

高等学校教材

GAO DENG XUE XIAO JIAO CAI

HUNNINGTU CAILIAOXUE

蒋林华 主编

混凝土材料学

上册

● 河海大学出版社

混凝土材料学

(上册)

蒋林华 主编



河海大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

混凝土材料学/蒋林华主编. —南京: 河海大学出版社, 2006. 8

ISBN 7-5630-2292-9

I. 混... II. 蒋... III. 混凝土—建筑材料—高等学校—教材 IV. TU528

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 102271 号

书 名/混凝土材料学

书 号/ISBN 7-5630-2292-9/TU·65

责任编辑/朱 辉

封面设计/黄 炜

出 版/河海大学出版社

地 址/南京市西康路 1 号(邮编:210098)

电 话/(025)83737852(总编室) (025)83722833(发行部)

经 销/江苏省新华书店

印 刷/南京工大印务有限公司

开 本/787 毫米×1092 毫米 1/16 28 印张 690 千字

版 次/2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

定 价/90.00 元(上、下册)

前 言

我国正处在基本建设高速发展时期,国家计划实施西部大开发、振兴东北老工业基地等发展战略,“南水北调”、“西电东送”等一大批重大工程正在或将要兴建。混凝土材料是现代土木、水利工程中应用最广泛的工程材料,发挥着其他材料无法替代的作用和功能。经过多年研究,有关混凝土材料的专著已有不少,但适合教学和培训用的混凝土材料书籍极为缺乏。河海大学是国内最早开展钢纤维混凝土、聚合物混凝土和全级配混凝土等研究的单位之一,在混凝土材料特别是水工混凝土材料方面取得了可喜的研究成果,先后承担过国家“七五”、“八五”和“九五”攻关项目,国家自然科学基金重大、重点项目以及三峡、二滩、东风等重大水利水电工程的混凝土研究项目,其中“高强度大体积混凝土材料研究”等3项成果获国家科技进步奖,另有12项成果获省部级科技进步奖。目前,河海大学正在混凝土材料的物理力学性能和耐久性、温控防裂、环境协调与再生利用、修复新材料新技术以及高性能混凝土等方面开展研究。河海大学材料科学与工程系在混凝土材料的教学和科研方面有五十多年的历史,积累了丰富的教学和科研经验。本书是编者根据河海大学材料科学与工程系长期的混凝土材料教学和科研经验编写而成的。

本书主要讲述混凝土材料的基本理论和基本知识,同时力求反映当今国际、国内混凝土材料的最新技术成果,内容涉及混凝土组成材料、配合比设计、拌合物性能、结构、物理力学性能和耐久性以及水工混凝土、道路混凝土、智能混凝土、生态混凝土等专用和新型混凝土。

本书可作为高等学校材料科学与工程、无机非金属材料工程等专业的本科生教材、研究生教学参考书,也可供材料科学、土木工程、水利水电工程、港口航道工程等领域的技术人员培训和参考使用。

全书由河海大学材料科学与工程系蒋林华教授主编,第三、五、六、七、十一章由储洪强负责编写,第四、九、十四章由刘小艳负责编写,另外,徐怡也参与了第三章的编写工作。

在编写过程中,我们学习和参考了已出版的多种混凝土材料的专著和规范标准。这些文献的丰富内容和优越的编排格式,曾给编者以很大的启发。本书的部分图表就借鉴或吸收了其中的一些成果。在此,谨向这些文献的作者表示深切的谢意。

限于编者水平,不足与不妥之处在所难免,恳请使用本书的师生及读者批评指正。

编 者

(lhjiang@nhu.edu.cn)

2006年5月

目 录

上 册

第一章 绪论	1
第一节 混凝土的定义与分类	1
第二节 混凝土在工程建设中的重要性	3
第三节 混凝土的发展概况	5
第四节 混凝土的技术标准	8
第二章 胶凝材料	10
第一节 气硬性胶凝材料	10
第二节 通用水泥	22
第三节 特种水泥	46
第四节 新型水泥	56
第五节 沥青材料	61
第三章 集料	75
第一节 集料的形成与分类	75
第二节 细集料	80
第三节 粗集料	85
第四章 化学外加剂	91
第一节 外加剂的定义与分类	91
第二节 减水剂	92
第三节 引气剂	94
第四节 缓凝剂	97
第五节 早强剂	100
第六节 速凝剂	103
第七节 其他外加剂	104
第五章 矿物外加剂	111
第一节 粉煤灰	111
第二节 矿渣	123
第三节 硅灰	126
第四节 沸石粉	127
第五节 偏高岭土	128
第六章 混凝土配合比设计	129
第一节 普通混凝土配合比设计	130

第二节	掺减水剂混凝土配合比设计	144
第三节	粉煤灰混凝土配合比设计	146
第四节	有特殊要求的混凝土配合比设计	150
第七章	混凝土拌合物的性能	155
第一节	混凝土拌合物的和易性	155
第二节	混凝土拌合物的含气量	169
第三节	混凝土拌合物的凝结时间	171
第四节	混凝土拌合物的离析和泌水	173

下 册

第八章	混凝土的结构	175
第一节	混凝土的宏观及细观结构	175
第二节	硬化水泥浆体的结构	176
第三节	混凝土中的两相界面结构	182
第九章	混凝土强度	193
第一节	抗压强度	193
第二节	抗拉强度	202
第三节	复杂受力下的强度	206
第四节	混凝土的强度理论	209
第十章	混凝土的变形性能	222
第一节	混凝土的非荷载变形	222
第二节	混凝土的荷载变形	231
第十一章	混凝土的耐久性	253
第一节	概 述	253
第二节	混凝土的抗渗性	256
第三节	混凝土的抗冻性	263
第四节	混凝土的抗侵蚀性	277
第五节	混凝土的碱-集料反应	287
第六节	混凝土的碳化	296
第七节	混凝土的抗氯离子侵蚀性	301
第八节	混凝土的抗高温性	305
第十二章	混凝土的其他性能	306
第一节	混凝土的热学性能	306
第二节	混凝土的电学性能	310
第三节	混凝土的声学性能	312
第十三章	专用混凝土	314
第一节	水工混凝土	314
第二节	道路混凝土	327

第十四章 新型混凝土	337
第一节 智能混凝土.....	337
第二节 高性能混凝土.....	342
第三节 轻混凝土.....	352
第四节 聚合物混凝土.....	372
第五节 膨胀混凝土.....	390
第六节 纤维混凝土.....	397
第七节 喷射混凝土.....	403
第八节 水下不分散混凝土.....	405
第九节 流态混凝土.....	410
第十节 碾压混凝土.....	416
第十一节 生态混凝土.....	424
第十二节 活性粉末混凝土.....	426
参考文献	428

第一章 绪 论

第一节 混凝土的定义与分类

一、混凝土的定义

混凝土是指由水泥、石灰、石膏等无机胶凝材料和水或沥青、树脂等有机胶凝材料的胶状物与集料,必要时加入化学外加剂和矿物外加剂,按一定比例拌合,并在一定条件下硬化而成的人造石材。

新拌的未硬化的混凝土,通常称为混凝土的拌合物或新拌混凝土。经硬化有一定强度的混凝土称硬化混凝土。

普通水泥混凝土一般由水泥、砂、石和水四种基本材料所组成。为节约水泥或改善混凝土的一些性能,水泥混凝土中常掺入化学外加剂和矿物外加剂。水泥混凝土的结构如图1-1所示。

普通水泥混凝土中,水和水泥构成水泥浆,在混凝土中有以下作用:

(1) 填充作用:水泥浆填充砂、石集料之间的空隙,从而使混凝土具有足够的密实性。

(2) 润滑作用:水泥浆包裹在砂、石集料的表面,从而使其在混凝土拌合物中起润滑作用,降低集料之间的摩擦力,提高拌合物的流动性。

(3) 胶结作用:在硬化混凝土中起胶结作用,把散粒的砂、石胶结成为一个整体。

普通水泥混凝土中,水泥浆和砂组成砂浆,在混凝土中起以下作用:

(1) 填充作用:砂浆在混凝土中填充石子之间空隙。

(2) 粘聚作用:砂浆在混凝土拌合物中起粘聚作用(使粗集料在施工过程中不离析)和保水作用。

(3) 骨架作用:砂是细集料,在混凝土中起骨架和抑制体积变形作用。

石子在普通水泥混凝土中主要起骨架和抑制体积变形作用,同时还能起降低混凝土成本的经济作用。

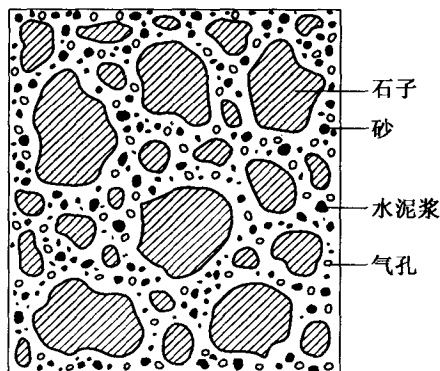


图 1-1 普通水泥混凝土的结构

二、混凝土的分类

混凝土材料种类繁多,可按胶凝材料、表观密度、强度等级、施工工艺、用途及配筋方式等进行分类,主要有:

(一) 按胶凝材料分**1. 无机胶凝材料混凝土**

- (1) 水泥混凝土 以硅酸盐水泥及其他各种水泥为胶凝材料,可用于各种混凝土结构。
- (2) 石灰混凝土 以石灰与各种含硅原料以一定的工艺方法制得的人造石材,亦称硅酸盐混凝土。
- (3) 石膏混凝土 以天然石膏或工业废料石膏为胶凝材料,可做天花板及内隔墙等。
- (4) 硫磺混凝土 硫磺加热熔化,冷却后硬化,可作粘结剂及低温防腐层。
- (5) 水玻璃混凝土 以钠水玻璃或钾水玻璃为胶凝材料,可做耐酸结构。
- (6) 碱矿渣混凝土 以磨细矿渣及碱溶液为胶凝材料,是一种新型混凝土,可做各种结构。

2. 有机胶凝材料混凝土

- (1) 沥青混凝土 用天然或人造沥青为胶凝材料,可做路面及耐酸、碱地面。
- (2) 树脂混凝土 以聚酯树脂、环氧树脂、尿醛树脂等为胶凝材料,适用在侵蚀介质中使用。

3. 无机有机复合胶凝材料混凝土

- (1) 聚合物水泥混凝土 以水泥为主要胶凝材料,掺入少量乳胶或水溶性树脂,能提高混凝土的抗拉、抗弯强度及抗渗、抗冻、耐磨性能。
- (2) 聚合物浸渍混凝土 以低粘度的聚合物单体浸渍水泥混凝土,然后以热催化法或辐射法处理,使单体在混凝土孔隙中聚合,能改善混凝土的各种性能。

(二) 按表观密度分

- (1) 重混凝土 混凝土的干表观密度大于 $2\,600\text{ kg/m}^3$,用钢球、铁矿石、重晶石等为集料,用于防辐射混凝土工程。
- (2) 普通混凝土 混凝土的干表观密度在 $1\,950\sim 2\,600\text{ kg/m}^3$,用普通砂、石做集料,可用于各种结构。
- (3) 轻集料混凝土 混凝土的干表观密度小于 $1\,950\text{ kg/m}^3$,用天然或人造轻集料。

(三) 按强度等级分

- (1) 低强混凝土 强度等级低于 C20 的混凝土。
- (2) 普通混凝土 强度等级为 C20~C50 的混凝土。
- (3) 高强混凝土 强度等级为 C60~C100 的混凝土。
- (4) 超高强混凝土 强度等级高于 C100 的混凝土。

(四) 按用途分

- (1) 水工混凝土 用于大坝等水工构筑物,多数为大体积混凝土工程,要求有抗冲刷、耐磨及抗腐蚀等性能。
- (2) 海工混凝土 用于海洋工程(海岸及离岸工程),要求具有抗海水腐蚀性、抗冻性及抗渗性。
- (3) 防水混凝土 能承受 0.6 MPa 以上水压而不透水的混凝土,要求有高密实性及抗渗性,多用于地下工程及贮水构筑物。
- (4) 道路混凝土 用于道路路面,可用水泥及沥青做胶凝材料,要求有足够的耐候性及耐磨性。

(5) 耐热混凝土 以铬铁矿、镁砖或耐火砖碎块等为集料,以硅酸盐水泥、矾土水泥及水玻璃等为胶凝材料的混凝土,可在 $350^{\circ}\text{C}\sim 1700^{\circ}\text{C}$ 高温下使用。

(6) 耐酸混凝土 以水玻璃为胶凝材料,加入固化剂和耐酸集料配制而成的混凝土,具有优良的耐酸及耐热性能。

(7) 防辐射混凝土 能屏蔽 X 射线、 γ 射线及中子射线的重混凝土,又称屏蔽混凝土或重混凝土,是原子能反应堆、粒子加速器等常用的防护材料。

(五) 按施工工艺分

(1) 普通现浇混凝土 用一般现浇工艺施工的塑性混凝土。

(2) 喷射混凝土 用压缩空气喷射施工的混凝土,多用于井巷及隧道衬砌工程,有干喷和湿喷等工艺。

(3) 泵送混凝土 用混凝土泵浇灌的流动性混凝土。

(4) 灌浆混凝土 先铺好粗集料,以后强制注入水泥砂浆的混凝土,适用于大型基础等大体积混凝土工程。

(5) 真空吸水混凝土 用真空泵将混凝土中多余水分吸出,从而提高其密实性,可用于屋面、楼面、飞机跑道等工程。

(6) 碾压混凝土 以适宜干稠的混凝土拌合物,薄层铺筑,用振动碾碾压密实的混凝土,适用于大坝、道路等工程。

(7) 振压混凝土 用于振动加压工艺,制作混凝土板类构件。

(8) 挤压混凝土 以挤压机成型,用于长线台座法的空心楼板、T 型小梁等构件生产。

(9) 离心混凝土 以离心机成型,用于混凝土管、电杆等管状构件的生产。

(六) 按配筋方式分

(1) 素混凝土 用于基础或垫层的无筋低强度等级混凝土。

(2) 钢筋混凝土 用普通钢筋加强的混凝土,其用途最广。

(3) 纤维混凝土 用各种纤维改性的混凝土,如钢纤维混凝土、聚丙烯纤维混凝土等。

(4) 预应力混凝土 用先张法、后张法或其他方法使混凝土预压,以提高其抗裂性能的配筋混凝土,可用于各种构筑物,特别是大跨度结构等。

此外,混凝土还可以按拌合物的稠度、工程部位等进行分类。

第二节 混凝土在工程建设中的重要性

一、混凝土是现代土木建筑工程中用量最大、用途最广的一种工程材料

工程材料是一切工程建设的物质基础。在任何一项基本建设工程中,用于工程材料的费用在工程总造价中都占很大的比重。混凝土材料是现代土木建筑工程——房屋、道路、水利、水运、桥梁等工程中用量最大、用途最广的工程材料,发挥着其他材料无法替代的作用和功能。美国在新建筑物所用的全部工程材料中,混凝土制品约占 76%。种种迹象表明,21 世纪的主要土木工程材料仍为混凝土材料。

二、混凝土的特点

混凝土材料虽然只有不到 200 年的历史,但却是目前用量最大、用途最广的土木工程材料。由混凝土材料与增强或改性材料组合而成的钢筋混凝土、预应力混凝土及其他新型混凝土,更加扩展了混凝土的应用领域。我国 2005 年水泥产量达 10.60 亿 t,占世界水泥产量的近 50%,我国每年有 20 亿 m^3 左右的混凝土用于工程。混凝土材料在各项工程中能够得到如此广泛的应用是因为混凝土材料具有一系列的特点。

(一) 混凝土的主要优点

混凝土作为土木工程材料有以下主要优点:

1. 经济

混凝土材料中 80% 左右是砂石料,可以就地取材,减少运输,节省费用。组成材料中只有水泥相对贵些。混凝土的维护费用也较少。

2. 可塑性好

混凝土拌合物具有良好的可塑性,可以浇筑成各种形状的构件或整体结构。

3. 性能可设计

混凝土可以通过调整材料组成和配合比,使其具有不同的物理力学性能,以满足各种工程的不同要求。

4. 耐久性较强

混凝土材料对自然气候的冷热变化、冻融循环、干湿交替、化学侵蚀以及冲刷、渗透、磨损等都具有较强的抵抗力。

5. 耐火性好

混凝土材料导热较慢,可以容纳环境中的大量热量,在火中能维持 6~8 h,可作为钢结构防护层。

6. 复合能力强

混凝土材料可与钢筋复合制成钢筋混凝土结构,可与各种纤维、聚合物复合制成纤维混凝土、聚合物混凝土等。

7. 利用废弃物能力强

很多工业废弃物如粉煤灰、矿渣、废橡胶粉等可作为掺合料或集料加以再生利用,用于混凝土。

(二) 混凝土的主要缺点

混凝土作为土木工程材料有以下主要缺点:

1. 抗拉强度低

混凝土的抗拉强度较低,只有抗压强度的 1/10 左右。

2. 抗裂性差

混凝土的抗拉强度低、极限拉伸值小、脆性大,易开裂。

3. 自重大、比强度低

普通混凝土的表观密度在 2400 kg/m^3 左右,不宜用于高层建筑、大跨度桥梁等结构中。

4. 质量波动大

影响混凝土材料质量的因素多,原材料品质、配合比波动以及各施工工艺环节等多方面

的因素均会对混凝土的质量产生影响。因此施工过程中,必须要有严格的质量控制。

5. 施工期长

混凝土材料凝结硬化慢,需经过一定龄期的养护才能达到所需要的强度,生产周期较长。

混凝土材料用量大、用途广,特别是混凝土材料的质量优劣、选用是否得当直接关系到工程质量和使用寿命。因此,无论是从事混凝土材料生产、科研,还是工程勘测、设计、施工、质量检验、管理人员,都必须具备必要的混凝土材料知识,熟悉常用混凝土材料的品种、规格、性能及使用范围,做到合理用材、节约用材,以充分发挥混凝土的特点,提高工程质量,减少工程投资。

第三节 混凝土的发展概况

混凝土材料可追溯到很古老的年代,古罗马在为生产砂浆开采石灰石时无意中发现,一种铝硅矿物材料与石灰石混合并燃烧后,产生出一种胶凝材料,该胶凝材料在水和空气中具有独特的硬化性能,比他们当时习惯使用的胶凝材料更硬、更强、更粘。但当时这种砂浆在建筑上并没有得到优先使用,也没有改变罗马建筑的特征,仅用来建造扶壁、墙和拱的表面。现在我们知道这种砂浆含有现代波特兰水泥的基本成分。罗马人是混凝土建筑的发明者。

混凝土建筑知识随罗马帝国的衰亡而丢失,直到 18 世纪后叶才重新获得。1824 年英国 Leeds 的砖瓦工 Joseph Aspdin 通过煅烧石灰石和土的混合物得到了波特兰水泥并获得专利。此后,水泥与混凝土的生产技术得到迅速发展,混凝土的用量大幅增加,使用范围逐渐扩大。至今,混凝土材料已成为世界上用量最多,用途最广泛的人造石材。

为克服混凝土材料抗拉、抗折强度低,脆性大,易开裂的缺点,19 世纪 50 年代几个人几乎同时开发出了钢筋混凝土,包括法国人 J. L. Lambot 和美国人 Thaddeus Hyatt 等。Lambot 于 1854 年在巴黎建造了几条钢筋混凝土小船。Thaddeus Hyatt 制作和试验了大量钢筋混凝土梁。但钢筋混凝土并没有得到广泛应用。1867 年法国人 Joseph Monier 获得了钢筋混凝土花盆的专利,并用这种新材料建造了钢筋混凝土水箱和桥梁。之后,钢筋混凝土的应用日益广泛。1887 年 M. Koenen 首先发表了钢筋混凝土的计算方法。19 世纪末出现了钢筋混凝土结构工程设计方法并进行了最早的预应力混凝土试验。

纤维混凝土能改善混凝土的脆性,提高混凝土的抗拉、抗弯、抗爆、抗裂等性能。1910 年 Porter 发表了有关钢纤维混凝土的第一篇论文。1911 年美国的 Graham 提出将钢纤维加入普通钢筋混凝土中。20 世纪 60 年代,纤维混凝土进入实用化研究。20 世纪 70 年代,碳、玻璃等高弹纤维混凝土及尼龙、聚丙烯、植物等低弹纤维混凝土的研究引起各国学者的关注。

1918 年 D. A. Abrams 发表了著名的计算混凝土本身强度的水灰比理论。

19 世纪 20 年代 E. Freyssinet 提出了混凝土的收缩和徐变理论,建立了预应力混凝土结构的科学基础。预应力混凝土的出现是混凝土技术的一次飞跃。通过外部条件对混凝土进行改性,可大大拓展混凝土的应用范围,预应力混凝土可广泛地应用到大跨度建筑、高层建筑以及有抗震、防裂等方面要求的工程中。

从 1930 年开始就有人将塑料用于混凝土,到 1950 年它的潜在用途引起了人们的重视。

1975 年在英国伦敦召开了第一届国际聚合物混凝土会议。聚合物混凝土的出现使混凝土由单一的无机材料进入了无机与有机材料复合的新阶段,混凝土的物理力学性能大大提高。

1936 年法国的 H. Lossier 发明了膨胀水泥。利用膨胀水泥或膨胀剂生产补偿收缩混凝土和自应力混凝土是混凝土技术的另一成就。补偿收缩混凝土是一种适度膨胀的混凝土,就是用膨胀来抵消混凝土的全部或大部分收缩,因而可避免或大大减轻混凝土的开裂。此外,补偿收缩混凝土还具有良好的抗渗性和较高的强度,可广泛地应用于地下建筑、屋面、路面、机场、接缝和接头等工程中。

为有效减轻混凝土的自重,轻质混凝土得到了迅速发展。轻质混凝土主要是指轻集料混凝土和多孔混凝土。近 30 年来,由于新的建筑结构体系的建立和高层建筑的发展,轻质混凝土的应用愈加广泛。

20 世纪 80 年代我国改革开放以来,特别在 90 年代,我国推行大规模的经济建设和基础设施建设,混凝土的产量飞速发展,混凝土的技术有了长足的进步,主要表现在:

1. 高性能混凝土的发展

1990 年 5 月,美国国家标准技术研究院(NIST)与美国混凝土学会(ACI)首先提出了高性能混凝土(HPC)的概念,认为 HPC 是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,特别适合于高层建筑、桥梁以及暴露在严酷环境下建筑物的混凝土。之后,不同的学者对 HPC 提出了不同的解释或定义。我国已故吴中伟院士认为,应该根据用途和经济合理等条件对性能有所侧重,现阶段 HPC 的强度低限可向中等强度(30 MPa)适当延伸,但以不损害混凝土内部结构(孔结构、界面结构等)的发展与耐久性为限,并据此提出了 HPC 的初步定义:HPC 是一种新型的高技术混凝土,是在大幅度提高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,在严格质量管理的条件下制成的;除了水泥、水、集料以外,必须掺加足够数量的掺合料与高效外加剂,HPC 重点保证下列性能:高耐久性、高施工性、满足工程需要的力学性能、体积稳定性以及经济合理性。

对高性能混凝土的研究,20 世纪 80 年代以前主要集中在高强混凝土上,认为高性能混凝土必须是高强混凝土,以致出现了片面提高强度而忽视其他性能的倾向。80 年代前后,混凝土建筑物常因材质劣化和环境等因素的作用而出现破坏失效甚至崩塌的事故,造成巨大的经济损失,人们才意识到高性能混凝土不一定就必须是高强度,单纯的高强度不一定就具有高性能。近年来,国内外在高性能混凝土的研究和应用方面发展较快,建筑、道路、桥梁、水利、国防等领域对采用高性能混凝土已逐步接受并形成共识。制备的高性能混凝土主要体现在“三高”上,即高工作性、高耐久性和高强度。为使混凝土具有高性能,普遍采取较低的水胶比(水胶比在 0.25~0.35,甚至低于 0.25)、较高的胶凝材料用量(400~550 kg/m³)、掺硅粉、粉煤灰或矿粉等矿物外加剂、使用高效减水剂和高质量的原材料等措施。高工作性以高流动性、稳定性为特征;高耐久性主要研究混凝土的抗渗、抗冻、抗碳化、抗氯离子渗透、抗侵蚀等性能。

2. 商品混凝土的发展

传统的现浇混凝土生产基本上是“一家一户”地分散在各自的施工工地上。这种分散的、小生产方式的混凝土制备和施工技术使混凝土工程施工处于劳动强度大、效率低、质量不稳定、经济效益差的局面。20 世纪 40 年代出现了以原材料基地、原材料运送、配料、搅

拌、输送、定量控制等形成的商品混凝土工厂。在城市和建设工程集中的地区合理地设置商品混凝土工厂的优点是能节约材料、能耗和其他资源,提高劳动生产率,保证混凝土质量,改善施工环境,有效利用化学和矿物外加剂,便于现代化管理和新技术推广。

我国商品混凝土的生产起步较晚,建国后从 20 世纪 50 年代起,一些大型水电大坝、深港码头、冶金基地等建立了混凝土集中搅拌站,但那时的混凝土供应方式仍是属于分散的、小范围的自产自用。70 年代后期,江苏、上海等地建立了一些商品混凝土供应站。我国较大规模的商品混凝土生产是从 80 年代初上海宝钢建设开始的。90 年代以来,随着沿海地区大规模高层建筑的建设,商品混凝土发展很快,上海、北京、南京等大城市已普遍使用商品混凝土,商品混凝土的优越性也得到了充分体现。但从全国看,商品混凝土的发展还很不平衡,全国商品混凝土的产量估计只占总量的 10% 左右。

商品混凝土与泵送混凝土的发展是相互促进的。我国泵送混凝土的技术有自己的特色。1997 年上海金茂大厦混凝土施工,创造了一阶段泵送高度 382 m 的记录。

3. 外加剂的发展

混凝土的外加剂包括化学外加剂和矿物外加剂两类。

化学外加剂以很少的掺量加入混凝土中,能有效地改善混凝土的物理力学性能,提高混凝土的强度、耐久性,节约水泥用量,缩小构筑物尺寸,从而达到降低能耗、改善环境的社会效益。

我国的混凝土外加剂起步于 20 世纪 50 年代初期到 60 年代中期,最早由重工业部和水利部研究采用松香类引气剂和加气剂,使用于塘沽新港及佛子岭水库。20 世纪 80 年代到 90 年代中期,通过标准化规范了外加剂的质量,推动了外加剂的应用技术发展。20 世纪 90 年代至今是混凝土外加剂走向高科技领域的时代。高性能混凝土的发展大大推动了外加剂的发展。化学外加剂行业生产由小到大,由土到洋,产品包括高效减水剂、缓凝剂、泵送剂、引气剂等系列产品,质量不断提高,基本上满足了工程需要。

矿物外加剂是以氧化硅、氧化铝和其它有效矿物为主要成分,在混凝土中可以代替部分水泥、改善混凝土综合性能,且掺量一般不小于 5% 的具有火山灰活性或潜在水硬性的粉体材料。我国使用的矿物外加剂除了粉煤灰外,还研制成功了矿渣微粉、硅粉、沸石粉、偏高岭土等。

4. 混凝土耐久性的重视

过去,我国混凝土工程的耐久性长期不受重视。混凝土结构没有达到预期使用寿命而过早破坏的实例很多。由于许多工程设计时只考虑荷载作用的要求,而没有提出耐久性的要求,给我国造成了很大的经济损失。

20 世纪 90 年代以来,重大工程建设的耐久性问题开始引起国家和技术界的重视。我国自“九五”计划以来,先后设立了一些有关水泥混凝土耐久性的重要研究计划,如国家自然科学基金重大项目“三峡大坝混凝土耐久性及其破坏机理研究”、国家“九五”和“十五”重点科技攻关项目“重点工程混凝土安全性研究”与“新型高性能混凝土及其耐久性研究”、国家攀登计划项目“重大土木与水利工程安全性与耐久性的基础研究”和国家“973”计划项目“高性能水泥制备和应用基础研究”等,对混凝土的碱—集料反应、硫酸盐腐蚀、冻融循环和除冰盐破坏等耐久性问题进行了重点研究,取得了一批研究成果。

此外,我国在智能混凝土、活性粉末混凝土、生态混凝土、再生混凝土、地聚物混凝土等

新型混凝土的研究方面也取得了重要进展。

第四节 混凝土的技术标准

产品标准化是现代社会化大生产的产物,是组织现代化大生产的重要手段,也是科学管理的重要组成部分。

技术标准是产品质量的技术依据,也是供需双方对产品进行质量检查、验收的依据。生产企业必须按标准生产合格产品,所以技术标准可促进企业改善管理,提高生产率,实现生产过程合理化。使用部门应按标准选用材料、按规范进行设计和施工,使设计和施工标准化,以加快施工进度,降低工程造价,确保工程质量。

目前我国在混凝土的生产、设计、施工等许多方面都制订了相关技术标准。随着混凝土科技的发展,混凝土技术标准也在不断变化。国家和相关标准化管理部门会根据需要颁布一些新的技术标准,修订或废止一些旧的技术标准,并逐步与国际标准相接轨。

对于从事混凝土生产、设计、施工、管理、科研的人员以及混凝土的使用人员,熟悉和运用混凝土技术标准有着十分重要的意义。在选用材料时必须严格执行有关技术标准;在使用代用材料时,必须按标准进行试验和论证;对于新材料必须经过鉴定。研究、生产和使用混凝土材料时,还要结合我国的国情,从可持续发展的高度,因地制宜,节约和合理用材,使我国的水泥混凝土工业能够持续健康地发展。

一、技术标准的分类

我国的技术标准分为四类,即:

- (1) 国家标准;
- (2) 行业标准;
- (3) 地方标准;
- (4) 企业标准。

各级标准分别由相应的标准化管理部门批准并颁布。国家技术监督局是国家标准化管理的最高机构。国家标准和行业标准都是全国通用标准,是国家指令性文件,各级生产、设计、施工等部门均必须严格遵照执行。

二、技术标准的表示方法

技术标准由名称、代号、标准号(编号)和年代号(批准年份)组成。混凝土技术标准常见的代号有:

- (1) GB——国家标准;
- (2) GB/T——国家推荐标准;
- (3) GBJ——建筑工程国家标准;
- (4) JC——建材行业标准;
- (5) SL——水利行业标准;
- (6) DL——电力行业标准;
- (7) JT——交通行业标准;

(8) DB——地方标准;

(9) QB——企业标准。

如:GB 175—1999《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》;GB/T 14684—2001《建筑用砂》;GBJ/T01—64—2002《混凝土矿物掺合料应用技术规程》;JC 473—2001《混凝土泵送剂》;JGJ 55—2000《普通混凝土配合比设计规程》;GB/T 50081—2002《普通混凝土力学性能试验方法》等。

三、技术标准的内容

技术标准一般包括以下内容:

- (1) 产品规格;
- (2) 分类;
- (3) 技术要求;
- (4) 检验方法;
- (5) 验收规则;
- (6) 标志;
- (7) 运输和储存等。

四、其他技术标准

除了使用国内技术标准外,某些情况下还可能采用一些其他技术标准,如:

- (1) ISO——国际标准;
- (2) ANS——美国国家标准;
- (3) ASTM——美国材料与试验学会标准;
- (4) BS——英国标准;
- (5) DIN——德国工业标准;
- (6) JIS——日本工业标准;
- (7) NF——法国标准;
- (8) CSA——加拿大标准协会标准。

第二章 胶凝材料

第一节 气硬性胶凝材料

一、胶凝材料的定义和分类

凡能在物理、化学作用下,由可塑性浆体变为坚固的石状体,并能胶结其他物料,且有一定机械强度的物质,统称为胶凝材料。

胶凝材料分有机胶凝材料和无机胶凝材料两大类。

有机胶凝材料是指沥青和各种树脂等材料。

无机胶凝材料按硬化条件可分为气硬性胶凝材料和水硬性胶凝材料两类。气硬性胶凝材料只能在空气中硬化,并保持或继续提高其强度。属于这类材料的有石灰、石膏、水玻璃、镁质胶凝材料等。水硬性胶凝材料拌水后既能在空气中硬化,又能在水中硬化,保持并继续提高其强度。属于这类材料的有各种水泥。

气硬性胶凝材料只能用于地面以上干燥环境中的建筑物。水硬性胶凝材料不仅可以用于干燥环境中的建筑物,而且可以用于地下或水中的建筑物。

二、石膏

我国天然石膏储量丰富,伴随着工业的发展,还有多种工业副产石膏产生。由于石膏制品具有重量轻、凝结快、防火隔热隔音性能好、可加工性及装饰效果好等优点,石膏被广泛地应用于化工、医药、工艺美术、建筑材料等领域。

(一) 石膏胶凝材料的原料

生产石膏胶凝材料的原料主要是天然二水石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ——生石膏)。此外,天然无水石膏(CaSO_4 ——硬石膏)、工业副产石膏(磷石膏、氟石膏、芒硝石膏等)也可作为制造石膏胶凝材料的原料。

1. 天然二水石膏

天然二水石膏为白色或无色透明,常常因含有氧化铁、粘土质等杂质而呈黄、褐、灰和黑灰等色。质软,硬度(莫氏)为 1.2~2.0,密度为 $2.2 \sim 2.4 \text{ g/cm}^3$ 。按物理性质,二水石膏可分为:

- (1) 透明石膏:片状结晶,无色透明似玻璃;
- (2) 纤维石膏:纤维状结晶,丝绸光泽;
- (3) 雪花石膏:细粒块状,白色半透明;
- (4) 普通石膏:致密粒状,不纯净;
- (5) 土石膏:土状,不聚结或稍结,不纯净。

天然二水石膏按其二水硫酸钙百分含量的多少,划分为五个等级(表 2-1)。