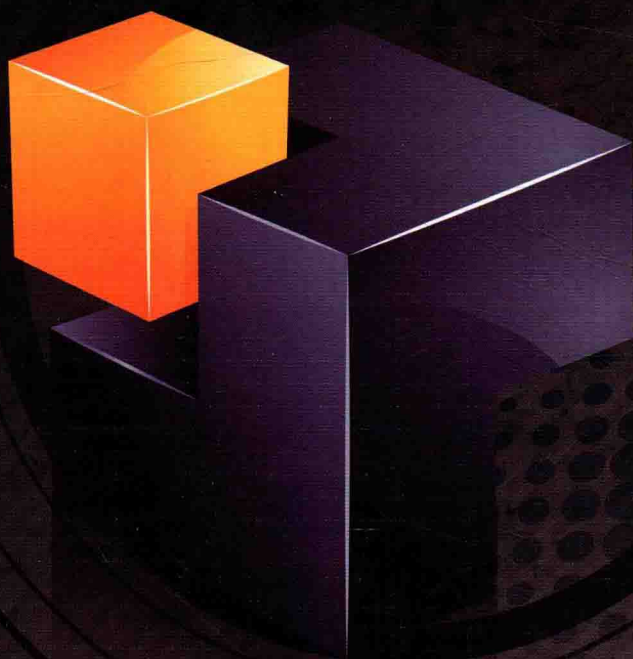


混凝土

质量控制与检验

葛新亚 主编

HUANNINGTU
ZHILIANG KONGZHI
YU
JIANYAN

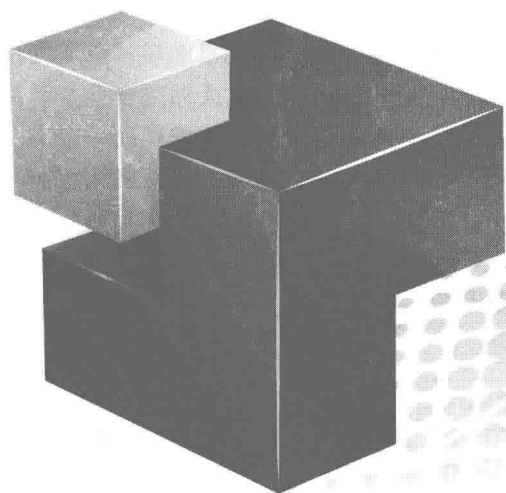


化学工业出版社

混凝土 质量控制与检验

葛新亚 主编

HUNNINGTU
ZHILIANG KONGZHI
YU
JIANYAN



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要介绍普通混凝土和新型及特种混凝土的原材料、混凝土的强度、耐久性的性能分析与检测、配合比设计,混凝土材料的质量控制等。根据材料工程技术专业教学改革的目标要求,以突出实用性,体现能力本位的要求组织教学内容。

本书以职业标准作为编写依据,注重理论知识的系统性和实践操作训练的系统性。密切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。

本书可作为高职高专和高等院校应用型本科材料工程技术专业教材,还可以作为相关领域工程技术人员的培训教材和参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土质量控制与检验/葛新亚主编. —北京:化学工业出版社, 2015. 12
ISBN 978-7-122-25472-6

I. ①混… II. ①葛… III. ①混凝土-质量控制②混凝土-质量检验 IV. ①TU528.07

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 253318 号

责任编辑:李仙华 王文峡
责任校对:宋 夏

装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 刷:北京市振南印刷有限责任公司
装 订:三河市宇新装订厂
787mm×1092mm 1/16 印张19¼ 字数472千字 2016年3月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:45.00 元

版权所有 违者必究

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，在人们的日常生活的各个方面都直接或间接地涉及混凝土，混凝土材料已经成为现代社会的基础。本书主要介绍普通混凝土和新型及特种混凝土的原材料、混凝土的强度、耐久性的性能分析与检测、配合比设计，混凝土材料的质量控制等。根据材料工程技术专业教学改革的目标要求，以突出实用性，体现能力本位的要求组织教学内容。课程教学应注重理论与实践的结合，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。

本书编写过程中依据高职教育应培养高等职业技术应用型人才的目标和本行业职业岗位能力要求，以职业标准作为教材编写的依据，注重理论知识的系统性和实践操作训练的系统性。密切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。本书注意中高职的衔接，既适应高职学生使用，也可作为中职生的教材，还可以作为工程技术人员的培训教材和参考用书。

全书由安徽职业技术学院葛新亚统稿并担任主编。其中葛新亚编写绪论及第2、3、4、8章及第1章的第1、2、3节；山西职业技术学院李文字编写第5章的1、2、3节及第7章；安徽职业技术学院方瑾编写第1章的第3节和第5章的第4、5节；黑龙江建筑职业技术学院纪明香编写第6章。本书编写过程中得到了安徽省混凝土协会、合肥市格林工程材料有限公司等企业专家的大力支持，在此一并表示感谢。

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。由于编者水平有限，加之时间仓促，难免有疏漏和不足之处，恳请专家同仁和广大读者批评指正。

本书提供有PPT电子课件，可登录网站 www.cipedu.com.cn 免费获取。

编者
2015年10月

目 录

0 绪论	1
0.1 混凝土的分类及特点	1
0.1.1 混凝土的分类	1
0.1.2 混凝土的特点	2
0.2 混凝土的发展史	3
0.3 混凝土的发展趋势	4
0.3.1 高强、高性能、绿色化	4
0.3.2 轻质混凝土的广泛应用	5
0.3.3 复合材料将占据主导地位	6
0.4 本课程的学习目标和方法	6
思考与练习	6
1 普通混凝土原材料性能与检验	7
1.1 水泥的性能与选择	7
1.1.1 硅酸盐水泥	8
1.1.2 其他品种水泥	12
1.1.3 水泥的选择	14
1.2 骨料及拌和用水的性能与评价	15
1.2.1 细骨料	15
1.2.2 粗骨料	18
1.2.3 混凝土拌和用水要求	21
1.3 矿物掺合料	21
1.3.1 粉煤灰	22
1.3.2 硅粉	23
1.3.3 磨细矿渣	24
1.3.4 沸石粉	24
1.4 外加剂的选择与使用	25
1.4.1 混凝土外加剂的定义与分类	26
1.4.2 减水剂	26
1.4.3 引气剂	36
1.4.4 调凝剂	39
1.4.5 其他混凝土外加剂	43
1.5 实践操作 原材料性能检测	51
1.5.1 骨料取样方法与试样处理	51
1.5.2 砂的试验	53
1.5.3 石子的试验	58
思考与练习	60

2 混凝土拌合物的质量控制	62
2.1 混凝土拌合物的和易性检测	62
2.1.1 和易性测定方法	62
2.1.2 影响和易性的主要因素	64
2.2 混凝土拌合物离析和泌水	66
2.2.1 离析与泌水产生的原因和危害	66
2.2.2 混凝土的早期体积变形	69
2.3 普通混凝土的结构分析	69
2.3.1 水泥石的亚微观结构	70
2.3.2 混凝土的宏观结构及分层现象	70
2.3.3 水泥石与骨料的黏结作用	72
2.3.4 混凝土的过渡区理论	72
2.4 实践操作 混凝土拌合物和易性的测定	73
2.4.1 混凝土拌合物取样及试样制备	73
2.4.2 混凝土拌合物和易性试验	74
2.4.3 泌水与压力泌水试验	76
思考与练习	79
3 混凝土物理力学性能与检测	80
3.1 混凝土的变形性能	80
3.1.1 混凝土的弹性模量	80
3.1.2 混凝土的徐变	82
3.1.3 混凝土的收缩变形	86
3.2 混凝土常见裂缝的预防与修补	92
3.2.1 常见裂缝与预防	92
3.2.2 裂缝处理	94
3.3 普通混凝土的物理性能	95
3.3.1 密度与密实度	95
3.3.2 热工性能	97
3.4 普通混凝土的强度	99
3.4.1 混凝土的主要强度	99
3.4.2 混凝土的破坏过程	102
3.4.3 影响混凝土强度的主要因素	103
3.5 实践操作 硬化混凝土物理力学性能试验	110
3.5.1 混凝土立方体抗压强度试验	110
3.5.2 混凝土抗折强度试验	111
思考与练习	112
4 混凝土的耐久性能及检验	114
4.1 普通混凝土的抗冻性	114
4.1.1 混凝土的冻融破坏机理	114
4.1.2 混凝土的抗冻性评定方法	116
4.1.3 影响混凝土抗冻性的因素	117

4.1.4	提高混凝土抗冻性的措施	119
4.2	普通混凝土的抗渗性	120
4.2.1	混凝土的抗渗性评定方法	120
4.2.2	影响混凝土抗渗性的因素	121
4.3	普通混凝土的抗蚀性	123
4.3.1	混凝土的抗化学侵蚀	123
4.3.2	钢筋的腐蚀	128
4.3.3	混凝土的抗磨蚀性与气蚀性	130
4.3.4	混凝土的耐火性	131
4.4	混凝土的碱—骨料反应	132
4.4.1	碱—骨料反应的类型与作用机理	132
4.4.2	碱—骨料反应的防治	134
4.5	实践操作 混凝土耐久性检验	135
4.5.1	混凝土抗渗性能试验 (JGJ/T 55—2000)	135
4.5.2	混凝土抗冻性能试验 (JGJ/T 55—2000)	136
	思考与练习	138
5	混凝土配合比设计与生产质量控制	139
5.1	普通混凝土的配合比设计	139
5.1.1	混凝土配合比设计的基本原则	139
5.1.2	混凝土配合比设计的基本资料	140
5.1.3	混凝土配合比设计的步骤	140
5.1.4	混凝土配合比设计实例	150
5.2	特种混凝土的配合比设计	155
5.2.1	抗冻混凝土	155
5.2.2	抗渗混凝土	156
5.2.3	大体积混凝土配合比设计	158
5.2.4	高强混凝土	159
5.2.5	泵送混凝土	160
5.3	普通混凝土的质量检验与控制	161
5.3.1	混凝土的强度检验评定	161
5.3.2	混凝土强度的合格性评定	164
5.3.3	混凝土生产的质量控制	165
5.3.4	混凝土的非破损检验	172
5.4	普通混凝土拌合物的制备工艺	173
5.4.1	原材料的储存和计量	173
5.4.2	混凝土拌合物的搅拌及运输	175
5.4.3	混凝土的密实成型工艺	178
5.5	混凝土的养护	183
5.5.1	标准养护	183
5.5.2	自然养护	183
5.5.3	快速养护	184

5.6 实践操作 混凝土非破损检验	185
5.6.1 混凝土强度回弹法检测	185
5.6.2 混凝土超声波强度检测	186
思考与练习	187
6 轻质混凝土的设计与生产	190
6.1 轻骨料混凝土	190
6.1.1 轻骨料混凝土的定义及分类	190
6.1.2 轻骨料混凝土的原料组成	192
6.1.3 轻骨料混凝土的性能	197
6.1.4 轻骨料混凝土的配合比	202
6.1.5 轻骨料混凝土的施工	206
6.1.6 轻骨料混凝土的应用	206
6.2 加气混凝土	207
6.2.1 加气混凝土基本组成材料	208
6.2.2 加气混凝土的结构	212
6.2.3 加气混凝土的性能	213
6.2.4 加气混凝土的配合比设计	216
6.2.5 加气混凝土的生产工艺简介	218
6.2.6 加气混凝土的应用	221
6.3 其他轻质混凝土	221
6.3.1 泡沫混凝土	222
6.3.2 轻骨料多孔混凝土	224
6.3.3 大孔混凝土	226
6.4 实践操作 轻骨料强度检验 (GB/T 17431.2—1998)	228
6.4.1 轻骨料筒压强度	228
6.4.2 陶粒强度等级实验	229
6.4.3 吸水率	230
思考与练习	231
7 高性能混凝土	233
7.1 概述	233
7.1.1 高性能混凝土的定义	233
7.1.2 高性能混凝土的特点及技术要求	233
7.1.3 高性能混凝土在国内外工程中实际的应用	234
7.1.4 高性能混凝土存在的问题以及今后的发展趋势	234
7.2 高性能混凝土的原材料选择	236
7.2.1 水泥	236
7.2.2 骨料	236
7.2.3 矿物微细粉	237
7.2.4 高性能减水剂	237
7.3 高性能混凝土的性能	238
7.3.1 高性能混凝土拌合物的工作性	238

7.3.2	耐久性	238
7.3.3	力学性能	239
7.3.4	体积稳定性	240
7.3.5	匀质性	240
7.3.6	高性能混凝土的生产与施工	241
7.3.7	高性能混凝土质量检验及评定	242
7.4	高性能混凝土的配合比设计	243
7.4.1	高性能混凝土配合比设计的基本要求	243
7.4.2	高性能混凝土配合比设计应考虑的几个问题	244
7.4.3	高性能混凝土配合比设计的方法步骤	245
7.5	自密实混凝土性质与配合比设计	247
7.5.1	概述	247
7.5.2	自密实混凝土的性能	248
7.5.3	自密实混凝土的原材料	251
7.5.4	自密实混凝土的配合比设计	252
7.6	实践操作 自密实混凝土拌合物性能测试	255
7.6.1	自密实混凝土坍落扩展度和 T_{50} 试验方法	255
7.6.2	自密实混凝土 J-环扩展度试验方法	255
7.6.3	自密实混凝土抗离析性试验方法	256
	思考与练习	257
8	常用特种混凝土的生产与应用	258
8.1	纤维增强混凝土的应用	258
8.1.1	纤维增强材料	258
8.1.2	纤维增强混凝土的增强机理	259
8.1.3	钢纤维混凝土	260
8.1.4	玻璃纤维混凝土	262
8.1.5	有机合成纤维混凝土	264
8.2	聚合物混凝土的性能与应用	265
8.2.1	聚合物水泥混凝土	265
8.2.2	聚合物浸渍混凝土	267
8.2.3	聚合物胶结混凝土	270
8.3	自应力混凝土的性能与应用	272
8.3.1	膨胀水泥的种类	272
8.3.2	自应力混凝土	273
8.3.3	自应力混凝土的应用	275
8.4	耐酸混凝土性能与配合比设计	275
8.4.1	水玻璃耐酸混凝土的原材料	275
8.4.2	水玻璃耐酸混凝土的凝结硬化和性能	278
8.4.3	水玻璃耐酸混凝土的施工及配合比要求	280
8.5	耐热(耐火)混凝土的选择与应用	282
8.5.1	硅酸盐耐热混凝土	282

8.5.2 铝酸盐水泥耐热混凝土 284

8.5.3 磷酸或磷酸盐耐热混凝土 285

8.6 道路混凝土与绿化混凝土应用与施工 286

8.6.1 道路水泥混凝土的技术要求 286

8.6.2 道路混凝土的原材料和配合比 287

8.6.3 绿化混凝土 291

思考与练习 294

参考文献 295

0 绪论

知识目标：掌握混凝土的概念，掌握混凝土的分类方法，了解各类混凝土的特点，了解混凝土的发展历史及趋势。

能力目标：能认识和区分不同种类的混凝土并进行归类，初步树立绿色混凝土的理念。

0.1 混凝土的分类及特点

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。和任何一种材料一样，社会的进步推动了混凝土材料科学发展，而混凝土材料的创新与发展又进一步影响和促进着社会发展。混凝土实际上已经成为现代社会的基础。在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。

0.1.1 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，为满足各种工程需要的混凝土的品种也越来越多。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。

0.1.1.1 按胶结材分类

(1) 无机胶结材混凝土

① 水泥混凝土。它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。它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。它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。它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。用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。它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泥制成。适于路面、桥梁及修补工程。

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

0.1.1.2 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 $2100\sim2400\text{kg/m}^3$ ，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 它仅由（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，颗粒之间有较大的空隙。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。

0.1.1.3 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。

0.1.1.4 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、自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。

0.1.1.5 按用途分类

按照混凝土的用途分，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。

0.1.1.6 按配筋方式分类

按混凝土配筋方式分，有素混凝土、钢筋混凝土、预应力混凝土、纤维增强混凝土等。

0.1.2 混凝土的特点

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。

① 原材料丰富，能就地取材，生产成本低。

② 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、海洋以及寒冷、炎热的环境都能适用。

③ 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。

④ 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。

⑤ 混凝土的能源消耗较之其他建筑材料要低，见表 0.1。

表 0.1 各种建筑材料的能耗比较

材料品种	能耗/($\times 10^6$ kcal/t)	材料品种	能耗/($\times 10^6$ kcal/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

注：1kcal=4.1868 $\times 10^3$ J。

⑥ 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。

⑦ 混凝土结构物一旦投入使用后,维修工作量少、维修费用低。

⑧ 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。

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。

① 混凝土的脆性大、抗拉强度低(约为其抗压强度的 $1/20 \sim 1/12$),其冲击性能差。

② 自重重大,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。

③ 体积稳定性差,其干燥收缩大,在荷载作用下的徐变也大。

④ 若作为墙体材料,其热导率比较大,一般在 $1.2 \text{ kcal}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ 左右,约为砖的 2 倍。

有鉴于上述问题,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,扩大混凝土使用范围。

0.2 混凝土的发展史

混凝土的出现可以上溯几千年,如我国的万里长城、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,我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 1 百多年的历史。

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,使拌合物在搅拌、运输、浇注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 5 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。例如,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。2013 年,全世界水泥年产量在 40 亿吨左右。我国是世界上水泥生产大国,2014 年水泥产量 24.76 亿吨,约占世界总产量的 58.6%。我国目前的混凝土产量约在 70 亿吨,占世界总产量的 45% 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。

0.3 混凝土的发展趋势

混凝土材料技术发展到今天,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。

0.3.1 高强、高性能、绿色化

0.3.1.1 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,20 世纪 50 年代约为 20MPa,20 世纪 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。我国目前在混凝土结构工程中的强度等级普遍为 C25、C30、C40,而 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。

0.3.1.2 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,能保证混凝土的浇注质量。

(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。其使用寿命应在百年以上,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。

0.3.1.3 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 1 吨硅酸盐水泥则要消耗 1.5 吨的石灰石和

大量的煤、石油、电等能源；每生产1吨水泥熟料要排放1吨二氧化碳，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，我国首先提出了绿色高性能混凝土的概念。所谓绿色高性能混凝土应具有如下特征。

① 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；严格的质量管理的环境保护措施；粉尘、废渣和废气几乎接近于零排放。

② 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。

③ 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。

④ 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。

⑤ 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。

⑥ 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，在我国一些城市如北京、上海、天津等的比例也达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，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；日本等国家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。

0.3.2 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；一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）；以及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 60 MPa 的结构轻骨料混凝土。轻骨料混凝土在我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 LC30~LC40 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。LC50 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 年我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。LC40 以上的高强、高性能混凝土将被广泛地应用到高层建筑、墙体、桥梁等结构工程中。在轻质方面,除发展传统轻骨料外,近来有些国家已开始使用废弃的合成树脂制品,如聚苯乙烯、废轮胎等经加工成多孔骨料,配制出密度为 $200\sim 500\text{kg/m}^3$ 的超轻骨料混凝土。

多孔混凝土尤其是加气混凝土是近几十年来发展迅速的一种轻质材料,它具有良好的保温隔热性能和较好的可加工性能。由于加气混凝土的原材料来源十分广泛,且可大量使用工业废渣(如粉煤灰、矿渣、尾矿粉等),因而已为世界上越来越多的国家所采用。

0.3.3 复合材料将占据主导地位

混凝土的另一大缺点是易脆、易裂、抗拉强度低,使得单一的混凝土不可能承受较大的拉荷载和冲击荷载。将混凝土与某些金属材料或非金属材料复合后,就可克服上述缺点,使其具有较高的抗拉、抗压、抗弯及抗剪应力,满足各种工程结构对混凝土性能的要求。目前,已使用的复合混凝土有:钢筋混凝土、预应力钢筋混凝土、纤维(钢纤维、合成纤维、玻璃纤维)混凝土、聚合物混凝土等。今后高强度钢筋将会大量使用,钢筋混凝土及预应力混凝土的设计理论亦将进一步完善,其他复合混凝土的使用范围将会进一步扩大。复合材料在今后的混凝土工程结构中将成为起主导作用的建筑材料。

0.4 本课程的学习目标和方法

作为材料工程技术专业的一门专业课,教学目标是使学生获得有关混凝土材料的基本理论和基本技能,培养严谨求实的学习和工作作风,培养学生分析问题和解决问题的能力。为今后从事混凝土材料生产、应用、实验和研究打下良好的理论基础。

通过本课程的学习,应使学生牢固掌握混凝土材料的组成、结构、性能、参数之间的关系,以及它们的影响因素;具备进行混凝土配合比设计、混凝土材料生产、施工、质量检测的基本能力;了解混凝土生产质量管理的理论基础。因此在学习本课程时,一是要着重了解各类混凝土的组成、性能和影响因素。针对影响混凝土性能的因素,探求提高混凝土性能的方法和途径。二是密切联系工程实际。本课程是一门实践性很强的课程,学习时应注意理论联系实际,深入施工现场,了解混凝土材料生产的全过程,结合实训,培养发现问题、解决问题的能力。

思考与练习

1. 混凝土有哪些类别,各用于何种结构或工程中?
2. 混凝土材料有哪些优缺点?
3. 简述混凝土的发展历史及今后的发展方向。
4. 何谓高性能混凝土,高性能混凝土应满足哪些要求?
5. 绿色混凝土有哪些特征?

1 普通混凝土原材料性能与检验

知识目标：掌握水泥的各种性能要求，了解水泥的水化硬化过程，掌握砂、石、水的各项性能指标，了解矿物掺合料在混凝土中的作用，了解混凝土外加剂的种类，掌握外加剂在混凝土中的作用机理，了解混凝土外加剂的掺加方法。

能力目标：能进行水泥的性能检测，能根据工程要求选择水泥，能操作各种常用检测仪器，会绘制砂的筛分曲线，会做砂石性能检测试验，会选择混凝土拌和用水，会使用各种矿物掺合料，能根据不同使用条件选择和使用外加剂。

普通混凝土是指用水泥、水、砂、石子（必要时加入其他掺合料）及外加剂，按一定比例配制，经搅拌、成型、养护而得的人造石材。此间经拌和后呈塑性状态而未凝固硬化的混凝土称混凝土拌合物，又称新拌混凝土或混凝土混合料。混凝土拌合物在一定条件下，随时间逐渐硬化成具有强度和其他性能的块体则称硬化混凝土。混凝土主要是作为一种结构材料使用的。普通混凝土是一种原材料来源广泛、施工便利，并且具有良好力学性能、耐久性及其他一些物理性能的建筑材料，被广泛地应用于建筑领域的各个方面。

混凝土所采用的原材料与所配制的混凝土的力学性能、混凝土的耐久性、变形性能等有着密切的关系，如何正确地选择和使用混凝土的原材料是获得高质量混凝土的关键。

1.1 水泥的性能与选择

教学任务：通过本次任务，学习混凝土原材料——水泥的水化硬化知识、水泥的各项性能指标。并能根据工程要求正确选择水泥。

水泥是指加水拌和成塑性浆体后，能胶结砂、石等适当材料，既能在空气中硬化，又能在水中硬化的粉状水硬性胶凝材料。它是各种类型水泥的总称。

水泥的品种繁多，至今为止已有 180 多种水泥，而且各种新型水泥仍在不断地开发应用之中。水泥的分类详见表 1.1。

表 1.1 水泥的分类

类别		定义	主要品种
按水泥的用途和性能分类	通用水泥	一般土木工程通常采用的水泥	硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥、石灰石硅酸盐水泥
	专用水泥	专门用途的水泥	如：油井水泥、道路水泥、砌筑水泥等
	特性水泥	某种性能比较突出的一类水泥	快硬硅酸盐水泥、自应力铝酸盐水泥、抗硫酸盐硅酸盐水泥、白色和彩色硅酸盐水泥等