



教育部高职高专规划教材



混凝土材料技术



葛新亚 主编



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

混凝土材料技术

葛新亚 主编



化学工业出版社
教材出版中心

· 北京 ·

本书主要介绍了混凝土材料的组成、结构、性能、参数之间的关系,以及它们的影响因素;混凝土材料的配合比设计、生产、施工及质量检测;混凝土生产质量管理的基础理论。具体内容包括:普通混凝土、混凝土外加剂、混凝土材料生产与质量控制、轻质混凝土、特种混凝土、混凝土试验。

本教材在介绍理论知识的同时,注重能力的培养,重视理论联系实际,具有较强的实用性。

本书可作为材料工程技术专业高职高专的教材,也可作为相关领域职工培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土材料技术/葛新亚主编. —北京:化学工业出版社, 2006.6

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-8732-2

I. 混… II. 葛… III. 混凝土-建筑材料-高等学校:技术学院-教材 IV. TU528

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第066471号

教育部高职高专规划教材

混凝土材料技术

葛新亚 主编

责任编辑:程树珍 王文峡

文字编辑:管景岩

责任校对:陈 静

封面设计:潘 峰

*

化学工业出版社
教材出版中心

(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
北京永鑫印刷有限责任公司印刷
三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 18¼ 字数 469 千字

2006年7月第1版 2006年7月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-8732-2

定 价: 32.00 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

高职高专材料工程技术专业教材编写委员会

名誉主任	周功亚				
主任委员	张战营				
副主任委员	张志华	李坚利	肖争鸣	王继达	咎和平
	周惠群	顾申良	刘晓勇		
委	王新锁	赵幼琨	陈 鸣	冯正良	
员	农 荣	隋良志	郭汉祥	黄为秀	
	辛 颖	彭宝利	芮君渭	葛新亚	
	蔡红军	毕 强			

序

全国建材职业教育教学指导委员会为建材行业的高职、高专教育发展做了一件大好事，他们组织行业内职业技术学院数百位骨干教师，在对有关企业的生产经营、技术水平、管理模式及人才结构等情况进行深入调研的基础上，经过几年的努力，规划开发了材料工程技术和建筑装饰技术两个专业的系列教材。这些教材的编写含有课程开发和教材改革的双重任务，在规划之初，该委员会就明确提出课程综合化和教材内容必须贴近岗位工作需要的目标要求，使这两个专业的课程结构和教材内容结构都具有较多的改进和新意。

在当前和今后的一段时期，我国高职教育的课程和教材建设要为我国走新型工业化道路、调整经济结构和转变增长方式服务，更好地适应于生产、管理、服务第一线高素质的技术、管理、操作人才的培养。然而我国高职教育的课程和教材建设当前面临着新的产业情况、就业情况和生源情况等多因素的挑战，从产业方面分析，要十分关注如下三大变革对高职课程和教材所提出的新要求：

1. 产业结构和产业链的变革。它涉及专业和课程结构的拓展和调整。
2. 产业技术升级和生产方式的变革。它涉及课程种类和课程内容的更新，涉及学生知识能力结构和学习方式的改变。
3. 劳动组织方式和职业活动方式的变革——“扁平化劳动组织方式的出现”；“学习型组织和终身学习体系逐步形成”；“多学科知识和能力的复合运用”；“操作人员对生产全过程和企业全局的责任观念”；“职业活动过程中合作方式的普遍开展”。它们同样涉及课程内容的更新与调整，还涉及非专业能力的培养途径、培养方法、学业的考核与认定等许多新领域的改革和创新。

建筑材料行业的变化层出不穷，传统的硅酸盐材料工业生产广泛采用了新工艺，普遍引入计算机集散控制技术，装备水平发生根本性变化；行业之间的相互渗透急剧增加，技术创新过程中学科之间的融通加快，又催生出多种多样的新型材料，使材料功能获得不断扩展，被广泛应用于建筑业、汽车制造业、航天航空业、石化工业和信息产业，尤其是建筑装饰业，是融合工学、美学、材料科学及环境科学于一体的新兴服务业，有着十分广阔的市场前景，它带动材料工业的加速发展，而每当一种新的装饰材料问世，又会带来装饰施工工艺的更新；随着材料市场化程度的提高，在产品的检测、物流等领域形成新的职业岗位，使材料行业的产业链相应延长，并对从业人员的知识能力结构提出了新的要求。

然而传统的材料类专业课程模式和教材内容，显然滞后于上述各种变化。以学科为本位的教学模式应用于高职教育教学过程时，明显地出现了如下两个“脱节”，一是以学科为本的知识结构与职业活动过程所应用的知识结构脱节；二是以学科为本的理论体系与职业活动的能力体系脱节。为了改变这种脱节和滞后的被动局面，全国建材职业教育教学指导委员会组织开展了这一次的课程和教材开发工作，编写出版了这一系列教材。其间，曾得到西门子分析仪器技术服务中心的技术指导，使这批教材更适应于职业教育与培训的需要，更具有现

代技术特色。

随着它们被相关院校日益广泛地使用，可望我国高职高专系统的材料工程技术和建筑装饰技术两个专业的教学工作将出现新的局面，其教学水平和教学质量将上一个新的台阶。

中国职业技术教育学会副会长、学术委员会主任

高职高专教育教学指导委员会主任

杨金土

2006 年 1 月

前 言

混凝土是当今世界上用量最大、使用范围最广的建筑工程材料，在人们日常生活的各个方面都直接或间接地涉及，已经成为现代社会的基础。“混凝土材料技术”作为材料工程技术专业的一门专业技术课程，介绍了各种混凝土的原材料、结构性能、混凝土的强度、耐久性、配合比设计，以及混凝土外加剂、混凝土材料生产的质量控制和生产工艺过程等内容，并通过试验进一步加深对材料性能的认识。

根据高职教育应培养高等职业技术应用型人才的培养目标要求，教材编写过程中，在注重理论知识的同时，更加注重了能力的培养，力求教材的实用性，体现能力本位的教学思想。同时，注意跟踪国内外混凝土材料技术的发展动态，尽量介绍混凝土材料发展的新品种、新技术、新标准，努力融入“绿色建材”的观念，以适应培养新世纪高等职业技术人才的要求。

本教材作为材料工程技术专业的专业课程，注意了与其他课程的衔接，在保持教材内容完整性的同时，尽量避免不必要的重复。学习本课程必须重视理论联系实际，注意将课堂学习、讨论和现场教学紧密结合起来，努力培养认识问题和解决问题的能力。

本教材由安徽职业技术学院葛新亚担任主编，并编写第1、第2章和第3章第1、第2、第7节；天津城建学院高职学院房淑玲负责编写第6章；黑龙江建筑职业技术学院纪明香负责编写第5、第7章及第4章第2节；安徽职业技术学院方瑾负责编写第3章第3~6节及第4章第1、第3节的内容。

作为一门与实际工程紧密相关的课程，混凝土材料涉及的内容很多。由于编者水平所限，加之时间仓促，难免有遗漏和谬误之处，敬请专家同仁和广大读者批评指正。

编者

2006年4月

目 录

1 绪论	1
1.1 混凝土的分类及特点	1
1.1.1 混凝土的分类	1
1.1.2 混凝土的特点	2
1.2 混凝土的发展史	3
1.3 混凝土的发展趋势	4
1.3.1 高强、高性能、绿色化	4
1.3.2 轻质混凝土的广泛应用	5
1.3.3 复合材料将占据主导地位	6
1.4 本课程的任务	6
2 普通混凝土	7
2.1 普通混凝土的原材料	7
2.1.1 水泥	7
2.1.2 骨料	14
2.1.3 混凝土拌合用水	19
2.1.4 外加剂	20
2.1.5 矿物掺合料	20
2.2 混凝土拌合物的性质	23
2.2.1 混凝土拌合物的和易性	23
2.2.2 混凝土拌合物的离析和泌水	27
2.2.3 混凝土的早期体积变形	29
2.3 普通混凝土的结构	30
2.3.1 水泥石的亚微观结构	30
2.3.2 混凝土的宏观结构及分层现象	31
2.3.3 水泥石与骨料的黏结作用	31
2.4 普通混凝土的变形性能	33
2.4.1 混凝土的弹性模量	33
2.4.2 混凝土的徐变	35
2.4.3 混凝土的收缩变形	38
2.4.4 混凝土常见裂缝的预防与修补	44
2.5 普通混凝土的物理性能	46
2.5.1 密度与密实度	46
2.5.2 热工性能	48
2.5.3 混凝土的声学性质	50
2.6 普通混凝土的强度	50
2.6.1 混凝土的主要强度	51

2.6.2	混凝土的破坏过程	53
2.6.3	影响混凝土强度的主要因素	54
2.7	普通混凝土的抗冻性	60
2.7.1	混凝土的冻融破坏机理	60
2.7.2	混凝土抗冻性的评定方法	61
2.7.3	影响混凝土抗冻性的因素	63
2.7.4	提高混凝土抗冻性的措施	64
2.8	普通混凝土的抗渗性	65
2.8.1	混凝土抗渗性的评定方法	65
2.8.2	影响混凝土抗渗性的因素	66
2.9	普通混凝土的抗蚀性	68
2.9.1	混凝土的抗化学侵蚀	68
2.9.2	钢筋的腐蚀	73
2.9.3	混凝土的抗磨蚀性与气蚀性	74
2.9.4	混凝土的耐火性	75
2.10	混凝土的碱-骨料反应	76
2.10.1	碱-骨料反应的类型与作用机理	76
2.10.2	碱-骨料反应的防治	77
3	混凝土外加剂	81
3.1	概述	81
3.1.1	混凝土外加剂的定义	81
3.1.2	混凝土外加剂的分类	82
3.2	减水剂	82
3.2.1	减水剂的物理化学基础	82
3.2.2	普通减水剂	85
3.2.3	高效减水剂	88
3.3	引气剂	91
3.3.1	概述	91
3.3.2	引气剂的作用原理	92
3.3.3	引气剂对混凝土性能的影响	94
3.3.4	引气剂的使用	94
3.4	调凝剂	95
3.4.1	速凝剂的机理与应用	95
3.4.2	早强剂的机理与应用	97
3.4.3	缓凝剂的机理与应用	99
3.5	防冻剂	100
3.5.1	常用防冻剂种类	100
3.5.2	防冻剂的作用原理	101
3.5.3	防冻剂对混凝土性能的影响	101
3.5.4	防冻剂的应用	102
3.6	其他混凝土外加剂	104
3.6.1	防水剂	104

3.6.2	膨胀剂	104
3.6.3	泵送剂	107
3.6.4	阻锈剂	108
3.6.5	混凝土脱模剂	109
3.7	外加剂的选择与使用	111
3.7.1	外加剂的选择	111
3.7.2	外加剂的掺量	112
3.7.3	外加剂的掺加方法	112
4	混凝土材料生产与质量控制	115
4.1	普通混凝土的配合比设计	115
4.1.1	混凝土配合比设计的基本原则	115
4.1.2	混凝土配合比设计的步骤	115
4.1.3	混凝土配合比设计实例	122
4.1.4	掺粉煤灰混凝土的配合比设计	123
4.1.5	特种混凝土的配合比设计	126
4.2	普通混凝土的质量检验与控制	130
4.2.1	混凝土的强度统计方法	130
4.2.2	混凝土质量的控制	132
4.2.3	混凝土强度的合格性检验	133
4.2.4	混凝土的非破损检验	135
4.3	普通混凝土拌合物制备的生产工艺	135
4.3.1	工艺流程介绍	135
4.3.2	原材料的储存和计量	135
4.3.3	混凝土拌合物的搅拌及运输	138
4.3.4	混凝土的密实成型工艺	142
4.3.5	混凝土的养护	146
5	轻质混凝土	151
5.1	概述	151
5.2	轻骨料混凝土	151
5.2.1	轻骨料混凝土的定义与分类	151
5.2.2	轻骨料混凝土的原材料组成	152
5.2.3	轻骨料混凝土的性能	157
5.2.4	轻骨料混凝土的配合比	161
5.2.5	轻骨料混凝土的施工	164
5.2.6	轻骨料混凝土的应用	164
5.3	加气混凝土	165
5.3.1	加气混凝土基本组成材料	165
5.3.2	加气混凝土的结构	169
5.3.3	加气混凝土的性能	171
5.3.4	加气混凝土的配合比设计	173
5.3.5	加气混凝土的生产工艺简介	175
5.3.6	加气混凝土的应用	177

5.4	大孔混凝土	178
5.4.1	大孔混凝土的定义与分类	178
5.4.2	大孔混凝土的原材料	178
5.4.3	大孔混凝土的性能	179
5.4.4	大孔混凝土的配合比设计	179
5.4.5	大孔混凝土的施工	181
5.5	其他轻质混凝土	182
5.5.1	泡沫混凝土	182
5.5.2	轻骨料多孔混凝土	184
6	特种混凝土	188
6.1	硅酸盐混凝土	188
6.1.1	概述	188
6.1.2	硅酸盐混凝土的基本原材料	188
6.1.3	硅酸盐混凝土的结构	193
6.1.4	硅酸盐混凝土的性能	194
6.1.5	硅酸盐混凝土的配合比选择	196
6.2	纤维增强混凝土	198
6.2.1	纤维增强材料	198
6.2.2	纤维增强混凝土的增强机理	199
6.2.3	钢纤维混凝土	200
6.2.4	玻璃纤维混凝土	201
6.2.5	有机合成纤维混凝土	203
6.3	聚合物混凝土	204
6.3.1	聚合物水泥混凝土	204
6.3.2	聚合物浸渍混凝土	206
6.3.3	聚合物胶结混凝土	209
6.4	自应力混凝土	211
6.4.1	概述	211
6.4.2	膨胀水泥的种类	211
6.4.3	自应力混凝土	211
6.4.4	自应力混凝土的应用	213
6.5	耐酸混凝土	214
6.5.1	水玻璃耐酸混凝土的原材料	214
6.5.2	水玻璃耐酸混凝土的凝结硬化和性能	216
6.5.3	水玻璃耐酸混凝土的施工及配合比要求	218
6.6	耐热(耐火)混凝土	220
6.6.1	耐热混凝土的定义、分类和应用	220
6.6.2	硅酸盐耐热混凝土	220
6.6.3	铝酸盐水泥耐热混凝土	222
6.6.4	磷酸或磷酸盐耐热混凝土	223
6.6.5	水玻璃耐热混凝土	223
6.7	流态化混凝土	224

6.7.1	流态化混凝土的定义及发展情况	224
6.7.2	流化剂的种类和掺加方法	224
6.7.3	流态混凝土的原材料要求	226
6.7.4	流态混凝土拌合物的性质	227
6.7.5	流态混凝土的配合比要求	229
6.8	高性能混凝土	233
6.8.1	概述	233
6.8.2	高性能混凝土的原材料	233
6.8.3	高性能混凝土的性能	234
6.8.4	高性能混凝土的施工与应用	235
6.9	道路混凝土与绿化混凝土	236
6.9.1	概述	236
6.9.2	道路水泥混凝土的技术要求	237
6.9.3	道路混凝土的原材料和配合比	237
6.9.4	道路混凝土的施工	242
6.9.5	绿化混凝土	246
7	混凝土试验	250
7.1	混凝土骨料性能试验	250
7.1.1	取样方法与试样处理	250
7.1.2	砂的试验	251
7.1.3	石子的试验	256
7.2	混凝土拌合物性能试验	261
7.2.1	混凝土拌合物取样及试样制备	261
7.2.2	混凝土拌合物和易性试验	262
7.2.3	混凝土拌合物表观密度试验 (GB/T 50080—2002)	264
7.3	硬化混凝土力学性能试验	264
7.3.1	立方体抗压强度试验	264
7.3.2	混凝土抗折强度试验	266
7.3.3	混凝土非破损检验	267
7.4	混凝土耐久性试验	269
7.4.1	混凝土抗渗性能试验 (JGJ/T 55—2000)	269
7.4.2	混凝土抗冻性能试验 (JGJ/T 55—2000)	270
7.4.3	混凝土收缩试验	271
7.4.4	混凝土动弹性模量试验	272
7.5	掺外加剂混凝土试验	274
7.5.1	混凝土的技术条件	274
7.5.2	混凝土拌合物试验	275
7.5.3	硬化混凝土试验	277
参考文献		279

1 绪论

所谓混凝土，是指由胶结材（无机的、有机的、无机有机复合的）、颗粒状骨料以及必要时加入化学外加剂和矿物掺合料，组成按一定的比例拌和，并在一定条件下经硬化后形成的复合材料。

社会的进步推动了混凝土材料科学的发展，而混凝土材料的创新与发展又进一步影响和促进着社会的进步。混凝土实际上已经成为现代社会的基础。在人们日常生活的各个方面都直接或间接地涉及混凝土。例如，由混凝土材料建造的工业与民用建筑、道路、桥梁、机场、海港码头、电站、蓄水池、大坝、混凝土输水管道、排水管，以及地下工程、国防工程、海上石油钻井平台、宇宙空间站等都离不开混凝土。

1.1 混凝土的分类及特点

1.1.1 混凝土的分类

随着科学技术的进步和经济的不断发展，社会对水泥和混凝土数量的需求越来越大，性能要求越来越高，满足各种工程需要的混凝土品种也越来越多。因此，其分类方法也是多种多样，较常用的几种分类方法如下。

1.1.1.1 按胶结材分类

（1）无机胶结材混凝土

① 水泥混凝土 是以硅酸盐水泥及各种混合水泥为胶结材，可用于各种混凝土结构。

② 硅酸盐混凝土 是由石灰和各种含硅原料（砂及工业废渣）以水热合成方法来产生水化胶凝物质，可用于制作各种硅酸盐砌块等。

③ 石膏混凝土 是以各种石膏作为胶结材，可制作天花板、内隔墙等。

④ 水玻璃混凝土 是以水玻璃为胶结材，可制作耐酸混凝土结构物，如贮酸槽等。

（2）有机胶结材混凝土

① 沥青混凝土 以天然或人造沥青为胶结材制成的，可用于道路工程。

② 聚合物胶结混凝土（又称树脂混凝土） 它是以聚酯树脂、环氧树脂、脲醛树脂等为胶结材制成的，适用于在有侵蚀介质的环境中使用。

（3）无机有机复合胶结材混凝土

① 聚合物水泥混凝土 是以水泥为主要胶结材，掺入少量聚合物或用掺有聚合物的水制成的，适用于路面、桥梁及修补工程。

② 聚合物浸渍混凝土 是以水泥混凝土为基材，用有机单体液浸渍和聚合制成的，适用于耐磨、抗渗、耐腐蚀等混凝土工程。

1.1.1.2 按骨料分类

① 重混凝土 用钢球、铁矿石、重晶石等做骨料，混凝土密度 $>2500\text{kg/m}^3$ ，用于防辐射的混凝土工程。

② 普通混凝土 用普通砂、石做骨料，混凝土密度为 $2100\sim 2400\text{kg/m}^3$ ，是较常用的结构工程材料。

③ 轻骨料混凝土 用天然或人造轻骨料，混凝土密度小于 1900kg/m^3 ，可用于承重结构或制作保温隔热制品。

④ 大孔混凝土 仅由（重质或轻质）粗骨料和胶结材制成。骨料颗粒表面包以水泥浆，颗粒间为点接触，颗粒之间有一定的空隙。这种混凝土主要用于墙体。

⑤ 细粒混凝土 主要是由细颗粒和胶结材制成，多用于制造薄壁构件。

⑥ 多孔混凝土 这种混凝土既无粗骨料，也无细颗粒，全是由磨细的胶结材和其他粉料加水拌成料浆，用机械方法或化学方法使之形成许多微小的气泡后再经硬化制成，可用于屋盖、楼板、墙体材料等。

1.1.1.3 按混凝土性能分类

按混凝土的性能分类有：早强混凝土、补偿收缩混凝土、高强混凝土、高性能混凝土等。

1.1.1.4 按施工工艺分类

根据混凝土的工艺不同又可分为两大类：一类是现浇混凝土，如泵送混凝土、真空吸水混凝土、碾压混凝土、喷射混凝土、直流平自密实混凝土等；另一类是预制混凝土，如挤压混凝土、离心混凝土、振压混凝土等。

1.1.1.5 按用途分类

有结构混凝土、防辐射混凝土、大坝混凝土、海工混凝土、道路混凝土、耐热混凝土、耐酸混凝土、水下不分散混凝土等。

1.1.1.6 按配筋方式分类

有素混凝土、钢筋混凝土、预应力混凝土、纤维增强混凝土等。

1.1.2 混凝土的特点

(1) 混凝土的优点

混凝土材料之所以能够得到不断发展，主要因为它具有一系列的优良性能和特点。

i. 原材料丰富，能就地取材，生产成本低。

ii. 混凝土强度较高，像天然石材一样坚硬；耐久性好，适用性强，无论水下、海洋还是寒冷、炎热的环境都能适用。

iii. 可塑性好，适应不同的结构要求；性能灵活，可根据不同需要配制不同强度、不同性能的混凝土。

iv. 作为基材，混凝土与其他材料的复合能力强，如钢筋混凝土、纤维增强混凝土、聚合物混凝土等。

v. 混凝土的能源消耗较其他建筑材料要低，见表 1-1。

表 1-1 各种建筑材料的能耗比较

材料品种	能耗/($\times 10^6\text{kcal}^\text{①}$ /t)	材料品种	能耗/($\times 10^6\text{kcal}^\text{①}$ /t)
水泥	1.16	砖	1.0
玻璃	3.78	木材	0.35~0.55
铝材	73.1	混凝土	0.56~0.66
砂、石	0.09	钢材	7.4

① $1\text{kcal}=4.1868\text{kJ}$ 。

- vi. 作为建筑材料, 较之木材、塑料、钢材, 混凝土具有良好的耐火性能。
- vii. 混凝土结构物一旦投入使用, 维修工作量少, 维修费用低。
- viii. 可有效地利用工业废渣, 如粉煤灰、矿渣、尾矿粉等, 节约资源, 减轻环境污染。

(2) 混凝土的缺点

然而混凝土材料也有其缺点, 限制了它的使用范围, 主要有如下几点。

- i. 混凝土的脆性大, 抗拉强度低 (约为其抗压强度的 $1/20 \sim 1/12$), 抗冲击性能差。
- ii. 自重大, 混凝土的密度一般在 $2350 \sim 2450 \text{ kg/m}^3$, 而普通黏土砖一般在 1800 kg/m^3 左右。
- iii. 体积稳定性差, 干燥收缩大, 在荷载作用下的徐变也大。
- iv. 若作为墙体材料, 其热导率比较大, 一般在 $5.0 \text{ kJ}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ [$1.2 \text{ kcal}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$] 左右, 约为砖的 2 倍。

鉴于上述问题, 可以通过合理的设计、适当的选材以及严格的质量管理和控制来加以弥补。而近来各种新型、特种混凝土的出现正逐渐完善混凝土的性能, 扩大混凝土的使用范围。

1.2 混凝土的发展史

混凝土的出现可以上溯几千年, 如中国的万里长城、埃及金字塔、古罗马的建筑等都已使用了以石灰、石膏或天然火山灰为胶结材的混凝土。1980 年及 1983 年, 中国考古工作者在甘肃泰安县大地湾先后发现了两块距今约 5000 多年的混凝土地坪, 其所使用的胶结材是水硬性的, 混凝土强度亦达到 11 MPa 。古罗马在 2000 年前也曾使用具有较强水硬性的胶凝材料建造地下水道。然而混凝土生产技术的形成和飞速发展则仅有 100 多年的历史。

1824 年, 英国人阿斯普丁 (J. Aspdin) 第一个获得了生产波特兰水泥的专利。此后水泥和混凝土的生产技术得以迅速发展, 混凝土的强度及其性能也都有了很大的提高, 混凝土用量急剧增加。时至今日, 混凝土材料已经成了世界上用量最大、用途最广的人造材料。

1850 年, 法国人朗波 (J. L. Lambat) 研究出使用钢筋混凝土的方法, 并首次制成了钢丝网水泥船, 使得混凝土的范围更加扩大。1887 年, 科伦 (M. Koenen) 首先发表了钢筋混凝土的计算方法, 为钢筋混凝土的设计提供了理论依据。

1919 年, 艾布拉姆斯 (D. A. Abrams) 发表了著名的水灰比学说; 1925 年, 利滋 (Lyse) 发表了灰水比学说、恒定用水量学说, 从而奠定了现代混凝土的理论基础。

1928 年, 法国的佛列西涅 (E. Freyssinet) 提出了混凝土的收缩和徐变理论, 发明了预应力钢筋混凝土施工工艺。预应力混凝土的出现, 是混凝土技术的一次飞跃。预应力技术弥补了混凝土抗拉强度低的弱点, 为钢筋混凝土结构在大跨度桥梁、高层建筑, 以及在抗震、防裂等方面的应用开辟了新的途径。

1960 年前后, 混凝土外加剂的出现, 尤其是高效减水剂的大量使用, 不仅改善了混凝土的各种性能, 而且为混凝土施工工艺的发展创造了良好的条件。在混凝土拌合物中掺入减水剂, 可以大幅度地降低水灰比, 提高强度或拌合物的流动性, 使拌合物的搅拌、运输、浇筑和成形等工艺过程变得容易操作。目前, 混凝土外加剂已经成为混凝土原材料中不可或缺的第五种组分。

混凝土的有机化又使混凝土这种结构材料走上了一个新的发展阶段。如聚合物浸渍混凝土及树脂混凝土, 不仅抗拉、抗压、抗冲击强度都大幅度提高, 而且具有高抗腐性等特点, 因而在特种工程中得到了广泛应用。聚合物浸渍混凝土的抗压强度和抗拉强度较其基材提高

了 2~4 倍,抗渗压力可达 5MPa,抗冻融循环次数在 1100 次以上,并具有很高的耐腐蚀性能。

由于混凝土材料具有原材料来源广、便于施工、可灌注任何形状、能适应各种环境、经久耐用等特点,因而,混凝土材料被广泛地应用于工业与民用建筑、城市建设、水利工程、地下工程、国防工业等国民经济的各个方面。目前全世界水泥年产量在 22 亿吨左右,由此估计的混凝土用量将超过 60 亿立方米。中国是世界上的水泥生产大国,全国累计水泥产量 9.7 亿吨,由此估算的混凝土产量约在 26 亿立方米,占世界总产量的 44% 以上。据国内外专家分析,在以后的 100~200 年内,混凝土仍将是最主要的建筑材料之一。

1.3 混凝土的发展趋势

混凝土材料技术发展到现在,已经建立了一套较为完备的设计、生产、施工、检验到使用等的混凝土质量保证体系。今后混凝土材料技术将主要沿着高强、高性能、轻质、复合、经济耐久及环保等方向发展。

1.3.1 高强、高性能、绿色化

1.3.1.1 向高强度发展

由于混凝土技术的不断进步,特别是近期以来的快速发展,世界各国使用的混凝土平均强度不断提高。例如,20 世纪 30 年代的混凝土平均强度为 10MPa,50 年代约为 20MPa,70 年代已达到 40MPa。目前,在发达国家已普遍使用 C60 的高强混凝土,C80 的混凝土用量也在不断增加,C100 以上的混凝土也已应用到工程上。国内目前在混凝土结构工程中的强度等级普遍为 C25、C30、C40,C50、C60 的高强混凝土在一些大型工程中的应用量也日渐增多。高强混凝土具有强度高、变形小、耐久性好等特点,适用于高层、超高层、大跨度、耐久性要求高的建筑物。为减轻结构自重,增加使用面积,在预应力管桩构件、超高层建筑的钢管混凝土等结构中已开始使用 C80 的混凝土。

1.3.1.2 向高性能发展

高性能混凝土(high performance concrete)是当今混凝土材料科学研究的主要课题之一。高性能混凝土(HPC)是一种新型的高技术混凝土,是在大幅度提高常规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,在妥善的质量控制下制成的。除采用优质水泥、水和骨料以外,必须采用低水胶比和掺加足够数量的矿物细掺料与高效外加剂。高性能混凝土一般应满足以下几项要求。

① 高工作性 混凝土拌合物具有大的流动性,不离析、泌水,易泵送、易成型、自密实,能保证混凝土的浇筑质量。

② 良好的物理力学性能 高性能混凝土应具有较高的强度、较高的弹性模量和体积稳定性。

③ 高耐久性 这是高性能混凝土最重要的性能。其使用寿命应在 100 年以上。较高的工程使用寿命是节约资源和能源的有效途径之一。

④ 经济合理 高性能混凝土的使用不能较大幅度地提高工程造价。

1.3.1.3 混凝土的绿色化

目前大量使用的硅酸盐水泥和混凝土,均对环境造成了严重的破坏。混凝土工业每年对天然骨料的消耗量约在 80 亿吨以上;而每生产 1t 硅酸盐水泥则要消耗 1.5t 的石灰石和大量的煤、石油、电等能源;每生产 1t 水泥熟料要排放 1t 二氧化碳,二氧化碳是造成温室效应的主要原因之一。此外,水泥工业还要向大气排放大量的粉尘、二氧化硫、二氧化氮及其

他污染物。水泥工业被认为是高能耗、高污染的工业之一。为此,中国首先提出了绿色高性能混凝土的概念。绿色高性能混凝土应具有如下特征。

i. 所使用的水泥为绿色水泥,即在水泥生产过程中的资源利用率和二次能源回收率提高到最高水平,并能够循环利用其他工业废料;严格的质量管理和环境保护措施;粉尘、废渣和废气几乎接近于零排放。

ii. 最大限度地节约水泥,从而减少水泥生产过程中二氧化碳、二氧化硫、氧化氮等气体的排放,以保护环境。

iii. 更多地掺加以工业废渣为主的活性磨细掺合料,如磨细矿渣、优质粉煤灰、硅粉等。这样不仅能节约水泥,改善环境,节约资源和能源,而且还具有降低水化热、改善混凝土耐久性的作用。

iv. 在混凝土中掺加高效能外加剂尤其是高效减水剂,以达到提高拌合物的工作性、提高强度或节约水泥的目的。

v. 尽量发挥高性能的优势,减少水泥和混凝土的用量。利用高性能混凝土的高强度,减小结构截面积或结构体积,减少混凝土用量,达到节约水泥、砂、石用量的目的。同时,通过改善混凝土的施工性能,以降低噪声和密实成型过程的能耗;通过大幅度提高混凝土的耐久性,延长结构物的使用寿命,以减少维修和重建费用。

vi. 混凝土的循环使用。通过使用拆除建筑的大量旧混凝土,不仅可以废物利用,减少环境污染,还可以进一步利用已硬化混凝土的潜在能量,生产再生混凝土。

此外,大力发展预拌混凝土和混凝土商品化也是绿色高性能混凝土的方向之一。通过混凝土生产的专业化集中搅拌,不仅可使混凝土质量得到保证,节约原材料、降低能耗,又能减轻劳动强度,提高劳动生产率,有助于施工环境的改善。目前,发达国家的预拌混凝土在混凝土总量中的比例已达80%以上,在中国一些城市,如北京、上海、天津等的比例也已达70%以上。

近年来欧美一些国家正致力于研究多种超高性能混凝土,例如法国的活性粉末混凝土,由于超高强与优异的耐久性,可比高性能混凝土减少结构自重 $1/3\sim 1/2$,减少截面尺寸和改变形状;日本等国也开始研究开发高新技术混凝土,如灭菌、环境调节、变色、智能混凝土等。这些新技术的发展,说明混凝土性能还有很大潜力,在混凝土技术和应用方面有着很大的发展空间。

1.3.2 轻质混凝土的广泛应用

自重大是普通混凝土材料的一大缺点,因而其使用量也受到了一定限制。减轻混凝土材料的自重是混凝土材料科学发展的重要目标之一。

减轻混凝土的自重有如下几种方法:一是采用轻骨料(如浮石、火山渣、黏土陶粒、粉煤灰陶粒等)制成轻骨料混凝土;二是在混凝土中加入气泡制成多孔混凝土(如加气混凝土、泡沫混凝土等);三是轻骨料与在水泥浆中引入气泡相结合的轻质混凝土。

发展轻骨料混凝土是使混凝土向轻质、高强方向发展的主要技术途径之一。目前,美国采用高强轻骨料配制的混凝土密度为 $1400\sim 1800\text{kg/m}^3$,抗压强度为 $30\sim 70\text{MPa}$,德国生产的轻骨料混凝土密度为 $1600\sim 1800\text{kg/m}^3$,抗压强度也达到了 $30\sim 70\text{MPa}$ 。日本已使用抗压强度为 60MPa 的结构轻骨料混凝土。轻骨料混凝土在中国也得到了广泛的应用,到20世纪90年代末,人造轻骨料的年产量已达300万立方米以上。强度等级在CL30~CL40的高强轻骨料混凝土已在高层、大跨度土木工程中得到较多的应用。CL50以上的高性能轻骨料混凝土也已在研究开发之中。据估计,未来15~20年中国人造轻骨料的年产量将达5000万立方米,其中以粉煤灰、尾矿粉、河川污泥为主要原材料的绿色轻骨料将占主导地位。