



“十三五”国家重点图书出版规划项目
材料科学研究与工程技术系列

混凝土学

(第2版)

Concrete Science

- 张巨松 主编
- 高小建 主审

哈尔滨工业大学出版社

TU528

47=2



“十三五”国家重点图书出版规划项目
材料科学研究与工程技术系列



混凝土学 (第2版)

Concrete Science

- 张巨松 主编
- 盖广清 马新伟 佟钰 戴民 高嵩 副主编
- 高小建 主审

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书共 10 章,二个附录在简要介绍混凝土发展过程的基础上,系统介绍了混凝土组成材料、混合料(拌合物)、硬化结构、力学性能、尺寸稳定性、耐久性、配合比设计、常用混凝土、硅酸盐混凝土和砂浆的基本概念和基本原理,以及混凝土组成、结构和性能之间的相互关系,介绍了混凝土材料的最新进展和技术标准(规范),在附录中列举了混凝土原材料及性能基本实验、混凝土领域的常用标准。

本书既可作为高等院校无机非金属材料工程专业教材,又可作为本行业工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土学/张巨松主编.—2 版.—哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2017.6

ISBN 978-7-5603-6364-6

I. 混… II. ①张… III. ①混凝土-高等学校-教材 IV. ①TU528

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 321483 号



材料科学与工程
图书工作室

责任编辑 何波玲

封面设计 高永利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨市工大节能印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 23.25 字数 571 千字

版 次 2011 年 2 月第 1 版 2017 年 6 月第 2 版第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-6364-6

定 价 42.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

哈尔滨工业大学出版社

第2版前言

本书自2011年作为“十二五”国家重点图书首次出版后,至今已历经了五年。五年来我国经济社会取得了长足的发展,尤其是基本建设领域取得了突飞猛进的发展,作为基本建设的第一大材料混凝土首当其冲,新技术、新产品不断涌现,新技术法规不断更新,为适应形势发展,满足教学的需要,本次对原教材进行了必要的修订。

(1) 本次修订仍保持原教材的内容体系和编写特点。

(2) 为便于初学者复习和总结,每章增加了复习思考题,供学习时参考。

(3) 在绪论中根据最新国家标准主要修订了混凝土技术标准简介,使学生对混凝土的技术标准有了更全面的了解和把握。

(4) 原材料部分根据水泥的最新标准进行了调整,外加剂部分增加了引气剂。

(5) 混合料部分根据更新的《混凝土质量控制标准》(GB 50164—2011)对有关内容进行了修订。

(6) 混凝土结构部分,宏观堆聚结构增加了超细粉填充水泥颗粒间隙结构。

(7) 对混凝土和砂浆的配合比设计按《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2011)和《砌筑砂浆配合比设计规程》(JGJT 98—2010)新规程进行了修订,按《泡沫混凝土应用技术规程》(JGJ/T 341—2014)和《透水水泥混凝土路面技术规程》(CJJ/T 135—2009)增加了泡沫混凝土和透水混凝土的配合比设计。

(8) 增加了混凝土原材料及性能基本实验,主要参照 GB/T 14684、GB/T 14685、JGJ 52、GB/T 50080、GB/T 50081、GB/T 50082 的实验方法。

参加本次修订的人员及分工如下:沈阳建筑大学张巨松(绪论、第5章、附录),沈阳建筑大学佟钰(第1、2章),吉林建筑大学盖广清(第3、4章),青岛理工大学高嵩(第6、7章),沈阳建筑大学戴民(第8、9、10章),哈尔滨工业大学马新伟(实验),全书由张巨松统稿,哈尔滨工业大学高小建主审。

由于时间仓促,编写修订人员缺乏经验以及水平有限,书中难免有缺点和不妥之处,恳请读者及同行专家给予指正并提出宝贵意见。

作者

2017年1月

第 1 版前言

本书是根据教育部面向 21 世纪材料类专业课程体系改革的要求编写的,重点介绍混凝土材料科学方面的基本概念、基本原理,强调了混凝土组成、结构和性能之间的相互关系。

随着我国城市化建设进程的大力推进,铁路、公路、桥梁、地铁等基础设施的大力发展,使混凝土的用量剧增。同时,随着资源的枯竭,环境的破坏,节约能源、绿色环保的呼声越来越高,并受到广泛重视。对与上述产业息息相关的混凝土行业提出了更高的要求。为满足混凝土行业的快速发展,为满足无机非金属材料专业在校本科生、研究生教学的需要,为满足混凝土行业工程技术人员专业水平的提高,我们编写了《混凝土学》这本书。

本书系统介绍了混凝土组成材料、混合料(拌合物)、硬化结构、力学性能、尺寸稳定性、耐久性、配合比、常用混凝土基本概念、基本原理及最新进展的同时,还重点反映了混凝土的“双掺”、“泵送”、“绿色、低碳”的时代特征,为此本书在讨论具体基本概念、基本原理之后,还注重讨论了解决当今混凝土问题的技术途径和措施,为进一步从事混凝土工程具体工作奠定了基础。

本书介绍了混凝土材料技术标准(规范)的基本知识,介绍各种材料及性能时,强调了标准规范的作用,注意培养学生的法规观念,为方便学习与工作,本书附录列举了常用混凝土材料技术标准(规范),且全书采用了法定计量单位及当前最新的技术规范,使学生获得最新知识。

本书由沈阳建筑大学张巨松教授主编,哈尔滨工业大学李家和教授主审。参加编写的人员及编写工作分工如下:张巨松(绪论、第 5 章、8.8、附录),黑龙江建筑职业技术学院纪明香(第 1 章),沈阳建筑大学佟钰(第 2 章),哈尔滨工业大学高小建(第 3 章、第 4 章、第 7 章),青岛理工大学李秋义、高嵩(第 6 章),沈阳建筑大学戴氏(8.1、8.2、8.4、8.5、8.6),同济大学李好新(8.7),中国建筑材料研究院张利俊(8.3),全书由张巨松统稿。

由于时间仓促,编写人员缺乏经验以及水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者及同行专家给予指正并提出宝贵意见。

作者

2010 年 12 月

目 录

CONTENTS

绪 论	(1)
0.1 混凝土的特点	(1)
0.2 混凝土的分类	(2)
0.3 混凝土发展的历史	(3)
0.4 绿色高性能混凝土	(7)
0.5 混凝土技术标准简介	(8)
第1章 组成材料	(10)
1.1 水泥	(10)
1.2 骨料	(22)
1.3 混凝土用水	(34)
1.4 混凝土外加剂	(35)
1.5 矿物掺合料	(44)
1.6 混凝土用纤维	(55)
思考题	(59)
第2章 混凝土混合料	(61)
2.1 流变学的基本理论	(61)
2.2 工作性的基本概念	(66)
2.3 工作性的评定方法	(69)
2.4 影响工作性的主要因素	(75)
2.5 凝结时间	(80)
2.6 含气量	(83)
思考题	(85)
第3章 硬化混凝土结构	(87)
3.1 水泥石结构及形成过程	(87)
3.2 过渡区结构	(97)
3.3 混凝土的内外分层结构	(100)
3.4 混凝土的宏观堆聚结构	(103)
思考题	(103)

第4章 混凝土力学性能	(104)
4.1 混凝土的强度	(104)
4.2 混凝土强度理论	(107)
4.3 影响混凝土强度的因素	(112)
4.4 混凝土实现高强的技术途径	(118)
4.5 混凝土的受力变形	(119)
4.6 徐变	(125)
思考题	(136)
第5章 混凝土的尺寸稳定性	(137)
5.1 塑性收缩	(137)
5.2 温度变形	(139)
5.3 自收缩	(144)
5.4 干缩和湿胀	(147)
5.5 碳化收缩	(152)
5.6 提高混凝土尺寸稳定性的技术途径	(154)
思考题	(157)
第6章 混凝土耐久性	(158)
6.1 重要性和影响因素	(158)
6.2 渗透性	(159)
6.3 碳化	(170)
6.4 化学侵蚀	(173)
6.5 碱-骨料反应	(175)
6.6 抗冻性	(180)
6.7 钢筋锈蚀	(189)
6.8 混凝土的表面磨损	(192)
6.9 混凝土的防火性	(193)
6.10 提高混凝土耐久性的技术途径	(194)
思考题	(197)
第7章 混凝土的配合比设计	(198)
7.1 目的和意义	(198)
7.2 基本要求	(198)
7.3 基本原理	(200)
7.4 配合比设计步骤	(204)
7.5 其他设计方法	(212)
7.6 配合比设计实例	(216)
思考题	(220)
第8章 常用水泥混凝土	(222)
8.1 高性能混凝土	(222)
8.2 自密实混凝土	(229)

8.3 补偿收缩混凝土	(237)
8.4 纤维混凝土	(249)
8.5 轻骨料混凝土	(257)
8.6 多孔混凝土	(266)
8.7 其他混凝土	(272)
思考题	(274)
第9章 硅酸盐混凝土	(276)
9.1 硅酸盐混凝土块材与板材	(276)
9.2 硅酸盐多孔混凝土	(286)
思考题	(292)
第10章 砂浆	(293)
10.1 原材料	(293)
10.2 性能	(297)
10.3 普通砂浆	(299)
10.4 预拌砂浆	(302)
10.5 其他常用砂浆	(305)
思考题	(307)
附录1 混凝土原材料及性能基本实验	(308)
实验1 混凝土骨料实验	(308)
实验2 混凝土拌合物实验	(318)
实验3 混凝土强度实验	(326)
实验4 混凝土长期性能实验	(330)
附录2 水泥混凝土领域的常用技术标准(规范)	(351)
参考文献	(358)

绪 论

混凝土是指用胶凝材料(无机的、有机的或有机无机复合的)将分散的颗粒物(骨料、气泡等)胶结成整体的复合固体材料的总称。

由水泥、颗粒状骨料、水以及化学外加剂和矿物掺合材料(矿物外加剂)按适当比例配合,经均匀搅拌、密实成型和养护硬化而成的人工石材称为水泥混凝土,简称混凝土。

自1824年波特兰水泥问世以来的近两百年时间里,水泥与混凝土的生产技术和研究水平迅速发展提高,混凝土的用量急速增加,使用范围日益扩大。至今,混凝土已成为世界上用量最多的人造材料之一。

0.1 混凝土的特点

混凝土在土木工程中能够得到广泛的应用是因为它与其他材料相比具有一系列特点:

(1)混凝土的原材料是地表非常丰富的砂、石、水及由黏土和石灰石烧制的水泥,除水泥外其他三种材料几乎是最廉价的材料。近些年来随着泵送混凝土的普及,混凝土中掺入大量的工业灰渣如粉煤灰、渣矿粉、硅灰等,减少了工业灰渣的环境污染。据测算混凝土的能耗为 $440 \sim 770 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ($182 \sim 320 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{t}$),水泥为 $1\,300 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{t}$,钢材为 $8\,000 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{t}$,钢筋混凝土为 $800 \sim 3\,200 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$,预应力混凝土为 $700 \sim 1\,700 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$;不同材料承受 $1\,000 \text{ t}$ 荷载的 1 m 高柱能耗分别为:素混凝土 70 L 油,黏土砖 210 L 油,钢材 320 L 油,可见在常见的工程材料中混凝土的能耗是较低的。

(2)尽管混凝土外观简单,但具有十分复杂的结构。混凝土含有许多分布不均匀的固体成分以及形状和大小不同的孔隙,这些孔隙又部分或全部被碱性溶液所充满。因而,一般材料结构与性质之间的关系对混凝土不太适用,例如对于相对均质且不太复杂的人造材料(如钢、塑料等)适用的固体力学和材料科学的一些方法,对混凝土并不能解决问题。

(3)与其他材料相比,混凝土的结构和性质不是静态的混凝土结构。三种主要成分中的两种,即水泥石及水泥石与骨料之间的过渡区随着时间不断变化。混凝土的强度和其他性质决定于连续多年不断形成的水泥水化产物,虽然这些产物是基本不溶的,但它们在不同环境条件下能缓慢分解或转变,因而混凝土既具有不断增强和愈合微裂缝的能力,也可能出现性能劣化和退变现象。这一点混凝土与木材或其他有生命的物质相似。

(4)调整各组成材料的品种及数量,可获得不同性能(强度、耐久性)的混凝土来满足工程

上的不同要求。混凝土拌合物具有良好的可塑性,可根据工程需要浇筑成各种形状尺寸的构件及构筑物;混凝土具有较高的抗压强度,且可与钢筋有良好的配合而组成钢筋混凝土,弥补了混凝土抗拉、抗折强度低的缺点,使混凝土能够适应各种工程结构;性能良好的混凝土具有很高的抗冻性、抗渗性、耐腐蚀性等使得混凝土长期使用仍能保持原有性能。混凝土的主要缺点是自重大、抗拉强度低、呈脆性、易开裂,并且在施工中影响质量的因素较多,质量波动较大。

(5)与其他材料相比,混凝土一般需要使用前在工程现场或现场附近加以拌制。作为一种工程材料,对于硬化前后混凝土的结构和性质来说,混凝土的原材料配比与施工工艺具有同样重要的影响。

0.2 混凝土的分类

混凝土种类繁多,混凝土的不同分类方法及种类见表 0.1。水泥混凝土的分类方法及种类见表 0.2。

表 0.1 混凝土的不同分类方法及种类

分类方法		名称	特性
按 胶 凝 材 料 分 类	无机 胶 凝 材 料	水泥类 水泥混凝土	以硅酸盐水泥及各系列水泥为胶结材,可用于各种混凝土结构
	石灰类 硅酸盐混凝土 (石灰混凝土)	以石灰、火山灰等活性硅酸盐或铝酸盐与消石灰的混合物为胶结材	
	石膏类 石膏混凝土	以天然石膏或工业废料石膏为胶结材,可做天花板及内隔墙等	
	硫磺 硫磺混凝土	硫磺加热融化,然后冷却硬化,可做黏结剂及低温防腐层	
	水玻璃 水玻璃混凝土	以钠水玻璃或钾水玻璃为胶结材,可做耐酸结构	
	碱矿渣类 碱矿渣混凝土	以磨细矿渣及碱溶液为胶结材,是一种新型混凝土,可做各种结构	
有机 胶 凝 材 料	沥青类 沥青混凝土	用天然沥青或人造沥青为胶结材,可做路面及耐酸、耐碱地面	
	树脂 树脂混凝土	以黏结力强、热固性的天然或合成树脂为胶结材,适于在侵蚀性介质中使用	
	合成树脂+ 水泥 聚合物水泥混凝土	以水泥为主要胶结材,掺入少量乳胶或水溶性树脂,能提高抗拉、抗弯强度	
	聚合物 (浸渍) 聚合物浸渍混凝土	将水泥混凝土基材在低黏度单体中浸渍,用热或射线使表面固化	

表 0.2 水泥混凝土的分类方法及种类

分类方法	混 凝 土 品 种
按集料种类	重混凝土(干表观密度大于 2 600 kg/m ³),重骨料如钢球、铁矿石、重晶石等,用于防射线混凝土工程
	普通混凝土(干表观密度为 1 950 ~ 2 600 kg/m ³),普通砂石为骨料,可做各种结构
	轻混凝土(干表观密度小于 1 950 kg/m ³),分为轻骨料混凝土(表观密度为 800 ~ 1 950 kg/m ³ ,轻骨料如浮石、火山渣、陶粒、膨胀珍珠岩等)和多孔混凝土(干表观密度为 300 ~ 1 200 kg/m ³ ,如泡沫混凝土、加气混凝土)
	大孔混凝土(无细骨料)(表观密度为 800 ~ 1 850 kg/m ³),适于做墙板或非承重墙体
	细颗粒混凝土(无粗骨料),由水泥与砂配制而成,可用于钢丝网水泥结构
按使用功能	结构混凝土、保温混凝土、耐酸混凝土、耐碱混凝土、耐硫酸盐混凝土、耐热混凝土、水工混凝土、海洋混凝土、防辐射混凝土等
按施工工艺	浇筑混凝土、离心成型混凝土、喷射混凝土、泵送混凝土、自密实混凝土等
按配筋情况	素混凝土、钢筋混凝土、纤维混凝土、预应力混凝土等
按强度	普通混凝土、高强混凝土(强度大于 C45)和超高强混凝土(强度大于 C100)
稠度	超干硬性混凝土、特干硬性混凝土和半干硬性混凝土
坍落度	低塑性混凝土、塑性混凝土、流动性混凝土和大流动性混凝土

0.3 混凝土发展的历史

从新石器时代的泥结卵石、草筋泥砂浆,经历石灰(石膏)三合土、火山灰石灰混凝土、牛马血、糯米汁等外加剂混凝土,到近代波特兰水泥混凝土、钢筋混凝土、预应力混凝土、纤维混凝土及聚合物混凝土,以及最近的高强度/高性能混凝土。混凝土的发展主要遵循复合化、高强度、高性能化三条技术路线。在提高性能、增加品种与扩大应用的相互促进下,混凝土逐渐成为当代最主要的结构工程材料,也是最大宗的人造材料,不断推动着人类文明的进步。

复合化是包括混凝土在内各种材料发展的主要途径。新石器时代用泥浆胶结大卵石作为柱基(西安半坡遗址);用草木筋增强黄土与黄土结核(料浆石)泥浆抹墙打地坪,有的还用柴火焙烧,至今仍坚硬光亮(甘肃先民遗址);古埃及用石膏砂浆砌筑金字塔;古罗马用火山灰石灰混凝土建筑斗兽场与水渠、桥梁;东汉至今的石灰三合土房基、路基;唐宋以来用桐油、牛马血、糯米汁、杨桃藤汁掺入石灰砂浆中增加密实度、防水能力及耐久性(南京、和州等城墙及古罗马和秦长城采用牛马血做外加剂,实际上是现代引气型外加剂的始祖);近代的各种增强混凝土,掺加混合材料与外加剂,都是用多种材料复合来改善混凝土性能,以达到增强、耐久、经济等目的。20世纪80年代用“水泥基复合材料”这一名词来概括各种混凝土,是科学合理的。复合化带来的超叠效应,更是高性能混凝土获得高性能的主因。

高强度是百余年来的努力方向。自从1824年波特兰水泥问世,1850年出现钢筋混凝土以来,作为重要的结构材料,强度一直是混凝土的主要性能指标;加之混凝土强度主要取决于密实度,密实度又与耐久性密切相关,因此高强度一直被认为是优质混凝土的重要特征。随着强度与孔隙率关系和水灰比定则等的建立,长期以来,强度已成为混凝土配合比设计以及生产

和应用的首要性能指标甚至唯一指标。高强化的发展道路决定着水泥生产,决定着混凝土工艺的发展方向。20世纪50年代以前,各国混凝土强度都在30 MPa以下,30 MPa以上即为高强混凝土;20世纪50年代34 MPa以上为高强混凝土;20世纪60年代强度提高到41~52 MPa;现在50~60 MPa高强混凝土已开始用于高层建筑与桥梁工程。而外国学者预测,21世纪混凝土平均强度将超过50~60 MPa;100 MPa以上的超高强混凝土将大量用于结构工程,可见高强趋势是很明显的。

高性能化是近些年才提出的,作为主要的结构材料,混凝土耐久性的重要程度不亚于强度和其他性能。不少混凝土建筑因材质劣化引起开裂破坏甚至崩塌,水工、海工建筑与桥梁尤为如此,因而早在20世纪30年代水工混凝土就要求同时按强度与耐久性来设计配合比;有些重要建筑物,如高层建筑、大跨度桥梁、采油平台、压力容器等对耐久性有更高的要求。同时随着施工技术的进步和结构中混凝土均匀性要求的提高,工作性也成为另一重要性能指标。此外,体积稳定性、变形、抗冲耐磨、疲劳、耐化学腐蚀等性能也受到应有的重视。

1990年5月美国国家标准与技术研究院(NIST)与美国混凝土协会(ACI)联合召开会议,首次提出高性能混凝土(High Performance Concrete, HPC)这一概念,并认为HPC是同时具有某些特定性能的匀质混凝土,必须采用严格的施工工艺与优质原材料,配制成便于浇捣、不离析、力学性能稳定、早期强度高,并具有韧性和体积稳定性等性能的混凝土,特别适于高层建筑、桥梁以及暴露在严酷环境中的建筑物。大多数学者认为HPC的强度指标应不低于50~60 MPa;日本学者则更重视工作性与耐久性。我国吴中伟院士认为HPC应根据用途与经济合理等条件对性能有所侧重,现阶段HPC强度低限可向中等强度等级(30 MPa)适当延伸,但以免损及混凝土内部结构(如孔结构、过渡区结构、水化物结构等)的发展与耐久性为度。他所提出的高性能混凝土的定义是:HPC是一种新型高技术混凝土,是在大幅度提高普通混凝土性能的基础上,采用现代混凝土技术,选用优质原材料,在严格的质量管理条件下制成的;除水泥、水、骨料外,必须掺加足够数量的细掺合材料与高效外加剂。HPC重点保证下列诸性能:耐久性、工作性、各种力学性能、适用性、体积稳定性以及经济合理性。HPC不仅在性能上对传统混凝土有很大突破,在节约资源、能源、改善劳动条件、经济合理等方面,尤其在保护环境方面,有着十分重大的意义,是一种可持续发展的绿色材料。

近代混凝土材料发展过程中重要的历史事件很多,据有关资料记载主要如下:

1850年,法国人Lambot制作了第一条钢筋混凝土小船,是混凝土制品发展史上的首次大突破。

1866年,C. S. Hutchinson 首获美国空心砌块专利。T. B. Rhodes 于1874年获得在混凝土塑性状态下制作空心砌块的专利。

1867年,法国花匠J. Monier 获得钢筋混凝土结构设计专利,实际当时尚无设计理论指导,仅凭经验,1875年建成了世界上第一座钢筋混凝土桥,钢筋混凝土逐渐成为重要的结构材料。

1886年,德国工程师M. Koenen 基于材料力学原理,提出了以允许应力计算钢筋混凝土结构的方法。

1889年,霍夫曼(Hofman)取得了用盐酸和碳酸钠制造加气混凝土的专利。1919年,柏林人格罗沙海(Grosche)用金属粉末做发气剂制出了加气混凝土。1923年,瑞典人埃克森(J. A. Eriksson)掌握了以铝粉为发气剂的生产技术并取得了专利权。

1890年,凯特劳脱(C. Candlot)首先发现铝酸三钙和硫酸钙能形成钙矾石。1892年,米却

利斯(W. Michaelis)提出钙矾石是造成波特兰水泥混凝土在含硫酸盐介质中产生膨胀、破坏的原因,即所谓的“水泥杆菌”。

1910年,美国的H. F. Porter发表了关于短钢纤维增强混凝土的第一篇论文。但是纤维混凝土真正进入工程的研究是在20世纪60年代初期。

1913年,美国Comell Kee设计并制造出第一台曲轴机械式混凝土输送泵,但没能得到应用;1927年,德国的Fritz Hell设计制造了第一台得到成功应用的混凝土输送泵;荷兰人J. C. Kooyman在前人的基础上进行改进,1932年他成功地设计并制造出采用卧式缸的Kooyman混凝土输送泵,该泵采用一个卧式缸和由两个联杆操纵联动的旋转阀的结构,成功解决了混凝土输送泵的构造原理问题,大大提高了工作的可靠性。1959年,德国的Schwing公司生产出第一台全液压的混凝土输送泵,它采用液压驱动,功率大、振动小、排量大,可实现无级调速,还可以实现反泵操作,减少了堵管现象。

20世纪30年代,在美国开发北美洲时,混凝土路面由于严寒气候的除冰而很快受到破坏,为提高路面混凝土质量而使用了“文沙树脂”来提高混凝土的耐久性。

1928年,法国E. Freyssinet提出了混凝土收缩徐变理论,采用了高强钢丝,发明了预应力锚具,成为预应力混凝土的鼻祖、奠基人。

1935年,美国的E. W. Scripture首先研制成功了木质素磺酸盐为主要成分的减水剂(商品名Pozzolith),1937年获得专利,标志着普通减水剂的诞生。1954年制定了第一批混凝土外加剂检验标准。

1936年,法国洛西叶(H. Lossier)是最早认识到钙矾石具有补偿水泥收缩和产生预应力的学者,并发明了膨胀水泥。

1955年前后,米哈依洛夫(В. В. Михалов)创造了硅酸盐膨胀-自应力水泥(国外称为M型水泥),它由波特兰水泥、铝酸盐水泥和石膏按一定比例共同粉磨而成,开始用于地下工程。

1958年,美国的克莱恩(A. Klien)在此基础上开发了K型膨胀水泥。1964年正式投入生产,通过在波特兰水泥熟料中加入适量的膨胀剂而制成。膨胀剂的配制和煅烧是使其中具有适量的无水硫铝酸钙($3\text{CA} \cdot \text{CaSO}_4$, 简写 $\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$)、 CaSO_4 和 CaO ,可以根据所需要的膨胀值调节膨胀剂的掺入量,以制得能够补偿收缩的膨胀水泥或自应力水泥。

1962年,日本花王石碱公司服部健一等人研制成功 β -萘磺酸甲醛缩合物钠盐(商品名麦蒂)即萘系高效减水剂。1964年,西德的Aignesberger等人研制成功三聚氰胺减水剂(商品名Melment)即树脂系高效减水剂,标志着高效减水剂的诞生。

1962年,日本大成建筑技术研究所购买了美国A. Klein的K型膨胀水泥专利,在此基础上研制成硫铝酸钙膨胀剂,1969年日本水泥公司出售CSA膨胀剂。

1963年,美国的J. P. Romualdi等人提出了纤维混凝土的阻裂机理“纤维间距理论”,才使这种复合材料的发展有了实质性的突破。

1970年,日本小野田水泥公司开发成功石灰系膨胀剂。20世纪90年代后期,美国P. K. Mehta为解决大体积混凝土温差裂缝问题提出了 MgO 膨胀剂。

1862年,德国Emillangen发现水淬高炉矿渣具有潜在水硬性,从此高炉矿渣就长期作为水泥的活性混合材料使用,近些年来,由于商品混凝土的发展和粉磨技术的提高,矿渣粉已直接应用于混凝土中。

20世纪40年代,美国垦务局等工程部门总结一些大坝工程混凝土中掺入粉煤灰的成功经验,决定在蒙大拿州的俄马坝这一工程中大规模应用粉煤灰,该工程共用13万t粉煤灰,欧美国有关文献将俄马坝工程作为粉煤灰混凝土技术发展史上的第一个里程碑。

20世纪50年代和60年代,因发展能源工业的需要,世界范围内火力发电工程增多,粉煤灰产量也随之剧增,对粉煤灰性质的认识逐渐深化,粉煤灰混凝土经历了广泛的实用阶段。事实证明,实用结果令人惊喜,粉煤灰混凝土在经济性、工作性以及耐久性等方面大大超过了普通混凝土。此后,粉煤灰混凝土的应用越来越受重视,到20世纪80年代已发展成为现代混凝土的基本材料。同时,其他国家也发展了许多先进技术,如英国最先开发了优质粉煤灰,最早发展了胶凝效率系数的原理和应用;日本则长期研究粉煤灰混凝土的耐久性等。我国的粉煤灰混凝土技术发展起步于20世纪50年代中期,1954年,国家财政经济委员会在编制并颁布的“关于在基本建设工程中使用水泥暂行规定”中,就确定了粉煤灰作为“水硬性混合材料”掺入水泥熟料中生产水泥。我国粉煤灰混凝土研究应用的特点是研究较早,开发较迟,发展势头迅猛,发展前景广阔。

1947年,挪威埃肯公司(Elkem ASA)开始进行微硅粉的生产技术、粉尘处理、分级和应用方面的研究,成为世界上最早开展微硅粉研发的企业,并始终在微硅粉收尘与处理技术上保持领先地位。随后,美国、俄罗斯、日本也开始进行研发应用,并成为微硅粉主要生产国。中国最早收集硅灰的企业是上海铁合金厂(1984年),此后河北唐山、山西、青海、甘肃、新疆等地的铁合金企业陆续安装硅灰收尘系统,生产和供应硅灰产品。

1913年,美国研制成功页岩陶粒(国外又称膨胀页岩),用它可以配制成抗压强度为30~35 MPa的轻骨料混凝土,应用在房屋建筑、船舶制造和桥梁工程中,至1920年,已用它建造了10多座桥梁。20世纪60年代末,轻骨料混凝土在结构工程上的应用得到了巨大的发展,闻名于世的高218 m的贝壳广场塔楼就是用轻骨料混凝土建造的。80年代初,美国的轻骨料混凝土已在400多座桥梁工程中应用。到了80年代轻骨料混凝土发展达到了鼎盛时期,目前采用堆积密度为1 000 kg/m³左右的粉煤灰陶粒配制全轻混凝土,其抗压强度可达70 MPa,采用高效外加剂配制的砂轻混凝土其强度可达100 MPa。日本是在第二次世界大战后才大力发展人造轻骨料的,1970年达最高峰。

吴中伟教授在其所著的《膨胀混凝土》一书中总结到,水泥混凝土科学历史上曾有过三次大突破:

①19世纪中叶至20世纪初,钢筋和预应力钢筋混凝土的诞生。

②膨胀和自应力水泥混凝土的诞生。

③外加剂的广泛应用——有机和无机的复合。

黄大能教授在其著作中提出,水泥混凝土科学历史上曾有过三次大突破:

①19世纪中叶法国首先出现的钢筋混凝土。

②1928年法国E. Freyssinet提出了混凝土收缩徐变理论,采用了高强钢丝,发明了预应力锚具,成为预应力混凝土的鼻祖、奠基人。

③20世纪60年代以来层出不穷的外加剂新技术——有机和无机的复合。

尽管各位专家的看法略有不同,总体来看材料科学在水泥混凝土科学中的表现可以看成如下三个阶段:

①金属、无机非金属、高分子材料的分别出现。

②19世纪中叶至20世纪初无机非金属和金属的复合。

③20世纪中叶金属、无机非金属、高分子的复合。

0.4 绿色高性能混凝土

1. 绿色的含义

随着人口爆炸、生产发达,地球承受的负担剧增,以资源枯竭、环境破坏最为严重,人类生存受到威胁。1992年里约热内卢世界环境与发展会议后,绿色事业受到全世界重视。绿色的含义随着认识的提高不断扩大,主要可概括为:

- ①节约资源、能源。
- ②不破坏环境,更应有利于环境。
- ③可持续发展,保证人类后代能健康、幸福地生存下去。

作为一种材料或一种产业,节约资源、能源也是为了本身能够持续存在和发展。水泥混凝土作为最大宗的人造材料,2011年全世界水泥产量达到36亿t左右;混凝土用量超过100亿 m^3 (250亿t),对资源、能源的需求和对环境的影响十分巨大。混凝土能否长期维持作为最主要的建筑结构材料,关键在于能否成为绿色材料,因此提出“绿色高性能混凝土(Green High Performance Concrete, GHPC)”,它是混凝土的发展方向,是混凝土的未来。

2. 绿色高性能混凝土

HPC的含义和组成材料已能说明,它含有很多“绿色”要素,也可说是传统混凝土向绿色材料迈进了一步。现在提出GHPC作为今后发展方向,目的在于加强人们对绿色的重视,加强绿色意识,要求混凝土工作者更自觉地提高HPC的绿色含量,或加大其绿色度,节约更多的资源和能源,将对环境的破坏减到最少。这不仅是为了混凝土和建筑工程的继续健康发展,更是人类的生存和发展所必须,是大有可为的。

GHPC应具有下列特征:

- (1)更多地节约水泥熟料,减少环境污染。

作为混凝土中水泥主要成分的水泥熟料是一种不可可持续发展的产品,是众所周知的污染源,不仅排出大量粉尘和有害气体,而且在水泥熟料生产过程中产生大量 CO_2 ,作为温室气体将严重影响地球变暖,造成气候反常,物种灭绝,疾病流行,给人类带来重大灾害。各国已规定 CO_2 排放限量,水泥工业的发展必将受到限制,水泥产量也不能再增加了。因此必须积极改变水泥品种和工艺,降低能耗和应用新技术。GHPC用大量细掺料代替熟料,将是一条主要出路。GHPC中,最大的胶凝组分将是磨细工业废渣而不是水泥熟料。

- (2)更多地掺加工业废渣为主的细掺料。

工业废渣的应用不仅可以节约水泥熟料,而且能改善环境、减少二次污染。GHPC将矿渣、粉煤灰或硅灰等复合掺加,达到多掺多代、节能节料、改善环境的目的。这种GHPC还具有降低水泥水化温升、改善体积稳定性和耐磨耐蚀等优点。

- (3)更大地发挥高性能的优势,减少水泥与混凝土用量。

例如,利用高强度减少结构截面积、减轻自重;或提高耐久性,保证和延长安全使用期,以获得最大的经济与环境效益。

- (4)扩大GHPC的应用范围。

将现行HPC的强度低限从C50~C60降到C30左右;将GHPC用于大体积水工建筑以及要求抗冻融、低温升等工程中,可获得更大的环境与技术经济效益。

0.5 混凝土技术标准简介

1. 技术标准的内容及作用

混凝土技术标准(规范)包括的内容很多,如原材料及混凝土的质量、规格、等级、性质要求以及检验方法;混凝土及产品的应用技术规范(或规程);混凝土生产及设计的技术规定;产品质量的评定标准等。可见,技术标准是针对原材料、产品以及工程的质量、规格、检验方法、评定方法、应用技术等所做出的技术规定。因此,技术标准是在从事产品生产、工程建设、科学研究以及商品流通领域中所需共同遵循的技术法规。

2. 技术标准的种类与类别

根据《标准化工作指南 第1部分:标准化和相关活动的通用术语》(GB/T 20000.1)规定,技术标准的常见的种类与类别如下:

(1) 种类。

①国际标准(international standard)。它是由国际标准化组织或国际标准组织通过并公开发布的标准。ISO(international standard organization)是国际上范围与作用最大的标准化组织之一。它的宗旨是在世界范围内促进标准化工作的发展,以便于国际物质交流与互助,并扩大在知识、科学、技术与经济方面的合作。其主要任务是制定国际标准;协调世界范围内的标准化工作;报道国际标准的交流情况以及其他国际性组织合作研究有关标准化问题等。我国是国际标准化协会成员之一,当前我国各种技术标准都正在向国际标准靠拢,以便于科学技术的交流与提高。

②国家标准(national standard)。它是由国家标准机构通过并公开发布的标准。它是指对全国范围的经济、技术及生产发展有重大意义的标准,它是由国家标准主管部门委托有关部门起草,或有关部委提出批报,经国家技术监督局会同各有关部委审批,并由有关部委和国家技术监督局联合发布实施。

③行业标准(industry standard)。它是由行业机构通过并公开发布的标准。它是指全国性的某行业范围的技术标准,该标准是由中央部委标准机构指定有关科研院所、大专院校、工厂等单位提出或联合提出,报请中央部委主管部门审批后发布,并报国家技术监督局备案。

④地方标准(provincial standard)。它是由国家的某个地区通过并公开发布的标准。它由相应的工厂、公司、院所等单位,根据生产厂能保证的产品质量水平所制定的技术标准,报请本地区或本行业有关主管部门审批后,在该地区的行业中执行。

⑤企业标准(company standard)。它是由企业通过供该企业实用的标准。

(2) 类别。

①术语标准(terminology standard)。界定特定领域或学科中使用的概念的指称及其定义的标准。

②试验标准(testing standard)。在适合指定目的的精确度范围内和给定环境下,全面描述实验活动以及得出结论的方式的标准。

③产品标准(product standard)。规定产品需要满足的要求以保证其适用性的标准。

④规程标准(code of practice standard)。为产品、过程或服务全生命周期的相关阶段推荐

