

山东省建设行业从业人员教育培训系列教材

总主编 葛金平 毕可敏 王东升 贾风兴

建筑新技术概论

JIANZHU XINJISHU GAILUN

主编 夏宪成 周盛世 毕可敏 张莹



中国海洋大学出版社

山东省建设行业从业人员教育培训系列教材

总主编 葛金平 毕可敏 王东升 贾风兴

建筑新技术概论

主 编	夏宪成	周盛世	毕可敏	张 莹
副 主 编	王东升	张 暄	胡龙伟	陈传联
参编人员	朱 珊	邱 岩	洪文霞	牛腾飞
	于英乐	王志强	李 菲	孙文力
	程 磊	姜东民	于东英	张 平
主 审	邵军义			

中国海洋大学出版社

• 青 岛 •

内容提要

本书从理论与实践的结合上论述了现代土木工程建筑的新型建筑材料、地基特殊问题的处理,高层建筑施工新技术、新型建筑墙体和轻钢结构等问题,并对现代工程项目管理、企业管理与信息系统作了介绍。

图书在版编目(CIP)数据

建筑新技术概论/夏宪成,周盛世,毕可敏,张莹主编. —青岛:中国海洋大学出版社,2006.6
(山东省建设行业从业人员教育培训系列教材/葛金平,毕可敏,王东升,贾风兴总主编)
ISBN 7-81067-879-5

I. 建… II. ①夏…②周…③毕…④张… III. 建筑工程—技术培训—教材 IV. TU

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 049474 号

建筑新技术概论

夏宪成 周盛世 毕可敏 张 莹 主编

出版发行 中国海洋大学出版社

社 址 青岛市鱼山路 5 号 邮政编码 266003

网 址 <http://www2.ouc.edu.cn/cbs>

电子信箱 cbsybs@ouc.edu.cn

订购电话 0532-82032573 82032644(传真)

责任编辑 孟显丽 电 话 0532-82032121

印 制 日照报业印刷有限公司

版 次 2006 年 7 月第 1 版

印 次 2006 年 7 月第 1 次印刷

开 本 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张 22.625

字 数 523 千字

定 价 56.00 元

山东省建设行业从业人员教育培训系列教材

编 委 会

主 任:葛金平

副 主 任:毕可敏 王东升 贾风兴 陈起俊

委 员:(按姓氏笔画排序)

马树华	马成欣	王爱民	王东升	王同民	王炳珍
王鹏辉	毕可敏	吕道光	刘西川	刘合森	任从强
邢善宏	迟洪臻	李 军	李祥军	陈起俊	辛丕平
张 莹	张素慧	张春栋	周建国	宗维华	杨玉萍
赵方智	郝建峰	贾风光	耿少侠	夏宪成	程远敏
桑培东	葛金平	葛继卿	管锡珺	黎 奎	薛 铸

总 主 编:葛金平 毕可敏 王东升 贾风兴

编写人员:(按姓氏笔画排序)

马文琳	万克淑	万晓枝	于 群	于英乐	于东英
于周军	牛腾飞	王东升	王炳珍	王志强	王卫刚
王卫明	王新华	王玉玘	王 日	王慧龙	王 旭
王雁飞	王 岩	王同民	王晓丽	田 珊	申 峰
毕可敏	闫 刚	闫新元	曲广平	曲凡叶	孙小军
孙文力	孙 波	刘合森	刘华文	刘亚钦	刘冬梅
刘敬爱	刘云锁	朱 民	朱海燕	江 频	朱 珊
庄伟真	任从强	齐丽霞	仲召辉	李 军	李 健
李祥军	李永禧	李 菲	邱 岩	杜德鹏	辛卫宁
张 莹	张 平	张 萍	张 暄	张 凤	张建文
陈 涛	陈起俊	陈传联	邵军义	杨玉萍	杨 杰
杨晓红	杨 爽	周建国	周玉江	周盛世	周秀玲
赵 敏	咎 洋	姜 燕	姜东民	姜海涛	胡龙伟
贺 晗	姚 琴	洪文霞	娄晓霞	娄小龙	夏宪成
夏建辉	贾 超	高会芹	康云华	梁华普	崔 军
程 磊	韩 宁	葛 欣	董 攀	解本森	桑培东
管锡珺	黎 奎				

前 言

我国加入 WTO 后,建筑业正在逐步与国际接轨,统一开放、竞争有序的建设市场已基本形成。为了帮助建设行业从业人员更新知识,强化法律法规观念,提高基本理论和业务水平,规范管理、规范施工,培养和造就一批高素质、职业化的工程项目的管理人才,山东省建筑工程管理局组织编写了“山东省建设行业从业人员教育培训系列教材”。

本系列教材共有七册:《建设工程法律法规相关知识》、《建设工程项目管理》、《建设工程招标投标文件的编制与应用》、《建设工程经济与企业管理》、《建筑新技术概论》、《建设工程安装技术》和《建筑工程装饰施工技术》。

《建设工程法律法规相关知识》以我国现行的法律法规为基础,以基本建设程序为主线,全面、系统地阐释了建设工程管理人员必备的法律法规知识,并附有典型案例分析。

《建设工程项目管理》较全面地论述了建设工程项目管理的基础知识、基本理论、基本方法、管理要求、管理实践与经验等内容,具有较强的应用性和可操作性。

《建设工程招标投标文件的编制与应用》以国家有关法律法规为基础,以现实工程为案例,详细诠释了建设工程量清单、建设工程量非清单以及建设工程工程监理的招标和投标文件的编制过程 and 在实际工程中的应用。

《建设工程经济与企业管理》分为建设工程经济和建筑企业管理两大部分:前者系统地阐述了工程经济的基本原理与分析方法;后者主要介绍了建筑企业管理的一般原理,科学的理论方法及先进的管理技术。

《建筑新技术概论》从理论与实践的结合上论述了现代土木工

程建筑的新型材料、地基处理、高层建筑施工技术、新型建筑墙体和轻型钢结构等问题。

《建设工程安装技术》以现代建设工程为主体,全面、系统地阐述了现代给水排水工程技术,现代暖气、通风、空调工程技术,现代电气及智能化系统工程技术,小区安装工程外网配置及设备等内容,具有较强的实用性和可操作性。

《建设工程装饰施工技术》以现代建筑材料及技术在建设工程中的应用为主线,全面论述了楼地面装饰工程、墙面装饰工程、顶棚装饰工程、装饰油漆和粉刷工程的材料及施工技术,并介绍了室内装饰工程防火与室内污染防治的技术方法。

本系列教材初稿脱稿后,编委会组织人员分头征求了有关专家的意见,并进行了多次修改,最后由中国海洋大学王东升教授统稿、定稿。

在组织、编写本系列教材的过程中,始终得到了山东省及各市建筑业教育培训主管部门、中国海洋大学、山东建筑大学、青岛理工大学等单位的大力支持,在此谨表衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中不当甚或错误在所难免,诚望专家和读者提出宝贵意见。

山东省建设行业从业人员教育培训系列教材编委会

2006年5月

目 录

第 1 章 新型建筑材料	1
1.1 新型水泥	1
1.2 新型混凝土	7
1.3 新型防水材料.....	30
1.4 新型玻璃.....	41
1.5 新型建筑装饰木材.....	51
1.6 新型建筑钢材.....	55
第 2 章 地基特殊问题的处理	76
2.1 岩溶地基的处理.....	76
2.2 局部地基的处理.....	81
2.3 地基特殊问题的处理.....	86
2.4 特殊土地基的处理.....	88
2.5 基坑支护	101
第 3 章 高层建筑施工新技术	109
3.1 高层建筑及施工技术的发展	109
3.2 高层建筑施工机械	123
3.3 高层建筑施工新技术	155
第 4 章 新型建筑墙体	173
4.1 概述	173
4.2 非烧结砖	178
4.3 小型混凝土空心砌块墙	187
4.4 加气混凝土砌块	201
4.5 新型墙板	211
第 5 章 轻型钢结构	232
5.1 概述	232
5.2 轻钢结构屋盖	236
5.3 轻钢结构刚架	242

5.4	轻钢结构低层住宅	247
5.5	轻钢结构制造安装和防腐	258
第6章	现代工程项目管理	263
6.1	现代建设项目的质量管理和安全生产管理	263
6.2	现代建设项目进度的管理和控制	269
6.3	现代建设项目投资控制	281
6.4	现代建设项目工程风险管理与工程保险	300
6.5	现代建设项目的竣工验收	320
第7章	企业管理及企业信息化	326
7.1	信息资源	326
7.2	企业信息化基础	334
7.3	信息系统与管理信息系统	339
7.4	新经济的特点与信息的作用	347
参考文献		353

第 1 章 新型建筑材料

1.1 新型水泥

1.1.1 特殊品种的硅酸盐水泥

土木工程中除了广泛应用通用硅酸盐水泥外,为满足某些工程的特殊性能要求,还常采用部分具有特殊性能的硅酸盐水泥。例如,快硬硅酸盐水泥、白色硅酸盐水泥、彩色硅酸盐水泥、膨胀水泥以及抗硫酸盐硅酸盐水泥等。

1. 白色硅酸盐水泥

凡以适当成分的生料烧至部分熔融,所得以硅酸钙为主要成分且氧化铁含量很少的白色硅酸盐水泥熟料,再加入适量石膏共同磨细制成的水硬性胶凝材料称为白色硅酸盐水泥,简称白水泥。

(1) 白色硅酸盐水泥的生产工艺及要求

通用硅酸盐水泥中通常含有较多的氧化铁而多呈灰色,且随着氧化铁含量的增加而颜色变深,为满足工程对水泥颜色的要求,白色硅酸盐水泥在生产时应严格产制水泥原料的铁含量,并严防在生产过程中混入铁质物质。通常,白色硅酸盐水泥中铁含量只有普通水泥的 1/10 左右。此外,由于钛、锰、铬等的氧化物也会导致水泥白度的降低,故在生产中亦应控制其含量。

表 1-1 水泥中含铁量与水泥颜色的关系

氧化铁含量(%)	3.00~4.00	0.45~0.70	0.35~0.40
水泥颜色	暗灰色	淡绿色	白色

显然,白色硅酸盐水泥与通用硅酸盐水泥的生产原理与方法基本相同,但对原材料的要求有所不同。生产白色水泥所用石灰石及黏土原料中的氧化铁含量应分别低于 0.1% 和 0.7%。为此,常用的黏土质原料主要有高岭土、瓷石、白泥、石英砂等,石灰岩质原料则多采用白垩。

为防止有色物质对水泥的颜色污染,生产中还需要采取一些特殊措施,如选用无灰烬的气体燃料(天然气)或液体燃料(柴油、重油或酒精等);在粉磨生料和熟料时,为避免混入铁质,球磨机内壁要镶贴白色花岗岩或高强陶瓷衬板,并采用烧结刚玉、瓷球、卵石等作为研磨体。为提高白色水泥的白度,对白水泥熟料还需经漂白处理。例如,对刚出窑的红

热熟料进行喷水、喷油或浸水,使高价色深的三氧化二铁还原成低价色浅的氧化亚铁或四氧化三铁,也可通过提高白色水泥熟料的饱和比(即 KH 值)增加其中游离 CaO 的含量,并使其吸水消解为 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,或适当提高水泥的细度。白色硅酸盐水泥所用石膏多采用高白度的雪花石膏来增强其白度。

(2) 白水泥的技术性质

①强度 根据国家标准《白色硅酸盐水泥(GB2015—91)》规定,白色硅酸盐水泥分为 325,425,525,625 四个标号,不同标号水泥各龄期的强度不得低于规定要求值。

②白度 白度是反映水泥颜色白色程度的技术参数。将白色水泥样品装入压样器中压成表面平整的白板,置于白度仪中所测定的技术指标,以其表面对红、绿、蓝三原色光的反射率与氧化镁标准白板的反射率比较,所得的相对反射百分率即为水泥的白度。白色硅酸盐水泥按其白度可分为特级、一级、二级和三级共四个等级,各等级水泥的白度值不得低于规定的要求值。

③细度、凝结时间及体积安定性 为满足工程使用的技术要求,白色硅酸盐水泥对其细度要求为 $80\text{ }\mu\text{m}$ 方孔筛筛余量不得超过 10%;其初凝时间不早于 45 min,终凝时间不得迟于 12 h;为满足对水泥体积安定性的要求,白色硅酸盐水泥熟料中氧化镁的含量不得超过 4.5%,水泥中三氧化硫含量不得超过 3.5%,其体积安定性以沸煮法检验必须合格。

④白色硅酸盐水泥的产品等级 为满足不同工程对白色硅酸盐水泥综合性能的要求,根据其强度标号和白度的不同,将其划分为优等品、一等品及合格品三个产品等级,各产品等级的白度级别及强度标号应满足规定要求。

2. 彩色硅酸盐水泥

彩色硅酸盐水泥是指除灰色的通用水泥及白色水泥之外的硅酸盐水泥。为获得所期望的色彩,可采用烧成法或染色法生产彩色水泥。其中烧成法是通过调整水泥生料的成分,使其烧成后生成所需要的彩色水泥;染色法是将硅酸盐水泥熟料(白水泥熟料或普通水泥熟料)、适量石膏和碱性颜料共同磨细而制成的彩色水泥,也可将矿物颜料直接与水泥粉混合而配制成彩色水泥。

与烧成法相比,尽管染色法生产的彩色水泥颜料用量大,色泽也不易均匀;但其制作便捷,成本也较低,因此工程中更较常采用。通常,采用染色法生产彩色水泥时,所用颜料应满足一些特殊要求,如不溶于水、分散性好、耐大气稳定性好(通常要求其耐光性在 7 级以上)、抗碱性强(应具有一级耐碱性)、着色力强、颜色浓,而且不得显著影响水泥的强度及其他性能。为此,彩色水泥用颜料应以无机矿物颜料为主,有机颜料只能作为辅助颜料以使水泥色泽鲜艳。

白色硅酸盐水泥和彩色硅酸盐水泥在各种装饰工程中应用较多,常用来制作彩色仿石材料(人造大理石等),配制彩色水泥浆或彩色砂浆,生产装饰混凝土,它也是制造彩色水刷石及水磨石等各种装饰材料的主要胶凝材料。

3. 道路硅酸盐水泥

依据国家标准《道路硅酸盐水泥(GB13693—92)》规定,凡由适当成分的生料烧至部分熔融,所得的以硅酸钙为主要成分,并且铁铝酸钙含量较多的硅酸盐水泥熟料,称为道

路硅酸盐水泥熟料。

将道路硅酸盐水泥熟料、0~10%活性混合材料和适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为道路硅酸盐水泥,简称道路水泥。

为满足道路工程对水泥抗折强度和耐磨性较高的要求,国家标准规定,道路硅酸盐水泥中铁铝酸四钙含量不得小于16.0%,铝酸三钙含量不得大于5.0%,其他技术指标要求应满足规定的要求。

与其他品种的硅酸盐系水泥相比,道路硅酸盐水泥具有抗折强度与早期强度高、耐磨性好、干缩率低,抗冲击性、抗冻性和抗硫酸盐侵蚀能力均较好。它更适用于公路路面、机场道面、车站及公共广场等工程的面层混凝土中的应用。

4. 快硬硅酸盐水泥

凡以硅酸钙为主要成分的水泥熟料,加入适量石膏,经磨细制成的具有早期强度增长快的水硬性胶凝材料,称快硬硅酸盐水泥,简称快硬水泥。与通用硅酸盐水泥相比,快硬硅酸盐水泥是通过调整其矿物成分或添加部分促硬成分,使其凝结和硬化速度显著加快的水泥。采用快硬硅酸盐水泥,可以满足土木工程对水泥混凝土高强与早强的要求,如用于早强混凝土工程、紧急抢修工程、低温环境施工的工程和结构物的快速修补等。

目前,我国采用较多的快硬水泥品种主要有快硬硅酸盐水泥和无收缩快硬硅酸盐水泥。此外,还有快硬高强铝酸盐水泥、快硬硫酸盐水泥、快硬铁铝酸盐水泥等。其中快硬硅酸盐水泥的主要技术性能指标应满足规定的要求。

快硬硅酸盐水泥的生产工艺与通用硅酸盐水泥基本相同。只是适当增加熟料中水化、硬化速度较快矿物的含量,其硅酸三钙含量可达50%~60%,铝酸三钙可达8%~14%,两者的总量应不少于60%~65%。此外,还应适当增加石膏主掺量(通常达8%),并提高水泥的粉磨细度。

快硬水泥的技术性质应满足国家标准的规定,其安定性(可采用沸煮法检验)必须合格。快硬水泥的强度标号应以3d强度来确定,1d和28d强度不得低于要求。

5. 膨胀及自应力硅酸盐水泥

通用硅酸盐水泥在空气中硬化时,通常都会产生一定的收缩,这些收缩将使水泥石结构产生内部应力,甚至产生微裂缝,为此,应采用膨胀水泥来消除这些收缩造成的不利影响。工程实际中对于某些后浇部位(如接头、填塞孔洞、修补缝隙等),其体积收缩必然会造成界面开裂,此时必须采用膨胀水泥才能使后浇部位获得密实的结构。

利用水泥硬化过程中较大的膨胀性还可以使其在约束状态下产生自应力。例如在钢筋混凝土中采用膨胀及自应力硅酸盐水泥时,由于混凝土的膨胀将使钢筋产生一定的拉应力,混凝土受到相应的压应力。这种压应力能使混凝土免于产生收缩开裂,当其值较大时,还能抵消一部分因外界因素所产生的拉应力,从而有效地克服混凝土抗拉强度低的缺陷。这种预先产生的压应力来自于水泥本身的水化,故常称之为自应力,并以“自应力值”(MPa)表示其在混凝土中所产生的压应力大小。因此,根据水泥膨胀效果可将其分为两类,即当其自应力值大于或等于2.0 MPa时,称为自应力水泥;当自应力值小于2.0 MPa(通常为0.5 MPa左右)时,则称为膨胀水泥。

与通用硅酸盐水泥相比,膨胀及自应力硅酸盐水泥的主要组成成分是以硅酸盐水泥

熟料为主,另外掺加了部分煅烧铝酸盐矿物和较多量的石膏。其膨胀源主要来自于在水泥硬化过程中形成的大量钙矾石,从而产生明显的体积膨胀。利用这一原理,可以通过调整膨胀水泥的各组成配比,使其生成所期望的钙矾石数量,以获得不同的膨胀值和满足不同的技术要求。

在土木工程建设中,膨胀水泥主要用于补偿收缩的混凝土结构、防渗抗裂的混凝土结构、后浇结构、各种接缝及管道接头。此外,膨胀水泥也常用于结构的加固与修补,浇注机器底座及地脚螺丝等预埋件。自应力水泥主要用于制造自应力钢筋,混凝土压力管及其配件。

6. 抗硫酸盐水泥

抗硫酸盐水泥是指对于硫酸盐侵蚀具有较强抵抗能力的水泥。与通用硅酸盐水泥相比,主要是限制了这种水泥熟料矿物组成中 CA 和 CS 的含量,使侵入水泥石结构的硫酸盐难以产生破坏性的“水泥杆菌”。根据国家标准《抗硫酸盐水泥(GB748—1996)》规定,抗硫酸盐水泥分为普通抗硫酸盐水泥($C_3A < 5\%$, $C_3S < 55\%$)及高抗硫酸盐水泥($C_3A < 3\%$, $C_3S < 55\%$)两类,并根据其 28 d 强度划分为 425 号及 525 号两个标号。

抗硫酸盐水泥除了具有较强的抗侵蚀能力外,还具有较高的抗冻性。因此它主要用于受硫酸盐侵蚀、冻融循环及干湿作用的海洋工程与海岸工程、水利工程及地下工程。

1. 1. 2 铝酸盐水泥

凡是以铝酸钙为主的铝酸盐水泥熟料磨细制成的水硬性胶凝物质称为铝酸盐水泥,代号 CA。根据需要也可在 Al_2O_3 含量大于 68% 的水泥中掺加适量的 Al_2O_3 粉制得。它是一种快硬、高强、耐腐蚀、耐热水泥。

根据 Al_2O_3 含量的高低和水泥性能,铝酸盐水泥分为四类。这四类水泥的耐火度大致分别达到 1 500℃, 1 600℃, 1 700℃, 1 750℃, 是工程中常用的耐火胶凝材料铝酸盐水泥的矿物组成。

1. 铝酸盐水泥的矿物组成

铝酸盐水泥的主要矿物成分为铝酸-钙 $CaO \cdot Al_2O_3$ (简称为 CA), 并含有少量其他的铝酸盐, 如 $CaO \cdot 2Al_2O_3$ (简称为 CA_2), $2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$ (简称为 C_2AS), $12CaO \cdot 7Al_2O_3$ (简称为 $C_{12}A_7$) 等, 有时还含有很少量 $2CaO \cdot SiO_2$ 等。

水化物 CAH 或 CAH 都属六方晶系, 具有细长的针状和板状结构, 能互相结成坚固的结晶连生体, 形成晶体骨架。析出的氢氧化铝凝胶难溶于水, 并填充于晶体骨架的空隙中, 形成较密实的水泥石结构。同时, 水化 5~7 d 后, 水化铝酸盐结晶连生体的大小很少改变, 故铝酸盐水泥初期强度增长很快, 而以后强度增长不显著。在铝酸盐水泥的水化过程中, 产生的水化硅酸钙数量很少, 它在硬化过程中所起的作用也不大。

在普通硬化条件下, 铝酸盐水泥的水泥石中几乎不含水化铝酸三钙和氢氧化钙, 同时密实度也较大。因此, 对硫酸盐等介质的侵蚀作用具有很高的抵抗能力。

2. 铝酸盐水泥的技术要求及特性

(1) 铝酸盐水泥的技术要求

铝酸盐水泥多为黄色或褐色的粉末状材料, 其密度和堆积密度与普通硅酸盐水泥相近。根据国家标准 GB201—2000 的规定, 工程中主要要求细度、凝结时间和强度等技术

指标。其中具体指标为:

①细度 比表面积不小于 $300 \text{ m}^2/\text{kg}$ 或 0.045 mm 方孔筛筛余不得超过 20% 。

②凝结时间 采用标准稠度砂浆所测定的不同种类铝酸盐水泥的凝结时间应满足规定要求。

③强度 各龄期强度不得低于的规定要求。

表 1-2 铝酸盐水泥的技术要求

性能指标		水泥种类			
		CA-50	CA-60	CA-70	CA-80
细度		比表面积不小于 $300 \text{ m}^2/\text{kg}$ 或 0.045 mm 方孔筛筛余不得超过 20% 。			
凝结时间	初凝时间(min)不早于	30	60	30	30
	终凝时间(min)不迟于	6	18	6	6
抗压强度(MPa)	6 h	20	—	—	—
	1 d	40	20	30	25
	3 d	50	45	40	30
	28 d	—	85	—	—
抗折强度(MPa)	6 h	3.0	—	—	—
	1 d	5.5	2.5	5.0	4.0
	3 d	6.5	5.0	6.0	5.0
	28 d	—	10.0	—	—

(2) 铝酸盐水泥的技术特性

铝酸盐水泥通常具有以下技术特性:快凝早强,1 d 强度可达最高强度的 80% 以上;水化热大,且放热量集中,1 d 内放出水化热总量的 $70\% \sim 80\%$,使混凝土内部温度上升较高,故即使在 -10°C 下施工,铝酸盐水泥也能很快凝结硬化;因其水化后无 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 及水化铝酸三钙生成而使其抗硫酸盐腐蚀的能力很强;其水化物的耐热性好,可使其水化物结构耐 1400°C 高温;具有后期强度降低的特点,故其长期强度可能有所降低,一般降低 $40\% \sim 50\%$ 。在自然条件下,铝酸盐水泥长期强度下降有一个最低稳定值。使用时铝酸盐水泥混凝土按最低稳定强度进行设计。按国家标准《铝酸盐水泥(GB201—2000)》的规定,其最低稳定强度值以试件脱模后放入 $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$ 水中养护,取龄期为 7 d 或 14 d 强度值的较低者。

关于铝酸盐水泥长期强度降低的原因很复杂,它是由多种因素综合作用的结果。其一是铝酸盐水泥主要水化产物 CAH_{10} 和 C_2AH_8 ,为亚稳晶体结构,经过一定时间后,特别是在较高温度及高湿度环境中,易转变成稳定的呈立方体结构的 C_3AH_6 ;而新立方体晶体结构相互搭接差,其骨架强度也较低。其二是在晶形转化的同时,固相体积将减缩约 50% ,使水泥石结构的孔隙率增加。其三是在晶体转变过程中析出大量游离水,进一步降低了水泥石结构的密度,导致强度下降。

3. 铝酸盐水泥的应用

铝酸盐水泥快硬早强的特点使其更适用于某些要求早强快硬的工程结构和临时性结构工程,如各种抢修工程、紧急军事工程;利用其在高温下结构较稳定的特点,可以用于高温环境的结构工程,如高温窑炉的炉体和炉衬、高温车间的部分结构等;利用其耐软水及盐类腐蚀的特点,可以用于某些腐蚀环境中的工程。此外,由于铝酸盐水泥快硬高强、颜色较浅且对颜料的适应性较好、可在表面析出大量氢氧化铝胶体而使表面致密光亮,这些特性又使其适合于制作各种人造石、彩色水磨石等水泥制品。

因为铝酸盐水泥的后期强度增长潜力很小,尤其是在较高温度环境中还可能产生后期强度的部分倒缩现象,所以,它不适合用于长期承重的结构及高温高湿环境中的工程。当用于长期承载的结构工程时,铝酸盐水泥应采用较低的水灰比,以获得足够的稳定强度。实践证明,当铝酸盐水泥的水灰比 <0.40 时,由于其早期强度较高,即使后期因温度升高而产生晶形转化,并熏强度产生部分倒缩后,仍能保持较高的稳定强度。

为获得较高的早期强度,铝酸盐水泥应尽可能避免在高温季节施工,尤其不能进行蒸汽养护,其适宜的施工温度为 15°C ,不宜大于 25°C 。工程实际中,铝酸盐水泥一般不得与硅酸盐水泥或石灰混合使用。铝酸盐水泥不得长期存放,存放时注意防潮防水,也不得混放。

1. 1. 3 硫铝酸盐水泥

以适当成分的生料,烧成以无水硫铝酸钙 $3(\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3)$, CaSO_4 和 β 型硅酸二钙为主要矿物成分的熟料,加入适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,称为硫铝酸盐水泥。

表 1-3 硫铝酸盐水泥主要指标

水泥标号	比表面积(m^2/kg)	凝结时间(min)		抗压强度(MPa)			抗折强度(MPa)		
		初凝	终凝	12 h	1 d	3 d	12 h	1 d	3 d
425	400~500	25	300	29.4	34.4	41.7	5.9	5.4	5.9
525				35.8	44.1	51.5	5.4	5.9	7.4
625				39.2	51.5	61.5	7.4	7.4	7.8

由于硫铝酸盐水泥中的无水硫铝酸钙遇水后水化很快,往往在水泥失去塑性前已经形成了大量的钙矾石和氢氧化铝凝胶;而且水泥中的 β -CS 是在较低温度下($1250^{\circ}\text{C} \sim 1350^{\circ}\text{C}$)形成的较高活性矿物成分,它的水化速度也较快并很快生成 C—S—H 凝胶。在硫铝酸盐水泥的凝结硬化过程中,水化形成的 C—S—H 凝胶和氢氧化铝凝胶不断填充由钙矾石等结晶体构成的骨架空间结构,逐渐形成致密的水泥石结构,从而使快硬硫铝酸盐水泥获得更高的早期强度。另外,CS 水化析出的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,还能加快与氢氧化铝及石膏的反应,而又进一步增加了钙矾石的数量,也使水泥石结构的早期强度得以很快提高。因此,硫铝酸盐水泥表现出很显著的快硬早强特点,通常也将其称为快硬硫铝酸盐水泥。

由于硫铝酸盐水泥的水化产物对于大部分酸和盐类具有较强的抵抗能力,其内部结构很快被填充密实;因此,硫铝酸盐水泥形成的水泥石结构不仅具有良好的抗腐蚀性,而且还具有较高的抗冻性和抗渗性。

此外,硫铝酸盐水泥水化形成的钙矾石在 150℃ 高温环境中容易脱水而发生晶型转变,并导致其强度大幅度下降,故其耐热性较差。

快硬硫铝酸盐水泥主要用于早强、抗渗和抗硫酸盐侵蚀的混凝土,配制快硬水泥浆用于灌浆、喷锚支护、抢修、堵漏等,也可用于冬季施工。此外,利用快硬硫铝酸盐水泥快凝、早强、不收缩和碱度较低的特点,可用于制作各种水泥制品及玻璃纤维增强材料。

考虑硫铝酸盐水泥碱度低而易使钢筋锈蚀的特点,不得用于普通钢筋混凝土工程,通常可用玻纤增强。此外,钙矾石在 150℃ 以上会脱水,强度大幅度下降,故硫铝酸盐水泥耐热性较差,也不适合于夏季高温施工环境及高温结构中使用。应用于土木工程中的硫铝酸盐水泥应满足相应的技术性能要求。

1.2 新型混凝土

1.2.1 高性能混凝土

1. 高性能混凝土的定义

何谓高性能混凝土?在 20 世纪 80 年代末,美国首次提出高性能混凝土这一名称,而后世界各国迅速开始研究和应用。在 20 世纪 90 年代以前,由于人们的认识不够统一,高性能混凝土没有一个确切的定义。

1990 年 5 月,在美国马里兰州 Gaithersburg 城,由美国国家标准与工艺研究院(NIST)和美国混凝土学会(ACI)主办的讨论会上,高性能混凝土(简称 HPC)定义为:具有所要求的性能和匀质性的混凝土。这些性能主要包括:易于浇筑捣实而不产生离析、超高的、能长期保持其力学性能;早期强度高、韧性高和体积稳定性好;在恶劣的使用条件下,使用寿命长。这种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。以后不少学者根据不同工程的要求,提出了不尽相同的高性能混凝土的含义。大多数认为 HPC 的强度指标应不低于 50~60 MPa;日本学者更重视其工作性和耐久性,认为 HPC 应具有高耐久性、高流动性和高体积稳定性。

2. 实现混凝土高性能的技术途径

如上所述,高性能混凝土的内涵包括多方面,首先必须是高强度混凝土,如何实现混凝土的高强度,这是配制高性能混凝土的核心问题。实现混凝土的高强化,首先必须使胶结料本身高强化,这是混凝土高强度、高性能的必要条件。配制混凝土的胶结料,除了常用的硅酸盐水泥外,还有球状水泥、调粒水泥和活化水泥等。这些水泥的最大特点是标准稠度用水量低。因此,在相同水灰比的情况下,水泥浆的流动性大,或者说达到相同的流动性时,混凝土的水灰比可以降低。如调粒水泥混凝土的水灰比可降低 17.5%,坍落度仍可以达到 25 cm 以上。从骨料与胶结料之间的界面结构看,界面过渡层约 20 μm 范围内,氢氧化钙富集及定向排列情况,与其他部分的水泥石相比,是一种多孔质的结构,其强度很低。为了改善其界面结构,可在混凝土中掺入矿物掺和料,如硅灰、超细矿渣、磨细粉煤灰及超细沸石粉等。这些超细的粒子与界面上存在的氢氧化钙反应,生成 C—S—H 凝胶,降低了氢氧化钙的富集及定向排列,因而可提高界面强度,同时还有利于提高混凝土

土的抗渗性和耐久性。

在普通混凝土中,骨料对强度的影响不太明显。但在高强混凝土中,骨料的数量和质量对混凝土的强度影响很大。当水灰比为 0.25 时,用不同粗骨料配制的混凝土,其抗压强度相差约 40 MPa;而不同细骨料配制的混凝土,其抗压强度差值也达 20 MPa。因此,在配制高强度混凝土时,粗细骨料的品种与品质、单位体积混凝土中粗骨料的体积含量与最大粒径,是三个必须要考虑的因素。

高性能 AE 减水剂是配制高性能混凝土不可缺少的材料,高性能 AE 减水剂在混凝土中除低水灰比、提高混凝土的强度和流动性以外,新型的高性能 AE 减水剂还能降低混凝土的坍落度损失,这也是配制高性能混凝土不可缺少的功能。

3. 高性能混凝土的组成材料

高性能混凝土的性能除受制作工艺外,主要受原材料的影响。只有选择符合高性能要求的材料,才能配制出符合高性能设计要求的混凝土。选择原材料时,要根据工程的实际要求及所处环境而定。

(1) 胶凝材料

胶凝材料(水泥)是高性能混凝土中最关键的组分,不是所有的水泥都可以用来配制高性能混凝土的,高性能混凝土选用的水泥必须满足以下条件:(a)标准稠度用水量要低,从而使混凝土在低水灰比时也能获得较大的流动性;(b)水化放热量和放热速率要低,以避免因混凝土的内外温差,而使混凝土产生裂缝;(c)水泥硬化后的强度要高,以保证可使用较少的水泥用量获得高强混凝土。用来配制高性能混凝土的水泥,主要有中热硅酸盐水泥、球状水泥、调粒水泥和活化水泥。

表 1-4 活化水泥混凝土性能

混凝土所用 水泥种类	水灰比 (W/C)	坍落度 (cm)	抗压强 度(MPa)	弹性模量 ($\times 10^4$ MPa)	冻融循环 次数	抗冻性系数
普通 32.5 MPa 水泥	0.42	3.5	36.2	2.85	300	0.88
活化 32.5 MPa 水泥	0.29	20	75.2	3.70	500	1.23

①中热硅酸盐水泥 中热硅酸盐水泥是指水泥中 CA 的含量不超过 6%,CS 和 CA 的总含量不超过 58%硅酸盐水泥。该种水泥具有较高的抵抗硫酸盐侵蚀的能力,水化热呈中等,有利于混凝土体积稳定,避免混凝土表面因温差过大而出现裂缝。

②球状水泥 球状水泥是水泥熟料通过高速气流粉及特殊处理而制成的。球状水泥的表面,表面没有裂纹,凹凸部分和棱角部分消失,成为 1~30 μm 大小的粒子,平均粒径较小,微粉含量较低。因此,水泥粒子具有较高的流动性与填充性,在保持坍落度相同的条件下,球状水泥的用水量比普通水泥的用水量降低 10%左右。

③调粒水泥 调粒水泥是将水泥组成中的粒度分布进行调整,提高胶凝材料的填充率;使水泥粒子的最大粒径增大,粒度分布向粗的方向移动;同时还掺入适量的超细粉,以获得最密实的填充。这样就能获得流动性良好的水泥浆,具有适当的早期强度、水化热

低、水化放热速度慢等方面的优良性能。

④活化水泥 将粉状超塑化剂和水泥熟料按适当比例混合磨细,即制得活性较高的活化水泥。活化水泥的活性大幅度提高,低强度等级的活化水泥可以代替高强度等级的普通硅酸盐水泥。

(2) 矿物质掺和料

矿物质掺和料是高性能混凝土中不可缺少的组分,其掺入的目的是增加活性、流动性、抗分离性,调节黏度及塑性,填充水泥石中的微孔,以利于提高混凝土的强度、密实性,特别是对改善混凝土的耐久性及防止碱骨料反应、降低混凝土水化热等有明显效果。配制高性能混凝土常用的矿物质掺和料主要有:硅粉、磨细矿渣、优质粉煤灰、超细沸石粉、无水石膏及其他微粉等。

①硅粉 硅粉是铁合金厂在冶炼硅铁合金或金属硅时,从烟尘中收集起来的一种飞灰。硅粉的颗粒主要呈球状,粒径小于 $1\text{ }\mu\text{m}$,平均粒径约为 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 。硅粉中的主要活性成分为无定形的 SiO_2 ,其含量占 90% 左右。硅粉的小球状颗粒填充于水泥颗粒之间,使胶凝材料具有良好的级配,降低了其标准稠度下的用水量,从而提高了混凝土的强度和耐久性。

②磨细矿渣 磨细矿渣是将粒化高炉矿渣磨细到比表面积 $7\text{ }500\text{ cm}^2/\text{g}$ 左右,颗粒粒径小于 $10\text{ }\mu\text{m}$ 用磨细矿渣取代混凝土中的部分水泥后,流动性提高,泌水量降低,具有缓凝作用,其早期强度与硅酸盐水泥混凝土相当,但表现出后期强度高、耐久性好的优良性能。

磨细矿渣绝大部分是不稳定的玻璃体,不仅储有较高的化学能,而且具有较高的活性。这些活性成分一般为活性 Al_2O_3 和活性 SiO_2 。即使在常温条件下,以上活性成分也可与水泥中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生反应而产生强度。

③优质粉煤灰 粉煤灰是火力发电厂锅炉以煤粉作为燃料,从其烟气中收集下来的灰渣。优质粉煤灰一般是指粒径为 $10\text{ }\mu\text{m}$ 的分级灰,其比表面积约为 $7\text{ }850\text{ cm}^2/\text{g}$,烧失量为 1%~2%,且含有大量的球状玻璃珠。粉煤灰中的主要活性成分,与磨细矿渣基本相同,也是活性 SiO_2 和活性 Al_2O_3 。

④超细沸石粉 超细沸石粉是采用天然沸石粉经磨细而制成,其平均粒径小于 $10\text{ }\mu\text{m}$ 。天然沸石是一族架状构造的含水铝硅酸盐矿物,其主要活性成分也是活性 SiO_2 和活性 Al_2O_3 ,两种活性成分的总含量在 80% 左右。

(3) 粗细骨料

高性能混凝土骨料的选择,对于保证高性能混凝土的物理力学性能和长期耐久性至关重要。要选择适宜的骨料配制高性能混凝土,必须注意骨料的品种、表观密度、吸水率、粗骨料强度、粗骨料最大粒径、粗骨料级配、粗骨料体积用量、砂率和碱活性组分含量等。

①细骨料的选择 细骨料宜选用石英含量高、颗粒形状浑圆、洁净、具有平滑筛分曲线的中粗砂,细度模数控制在 2.6~3.2 之间,砂率控制在 36% 左右。

②粗骨料的选择 粗骨料的表面特征:粗骨料的形状和表面特征对混凝土的强度影响很大,尤其在高强混凝土中,骨料的形状和表面特征对混凝土的强度影响更大。表面较粗糙的结构,可使骨料颗粒和水泥石之间形成较大的黏着力。同样,具有较大表面积的角