

水泥应用



向才旺 郭俊才 姚大喜 主编

中国建材工业出版社

水 泥 应 用

向才旺 郭俊才 姚大喜 主编



中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

水泥应用/向才旺等主编.-北京:中国建材工业出版社,1999
ISBN 7-80090-947-6

I. 水… II. 向… III. 水泥-应用 IV. TQ172.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 42258 号

内 容 简 介

本书是为了适应水泥及其应用技术发展需要而编写的。全书共分九章,既介绍了各种类型的水泥,也介绍了由这些水泥制成的各种混凝土及其制品,对混凝土制品的生产工艺过程及混凝土外加剂等也作了适当介绍。

本书可供从事水泥及混凝土生产企业、科研设计单位、建筑施工单位的工程技术人员参考,也可供大专院校土建类专业师生参考。

水 泥 应 用

向才旺 郭俊才 姚大喜 主编

*

中国建材工业出版社出版

(北京海淀区三里河路 11 号 邮编:100831)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京艺辉胶印厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:18.875 字数:484 千字

1999 年 10 月第 1 版 1999 年 10 月第 1 次印刷

印数:1—2000 册 定价:29.00 元

ISBN 7-80090-947-6/TU·235

前 言

水泥是基本建设的重要原材料之一,在建设工程上主要以水泥混凝土制品或构件形式应用。水泥性能的好坏,使用是否得当,直接影响到建设工程质量。近年来,因水泥安定性、强度等指标不合格而造成的工程质量事故时有发生;而不按照规范要求施工,甚至偷工减料,以劣充优,埋下的工程事故隐患屡见不鲜。为了使广大读者对水泥的性能及使用特点有所认识,结合当前强调“质量责任重于泰山”的形势,我们编写了这本《水泥应用》。

全书共分九章,内容包括通用水泥、专用水泥、特性水泥、水泥砂浆、普通混凝土、专用混凝土、特性混凝土、水泥及混凝土制品、混凝土外加剂等。介绍了建设工程上通用、专用和特殊用途的水泥品种、性能、特点、使用方法、国家标准和行业规范。在此基础上,进而介绍由这些品种的水泥配制成的水泥砂浆、普通混凝土、专用混凝土、特殊用途混凝土、水泥混凝土制品及混凝土外加剂等。侧重于水泥、混凝土的性能和应用,对水泥混凝土制品的生产工艺过程也作了适当的介绍。本书适用于水泥生产企业、混凝土制品厂、商品混凝土生产厂、建筑施工企业及设计、监理单位工程技术人员参考,同时也适用于大专院校土木类专业师生参考。

本书由向才旺、郭俊才、姚大喜主编。撰写分工为:向才旺撰写前言、绪论、第五章、第八章及全书统稿;郭俊才撰写第一章、第二章、第三章、第四章;张长清撰写第六章;姚大喜撰写第七章、第九章。

由于时间仓促,加上作者水平所限,书中错误之处在所难免,敬请广大读者指正。

向提供和被引用资料的单位、个人以及帮助部分工作的路志军、江诗珍、张学芝等同志一并致以深谢。

在此书成稿、编辑、出版过程中,中国建材工业出版社的领导、责任编辑、出版设计印制人员给予了大力支持,深表谢忱。

作 者

1999年7月于武汉

目 录

绪 论	(1)
第一章 通用水泥的性能及应用	(4)
第一节 硅酸盐水泥	(4)
第二节 普通硅酸盐水泥	(13)
第三节 矿渣硅酸盐水泥	(14)
第四节 火山灰质硅酸盐水泥	(19)
第五节 粉煤灰硅酸盐水泥	(22)
第六节 复合硅酸盐水泥	(24)
第七节 石灰石硅酸盐水泥	(27)
第二章 专用水泥的性能及应用	(29)
第一节 道路水泥	(30)
第二节 油井水泥	(31)
第三节 砌筑水泥	(35)
第四节 装饰水泥	(38)
第五节 大坝水泥	(40)
第六节 防辐射水泥	(42)
第七节 氧氯镁水泥	(44)
第八节 生态水泥	(45)
第三章 特性水泥的性能及应用	(47)
第一节 快硬高强水泥	(47)
第二节 抗硫酸盐水泥	(53)
第三节 膨胀水泥	(54)
第四节 耐酸水泥	(59)
第五节 耐高温水泥	(63)
第六节 氟铝酸钙型水泥	(74)
第七节 铁铝酸盐水泥	(76)
第四章 水泥砂浆	(80)
第一节 砌筑砂浆	(80)
第二节 抹面砂浆	(83)
第三节 防水砂浆	(84)
第四节 勾缝砂浆	(86)
第五节 特种砂浆	(86)
第五章 普通水泥混凝土	(88)
第一节 普通混凝土的组成材料	(88)
第二节 普通混凝土拌合物的技术性质	(96)
第三节 硬化后混凝土的技术性质	(103)
第四节 普通混凝土的质量控制	(117)

第五节 普通混凝土的配合比设计·····	(122)
第六章 专用混凝土 ·····	(131)
第一节 道路混凝土·····	(131)
第二节 大坝混凝土·····	(136)
第三节 海水混凝土·····	(140)
第四节 装饰混凝土·····	(146)
第五节 聚合物混凝土·····	(150)
第六节 纤维增强混凝土·····	(156)
第七节 流态混凝土·····	(164)
第七章 特性混凝土 ·····	(171)
第一节 高强混凝土·····	(171)
第二节 膨胀混凝土·····	(175)
第三节 防水混凝土·····	(178)
第四节 耐侵蚀混凝土·····	(184)
第五节 轻质混凝土·····	(187)
第六节 耐火混凝土·····	(194)
第七节 防护混凝土·····	(206)
第八节 其它混凝土·····	(209)
第八章 水泥及混凝土制品 ·····	(213)
第一节 水泥混凝土制品的基本工艺过程及其作用·····	(214)
第二节 水泥混凝土搅拌工艺原理·····	(215)
第三节 水泥混凝土密实成型工艺原理·····	(218)
第四节 水泥及混凝土制品养护工艺原理·····	(232)
第五节 水泥混凝土制品的配筋·····	(242)
第六节 预应力张拉工艺·····	(249)
第七节 水泥及混凝土板材·····	(256)
第八节 混凝土砌块·····	(263)
第九节 环形截面混凝土制品·····	(268)
第九章 混凝土外加剂 ·····	(273)
第一节 混凝土外加剂的分类·····	(273)
第二节 混凝土外加剂的作用和作用机理·····	(274)
第三节 混凝土减水剂·····	(275)
第四节 混凝土调凝剂·····	(276)
第五节 混凝土早强剂·····	(278)
第六节 混凝土引气剂·····	(279)
第七节 混凝土膨胀剂和减缩剂·····	(279)
第八节 其它外加剂·····	(280)
第九节 砂浆塑化剂·····	(283)
第十节 混凝土外加剂的试验和标准·····	(284)
参考文献 ·····	(295)

绪 论

水泥作为基本建设的一种材料，在建筑材料中占有重要地位。对它的性能和应用研究从来未中断过。

一、水泥的发展

原始水泥可追溯到 5 千年前。埃及的金字塔、古希腊和古罗马时代用石灰掺砂制成的混合砂浆，曾被用于砌筑石块和砖块，这种用来作砌筑用的胶凝材料被称为原始水泥，虽然按今天科学家的眼光看，它们只不过是粘土、石膏、气硬性石灰、火山灰、水硬性石灰，但就是这些原始的发现为现代水泥的发明奠定了基础。

1824 年，英国人丁·阿斯普丁 (Joseph Aspdin) 发明了一种把石灰石和粘土混合后加以煅烧来制造水泥的方法，并获得了专利权。这种水泥同英国伦敦附近波特兰 (Portland) 小城盛产的石材颜色相近，故称为波特兰水泥。此后，欧洲各地不断对水泥方法进行改进，1856 年德国建起了水泥工厂，并普及到了美国。1870 年以后，水泥作为一种新型工业在世界许多国家和地区得以发展和应用。

我国的水泥工业解放前十分落后，1876 年只是在河北唐山成立了启新洋灰公司，以后又相继建立了大连、上海、中国、广州等水泥厂。历史上最高年产量 (1942 年) 只有 229 万 t。我国水泥工业真正的发展是在解放以后。50 年代，我国按照前苏联模式，在部分高校中设立了水泥专科和中等专业学校，注重培养水泥方面的专业技术人才，与此同时，国家成立了建材研究机构，一部分专业人员潜心研究水泥技术，并建成了一批水泥厂。经过 50 年的发展，我国水泥工业在世界上举足轻重，1998 年我国水泥产量已达 5.36 亿 t，连续多年居世界第一。在提高水泥产量的同时，水泥质量也不断提高。产品的标准不断更新，并逐步向国际化接轨。90 年代以来已开始在水泥行业广泛使用了产品质量国际认证体系。

在水泥发展过程中，硅酸盐系列水泥 (即波特兰水泥) 从产量和用途来看，在基本建设工程中占有重要地位。但是，由于硅酸盐水泥固有的性能和特点，决定了它不能满足一些特殊工程的需要，也不能满足现代化建设工程和施工新技术的需求。当今世界各国都在研究和发专用水泥及特种水泥。水泥已从单一的含硅酸盐矿物的品种发展到各种化学成份、矿物组成、性能与应用范围不同的品种。

到目前为止，我国已研制成功了特种水泥和专用水泥 100 余种，经常生产的有 30 余种，约占水泥总产量的 25%，如道路水泥，大坝水泥，快硬水泥，水工用水泥，油井水泥，膨胀水泥与自应力水泥，耐高温水泥，装饰水泥等。

从发展趋势看，今后一段时间内将在改善现有水泥品种性能的基础上，逐步开发用途更为广泛的水泥。与此同时，节能的地位和作用日益突出。围绕着节能有三方面的工作要做：第一，淘汰一批年产量在 4.4 万 t 以下的小立窑水泥厂，控制水泥工业规模总量，使原燃料、资金、市场优化配置。第二，从探索水泥的矿物着手，研究开发节能型矿物，即低钙低烧成温度的矿物和矿物体系，系统地研究其共存条件及工业生产的可能性。要研究矿化剂的作用机理，把新型高效的矿化剂的研究和发展新品种水泥结合起来。对传统低能耗矿物 C_2S 的活性研究应进一步深入。从矿物的微观构造，尤其是从晶格缺陷理论方面的研究去开拓新的途径。

第三,从可持续发展和环境保护的高度出发,利用工业废渣来生产和发展新型水泥。今后 10 年内的重点将放在解决数量最大的两种工业废渣——粉煤灰和煤矸石的综合利用上。工业废渣作为水泥混合材仍然是主要途径,但在混凝土工程,筑路工程及发展新型墙体材料及其它建筑材料上,仍然可以利用一些工业废渣。要利用活性混合材料发展免烧(或低温烧成)水泥,如碱矿渣水泥等,以及发展一些特殊工程专用的低标号水泥,如砌筑水泥、低热大坝水泥等。如果以工业废渣为原料发展的节能改性硅酸盐水泥在性能和价格上能与传统硅酸盐水泥竞争成为事实,也不排除在今后达到取代部分硅酸盐水泥的可能性。

二、混凝土的发展

水泥的主要应用是配制成水泥砂浆、水泥混凝土及其各种制品。应该说,混凝土的发展历史与水泥几乎是同步的。

自从 1824 年 J·Aspdin 发明波特兰水泥后,制作混凝土的胶凝材料才产生了质的变化。此后,水泥与混凝土的生产技术迅速发展,混凝土的用量急剧增加,使用范围日益扩大。迄今为止,它已成为世界上用量最多的人造材料。这是因为混凝土具有原料丰富、造价低廉、制作简单、造型方便、坚固耐久、耐火抗震等许多优异性能。但混凝土也存在抗拉、抗折强度低,脆性系数大,容易裂缝,自重大等缺点,限制了混凝土的使用范围。为了改善混凝土的性能,克服这些缺陷,世界各国的材料科学工作者和土木建筑师们进行了不懈的努力。

1850 年法国人朗波特(Lambot)用加钢筋网的方法制造了一条小水泥船,此后,人们就用钢筋来增强混凝土,以弥补混凝土抗拉强度及抗折强度低的缺陷。1887 年科伦(M·Koenen)首先发表了钢筋混凝土的计算方法。1918 年艾布拉姆斯(D·A·Abrams)发表了著名的计算混凝土本身强度的水灰比理论。1928 年弗列什涅(E·Freyssinet)提出了混凝土收缩和徐变理论。之后,发现用张拉钢筋对混凝土预先施加压应力可以保证混凝土构件在荷载作用下既能抗拉又不致产生裂纹,采用了高强度钢丝和发明了预应力锚具。预应力混凝土的出现,是混凝土技术的一次飞跃。由于预应力技术在大跨建筑、高层建筑以及在抗震、防裂、抗内压等方面的卓越效果,从而大大地扩展了混凝土的应用范围。研究表明,强度等级为 C100 的预应力混凝土在质量上可与钢结构相近,这样,大部分钢结构工程即可用预应力混凝土代替。此外,预应力混凝土还广泛用在环形截面混凝土制品,如压力水管、电杆、管桩、管柱等;用预应力的方法来制作混凝土墙板、楼板及其它预制建筑构件已成为经常化的工作。

利用膨胀水泥生产收缩补偿混凝土和自应力混凝土是混凝土技术的另一成就,其本质是通过改变混凝土的收缩本性为膨胀本性,以克服混凝土收缩裂纹的产生,并应用膨胀性能来张拉钢筋,自应力混凝土管正是利用这一原理制作的。膨胀水泥还广泛用于工业与民用建筑、路面、防水防渗结构、管道接头、构件接缝、二次灌浆等方面。

利用聚合物高分子材料的强渗透性和粘接性,制成了聚合物水泥混凝土和聚合物浸渍混凝土以及聚合物胶结混凝土,使混凝土由单一的无机材料进入了无机和有机材料复合的新阶段。这种复合的结果,使得混凝土的强度大幅度提高,最高的强度等级可达 C280,其抗渗性、抗冻性、耐腐蚀性均可大大提高。

纤维增强混凝土的出现,又把混凝土的抗裂性能提高了一大步。纤维增强材料已从单一的钢纤维发展到石棉纤维、耐碱玻璃纤维、有机合成纤维、植物纤维、金属纤维等。目前,纤维增强混凝土制品种类繁多,如玻璃纤维增强水泥制品(GRC)、石棉水泥制品、钢纤维增强水泥制品等,广泛用于道路、桥梁、涵洞、建筑物的外内墙板、屋面板及各种复合墙体材料中。

为了降低混凝土自重，加快墙体材料改革，出现了轻质混凝土制品及其构件。轻质混凝土主要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，使得轻质混凝土应用越来越广泛。混凝土空心砌块、加气混凝土制品、泡沫混凝土制品、轻集料混凝土制品等，由于具有良好的保温隔热及隔声性能，表观密度小，自重轻，取代传统墙体材料的比例逐年提高。

高性能混凝土近年来发展很快，特别是高强混凝土在许多大型工程中已得到应用。强度等级在 C50 以上的应用较广泛，C80~C120 的高强混凝土也有用于工程的实例。

加强环境保护，变废为宝，利用工业废渣来生产混凝土一直是各国材料科学工作者矢志不渝的追求目标。

混凝土技术发展的同时，混凝土制品的生产技术、设备及工艺控制不断得到改进和提高，为生产高质量的制品创造了基础条件。

发展预拌混凝土和混凝土的商品化也是当今混凝土工业的发展方向。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，早在 40 年代有的国家就采用了，60 年代达到了顶峰。在城市与建设工程集中地区以合理的分布设置商品混凝土工厂，其优点是节约材料、能耗及其它资源，保证混凝土质量，改善施工环境，有效利用外加剂和混凝土掺合料，便于管理现代化。目前，发达国家有近 90% 的水泥是制成商品混凝土出售，而不是以袋装水泥的形式提供给用户。发展商品混凝土也带来散装水泥事业的发展。

混凝土外加剂的应用已有 70 余年历史。1980 年 9 月在挪威首都奥斯陆举行的“混凝土制备和质量控制”国际会议上，讨论并通过了混凝土、水泥砂浆和水泥净浆外加剂的定义：在混凝土、砂浆或净浆的制备过程中，掺入不超过水泥用量 5%（特殊情况除外），能对混凝土、砂浆或净浆的正常性能按要求而改性的产品称为混凝土外加剂。据不完全统计，世界上目前至少有 400 种不同类型的外加剂，欧洲一些国家的市场上，经常保持着几十种甚至上百种外加剂在出售。

由于外加剂的出现和应用，使人们在力求改善混凝土性能的过程中获得了用其它方法难以达到的理想效果，这就使得外加剂身价倍增，成为混凝土工业的宠儿。外加剂也从早期对混凝土的单一改性发展到复合外加剂对混凝土的多重改性。从混凝土发展的快硬、高强、轻质、节能、改性等方面看，均离不开外加剂的参与。

第一章 通用水泥的性能及应用

水泥，指加水拌和成塑性浆体后，能胶结砂、石等适当材料并能在空气和水中硬化的粉状水硬性胶凝材料。它是各种类型水泥的通称，换言之，水泥是一种水硬性胶凝材料。

从 19 世纪初期开始组织生产、首批应用到现在已有 190 余年历史。迄今为止，已有 100 多种水泥品种问世，而且各种新型水泥仍在不断地开发应用之中。

水泥作为建筑业三大基本材料之一，使用广、用量大，素有“建筑业的粮食”之称。根据专家预测，下一世纪的主要建筑材料，仍将是水泥及其混凝土，水泥的生产、应用和研究仍然极为重要。

对水泥的分类通常有两种方法：即按用途及性能分和按组成分类。一般按用途及性能分为三大类：通用水泥、专用水泥和特性水泥；一般按组成为六类：硅酸盐水泥系列、铝酸盐水泥系列、氟铝酸盐水泥系列、硫铝酸盐水泥系列、铁铝酸盐水泥系列和其他系列。

为了强调水泥的应用，我们在此书中按用途及性能分类进行叙述。本章主要介绍通用水泥及性能，即一般土木建筑工程通常采用的水泥。如硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥和石灰石硅酸盐水泥七大品种。

第一节 硅酸盐水泥

凡由硅酸盐水泥熟料、0~5% 石灰石或粒化高炉矿渣、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料，称为硅酸盐水泥。

硅酸盐水泥在国际上分为两种类型：不掺混合材的称Ⅰ型硅酸盐水泥，其代号为 P.Ⅰ；在硅酸盐水泥熟料粉磨时掺入不超过水泥质量 5% 的石灰石或粒化高炉矿渣混合材料的称Ⅱ型硅酸盐水泥，其代号为 P.Ⅱ。

一、硅酸盐水泥熟料的主要化学与矿物组成

硅酸盐水泥熟料的主要化学组成为氧化钙（CaO），一般范围为 62%~67%；二氧化硅（SiO₂），一般范围为 20%~24%；三氧化二铝（Al₂O₃），一般范围为 4%~7%；三氧化二铁（Fe₂O₃），一般范围为 2.5%~6.0%，还有少量氧化镁（MgO）等。硅酸盐水泥熟料的主要矿物组成为硅酸三钙（3CaO·SiO₂ 简写 C₃S），一般含量为 60% 左右；硅酸二钙（2CaO·SiO₂ 简写 C₂S），一般含量为 15% 左右；铝酸三钙（3CaO·Al₂O₃ 简写 C₃A），一般含量为 8% 左右，铁铝酸四钙（4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃ 简写 C₄AF），一般含量 15% 左右；另外还有少量游离氧化钙（f-CaO）、方镁石等。

二、水化反应与特性

硅酸盐水泥与适量的水调和后，形成能与砂、石等集料胶结在一起的可塑性浆体。经过一段时间的养护，逐渐变成具有一定机械强度的水泥石。由于水泥的水化和硬化是一个复杂的物理、化学和物理化学变化过程。在此过程中，不断生成新的水化产物并发生放热反应，由此产生体积变化与强度的增长。要了解整个水泥的水化异常复杂，因此必需了解单矿物的水

化特性。

1. 单矿物的水化

(1) 硅酸三钙 (C_3S) 与硅酸二钙 (C_2S)

硅酸三钙在水泥水化过程中的水化速度较快,能迅速地使水泥凝结硬化,并形成具有相当强度的水化产物。粒径为 $40\sim 50\mu m$ 的硅酸三钙颗粒加水后 28d 可以水化 75% 左右,所以硅酸三钙强度发展比较快,早期强度较高,且强度增进率较大,28d 强度可达到它一年强度的 70%~80%。就 28d 和一年强度而言,在四种主要矿物中硅酸三钙是最高的。

一般地说,硅酸三钙含量高,说明水泥熟料的质量好,特别是当生产凝结硬化快、早期强度高的水泥时,就更要求熟料中的硅酸三钙有较高的含量。但硅酸三钙的生成要求较高的煅烧温度和一定的煅烧时间,所以熟料中硅酸三钙含量过高时,会给煅烧带来困难。

硅酸二钙通常为 $15\sim 25\mu m$ 的圆形或椭圆形晶体。当硅酸二钙与水作用时,因水化速度较慢而使水化产物的早期强度较低,但其后期强度却较高,甚至在几十年以后,还在继续水化,发挥其强度。

此外,硅酸二钙还具有多晶转变的特性,在 $500^\circ C$ 左右的温度下,容易由密度为 $3.28g/cm^3$ 的 β 型硅酸二钙转变为密度为 $2.97g/cm^3$ 的 γ 型硅酸二钙,使其体积膨胀 10%,从而导致熟料的粉化,降低水泥的强度,这在生产中应当引起注意。

硅酸二钙水化热较小,抗水性好,所以,对于大体积混凝土或处于侵蚀性大的工程所用的水泥,适当提高其含量是有利的。

硅酸三钙和硅酸二钙这两种矿物在水泥熟料中大约占矿物总量的 $3/4$,所以它们的水化产物对水泥石的性能有很大的影响。

两种硅酸钙与水反应后都生成水化硅酸钙和氢氧化钙。据研究,水化硅酸钙的 CaO/SiO_2 分子比与浆体的水灰比、温度以及氢氧化钙的浓度有关。如果把浆体的水不断地排除并补充以新鲜的水,或者用极大量的水与很少量的硅酸三钙反应,浆体的氢氧化钙浓度很小,水化生成物最终可分解为氢氧化钙和硅酸凝胶。由此可见,水泥石长期与流动的淡水接触,就会受到水的侵蚀而逐渐毁坏。

室温下,在不同浓度的氢氧化钙溶液中,水化硅酸钙的组成是不同的。当溶液中的氧化钙浓度在 $0.06\sim 0.11g/L$ 以下时,水化硅酸钙分解为氢氧化钙与硅酸凝胶。当浓度为 $0.06\sim 0.11g/L$ 时,水化产物为 CaO/SiO_2 小于 1 的固相。溶液中 CaO 的浓度为 $0.11\sim 1.12g/L$ 时,生成 CaO/SiO_2 为 $0.8\sim 1.5$ 的水化硅酸钙,其组成可以用 $(0.8\sim 1.5) CaO \cdot SiO_2 \cdot (0.5\sim 2.5) H_2O$ 表示。当溶液中 CaO 达到饱和时,即 $CaO \geq 1.12g/L$ 时,生成 CaO/SiO_2 大于 1.5 的水化硅酸钙: $(1.5\sim 2.0) CaO \cdot SiO_2 \cdot (1\sim 4) H_2O$ 。水化硅酸钙可以通写为 $C-S-H$ 。

通过扫描电子显微镜观察, $C-S-H$ 有纤维状粒子、网络状粒子、小而不规则粒子或扁平粒子等多种形态。

虽然 $3CaO \cdot SiO_2$ 和 $2CaO \cdot SiO_2$ 的水化产物都是 $C-S-H$,但因这些硅酸钙的晶体结构不同, $3CaO \cdot SiO_2$ 的水化速度要比 β 型 $2CaO \cdot SiO_2$ 快,而 γ 型 $2CaO \cdot SiO_2$ 在室温下几乎不水化,所以它们对水泥水化、硬化以及强度的影响就有明显不同。

(2) 铝酸三钙 (C_3A)

铝酸三钙在熟料煅烧中起熔剂的作用,它和铁铝酸四钙在 $1250\sim 1280^\circ C$ 时熔融形成液相,从而促使硅酸三钙顺利生成。铝酸三钙的晶形特征随冷却速度而变化,一般情况下,快冷时呈点滴状,慢冷呈矩形或柱状。

铝酸三钙水化迅速，放热多，凝结很快，如不加石膏等缓凝剂，易使水泥急凝。铝酸三钙硬化也很快，它的强度 3d 内就大部分发挥出来，故早期强度发挥迅速，但绝对值不高，以后几乎不再增长，甚至还会倒缩。

铝酸三钙的干缩变形大，抗硫酸盐性能差，所以，当生产抗硫酸盐水泥或大体积混凝土工程用水泥时，应将铝酸三钙控制在较低的范围内。

铝酸三钙与水反应并在短时间内放出较大热量，但在饱和氢氧化钙溶液中则会减慢。它的水化产物的组成和结构受溶液的氢氧化钙、氧化铝的浓度和温度的影响。当液相的氢氧化钙浓度小于 $0.25 \sim 0.35 \text{ g CaO/L}$ 时， $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 水化产物可完全分解为 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 。

液相中的氢氧化钙浓度较高时，生成 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 分子比为 4 的亚稳水化物 $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 19\text{H}_2\text{O}$ ；如氢氧化钙浓度不太高时，水化物为 $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 19\text{H}_2\text{O}$ 和 $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 。

$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 19\text{H}_2\text{O}$ 在相对湿度较低时会失去部分结晶水。它与 $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 都是六方片状晶体，在常温下处于介稳状态，有向等轴晶体 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 转化的趋势。转化过程随温度的升高而加速。因为 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 本身的水化热很高，这种转化是很容易的。在温度较高时 (35°C 以上)， $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 还会直接与水作用生成 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 。所以在一般情况下， $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 的稳定水化物是 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ，它的晶体之间相互粘结力差，而且当 $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 19\text{H}_2\text{O}$ 转变时又要放出较多的水，因而对水泥强度的增长不利。

当 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 水化时，如果有石膏存在，首先生成一种针状的硫铝酸钙晶体，可用 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot (30 \sim 32) \text{H}_2\text{O}$ 来表示，在自然界中叫做钙矾石。这种矿物在生成时体积胀大，因此已经硬化了的水泥石如果和硫酸盐溶液长期接触，就有可能在水泥石中生成硫铝酸钙，因体积膨胀而破坏。

(3) 铁铝酸四钙 (C_4AF)

铁铝酸四钙也是一种熔剂矿物，因它易于熔融而能降低燃烧时液相出现的温度和液相的粘度，所以有助于硅酸三钙的形成。铁铝酸四钙属斜方晶系，常呈棱柱状和圆粒状晶体。

铁铝酸四钙的水化速度在早期介于铝酸三钙和硅酸三钙之间，但随后的发展不如硅酸三钙。它的早期强度类似于铝酸三钙，而后期还能不断增长，类似于硅酸二钙。

它的水化产物不仅受温度、溶液中氢氧化钙浓度的影响，而且与这种矿物的 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 有很大关系。当铁铝酸钙中 Al_2O_3 的量增加时，固溶体的水化就会加快，如果铁铝酸钙中的 Fe_2O_3 含量增加，水化反应就减缓。

$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 和大量的水作用，并不断用水稀释时，它会完全分解为 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot aq$ 和 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot aq$ (aq 表示若干个水分子)。

铁铝酸钙与少量的水作用时，主要生成组成与 $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 和 $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 19\text{H}_2\text{O}$ 相似的六方板状晶体，其中部分 Al^{3+} 被 Fe^{3+} 所取代，以及氢氧化铁和无定形 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 。六方板状晶体不稳定，在 15°C 以上易转变为 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - 3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 的固溶体；随着温度升高，这种转变加快，当温度高于 35°C 时， $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 会直接与水作用，水化为立方晶形的水化物。

在饱和的石灰水溶液中（即氢氧化钙溶液）， $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 水化较慢，生成 $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot aq - 4\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot aq$ 亚稳固溶体，在 15°C 以上时转变为 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot aq -$

$3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot aq$ 亚稳固溶体,并析出 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。因硫酸钙溶液与这种固溶体的反应远低于与纯 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot aq$ 的反应,所以其抗硫酸盐性能较纯水化铝酸钙为好。

铁铝酸四钙的抗冲击性能和抗硫酸盐性能较好,水化热较铝酸三钙低。在生产抗硫酸盐水泥或大体积工程用水泥时,适当提高铁铝酸四钙的含量是有利的。

(4) 游离氧化钙 ($f\text{-CaO}$)

当配料不当或煅烧不良时,熟料中就会出现没有被吸收形成熟料矿物而以游离状态存在的氧化钙,称为游离氧化钙。

在烧成温度下,死烧的游离氧化钙结构比较致密,水化很慢,通常要在加水 3d 以后反应才比较明显。游离氧化钙水化生成氢氧化钙时,体积膨胀 97.9%,在硬化水泥石内部造成局部膨胀应力。严重时会引起水泥安定性不良,使制品变形或开裂,导致水泥浆体的破坏,危害建筑物。为此,应严格控制游离氧化钙的含量。

2. 硅酸盐水泥的水化

前面介绍了硅酸盐水泥熟料单矿物的水化。但除了 C_3S 、 C_2S 、 C_3A 、 C_4AF 、 $f\text{-CaO}$ 以外,水泥中还会有石膏、碱等,所以水泥的水化更为复杂。

据研究认为,石膏对硅酸钙的水化影响较小,对硅酸钙的水化略有加速作用,但是对于 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 的水化影响甚大。当有石膏存在时, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 水化生成了水化硫铝酸钙而不再生成水化铝酸钙。

对于水泥的水化,一般认为是:水泥加水后,石膏迅速溶解, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 立即发生反应。经数分钟后,水泥颗粒表面出现了针状结晶水化硫铝酸钙、六方板状氢氧化钙结晶和无定形的水化硅酸钙。当溶液中的 SO_4^{2-} 耗尽后,水泥中多余的 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 和 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot aq$ 作用生成 $3\text{CaO}(\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3) \cdot \text{CaSO}_4 \cdot aq$,并与 $4\text{CaO} \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3) \cdot aq$ 形成固溶体。当溶液中石膏量不足时,就会生成 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 均大于 3 的水化铝酸钙和水化铁酸钙及其固溶体,以后逐渐变为稳定的 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 和 $3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 。

综合上述,硅酸盐水泥水化后主要的水化物是:

(1) 水化硅酸钙。它是纤维状结构薄片,其尺寸接近于胶体的大小,占水泥石组成的绝大部分。

(2) 氢氧化钙。它是六方板状晶体,尺寸达几十 μm 。

(3) 水化硫铝酸钙、水化硫铁酸钙固溶体。它们的尺寸约几 μm 。由于一般的石膏加入量不是很多,故多为含 1 分子 CaSO_4 水化硫铝(铁)酸钙[单硫型水化硫铝(铁)酸钙]以及它与 $4\text{CaO} \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3) \cdot aq$ 的固溶体。据有些研究表明,还有钙矾石存在。

(4) 水化铝酸钙、水化铁酸钙及其固溶体。因为硅酸盐水泥水化时要放出 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,所以液相总为 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 所饱和,因而 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 总大于 3,可生成 $4\text{CaO} \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3)$,最后形成常温稳定的 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 和 $3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 。

因为硅酸盐水泥熟料中四种主要矿物的结构不同,所以,它们与水的反应速度也不同。虽然各种矿物水化速度的数值因测定方法的不同而异,但是从总的趋势看,各种矿物的水化速度有如下规律:

$$\text{C}_3\text{A} > \text{C}_4\text{AF} > \text{C}_3\text{S} > \beta\text{C}_2\text{S}$$

3. 硅酸盐水泥的物理力学性能

硅酸盐水泥在使用时除了必须符合国家标准规定的细度、稠度、凝结时间、安定性、强

度等品质指标以外，还有一些其它性能影响着它的使用。如水化热、泌水性和保水性、体积变化、抗冻性、抗渗性、环境介质的侵蚀、碱集料反应、耐久性的改善途径等。

(1) 细度

水泥的粉磨细度与凝结时间、强度、干缩性以及水化放热速率等一系列性能都有着密切的关系，因此，必须控制在合适的范围以内。

水泥的细度可以用不同的指标来说明，如筛余百分数、比表面积、颗粒平均直径和颗粒级配等。目前，我国普遍采用的是筛余百分数和比表面积。

筛余百分数是指水泥在一定孔径的筛子上的筛余量占水泥总值的百分数，而比表面积则是指单位质量的水泥粉末所具有的总面积，用 m^2/kg 表示。我国水泥现行国家标准规定水泥的细度就是以比表面积和筛余百分数两种方法来表示的，如规定硅酸盐水泥比表面积要大于 $300\text{m}^2/\text{kg}$ 。

(2) 稠度

稠度实际上是水泥浆达到一定流动度时的需水量，是水泥的重要性能之一。

为了使水泥凝结时间、安定性的测定具有准确的可比性，水泥净浆在一定测试方法下达到统一规定的稠度，称为标准稠度，使水泥净浆达到标准稠度时所需要的拌和水量（以占水泥重量的百分数表示），叫做标准稠度用水量。

影响水泥稠度的因素有：水泥熟料的矿物组成、混合材料的性质和掺加量、外加剂，以及水泥的粉磨细度等。

(3) 凝结时间

水泥从和水开始到失去其流动性，即从液体状态发展到较致密的固体状态的过程称为水泥的凝结过程。这个过程所需要的时间称为凝结时间。为了更好地反映水泥的凝结时间，以利于建筑施工，又将凝结时间分为初凝时间和终凝时间。初凝时间（简称初凝），是指水泥加水拌和到水泥浆开始失去可塑性的时间；终凝时间（简称终凝），是指水泥加水拌和到水泥浆完全失去可塑性并开始产生强度的时间。

水泥浆体的凝结时间，对于工程施工具有重要意义。如果初凝时间过短，往往来不及施工，使混凝土和砂浆的制备产生困难；如果终凝时间太长，又会妨碍工程进展，也会造成实际工作中的困难，为此，国家标准规定了水泥的凝结时间的范围。

影响水泥凝结时间的因素是多方面的，在生产上都是采用调凝剂（目前国内外普遍使用石膏）来调节水泥的凝结时间。

(4) 安定性

水泥浆体硬化后体积变化的均匀性称为水泥的体积安定性。即在水泥和水以后，逐渐水化硬化，水泥硬化浆体能保持一定形状，不开裂，不变形，不溃散的性质。一般来说，除了膨胀水泥在凝结硬化过程中体积稍有膨胀外，大多数水泥在此过程中体积稍有收缩，但这些膨胀和收缩都是在硬化之前完成的，因此水泥石（包括混凝土和砂浆）的体积变化均匀，即安定性良好。如果水泥中某些成分的化学反应不在硬化前完成而在硬化后发生，并伴随有体积变化，这时便会使已经硬化的水泥石内部产生有害的内应力，如果这种内应力大到足以使水泥石强度明显降低，甚至溃裂导致水泥制品破坏时，即是水泥安定性不良。

导致水泥安定性不良的主要原因一般是由于熟料中的游离氧化钙、游离氧化镁或掺入石膏过多（ SO_3 含量过高）等原因造成的，其中游离氧化钙是一种最为常见，影响也是最严重的因素。死烧的游离氧化钙水化速度很慢，在硬化水泥石中继续与水作用，生成六方板状的氢

氧化钙晶体，体积增大近一倍，产生膨胀应力，以致使水泥石遭到破坏。其次是游离氧化镁（方镁石），它的水化速度更慢，水化生成氢氧化镁，体积膨胀 148%。但急冷的熟料中的方镁石结晶细小，对安定性的影响也较小。第三是水泥中 SO_3 含量过高，即石膏掺入量过多，多余的三氧化硫在水泥水化后继续与水及铝酸三钙形成钙矾石，产生膨胀应力而影响水泥的安定性。

安定性是水泥品质的一项重要指标。用安定性不合格的水泥，会使混凝土构件、建筑物等产生变形、裂纹，甚至崩溃，造成严重的工程质量事故。

（5）强度

水泥的强度是评价水泥质量的重要指标，是划分水泥标号的依据。

水泥的强度是指水泥胶砂浆硬化试体所能承受外力破坏的能力，用 MPa（兆帕）表示。它是水泥重要的物理力学性能之一。根据受力形式的不同，水泥强度通常分为抗压强度、抗折强度和抗拉强度三种。水泥胶砂硬化试体承受压缩破坏时的最大应力，称为水泥抗压强度；水泥胶砂硬化试体承受弯曲破坏时的最大应力称为水泥的抗折强度；水泥胶砂硬化试体承受拉伸破坏时的最大应力，称为水泥抗拉强度。由于水泥在硬化过程中强度是逐渐增长的，所以在提到强度时必须同时说明该强度的养护龄期，才能加以比较。

影响水泥强度的因素很多，如熟料的矿物组成、游离氧化钙含量和其他微量化学成分、水泥中掺加的混合材料的种类和掺入量、石膏的掺加量、水泥的粉磨细度、试体的养护条件及强度的试验方法等。

（6）水化热

水泥的水化热是由水泥水化作用产生的热量。因其中包括水化、水解和结晶一系列作用，故水泥的水化热实际为水泥的硬化热。

对冬季施工而言，水化放热是有利的，它可以保持水泥的正常凝结和硬化，不会因环境温度过低而使水泥水化太慢致使水泥早期强度降低。但对于大体积混凝土工程，因热量不易散失，会使混凝土内部温度升高，与其表面温差过大，就会产生较大应力而导致裂缝，引起不良后果。因此，对于大型基础以及堤坝等大体积工程，水化热是一个相当重要的使用参数。

水化热的大小与放热速率首先取决于水泥的矿物组成。矿物的水化速度愈快，则水化热量愈大。由于试验条件等的不同，各方面对熟料矿物水化放热量的测定结果常有一定出入，但各测试结果表明，总的规律是一致的，即：铝酸三钙的水化热与放热速率最大，铁铝酸四钙和硅酸三钙次之，硅酸二钙最小。

影响水泥的水化热的因素很多，除了熟料矿物组成之外，还有熟料的煅烧和冷却条件、水泥的粉磨细度、水灰比、养护温度、水泥储存期等。总之，凡能加速水化反应的，就必然会增加水化放热量。

（7）泌水性和保水性

泌水性又称析水性，系指从水泥浆中泌出部分拌和水的性能。在制备混凝土时，调和用水往往要比水泥水化所需水量的 1~2 倍，这些多余的水分在混凝土输送、浇捣过程中，以及在静止凝固以前，很容易渗到混凝土表面或滞留于粗骨料与钢筋下方。前者会导致混凝土分层、强度降低；后者当水分蒸发时形成孔隙，削弱了水泥浆和集料、钢筋之间的粘结力。所以泌水性大的混凝土，硬化后孔隙较多，它的抗渗性、抗冻性必然较差，同时也降低它的耐蚀性。

水泥的品种、掺加的混合材料、粉磨细度、化学成分与外加剂等均影响泌水性。水泥的

泌水性通常用水泥浆泌水前后的体积之差占泌水前原体积的百分数表示。

保水性是指材料保持水分的能力，是与泌水性相反的性能。保水性好，在静置净浆时水分不会泌出，但用吸水模板或真空振荡或真空抽吸时，能够放出水份。

提高保水性，也可采用降低泌水性的方法来达到。提高水泥的粉磨细度，加速凝聚结构的形成，可以降低泌水性；水泥中掺入火山灰质混合材料，如硅藻土、膨润土及微晶填料，如石灰石、白云石等，可使它的需水量增加，但泌水性却降低（相反，在硅酸盐水泥中掺加矿渣，却会使它的泌水性增加）；减少加水量，掺用像松香酸钠等外加剂，也可减少泌水性。

(8) 体积变化

水泥石在使用过程中的体积变化，除了热胀冷缩和碳化收缩外，还有湿胀干缩的作用。也就是说，硬化水泥浆体的体积会随含水量的变化而变化。干燥时体积收缩，潮湿时则会发生膨胀。

材料因吸收水分而产生的体积膨胀叫做湿胀。混凝土在水中养护时，主要由于水泥石吸水使凝胶粒子间的水膜层增厚，引起体积膨胀。普通水泥混凝土的湿胀率很小，一般不会超过 1.5×10^{-6} 。

干缩是水泥混凝土因毛细孔和胶孔中水分蒸发与散失而引起的体积缩小。当干缩受到限制时，混凝土容易出现干缩裂缝。

工程上一般都把水泥制成混凝土制品使用，因此浆体干缩时受到骨料、钢筋等的约束，体积变化较纯水泥浆体为小。一般情况下，混凝土能经受得住湿胀所引起的压应力，而在养护不好时，很容易引起超过混凝土所能承受的拉应力而产生干缩裂纹。所以，在实际使用中水泥不应当磨得过细，还要妥善选择石膏加入量，并加强对混凝土的养护，采用蒸养处理使水化产物的晶体较大等措施，均有利于减少干缩产生的危害。

(9) 抗冻性

抗冻性系指水泥混凝土抵抗冻融循环的能力，在严寒地区使用水泥时，抗冻性是水泥石的重要性能之一。而且水泥石的耐久性在很大程度上也取决于它抵抗冻融循环的能力。

饱水的水泥混凝土在环境温度低于冰点时，所含水分将结解，体积增大9%左右，产生膨胀应力，使混凝土脱破掉角，强度降低。当温度升高，混凝土内部的水融化。如此反复冻融就会严重破坏混凝土的内部结构，致密而抗渗性好的混凝土有加气混凝土，抗冻性好。

(10) 环境介质的侵蚀

表 1-1 环境水对硅酸盐水泥侵蚀性判定标准

指 标	侵蚀程度			
	无	弱	强	极 强
1. pH 值	>6.5	5.5~6.5	5.5~4.5	<4.5
2. 侵蚀性碳酸 (mg/L)	<15	15~30	30~60	>60
3. 总硬度	>3	3~0	—	—
4. 铵离子 (NH_4^+) (mg/L)	<15	15~30	30~60	>60
5. 镁离子 (Mg^{2+}) (mg/L)	<100	100~300	300~1500	>1500
6. 硫酸盐 (SO_3) (mg/L)	<200	200~300	300~400	>400

对于水泥耐久性有害的环境介质主要为：淡水、酸和酸性水、硫酸盐溶液和碱溶液等。影

响侵蚀过程的因素很多,除了水泥品种和熟料矿物组成以外,还与硬化浆体或混凝土的密实度、抗渗性以及侵蚀介质的压力、流速、温度的变化等多种因素有关,而且又往往有数种侵蚀作用同时并存,互相影响。因此,必须针对侵蚀的具体情况加以综合分析,才能有效防止。

(11) 碱集料反应

硅酸盐水泥如果含碱量较高,其耐久性还可能与配制混凝土时所用的集料品种有关。对混凝土工程的破坏,是由于水泥水化所析出的 KOH 和 NaOH 与集料中活性的二氧化硅相互作用,形成了碱的硅酸盐凝胶,致使混凝土开裂,即产生所谓的碱集料反应。

一般情况下,只有在水泥中的总碱量较高($R_2O > 0.6\%$),而同时集料中又含有活性 SiO_2 的情况下,才会发生上述的有害反应。活性集料有蛋白石、玉髓、燧石以及流纹石、安山岩及其凝灰岩等,其中蛋白石质的氧化硅可能活性最大。碱集料反应通常进行得很慢,所引起的破坏往往经过若干年后才会明显出现,而水分存在是碱集料反应的必要条件。

(12) 耐久性的改善途径

综上所述,影响水泥混凝土耐久性的因素,主要为抗渗透性差,各种有害介质易进入内部。抗冻性不良,在冻融交替的条件下,容易剥落破坏,在外界侵蚀介质作用的环境中,会引起一系列化学、物理的变化,从而逐渐受到侵蚀;或者水泥碱含量较多,且与集料配合不当,引起碱集料反应,膨胀破坏,等等。

为了提高与改善耐久性,应该设法减少或者消除水泥混凝土内部的不利因素,增强本身的抵抗能力。①尽量提高所配混凝土的密实度,改善孔径分布,是增强抗渗、抗冻性能,阻止侵蚀介质深入内部的有力措施;②改变熟料的矿物组成或掺加适当的混合材,则可从本质上改善抗环境侵蚀的能力;③还可利用其他材料的特长,进行表面处理或表层涂复等,以弥补水泥混凝土的不足。

三、国家标准

硅酸盐水泥国家标准为:GB175-92。对定义、标号、品质指标、试验方法、验收规则、包装与标志、运输与保管均作了详细的规定。

为了进一步与国际接轨,国家有关部门正在制定新的硅酸盐水泥标准,1999 年底可望颁布执行。现将有关内容作一简要介绍。

1. 标准修订的主要内容

(1) GB175-92、GB1344-92、GB12958-91 仍以三个标准单列。

(2) GB175-92、GB1344-92 两个标准,除强度试验方法和强度指标外,其它性能指标和试验方法尽量考虑与国际上通用的规定相一致。另外为了进一步适应市场经济的需要,1995 年以第 1 号修改单对标准中检验规则作了适当修改。实践证明上述两个标准比较适合我国水泥生产和实际情况。这次标准修订除修改强度检验方法外,其它方面不作变动。

(3) GB12958-91 标准 94 年以第 1 号修改单对其做过适当修改和补充,这次标准修订该标准检验规则可按 GB175-92、GB1344-92 标准第 1 号修改单内容修改,使其一致。水泥强度试验方法由 GB175 改为 ISO 法 GB17671-1999。

总之,通用水泥标准修订的主要内容是强度试验方法,而不修改强度指标。这是因为,根据研究,由于 GB 与 ISO 抗折强度相差不大,GB 与 ISO 抗折强度差值对指标的影响不考虑,对抗压强度,由于水泥试体胶砂组成灰砂比由 1:2.5 改为 1:3.0,水灰比由 0.44、0.46 改为 0.50,标准砂由 0.25~0.65mm 改为多级级配砂。这样,我国现行水泥标号要普遍下降约一标号,即 GB625、525、425 分别降为 ISO525、425、325。