

 混凝土技术丛书

# 高性能混凝土

● 姚燕 王玲 田培 主编



化学工业出版社  
材料科学与工程出版中心

混凝土技术丛书

# 高性能混凝土

姚燕 王玲 田培 主编



化学工业出版社  
材料科学与工程出版中心

·北京·

本书是《混凝土技术丛书》的一个分册。

高性能混凝土是20世纪90年代初提出的,是一种新型的高技术混凝土,它不仅具有优良的工作性和高耐久性,而且在节约资源、保护环境、提高经济效益和社会效益等方面具有诸多优势,符合人类寻求与自然和谐、可持续发展的趋势。

本书作者结合在“九五”、“十五”期间承担的国家重点科技攻关项目“高性能混凝土的综合研究和应用”及“新型高性能混凝土的研究和应用”的研究课题,比较系统、全面地介绍了高性能混凝土用原材料、高性能混凝土的性能、高性能混凝土的配制,并详细介绍了高性能混凝土在多个大型工程中的实际应用。书中大量的数据和图表均为作者的试验结果,对于高性能混凝土的推广应用具有实用价值。

本书可供从事混凝土材料研究的科研人员 and 从事混凝土设计、生产、施工等的技术人员及管理人员阅读参考,也可作为高等院校相关专业教师、研究生的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

高性能混凝土/姚燕,王玲,田培主编. —北京:化学工业出版社,2006.6  
(混凝土技术丛书)  
ISBN 7-5025-8984-8

I. 高… II. ①姚…②王…③田… III. 高强混凝土  
IV. TU528.31

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第071069号

混凝土技术丛书

高性能混凝土

姚燕 王玲 田培 主编

责任编辑:常青 窦臻 马燕珠

责任校对:李林

封面设计:于兵

\*

化学工业出版社 出版发行

材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码100029)

购书咨询:(010)64982530

(010)64918013

购书传真:(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本720mm×1000mm 1/16 印张27 字数489千字

2006年9月第1版 2006年9月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-8984-8

定价:55.00元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

## 《混凝土技术丛书》编委会

主任 姚燕

副主任 韩素芳 王铁梦 陈龙珠 王玲

委员 (按姓氏笔画排序)

王玲 中国建筑材料科学研究院高级工程师，中国混凝土外加剂协会秘书长，中国土木工程学会外加剂专业委员会副主任，中国建筑学会建材分会外加剂应用技术委员会副主任

王铁梦 冶金建筑研究总院原副院长兼上海分院总工程师，教授级高级工程师，博士生导师，国家工业建筑诊断与改造工程技术研究中心技术顾问

王爱勤 北京市建筑材料科学研究院院长助理，高级工程师

邱平 中国建筑科学研究院国家建筑工程质量监督检验中心高级工程师

沈荣熹 中国建筑材料科学研究院水泥与新型建筑材料研究所顾问，教授级高级工程师

张树凯 原国家建材局生产司司长，中国水泥制品工业协会名誉会长，高级工程师

张荣成 中国建筑科学研究院国家建筑工程质量监督检验中心教授级高级工程师

陈龙珠 上海交通大学教授，博士生导师，安全与防灾工程研究所所长，建设部桩基动测单位资质评审专家委员会委员

陈拴发 长安大学公路学院教授

岳跃真 中国水利水电科学研究院结构材料所副总工程师，教授级高级工程师

周德源 同济大学土木工程学院教授，博士生导师

胡曙光 武汉市副市长，武汉理工大学教授

姜红 国家建筑工程质量监督检验中心常务副主任，中国建筑科学研究院建筑工程检测中心主任，教授级高级工程师

姚燕 中国建筑材料科学研究院院长，教授级高级工程师，博士生导师，中国建筑材料工业协会副会长，中国混凝土外加剂协会会长，中国水泥制品工业协会副会长，中国硅酸盐学会水泥分会主任，中国水泥协会副会长，中国建筑学会建材分会副主任

崔庆怡 陕西建筑科学研究院顾问，教授级高级工程师

隋同波 中国建筑材料科学研究院院长助理，教授级高级工程师，博士生导师，中国硅酸盐学会水泥分会秘书长

韩素芳 中国建筑科学研究院教授级高级工程师，中国土木工程学会混凝土质量专业委员会主任委员

韩继云 中国建筑科学研究院国家建筑工程质量监督检验中心研究员，一级注册结构师

# 出版者的话

混凝土具有强度高、耐久性好、原料来源广、制作工艺简单、成本较低、适用于各种自然环境等优点，因此，它是世界上使用量最大、最为广泛的首选建筑材料。近年来，随着建筑技术的不断更新，混凝土的组成及施工工艺也发生了巨大变化，混凝土结构的研发与创新，新材料、新工艺、新技术的开发应用，典型工程的创新应用等均取得了长足的进步，建造了许多举世瞩目的工程项目。为了及时总结推广和应用混凝土的新技术、新工艺、新材料，总结在混凝土研究开发方面的创新经验，以期进一步促进对混凝土的科学研究和技术发展，我们特邀请了中国建筑材料科学研究院、中国建筑科学研究院、原冶金工业部建筑科学研究所、上海交通大学等有关科研院所和企业的专家、教授编写了《混凝土技术丛书》和《建筑工程质量控制丛书》。

这两套丛书总结和反映了国内外有关混凝土研究、开发、应用的最新技术、最新进展，书中有不少数据与理论是作者长期实践经验的总结，这些资料非常宝贵，有的是第一次公开出版，具有非常重要的参考价值。这两套丛书是从事土木与水利工程的地质勘探、结构设计、施工技术、质量检测和监理等工作的科研人员及工程技术人员自学提高的必备参考书，同时也可作为继续教育的培训用书及相关院校师生的参考书。

我们真诚地欢迎读者和用户对丛书提出宝贵的意见和建议，以便再版时不断使其得到改进和完善。

化学工业出版社

2005年12月

# 序

混凝土是最大宗的人造材料，也是当今最主要的建筑结构工程材料之一。混凝土工程耐久性是国际工程界关注的重大课题，全世界因为混凝土丧失耐久性造成的经济和社会损失十分巨大。我国目前正处在高速发展时期，每年的混凝土用量逾 30 亿立方米，一批重点工程正在兴建和筹划，长江三峡水利枢纽工程、跨海跨江的大型桥梁、迅猛发展的高等级公路、大中型飞机场等都要求混凝土具有良好的耐久性能，确保重点工程混凝土的安全性和长寿命。

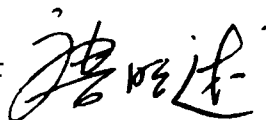
20 世纪 90 年代初出现的高性能混凝土正是根据混凝土耐久性要求而设计的混凝土，它具有诸多性能特点，如优良的工作性、好的体积稳定性、高的耐久性以及显著的技术经济、社会和环境效益。高性能混凝土技术使混凝土的生产过程和应用过程实现了绿色化，混凝土从传统概念上得以飞跃，符合人类寻求与自然和谐、可持续发展的趋势。

从 1996 年开始，国家计委、国家科技部先后两次设立科技攻关项目，大力支持对高性能混凝土的创新研究。中国建筑材料科学研究院的姚燕教授负责牵头组织了国内几十所科研单位、高等院校的一大批专家承担了“高性能混凝土的综合研究和应用”及“新型高性能混凝土及其耐久性的研究”研究课题。在这两个课题中，针对高性能混凝土所用原材料及组成材料之间的相互影响、高性能混凝土配合比、混凝土拌和物的工作性、硬化混凝土的力学性能、耐久性、体积稳定性、亚微观结构、水泥和外加剂之间的适应性、工程应用等方面进行了较全面的研究。通过联合攻关，项目取得了大量具有国际先进水平的研究成果，并在近百个工程中应用，转化效果显著，产业化前景非常好。

我多次参加他们项目的研讨会、验收会和鉴定会，深深感到他们通过出色的工作所掌握的一批高性能混凝土的关键技术，对保证我国重点工程混凝土的安全性提供了重要的技术依据。我也十分欣喜地得知他们对高性能混凝土的综合研究和应用取得了二〇〇四年的国家科技进步二等奖。

该书的作者将部分研究成果汇聚在书中，书中大量数据和图表都是作者及同事试验研究所得，也是长期从事混凝土研究工作的经验总结。我希望该书能够启发年轻一代的科技人员继续创新，带动高性能混凝土更深入的研究和广泛应用。

中国工程院院士



二〇〇五年十二月十一日



# 前 言

高性能混凝土是 20 世纪 90 年代初提出的，尽管当前对其定义尚未能看法一致，但高性能混凝土必须具有高耐久性这一点是一致的。高性能混凝土是一种新型的高技术混凝土，是在大幅度提高普通混凝土性能的基础上，以耐久性为主要设计指标，针对不同用途和要求，采用现代技术制作的、低水胶比的混凝土。

高性能混凝土制作的主要技术途径是采用优质的化学外加剂和矿物外加剂，前者可改善工作性，生产低水胶比的混凝土，控制混凝土坍落度损失，提高混凝土的致密性和抗渗性；后者可参与水化，起到胶凝材料的作用，改善界面的微观结构，堵塞混凝土内部孔隙，提高混凝土耐久性。高性能混凝土在节能、节料、工程经济、劳动保护及环境保护等方面都具有重大意义，是国内外土木建筑界研究的热点。

国内外许多单位都在进行高性能混凝土的研究，但由于高性能混凝土是一种新型高技术混凝土，研究还有一些未完善之处。高性能混凝土的生产实践需要高新技术，更需要科学理论。高性能混凝土生产应用需要在正确的理论指导下进行合理的分析和完善处理，以达到使用高性能混凝土的目的，又避免质量缺陷，而收到良好的综合效益。

本书作者单位及协作单位（清华大学、武汉理工大学、同济大学、南京工业大学、中国水利水电科学研究院等）在“九五”和“十五”期间，承担了国家重点科技攻关项目“高性能混凝土的综合研究和应用”及“新型高性能混凝土的研究和应用”的研究课题，在较长时间内对高性能混凝土进行了大量宏观和微观的试验研究，现将部分研究成果进行整理，结合作者在水泥混凝土、化学外加剂方面的知识和经验及近年所带博士后（管学茂），博士（黄鹏飞、高礼雄）和硕士研究生（马丽媛、贾祥道、高春勇）的论文，汇编成此书，以实现成果交流与共享。

本书共分四篇。

第一篇：高性能混凝土用原材料。本篇详细地介绍了高性能混凝土常用各种原材料（水泥、矿物外加剂、集料、化学外加剂）对高性能混凝土性能的影响，对选用材料的技术要求等，特色之处在于：

① 矿物外加剂部分，介绍了磨细矿渣、粉煤灰、硅灰、磨细天然沸石四种材料，其中提供了大量的材料性能数据，这是制定 GB/T 18736 矿物外加剂标准

时试验和收集的；

② 集料部分，对集料碱活性试验方法进行了全面系统的介绍和对比分析，介绍了京津塘地区集料碱活性普查结果和在此地区建立的安全集料矿山，对于全国其他地区预防碱-集料反应破坏有借鉴作用；

③ 水泥与外加剂之间的适应性部分，对水泥、化学外加剂和矿物外加剂等因素对适应性的影响进行了深入的研究，并列实例分析了适应性引起的混凝土性能和成本的差异。

第二篇：高性能混凝土的性能。本篇介绍了高性能混凝土新拌和硬化混凝土各种性能的检测方法及评价依据，以及为改善某一性能应采取的措施、矿物外加剂对高性能混凝土水硬化过程影响的研究。其中新颖之处有：

① 胶凝材料流变性能研究；

② 抗碱-集料反应技术措施中混凝土单方碱含量的控制、矿物外加剂对碱-集料反应抑制效能的评价方法；

③ 提出了抗硫酸盐腐蚀试验的“小混凝土柱法”，对低温条件下硫酸盐侵蚀破坏的特点和原理进行的大量研究；

④ 对高性能混凝土塑性收缩和早期开裂影响因素的系统研究；

⑤ 高性能混凝土断裂性能方面的研究；

⑥ 采用 DTA、XRD、SEM 和压汞法等现代理化分析方法研究矿物外加剂（硅灰、矿渣、粉煤灰）对高性能混凝土水硬化过程及微观结构的影响。

第三篇：高性能混凝土的配制。本篇介绍了高强高性能混凝土、中等强度等级高性能混凝土、自流平混凝土、用不同强度等级水泥配制的高性能混凝土四大类混凝土的配合比设计方法，所配制高性能混凝土的各种性能及影响因素。其中，中等强度等级混凝土高性能化的研究结果是具有更为普遍实用意义的研究成果，利用不同强度等级水泥配制高强混凝土的研究成果拓宽了材料的选择范围，对于高性能混凝土的推广应用都有实用意义。

第四篇：高性能混凝土的工程应用。本篇详细介绍了高性能混凝土在多个大型工程中的应用实例，并根据工程实例提出了高性能混凝土施工工法，以指导高性能混凝土的施工。

有以下两点需要向阅读本书的读者说明。

一是，由于高性能混凝土是近年来正在快速发展的新技术，一些名词还没有固定、规范的叫法，如磨细矿渣、粉煤灰和硅灰等有“掺和料”、“混合材”和“矿物外加剂”等多种叫法，本书根据 GB/T 18736 标准和国际高性能混凝土发展趋势把高性能混凝土中加入的、主要用于改善混凝土耐久性能的这些磨细材料统一称为“矿物外加剂”。

二是，作者从1995年以来一直从事高性能混凝土的研究，其间适逢我国水泥标准向ISO标准转换，1999年以前使用的水泥按老标准采用强度标号（425号、525号等），1999年以后使用的水泥按照新标准采用强度等级（32.5强度等级、42.5强度等级等）表示，鉴于两套标准的试验方法完全不同，强度标号和强度等级之间没有对应关系，本书编写时保留原检验结果，不加调整，即采用强度标号表示的是采用老标准时的检验结果，采用强度等级表示的是采用新标准时的检验结果。由此给读者带来不便，敬请原谅。

作者将对高性能混凝土的研究成果汇编成此书，作为交流技术资料供同行们研究时借鉴与参考，也许会有所裨益。由于本书编写人员的技术水平和工程实践经验所限，对于书中疏漏和不当之处，敬请读者予以指正，作者不胜感谢。

作者衷心感谢清华大学覃维祖教授、杨静教授、阎培渝教授，同济大学吴科如教授、张雄教授，武汉理工大学马保国教授，南京工业大学邓敏教授，中非地质勘察研究院的黄强教授、冯惠敏教授，吉林省第一建筑公司的黄惠芳总工程师，中国煤炭科学研究总院的陈文豹教授、李功洲研究员，在高性能混凝土的研究和工程应用过程中，我们曾经是最紧密的合作伙伴，大家风雨同舟，共同努力进行高性能混凝土的科技创新和推广应用，也共同分享了一个个科研成果带来的欢乐，本书中也包含有他们的心血和劳动，在此向他们致以深深的谢意！

作者衷心感谢书中所有被引用文献的作者和所有项目合作单位的同行们！

**编著者**

**2006年2月**

# 目 录

## 第一篇 高性能混凝土用原材料

<b>第一章 水泥</b> .....	3
<b>第一节 水泥的类别和性能</b> .....	3
一、我国水泥的类别 .....	3
二、水泥品种 .....	4
三、水泥的物理性能及对高性能混凝土的影响 .....	5
<b>第二节 高性能混凝土用水泥的选择</b> .....	10
参考文献 .....	11
<b>第二章 矿物外加剂</b> .....	12
<b>第一节 磨细矿渣</b> .....	13
一、磨细矿渣的来源及产量 .....	13
二、磨细矿渣的物理性质和化学成分 .....	14
三、磨细矿渣的贮存、包装和运输 .....	17
四、磨细矿渣对混凝土性能的影响 .....	17
<b>第二节 粉煤灰</b> .....	22
一、粉煤灰来源及产量 .....	22
二、粉煤灰的物理性质和化学成分 .....	23
三、粉煤灰对高性能混凝土性能的影响 .....	30
<b>第三节 硅灰</b> .....	41
一、硅灰的来源及产量 .....	41
二、硅灰的物理性质和化学成分 .....	41
三、硅灰的贮存、包装和运输 .....	43
四、硅灰对混凝土性能的影响 .....	44
<b>第四节 天然沸石粉</b> .....	46
一、天然沸石粉来源及产量 .....	46
二、天然沸石粉的技术要求 .....	48
三、天然沸石粉对混凝土性能的影响 .....	49

参考文献 .....	50
<b>第三章 集料</b> .....	<b>51</b>
第一节 集料分类和性能 .....	51
一、粗集料 .....	52
二、细集料 .....	53
第二节 集料碱活性的检测方法 .....	54
一、国内外判定集料碱活性试验方法标准体系 .....	54
二、集料碱活性试验方法及其特点 .....	56
第三节 京津塘地区集料的碱活性 .....	62
一、京津塘地区集料资源分布 .....	63
二、京津塘地区集料碱活性检验与分析 .....	64
第四节 京津塘地区安全集料矿山的建立 .....	71
一、建立安全集料矿山的意义和原则 .....	71
二、安全集料的类型和矿山分布 .....	72
三、京津塘地区安全集料矿山介绍 .....	75
参考文献 .....	77
<b>第四章 化学外加剂</b> .....	<b>78</b>
第一节 高效减水剂 .....	78
一、萘系高效减水剂 .....	78
二、蜜胺系高效减水剂 .....	79
三、氨基磺酸盐系高效减水剂 .....	81
四、脂肪族高效减水剂 .....	82
五、聚羧酸系高效减水剂 .....	83
第二节 泵送剂（缓凝高效减水剂） .....	84
第三节 引气剂 .....	86
一、引气剂的品种和性能 .....	87
二、引气剂对混凝土性能的影响 .....	88
参考文献 .....	89
<b>第五章 水泥与外加剂之间的适应性</b> .....	<b>90</b>
第一节 适应性的概念与检测方法 .....	91
一、适应性的概念与评价 .....	91
二、适应性的检测方法 .....	93
第二节 适应性的影响因素及机理分析 .....	98

一、减水剂的作用机理 .....	98
二、减水剂性能对水泥与减水剂适应性的影响 .....	100
三、水泥的物理、化学性能对水泥与减水剂适应性的影响 .....	101
第三节 改善水泥与混凝土外加剂适应性的措施 .....	111
一、加强磨机内物料温度的控制 .....	111
二、单独磨细水泥混合材 .....	111
三、改变减水剂的掺加方法 .....	112
四、使用反应性高分子化合物 .....	112
第四节 矿物外加剂对水泥与化学外加剂适应性的改善作用 .....	112
第五节 水泥与混凝土外加剂适应性分析应用实例 .....	114
一、C30 泵送混凝土性能及成本分析 .....	115
二、C40 泵送混凝土性能及成本分析 .....	116
三、C60 泵送混凝土性能及成本分析 .....	117
参考文献 .....	118

## 第二篇 高性能混凝土的性能

<b>第六章 高性能混凝土的工作性</b> .....	123
第一节 高性能混凝土工作性检测方法 .....	123
一、坍落度与坍落流动度 .....	123
二、V 形漏斗试验 .....	124
三、K-坍落度测试方法 .....	125
四、粗集料冲洗试验 .....	125
五、U 形充填性试验装置 .....	126
六、Orimet 试验 .....	127
七、J-环试验 .....	127
八、L 形流动仪及测试指标试验 .....	128
第二节 硅酸盐水泥复合胶凝材料浆体的流变性 .....	135
一、浆体的流变类型及触变性 .....	136
二、材料浆体流变参数的经时变化研究 .....	139
参考文献 .....	146
<b>第七章 高性能混凝土的体积稳定性</b> .....	147
第一节 高性能混凝土的自收缩 .....	147
一、高性能混凝土自收缩的特点 .....	148

二、高性能混凝土的自收缩测定方法 .....	148
三、混凝土自收缩影响因素 .....	151
四、高性能混凝土自收缩的抑制措施 .....	152
第二节 高强高性能混凝土塑性收缩的研究 .....	153
一、混凝土的塑性收缩及塑性收缩开裂 .....	153
二、高强高性能混凝土塑性收缩的板状开裂试验装置 .....	154
三、影响高强高性能混凝土塑性收缩开裂的因素 .....	155
四、工程中预防塑性收缩的措施 .....	159
第三节 高强混凝土早期收缩开裂的影响因素和改善措施 .....	159
一、高强混凝土早期收缩开裂分析模型和测试方法 .....	160
二、高强混凝土与普通混凝土收缩性能的对比 .....	164
三、高强混凝土收缩开裂的因素 .....	170
四、改善高强混凝土收缩性能的措施 .....	178
参考文献 .....	183
<b>第八章 高性能混凝土的耐久性能 .....</b>	<b>186</b>
第一节 混凝土抗冻性能评价方法 .....	186
一、美国标准规定的抗冻性能试验方法 .....	186
二、前苏联标准规定的抗冻性试验方法 .....	187
三、英国标准规定的冻融试验方法 .....	188
四、中国混凝土抗冻性试验方法 .....	189
五、冻融与荷载双重疲劳因素作用下混凝土的损伤过程 .....	191
六、混凝土抗除冰盐剥蚀性能 .....	193
第二节 混凝土抗渗透性能评价方法 .....	195
一、GBJ 82—85 混凝土抗渗透试验方法 .....	195
二、“溶液气压法”耐久性快速测试方法 .....	196
三、ASTM C1202 标准试验方法 .....	199
四、混凝土氯离子扩散系数快速检测的 NEL 方法 .....	201
五、混凝土氯离子扩散系数快速检测的 RCM 方法 .....	201
第三节 混凝土抗碱-集料反应评价方法 .....	202
一、混凝土单方碱含量计算方法 .....	202
二、矿物外加剂抑制混凝土碱-集料反应效能评价方法 .....	209
附录 矿物外加剂抑制碱-硅酸反应有效性评估方法 .....	215
第四节 混凝土耐硫酸盐腐蚀性能 .....	219

一、水泥基材料硫酸盐侵蚀破坏的机理和研究现状 .....	219
二、水泥基材料硫酸盐侵蚀破坏的评价方法 .....	222
三、低温条件下水泥基材料的抗硫酸盐侵蚀性 .....	229
四、应力作用下水泥基材料抗硫酸盐侵蚀性的研究 .....	238
第五节 混凝土耐钢筋锈蚀的研究方法 .....	241
一、电化学研究方法 .....	242
二、混凝土中氯离子渗透情况分析方法 .....	244
第六节 混凝土的抗碳化性能 .....	248
一、混凝土的碳化及其危害 .....	248
二、影响混凝土碳化的主要因素 .....	249
三、提高抗碳化能力的措施 .....	250
参考文献 .....	251
<b>第九章 高强高性能混凝土的两个力学问题</b> .....	<b>254</b>
第一节 高强混凝土立方体抗压强度尺寸系数 .....	254
一、C70 和 C80 混凝土的尺寸系数 .....	255
二、高强混凝土立方体抗压强度测试影响因素分析 .....	258
第二节 高强高性能混凝土的断裂脆性 .....	262
参考文献 .....	265
<b>第十章 高性能混凝土的水化及微观结构</b> .....	<b>266</b>
第一节 磨细矿渣-水泥二元体系的水化及微观结构 .....	266
一、磨细矿渣对水泥物理力学性能的影响 .....	266
二、化学结合水法测反应程度 .....	267
三、水化产物分析 .....	268
第二节 磨细矿渣-硅灰-水泥三元胶凝材料体系的水化硬化机理 .....	271
一、水化产物的分析 .....	272
二、胶凝材料浆体的微观结构 .....	273
第三节 粉煤灰对水泥水化产物的影响 .....	276
一、水化产物的形貌 .....	276
二、粉煤灰对水化产物的影响 .....	277
第四节 矿物外加剂对水泥石和混凝土孔结构的影响 .....	280
一、总孔隙率 .....	280
二、孔分布 .....	281
参考文献 .....	284



## 第三篇 高性能混凝土的配制

<b>第十一章 高强高性能混凝土的配制</b> .....	287
<b>第一节 高强高性能混凝土配合比设计方法</b> .....	287
一、法国路桥实验中心 (LCPC) 建议的方法 .....	287
二、日本阿部道彦采用的配合比计算方法 .....	287
三、Mehta 和 Aitcin 推荐的高强高性能混凝土配合比确定方法 .....	287
<b>第二节 矿渣硅灰高强高性能混凝土的配制</b> .....	290
一、矿渣硅灰高强高性能混凝土配制和强度 .....	290
二、矿渣硅灰高强高性能混凝土拌和物性能 .....	293
三、矿渣硅灰高强高性能混凝土的耐久性 .....	294
<b>第三节 粉煤灰高强混凝土的配制</b> .....	299
一、粉煤灰高强混凝土的配制和力学性能 .....	299
二、粉煤灰高强混凝土的工作性 .....	302
三、粉煤灰高强混凝土的自收缩 .....	302
四、粉煤灰混凝土的抗氯离子渗透性能 .....	304
五、粉煤灰高强混凝土的耐腐蚀性能 .....	305
<b>参考文献</b> .....	305
<b>第十二章 中等强度等级混凝土的高性能化</b> .....	306
<b>第一节 磨细矿渣和粉煤灰在中等强度等级混凝土高性能化中的作用</b> .....	307
一、磨细矿渣、粉煤灰单掺和双掺对混凝土强度的影响 .....	307
二、磨细矿渣、粉煤灰特性对中等强度等级混凝土工作性的影响 .....	315
三、磨细矿渣和粉煤灰对大体积混凝土温升的影响 .....	324
四、磨细矿渣对混凝土渗透性的影响 .....	325
<b>第二节 中等强度等级 C30~C50 混凝土的高性能化</b> .....	326
一、中等强度等级高性能混凝土的配制 .....	326
二、中等强度等级混凝土高性能化的材料成本分析 .....	329
<b>参考文献</b> .....	330
<b>第十三章 自流平混凝土的配制</b> .....	332
<b>第一节 自流平混凝土的工作性</b> .....	333
一、自流平混凝土工作性的特点及测试 .....	333
二、自流平混凝土工作性的调整 .....	334
<b>第二节 高强自流平混凝土的配制</b> .....	335