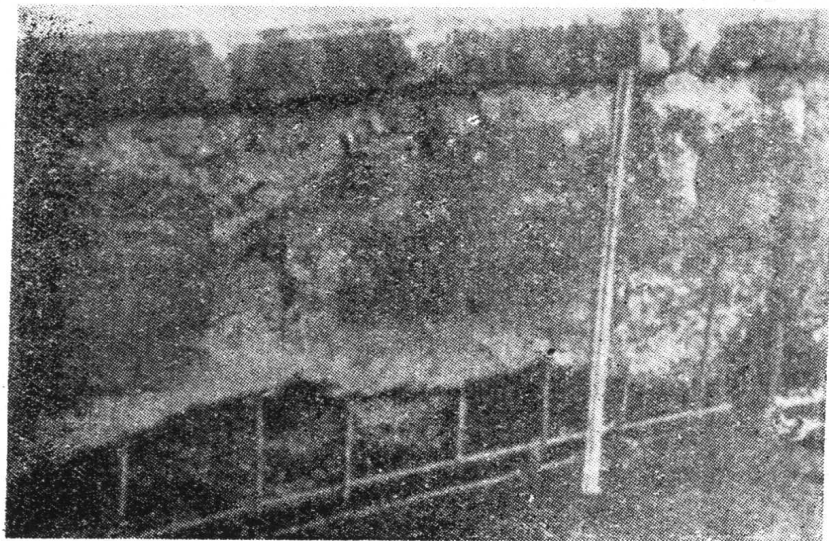


图 1.1 海上结构物被波浪损坏的情况

凝土和钢筋混凝土海上结构物破坏过程的研究，有助于我们解释发生在工业建筑物中的类似过程，并且形成了混凝土和钢筋混凝土破坏的某种一般性理论。

就在钢筋混凝土问世和首次在实践中用作工业建筑的建筑材料（1880~1890年）之后，立即出现了这样的必要性，就是要弄清楚钢筋混凝土在强烈的化学活性介质的侵蚀下（对混凝土的硬化水泥和钢筋的腐蚀）是否可靠的问题。首先是地下水、各种使用水和生产加工过程中的溶液。钢筋混凝土在大气中和工业区的耐久性也是一个很尖锐的问题。在二十世纪开始的时候，由格鲁恩、拉巴特、克莱洛盖尔等人著作的几种专题论文单行本出版了，他们对在工业建筑使用混凝土和钢筋混凝土的实际经验进行了基本的研究。这些著作论述了用波特兰水泥、高铝水泥和波特兰矿渣水泥（这在当时已经获得了广泛的应用）制成的混凝土的抗蚀性，并把数据列成表格。

对混凝土经受风化作用的耐久性进行长期研究也是很重要的。1925年在米勒的指导下，美国开始了在含硫酸盐的土中进行长期试验，其目的是收集25年，50年及更长时期以后的数据。现在已有50年的研究结果可供利用。

暴露在沼泽水中的混凝土结构损坏实例，使得德国钢筋混凝土协会在自然条件下作了一次适当的试验。

这里我们还应提到坎波斯（比利时）在1934~1964年对海水中的混凝土抗蚀性所作的试验（见第12章），和格乔夫对船坞设施的钢筋混凝土耐久性进行了30~40年的深入研究。这两项研究为我们提供了许多关于使用中的结构物对自然风化的抵抗力和性能、水泥的种类、混凝土的配合比，以及生产技术和施工质量对混凝土抗蚀性的影响的可靠证据。

同足尺试验一起，人们还进行了详尽的实验室研究，它可以把充分的时间因素考虑进去。由于硬化水泥同各种化合物之间的相互作用，造成混凝土的损坏，在这方面的研究已经取得了进展。这主要是由于自从采用物理—化学的相位分析法以来所取得的进步。为了避免详细叙述在混凝土和钢筋混凝土方面研究的历史背景，我们应该把讨论的范围限制在这种广泛的研究工作的最重要的方面。

1887年俄国学者加林卡在硬化水泥中发现了 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。这种最易溶解、最易起反应的成份，在硬化水泥的显微结构中表示为一个弱点。所以他建议把这种成份与火山灰掺合料中的活性硅化合。出人意料的是在欧洲南部用含有火山灰的水泥建造的港口，其结构物显示出极其良好的性能。

贝科夫院士的著作，无论是基础理论和应用技术方面，在混凝土损坏研究的发展中起了重要作用。贝科夫的概念为当代了解火山灰在提高波特兰水泥混凝土的抗触性作用奠定了基础。他对混凝土结构在海水中的损坏原因所作的结论，已在后来的研究中得到了证实。贝科夫在胶结料的应用科学的发展中，以及胶结料在各种环境条件下的性能研究方面居于领先地位。

在用混凝土和钢筋混凝土建造的大型水利工程，例如莫斯科大运河，第聂伯河上的大发电厂，和伏尔加河上的几座水力发电站等在施工之前，就已经开始了。目的在于鉴别混凝土对含有各种成份的天然水的抗蚀性的研究。在材料制造领域里著名的学者研究了含有活性添加剂的混凝土的性能。火山灰水泥特设委员会总结了这些研究结果，并推荐在波特兰水泥中加入水硬性添加剂，对于提高混凝土抵抗水和某些盐浓液的溶解作用是有利的。用火山灰波特兰水泥制成的混凝土的抗硫酸盐性能，又一次得到了证实。

在1930~1939年期间，各研究所都对混凝土的损坏进行了深入的研究。

研究工作转向调查混凝土对各种盐溶液侵蚀的抵抗能力，盐溶液是模拟海水和有高含量矿物质的天然地下水（盐水）的。确定了普通的和抗硫酸盐的波特兰水泥对不同浓度的硫酸盐溶液的抗侵蚀极限。同时也很明显，只有当波特兰火山灰水泥是用波特兰水泥熟料制成时，才有较高的抗硫酸盐性能，因为波特兰水泥熟料中的铝酸盐数量是有限的，或者同铝酸盐的含量也是有限的水硬性添加剂拌合，则波特兰火山灰水泥也具有较高的抗硫酸盐性能。火山灰波特兰水泥的抗冻性小于普通波特兰水泥，这就是限制这种水泥在严寒气候中使用的一个原因。

同样，各种外加剂对混凝土抗蚀性的影响，已经作了广泛的研究。在混凝土拌合物中加入塑化剂（软化剂）和加气剂（气体释出剂），可大大提高混凝土的抗冻性。因此，在苏联严寒的气候条件下使用混凝土的可能性问题已经成功地解决了。同时已经知道，能提高混凝土的抗硫酸盐性能的外加剂，只有憎水（疏水）剂和硅的有机化合物，特别是后者。用外加剂或改变水泥混合料来提高抗酸性的努力，最后以失败而告终。根据试验资料，在这方面有效的是用水玻璃胶结料（硅酸钠溶液）的抗酸混凝土。

对钢筋腐蚀的研究是在五十年代开始的。为薄壁结构和高强钢筋和钢丝提供抗蚀性，对于制造高效的预应力结构构件是非常重要的。

对应力钢筋的腐蚀和应力混凝土性能的研究，代表了现代研究的一个主要动向。因为对混凝土抵抗各种侵蚀性影响的研究在继续进行，所以对无表面保护的结构的应用范围应予以确定，并应规定环境的侵蚀性极限，超过了此极限，必须采取表面保护措施。

然而，由于钢筋和混凝土的抗蚀性资料不足，还不能作出在腐蚀性介质中使用的新的有效结构。钢筋混凝土结构在液体或气体的腐蚀性环境中的承载性能，还有待于我们去研究。这些问题已是现代研究中的基本项目了（见第13章）。

在研究损坏过程的机理方面已经做了许多工作。莫斯克维恩在他的《混凝土的损坏》一书中，已经正式提出了混凝土损坏理论的基本观点。为了定量地评定腐蚀过程的动态特征，必须研究侵蚀性物质的内部扩散，或氢氧化钙的外部扩散，混凝土表层反应物的生成，腐蚀性成份及其在混凝土空隙中同硬化水泥相互作用的产物的结晶，以及其他过程。

当前，进一步发展在受到各种腐蚀性介质侵蚀的混凝土中损坏的定量理论，计算结构的耐久性，是广泛研究的课题之一。

在《混凝土的损坏》一书出版后的几年来，由于许多大规模研究的结果，已经在建筑工业中制订了一系列防止混凝土和钢筋混凝土损坏的标准规范。这是第一次颁发了这种标准。

苏联的结构构件防腐蚀设计，在全国范围内已经标准化了。结构构件的防腐蚀计划通常是在任何建设项目中，作为工程的一个方面而受到重视的。这个计划是以上述的设计标准为基础的，并由设计人员的一个专门小组来完成。

以后各章将讨论混凝土和钢筋混凝土的损坏理论，并将讨论用这种材料建造的永久性建筑物的有关施工问题。

第二章 侵蚀的环境和损坏的形式

在过去几十年中高速发展的工业，特别是化学工业，大大地改变了工业区的化学性质。现在工业区的大气中酸性气体的含量很高，这对混凝土和钢筋是有害的。为保护环境而采取的一系列控制措施，为我们提供了这样的希望：大气的进一步污染将会停止，有害于人类和建筑物的反应物的浓度将会下降。废水处理和防止河流与水质不被污染，对于进一步降低环境对混凝土和钢筋混凝土的侵蚀性程度也是重要的。

2.1 腐蚀介质同混凝土与钢筋混凝土的关系

在规划含有化学活性（腐蚀性）物质的工厂时，不可忽视腐蚀性物质侵入地下的可能性，因此必须及时地建造地下（埋设）结构物，借以提供充分的保护。

生产中的工厂，其地下水位通常都有上升的趋势。这要求设计人员及时地采取防水措施。根据预计的侵蚀性的变化和水位的上升，采取对策，防止地下结构物的损坏。

现代生产的连续自动化，使得室内生产面积的空间减少了，室内生产面积通常对环境中的侵蚀性成份的含量有严格的卫生要求。较小的空间会导致工作面上总的室内侵蚀程度的升高，而无人操作消除了根据卫生条件限制污染程度的必要性。

设计人员在规划一个建筑物或结构物时，应该预见到，由于生产的进一步发展和现代化，工业区周围的侵蚀性可能会有变化。某项技术的进步可使工作机器的能力扩大，亦即势必采用更大吨位和更大尺寸的机器和设备。于是就产生了这样的愿望，就是把这种设备从封闭的工作面上挪出去，使机器在气候最不适宜的露天工作，或者从功能上把技术设备和机器同结构构件结合起来。在各种情况下，为了承受非生产性设施（工作平台，控制仪表室，泵房和通风设施）和生产设备（硫酸塔，氧化铝分解和成粒塔，以及石油化学的洗涤塔，分馏塔）的额外荷载，要求采用高（结构）强度的设备。在这种情况下，承载结构构件就不需要了。同时，就像任何建筑构件那样，设计的设备不仅应满足生产技术上的要求，而且要符合承载的要求。

建筑材料处于较高的应力状态，会影响那里发生的损坏过程，这应在强度分析中考虑进去。除了建筑材料的静力和动力稳定性外，结构应能保证在整个使用期间不发生故障。因此，如今的结构构件力图从功能上同生产技术结构结合起来。

只有材料和构件在整个使用期间能保持设计指标（强度、不透水性等等），构件*才能达到要求的强度。

按照设计规定的使用寿命，结构物可分为两类。

第一类是用于安装各种设备和生产装置的结构物：工业建筑物和结构物，停车设施，设备维修站等等。这类建筑物的寿命取决于它们的使用年限，或设备的报废期限。由于科学技术的飞速进步，建筑物经过相当短期的使用后，就需进行更新。

*在下文中除非另有说明，均指混凝土和钢筋混凝土构件——原注。

对于这类建筑物不应忽视大修问题，因为有些工业是不允许停工大修的。

所以，这一类结构物的耐久性应设计成经济上能达到合理的使用期限，而更新和维修的费用则为最少。

第二类是混凝土和钢筋混凝土结构物，其使用寿命实际上是无限的，它们是河岸护坡，海港防护的给水装置和隧道。无论这些结构物的形式、性能特征和用途如何，都应能使用好几世纪。

最近在土木工程方面有一种引人注目的倾向，就是把结构物的使用寿命设计成有限的，以便于更换而不中断工业生产。

与操作条件有关的某些问题的分析，和实际使用期限的确定表明，在混凝土和钢筋混凝土损坏方面的研究，不应只根据现有的使用条件，而且允许它们有可能随时间而变化。

分析早期建造的结构物中的建筑材料（即混凝土与钢筋混凝土）性能，对于在实际条件下全面评价环境的侵蚀性具有重大意义。

保存几世纪的结构物，有许多是没有严重损坏痕迹的。同时，最近建造的某些结构物，也有仅仅使用几年后就已经破坏了的。例如在一家生产人造纤维的工厂里，酸泵房的钢筋混凝土结构构件四年后就破坏了。一家石油化工厂的多层露天设备堆架的承重结构构件，在使用的最初几年里就已经观察到损坏。据报道，在许多化工厂，特别是生产氯、酸和盐的工作面中，钢筋混凝土构件有明显的损坏。海上工程的结构构件也损坏得很快。某一海上结构的钢筋混凝土护堤，由于海水的作用和多次冻融循环，造成混凝土的破坏（图2.1）。

含有1.8~2.3克/公升的硫酸盐离子，和0.3~0.5克/公升镁离子的水，使混凝土发生周期性的干、湿交替，桥台很快就毁坏了。

含硫酸盐的水发生渗透现象，也会很快造成结构的损坏。由于含23.3克/公升硫酸盐离子的渗透作用，科尔博特隧道（比利时）的衬里很快就破坏了。除了水的侵蚀作用之外，倒塌的另一个原因是隧道衬里混凝土的水泥用量



图2.1 由于混凝土的破坏和钢筋的腐蚀，造成沿海护堤的破坏

不足。这使得混凝土不够密实，而渗透也就更严重了。这说明渗漏水的影响比自由水或溢流水更大，同时也证明了环境的侵蚀性对于各种混凝土是不一样的。评价环境的侵蚀性和制订一系列施工规程的设想，将在第15章中予以更详细的论述。

巴库-绍勒渡槽的损坏,为我们提供了一个矿物质含量很高的地下水迅速破坏混凝土的典型实例。椭圆形断面的15~20厘米厚的混凝土管子严重损坏,是在管子充水后马上就开始的。管子埋设在水饱和的土中,而水含有5~10克/公升硫酸盐(以硫酸盐的离子计算),2~6克/公升氯化物和0.2~0.4克/公升的镁,所以当管子埋设后,地下水就开始渗入混凝土。后来当暂时硬度(temporary hardness)很高的水满断面通过导管时,化学侵蚀的损坏立即停止了。

由于水道的流量较大,渗透的方向改变了,水已不是往里渗透,而是往外渗透了。为了与碳酸氢钙相平衡,溶解在水中的二氧化碳同硬化水泥中的氢氧化钙起反应。这种反应打破了平衡,碳酸氢盐分解成几乎不溶解的碳酸钙,从而封闭了混凝土。换句话说,这种作用是一种加固过程而不是破坏过程,随着使用条件的变化,使混凝土更加密实。

这个例子说明了周围介质同建筑材料之间的复杂关系,同混凝土接触的环境成份的变化是相当小的,而混凝土拌合物的变化往往导致损坏过程的方式和强度的根本改变。

混凝土与钢筋混凝土构件如果埋设在盐水饱和的土中,或周期性地被盐水浸湿的土中,或者混凝土与钢筋混凝土构件同这类土壤相接触,则其损坏往往比不埋设在这类土中或不与之接触的构件更快。

在一座横跨盐土地带的干涸河道上的桥梁附近,铁路路堤护坡混凝土板的损坏(图2.2)就是这种侵蚀的典型实例。盐水交替地浸湿混凝土板,后来又干燥,结果由于盐在混凝土孔隙中的结晶作用而破坏了混凝土(见第8章)。

海上结构物的破坏是钢筋混凝土的物理与化学破坏的例子。物理作用造成混凝土的裂缝和剥落,而化学作用则引起混凝土的分解和钢筋的腐蚀。构件的刚度不足也可造成裂缝。例如船坞设施在第一阶段完工后不久,由于上述原因而在各种结构构件中发生了裂缝(图2.3a)。温暖而潮湿的气候促使混凝土裂缝区钢筋的腐

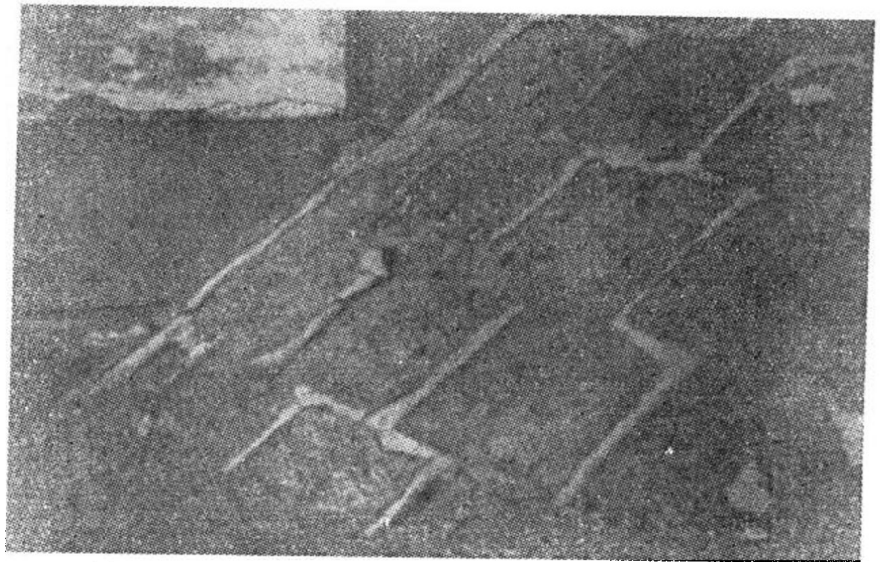


图2.2 由于来自盐碱土中的盐的结晶作用,护坡混凝土板的破坏情况

蚀,并迅速损坏。因此,在继续建设码头时,人们设计了长度较短而断面较大的更刚劲和更能抗裂的结构构件(图2.3b)。这些船坞设施证明是比较可靠的,因为它们既无裂缝,又无钢筋腐蚀的损坏(详见第9~12章)。

2.2 环境的侵蚀性

在某些情况下,钢筋混凝土构件可能在十几年内性能都是良好的,而以后的损坏和倒塌