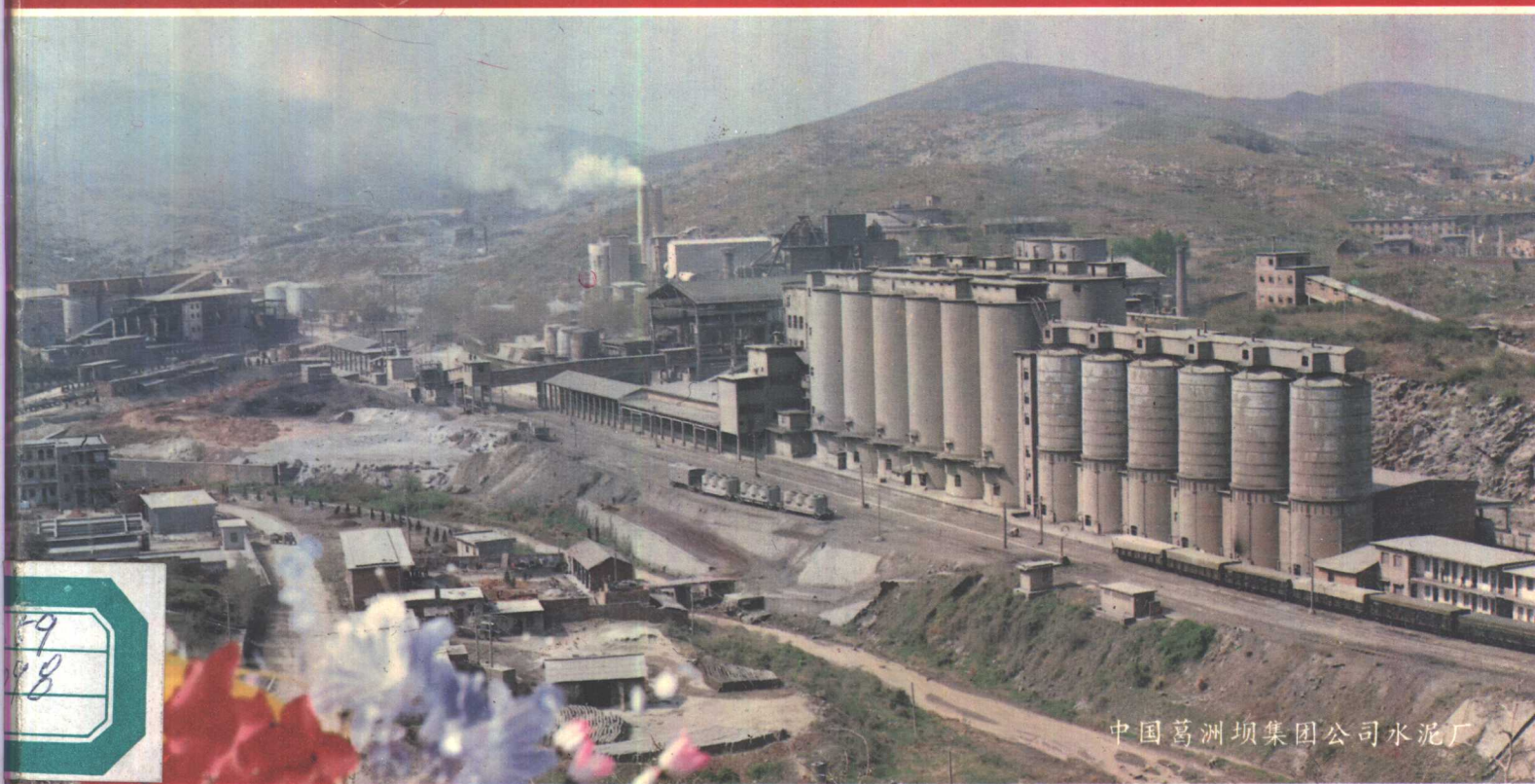


中国特种水泥工业

黄大超



中国葛洲坝集团公司水泥厂

中国水泥协会特种水泥分会 编

81.59
4098

中国特种水泥工业

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国水泥协会特种水泥分会

一九九五年·北京

依靠科技面向
市场加速发展
特种水泥工业

甲戌年夏 葉如棠題



发展特种水泥，具有很高社会经济效益。为使新品种经久不衰，必须把科研、生产和市场开发密切结合，三者缺一不可。

王燕谋

一九九四年九月二十八日

发展特种水泥工业
为国民经济建设服务。

杨志元
一九九四年九月。

上左：国家建材局原局长
王燕谋的题字

上右：建设部副部长叶如
棠的题字

左：国家建材局副局长杨
志元的题字

大力发展我国特种水泥工业 (代序)

张人杰

目前,我国对特种水泥的区分还没有一个较明确的定义。按习惯,我们把硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥等六大水泥统称为普通水泥,除此之外,其它具有特殊性能和用途的水泥,我们统称为特种水泥,如用于窑炉工程的耐火水泥;用于军事工程上的高强快硬水泥;用于水库建坝体的大坝水泥;用于固井的油井水泥以及装饰装修用的白水泥及彩色水泥等。目前发达工业国家特种水泥产量一般占水泥总产量的5—10%。

我国特种水泥工业的发展历史,是从新中国成立后开始的,比起普通水泥大约晚了半个多世纪。从1948年我国建成第一家白水泥厂起,至今已经走过了近四十多年的历程。先后经历了仿制、自主研制开发和创新三个阶段。至今已研究开发了6大体系、7大类共60余种特种水泥,年生产能力已达1100多万吨,在品种研究开发的某些方面跨入了世界先进行列,初步适应了我国冶金、石油、化工、水电、建筑、机械、交通、煤炭和海洋开发等各行业需要。如快硬硫铝酸盐水泥用于建造南极长城考察站,经受了-50℃的考验;在唐山大地震和军事工程中,采用快凝快硬硅酸盐水泥紧急抢修机场,保证了抗震救灾和军事工程的顺利完成;长江葛洲坝工程采用了多种低水化热水泥;成昆铁路使用了抗硫酸盐硅酸盐水泥;以上工程都取得了良好的使用效果。

我国特种水泥的研究开发和应用虽然已取得了长足的进步,但仍不能满足国民经济的快速发展的需要,当前存在的主要问题是:

一、技术装备、生产工艺落后。目前除了生产油井水泥、大坝水泥和其它品种的几家大中型水泥厂外,白水泥大部分采用中空小型干法窑,其能耗高、质量差,只有少数厂家能够生产一级或特级品,大部分都生产二级和三级品。

二、生产规模小。就白水泥厂而言,大部分是年产1.5万吨的小厂。

三、产量低、应用市场有待开放。目前我国特种水泥年产量据不完全统计约1100多万吨,仅占水泥总产量2.7%左右,而日本和前苏联的特种水泥产量在1989年已分别占水泥总产量的6.2%和10.4%;美国1980年特种水泥产量已占水泥总产量9.0%。由于产量低,人们对特种水泥特性和使用范围还缺乏认识,市场还没有打开,使很多该用特种水泥的尚未用上。

四、特种水泥产品结构不尽合理。与美国、日本和前苏联等国相比,我国装饰水泥和膨胀自应力水泥所占比例大体相当;油井水泥和水工水泥比例偏低;快硬早强水泥则严重短缺。

针对上述问题,结合我国国情,今后在大力发展我国特种水泥工业的时候,似应注意以下几个方面:

一是在引进国外先进技术和设备时,科研、设计部门应根据各个品种生产工艺的不同,确定不同的规模和技术设备开展设计工作;二是有计划有步骤地选择一批基础好、管理水平高的特种水泥厂进行技术改造,完善生产工艺,使各项技术经济指标达到国际较先进水平,在特种水泥行业内起示范作用,并逐步推广;三要狠抓节能工作。水泥是耗能大户,特种水泥的单位热耗比普通水泥还要高,节能就更显得重要。要大力推广水泥行业内一些行之有效的先进经验;四要继续开发高性能的新型特种水泥和具有特殊性能的水泥外加剂,对于现有一些特种水泥也要进一步完善和提高性能,科研单位要在研制开发新品种的同时,重视科研成果转化成生产力的工作,使之尽快商品化;五要大力开拓特种水泥的市场。特种水泥不象普通水泥那样在建筑和施工中为很多人所了解和掌握。它的性能、作用、施工方法和应用范围,人们都了解得不够,今后要加强这方面的宣传。

随着我国建立社会主义市场经济体制和国民经济的快速发展,特种水泥必将会有更加广阔的用武之地。我希望这本专刊的问世,能够有助于人们全面的了解我国特种水泥工业的发展概况,有助于把特种水泥企业及其产品推向市场,推动我国特种水泥工业更快的发展壮大。

(作者为国家建材局局长)

我国特种水泥发展前景

黄 大 能

从 50 年代我国第一个水泥国家标准诞生之日开始,我国采用了“多品种多标号”水泥的生产。所谓“多标号”就是把水泥强度分成若干等级,以 28 天强度为标号,使用户可以根据工程需要选用最经济合理的标号来配制混凝土。所谓“多品种”实际上只是把硅酸盐(波特兰)水泥通过掺入不同混合材料(如矿渣、火山灰)制成不同品种的水泥,而一般以混合材的名称命名,如矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥。40 多年来,多品种多标号水泥在我国水泥工业发展史上起了极大作用。由于熟料中允许掺入一定量混合材料而大大提高了产量,降低了成本。多品种多标号水泥的生产还扩大了混凝土使用范围。在选用水泥上更科学合理,也保证了工程质量。

然而,多品种多标水泥并未解决特种水泥的需求。这些年来,特别是改革开放以来,由于工程建设的蓬勃发展,工程种类以及先进施工技术的多样化,对水泥品种提出了各种各样的特殊要求,显示在市场经济中使水泥产品结构必须有所调整以解决供需矛盾。事实上,不少工业发达国家的特种水泥产量占水泥总产量的 5—10%,而我国特种水泥的生产不仅在品种上不多,产量仅及水泥总产量的 2% 左右。我国从 50 年代开始曾研究了不少新品种水泥,如具有快硬高强的铝酸盐水泥,水化热中或低的大坝水工水泥、适用不同深度的油井水泥以及硫铝酸盐水泥等。这些特种水泥都在不同性质的工程中发挥很好作用,但其他一些特种水泥的研究成果,或因宣传推广不力,或因应用技术尚未正确掌握,所以还未形成生产力,满足不同工程的需要。

所谓特种水泥,如果予以概括分类,可以分成:有快硬高强要求的一类;有更好耐久性要求的一类和其他特性要求的一类。

有快硬高强要求一类的水泥,目前我国市场需求最为迫切,这也是我国目前水泥工业的薄弱环节。目前我国水泥市场能供应的最高标号一般只是 #525R (可能有极少量的 #625)。这在国际市场上只属于中等强度,它的早期强度还往往不能满足需要。这样强度的水泥,在正常的混凝土配制中至多只能配制 C60 混凝土标号,如果要配制更高混凝土标号,势必额外增加水泥用量,这就造成不经济和耐久性降低。其实我国水泥国家标准 GB175—92 中有 625R 和 725R 两个高标号产品的强度要求,只是由于市场流通领域供需存在着不衔接的矛盾而没有高标号产品。这个情况造成我国每年 200 余万吨水泥的进口而出口数量也因质量问题而受到一定限制。

对工程来说,对于混凝土在快硬高强之外,一个重要的性能要求是耐久性。混凝土本身虽然具有一定耐久性的条件,然而一般说来,由于混凝土属于非匀质多孔体,长期处在有侵蚀性的各种介质中,必然导致有害物质的渗入。其中常见的有碳化侵蚀、硫酸盐(海水)侵蚀,碱—集料反应侵蚀,氯化物侵蚀等。因此如何防止各类侵蚀的发生,是满足混凝土耐久性的主要使命。除上述化学侵蚀外,影响混凝土耐久性的还有混凝土本身在硬化过程中的体积稳定性问题,如大体积混凝土的水化热会导致混凝土体积膨胀,钢筋混凝土中 Cl^- 扩散对钢筋的锈蚀问题等。

所有提高混凝土耐久性的特种水泥,主要针对排除混凝土受化学侵蚀的各项措施。混凝土的组成材料中,水泥浆体含量及其孔隙率是影响混凝土耐久性的主要因素。当然,除化学侵蚀外耐久性还须考虑其他破坏因素,如高温环境及冻融循环作用等。

除有快硬高强要求和耐久要求外,还有其他特性要求的各种特种水泥。它们包括:油井水泥、道路水泥、耐高温水泥、装饰水泥(白水泥及彩色水泥)、防辐射水泥、灌浆水泥等等。这类特种水泥随科学技术的发展而不断增加新的品种。引人注目的有海洋工程水泥、月球水泥等。近年混凝土外加剂品种急剧增加,这些外加剂对特种水泥和特种混凝土的发展起了极大作用。它们大大开拓了混凝土因性能上的改进而扩充了用途。它们也大大促进了混凝土施工技术的提高从而促进了新品种水泥的发展。

这里,在诸多外加剂品种中,要特别提出高效减水剂和膨胀剂两种。高效减水剂能在保持良好工作性条件下大量减少混凝土的需水性,使新拌混凝土得以在尽可能小的水灰比下获得混凝土的最(下转第 8 页)

我国特种水泥工业现状

袁 光 普

我国水泥工业创建于十九世纪八十年代末期,到一九四九年年产量仅有 66 万吨,到 1994 年已达到 4.05 亿吨,是解放初期的 600 多倍,已连续十年产量居世界第一位。未来的几年内仍将以 12% 的速度增长,到 2000 年总产量将达到五亿吨。虽然已经有一百多年的发展历史,但就水泥工业的整体而言,与世界发达国家相比较,从生产工艺、技术装备、自动化水平、企业管理、产品结构、经济技术指标等方面均有一定的差距。近年来由于我国水泥工作者的努力,引进了国外先进的窑外分解技术及关键设备,并加以消化、吸收、推广,使我国水泥工业进入了一个新的历史时期。目前,已经能够生产制造日产 2000 吨的全套设备,江西、鲁南、双阳等一批日产 2000 吨的新型干法生产线的建成投产,标志着我国水泥工业已经跨入了世界先进水平的行列。

与普通水泥比较,我国的特种水泥工业在产量、规模、技术装备、自动化水平等方面都有一定的差距。发达国家特种水泥约占普通水泥总产量的 6~10% 左右,按此估计,我国特种水泥的产量应该 2400—4000 万吨之间。据不完全统计,1994 年我国特种水泥的产量约为 1100 万吨,约占水泥总产量的 2.7%。其中油井水泥 140 万吨,大坝水泥 143 万吨,白水泥 255 万吨,道路水泥 210 万吨其他品种 354 万吨。白水泥是我国近年来发展较快的一个品种,但生产技术,产品质量仍然没有大的突破。因此,简略的回顾一下我国白水泥工业的发展过程,展望我国特种水泥工业的未来,我们会更感到任重而道远。

我国白水泥生产创建于 1947 年,与普通水泥比较,大约晚了半个世纪。经过了 30 多年的发展到了 1979 年仅有 5 家白水泥厂,总产量不到 7 万吨。随着改革开放我国白水泥工业迎来了自己的春天,到 1989 年经过 10 年的发展产量翻了 20 倍,达到 140—150 万吨。1992 年初小平同志南巡讲话发表以来,我国白水泥工业随着国民经济的迅猛发展,迎来了第三个发展高潮,1992 年底产量大约为 250 万吨。到 1994 年底生产能力已达到 320 万吨。从技术装备、工厂规模来看,到七十年代,主要是以光华型窑 $\varnothing 1.9/1.6 \times 36$ (39) M 的中空小型窑为主,产量

低、热耗高、技术装备落后。到 80 年代初,光华水泥厂经过了三次扩建设计能力达到了 10 万吨,并已经采用了国际上较先进的新型干法 RSP 窑。与此同时,中国水泥工业开发公司与合肥水泥研究院同中坝特种水泥厂合作,建成了我国第一条以天然气为燃料的年产 3 万吨 $\varnothing 2.4 \times 45$ m 带立筒预热器窑。这个时期建成投产的还有广汉特种水泥厂、衡阳白水泥厂、安庆市白水泥厂等一批生产线,产量达到 3 万吨,窑的直径突破 2 米,长度超过了 40 米。到 80 年代末,中国水泥工业开发公司与牡丹江特种水泥厂合作,建成了一条年产 5 万吨的生产线,采用了 $\varnothing 2.5 \times 78$ 米带两级旋风预热器窑,同时引进了日本秩父水泥公司的窑内漂白技术,原料磨引进了西德的立式磨,在水泥磨上引进了西德的高铬球做研磨体。在稍后的时间衡阳白水泥厂、安庆白水泥厂也引进了立式磨做为原料磨和第一个采用立式磨做为水泥粉磨设备。90 年代初赤峰市白水泥厂引进了丹麦史密斯公司的部分技术,建成了 $\varnothing 2.7 \times 55$ 米带两级旋风预热器窑,三河白水泥厂采用了 $\varnothing 2.8 \times 42$ 米带四级旋风预热器窑,设计能力均为 5 万吨,从以上简述可以粗略的看出,我国白水泥的煅烧技术和装备五十年来的发展过程,回转窑的年产量由 1.5 万吨,发展到 3 万吨,再发展到 5 万吨。窑的直径由 1.9/1.6 米发展 2.8m,长度由 36 米发展到最长的 78 米,窑尾余热利用由中空式,发展到立筒预热器,两级旋风预热,四级旋风预热,余热锅炉发电和 RSP 型窑外分解炉。

国外白水泥的生产工艺也是经历了从湿法、半干法、中空干法,到新型干法的发展过程。日本秩父公司、丹麦和原苏联曾采用过湿法长窑,西班牙采用了立波尔窑,德国采用过立筒预热器窑,印度采用两级旋风预热器窑、法国拉法日、特耶水泥厂、日本小野田水泥公司的九洲水泥厂等都采用 RSP 窑外分解炉的新型干法窑。水泥工业是耗能较高的工业部门,白水泥的煅烧温度比普通水泥高,能耗则更高。因此,选择合理、先进的窑型和生产方法,对于节能更为重要。据资料介绍丹麦一条 $\varnothing 2.7 \times 60$ m 的二级 SP 窑热耗为 1460—1600 Kcal/Kg,另一条 $\varnothing 2.1 \times$

40m 四级 SP 窑热耗为 1350 Kcal/Kg。日本小野田的 $\phi 3.2 \times 58\text{m}$ RSP 窑热耗 1200 Kcal/Kg, 法国特耶水泥厂 $\phi 3.3/3.0 \times 65$ 米 SP 窑热耗为 1150 Kcal/Kg。而我国目前约有 80% 以上的采用 $\phi 1.9/1.6 \times 39\text{m}$ 中空窑, 热耗大约为 2690 Kcal/Kg。光华水泥厂 $\phi 2.4 \times 40\text{m}$ RSP 窑, 热耗为 1600 Kcal/Kg。光华厂的 5 号窑投产以来在提高产量, 降低热耗等方面已经取得了一定的效果, 但也存在一些问题, 主要是三、四级旋风筒经常堵塞, 设备事故多、烧成带耐火砖寿命短, 致使窑的运转周期短, 产量低, 热耗还不能达到国外同类型窑的先进指标。如果国内白水泥平均热耗如能降低到 1600 Kcal/Kg。全年按 250 万吨计算, 每年可节省约 35 万吨标煤。由此可见, 我国白水泥工业节能的潜力是巨大的。因此, 我们应当从原料的选择、采用先进的生产工艺和装备, 对现有的工厂进行技术改造, 提高管理水平, 从多方面采取措施降低热耗、节约能源。

熟料漂白是白水泥生产的独特关键工序, 即使有合格的原材料, 能够煅烧出优质的熟料, 如果采用不同的漂白工艺, 也会得到不同等级白度的水泥。漂白工艺既关系到产品的质量, 也直接影响到企业的经济效益。目前, 我国大多数白水泥厂仍采用原始的漂白工艺, 在熟料出窑进入漂白机时淋水漂白, 由于熟料温度低粒度大, 淋水量少等因素造成白度下降, 反之也可能由于淋水量过大造成熟料强度下降, 牡丹江特种水泥厂八十年代初引进了日本秩父水泥公司的窑内漂白技术及装备, 由于各种因素的影响并没有达到良好的效果。

日本小野田九洲水泥厂采用两级淋水漂白, 高温熟料先进入一级密封漂白装置, 上部有两组淋水管和抽气孔, 下部是绞刀把熟料送至二级漂白装置再行漂白, 出漂白机的熟料进入烘干机。苏联一家工厂采用浸水方式漂白, 熟料在高温状态下进入装有水的容器内漂白, 漂白后的熟料由刮板机运出。法国和日本的公司采用在高温状态下先将熟料破碎, 再用水漂白。这种方式对大型窑熟料粒度大、粒度不均、漂白效果好。因此, 我们应该在研究总结我国漂白技术的同时, 考虑引进国外先进的漂白技术, 提高我国白水泥的白度, 改变目前大多数产品属于二级和三级品的状况, 促进我国漂白技术的发展。

粉磨工艺与设备, 原料粉磨是白水泥生产的关键工序, 选择原料磨除考虑磨机本身的技术经济指标外, 还要考虑粉磨细度、生料易烧性以及带进原料中的铁、后者更为重要。我国白水泥厂由于规模小,

绝大多数厂都采用 4R 或 5R 系列的雷蒙磨, 采取分别粉磨的工艺。这种磨产量低、能耗高维修费用高, 光华水泥厂每年雷蒙磨的维修费高达 47 万元。八十年代牡丹江、衡阳、安庆三家白水泥厂引进了西德的 MPS160C 型立式磨, 做为生料粉磨, 这种磨金属磨耗量比较小一般为 2~4 克/吨。磨机的电耗低, 粉磨和烘干同时进行, 产品细度可及时调节, 操作方便, 产量高。是一种高效节能设备, 发展前景十分广阔。水泥粉磨工艺目前国内 85% 以上的工厂仍沿用 50 年代的小型管磨开流生产, 研磨体采用天然或人造石球。磨机多数采用 $\phi 1.83\text{m}$ 磨, 小时产量 1.8-2.5 吨, 电耗 45-70 度/吨。台湾大湖水泥厂引进日本的 OK13-9 型辊式磨, 小时产量 11.9 吨, 电耗 32.5 度/吨, 比光华厂的 $\phi 3.0 \times 11$ 米管磨机电耗低 40-50%。水泥粉磨电耗占白水泥综合电耗的 30-40%。因此, 先进工艺的选择和合理的设备选型, 应该是我们今后的一个重要研究课题。

水泥品种, 目前我国能够批量生产的大约有 60 多个品种, 除了白水泥之外, 产量较大的还有大坝水泥、油井水泥。近年来道路水泥发展也较快, 一些立窑厂也生产道路水泥。混凝土路面具有强度高耐磨抗冲击、耐热耐寒等性能, 和沥青路面比较还具有维修费用低、从长期考虑投资小等优点。因此, 在一些发达国家中广泛地应用在高速公路上, 据资料介绍日本水泥路面占高速公路的 2/3, 瑞士占 50%, 美国占 48.5% 而我国在 103 万公里的道路中, 水泥路面还不到 1 万公里, 只占 0.9%。一个国家高速公路的发展程度往往标志这个国家经济发达状况。相信随着我国经济建设的迅猛发展, 高速公路的建设, 道路水泥必将有较大的发展。随着城市建设的发展, 对建筑物的装饰也越发要求更高和多样化。一种新型装饰彩色水泥, 已经在一些地区应用在内外墙的装饰和制造彩色水泥制品。国外一些大的机场、广场也有用彩色混凝土现场浇筑成各种彩色图案以及在人行道、停车场用彩色水泥砖砌成各种彩色图案。新型装饰彩色水泥的研制成功, 将给我们的城市和建筑物打扮得更加五彩缤纷。

尽管我国特种水泥工业在改革开放中取得了长足的进步, 为了适应国民经济发展的需要, 对于当前特种水泥工业存在的一些问题, 有关部门应当给予必要的重视。

1) 有关主管部门应该尽快的制定发展特种水泥的产业政策, 选一批基础好、管理水平高的特种水泥企业, 做为示范线进行技术改造, (下转第 27 页)

我国特种水泥的现状与发展方向

吴兆琦 刘克忠

摘 要 我国特种水泥的发展大致经历了仿造、自主开发和创新 3 个阶段。经过 40 余年的努力,我国已研制成功 6 大体系、7 大类共 60 余种特种水泥,年产量约 3.5Mt。我国在特种水泥的理论研究和品种数量上已进入世界先进行列。当前的主要任务是迅速增加特种水泥的产量,调整特种水泥的产品结构。同时,要以节能为中心,开展水泥品种的研究,完善特种水泥的性能和生产工艺,并在此基础上研究开发高性能的新型特种水泥。

引 言

硅酸盐类通用水泥因历史悠久、性能可靠和价格低廉而得到广泛应用,已成为当今最重要的建筑材料之一。1989 年,世界水泥产量已达 1260Mt,其中 95% 以上是硅酸盐类通用水泥。但这类通用水泥适用或不完全适用于特种工程,如水利电力工程、油气井固井工程、耐高温工程、装饰工程和耐腐蚀工程等。为此世界各国都在致力于研究开发具有特殊性能和特种功能的新品种水泥,即所谓特种水泥。目前发达工业国家特种水泥产量一般占水泥总产量的 5%~10%。

本文拟对 40 余年来我国特种水泥的研究、生产及使用情况作一简要回顾,并对存在的问题和今后发展方向提出一些见解,以供讨论。

特种水泥的分类

国内外对水泥特别是特种水泥的分类尚无定论。我国目前将水泥分为通用水泥和特种水泥两大部分。前者包括硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥 6 个品种。特种水泥的分类比较复杂,大致有 3 种分类方法。一是以水泥主要矿物所属体系进行分类。迄今,所有特种水泥均可归入硅酸盐、铝酸盐、硫铝酸盐、铁铝酸盐、氟铝酸盐和其它等 6 个体系。二是按水泥功能进行分类,如快硬早强水泥、耐高温水泥、低水化热水泥等。但这里存在一定困难,有些特种水泥,如油井水泥,很难用单一的功能予以命名。三是按水泥用途进行分类,如油井水泥、装饰水泥等。但这种分类方法存在的问题更多,因为许多特种水泥,如快硬早强水泥、膨胀和自应力水泥等,用途非常广泛,很难用单一的特殊用途

命名。为此,我国往往将第二和第三两种方法结合在一起进行分类。这样,特种水泥按其功能或用途主要可分为快硬早强水泥、低水化热水泥、膨胀和自应力水泥、油井水泥、耐高温水泥、装饰水泥和其它水泥等 7 大类。

我国特种水泥研究和生产使用情况

我国特种水泥的发展历史大致经历了仿造、自主开发和创新 3 个阶段。

解放初我国仅有白色硅酸盐水泥一种专用水泥。特种水泥的研究和生产几乎没有。为了尽快满足恢复时期国民经济建设的急需,我国科研技术人员在短短几年内仿照苏联产品研制了一批特种水泥,其中大批量投入生产并得到推广应用的主要有快硬硅酸盐水泥、冷堵和热堵油井水泥以及符合苏联技术条件的大坝水泥。快硬硅酸盐水泥一直沿用至今,每年尚有 80kt 产量。1954 年,我国建立了综合性建筑材料研究机构,开始系统进行水泥科学研究。水泥品种的研究也逐步从仿制进入自主开发阶段。这个阶段研究开发的主要新品种水泥有:以回转窑烧结法生产的高铝水泥、耐高温铝酸盐水泥、自应力硅酸盐水泥、浇筑水泥(1988 年制定专业标准时改名为无收缩快硬硅酸盐水泥)、明矾石膨胀硅酸盐水泥和 45℃, 75℃, 95℃ 高温油井水泥系列。这些新品种水泥的大量投入使用,标志着我国特种水泥的发展趋于成熟。进入 70 年代后,随着我国在熟料化学、水化化学和水泥石结构等方面理论研究的深入并有所突破,在理论指导下创造发明了多种新品种水泥,现择要介绍如下。

(1) 以 C_4A_3S 、 $\beta-C_2S$ 和石膏为主要组分的硫铝酸盐水泥系列,包括快硬、微膨胀、膨胀和自应力 4

个品种。其中快硬硫铝酸盐水泥曾用于建造南极长城考察站,经受了一50℃的考验。以自应力硫铝酸盐水泥制备的输油、输气、输水管道(管径86~800mm),迄今铺设总长度已达数千公里。

(2) 以 C_4AF , $C_4A_3\bar{S}$, $\beta-C_2S$ 和石膏为主要组成的铁铝酸盐水泥系列,它也包括快硬、微膨胀、膨胀和自应力4个品种。由于大量铁胶的存在,该水泥具有良好的耐久性和耐磨性。曾用于引滦入津输水工程、山东青岛海浪观测站和福建东山县防浪墙的建设,证明该水泥抗冻、抗侵蚀、抗冲刷效果明显。

(3) 以 $C_{11}A_7 \cdot CaF_2$, $\beta-C_2S$ 和石膏为主要组成的氟铝酸盐水泥系列,包括型砂水泥、抢修水泥和快凝快硬氟铝酸盐水泥3个品种。在唐山大地震和对越自卫反击战中,利用该水泥快凝快硬的特点,紧急抢修机场,保证了抗震救灾和军事行动的顺利完成。

(4) 低热微膨胀水泥,它是所有低水化热水泥中水化热最低并兼有微膨胀性能的新品种水泥。1984年利用该水泥在浙江紧水滩电站围堰工程81m长块上通仓连续浇筑成功,被专家誉为奇迹,为优质、高速、低价建造混凝土坝开辟了新途径。

(5) 自应力值达10MP的高自应力铝酸盐水泥。用它制造的高自应力水泥压力管(管径达1m),于1979年在江西婺源港口电站使用,至今运转正常。与钢管相比,其造价低、耐久性明显提高。

(6) 明矾石膨胀硅酸盐水泥。由于该水泥强度组分和膨胀组分匹配合理、相互依存,膨胀指数低,后期强度高,被成功地用于毛主席纪念堂后浇缝工程及亚运会13项工程(包括奥林匹克运动中心看台、速滑馆防渗层和冷却板等),均起到了补偿收缩、抗裂防渗的良好作用。

国内还有许多著名工程成功地采用了特种水泥。如长江葛洲坝工程采用了多种低水化热水泥;成昆铁路采用了抗硫酸盐的硅酸盐水泥;上海宝钢工程采用了无收缩快硬硅酸盐水泥;我国唯一的7000m超深气井采用了超深井水泥。以上工程都取得了优质的使用效果,获得了国家或有关部门的好评。

经过40余年的不懈努力,至今我国已研究、开发了6大体系、7大类共60余种特种水泥。在品种、数量和研究水平方面跨入了世界先进行列,基本满

足了我国冶金、石油、化工、水电、建筑、机械、交通、煤炭和海洋开发等行业的需要。目前年产量约为3.5Mt。

存在的主要问题和今后的发展方向

当前我国特种水泥的发展存在两个主要问题:一是产量较低,与我国国民经济建设规模不相适应。1990年我国水泥总产量已达210Mt,但其中特种水泥仅约3.5Mt,占1.7%。而日本1989年特种水泥产量为5Mt,占水泥总产量的6.2%;苏联1989年特种水泥产量达14.6Mt,占水泥总产量的10.4%;美国1980年特种水泥产量已达5.8Mt,占水泥总产量的9.0%。据预测,到2000年我国对水泥的需求量将达约300Mt,按特种水泥需求量为4%计算,其产量应达到12Mt。目前产量离此目标还有很大距离。二是从特种水泥本身的产品结构看,与美国、日本和苏联等国相比,我国装饰水泥和膨胀自应力水泥所占比例大体相当;油井水泥和水工水泥所占比例偏低;快硬早强水泥则严重短缺。国外此类水泥产量通常占3%~8%,是各类特种水泥中产量最高的一类,而我国仅占0.13%,是产量最低的一类。

针对上述问题,结合我国国情,今后在发展特种水泥时应注重以下几个问题:

(1) 迅速增加特种水泥的生产和用量

根据我国的实际条件和需求,作者认为,可将今后10年内特种水泥产量翻两番(达到12Mt)作为目标开展工作。从水泥厂的生产能力看,不存在大的问题。重点应放在扩大特种水泥的应用领域和使用量上。应特别重视开发各产业部门自身需求的特种工程材料,如煤炭工业需要的高水基填充料和快硬泡沫填充料;核工业需要的核废料固结料;化学工业需要的耐各种化学腐蚀胶凝材料;冶金工业需要的各种耐高温材料和高强高流动性二次灌浆材料;铁道部门需要的速凝膨胀性喷射材料等。这些特种工程材料均可通过现有特种水泥改性或复合使用各种外加剂加以实现。特种工程材料的大量使用将为特种水泥打开广阔的市场。

为了迅速增加特种水泥用量,首先要大力加强对特种水泥的宣传和推广工作。我国国土辽阔,不少水泥生产和使用单位由于缺乏信息,至今不知特种

水泥为何物。许多急需特种水泥的工程因为无法购买或不知何处生产而只能代之以通用水泥,其结果是工程质量下降、寿命缩短;而特种水泥生产厂却又因为缺乏用户而产量上不去。

其次,对特种水泥的价格应有客观的认识。特种水泥对原料要求较高,有时还需采用较昂贵的原料,加之生产工艺也较复杂,因此生产成本一般高于通用水泥。但只要确实具有良好的性能,价格适当高一些,使用部门应是能够接受的。但目前存在两种不正常现象。一是少数生产单位借特种水泥之名,大幅度提高价格,使用户望而生畏,不敢使用;二是有些用户盲目要求生产单位降低特种水泥价格,否则就宁可以通用水泥代替,使生产厂难以适从。这两种现象都不利于特种水泥生产和使用的正常发展。

最后,还必须要有设计和使用部门的密切配合。要在这些部门的技术人员充分了解特种水泥的基础上,逐步使特种水泥列入设计和施工规范,确保特种水泥的“合法”地位。此外还应配以适当的鼓励政策,例如对凡采用特种水泥新材料者给予风险奖励等。

在大量宣传、开发和推广特种水泥的过程中,应特别注意扩大快硬早强水泥的用量。我国已研制成功并有实用价值的快硬早强类水泥有近10种之多,居世界之首,但年产量仅250kt。实际上我国具有快硬早强要求的工程很多,这类水泥只要有一个合理的价格和良好的性能,是大有用武之地的。今后10年内应将快硬早强水泥用量增加到2.5Mt,我国特种水泥的产量和产品结构才有可能逐步趋于合理。

(2) 特种水泥的性能和生产工艺的完善

我国现有水泥品种虽已基本满足各行业的需要,但在性能上仍有待改变和完善,如快硬早强类水泥,大多存在凝结时间过短的问题,不能满足日益发展的商品混凝土的要求,因此需要研究延长或调节凝结时间的有效技术途径。低水化热水泥则应在进一步降低水化热和赋予其适宜的膨胀性能上下功夫。除迅速研制和生产国外已有的低热硅酸盐水泥外,还应通过熟料化学和水化化学的理论研究,寻找水化热更低的水泥体系。低水化热水泥理想的膨胀性能应具有集早期膨胀和后期膨胀于一身的所谓“双膨胀”性能,从而能更有效地补偿冷缩和干缩。如何解决后期适量膨胀是一个重要的研究课题。我国

油井水泥自1991年3月1日起采用美国石油学会标准后,对产品的质量要求大大提高,目前我国即使是生产条件较好的大中型水泥厂,成品率也不高。为此应研究改进生产工艺和装备,提高成品合格率,使产品质量达到美国和日本等国的实物质量标准。应加强对膨胀自应力水泥膨胀机理的理论研究,充分掌握膨胀组分及其含量、水泥的使用或养护条件及混凝土配制工艺(包括配比)对膨胀或自应力混凝土的膨胀量和稳定期影响,在此基础上稳定产品质量,保证膨胀和自应力水泥的安全和有效使用。对白水泥,应以降低能耗、提高白度和强度为主要目标。对彩色水泥,主要应研究开发耐久而鲜艳的颜料,并解决表面泛白问题。要稳定和提高现有各种耐高温水泥的质量,在此基础上开发 Al_2O_3 含量为80%以上的纯铝酸钙水泥,用来配制低水量和低水泥量的高性能耐火浇注料。

我国特种水泥生产的总体工艺水平和装备水平比较落后,在某种程度上甚至比硅酸盐类通用水泥的生产水平还要低一些(与大中型水泥企业相比)。这主要是由于特种水泥产量较低,大多由中小型企业的小型中空回转窑生产。今后10年内应致力于将特种水泥的生产工艺和装备水平提高一个台阶。配备必要的均化设施、精确的计量和检测仪器以及适当的自动控制手段,从而使我国特种水泥的质量稳定在较高的水准上。

(3) 以节能为中心开展水泥品种的研究

首先应从探索水泥矿物着手,研究开发节能型矿物,即低钙低烧成温度及易磨性好的矿物和矿物体系。系统地研究其共存条件及工业生产的可能性。近年来,我国研究开发了 $\beta-C_2S-C_{11}A_7 \cdot CaF_2$, $\beta-C_2S-C_4A_3\bar{S}$ 和 $\beta-C_2S-C_4A_3\bar{S}-C_4AF$ 等节能矿物体系,其性能各具特色,均已生产使用。今后在上述各体系性能进一步完善的同时,应以发展在原料来源、性能和价格上可与硅酸盐类通用水泥相匹敌的、烧成温度为1000~1200℃的新体系作为长期目标。

其次是利用工业废渣制备特种水泥,以达节能和利废的目的。目前已研究成功利用煤矸石生产快硬早强水泥、利用粉煤灰生产砌筑水泥和低热粉煤

灰硅酸盐水泥和利用矿渣生产低热微膨胀水泥。用碱渣制备 Alinite 水泥的研究也已完成工业试生产, 熟料烧成温度可降至 1100℃ 左右, 但该水泥中 Cl^- 的存在形式及水泥中 Cl^- 的释放和扩散能力, 以及对水泥生产设备和混凝土中钢筋的锈蚀等问题有待进一步研究。

我国每年废弃的黑色金属和有色金属尾矿数以亿吨计。有些尾矿中含有较多的 Al_2O_3 , Fe_2O_3 或微量元素, 这就为发展低钙低烧成温度的节能水泥和高效矿化剂提供了廉价原料。如果以工业废渣或尾矿为原料开发的节能改性硅酸盐水泥在价格和性能上能与传统硅酸盐水泥竞争, 则有可能在今后 20 年内取代 5%~10% 传统硅酸盐水泥。这样, 每年至少可利用废渣或尾矿 10Mt。

利用工业废渣或尾矿应注意两个问题: 一是废渣和尾矿成分波动较大, 在水泥生产过程中需采用均化措施; 二是废渣和尾矿往往具有一定的放射性,

在生产时对其种类和掺量的选择应考虑使最终水泥产品的放射性不超标。

(4) 新型特种水泥的研究开发

应以研究开发超高强 (特别是抗折强度) 水泥、超低热水泥和高耐久性水泥为主要内容。这些新型特种水泥也是国际上研究开发的重点和发展趋势。日本小野田水泥公司的长期研究目标中就包括开发抗压强度为 300MPa, 抗折强度为 100MPa 以及耐久性可保证 1000 年的水泥基材料。这些新型特种水泥的开发成功有可能引起工程界的一场真正革命。研究的途径, 除探索新的水泥矿物系统外, 还要用增强材料、高活性掺和料和外加剂等加以解决。因此, 用普通水泥掺外加剂或外掺料来制备特种水泥, 或用外加剂和增强材料大大改善特种水泥的性能, 包括上述超高强、超低水化热和高耐久性等也将是今后要研究的重点课题之一。

(上接第 2 页)

佳流变性。膨胀剂有可能使水泥在水化过程中产生微膨胀而填充混凝土及浆体中的空隙 (或产生自应力), 达到十分致密的程度。膨胀程度和时间则可予以调节。

由于市场上出现了各式具有特殊功能的外加剂, 这就创造了特种水泥向超高强超耐久的方向迈进。超高强超耐久混凝土的强度一般指的是 100MPa 以上而超耐久的目标是“永不破损”, 或曰可达 1000 年。这类混凝土在国外有人称为 HPC 混凝土 (High Performance Concrete), 不仅高强 (指抗压及抗拉) 而且早强、高韧性、高弹性模量、高稳定性。有极佳的工作性及流变性, 因而操作简易, 在任何有害环境中具有超级抵抗能力, 其力学强度和耐久性是其他特种混凝土无法比拟的。

然而这种 HPC 混凝土除对砂石集料有特殊要求外, 关键在于胶凝物质, 即水泥所必备的性能。因此研究生产 HPC 特种水泥应该是我们特种水泥研究者的主要努力方向。如果我们的努力在很短时期内有所进展, 有所建树, 那么在工程上首先有所得益的应该就是举世瞩目的有 175m 高的长江三峡大坝工程。

第三系列水泥和混凝土性能及其应用

苏慕珍 张 量 于发明 王燕谋

一、前言

随着建筑业的迅速发展,多功能、多用途的土木建筑工程不断涌现,对水泥砼的质量、性能以及耐久性的要求也发生了很大的变化。例如:港工砼工程要求砼兼有抗浸蚀、抗渗、保护钢筋等多种功效;又如,煤矿矿井掘进巷道喷锚支护工程要求砼兼有早强、不泌水、不离析、微膨胀等性能。建筑业水平的提高对材料研究不断提出新的课题,而材料的不断更新又促进了建筑业的发展。第三系列水泥就是这样一种多功能的水泥系列。第三系列水泥包括早强、高强、膨胀、自应力、低碱等水泥品种,根据不同工程的使用要求,可以选择不同的水泥品种。

将第三系列水泥用于具有抗渗、防裂要求的大体积砼工程,是我们在推广应用第三系列水泥过程中的又一次新的尝试。现在,第三系列水泥本身具有的特点正在逐步被社会所认识,但为了使这种新品种水泥在建筑工程领域中发挥更大的作用,除了对水泥的生产工艺进行改进和对基础理论水平进行深化以外,更重要的是对其性能进行全面的了解,使砼性能的研究和应用技术配套。为此,中国建筑材料科学研究院对用第三系列水泥配制的砼性能进行了系统的研究。

二、第三系列水泥简介

1824年,英国人 Joseph Aspdin 获得第一个波特兰水泥专利。经历一百年的发展,形成了庞大的硅酸盐水泥系列。按中国的水泥分类方法,分为通用水泥系列和特种水泥系列。通用水泥系列包括硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥。特种水泥包括油井水泥、大坝水泥、快硬水泥、抗硫酸盐水泥和白水泥等等。硅酸盐水泥系列的主要特征是熟料矿物组成以 C_3S 为主,该矿物决定了硅酸盐水泥的基本性能,如强度发展规律等。硅酸盐水泥是当今世界上最主要的建筑用胶结材料,总量达 12 亿吨左右。

1908年在法国发表了铝酸盐水泥的专利,并于 1908年首先进行工业化生产。经过几十年的发

展,已形成包括膨胀水泥、自应力水泥和耐火水泥等在内的铝酸盐水泥系列,该系列水泥的特征是其熟料矿物组成以 CA 为主,由此而赋予水泥具有早强耐火等特殊性能。现在铝酸盐水泥主要用于耐高温浇注衬料。在建筑上由于发现其后期强度倒缩而不再使用。

二十世纪七十年代,在中国发明了硫铝酸盐水泥。八十年代又首创了铁铝酸盐水泥的工业生产。如果说,我们把硅酸盐水泥系列产品统称为第一系列水泥,把铝酸盐水泥系列统称为第二系列水泥。那么,我们可以把硫铝酸盐水泥和铁铝酸盐水泥以及它们派生的其它水泥品种统称为第三系列水泥。该系列水泥的矿物组成特征是含有大量的 C_4A_3S 矿物。以此与其它系列水泥相区别。并构成了第三系列水泥的早强、高强、高抗冻、耐蚀、低碱、生产能耗低等基本特点。第三系列水泥在中国已得到广泛应用。目前年产量已达 50 万吨左右。1995 年生产能力可达 100 万吨/年。

第三系列水泥是中国建筑材料科学研究院研制成功的新品种水泥系列。它主要包括硫铝酸盐水泥和铁铝酸盐水泥两大类。该两类水泥分别于 1981 年和 1987 年获国家创造发明二等奖。

1. 定义:

硫铝酸盐 (CSA) 水泥和铁铝酸盐水泥 (CFA) 统称为“第三系列水泥”。第三系列水泥是以适当成份的石灰石、矾土 (或铁矾土) 和石膏为原料低温 ($1300\sim 1350^{\circ}C$) 煅烧而成的以 C_4A_3S 、 C_2S 、 C_4AF 为主要矿物组成的熟料,通过掺加适量混合材 (石膏) 等进行共同粉磨所制成的,具有高强、快硬、膨胀、自应力和低碱等性能的系列水泥品种。

2. 水泥品种:

目前生产的水泥品种有:

① 硫铝酸盐水泥类:

快硬硫铝酸盐水泥; 高强硫铝酸盐水泥; 膨胀硫铝酸盐水泥; 自应力硫铝酸盐水泥; 低碱硫铝酸盐水泥等 5 个品种。

② 铁铝酸盐水泥类:

快硬铁铝酸盐水泥；高强铁铝酸盐水泥；膨胀铁铝酸盐水泥；自应力铁铝酸盐水泥等 4 个水泥品种。

三、第三系列水泥及其砵的特性

同属第三系列水泥的硫铝酸盐水泥和铁铝酸盐水泥，其熟料主要矿物均为 $C_4A_3\bar{S}$ ，所以在性能上有许多类似之处：早强、高强、高抗渗、高抗冻、耐腐蚀等，并可在很大范围内调整其膨胀性能。

同时由于两类水泥熟料所含铁相量有很大差别，所以性能上又有许多不同之处。硫铝酸盐水泥水化液相碱度低，对玻璃纤维腐蚀作用很小。由于同样原因，用硫铝酸盐熟料制作的自应力水泥可达到较高的自应力值。

铁铝酸盐水泥水化液相碱度较高，水化产物中的凝胶体除铝胶外，还有大量的铁胶。这些水化特征使水泥石具有许多优良性能，如：铁铝酸盐水泥砵表面不会发生起砂，对钢筋不会锈蚀，抗海水冲刷和抗腐蚀性能优良，其自应力水泥自由膨胀比所有自应力水泥都小，其膨胀稳定期也较短。

(一) 快硬硫铝酸盐和快硬铁铝酸盐水泥及其砵性能

1. 第三系列水泥水化热性能

第三系列水泥总水化热虽然比传统硅酸盐水泥低，但 70%~80% 集中在 12h~1d 如图 1 所示。该特点赋予第三系列水泥优良的早强性能和优异的负温下砵施工性能。

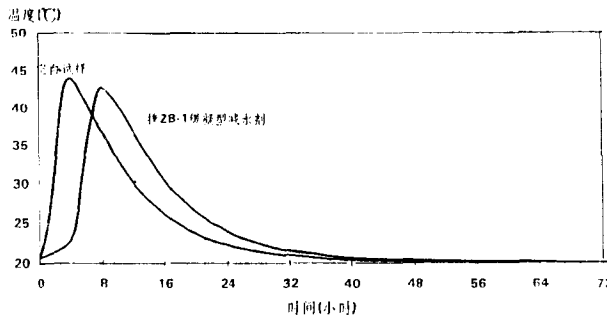


图 1 第三系列早强水泥的水化放热曲线

2. 早强高强性能

该二种快硬水泥不仅有较高的早强，而且有不增长的后期强度。同时具有满足使用要求的凝结时间。12h~1d 抗压强度可达 35~50MPa；抗折强度可达 6.5~7.5MPa。3d 抗压强度可达 50~70MPa；抗折强度可达 7.5~8.5MPa。根据 3d 水泥胶砂抗压强度 (kg/cm^2) 确定水泥标号。目前市场出售的水泥标号为 425#、525#、625# 三种。其标准性能如表 1 所示。

表 1 快硬（早强）水泥的性能指标

水泥品种	标号	凝结时间	抗压强度 (MPa)			抗折强度 (MPa)		
			12 小时	1 天	3 天	12 小时	1 天	3 天
硫铝	425 #	初凝<30 分 终凝>180 分	29.4	34.4	41.7	5.9	6.4	6.9
	525 #		36.8	44.1	51.5	6.4	6.9	7.4
	625 #		39.2	51.5	61.3	6.9	7.4	7.8
			1 天	3 天	28 天	1 天	3 天	28 天
铁铝	425 #	初凝<30 分 终凝>180 分	34.5	42.5	49.0	5.9	6.4	6.9
	525 #		44.0	52.5	59.0	6.9	7.4	7.8

3. 新拌砵的性能

(1) 凝结时间和可工作性

从第三系列水泥的国家标准来看（表 1），初凝时间规定为不小于 25 分钟，比普通水泥要快得多。因此，许多施工技术人员在使用这种水泥时担心凝结时间太快而无法满施工操作性的问题。在第三系列水泥的实际应用当中，为了满足施工操作的要求，往往增加水灰比以增大初始塌落度。这种方法虽然简单，但对砵的力学性能尤其是耐久性非常不利。为了解决这个问题，中国建筑材料科学研究院专门研究了第三系列水泥专用的外加剂。通过调节外加剂的掺量，达到调整砵的凝结时间和可工作性的目的，并减少用水量，改善砵硬化后的性能。

表 2 为掺不同类型 ZB 型专用外加剂的砵的凝结时间。显然是完全可以满足现场施工操作的要求的。

表 2 掺不同类型的专用外加剂的砵的凝结时间

编号	外加剂种类	水灰比	塌落度 cm	凝结时间 (h : m)	
				初凝	终凝
ZF-44	ZB-1 缓凝型	0.385	12	5 : 14	5 : 53
ZF-6	ZB-1 标准型	0.404	18.5	3 : 23	3 : 52
ZF-71	ZB-1 普通型	0.440	8.8	3 : 37	4 : 18

三系列水泥的泌水率小, 砵表面水分蒸发后很容易产生塑性收缩裂纹, 因此加强砵的早期养护是十分必要的。

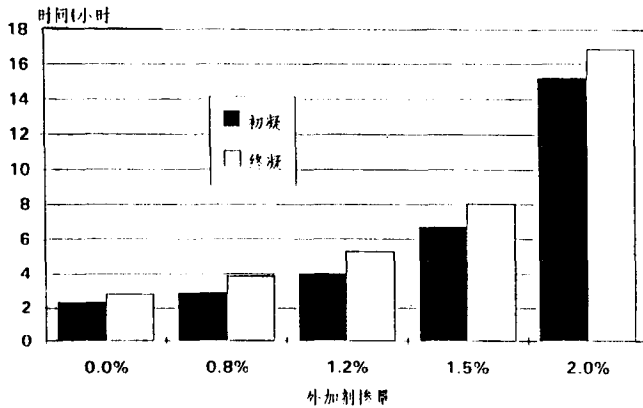


图 2 为专用外加剂的掺量对砵凝结时间的影响

表 4 掺专用外加剂砵的泌水率

水泥品种	外加剂	水灰比	塌落度 cm	泌水率
铁铝水泥	ZB-1 1.2%	0.404	18.5	0.72%
硫铝水泥	ZB-1 0.8%	0.409	15.5	0.62%

表 5 泌水性试验结果

水泥品种	配合比	W/C	泌水率
早强水泥	1 : 1.76 : 2.86	0.49	0%
	1 : 1.76 : 2.86	0.58	0.40%
微膨胀水泥	1 : 1.76 : 2.86	0.49	0%
	1 : 1.76 : 2.86	0.60	1.50%
普通硅酸盐水泥	1 : 1.76 : 2.86	0.56	3.12%

表 3 掺专用泵送剂的早强水泥塌落度损失及强度

配合比	塌落度			抗压强度				成型及养护
	出机	1 小时	2 小时	1 天	3 天	7 天	28 天	
水泥 : 砂 : 石 : 水 = 1 : 1.49 : 2.24 : 0.35 掺 1.5% ZB-5 专用 泵送剂	22	20	20.5	35.6	47.8	49.2	59.5	立即成型转标养
				36.6	47.3	48.3	58	慢转 2H 后静置 5H 成型转标养
				41.7	48.1	51	57.4	慢转 2H 后成型转 自然养护
				44.2				慢转 2H 后静置 5H 成型转自然养护

(2) 泌水性

砵的泌水是由于拌合物中固体组分向下沉降时, 其保住全部拌合水的能力不足引起的。上浮的水有的被截留在粗骨料或钢筋下面, 因而产生粘结力较差的区域。这部分水分散失即形成毛细管, 而且全部空隙均朝相同方向, 因此砵的渗透性变差。所以, 砵的泌水率愈小即砵的保水性愈好, 产生分层、离析的可能性就愈小, 砵就愈均质, 抗渗性也愈高。从表 4 及表 5 的结果可见, 无论是掺还是掺不掺专用外加剂的铁铝酸盐水泥砵, 其泌水率均较普通水泥小得多。由此说明用这种水泥施工更容易获得优质砵, 抗渗性能也可以得到提高。但是由于第

4. 硬化砵的物理力学性能

(1) 砵的抗压和抗折强度特性

由于快硬水泥不仅有较高的早强, 而且有较高的后强, 因此在通常的砵制备工艺条件下制备的砵, 具有比硅酸盐水泥砵高得多的早强, 尤其是抗折强度更为明显。而且受养护条件影响较小, 说明其断裂韧性优良。表 6 和图 3 给出了快硬水泥配制的砵在不同养护条件下的力学性能和强度发展规律。

表 6

养护条件	抗压强度 (MPa)			抗折强度 (MPa)		
	3 天	7 天	28 天	3 天	7 天	28 天
自然养护	34.8	61.3	62.0	4.8	7.8	8.0
标准养护	39.9	62.9	66.6	5.1	8.2	10.2
水中养护	34.1	63.2	68.1	4.6	8.5	11.4
水养 14 天转干空	34.1	63.2	67.8	4.6	8.5	10.5

注: 砵的配合比为: 水泥 : 砂 : 石 : 水 = 1 : 1.78 : 2.63 : 0.4

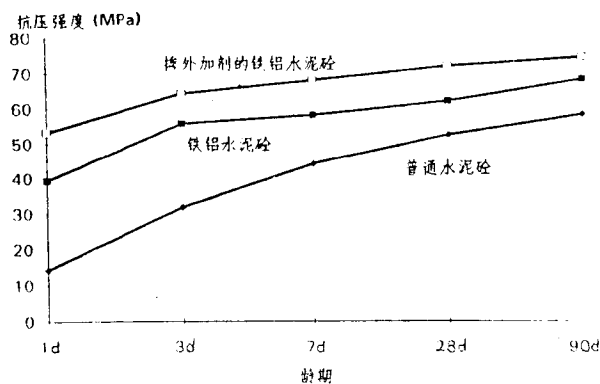


图3 不同水泥砼的强度发展规律曲线

(2) 砼的劈拉强度特性

砼的劈拉强度间接表达了砼受破坏时所消耗的外界能量。表7给出了快硬铁铝酸盐水泥砼的劈拉强度与普通砼、防水砼、膨胀砼劈拉强度的比较。表中可以看出其劈拉强度高于普通砼和防水砼。

表7 不同种类的砼的劈拉强度

性能 结果 类别	抗压强度 MPa	劈拉强度 MPa	拉/压	铁铝酸盐水泥 劈拉强度提高率 %
	28天	28天		
普通砼	57.3	3.42	0.06	4.91/3.42=144%
U型砼	54.1	4.78	0.09	4.91/4.78=101%
铁铝酸盐水泥砼	57.3	4.91	0.09	4.91/4.91=100%
氯化铁砼	51.7	3.02	0.06	4.91/3.02=163%
有机硅砼	49.2	3.34	0.07	4.91/3.34=147%
EA砼	52.6	4.67	0.09	4.91/4.67=105%

(3) 砼的弹性模量

普通水泥砼的特点是早期强度和弹性模量均较低,在水化热引起温升以及散热引起温降的同时,砼的内部结构也随着龄期而发展,表现为强度与弹性模量的增加和塑性的减少(徐变随之减少)。这些变化着的性能,对于砼因温度变化所造成的变形值有着很大的影响。在砼的升温阶段,砼内部因热膨胀而引起相向变形。但由于此时结构发育得还不够,塑性还较大,这种因热胀引起的相向变形大

部分为塑性变形和徐变所消耗。在降温开始后不久,砼就出现冷缩而引起背向变形。但此时塑性已大大减少,因此背向变形就能很快地引起开裂。

表8的试验结果表明,铁铝酸盐水泥砼的弹性模量是与其强度同步增长的。也就是说明随着早期强度的迅速提高,用铁铝酸盐水泥配制的砼也同时具备了较高的抵抗变形的能力。

表8 不同龄期的砼试件的弹性模量

水灰比	坍落度	外加剂	弹性模量 GPa		
			1天	3天	28天
0.37	18.8	ZB-1	34.2	35.6	37.8

由于第三系列水泥的这一优异性能,尽管水泥早期放热量较大,但砼已达到了较高的强度,具备了相当的抵抗温度变形的能力,大大提高了砼的抗裂性能。因此,第三系列水泥用于大体积砼工程是完全可行的。

5. 砼的长期性能和耐久性

(1) 砼的抗渗性能

铁铝酸盐水泥砼致密度高,因此具有良好的抗渗性能。中国建材研究院的试验结果表明,由于早期强度高,其3—7天的抗渗能力与硅酸盐水泥砼28天的抗渗能力相当。龄期为7天的掺外加剂的铁铝酸盐水泥砼逐级加压至30kg/cm²时试件的平均透水高度仅为8cm。

(2) 砼的抗碳化性能

表9为铁铝酸盐水泥砼碳化的试验数据。可见,铁铝酸盐水泥砼的碳化深度很小,碳化系数也很小,说明铁铝酸盐水泥砼的抗碳化性能良好。

表9 砼的抗碳化性能

水泥	外加剂	水灰比	坍落度 cm	碳化深度 28天 (mm)	对比强度 MPa	碳化强度 MPa	碳化系数
唐山铁铝	/	0.515	7	1.29	51.4	49.3	0.96
唐山铁铝	ZB-1	0.4	18	0.98	69.4	64.5	0.94
冷水滩铁铝	ZB-1	0.3	5	0.26	73.6	71.8	0.976

(3) 水泥和砼的抗冻融性能

第三系列水泥均表现出极好的抗冻性。它具有以下几个特点:①在0~10℃低温下使用,早期强度是波特兰水泥的5~6倍。②在0~-20℃负温下使用。加入少量防冻剂,砼3d~7d可达设计标号的70~80%。③在正、负温交替的条件下施工,对后期强度增长影响不大。实验室150次和300次冻融循环,砼强度损失不明显,如表10所示。早强水泥负温下强度增长规律如表11所示。

表 10 砼抗冻融性能

水泥	外加剂	水灰比	塌落度 cm	冻融循环试 件强度 MPa	对比试件 强度 MPa	强度损 失率 %
				300 次	300 次	300 次
唐山 铁铝	ZB-1	0.4	18	66.6	67.7	1.62

表 11 早强水泥砼负温下强度增长规律

温度	水灰比	塌落度 cm	外加剂	抗压强度 (MPa)				
				-7 天	-7+3 天	-7+7 天	-7+28 天	-7+56 天
-5℃	0.32	17.0	ZB-1 专用 外加剂标 准型 1.5%	6.7	55.7	61.5	67.2	79.1
					+3 天	+7 天	+28 天	
					51.1		71.2	
-15℃	0.31	9.0	ZB-2 专用 防冻剂 3%	-7 天	-7+3 天	-7+7 天	-7+28 天	-7+56 天
				3.6	43.7	54.2	58.5	70.4
					+3 天	+7 天	+28 天	
-8℃ 至+10℃	0.31	9.5	ZB-1 专用 外加剂标 准型 1.2%		52.7	56.3	66.4	
				自然养护		3 天	7 天	28 天
				标养		34.2		67.0
								74.7

(4) 砼与钢筋的粘结力

表 12 为粘结力试验结果。铁铝酸盐水泥砼对钢筋的握裹力强,而且早期就具备了较高的粘结强度。无论是自由变形还是限制变形,粘结力均高于普通砼。

表 12 钢筋粘结力试验

	28 天自由膨胀试件 粘结强度 (MPa)	28 天限制膨胀试件 粘结强度 (MPa)	3 天早强砼试件 粘结强度 (MPa)
普通水泥砼	4.48	4.70	
铁铝酸盐微膨胀砼	5.27	6.51	
铁铝酸盐早强砼			7.12

注: 28 天龄期的砼试件配合比为

水泥: 砂: 石: 水=1: 1.76: 2.89: 0.5

早强砼试件参加了专用外加剂

(5) 钢筋锈蚀特性

图 4 为钢筋在掺与不掺专用外加剂的铁铝酸盐水泥硬化砂浆中阳极极化电位曲线。可见, 钢筋的阳极极化电位曲线呈纯化状态, 说明铁铝酸盐水泥和掺专用外加剂的铁铝酸盐水泥对钢筋无锈蚀作用。

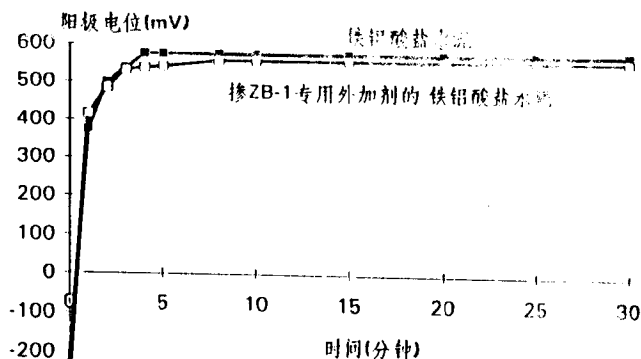


图 4 硬化砂浆中钢筋的阳极极化曲线

(6) 抗腐蚀性

第三系列水泥对海水、氯盐 (NaCl 、 MgCl_2)、硫酸盐 (Na_2SO_4 、 MgSO_4 (NH_4) $_2\text{SO}_4$), 尤其是它们的复合盐类 ($\text{MgSO}_4 + \text{NaCl}$) 等, 均具有极好的抗腐蚀性。其中铁铝酸盐水泥更优于硫铝酸盐水泥。从二年耐腐蚀实验室结果可以看出, 抗腐蚀系数均大于 1。明显优于高抗硫酸盐水泥, 如表 13、14、15、16 所示。

表 13 第三系列水泥耐腐蚀性能

(镁盐及硫酸盐的复合盐溶液中)

浓度 (mg/l) $\text{SO}_4^{2-}\text{Mg}^{++}$	高抗硫水泥	第三系列水泥
5000	500	0.85
5000	1000	0.90
10000	1000	0.92
10000	2000	坏
15000	1500	坏

表 14 耐高浓卤水腐蚀系数 (F6)

腐蚀溶液	轮台水	若羌水	5% Na_2SO_4	5% MgSO_4	5% NaCl	15% $\text{NaCl} +$ 5% Na_2SO_4
水泥品种						
矿渣 425# 水泥	0.44	0.83	0.6	坏	0.79	
普通 525# 水泥	0.16	0.34	0.67	坏	0.82	
矾土水泥	0.79	1.02	坏	1.22	0.95	
抗硫酸盐水泥				0.71		0.71
低热微膨胀水泥	0.21	0.91	1.13	坏	0.98	0.5
早强硫铝酸盐水泥	1.3	1.33	1.13	1.14	1.11	1.17
早强硫铝+20%矿渣	1.36	1.48	1.34	1.29	1.22	
早强硫铝+40%矿渣	1.54	1.41	1.18	1.51	1.11	

表 15 耐结晶破坏腐蚀系数 (F6)

试验方法	降温结晶 28 次	降温结晶 14 次	干湿循环 1 次
腐蚀溶液	轮台水	10%Na ₂ SO ₄	10%Na ₂ SO ₄
矿渣 425# 水泥	0.79	0.72	0.22
普通 525# 水泥	0.89	0.63	0.25
低热微膨胀水泥	0.79	0.97	/
早强硫铝酸盐水泥	1.13	0.93	0.41
早强硫铝+20%矿渣	1.52	1.16	1.36
早强硫铝+40%矿渣	1.28	0.98	1.31

表 16 不同硷现场埋设三年后的腐蚀情况

水泥品种	清水养 生强度 (MPa)	轮台地区		外观检查	温泥泉地区		外观检查
		强度 (MPa)	比值 (%)		强度 (MPa)	比值 (%)	
525# 早强硫 铝酸盐水泥	57.0	54.2	95	轻微掉砂 棱角清楚	51.2	90	棱角完整
早强硫铝水泥 掺 40% 矿渣	50.0	46.5	93	轻微掉砂 棱角清楚	48.0	97	棱角完整
早强硫铝水泥 掺 40% 矿渣	40.0	38.0	94	轻微掉砂 棱角清楚	43.9	109	棱角完整
525# 大坝硅 酸盐水泥	63.8	26.0	41	严重露石掉角 有的呈碎块	17.3	27	掉角, 严重 露石
525# 高抗硫 酸盐水泥	65.2	38.0	58	严重露石掉角	/	/	破坏呈碎块
425# 矿渣水泥	48.8	34.1	64	严重露石 轻微掉角	14.8	30	严重掉角
备 注	1. 水: 水泥: 砂: 石=0.5:1:1.90:2.90 2. 试件尺寸为 4×4×4cm 3. 中砂, 石子为 5—20 毫米豆石						

(7) 硷的长期强度

第三系列水泥硷不仅具有较高的早强,而且具有不断增长的后期强度。表 18 给出了第三系列水泥硷的 55 个月的强度增长规律。

表 17 长龄期硷强度增长率

样品 编号	养护 时间	增长率 (%)	养护 时间	增长率 (%)	养护 时间	增长率 (%)	养护 时间	增长率 (%)
	28 天		3 个月		38 个月		55 个月	
1	49.5	100	53.2	108	60.9	123	65.0	133
2	30.2	100	35.6	118	43.2	160	51.0	169
3	44.6	100	56.0	126	64.8	145	70.9	159
4	51.9	100	----	----	64.3	124	70.0	135
5	42.3	100	----	----	65.5	156	69.0	163
6	36.3	100	----	----	52.5	145	----	----
7	30.1	100	----	----	46.7	155	49.6	165
8	45.9	100	----	----	52.4	114	55.0	120

综合以上结果可以看出,第三系列水泥及其硷耐久性均是很好的。

6. 第三系列水泥硷在土木工程中的应用

(1) 冬季施工工程:

在我国华北、东北和西北等寒冷地带的冬季施工,普遍采用第三系列水泥。例如,北京香山饭店、长城饭店、海洋局大楼、天津新车站、齐齐哈尔市铁路桥、新疆乌鲁木齐市人大会议堂、青藏铁路桥、沈阳长途电信枢纽工程、沈阳太平洋广场等重大工程。尤其是我国南极考查站的长城站和中山站,其中建筑材料均采用第三系列水泥。

(2) 抢修抢建工程

主要用于公路、机场和桥梁的修补和抢建。例如北京西直门、三元和朝阳门立交桥的接头和叠合桥面,均达到抢速度争时间的目的。最近对这些桥梁考查的结果表明,其抗冻性和抗盐腐蚀性,明显优于相邻的波特兰水泥。福建东山岛,利用 6 小时潮差赶潮水施工。采用快硬硫铝酸盐水泥抢建防波堤取得圆满成功。其抗海水冲刷能力和强度均是波特兰水泥望尘莫及。

(3) 耐腐蚀工程

我国青新铁路和南疆铁路,各有几百公里处于含有高浓度硫酸盐、镁盐和氯化物地下水的地段,对铁路桥涵的基础,构成了强烈的侵蚀。天津汉沽盐场修筑铁路通过 25 度苦卤盐地。苦卤的矿化度为 314g/l,其中含 [Mg²⁺] 为 22500mg/l、[SO₄²⁻] 为 28600mg/l、[Cl⁻] 为 1176200mg/l。1983 年,在青新和南疆铁路的现场试验和汉沽盐场地区施工的大小十几座桥涵,采用耐腐蚀性能好的早强硫铝酸盐水泥,至今使用效果良好。

福建东山岛防波堤、河北唐山大清河码头、大连港等工程也采用这种水泥进行过施工,亦取得了良好的效果。

(4) 配制喷射硷

采用第三系列水泥,配以专用外加剂。配制喷射硷,于 1981 年至 1983 年在河北吴庄、引滦入津工程、三家店和峰峰矿务局三矿隧道等地工程使用效果良好。强度发展快,回弹率大幅度降低,及时起到支护围岩的作用。因此,加快了掘进速度、防止坍塌、确保施工安全和工程质量。

(5) 生产水泥制品和硷予制构件

利用第三系列水泥生产电杆、轨枕等可以大大缩短蒸养时间或取消蒸养,从而达到加快模具周转和节能的目的。而且这种制品和构件抗腐蚀能力强,特别适用于盐碱地。最近北京市政四构件厂采用铁铝酸盐水泥硷生产立交桥的大型预制梁,取消蒸养,简化生产工艺,大幅度节省能源,生产速度提高了三倍。