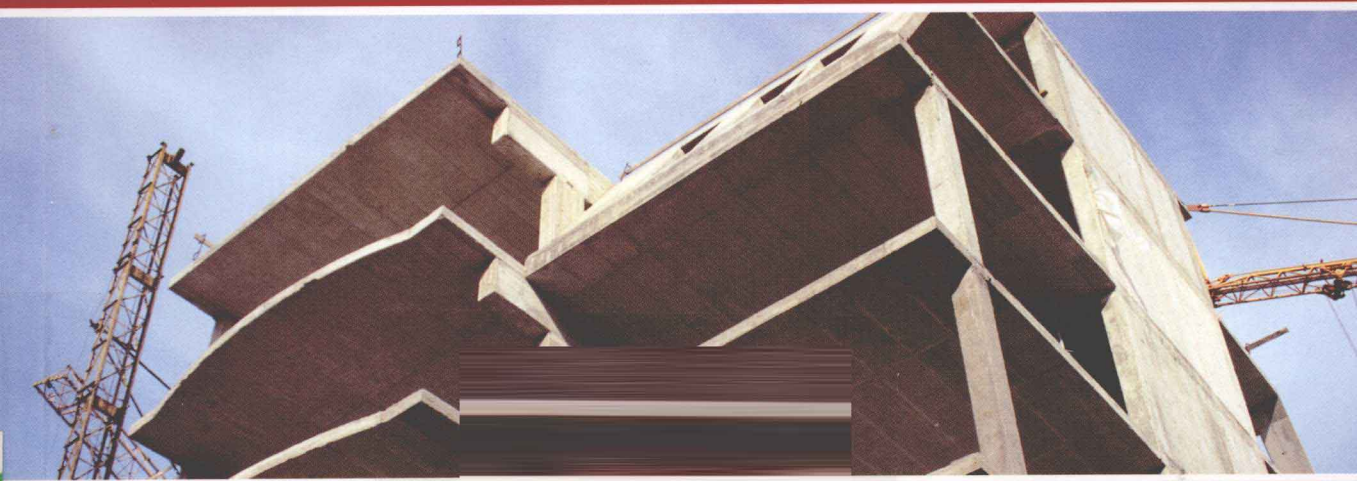


Concrete

混凝土设计与施工 简明手册

李松林 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

Concrete

混凝土设计与施工 简明手册

李松林 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书共分八章,不仅全面地叙述了混凝土五大原材料、混凝土拌和物、硬化混凝土等的各种物理、化学性能,而且还对混凝土的配合比设计、全面质量管理、试验方法及要点等内容进行了阐述,并简略地介绍了20余种特种混凝土的性能和施工工艺。

本书不仅内容丰富、实用,而且结合问题将基本原理简明地进行了陈述。另外,把掺用外加剂的功效,与外加剂在混凝土中的作用机理结合起来,这对正确推广使用外加剂、改善混凝土性能和节约水泥也是十分有益的。

本书可供建筑施工、材料试验、工程监理、质量控制、工程管理等方面的技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土设计与施工简明手册/李松林编著. —北京:中国电力出版社,2011.5

ISBN 978-7-5123-1665-2

I. ①混… II. ①李… III. ①混凝土结构-结构设计-技术手册 ②混凝土施工-技术手册 IV. ①TU370.4-62②TU755-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 083437 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011年7月第一版 2011年7月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 21.75印张 492千字

印数 0001—3000册 定价 50.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言



1990年,本人所编著的《简明混凝土手册》一书承蒙南京工学院李荫余教授审稿,中国建筑材料科学研究院吴中伟院士题词,由河北科学技术出版社出版。光阴荏苒,已过去了20年。20年间,我国的建筑技术和混凝土材料有了迅猛的发展。为了适应实际的需要,在《简明混凝土手册》一书基础上,重新编写了这本《混凝土设计与施工简明手册》。作为一名混凝土工作者,如果不了解混凝土的性能与基本原理,要想保证工程质量是困难的。因此本书编写中坚持用理论指导实践的理念,希望读者在清楚作用机理的基础上,科学地使用各种材料,能动地提高质量意识,积极采取有效措施保证工程质量。

20年来,由于泵送混凝土的普遍应用,商品混凝土得到了很大的发展。与此同时,大流动度混凝土、水下不分离混凝土、自密实混凝土及高强度、高性能混凝土应运而生,相继问世,并在许多工程上得到了很好的应用。本书对这些新技术作了较多的补充,希望广大的混凝土工作者站在科技的前沿,运用最新的技术,努力推广、不断创新,把我国的混凝土技术不断推向新的水平。

随着建筑技术的进步,对混凝土性能提出了越来越高的要求。外加剂的发展适应了这一需要,而且二者之间相互促进,各自都得到了很大的发展。今天,外加剂已由20年前的几个品种发展到十四大类数百个品种。在混凝土中掺外加剂,不仅仅是为了节约水泥,也是改善混凝土性能的需要。作为混凝土工作者,必须了解外加剂的发展动向和性能,科学地使用外加剂。本书对众多外加剂分别作了介绍,尤其对常用品种的性能和作用机理,都逐一作了较详细的阐述。泵送剂是泵送混凝土不可或缺的组分,它不是单一的外加剂,而是以常用的减水剂、缓凝剂为基础,根据需要必要时还加入引气剂、保塑剂、早强剂、阻锈剂、防冻剂、膨胀剂等复合而成的混合型外加剂。由于泵送剂涉及的外加剂品种多,而且组分间还存在是否相容的问题,因此复合泵送剂比较复杂。本书对此作了较多有针对性的介绍。

作为简明手册,内容应该丰富全面但又不能过于冗长和繁琐,本书是秉持内容丰富而论述简明这一宗旨编写的。由于水平有限,取舍不一定合适,还可能存在错误和不足,恳望读者和专家不吝斧正。

在编写中,借鉴和摘录了有关单位和专家论著中许多论点和资料,在此谨表谢意。

李松林

2011年5月8日 于呼和浩特

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 混凝土的组成.....	1
第二节 混凝土的分类.....	3
第三节 混凝土的特性与配制.....	4
第四节 混凝土外加剂.....	7
第二章 混凝土的主要原材料	9
第一节 水泥.....	9
第二节 掺合料	32
第三节 粗骨料	39
第四节 细骨料	46
第五节 骨料检验	52
第六节 拌制与养护用水	52
第三章 混凝土的性能	54
第一节 拌和物的性能	54
第二节 硬化混凝土的性能	61
第四章 混凝土配合比设计	111
第一节 概述.....	111
第二节 粗骨料级配选择.....	113
第三节 试验法设计配合比.....	118
第四节 试验算法与经验图表法.....	124
第五节 配制强度.....	129
第五章 特种混凝土	135
第一节 干硬性混凝土与大流动度混凝土.....	135
第二节 碾压混凝土与大体积混凝土.....	139
第三节 环氧混凝土与聚合物混凝土.....	144
第四节 细砂混凝土与喷射混凝土.....	154
第五节 振动灌浆混凝土与膨胀混凝土.....	159

第六节	纤维混凝土与硫磺混凝土	162
第七节	压浆混凝土与块石混凝土	164
第八节	自密实混凝土与水下混凝土	166
第九节	真空混凝土与无砂混凝土	171
第十节	泵送混凝土与水工混凝土	172
第十一节	高强混凝土与高性能混凝土	182
第六章	混凝土施工	189
第一节	混凝土的制备	189
第二节	混凝土的运输	192
第三节	浇筑与养护	194
第四节	特殊施工工艺	198
第七章	混凝土工程的全面质量管理	214
第一节	概述	214
第二节	混凝土的质量控制	215
第三节	统计图表在质量管理上的应用	232
第八章	外加剂性能与应用	244
第一节	普通减水剂	244
第二节	高效减水剂	249
第三节	缓凝剂和速凝剂	256
第四节	早强剂和防冻剂	261
第五节	引气剂和加气剂	270
第六节	膨胀剂和防水剂	276
第七节	阻锈剂和碱—骨料反应抑制剂	282
第八节	增稠剂和水中的不分离剂	286
第九节	泵送剂及其复合	288
第十节	其他外加剂	292
第十一节	外加剂与水泥的适应性	294
附录 1	测区混凝土强度换算表	299
附录 2	混凝土外加剂对水泥的适应性检测方法	306
附录 3	补偿收缩混凝土的膨胀率及干缩率的测定方法	307
附录 4	灌浆用膨胀砂浆竖向膨胀率的测定方法	309
附录 5	混凝土氯离子扩散系数试验方法 (RCM)	311
附录 6	混凝土常用材料技术指标	314
附录 7	主要建筑材料基本性能	319
附录 8	几种岩石的主要物理力学性能	320

附录 9 混凝土配合比参考表 321

附录 10 水泥砂浆强度与水泥用量关系表 328

附录 11 早强剂掺量参考表 329

附录 12 减水剂掺量参考表 330

附录 13 泵送剂配方案例 331

附录 14 砂的粗细与比表面积关系表 332

附录 15 掺外加剂混凝土的性能要求 333

附录 16 外加剂的匀质性要求 336

附录 17 各级检测试验机构仪器设备 337

参考文献..... 340



第一章

概 述



广义而言,凡用胶凝材料把碎片或固体物料块胶结成具有力学强度的整体,都称为混凝土。

所谓胶凝材料,是指加水拌匀经过物理化学作用后,能够由液态或泥膏状态变成坚硬如石的材料。胶凝材料分为无机胶凝材料和有机胶凝材料两大类,水泥和沥青分别属于无机和有机胶凝材料范畴。

由于胶凝材料和混凝土种类不同,混凝土的性能各异。本书研究的范围是水泥混凝土。本章则仅就水泥混凝土的组成、分类、特性、外加剂的应用以及如何配制优质混凝土等进行一般性概述,在以后的章节中,将分别就各个专题进行较详细的阐述。

由于水泥混凝土是由水泥浆将粗细骨料和外加剂等混合物胶凝在一起经硬化后形成的一种非匀质材料,占混凝土总体积 60%~80% 的骨料是粒径很不均匀的纯天然砂石,各材料间的组合比例是根据混凝土的强度等级按理论或经验公式或试验资料确定的。施工和试验中操作程序多,又并非十分精密,而且强度力学指标须从未凝固的无强度状态,经历 28~90d 乃至更长时间的温湿养护后,才能从结构物外间接的取样试验结果中得知,其影响因素之多,可想而知。因此,想要比较准确地确定结构物的实际性能指标,难度较大。

但是,广大工程技术人员和科研工作者经历了长时期的实践和研究,已经找出了一些变化规律,主要包括强度—水灰比定则、强度—龄期规律、最少用水量原理、强度分布接近正态分布形式,以及混凝土强度在未达到设计最终强度指标之前均属于半成品,必须贯彻“全面质量、全部进程、全体人员和各部门参加的”全面质量管理的理念等。根据这些规律和理念,只要认真抓住全过程中的每个关键点,认真选材、精心设计,仔细施工、规范养护,在规定龄期内使结构物强度力学指标达到设计要求的保证率,应该是完全可以实现的。

本书就是秉持这一理念和目标,通过混凝土性能与原材料间的有机联系,配合设计、施工操作与质量的关系,统计概率理论在强度统计上的应用等的讨论叙述,力图帮助读者加深理解,在工程实践中能够发挥保证工程质量的主观能动性。

第一节 混凝土的组成

一、混凝土的组成

水泥混凝土是由水泥、水和骨料按一定比例配合,经过搅拌而成的一种混合物,必要

时还可掺入适当数量的化学外加剂和矿物质掺合料。

组成混凝土的骨架部分称为骨料。普通混凝土一般采用砂石材料为骨料，砂石骨料也称为集料。其中石料称为粗骨料，砂称为细骨料。一般情况下认为骨料不与胶凝材料和水起化学反应，将其称为惰性材料。实际上，骨料也并不是完全是惰性的，其物理性质、热性质和化学性质都会影响混凝土的性能。有时在一些潜在活性高的骨料中，骨料、胶凝材料和水之间也会产生表面的反应，但是在大多数情况下作用并不显著。

混凝土中的化学外加剂品种很多。在混凝土中掺用外加剂，分别可以改变混凝土的流变性能、凝结时间和含气量，提高混凝土的机械强度，并能抵抗各种化学作用。现在许多国家已将外加剂与水泥、砂、石、水并列为混凝土的五大组分。由于外加剂的掺用，混凝土的应用范围进一步扩大。在混凝土中掺入矿物质掺合料，如粉煤灰、矿渣、硅灰等是为了改善混凝土的性能和节约水泥。

二、组成材料的主要作用

在混凝土组成结构中，除去粗骨料，其余部分称为水泥砂浆；在水泥砂浆中除去细骨料，其余部分称为水泥净浆或水泥浆。水泥浆填充砂子的空隙，并包裹在砂子颗粒的周围而形成砂浆，砂浆又填充石子的空隙，并把石子颗粒包裹起来，这样就结成了一个紧密的整体。水泥浆为混凝土的活性组成部分，硬化前的水泥浆，一般情况下

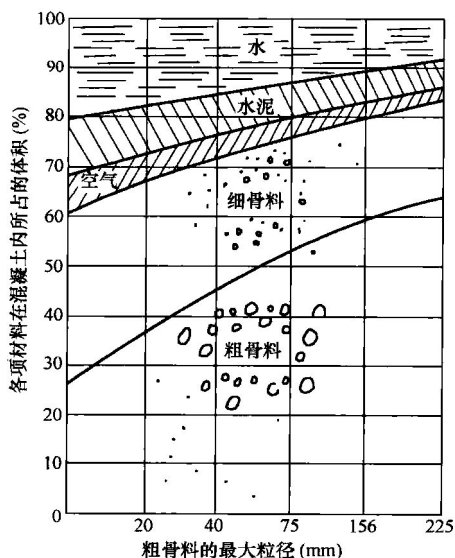


图 1-1 混凝土中各项材料所占百分比与粗骨料最大粒径的关系

呈流塑状态，流动程度随加水量多少而变化，也受外加剂的掺入量和品种的影响。由于水泥浆的流塑性，它在砂石颗粒之间就会产生黏聚性和润滑作用，使混凝土混合物具有施工所需的和易性。水泥经逐渐硬化而形成水泥石，能将砂石牢固地胶结起来。随着所用水泥品种和用量不同，混凝土具有的强度以及其他各种技术性能也将不同。

混凝土中各项材料的百分比组成因粗骨料最大粒径等具体条件不同而不同，见图 1-1。由图 1-1 可以看出，在硬化的混凝土中，粗细骨料占混凝土总体积的 60%~80%，其余部分为水泥净浆胶凝材料。水泥净浆包括水泥胶体、胶体细孔、毛管细孔、空隙和未水化的水泥颗粒等。胶体细孔和毛管细孔通常都充满着自由水，随着水化反应条件的改变，构成水泥净浆各相的组成数量也相应改变。水化越深入，水泥胶体和胶体细孔越多，毛管细孔和未水化的水泥颗粒则越少。

根据以上对混凝土组成的分析可知，混凝土的质量与性能主要取决于水泥净浆的质量；水泥净浆的质量则取决于水泥标号与水灰比（即混凝土中的用水量与水泥用量之比）。

水泥净浆质量好,硬化后的水泥石强度高,与骨料表面的胶结强度也高,混凝土的强度则高。由于骨料占混凝土体积的大部分,因此骨料的质量及表面性质对混凝土性能的影响也是不可忽视的。同时,增大粗骨料粒径,则可以增加粗骨料用量,减少水泥净浆用量。从而可以减少干缩和发热量,并可以提高混凝土对于磨损、风化等破坏作用的抵抗能力,还可以降低混凝土的成本。混凝土各组成材料的关系,及其对混凝土性能的影响见图 1-2。

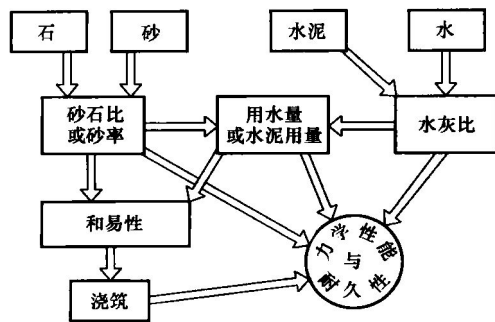


图 1-2 混凝土性能与材料关系图

第二节 混凝土的分类

混凝土的种类繁多,为了便于分析研究,我们可以根据不同条件,对混凝土进行分类。

(1) 按胶凝材料分。

胶凝材料可分为无机胶凝材料和有机胶凝材料两大类。无机胶凝材料即矿物质胶凝材料,包括水泥、石灰、石膏、镁质胶凝材料、水玻璃、硫磺等;有机胶凝材料包括沥青、树脂和聚合物等。

无机胶凝材料还可分为气硬性和水硬性两类。气硬性胶凝材料只能在空气中硬化,并长期保持或继续增长强度,如石灰、石膏、镁质胶凝材料、水玻璃等。水硬性胶凝材料不仅能在空气中硬化,而且还能更好地在水中进行硬化,保持并继续增长强度,如硅酸盐水泥、矿渣水泥、火山灰质水泥等。

1) 无机胶凝材料混凝土。无机胶凝材料混凝土包括石灰硅质胶凝材料混凝土(如硅酸盐混凝土)、硅酸盐水泥系混凝土(如硅酸盐水泥、普通水泥、矿渣水泥、粉煤灰水泥、火山灰质水泥、早强水泥混凝土等)、钙—铝水泥系混凝土(如高铝水泥、纯铝酸盐水泥、喷射水泥、超速硬水泥混凝土等)、石膏混凝土、镁质水泥混凝土、硫磺混凝土、水玻璃—氟硅酸钠混凝土、金属混凝土(用金属代替水泥作胶结材料)等。

本书所称混凝土一般指硅酸盐水泥混凝土。

2) 有机胶凝材料混凝土。有机胶凝材料混凝土主要有沥青混凝土和聚合物水泥混凝土、树脂混凝土、聚合物浸渍混凝土等。

此外,无机与有机复合的胶凝材料混凝土,还可以分聚合物水泥混凝土和聚合物浸渍混凝土。

(2) 按用途分,包括普通混凝土、水工混凝土(含大坝混凝土)、道路混凝土、耐酸混凝土、耐碱混凝土、耐热混凝土、耐油混凝土、防辐射混凝土、防水混凝土、自应力混凝土、补偿收缩混凝土、清水混凝土、彩色混凝土、白色混凝土、上釉混凝土、不发光混

凝土、发光混凝土等。

(3) 按强度分, 包括低标号混凝土 (强度较低)、高强度混凝土 (抗压强度 $\geq 50\text{MPa}$)、超高强度混凝土 (抗压强度 $\geq 100\text{MPa}$)。

(4) 按表观密度分, 包括特重混凝土 ($>2500\text{kg/m}^3$)、重混凝土为 ($2100\sim 2500\text{kg/m}^3$)、稍轻混凝土为 ($1900\sim 2100\text{kg/m}^3$)、轻混凝土为 ($500\sim 1900\text{kg/m}^3$)、特轻混凝土 ($<500\text{kg/m}^3$)。

(5) 按水泥用量分, 包括贫混凝土 (水泥用量 $\leq 170\text{kg/m}^3$) 和富混凝土 (水泥用量 $\geq 230\text{kg/m}^3$)。

(6) 按拌和物流动性分, 包括低塑性混凝土 (坍落度为 $1\sim 4\text{cm}$)、塑性混凝土 (坍落度为 $5\sim 9\text{cm}$)、流动性混凝土 (坍落度为 $10\sim 15\text{cm}$)、大流动性混凝土 (坍落度大于 16cm)。

(7) 按施工方法分, 包括普通振实混凝土、泵送混凝土, 喷射混凝土、块石混凝土、压浆混凝土、真空混凝土、离心混凝土、预填骨料混凝土、冷混凝土、电热混凝土、碾压混凝土、预应力混凝土等。

(8) 按强度增长速率分, 可分为普通混凝土、早强混凝土、超早强混凝土、速硬混凝土、超速硬混凝土等。

(9) 按混凝土结构分:

- 1) 普通结构混凝土, 即由普通砂石骨料配制的混凝土;
- 2) 无砂大孔混凝土, 即无细骨料的混凝土;
- 3) 多孔混凝土, 包括掺入引气剂或泡沫剂的混凝土。

(10) 按配筋材料分, 包括素混凝土 (不配筋)、钢筋混凝土、钢丝网水泥混凝土、玻璃纤维增强水泥混凝土、钢纤维 (包括钢屑) 增强混凝土、聚丙烯混凝土、竹筋混凝土等 (解放初期钢材缺乏, 民用次要工程曾少量使用)。

虽然介绍了混凝土的十大分类, 但本书的重点将是围绕 C20~C50 掺用减水剂的普通水泥混凝土, 就其选材、配制、施工控制与质量评定进行较详细的讨论。当然, 作为混凝土工作者, 对其他类混凝土, 尤其是高强度、高性能混凝土, 以及大流动泵送混凝土的了解也是必不可少的。

第三节 混凝土的特性与配制

一、混凝土的特性

1. 优异性

混凝土材料的发展这样迅速, 用途如此广泛, 与其强度高, 可塑性好、适用性广、复合力强、耐火性好、资源丰富、生产工艺简单、能耗低等一系列特性是分不开的。

(1) 强度高。硬化后的混凝土具有较高的强度, 与天然石材一样坚硬、耐磨、耐风化和经久耐用, 而且根据需要可以配制成强度等物理力学性质不同的材料, 以满足工程的不

同要求。

(2) 可塑性好。未凝固的混凝土拌和物是流塑体,具有良好的可塑性,因而可以根据建筑物的要求,浇制成各种形状和不同尺寸的构件或结构物。

(3) 适用广。普通混凝土的适用性相当广泛,既可用于大气中,也可用于地下;既可用于陆地,也可用于水中;既能用于热带,还可用于寒带。随着新品种混凝土的相继出现,使得这一材料的适用范围进一步扩大,可以满足各种工程的特殊需要。

(4) 复合力强。混凝土与其他材料的复合力强,可以与钢筋复合成钢筋混凝土,与各种纤维复合成纤维混凝土,与树脂复合成聚合物混凝土。利用混凝土复合能力强的特点,将其他材料复合,可以进一步改进混凝土的物理力学性能,从而扩大这一材料的使用范围。

(5) 耐火性好。普通混凝土具有很好的耐火性,耐火混凝土的耐火性则更好。在钢筋混凝土中,由于钢筋得到了混凝土保护层的保护,钢筋被火烧的温度上升将受到抑制,因而其耐火能力要比钢结构强。

(6) 成本低。在组成混凝土的原材料中,占总量 85%~90% 是砂和石骨料,这些砂、石料可就地取材,成本低;水泥的原料主要是石灰石和黏土,也极为丰富;此外,由于近代大工业的发展,所排出的废渣、废液又可为混凝土的生产提供丰富的胶凝材料、骨料和外加剂。

(7) 易施工。除水泥外,主要组成部分的砂、石料开采比较容易,一般不需要太复杂的设备;外加剂的掺用量不多,其中不少是利用工业副产品,无需很复杂的生产设施;混凝土施工过程中的运输、搅拌、振捣工艺设备也比较简单,并不需要技术含量很高的工种。

(8) 能耗少。在各种建筑材料的生产中,水泥混凝土的生产能耗较低,与生产钢材、塑料相比,污染少,而且随着工业废渣、废液的利用,以及废弃混凝土被粉碎后的重复使用,还可以化害为利,改善环境。

2. 缺陷性

混凝土作为材料也有一些不足之处,如非均质性、生产周期长、干缩大、徐变大、水化热高、质量大等。

(1) 非均匀性。混凝土是一种非均质材料,抗压强度高,抗冲击、抗折、抗拉强度低,但这一缺陷可以采用钢筋混凝土或与其他材料复合来弥补改善。

(2) 工期长。混凝土浇灌后,需要在一定的温度条件下,经过相当长时间的养护硬化才可能具有一定的强度,并承受外荷载;特别在冬季施工时,还应采取相应的保温、促凝措施,才能保证强度增长。在正常情况下,需经 28d 才能达到设计标号。

(3) 干缩大。混凝土拌和物在干燥的大气中硬化会产生收缩,如果混凝土的收缩值大于其极限收缩值,就会使结构物产生裂缝。当裂缝宽度超过一定的范围时,就会影响结构物的正常使用。为了克服这一弊端,可以采用膨胀水泥补偿收缩,或其他减少收缩的措施,以改善其抗裂性能。

(4) 徐变大。混凝土在荷载的长期作用下,顺着荷载的作用方向,会产生塑性变形,

而且要经过很长时间变形才会稳定。这种徐变的产生将发生应力松弛,对于预应力混凝土结构物,将会引起预应力的损失。

(5) 水化热高。水泥在水化过程中会产生水化热。对于大体积混凝土,由于水化热会产生温度应力,当温度应力超过一定范围时,就会使混凝土产生裂缝。为了解决这一问题,已经研制出低热水泥。

(6) 密度大。普通混凝土的密度较大,一般都达到 2400kg/m^3 以上,比普通砖高出 600kg 。普通混凝土的导热系数相当于黏土砖的两倍。为了改善这一性能,在工业、民用建筑中,一些部位已经采用轻质混凝土代替普通混凝土。这样,不仅减小了荷载,而且保温性能也好。

二、混凝土的配制

“百年大计,质量第一”。要建造优质的混凝土工程,首先必须配制出优质的混凝土。

所谓优质混凝土,是指混凝土拌和物具有良好的浇筑性质;硬化后的混凝土各项性能均达到构件或建筑物所要求的指标;同时,造价也应该比较经济。主要包括以下内容:

(1) 物理力学性能。物理力学性能主要包括抗压、抗拉、抗弯、抗折等力学强度和密度、水化热、胀缩,以及隔音、保温等方面的性能。

(2) 耐久性。耐久性包括抗冻性、抗渗性、抗风化性、耐磨性、耐冲性、耐水性(抵抗水的侵蚀性)、抗碳化,以及耐火性、抗震性、防爆性等内容。

(3) 外观。混凝土的外表应该平整、光滑,无蜂窝、麻面,建筑装饰工程还应该满足美观的要求。

(4) 混凝土的单价最低。为了做到混凝土的单价低,使工程达到最经济的目的,首先应该使混凝土的单位水泥用量最少;其次应尽量就地取材,优先选用当地的天然骨料,只有在不得已的情况下,方可采用人工骨料。但无论怎样,都要以保证工程质量为前提。

影响配制优质混凝土的因素很多,主要应做好以下几方面的工作:

(1) 合理地选用原材料。为了保证混凝土达到要求的各项性能指标,首先应该认真查勘,并合理选用混凝土的各项原材料。

原材料的各项性能必须满足有关规范要求,这是配制优质混凝土的物质基础。没有优质的原材料,想要配制出优质的混凝土是不可能的。在选择原材料时,应该按标准进行,要与工程等级对混凝土的技术要求相适应,千篇一律地要求高强度、高标准的做法也是不合理的。

(2) 科学地进行配合比设计。为了使混凝土达到优质、经济的目的,应该按科学的方法进行混凝土的配合比设计,选定适宜的外加剂和合理的掺量,因地制宜地确定砂石骨料的级配,尽量加大骨料的粒径,多用骨料,减少混凝土的单位用水量和水泥用量,并适当掺用混合材。这是提高混凝土的质量,并降低混凝土造价最基本的措施。

(3) 严格按工艺要求进行施工。混凝土不同于其他材料,质量的优劣不仅与原材料和配合比例的选择密切相关,而且还取决于配料、搅拌、运输、浇捣和养护等各个施工工序。其中任何一个环节的疏忽,都会影响混凝土的均匀性和密实性,都会不同程度地降低

混凝土的质量。混凝土在硬化过程中,当各项技术性能尚未达到相当的指标之前,还只能算作半成品;完成品的质量如何,将取决于硬化后的最终结果。

(4) 加强混凝土的全面质量管理。全面质量管理是保证工程质量的科学方法。只有对混凝土整个生产流程实行全员全过程的全面质量管理,才能有效地管理好混凝土的质量,为国家建造更多更优秀的混凝土工程。

第四节 混凝土外加剂

一、外加剂发展概述

掺加在水泥混凝土中,用以改善水泥混凝土性能的化学物质称为混凝土外加剂。

混凝土与外加剂紧密相连,相互促进。混凝土性能的提高离不开外加剂的进步,外加剂技术的进步,又能促进混凝土技术的发展。

在混凝土中应用外加剂,已有了 100 多年的历史。早在 1873 年英国就有了在混凝土中应用氯化钙的记载。1937 年美国取得了木质磺酸盐的专利。由于木质磺酸盐是价廉的造纸厂废液,有可观的经济效益,是一种优良的减水剂,因此在工程上得到了广泛的应用。20 世纪 30 年代,美国发现了引气剂,极大地提高了混凝土的抗冻性能。1963 年日本在完成了 β -萘磺酸盐甲醛缩合物高效减水剂的研究后,又开发了麦地-150 (Mighty-150) 超塑化剂。1967 年德国取得了密胺磺酸盐甲醛缩合物的专利,开发了梅尔门特 L-10 (Melment L-10) 超塑化剂,用于制造流动混凝土。1974 年德国又研制成功水下混凝土外加剂,赋予混凝土拌和物高度黏聚性,提高了混凝土拌和物在水中的抗淘洗和防止离析的能力,大大提高了水下混凝土的施工质量。

自 20 世纪 90 年代开始,国外已广泛应用了聚羧酸高效减水剂。由于性能优良,部分国家已经用其取代了萘系高效减水剂。我国也在部分工程中应用了此类高效减水剂。

混凝土外加剂的应用,在我国从 20 世纪 50 年代就开始了,起初只是限于氯化钙,水玻璃、松香热聚物和亚硫酸纸浆废液等几个品种。在减水剂方面,我国最先生产和应用的是苇浆废液石灰沉淀制剂。其后,苇浆废液浓缩物、亚硫酸酒精废液相继使用。现在市场上的木质素磺酸钙(简称木钙),是我国目前广泛使用的普通型减水剂的主要品种。

在高效减水剂方面,我国做了大量的研究工作,首先由交通部研制成功 NNO,开启了高效减水剂研究的先河,之后国家建材研究院成功地研制了 MF 复合减水剂;在 MF 的基础上河北省研制成 DH-3, DH-3 减水剂与其他萘系减水剂相比,萘含量低,符合综合利用原则;湖南省还研制成功 MN 减水剂, MN 是由木质磺酸钙(M)和尼伦废料(N)复合而成的减水剂;葛洲坝集团公司还研制了 DN 减水剂(蛋白质、氨基酸的简称);南京水利科学研究院和广西大化水电站以甘蔗糖蜜酒精糟为主要原料,还研制成功 3FG-2 型减水剂;其他还有 NF、FON、UNF、DH、SN-II、CRS 非萘系减水剂等。

膨胀剂是由我国于 20 世纪 70~80 年代研制成功的新型外加剂,1978 年首先由原冶金工业部建筑研究总院研制成功脂膜石灰膨胀剂,接着安徽省建科所于 1979 年研制成功

明矾石膨胀剂, 1985 年中国建筑材料科学研究院成功地研制了 UEA 膨胀剂, 可配制补偿收缩混凝土和自应力混凝土, 在工程上得到了很好的应用。发展至今, 在我国已拥有十四大类几百个品种了。为了完善和规范外加剂的使用, 国家先后颁布了《混凝土外加剂应用技术规范》等规程规范, 有关部委和行业也相继发布了相应的规程, 保证了外加剂的正常推广、应用, 外加剂的生产得到了很大的发展。尤其是随着商品混凝土和泵送混凝土的普遍应用, 更促进了外加剂的快速发展。

二、外加剂的作用

最初使用外加剂, 仅仅是为了节约水泥, 随着建筑技术的发展, 掺用外加剂已成为改善混凝土性能的主要措施。

由于有了高效减水剂, 大流动度混凝土、自密实混凝土、高强混凝土得到应用; 由于有了增稠剂, 水下混凝土的性能得以改善; 由于有了缓凝剂, 水泥的凝结时间得以延长, 才有可能减少坍落度损失, 延长施工操作时间; 由于有了防冻剂, 溶液冰点得以降低, 或者冰晶结构变形不致造成冻害, 才可能在负温下进行施工等。

总体来说, 外加剂在改善混凝土的性能方面具有以下作用:

- (1) 可以减少混凝土的用水量, 或者不增加用水量就能增加混凝土的流动度。
- (2) 可以调整混凝土的凝结时间。
- (3) 减少泌水和离析, 改善和易性和抗水淘洗性。
- (4) 可以减少坍落度损失, 增加泵送混凝土的可泵性。
- (5) 可以减少收缩, 加入膨胀剂还可以补偿收缩。
- (6) 延缓混凝土初期水化热, 降低大体积混凝土的温升速度, 减少裂缝发生。
- (7) 提高混凝土早期强度, 防止负温下冻结。
- (8) 提高强度, 增加抗冻性、抗渗性、抗磨性、耐腐蚀性。
- (9) 控制碱—骨料反应, 阻止钢筋锈蚀, 减少氯离子扩散。
- (10) 制成其他特殊性能的混凝土等。

在混凝土中加入外加剂后, 由于品种不同, 产生的作用也各异, 多数是产生物理作用, 例如吸附于水泥粒子表面形成吸附膜, 改变了电位, 产生不同的吸力或斥力; 有的会破坏絮凝结构, 提高水泥扩散体系的稳定性, 改善水泥水化的条件; 有的能形成大分子结构, 改变水泥粒子表面的吸附状态; 有的会降低水的表面张力和表面能等; 还有少数直接参与化学反应, 与水泥生成新的化合物。

由于外加剂能有效地改善混凝土的性能, 而且具有良好的经济效益, 在许多国家都得到广泛的应用, 成为混凝土中不可或缺的材料。尤其是高效能减少剂的使用, 水泥粒子能得到充分的分散, 用水量大大减少, 水泥潜能得到充分发挥, 致使水泥石较为致密, 孔结构和界面区微结构得到很好的改善, 从而使得混凝土的物理力学性能有了很大的提高, 无论是不透水性, 还是氯离子扩散、碳化、抗硫酸盐侵蚀, 以及抗冲、耐磨性能等各方面均优于不掺外加剂的混凝土, 不仅提高了强度, 改善和易性, 还可以提高混凝土的耐久性。只有掺用高效减水剂, 配制高施工性、高强度、高耐久性的高性能混凝土才有可能实现。



第二章

混凝土的主要原材料



混凝土的主要原材料包括胶凝材料（水泥）、拌和用水、细骨料（砂）、粗骨料（石料）四部分，有时还掺入外加剂和掺合料。

第一节 水 泥

一、水泥的种类

水泥是一种能在空气或水中硬化的水硬性胶凝材料，在各项工程建设中应用非常广泛。随着我国社会主义建设事业的发展，水泥工业也取得了巨大的发展，生产的水泥品种标号日益增多。现在能够生产的水泥已经有七八十种之多。常用的有硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥、石灰石硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥。有时还有专为大坝浇筑生产的大坝水泥、抗硫酸盐硅酸盐水泥等。其他特殊用途的有矾土水泥、快硬水泥、膨胀水泥、自应力水泥、白色水泥、油井水泥、耐火水泥、道路水泥、高铁硅酸盐水泥、镁质硅酸盐水泥、防水水泥、耐酸水泥等。

根据水工混凝土的特点，今后还应该研制生产发热量低、收缩性小和抗拉强度高的抗裂水泥、抗冻水泥、耐磨水泥、抗冲水泥、喷射水泥以及低热微膨胀水泥等，以满足水工混凝土各种不同性能的要求。

采用膨胀水泥，可以抵消由于混凝土收缩而引起的体积变化，这是解决混凝土坝裂缝的一项有力措施。用以补偿收缩的微膨胀水泥，其膨胀率为 $0.03\% \sim 0.10\%$ ，相当于 $0.2 \sim 0.7\text{MPa}$ 的压应力；另一类膨胀率较大的自应力水泥，膨胀率可达 0.25% ，自应力值高达 7MPa 。

采用膨胀水泥，有可能在浇筑混凝土的过程中不设收缩缝，从而有可能免除灌浆工作；如果用于基础回填和修补工程，更具有优越性。总之，膨胀水泥与自应力混凝土的出现与发展，为混凝土的应用开辟了新的途径，这对于改善混凝土的性能和施工是一项重要的技术突破。

我国经过有关单位的共同努力，已经研制成低热微膨胀矿渣水泥，并进行了较大型的混凝土坝块的现场施工试验。资料表明，这种水泥的性能良好，具有低热、早强、微膨胀等特性。其 7d 的水化热为 $140 \sim 170\text{J/g}$ ；525 水泥 3d、7d 的强度分别为 28d 强度的 44% 、 70% ；水泥净浆 7d 的膨胀率达 0.15% 以上；坝体内实测的混凝土自生体积膨胀变形为 310×10^{-6} 左右；在约束下膨胀，可产生 $0.8 \sim 0.9\text{MPa}$ 的膨胀压应力。

上述各种水泥可综合归纳为以下四类。

(一) 硅酸盐水泥

(1) I 型硅酸盐水泥：不掺加任何掺合料的纯熟料水泥，代号为 P · I。

(2) II 型硅酸盐水泥：由纯熟料掺入 5% 的石灰石或粒化高炉矿渣的水泥，代号为 P · II。

(3) 普通硅酸盐水泥：由纯熟料、6%~15% 的掺合料、适量石膏磨制的水泥，代号为 P · O。

(二) 加掺合料的水泥

(1) 矿渣水泥：由水泥熟料、20%~70% 粒化高炉矿渣、适量石膏磨制的水泥，代号为 P · S。允许用石灰石或其他活性掺合料代替一部分矿渣，替代后水泥中的粒化高炉矿渣不得少于 20%。

(2) 火山灰水泥：由水泥熟料、20%~50% 火山灰质掺合料、适量石膏磨制的水泥，代号为 P · P。

(3) 粉煤灰水泥：由水泥熟料、20%~40% 的粉煤灰、适量石膏磨制的水泥，代号为 P · F。

(4) 复合水泥：由水泥熟料、15%~50% 掺合料（两种以上）、适量石膏磨制的水泥，代号为 P · C。

(5) 早强水泥：代号为 R。

(三) 无熟料水泥

无熟料水泥是以活性掺合料为主要原料，加入一定量的激发剂（水泥熟料、石灰或石膏）磨成细粉或分别磨细后再均匀混合而制成的水泥，如石灰矿渣水泥、石膏矿渣水泥、赤泥硫酸盐水泥等。现在基本不生产此类水泥。

(四) 其他特种水泥

其他特种水泥是为了满足工程特殊要求所生产的水泥，如膨胀水泥、白色水泥、油井水泥、抗酸水泥、防水水泥等。

二、矿物组成与化学成分

水泥品种不同，主要是由于生料（即原料）的化学成分和熟料的矿物组成有差别，或者是由于掺有不同种类的掺合料，因此它们的特性也不相同。生产水泥时，首先根据对水泥性质的要求来决定其矿物组成，然后再根据矿物组成选择生料。

下面以硅酸盐水泥为例，分别予以说明。

(一) 矿物组成的控制系数

硅酸盐水泥的原料主要是石灰石（75%~78%），其次是黏土（25%~22%），可以用天然的黏土质石灰岩，也可由白垩或石灰岩与黏土质岩石混合使用。为了获得品质好的水泥，其化学成分须控制在下列范围之内：

(1) 氧化钙（CaO）60%~70%；

(2) 氧化硅（SiO₂）19%~24%；

(3) 氧化铝（Al₂O₃）4%~7%；