

建设系统专业技术人员继续教育丛书

新型建筑材料

性能与应用

2005 年新编版

薄遵彦 李慧平 编著

中国环境科学出版社

建设系统专业技术人员继续教育丛书

新型建筑材料性能与应用

(2005 年新编版)

薄遵彦 编著
李慧平

中国环境科学出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

新型建筑材料性能与应用/薄遵彦, 李慧平编著. 北京: 中国环境科学出版社, 2005.8

(建设系统专业技术人员继续教育丛书)

ISBN 7-80209-160-8

I. 新... II. ①薄... ②李... III. ①建筑材料-性能
②建筑材料-应用 IV. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 066443 号

※ 内 容 简 介 ※

本书直面我国当代建筑材料更新的盛况, 以新的视角遴选: 工程建设中用量大的、国家重点发展并业已推广应用的、新型的建筑材料, 按其所属类别, 分为混凝土、钢材、墙材、门窗、玻璃、涂料、防水材料和管材, 计八章。

全书的阐述中, 紧密围绕“性能—应用”的主题, 切实提供建材知识亟待更新的内容。书中注重结合相关理论, 尤其强调最新的应用技术规程和政策。

本书既能作为自学或参考读物, 又可当作教材使用; 除适用于建设系统专业技术人员继续教育外, 也适合相关专业本科生选修课, 以及大专、高职和相应水平的培训使用。

出版发行 中国环境科学出版社建筑图书出版中心
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)

网 址: <http://www.cesp.cn>

电子信箱: bianji3@cesp.cn

电 话: 010—67112739

印 刷 北京市联华印刷厂

经 销 各地新华书店

版 次 2005 年 8 月第一版

印 次 2005 年 8 月第一次印刷

印 数 1—3 000

开 本 787×1092 1/16

印 张 14.5

字 数 350 千字

定 价 28.00 元

【版权所有, 请勿翻印、转载, 违者必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

2005 年新编版出版说明

《新型建筑材料性能与应用》是《建设系统专业技术人员继续教育丛书》中需用面很宽的一书。该书自 1996 年初版，迄今 9 年。恰自 1996 年起，我国新型建筑材料产业发生“第二次飞跃”，进入深化发展和全面推广应用的新阶段。现实一再表明：该书应当尽快修订，才能紧跟时势，与本书的名称相符。

值此全新的 2005 版与读者见面之际，当申明原委并隆重推荐。

《新型建筑材料性能与应用》初版，是在 1996 年由著名学者龚洛书先生主编，并与七位高级专业科技名家按章分工完成的。待到进入丛书的修订阶段时，龚洛书先生不幸去世。这样，已不可沿用初版和邀集原班名家进行，以致耽搁下来。

迟至 2003 年 7 月底，当丛书的修订版陆续再版时，幸亏薄遵彦、李慧平两位作者出自急公好义，欣然应邀承担起重新编写本书的重任。这两位受聘的作者，建筑材料的学识相当宽泛，并有继续教育的执教及教材编撰的丰富经验。本新编版是以他们自撰的新型建筑材料讲义为依托，该讲义曾于 2002 年为在职人员的研究生班、本科班授课使用。两位作者承接本书新编的任务后，不拘已有成果，持续调研查新，从新立意，不惜三易其稿，尽心竭力地圆满完成。

本新编版本的取材经过慎重筛选，全书的纲目、体例和标题均经悉心斟酌，所递信息新鲜，引用资料翔实并注明出处。书中对“性能一应用”的阐述颇有创见，对于材料学书籍如何表达其应用技术要义应把握的分寸，做了有益的尝试。为保证书的内容与我国新型建材发展应用的实际相符，在 2004 年定稿后，为替换此阶段新颁的一批标准，特别为与《建设部推广应用和限制禁止使用技术公告》所涉建材的内容相吻合，又作了交稿前的全面修订，直至构成 2005 年新编版。

本新编版依然面向大专以上文化程度、中级技术职称专业技术人员继续教育的需要。在编写时曾考虑到既可作为自学读物，又能当作教材使用。本书也能用于本科生的选修课，以及大专、高职和相应水平的培训班使用。

中国环境科学出版社

2005 年 8 月

目 录

绪论	1
一、复合型建材在日益增多	1
二、化学建材已成为主流	2
三、发展绿色建材势在必行	2
第一章 已在多用的近代混凝土技术	4
第一节 高强混凝土与高性能混凝土	4
一、混凝土高强化概述	4
二、高强混凝土对原材料的要求	6
三、高强混凝土的显著特点	6
四、高性能混凝土的概念与特征	8
五、高性能混凝土原材料选择要点	9
六、高性能混凝土配合比设计原则	11
第二节 高流态混凝土与泵送混凝土	12
一、新拌混凝土的流变特性	13
二、对高流态混凝土的基本要求	14
三、泵送混凝土概要	16
第三节 补偿收缩混凝土与大体积混凝土	20
一、混凝土的收缩和开裂	20
二、补偿收缩混凝土要点	22
三、大体积混凝土概要	23
第四节 向绿色建材转化中的混凝土	26
一、节省天然资源和利用工业废料	27
二、降低能耗与清洁生产	28
三、对混凝土中有害物限制的规定	30
四、开发环境友好型混凝土	30
五、再生混凝土	31
第二章 建筑用钢材的新进展	32
第一节 不断更新的合金钢	32
一、合金化概要	32
二、合金结构钢	34
三、低合金高强度结构钢	37
四、耐候性结构钢	37
第二节 钢结构用钢材的新品种	41

一、热轧 H 型钢	42
二、冷弯型钢	45
三、高层建筑结构用钢板	47
四、建筑用压型钢板	49
五、彩色涂层钢板	51
六、结构用钢管	52
第三节 混凝土结构用钢材的革新	56
一、热轧带肋钢筋	56
二、冷轧带肋钢筋	61
三、预应力混凝土用钢丝	64
四、预应力混凝土用钢绞线	69
五、进展中的钢筋应用技术	73
第三章 墙材革新中的主要品种	75
第一节 混凝土小型空心砌块	76
一、普通混凝土小型空心砌块	76
二、轻集料混凝土小型空心砌块	78
第二节 加气混凝土制品	80
一、加气混凝土	81
二、蒸压加气混凝土砌块	81
三、蒸压加气混凝土墙板	83
第三节 轻质墙板	85
一、石膏板	85
二、纤维增强水泥板	88
三、钢丝网架水泥聚苯乙烯夹芯板	92
四、彩色压型钢板夹芯板	95
第四节 外墙外保温技术	97
一、建筑节能对外墙的要求	98
二、外墙保温的不同作法与效能	99
三、外墙外保温系统	101
四、对外墙外保温系统的技术要求	102
第四章 塑料门窗与其他节能门窗	105
第一节 要大力开发推广节能门窗	105
一、门窗在建筑节能中的重要性	105
二、建筑节能对门窗的要求	106
三、门窗的发展状况	107
第二节 塑料门窗的型材和装配质量	109
一、型材的原料	109
二、型材的成型	110
三、对型材的技术要求	111

四、门窗的装配质量	112
五、对门窗配件的要求	114
第三节 塑料门窗的性能与安装要点	115
一、塑料门窗的建筑物理性能及分级	115
二、塑料门窗的力学性能	117
三、塑料门窗的耐候性	119
四、塑料门窗安装要点	119
五、塑料门窗安装工程质量验收	122
第四节 其他节能门窗	123
一、钢塑复合共挤门窗	123
二、玻璃钢门窗	124
三、断桥隔热铝合金门窗	125
四、彩色涂层钢板门窗	125
第五章 发展中的建筑玻璃及其应用技术	127
第一节 普通玻璃的性质和品种	127
一、普通玻璃的基本性质	127
二、普通平板玻璃	129
三、浮法玻璃	131
第二节 安全玻璃的主要产品及标准要求	132
一、钢化玻璃	132
二、夹层玻璃	135
三、防火玻璃	138
第三节 节能玻璃的主要产品及标准要求	140
一、吸热玻璃	140
二、镀膜玻璃	141
三、中空玻璃	143
第四节 建筑玻璃的合理应用	146
一、玻璃与建筑节能	146
二、玻璃的安全性	148
三、玻璃对环保的负面影响	152
四、关于玻璃的安装	153
第六章 更新中的建筑涂料	154
第一节 建筑涂料发展概要	154
一、常用建筑涂料的类型和品种	154
二、基料的品种及赋予涂料的特性	155
三、建筑涂料的发展目标	156
四、推广应用和限制禁止使用的涂料品种	156
第二节 建筑涂料的主要性能和相关标准	157
一、建筑涂料的主要性能及其含义	157

二、建筑涂料的产品标准·····	158
三、涂饰工程施工及验收标准·····	162
第三节 高性能涂料和功能性涂料·····	166
一、高性能涂料·····	166
二、功能性涂料·····	167
第四节 向环保型更新的建筑涂料·····	170
一、涂料中的主要污染物·····	171
二、对涂料中有害物质限量的规定·····	171
三、已在兴起的环保型涂料品种·····	173
四、纳米材料及超细粉料的应用·····	173
第七章 新型防水材料的重点发展品种·····	175
第一节 改性沥青油毡·····	176
一、改性沥青·····	176
二、SBS 改性沥青油毡·····	176
三、APP 改性沥青油毡·····	178
四、改性沥青防水卷材的推广应用技术·····	180
第二节 高分子防水卷材·····	181
一、三元乙丙防水卷材·····	181
二、聚氯乙烯防水卷材·····	183
三、高分子防水卷材的推广应用技术·····	185
第三节 防水涂料·····	185
一、聚氨酯防水涂料·····	185
二、橡胶改性沥青防水涂料·····	187
第四节 建筑密封材料·····	189
一、硅酮密封胶·····	189
二、聚氨酯密封胶·····	192
第八章 推广应用中的塑料管材·····	194
第一节 加快发展的塑料管道系统·····	194
一、推广应用概要·····	194
二、已有管材产品的种类·····	194
三、近期发展目标·····	195
第二节 硬质聚氯乙烯管材·····	196
一、制管原料与材质·····	196
二、给水用 UPVC 管材·····	196
三、排水用 UPVC 管材·····	198
四、埋地排污、废水用 UPVC 管材·····	200
第三节 聚乙烯系管材·····	201
一、聚乙烯 (PE) 树脂及其特性·····	201
二、给水用聚乙烯 (PE) 管材·····	202

三、燃气用埋地聚乙烯 (PE) 管材·····	206
第四节 其他塑料管材·····	209
一、聚丙烯 (PP) 系管材·····	209
二、聚丁烯 (PB) 管材·····	213
三、工程塑料 (ABS) 管材 ·····	214
四、玻璃钢夹砂 (RPM) 管材 ·····	214
第五节 塑料—金属复合管材·····	215
一、铝塑复合管·····	215
二、钢塑复合 (SP) 管·····	218
三、其他塑料—金属复合管·····	219
参考文献·····	221

绪 论

近二十多年以来,我国的建筑材料发生着划时代的变革。许多性能优异、功能完善和效益增高的新型建筑材料,已经实现工业化或现代化生产,正在大规模地推广应用。而不少相形失色或日趋落伍的传统材料,正被改造、限制或淘汰。这是人类社会进步的标志,也是我国经济、文化和科学技术发展的必然结果。

直面建筑材料除旧布新的大潮,对于投身建设系统的工程技术人员,必须及时获取足够的信息,明辨发展的动向和主流,更新运用建材的观念和知识,才能乘风破浪,勇往直前。为满足如此需求,竭诚为继续教育服务,正是本书的宗旨和作者的初衷。

本书的编写,立足于我国建筑材料更新的实际,是由“选取哪些材料最相宜”入手的。通过调研,遴选出工程建设中用量大的、国家重点发展的和正式推广应用的新型建筑材料,经归类排序形成八章,并敲定恰如其分的章名。继后,围绕材料性能与应用这一主题,针对各章材料需要表达的方面不同,落实应该阐明的具体内容,从而决定了节、段的数量和标题。全书的轮廓和脉络,可通过阅读目录一览无余。

从材料学的角度审视日益增多的新型建材,能够归结出下列三大特征,也能由此表明建筑材料的发展趋向。同时,以下对这三个基本点的阐述,可完全作为学习本书的导言。

一、复合型建材在日益增多

将两种或两种以上的单一材料,有效地结合为一体,以共同发挥作用,即属于复合材料。人们在长期的实践中发现:材料在单一使用中,都存有各自的优点和不足,经复合使用,可以扬长避短、优势互补,即获得复合材料的“超叠效应”。

开发应用复合型材料,可以优化性能、增强或加多使用功能,可减少体积或自重、节省材料,以及可实现预制化生产等。因此,复合化成为各种材料发展的主要途径。近代复合型建材的空前增多,是新型建筑材料发展的重大特征。

从本书选入的八类主要新型建材中,复合型产品无章不在。混凝土是靠颗粒材料与胶凝材料的复合起家,在漫长的复合化历程中,随着钢筋、纤维及聚合物的引入,曾发生几度飞跃;而近来又发现:引入复合型外加剂,同时加入复合型矿物掺合料的高效能。墙体材料复合化的进程最快,各类复合墙板与复合墙体层出不穷,使绝热材料、玻璃纤维、钢丝网片及聚合物砂浆等,在纳入的复合体中发挥更大的作用。门窗和管材,正以钢塑、铝塑及玻璃钢等复合材料制作,广为取代了单一材料的制品。其他如织物内增强防水卷材,镀膜、夹层或夹丝玻璃,复层建筑涂料,彩色涂层钢板及其夹芯板等,已不胜枚举。

辨析复合型建材的性能,必须根据复合理论,包括分析被复合的诸多单一材料各自的原有性质,认清它们各自在复合体中的作用,识别复合体的宏观构造,领悟各相之间界面状态的影响,以及因单一材料间的性质不同产生的种种效应,致使其行为上的差异而带来的不利等。关于复合型建材的宏观构造,当其他要素确定之后,则是总体性能的决定因素。

目前复合型建材的宏观构造,可分为纤维聚集的、多孔聚集的、复合聚集的与迭合的四种,亦可归为聚集构造与迭合构造两大类。这些不同构造的复合型建材,已屡见不鲜,尤以复合聚集构造的,包括纤维增强的为最,但对它们的构造深入分析,往往会浅尝辄止。本书在叙述主要类型的复合材料时,注重增强复合理论和构造分析的内容,但因表述的范围和容量有限,不能专门深入。精通复合材料的机理,尚需学好有关的专著。

二、化学建材已成为主流

化学建材,是指以合成高分子材料为基料,经配制加工成用于建设工程的各类材料及制品的统称。目前,以塑料制品为主导的化学建材,已发展成为新型建筑材料的主流。

人类应用建筑材料的历史,悠悠数千载,常被简括成直接采集天然材料 and 生产人造材料两大阶段。建筑材料在漫长的演进过程中,曾有过多次历史性的突破,但最近和最强的一次,当属 20 世纪中叶,合成材料进入鼎盛时期。化学建材的崛起,使人造材料的生产别开生面,成为人类正步入聚合物时代的标志。

化学建材的科技含量高,且具有节约资源、降低能耗、提高建筑功能、减低建筑物自重、施工便捷等诸多优点。化学建材可按照人们的需要进行分子水平的设计,通过调整原料、配方与工艺,生产所需的各种性状的制品,且能较快实现连续化、自动化、大型化生产。上述优势,就传统材料而言是无可比拟的,足以表明发展化学建材的重要意义。

化学建材已成为我国新兴的产业之一,已将“发展新型合成材料”,“发展化学建材生产和应用技术”,纳入新颁的国家产业技术政策。在“十五”期间,按全国化学建材协调组编制的发展规划纲要,重点促进塑料门窗、塑料管道、新型防水材料和建筑涂料的推广应用。本书将这四大门类的化学建材列为四章,在阐述性能与应用的同时,也介绍它们各自的发展现状和该《规划纲要》提出的目标。在其余的各章中,也都含有化学建材,如混凝土的外加剂、彩色涂层钢板的面层、复合墙板中的合成纤维与绝热夹层、中空玻璃的密封胶与安全玻璃的夹层等。

由于化学建材的特点所致,在判别它们的性能、评价其材质时,甚至连弄懂其名称和代号等,都必须晓得它所用基料、配剂、合成方法、制材工艺,以及分子结构等高分子化学的知识。本书适当加强了这方面的阐述,但不能像化学那样深入和系统,必须针对每个人的情况不同,补足化学理论,为学好、用好化学建材打下基础。

三、发展绿色建材势在必行

自 18 世纪的产业革命开始,人类活动的规模和强度随之加剧,对自然的过分干预和索取,致使生态系统失衡,自然环境恶化。至 20 世纪中叶,面对大自然的种种报复,人类对处理自身与自然的关系上有了新觉醒:人与自然要协同进化、和谐共存,必须保护共同的生态环境,而不是自毁生存条件。

建筑材料工业是一个资源、能源的高消耗行业,也是对自然环境的高污染行业,在“挽救地球、保护自然”的世纪行动中,要从加快改造自我做起。那些以粗放式的生产模式,甚至以不惜能源、资源的过分消耗和牺牲环境去追求数量扩张型的发展,必须尽早遏制。要赶快从被动的末端治理中解脱出来,转向搞好环境协调化的改造,直到能通过生态化设计生产绿色产品的更高境界。加快发展绿色建材,时不我待。

“绿色建材”的概念,是在 1988 年召开的第一届国际材料科学研究会议上首次提出的。1992 年,国际学术界进而明确:绿色材料是指在原料采取、产品制造、使用或者再

循环，以及废料处理等环节中，对地球环境负荷最小和有利人类健康的材料。1999年，在我国首届全国绿色建材发展与应用研讨会上，提出绿色建材的定义是：采用清洁生产技术，不用或少用天然资源和能源，大量使用工农业或城市固态废弃物生产的无毒害、无污染、无放射性，达到使用周期后可回收利用，有利于环境保护和人体健康的建筑材料。

发展绿色建材和实现建材绿色化，既是对新型建材提出的时代要求，又是对传统建材改造所指明的必由之路。本书表达的对象是新型建筑材料，书中自然充盈了绿色化的情景。例如混凝土这章，是以绿色高性能混凝土为主线，并专门介绍从原材料、配制、施工及解体后，实现绿色化的进程和已有的成果，也包括水泥和外加剂的此类内容。又如墙体材料这章，是以墙材改革的新品种为题，结合我国墙改与节能的要求阐述，还特意增加了外墙外保温系统和提示了既有建筑节能改造的内容。此外，门窗一章只讲节能门窗；涂料一章强调向环保型更新的品种；玻璃一章则以突出“安全、节能、环保”的理念，介绍新品种及讲明如何合理应用。

由于建筑材料的绿色化属于实施可持续发展战略的范畴，政策性很强，故本书对相关的政策、法规注意了强调，特别是关于限制各种材料含有污染物的具体规定。至于已有的环境友好型建材，尽管有的还处于萌芽阶段，本书也同时作了报道。

总之，要把绿色建材和建材绿色化，作为当代学习材料性能与应用的重要组成部分。

第一章 已在多用的近代混凝土技术

水泥混凝土面世已一百七十多年，由于它在原料、工艺和性能等方面都具有优势，且随着科学技术的进步在不断增强，因而被越来越广泛地应用。目前，全世界的混凝土年生产量高达 100 亿吨以上，已成为当代最主要的结构工程材料，也是最大宗的人造材料。

混凝土的发展不仅表现在用量的加大，更为显要的是它与工程建设水平的提高相辅相成，与时代的进程保持着同步。在近期，除特种混凝土在继续深入开发外，对于大量性的常规混凝土，正向具有较高的全面性能，同时加快与环境协调化的转变，即所谓高性能化和绿色化，已成为近代混凝土技术的发展主流。

水泥混凝土是一种非均质的多元的复合材料，复合化是其发展的最根本途径。混凝土之所以加快演进，得益于各组分相的创新与应用。昔日，水泥的发明，钢筋混凝土和预应力混凝土的创立，人造轻骨料的制成，都成为混凝土技术发生飞跃的阶段性标志。而今，高性能水泥、高效钢筋、新型外加剂、超细矿物掺合料的开发与应用，仍属于近代混凝土技术突破的时代特征。混凝土亟待向绿色建材转化，依然有赖于各种组成材料的革新来保证。

本章基于近代混凝土技术的应用现状，以高性能混凝土为主线，择选已在多用的相关品种，包括高强混凝土、高流态混凝土、泵送混凝土、大体积混凝土、补偿收缩混凝土等，予以分节阐述，可供不同工程视需要有选择地组合应用。最后，对混凝土加快绿色化的概况亦专节介绍。

第一节 高强混凝土与高性能混凝土

长期以来，人们为提高混凝土的强度及优化其他所需性能，进行着不懈地努力，直至 20 世纪 40 年代正式提出高强混凝土、90 年代进而强调高性能混凝土，并先后被确认为主攻方向。

高强混凝土与高性能混凝土，尽管有许多相通，但二者并非等同。高强混凝土是以强度为首要指标，重在满足一般环境条件下结构的高强度等级要求；它的耐久性应比普通混凝土高，但远未及高性能混凝土。高性能混凝土则是以耐久性为核心，并显著改善诸多的相关性能，往往包括高强度要求，这比高强混凝土要全面和深刻得多。

一、混凝土高强度概述

随着土木工程的规模日益加大，混凝土结构向大跨、高耸、重载等近代化方向快速发展，对混凝土的强度要求愈加提高。采用高强混凝土，可显著减轻结构的自重，提高承载力，增加耐用年限，改善使用功能，具有明显的经济效益，因而作为近代混凝土技术的主要类别被广泛应用。

（一）高强的界定

混凝土高强的界定，因时代、地域等不同而异。在 1950 年以前，曾将 $\geq 30\text{MPa}$ 的混

凝土界定为高强；到 1960 年以后，则提高到 40 ~ 50MPa。1994 年，我国土木工程学会高强与高性能混凝土委员会，在《高强混凝土结构设计与施工指南》中，把 $\geq C50$ 的混凝土划为高强。继后，自 2001 年 4 月起实行至今的《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2000) 中，把强度等级为 C60 及以上的混凝土，定义为高强混凝土。该规程是采用了 CEB—FIP^①模式规范中的规定：“具有特征强度高于 50MPa 的混凝土为高强混凝土”。但因这一规定是用 $\phi 150\text{mm} \times 300\text{mm}$ 圆柱体为基准，如果换算成以边长 150mm 的正方体标准试件，则相当于特征强度高于 60MPa 的混凝土。

(二) 高强化的演进

如何提高混凝土强度，主要经历了三个阶段。开始多着眼于提高水泥强度和降低水灰比，即采取生产高标号水泥和配制干硬性混凝土的初级阶段。由于当时还没有减水剂，小水灰比的干稠拌合物必须靠强力搅拌和强力振捣等设施才能成型，使高强混凝土的推广受到很大限制。后来，随着高效减水剂的研制成功并推广使用，将水灰比小至 0.2 ~ 0.3 的混凝土拌合物，产生需要的高流动性，变得轻而易举。因此采用高效减水剂降低水灰比，成为高强混凝土实用推广阶段。在此基础上，继而又研究发现加入矿物掺合料^②的重要作用，于是多将掺入化学外加剂的同时，加入矿物掺合料，划为近代发展高强和高性能混凝土的最新阶段。

(三) 增强机理

分析混凝土的增强机理，关键在于改善了它的微观构造。混凝土是属于多相、多孔的聚集体。具体点讲，它是由胶凝体、骨料和孔隙组成的复合材料。其中孔隙的多少、大小、形态和分布，即所谓孔结构，以及各组成相间的界面，都在决定着混凝土的宏观性能。特别是在骨料与胶凝体的界面处，存有约 20 ~ 100 μm 不等的过渡区。由于过渡区中多孔缝隙和水化物结晶取向等缺陷的形成，导致界面成为混凝土的最薄弱相。

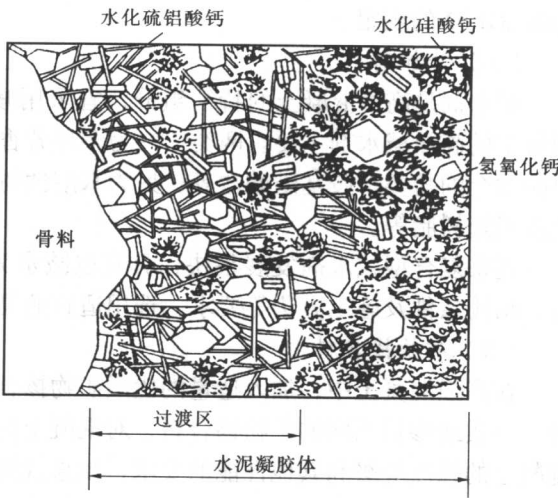


图 1-1 水泥凝胶体与骨料界面微观结构模型

在混凝土成型后，由于过剩的拌合水在骨料表面吸附，以及在施工过程中带入的气泡在界面内聚集，都能形成彼此连通的孔缝。另则，如图 1-1 示意：在混凝土的凝结硬化过程中，水泥的主要水化物会向骨料表面单向结晶排列，使过渡区中水化硅酸钙的分布稀疏，氢氧化钙和水化硫铝酸钙的富集，致使界面区的强度下降。

采用掺加高效减水剂的同时，掺入矿物掺合料，能有效改善混凝土的孔结构，尤其改

① CEB 为欧洲混凝土协会，FIP 为国际预应力混凝土协会。

② 指具有一定细度和活性的某些矿物类掺合料，国内对其称谓尚不相同，但近已开始正名为矿物外加剂。为照顾习惯，本书暂用矿物掺合料一词。

善胶凝体与骨料的界面相结构，提高界面的效能。如高效减水剂的加入，能显著减少拌合水，致使原生孔隙和微裂缝降低，使界面致密。又如加入矿物掺合料，既能发挥颗粒形态效应和微填充效应，起到增塑、增密作用，又能发挥所具有的火山灰性，可抑制水泥水化物向骨料定向结晶，且使富集于过渡区的氢氧化钙减少。

二、高强混凝土对原材料的要求

(一) 水泥

由于高强混凝土需要加入优质外加剂与掺合料，因此应选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。水泥的强度等级，按混凝土的设计强度不同，应尽可能采用高的，一般不能低于42.5级。所选水泥的质量要稳定，其各项物理性能和化学成分应符合标准要求，并应避免有过大的波动。

(二) 骨料

应选用质地坚硬、级配合格、粒型理想、有害物含量低的骨料。JGJ 55—2000 规定：粗骨料的最大粒径，对于 C60 级的混凝土不应大于 31.5mm，对于大于 C60 级的混凝土，不应大于 25mm；针、片状颗粒含量不宜大于 5.0%，含泥量不应大于 0.5%，泥块含量不宜大于 0.2%；其他质量指标应符合现行行业标准 JGJ 53 的规定。细骨料的细度模数宜大于 2.6；含泥量不应大于 2.0%，泥块含量不应大于 0.5%；其他质量指标应符合现行行业标准 JGJ 52 的规定。

(三) 外加剂

减水剂是高强混凝土的特征组分，宜采用减水率在 20% 以上的高效减水剂。目前使用较多的高效减水剂主要有两类：一为多环芳香族磺酸盐类，包括萘和萘的同系磺化物与甲醛缩合的盐类，胺基磺酸盐等；另为水溶性树脂磺酸盐类，包括磺化三聚氰胺树脂，磺化古玛隆树脂等。

近来复合型减水剂发展很快，具有以减水为主并兼有若干其他的功能，应按工程环境、结构条件及施工方法等要求，选用适宜的复合型减水剂品种。

(四) 矿物掺合料

在**高强混凝土**中，加入适量的优质矿物掺合料，与加入外加剂是同等重要的。加入品种、品质或掺量不同的矿物掺合料，对混凝土的增强及改善性能的效果会有所差异。应按混凝土的强度等级和其他性能的要求，慎重选择。目前广为采用的矿物掺合料，主要是磨细粉煤灰、硅灰、磨细矿渣和磨细沸石，其中研究成果较多、应用较广泛、效能较高的，当属硅灰。

上述掺合料已正名为矿物外加剂，并发布了国家标准，详见下文高性能混凝土中介绍。

近来许多研究成果表明，用一种以上的矿物掺合料，即采用复合矿物外加剂，对混凝土的强化和改性有更加明显的效用。

三、高强混凝土的显著特点

(一) 配合比特点

高强混凝土配合比与普通混凝土相比，具有以下主要特点。

1. 水胶比低 水胶比是指拌合水与胶凝材料总量的质量比。胶凝材料的总量，是指水泥用量与所加矿物掺合料之和。一般情况，高强混凝土的水胶比为 0.25 ~ 0.40。水胶比

只能按经验选定后经试配调整, JGJ 55—2000 中的水灰比公式不适合高强混凝土。

2. 胶凝材料的用量大 水泥的用量一般在 $340 \sim 450\text{kg/m}^3$ 之间, 按对混凝土性能的要求不同而异。矿物掺合料的最佳掺量, 应通过试验确定。JGJ 55—2000 规定: 高强混凝土的水泥用量不应大于 550kg/m^3 , 水泥和矿物掺合料的总量不宜大于 600kg/m^3 。

3. 用水量低 为防止胶凝材料过剩, 应在保证拌合物流动性的前提下, 用较低的水量。一般情况, 用水量在 $120 \sim 160\text{kg/m}^3$ 之间, 应根据流动性要求, 原材料品种、配制强度等不同, 通过试验确定。

4. 砂率适度加大 胶凝材料用量大, 砂率应大于普通混凝土; 但过大时, 会降低混凝土的强度和弹性模量, 以及加大干缩。一般情况下, 砂率在 $36\% \sim 41\%$ 之间, 应按确定砂率的诸多因素不同选取, 通过试验得出最佳值。

(二) 主要性能

与普通混凝土相比, 高强混凝土具有以下明显特性。

1. 早期强度增进快 由于高强混凝土胶凝材料用量大, 水泥的强度等级高, 以及采用高效减水剂等诸原因, 其强度的增幅, 与普通混凝土比较, 早期和中期都显大, 后期却显小。

2. 拉压比和折压比降低 水泥混凝土的拉(折)压比甚低, 且随着抗压强度的提高, 该比值下降的越显著, 这是急需攻克的技术课题。高强混凝土拉(折)压比下降的原因, 是由于强化的措施使水泥石的强度提高, 而减小了与骨料强度的差距, 加之界面相的改善, 则使得复合体脆性加剧所致。

3. 弹性模量略高 与普通混凝土相比, 在受压的应力—应变曲线中, 接近直线的线段较长, 且斜率较大。试验表明, 随着高强混凝土的强度等级增高, 其弹性模量也越有增长, 但二者的增幅间不存在线性比例关系。

4. 干缩与徐变 混凝土的干缩和徐变, 都是关系到体积稳定性的重要方面。在一般情况下, 高强混凝土在早期的干缩与徐变, 都比普通混凝土的大些, 但随着龄期的增加, 可以与普通混凝土持平, 甚至低些。这与高强混凝土中的浆体体积和水胶比紧密相关。

5. 耐久性 由于高强混凝土采取了种种增密措施, 其抗渗性及抗侵蚀性等, 均优于普通混凝土。

(三) 应用技术要点

1. 结构设计 除遵照《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002) 进行外, 还必须针对所用混凝土的特性, 执行《高强度混凝土结构技术规程》(CECS 104: 99) 的规定。对于特殊工程采用高强混凝土, 还应符合相关的结构设计规程, 如《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2002), 《混凝土电视塔结构技术规范》(GB 50342—2003) 等。

2. 配制工艺 为保证混凝土在计量、搅拌、运输等环节的精良可靠, 且便于质量控制和施工管理, 高强混凝土应采用预拌混凝土。其生产、供应、质量控制及验收等, 应符合《预拌混凝土》(GB 14902—1994) 的规定。

3. 质量控制 对混凝土的原材料、配合比和混凝土的质量控制, 应按《混凝土质量控制标准》(GB 50164) 进行。其中涉及的相关标准很多, 应重视执行下列最新发布的标准。

GB/T 50080—2002 《普通混凝土拌合物性能试验方法》

GB/T 50081—2002《普通混凝土力学性能试验方法》

JGJ/T 23—2001《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》

GB/T 18736—2002《高强高性能混凝土用矿物外加剂》

GB 50119—2003《混凝土外加剂应用技术规范》

4. 施工现场管理 做好施工组织计划,明确具体的作业程序和进度,对整个施工过程实施全面的质量控制,尤其要确保浇筑和养护的质量。施工质量必须符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204—2002)要求。

四、高性能混凝土的概念与特征

(一)“HPC”的提出

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)召开会议,首次提出高性能混凝土(HPC)这个名词。认为高性能混凝土是同时具有某些性能的匀质混凝土,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等性能的混凝土;特别适用于高层建筑、桥梁以及暴露在严酷环境中的建筑物。在此前后,美、日、法等国都把高性能混凝土当成跨世纪的新材料,进行研究开发和扩大应用。

我国新型混凝土的研究已逐步与世界接轨,在**高强与高性能混凝土**领域中取得的成果,不少已达到国际先进或国际领先水平。早自“九五”期间,建设部已将高性能混凝土列入重点推行的新技术;在近期发布的推广应用技术公告中,再度确立有高性能混凝土技术的项目。

(二)高性能混凝土的概念

高性能混凝土是具有较为全面优良性能的新型混凝土,它源于但显著高于旧有的普通混凝土,是将近代混凝土技术的组合与完善。它通过对原材料的优化创新、配合比设计理念的改进,来全面提高混凝土的性能,以满足近代混凝土结构设计、生产和施工的需要。正如建设部推广应用技术公告中,对高性能混凝土作出的简介:“使用高效减水剂和超细活性掺合料,严格控制水胶比和水泥用量,应用现代技术和设备配制的混凝土拌合物。按工程需要,配制具有特殊性能组合的均质性好的混凝土,即混凝土的密实性、抗渗性好,体积稳定性好,易于浇筑,不离析,在恶劣环境下使用寿命长等特点。”并同时指出它适合在“房屋建筑结构以及桥梁、港口、机场、道路等市政基础设施中的钢筋混凝土结构中应用。”这一简介,能扼要描绘出高性能混凝土的概念与特征。

(三)高性能混凝土的特性

应该明确的是:高性能混凝土必须具有下列多项优良性能,这是它的最大特征。

1. 耐久性 是以耐久性为主要设计指标,经周密考虑耐久性所要求的具体方面,如提高抗渗透、抗冻、抗不良介质侵蚀等,通过采取有效措施确保混凝土能适应所处的环境条件,以使结构安全并延长使用寿命。

2. 体积稳定性 是混凝土具有高耐久性的前提。应设法提高混凝土抗变形能力和预防裂缝发生,并通过采取措施,使混凝土具有尽量低的收缩、徐变和水化热温升等。

3. 强度 能满足设计要求的强度和各项力学性能,并能达到早期、中期强度的增进率要求,以及后期强度的持久稳定等。再则,对高性能混凝土往往要求高强度等级或者韧性、耐磨性等项,亦均应予以保证。