

混凝土 材料及制品 生产工艺

姚 嵘 马小娥 主 编

HUNNINGTU
CAILIAOJIZHIPIN
SHENGCHAN
GONGYI

煤炭工业出版社

要 容 内

混凝土材料及制品生产工艺

区学馆员人朱对气主研书品博主编著又主编唐成书印计本
姓印员人业空林书姚皓马小娥主编书印出林道素著

江苏工业学院图书馆
藏书章

煤炭工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土材料及制品生产工艺/姚嵘, 马小娥主编. - 北京: 煤炭工业出版社, 2002

ISBN 7-5020-2198-1

I. 混… II. ①姚…②马… III. ①混凝土 - 建筑材料②水泥 - 建筑材料③混凝土 - 制品 - 生产工艺④水泥 - 制品 - 生产工艺 IV. TU52

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 052448 号

混凝土材料及制品生产工艺

姚嵘 马小娥 主编

责任编辑: 王铁根

*

煤炭工业出版社 出版发行

(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

北京房山宏伟印刷厂 印刷

*

开本 $787 \times 1092\text{mm}^{1/32}$ 印张 $6^{7/8}$

字数 149 千字 印数 1 - 700

2002 年 10 月第 1 版 2002 年 10 月第 1 次印刷

社内编号 4969 定价 14.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

本书讲述了混凝土的基本组成材料特征及生产混凝土制品的基本工艺原理，较系统地阐明了混凝土混合材料的制备、配合比设计、密实成型方法、养护工艺原理；对新拌混凝土和硬化后混凝土特征、混凝土终饰也做了较详细的介绍。

本书可作为混凝土及混凝土制品设计和生产技术人员的学习参考资料，也可作为硅酸盐工程和无机非金属材料专业人员的教学参考书。

前 言

为加强工程技术人员基础理论的学习,培养高素质综合型的混凝土研究、管理人员,使更多的一线科研人员在较短时间内能够掌握混凝土理论知识,从而较快地实现科研成果向生产力的转化,我们特编写了此书。

本书将混凝土组成材料、材料特征及反应机理做了详细介绍,使之与混凝土制品基本工艺原理等有机结合在一起。本书分为四章,第一章混凝土材料,第二章混凝土制备过程及原理,第三章混凝土成型及养护,第四章混凝土的性能。本书阐述了混凝土的发展,水泥水化及凝结硬化机理,集料特征,外加剂,混凝土混合料制备工艺,混凝土的密实成型及养护工艺原理,并在此基础上,讨论了混凝土的工作性、强度及耐久性。

本书由姚嵘、马小娥编写。姚嵘负责编写第一章第一、二、三节,第二章第二、三节,第三章和第四章第一、三节,其余各章节由马小娥负责编写,姚嵘统稿。

全书由张玉波、李有国和河南省建筑材料设计院张冰主审。

本书在编写过程中得到了河南省建材设计研究院和焦作工学院的大力支持,在此一并表示感谢。

由于时间仓促,编者水平有限,不完善之处在所难免,希望专家和读者批评指正。

编 者

2002年4月

目 录

绪 论	1
第一章 混凝土材料	5
第一节 水泥和混凝土的发展史	5
第二节 水 泥	10
第三节 水泥的水化及硬化水泥浆体的物理结构	24
第四节 集 料	37
第五节 水的品质	49
第六节 混凝土外加剂	51
第七节 混凝土界面层	60
第二章 混凝土制备过程及原理	63
第一节 混凝土制品的基本工艺过程及其作用	63
第二节 原料的准备与加工	64
第三节 原料的储存与输送	83
第四节 普通混凝土混合料的制备工艺	94
第五节 其他混凝土混合料的制备工艺	127
第三章 混凝土的成型及养护	132
第一节 混凝土的浇注	132
第二节 混凝土的密实成型方法及原理	133
第三节 混凝土的终饰	170
第四节 混凝土的养护及工艺原理	171

第四章 混凝土的性能	181
第一节 新拌混凝土	181
第二节 硬化混凝土的试验	195
第三节 混凝土强度	199
第四节 混凝土的耐久性	203
参考文献	210

2	混凝土强度	第一章
2	混凝土强度	第一章
10	混凝土	第二章
	混凝土	第三章
24	混凝土	
28	混凝土	第四章
40	混凝土	第五章
21	混凝土	第六章
60	混凝土	第七章
68	混凝土	第二章
	混凝土	第一章
68	混凝土	
84	混凝土	第二章
88	混凝土	第三章
94	混凝土	第四章
121	混凝土	第五章
132	混凝土	第三章
132	混凝土	第一章
132	混凝土	第二章
140	混凝土	第三章
151	混凝土	第四章

绪 论

日常生活中，我们在各方面都直接或间接的接触到混凝土制品，如，混凝土的道路、建筑物、铁路轨枕、机场跑道、水利大坝、排水管及混凝土的燃煤发电站和原子能核电站等。许多建筑，如法国的卢浮宫及古罗马和古希腊的圣庙所使用的建筑材料就是现代混凝土的前身。混凝土一词来自拉丁文 *concretus*，翻译成中文就是共同生长。

一、混凝土的定义

混凝土是由粗的材料（集料）镶嵌于坚硬的基质材料（胶结料）中所组成的复合材料。

因胶结料细小而填充于集料颗粒的空隙中，并将它们胶结在一起，使混凝土产生强度。胶结料具有一定的粘性，可以是水泥，也可以是树脂等。

集料大多数均采用天然材料——普通岩石，也可以是人造集料，如粉煤灰、陶粒等。集料基本上是一些惰性填充料，一般可根据粒径大小又分为细集料和粗集料。

二、混凝土的优点和缺点

1. 混凝土的优点

作为一种建筑材料，混凝土和木材的使用量都很大，这足以证明它的优势。其中木材被用作混凝土施工中的模板和脚手架，而混凝土却有着多方面的应用，它可与所有建筑材

料包括木材、沥青、塑料、铝等相竞争，它具有可浇注、经济、耐热、耐用、艺术性强等优点，但它又具有抗拉强度低、韧性差、体积不稳定、强度/重量比低等缺点。下面我们逐条来说明。

1) 可浇注性。

能够按所要求的形状和轮廓浇注成型，这是混凝土的一个很重要的特性，这个特性也称为可塑性，它可以弥补混凝土的其他缺陷。利用这个特性，我们可将混凝土制成各种形状，比如制成复杂的曲线壳体，各种建筑物的造型等。此外，还可利用这个特性将混凝土拌合物在原料很便宜地区的预制构件厂浇注成大体积的整块预制件，然后将预制件用于无原料地区的框架结构中去，这样既可以降低工程造价，又可以节省施工时间。

2) 经济性。

混凝土的经济性主要表现在混凝土是一种能耗很低的材料，如生产纯铝的能耗为 360GJ/m ，生产玻璃的能耗为 50GJ/m ，而生产混凝土的能耗仅为 3.4GJ/m ，因此混凝土是较经济的建筑材料。

3) 耐用性。

如果混凝土的配合比设计正确，并且按正确的方法施工，那么，即使对它不象钢材那样进行保养，也可保证它在长时间使用后而不被毁坏。日本的水泥研制目标是耐久性超过 1000 年，那么以这种水泥生产的混凝土的耐久性就可望达到 1000 年，因此，混凝土非常耐用。

4) 耐热性。

混凝土是一种优质的耐火材料，尽管在高温下使用它也会出现较大的裂纹，但混凝土整体仍然能在一个相当长的时

间内保持结构的完整性而不崩溃和坍塌。经受火灾的混凝土建筑，只要其内部钢筋不遭到破坏，整个混凝土建筑就仍然能够保持其结构的完整性和稳定性，即混凝土具有耐热性。

5) 艺术性。

混凝土的传热速度很慢，因此，它能从高温环境中吸收并储存相当的热量而在环境温度低的时候释放出来，这种特性被称为混凝土的热惰性。

人们可利用这种热惰性，在那些昼夜温差大的地方，将建筑物设计成具有保温作用的节能型建筑，还可利用这种特性使建筑物在温度不断变化的夜晚发出各种色彩的光芒，因此混凝土并不是一种古板的、无生气的、毫无装饰性的材料，而是具有良好艺术性的材料。

另外，混凝土的艺术性还可以通过建筑物或构筑物的新颖奇特的外形表现出来。

所有这些优点结合起来，就使混凝土成为适应性很强的多功能材料。

2. 混凝土的缺点

任何事物都是矛盾的统一体，即在利用其优点的同时，还应了解其缺点。

1) 脆性材料。

我们知道混凝土的抗折强度低，一般仅为抗压强度的 $1/6 \sim 1/8$ ，这就决定了混凝土是一种脆性材料。所以我们并不要求素混凝土承受拉应力，而拉力荷载由混凝土中的钢筋来承担，如果忽视了拉应力，就容易使混凝土开裂。

2) 体积不稳定。

体积不稳定指在室温下，由于混凝土拌合水分的蒸发（因空气湿度下，混凝土中的水分要由高浓度向低浓度扩散，

即水分散失), 会使混凝土产生相当大的不可逆收缩即干缩, 从而使混凝土开裂。

3) 强度/重量比低。

混凝土的强度/重量比低, 说明混凝土和其他建筑材料(如钢材)相比存在两个特性:

(1) 如果要达到相同强度, 则混凝土材料的重量就要比其他材料的重量大的多。

(2) 能承受较大荷载的混凝土, 其体积也较大。所以混凝土建筑的外观看起来都比较庞大。

虽然混凝土存在上述缺陷, 但由于它的优点显著, 所以我们不愿也不能放弃这种材料的使用, 于是人们采取了很多措施来弥补这些缺点, 改善它的性能。如可利用纤维物质(象玻璃纤维和植物纤维等)来增加混凝土的韧性, 以克服脆性, 还可利用膨胀来减少收缩, 如使用铝粉、膨胀剂(U型)、膨胀和自应力水泥等, 因此, 混凝土仍然是目前乃至今后若干年内使用最广泛的建筑材料。

第一章 混凝土材料

第一节 水泥和混凝土的发展史

一、水泥的发展史

很早以前，人们从事建筑活动时，往往是将一块块石头叠堆起来，使之成为建筑物，但一遇大风，这种建筑物容易被摧毁，因此，人们试图用一种具有粘接作用的材料将石头粘起，而这种最古老的粘接材料就是泥巴，这时，新的问题随之而来，这种没有经过煅烧的泥巴不抗水，一旦遇到雨水就会被冲刷掉。显然，泥巴作粘接剂并不十分理想。

此时古巴比伦人发现一种类似于现在沥青的材料，我们称其为天然沥青，不仅具有粘结性，而且抗水冲刷。

当然，现在这种能将砖、石粘接在一起的粘接剂很多，我们这里只讲无机的，且以 CaO 为主要成分的粘接材料。

这种无机胶结材料可分为水硬性胶凝材料和非水硬性胶凝材料两种。

1. 非水硬性胶凝材料

最早使用的这种非水硬性 CaO 质材料是石灰和石膏浆。石膏易溶于水，所以，它在水中不会变硬（硬化），但它在空气中却会因为拌合水的蒸发而变硬，这种只能在空气中硬化而不能在水中硬化的特性称为非水硬性（或气硬性），而这种材料就称为非水硬性胶凝材料（或气硬性胶凝材料）。

2. 水硬性石灰

非水硬性的石灰、石膏浆不抗水，为了使建筑物在任何环境下具有更广阔的适应性，人们就致力于寻找抗水的胶结料。

古罗马人和古希腊人将含有粘土的石灰石，即含有裂隙土的石灰石煅烧，制得了具有抗水性即水硬性的石灰，而且将这种材料用于建筑中，它的强度也较高。但很可惜，到了中世纪，这种煅烧石灰的技术失传了。

1756年，John. Smeaton 被派去重建英国科威尔海岸的 Eddystone 灯塔时，人们才又找回了这种失传的技术。因为灯塔在海边，要经常遭受海水的侵蚀，因此，John. Smeaton 就想一定要用抗水的材料才可以重建灯塔。通过大量的实验后，Smeaton 发现抗水性最好的灰浆就是粘土含量较高的石灰石，Smeaton 也因此为建筑材料的发展作出了很大的贡献。

3. 波特兰水泥的发展

继 Smeaton 的这一倡导性实验之后，1796年，英国的 James. Parker 申请了一项关于天然水硬性胶结材料的专利，这种材料也是用含有粘土的石灰石岩球煅烧而成的。

6年后，法国开始进行试生产。

到了1824年，一位叫 Aspdin 的施工人员申请了波特兰水泥专利，其内容是使磨细的石灰石和粘土在窑内煅烧到 CO_2 分解逸出后，将所得的混合物磨细，从而制得水泥，这种水泥颜色与英国波特兰地区的天然建筑石料颜色相同，因此 Aspdin 将这种材料称为 Portland cement。

现在看来，Aspdin 的专利并不能真正地制造出 Portland cement，因为他的材料煅烧温度只是 CO_2 的逸出温度，即煅

烧温度只有 900°C 左右，这个温度距离目前生产水泥的实际温度相差甚远，因此，Aspdin 并不能生产出真正的水泥熟料，但无论如何 Aspdin 的水泥在市场上取得了极大的成功。

1845 年 Isaac. Johnson 提出，水泥熟料的煅烧要达到烧结温度才可以烧成。从这时起，这种具有水硬性的胶结材料在加拿大、英国开始生产，并且大量输入美国市场，取代了当时建筑市场上的天然水泥。

在生产和使用水泥的同时，水泥品质的优劣和特性是我们在使用这种材料时最关心的问题，因此，在这先后，人们也开始了对水泥质量的测试和性能的研究。

1836 年，首先在德国进行了系统的抗压、抗拉强度实验，之后又在许多国家进行了大量的实验，直到 1900 年，水泥的基本实验（凝结时间、强度等）才形成标准化。

二、混凝土制品的发展史

1. 混凝土制品的世界发展史

1) 制品史。

1850 年，法国人 Lambot 制作了第一条混凝土小船，这是混凝土制品发展史上首次大的突破，但当时并没有经过任何计算，仅是作出了产品。

1867 年，法国花匠 J. Monier 申请了混凝土结构设计专利，当时的设计也无理论指导，仅凭一些经验。

1886 年，德国工程师 M. Koenen 以材料力学为指导，提出了混凝土结构设计计算方法。

1929 年，瑞典 Ytong 公司推出了加气混凝土产品及生产技术，至此，混凝土制品形成了由无到有、由厚到薄的局面。

2) 工艺史。

在混凝土制品生产制作过程中，生产工艺也得到了较大发展。

(1) 密实方法。密实成型工艺及方法也是混凝土制品生产中一个非常重要的环节，而振动密实工艺应用得最早，1890 年就有关于震动台的报导。

真空脱水密实工艺是由德国的 Rheinck 公司及英国的 P. Jagger 于 1909 年首次完成的。

(2) 管件制作方法。混凝土制品主要是一些板材、管材及柱状材料，板材无论从模板还是制作过程相对容易些，因为它有棱角，而管材的制作要复杂些。

在管材的制作中采用的是离心法，此法是澳大利亚 W. R. Hume 于 1910 年首次使用。

1927 年，Rocla 制管公司又发明了悬辊法制管工艺，之后，又使用三阶段法制成了双向预应力混凝土管。

2. 我国混凝土制品的发展及现状

建国前，我国的混凝土制品基本没有，1924 年，北京曾用手工制作过方形电线杆。

1938 年以后，由于日本入侵我国，曾在东北开设石棉瓦株式会社。天津也开始了石棉瓦及排水管的生产。

1940 年以后，上海利用美国的砌块成型机生产小型空心砌块，但生产机械化水平低，产量很小。

解放后，我国混凝土制品业得到了全面发展，不仅品种繁多，而且性能也好，可以节约钢材，代替木材。

1952 年，良乡电力修造厂建起了电杆生产线，这种混凝土电杆被广泛应用于城乡供电、高压输电线路中。

1953 年，我国开始了混凝土轨枕的研制，目前，这种

轨枕已铺设在全国半数以上的铁路线上，其耐腐朽能力和价格比传统的木轨枕有着明显的优势。

1970年代末，我国制成了直径3.0m大口径输油（水）管，且应用于天津的引水工程，效果良好。同期还制成了3000t位的混凝土海轮。

1954年，吉林厂制成了石棉水泥瓦。

20世纪60年代初，上海出现了水泥密实砌块，之后又在杭州等地出现了空心砌块，目前，砌块建筑已成为节能高效、施工速度快、经济的建筑体系。

在2000年至今后的很长时间内，混凝土材料及制品仍将是主要的建筑材料。但是，因为混凝土性能的改进和提高速度远远低于其用量和用途的发展，因此，我们必须在有关科学和理论的指导下，开展组分—结构—性能关系的研究，开展高效、节能工艺及设备的研究，开展微观及宏观技术经济分析的研究，以使混凝土材料在现代化建设中发挥更大作用。

三、混凝土外加剂历史

在混凝土（集料+水泥+水）之外又掺加的，能够显著改善混凝土某些性能的物质称为外加剂。

外加剂的使用历史很长，几乎和混凝土的使用历史一样长。

古罗马人发现将血液加入到混凝土中能够产生很多气泡，这样可以改善混凝土的抗冻性和耐久性，现在研究认为，血液中的血红蛋白能够吸附空气，从而改善混凝土的抗冻性。

在生产水泥时，加入牛油可以减轻糊磨现象，提高粉磨

效率及产量，同时用加了牛油做助磨剂的水泥制成的混凝土具有抗冻性能。

但是，人类真正开始有意识的从理论上去研究外加剂却是在 1930 年开始的。到目前为止，外加剂几乎已成为混凝土的一个组成部分。

在国外，不使用任何外加剂的混凝土几乎没有。但在国内，由于施工人员素质低，施工中又怕麻烦，况且混凝土用于一般场合的情形较多，因此，很少使用外加剂，除了冬季使用防冻剂，公路上偶尔使用减水剂外，其他工程一般都不使用外加剂。

第二节 水 泥

我国目前大量应用的混凝土是由 Portland cement 制成的，所以，我们将开始讨论的下一个问题就是有关 PC 水泥的一些情况。

一、PC 水泥的制造

1. 原 料

1) 原料的种类。

生产 PC 水泥的原料有氧化钙质原料（如石灰石、白垩、贝壳等），氧化硅质原料（如石英等）。

纯的氧化钙—氧化硅混合物熔点很高，因此，在实际生产中并不只用石灰石和石英配料，而是用含有氧化铝和氧化铁的硅质原料，如粘土、淤泥等进行配料，因为氧化铝和氧化铁能够起助熔作用，可以降低氧化钙—氧化硅混合物的熔点。但从理论上讲，氧化铁和氧化铝对 PC 水泥的强度所起的作用很小，并且它们常能导致混凝土耐久性及凝结反常现