

腐 蚀 与 防 护 全 书

耐 腐 蚀 混 凝 土

中国腐蚀与防护学会 主编

张信鹏 王德森 编著

化 学 工 业 出 版 社

腐 蚀 与 防 护 全 书

耐 腐 蚀 混 凝 土

中国腐蚀与防护学会 主编

张信鹏 王德森 编著

化 学 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书比较系统地介绍了沥青混凝土、硫磺混凝土、水玻璃混凝土和聚合物混凝土的配制、性质以及在防腐蚀工程中的应用,并扼要地介绍了耐腐蚀混凝土有关性能的测试方法。

本书可供研究和使用的耐腐蚀混凝土的工程技术人员以及从事建筑、设备防腐蚀工程的设计、维修和施工人员参考。

本书由徐兰洲、张洪钧审校。

腐蚀与防护全书 耐腐蚀混凝土

中国腐蚀与防护学会 主编
张信鹏 王德森 编著

责任编辑:刘 威
封面设计:许 立

化学工业出版社出版发行
(北京和平里七区十六号楼)

北京宏伟胶印厂印刷
固安三固装订厂装订
新华书店北京发行所经销

开本 850×1168 1/32 印张 $5\frac{3}{4}$ 字数 150 千字
1989年4月第1版 1989年4月北京第1次印刷
印 数 1—3,900
ISBN 7-5025-0390-0/TQ·282
定 价 2.35 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的技术科学,目前已成为一门独立的学科,并正在不断的发展。

腐蚀是材料在各种环境作用下发生的破坏和变质,遍及国民经济各个部门,给国民经济带来巨大的损失。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。因此,全国普及腐蚀科学知识,推广近代的防护技术,以减少腐蚀造成的经济损失,延长材料和设备的实用寿命,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,全面系统地阐述了腐蚀科学的理论和应用,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》编写工作曾得到腐蚀与防护领域许多专家、工程技术人员及其所在单位领导的热情协助和大力支持,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

1987年2月

《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
李兴濂	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	张承濂	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	黎樵棗	戴新民		

编辑组: 吴荫顺 王光雍 褚武扬 袁玉珍 李志清

刘 威

目 录

第 1 章 概述及性能检验	(1)
1. 定义及分类	(1)
2. 国内外发展情况	(2)
3. 性能和测试方法	(4)
3.1 抗压强度	(5)
3.1.1 常温抗压强度	(5)
3.1.2 热态抗压强度	(8)
3.2 静力弹性模量	(8)
3.2.1 试验步骤	(9)
3.2.2 计算	(9)
3.3 收缩率	(10)
3.3.1 试验步骤	(10)
3.3.2 计算与评定	(11)
3.4 抗渗性	(11)
3.4.1 试验步骤	(11)
3.4.2 结果评定	(12)
3.5 耐腐蚀稳定性	(12)
3.5.1 浸酸 (碱、盐) 后的重量变化率	(12)
3.5.2 浸酸 (碱、盐) 后的强度变化率	(13)
4. 耐腐蚀性能的评定标准	(13)
4.1 沥青类材料	(14)
4.2 硫磺混凝土 (砂浆)	(15)
4.3 水玻璃类材料	(16)
4.4 树脂类材料	(17)
第 2 章 沥青混凝土 (砂浆)	(19)
1. 沥青及其性质	(19)
1.1 沥青的组成及结构	(19)
1.1.1 沥青的组分	(20)

1.1.2	沥青的结构	(21)
1.2	沥青的基本性质	(22)
1.2.1	粘性	(22)
1.2.2	塑性	(22)
1.2.3	温度稳定性	(23)
1.2.4	防水性	(23)
1.2.5	化学稳定性	(23)
1.2.6	大气稳定性	(23)
1.3	沥青的掺配使用	(24)
2.	沥青混凝土(砂浆)的结构	(24)
2.1	矿物骨架的结构	(24)
2.2	沥青与矿物材料的相互作用	(25)
2.3	沥青混凝土的密实度	(26)
3.	影响沥青混凝土性能的因素	(27)
3.1	沥青混凝土混合料的压实	(27)
3.2	和易性	(28)
3.2.1	和易性对密实度的影响	(28)
3.2.2	和易性对耐腐蚀性能的影响	(30)
4.	沥青混凝土(砂浆)的施工与应用	(30)
4.1	施工	(30)
4.1.1	铺筑前的准备	(30)
4.1.2	调制	(31)
4.1.3	摊铺和压实	(31)
4.2	施工质量的鉴定	(31)
4.3	应用	(32)
第 3 章	硫磺混凝土	(34)
1.	概述	(34)
1.1	硫磺混凝土的定义	(34)
1.2	硫磺混凝土的特点	(34)
1.3	硫磺混凝土的应用简况	(35)
2.	硫的特性	(36)
2.1	硫的性质	(36)
2.2	硫的结晶和再结晶	(37)

2.3 硫的改性及改性剂·····	(37)
3. 硫磺混凝土的原材料及组成 ·····	(40)
3.1 硫·····	(40)
3.2 粉料·····	(41)
3.3 粗、细骨料·····	(41)
3.4 改性剂·····	(43)
3.5 硫磺混凝土的配合比·····	(45)
4. 硫磺混凝土的性能 ·····	(47)
4.1 抗压、抗弯及抗拉强度·····	(47)
4.2 抗疲劳性能·····	(49)
4.3 抗冻性能·····	(50)
4.4 弹性模量·····	(52)
4.5 收缩性能·····	(53)
4.6 热膨胀性能·····	(55)
4.7 耐化学腐蚀性能·····	(56)
4.8 耐久性及其它·····	(60)
5. 硫磺混凝土的施工 ·····	(62)
5.1 改性硫磺和硫磺胶泥的熬制·····	(62)
5.2 硫磺混凝土的施工·····	(63)
5.2.1 硫磺混凝土的浇灌法施工·····	(63)
5.2.2 硫磺混凝土的机械搅拌、成型法施工·····	(65)
5.3 硫磺混凝土的预制·····	(65)
5.4 施工安全·····	(66)
6. 硫磺混凝土的发展 ·····	(67)
6.1 渗硫混凝土·····	(67)
6.2 硫磺沥青混凝土·····	(69)
6.3 今后的发展及应用 ·····	(72)
第 4 章 水玻璃耐酸混凝土 ·····	(74)
1. 概述 ·····	(74)
1.1 定义及组成 ·····	(74)
1.2 特点·····	(74)
2. 主要原材料及技术条件 ·····	(75)
2.1 水玻璃·····	(76)

2.1.1	一般性质	(76)
2.1.2	模数和比重	(77)
2.2	氟硅酸钠	(79)
2.3	耐酸骨料和粉料	(80)
2.3.1	耐酸骨料	(80)
2.3.2	耐酸粉料	(81)
2.4	外加剂	(82)
3.	硬化过程及密实机理	(83)
3.1	硬化过程	(83)
3.2	密实机理	(86)
3.2.1	水玻璃耐酸材料密实度不高的原因	(86)
3.2.2	密实机理	(87)
4.	物化性能及影响因素	(93)
4.1	物化性能	(93)
4.1.1	强度	(93)
4.1.2	耐稀酸、耐水性	(94)
4.1.3	耐热性	(95)
4.1.4	酸化处理	(97)
4.2	影响性能的因素	(98)
4.2.1	水玻璃模数、比重和用量的影响	(98)
4.2.2	骨料的影响	(100)
4.2.3	养护条件的影响	(102)
5.	密实水玻璃耐酸混凝土	(104)
5.1	密实耐酸混凝土的性能	(105)
5.1.1	密实度	(105)
5.1.2	力学性能	(105)
5.1.3	膨胀收缩率	(106)
5.1.4	耐酸稳定性	(106)
6.	施工及应用	(110)
6.1	配合比	(110)
6.1.1	配合比设计步骤	(110)
6.1.2	参考配合比	(110)
6.2	施工	(112)

6.2.1	原材料的准备	(112)
6.2.2	搅拌	(113)
6.2.3	浇捣	(113)
6.2.4	养护和拆模	(113)
6.2.5	酸化处理	(114)
6.2.6	质量检查与安全技术	(114)
6.3	应用	(114)
6.3.1	在酸洗槽中的应用	(115)
6.3.2	在烟囱内衬中的应用	(115)
6.3.3	在地坪、地沟中的应用	(116)
6.3.4	在电解槽中的应用	(116)
7.	水玻璃耐酸材料的新进展	(118)
7.1	新型硬化剂的研究	(118)
7.2	粉状硅酸钠耐酸水泥	(120)
第5章	聚合物混凝土	(122)
1.	概述	(122)
1.1	定义及分类	(122)
1.2	特点	(122)
2.	聚合物水泥混凝土(砂浆)	(123)
2.1	主要组成材料	(124)
2.1.1	聚合物的选用原则	(124)
2.1.2	聚合物添加剂	(124)
2.2	配合比及制造方法	(126)
2.2.1	配合比	(126)
2.2.2	制造方法	(127)
2.3	物化性能	(129)
2.3.1	减水性能	(129)
2.3.2	强度	(130)
2.3.3	变形性能	(131)
2.3.4	密实度	(132)
2.3.5	干缩与耐磨	(133)
2.3.6	化学稳定性	(134)
2.4	应用	(134)

2.4.1	在防腐地面上的应用.....	(135)
2.4.2	大型屋面板的修复.....	(135)
3.	树脂混凝土 (砂浆).....	(136)
3.1	主要组成材料.....	(136)
3.1.1	胶结材料.....	(136)
3.1.2	粉料和骨料.....	(137)
3.1.3	其它材料.....	(137)
3.2	硬化过程.....	(137)
3.3	配合比设计及影响因素.....	(138)
3.3.1	配合比的设计.....	(138)
3.3.2	骨料级配的影响.....	(139)
3.3.3	骨料种类的影响.....	(140)
3.3.4	骨料含水量的影响.....	(140)
3.4	物化性能.....	(141)
3.4.1	强度.....	(141)
3.4.2	收缩.....	(142)
3.4.3	变形性能和徐变.....	(143)
3.4.4	吸水率、抗渗性和抗冻融性.....	(145)
3.4.5	化学稳定性.....	(146)
3.5	配筋树脂混凝土.....	(147)
4.	聚合物浸渍混凝土	(148)
4.1	主要材料.....	(149)
4.1.1	基材.....	(149)
4.1.2	浸渍液.....	(151)
4.2	浸渍和聚合工艺.....	(151)
4.2.1	工艺流程.....	(151)
4.2.2	干燥.....	(152)
4.2.3	真空抽气.....	(152)
4.2.4	浸渍.....	(152)
4.2.5	聚合.....	(152)
4.3	物化性能.....	(154)
4.3.1	强度.....	(154)
4.3.2	弹性模量.....	(155)

4.3.3 吸水率与抗渗性.....	(155)
4.3.4 耐化学腐蚀性.....	(155)
4.4 在防腐蚀工程中的应用.....	(156)
5. 树脂混凝土(砂浆)在防腐蚀工程中的应用	(157)
5.1 整体地面.....	(157)
5.1.1 低弹模树脂砂浆整体地面	(159)
5.1.2 弹性聚酯砂浆整体地面.....	(161)
5.1.3 树脂磨石地面.....	(162)
5.2 在承重结构中的应用.....	(164)
5.3 公路路面、桥面的修补.....	(165)
参考文献.....	(166)

第1章 概述及性能检验

1. 定义及分类

混凝土是一种人造石材，是当代用量最多、用途最广的建筑材料之一，也是当今世界现代文明的重要支柱。混凝土不仅用途广泛、性能优异，而且家族庞大、品种繁多，耐腐蚀混凝土便是这个庞大家族中的重要一员。耐腐蚀混凝土不仅像普通混凝土一样，有很高的力学强度，而且对各类酸、碱、盐等化学介质，具有相当可靠的腐蚀稳定性，是现代工业中制作各类储酸罐（釜）、池、沟、管和建筑物楼、地面等主要的防腐蚀材料之一。

耐腐蚀混凝土是由耐腐蚀胶结剂、硬化剂，耐腐蚀粉料和粗、细骨料及外加剂按一定的比例组成，经过搅拌、成型和养护后可直接使用的耐腐蚀材料。

耐腐蚀胶结剂是耐腐蚀混凝土最重要的组成部分，它的作用不仅是把散状的耐腐蚀粉料和粗细骨料胶凝和结合在一起，形成具有一定性能的整体，而且胶结剂的性质和耐腐蚀的优劣往往决定着耐腐蚀混凝土的性能和耐腐蚀的程度。胶结剂品种很多，性能差异也比较大，既有廉价的，也有比较昂贵的。因此，耐腐蚀胶结剂的选择，一般应根据耐腐蚀构筑物或建筑物的耐腐蚀要求、规格、大小、使用温度和施工方法而定。

耐腐蚀粗、细骨料是耐腐蚀混凝土的骨架，是耐腐蚀混凝土相当重要的组成部分，它的物理和化学性质对耐腐蚀混凝土的最终质量起着仅次于胶结剂的重要作用。耐腐蚀混凝土是一种非匀质的多相材料，它的宏观性能必然受到弹性模量有显著差异的各组分的影响，也一定被凝胶结构和凝胶与集料的界面结构这两种截然不同的结构所制约。

耐腐蚀粉料是耐腐蚀混凝土必不可少的填充料，它不仅能减少胶结剂的用量，而且能增加耐腐蚀混凝土拌合物的和易性及混凝土的密实度，对混凝土的其它性能也有一定程度的影响。

外加剂种类较多，如密实剂、增韧剂等，一般用量较少，若使用得当，对混凝土的性能会有很大影响。

耐腐蚀混凝土通常是按胶结剂的不同分类，也有按使用用途分类的。

按胶结剂的种类分：无机胶凝材料混凝土，有机胶凝材料混凝土和无机与有机复合的胶凝材料混凝土。

无机胶凝材料混凝土有：水泥混凝土、水玻璃混凝土、硫磺混凝土。

有机胶凝材料混凝土有：沥青混凝土、树脂混凝土。

无机与有机复合的胶凝材料混凝土有：聚合物水泥混凝土、聚合物浸渍混凝土。

按用途分类：耐碱混凝土、耐酸混凝土、耐酸耐碱混凝土。

本书所指的耐腐蚀混凝土，是指耐酸混凝土和耐酸耐碱混凝土，不包括以水泥为胶凝材料的耐碱混凝土。

2. 国内外发展情况

耐腐蚀混凝土的重要特点是在常温下就可把各种散状的组分凝结硬化成一个高强度的整体，既不需要用复杂的机械，也不需要专门的厂房，而是在现场就可以任意造型。因此，耐腐蚀混凝土与塑料、不锈钢、有色金属等防腐蚀材料相比，具有很多优点。

①生产工艺简单。一般只用混凝土搅拌机和振捣器等施工机具，因此上马快，施工费用省，成效大。

②施工成型方便，特别适宜制作形状复杂的异形制品和构筑物，应用范围较广。

③用耐腐蚀混凝土制作的防腐蚀设备整体性强、气密性好，能源消耗小于金属设备，可减少生产费用。

④原材料来源广泛，成本也较底。

⑤耐腐蚀混凝土具有良好的物理力学性能和耐化学腐蚀性能，它能耐大多数无机酸，有机酸、碱、盐和浸蚀性气体的腐蚀。有的既能耐酸、又能耐碱；有的同时具备耐酸和耐热（耐热温度可达 1000°C ）性能。这是其它许多防腐蚀材料所不能比拟的。

在国外，早就将耐腐蚀混凝土用于防腐蚀工程。20世纪30年代初期，当时使用的耐腐蚀混凝土的品种比较单一，只有沥青混凝土和水玻璃混凝土两种。沥青混凝土首先用于道路工程、水利工程，而后才逐步在防腐蚀工程中得到应用。50年代初期，开始研制聚合物水泥砂浆，最初使用的有机材料是天然橡胶乳液、聚醋酸乙烯乳液等。60年代末期，丹麦、加拿大因有丰富的硫磺资源而开始研究硫磺混凝土和浸硫混凝土。美国是在1970年由Crow和Bates率先研制硫磺混凝土，1972年联邦矿务局亦对硫磺混凝土进行专题研究，60年代以树脂为胶结料的树脂混凝土和聚合物浸渍混凝土掘起，美国、日本、西德和苏联都相继开展了大量的研究工作，各国采用的树脂品种不尽相同，日本、西德以不饱和聚酯树脂为主，美国以乙烯基树脂为研究重点，苏联则采用呋喃树脂。

我国耐腐蚀混凝土的研究和应用，主要是从20世纪50年代开始，当时主要是学习和掌握苏联等国的经验，耐腐蚀混凝土的品种也比较单一，只有沥青混凝土和水玻璃混凝土两种。50年代后期及60年代以后，我国对水玻璃混凝土进行了系统的深入研究，并在冶金、化工、轻工等系统广泛使用。如冶金系统的各种贮酸槽罐、焦化厂的饱和器、钢材冷加工厂的酸洗槽、制酸厂的吸收塔衬里、 170°C 以下的硝酸浓缩塔衬里、造纸工业的蒸煮罐衬里等。此外，对水玻璃混凝土的硬化机理也进行了探讨和分析，特别是对提高水玻璃混凝土的抗渗性能进行了卓有成效的研究，取得了显著的结果。其中，比较突出的有冶金部建筑研究总院研究的掺加糖醇、多羟醚化三聚氰胺外加剂的密实水玻璃混凝土，上海建筑科学研究所采用掺水溶性环氧树脂、木质磺酸钙等外加剂改性的水玻璃混凝土，茂名石油公司、中国有色金属总公司建筑研究所等单位研制成功的呋喃树脂改性水玻璃混凝土。这些成果都在提高水玻璃混凝土的抗渗性方面

有较大突破，并在工程应用上取得良好的效果。同时，还开展了配筋水玻璃混凝土的结构性能研究，并进行了配筋水玻璃混凝土制作承重结构方面的工程试点，取得了可喜的结果，从而扩大了水玻璃混凝土的应用范围和研究深度。

我国在硫磺混凝土方面的研究工作开展得较早，1965年就已研制成功，并在淮南化肥厂工程的某些设备基础、耐酸地面及耐稀硝酸中和池壁等部位实际应用，取得了较好的效果。此后，国内一些设备基础、地下窖井及酸处理池等工程中也有一定的使用。硫磺混凝土用作贮槽衬里（地上及地下式）已被作为一种结构形式列入非金属衬里防腐蚀贮槽设计通用图册中，硫磺混凝土于1976年列入国家标准《建筑防腐蚀工程施工及验收规范》（TJ212-76）中。

在我国聚合物混凝土（包括聚合物水泥混凝土、聚合物浸渍混凝土、树脂混凝土）的研究起步于70年代。由于当时我国的化学工业落后于美日等国，聚合物资源较缺，价格昂贵，因此，在聚合物混凝土的研究和开发应用上，主要侧重耐腐蚀稳定性的研究和防腐蚀工程的应用方面。从事这项工作虽然时间不长，但发展很快，应用范围较广，技术经济效益显著。例如，树脂混凝土抗冲磨面层已经在我国新安江发电厂、长江葛州坝工程得到应用；又如，树脂砂浆整体防腐蚀地面已在我国最大的钢铁基地——宝山钢铁总厂得到广泛应用；树脂混凝土制作酸洗槽和电解槽也有了初步的应用。标志着我国聚合物混凝土的研究和开发应用已进入世界发达国家的行列。

3. 性能和测试方法

耐腐蚀混凝土主要用于储酸罐、反应釜、槽等构筑物或建筑物的楼、地面及设备基础等，要经常承受各种介质的物理和化学作用及机械磨损和冲击作用，因此对耐腐蚀混凝土的基本要求是：

- ①应具有抵抗各种介质的物理化学作用的能力，即 腐 蚀 稳 定 性；
- ②应具有抵抗机械磨损和冲击的能力；

③应具有一定的强度。

为了衡量这些性能，必须测定出相应的性能指标，如强度、腐蚀稳定性、静力弹性模量、线收缩率、抗渗性等。这些性能指标常常是评价耐腐蚀混凝土的质量，以及判断其允许使用范围的重要依据。当然，在不同品种的耐腐蚀混凝土之间，性能指标各有不同和差异，但其测试方法基本上是一致的。因此，在对不同品种耐腐蚀混凝土进行全面叙述之前，讨论一般性能及其含义、测定方法和指标是很有必要的。

本节主要是以国家标准《建筑防腐工程施工及验收规范》(TJ212-76)，《工业建筑防腐蚀设计规范》GBJ46-82（试行）和冶金工业部制订的《冶金基建试验检验规程》为依据而编写的。

3.1 抗压强度

抗压强度是耐腐蚀混凝土的重要性能指标，也是反映其使用性能好坏的重要依据。

耐腐蚀混凝土的抗压强度一般可分为常温抗压强度和热态抗压强度两种。不同品种的耐腐蚀混凝土的抗压强度的侧重点，可以有所不同。如沥青混凝土、树脂混凝土等，两种抗压强度应同时测定，而对于水玻璃混凝土，一般只测定常温抗压强度就可满足要求。

3.1.1 常温抗压强度

常温抗压强度是耐腐蚀混凝土经过成型并按规定制度养护后的某一龄期强度。常温抗压强度是耐腐蚀混凝土的设计依据，也是做为耐腐蚀混凝土腐蚀试验的强度比较依据。

a . 沥青混凝土

(1) 试件制备

①按配合比称量沥青、粉料、砂和粗骨料。先将沥青在锅内溶化，再加入粉料、砂和粗骨料，充分拌合均匀，在180—220℃保持不少于5 min，以保证填料表面全部为沥青所覆盖。然后将混凝土拌合料温度降至150—160℃备用。

②将钢模具（见图1-1）预热至100—120℃取出，在模具内薄