

VERLAG  BAU+TECHNIK

Chinese Edition

水泥制造工艺技术

崔源声 汪 澜 主 译
王 晓 王子明 副主译
戎培康 于兴敏 主 审

中国建材工业出版社

China Building Materials Industrial Press



VDZ Congress

2002

Process Technology of Cement Manufacturing

2007

水泥制造工艺技术

Process Technology of Cement Manufacturing

崔源声 汪 澜 主 译
王 晓 王子明 副主译
戎培康 于兴敏 主 审

中国建材工业出版社

China Building Materials Industrial Press

图书在版编目 (CIP) 数据

水泥制造工艺技术/(德)戴克思 (S. Deckers) 著;崔源声,汪澜主译.—北京:中国建材工业出版社,2007.9

书名原文: Process Technology of cement Manufacturing
ISBN 978-7-80227-348-1

I. 水… II. ①戴…②崔…③汪… III. 水泥—生产工艺
IV.TQ172.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 144668 号

内容简介

全书内容包括与水泥生产工艺相关的 6 个技术领域,第一技术领域:工艺技术对面向市场的水泥的影响,第二技术领域:破碎技术,第三技术领域:烧成技术,第四技术领域:二次材料的使用,第五技术领域:工艺技术和信息管理,第六技术领域:水泥生产和可持续发展。本书全面概括和论述了当代水泥工业在以上各个技术领域过去 10 到 20 年里所取得的进展、存在的问题和未来发展方向。在综合阐述每个学科技术进展的基础上,配合以典型的技术实践案例分析,理论联系实际,技术和实用价值都非常高,是一本难得的水泥生产技术参考文献,可供水泥和建材工业相关学科的管理、科研、设计、教学、生产、经营和装备制造等各类人员参考。

水泥制造工艺技术

崔源声 汪 澜 主译

出版发行:中国建材工业出版社

地 址:北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编:100044

经 销:全国各地新华书店

印 刷:北京阳光彩色印刷有限公司

开 本:850mm×1168mm 1/16

印 张:30

字 数:7200 千字

版 次:2007 年 9 月第 1 版

印 次:2007 年 9 月第 1 次

书 号:ISBN 978-7-80227-348-1

定 价:150.00 元(精)

(著作权合同登记图字:01-2007-4324 号)

本社网址:www.jccbs.com.cn

本书如出现印装质量问题,由我社发行部负责调换。联系电话:(010)88386906

序

传播知识、普及科学与推广技术;面向大众,惠及行业;架起沟通不同文明之间的桥梁;借鉴国际先进经验,提升我国水泥工业的整体技术水平,这是源声和汪澜同志组织行业力量翻译出版这本国际知名技术文献的初衷与可贵之处。他们曾给我说过想做这样一件工作,我明确表示赞同和支持。

VDZ 技术大会文集每隔 8 到 10 年在德国出版一次,基本是对过去 10 多年来世界水泥工业技术领域的总结,代表着当今国际水泥工业的技术前沿。我们过去比较注意国际水泥化学会议,但是对类似的国际水泥技术大会没有引起足够的重视,包括在欧洲举办的 VDZ 技术大会,以及在北美举办的 IEEE 水泥工业技术年会。这是两个在国际上影响非常广泛的技术大会,注重实际,与产业密切结合是其突出的特点。相信本书的出版会给行业带来一股求真务实的新风,引导科技和产业界更加注重理论联系实际,并积极参与国际合作与竞争。

现代的中国水泥工业,历经 50 余年的发展,产量已经占世界水泥总量的近一半。特别是经过科技人员 30 年的努力,窑外分解技术在全国大面积推广,并大踏步走向世界舞台。

中国水泥工业在未来仍将是朝阳产业,但中国水泥工业的发展正面临着可持续发展问题。能源、资源和环境问题将越来越制约水泥工业的持续发展。

如何使水泥工业在科学发展观指导下,实现由大变强,我想,还是要加快产业结构调整,大力发展先进生产力,使新型干法水泥占据绝对控制地位。同时还要不断总结经验,包括国际上成功的经验和失败的教训。《水泥制造工艺技术》一书的出版发行,向我们全面展示了过去 10 到 20 年里,世界发达国家水泥工业所走过的主要历程。有些成功的实践是我们还没有开始的,有些工作我们正在进行或准备要做。特别是诸如水泥行业协同处理废弃物,水泥工业的替代燃料和原料(AFR)等领域,对于水泥行业发展循环经济,实现可持续发展的意义重大。在水泥行业全系统提高能效,减少排放,保护环境,提高信息化和自动化水平,面向市场,注重产品质量和用户服务等诸多领域,都是需要学习和努力实践的。

善于吸收一切人类文明的成果,取人之长,补己之短,他山之石,可以攻玉。站在巨人的肩膀上,勇于创新 and 攀登世界科学技术的高峰,历来都是中华民族的美德,也是水泥行业生生不息,可持续发展的重要动力来源。

衷心希望《水泥制造工艺技术》一书能给广大读者带来收益,为普及科学与技术,促进行业的科技进步做出积极贡献。



2007 年 6 月 25 日

前言

2002年9月,德国水泥厂协会(VDZ)向“第五届水泥制造工艺技术国际大会”的与会代表表示热烈的欢迎。来自11个国家的近50名演讲者在专业领域作了报告,每一个领域由一个综合报告引入。所有演讲者都是其所在领域的专家,对自己工作的领域的最新进展作了综述。

来自40多个国家的近千名与会者参加了研讨会,此次研讨会继承了1961年、1977年、1985年和1993年几届研讨会成功举办的传统,并成为国际专家交流他们在现代水泥制造技术方面的知识的论坛。

很多面向实践的报告通报了高性能水泥生产的实际进展,特别强调烧成和粉磨技术。在可持续性的讨论中,关于水泥生产的生态、经济和社会问题起着重要的作用。在此议题下,这次会议着重讨论了保证原料供应、气候保护和二次原料利用的问题。此次会议与以往的会议一样,为从事水泥制造业和水泥工厂的设计及建造的工程技术人员提供了论坛。

同时,会议的亮点之一是,它还是庆祝德国水泥厂协会150周年纪念日的专门活动。今天,德国水泥厂协会和它的研究所可以回顾实践研究的悠久传统,其研究项目的结果一直备受关注。研究工作逐渐地越来越为国际水泥工业所理解,这对在未来几十年内为提高质量和技术发展开展研究提供了理想的基础。德国水泥厂协会感到非常高兴的是,与会代表及其他受邀嘉宾聚集一堂庆祝协会的纪念日。

真诚感谢对大会的成功起了重要作用的人们,特别要感谢来自Ulm的Jürgen Albeck博士领导下的大会咨询委员会,同样也感谢演讲者与共同作者,如果没有他们,就不能成功举办这次大会。

Düsseldorf, 2003



Martin Schneider
VDZ 德国水泥厂协会会长

专家审译委员会

名誉主任：徐德龙

主 任：于兴敏

副主任：孙铁石 俞为民 丁抗生 吕裕清

委 员 (按姓氏笔画为序):

丁奇生	丁抗生	于玉川	王 政	王子明	王兆明	王栋民	王焕忠	王新春	毛志伟
孔庆安	邓小林	白 波	兰明章	田 巍	孙 伟	孙延泽	孙金亮	孙星寿	刘小东
许 芬	何小龙	沈序辉	李 辉	李洪义	李文武	狄东仁	芦贻春	陈延信	陈增福
张永龙	张兴堂	郑 青	屈交胜	周昌华	周海红	封立杰	胡芝娟	席耀忠	袁文献
柴星腾	郭天代	陶丛喜	倪祥平	崔兆君	崔素萍	程 伟	韩长凯	彭学平	雷 鸣

顾 问 (按姓氏笔画为序):

孔祥忠 戎培康 乔龄山 刘根荣 徐永模 晋占平 高长明 崔星太 曾汉侯 曾学敏
谢镇江 谭 抚

目 录

序

前言

第一章 工艺技术对面向市场的水泥生产的影响	(1)
工艺技术对面向市场的水泥生产的影响	(3)
含双峰粒径分布的高炉矿渣水泥	(23)
混凝土制品水泥的开发和生产	(30)
CEM II/B-M 型硅酸盐复合水泥的生产与特性	(34)
一种快硬高炉矿渣水泥	(39)
矿渣(低碱)水泥的生产及应用	(43)
利用虚拟实验预测水泥的物理性能	(49)
水泥组分活性的鉴定	(59)
混合水泥对印度市场的重要性	(65)
用于高性能水泥的硫阿利特硅酸盐水泥熟料	(71)
环境友好型喷射混凝土水泥的开发及生产	(81)
第二章 粉磨技术	(93)
粉磨技术和能源消耗	(95)
带斗式提升机的闭路水泥磨的有效自动化	(107)
在选择的水泥粉磨系统中基于计算机的磨机审核和模拟的优点	(114)
立磨的升级改造	(125)
应用高灵活性的粉磨系统生产经济的生态水泥	(129)
美国新泽西州卡姆登的圣劳伦斯水泥厂利用鲍里修斯公司迄今为止最大的立磨粉磨粒化高炉矿渣的经验	(136)
德国 Dotternhausen 的 Rohrbach 水泥厂采用 VSK 选粉机的新水泥粉磨车间	(141)
辊压机采用不同防磨损措施的操作经验	(148)
卧式辊磨 10 年的运行证实了我们 1993 年的预见	(156)
粗碎作业中的智能反击破碎技术	(163)
第三章 烧成技术	(169)
煅烧技术在八年内所取得的进步	(171)
关于 FLS 分解炉方面的一些经验	(188)
预分解窑系统运行特征的研究	(192)
替代燃料特性对 NO _x 减排的影响	(198)
在 Lixhe 的 CBR 水泥厂对新的 CLE 预分解炉设备所做的实验	(210)
在预分解窑中使用耐火材料的操作经验	(215)
不同的 CL 旁路系统的实际生产能力	(220)
爱尔兰水泥公司 LIMERICK 窑的生产能力增加 35%	(225)
水泥熟料燃烧过程的数学模拟	(231)
Lengfurt 水泥厂使用 ORC 设备进行低温发电的长期操作经验	(236)
水泥厂的工厂发展计划	(244)
为增强耐碱性而进行的高铝砖的特别浸渍	(251)
在大量使用代用燃料的情况下对水泥回转窑耐火材料的前景展望	(258)

使用经济型燃料的水泥窑耐火材料的改进	(266)
Mathcement® -PYRO, 一种在现代水泥厂热工部分建立热量、气体和物料平衡的数学模型	(273)
第四章 二次物料的利用	(277)
水泥工业替代燃料和原料的利用	(279)
固体二次燃料的生产和使用中的质量控制措施	(293)
水泥工业未加工二次燃料气化的研究进展	(298)
在 Norcem A.S 公司 Kjøpsvik 水泥厂的 HOTDISC 系统的安装:项目的实施和操作经验	(302)
水泥窑中协同焚烧动物骨粉的操作经验	(305)
荷兰 ENCI 水泥厂应用下水道污泥作为二次燃料和原料	(310)
高炉矿渣作为替代原料用于熟料煅烧	(314)
熟料生产过程中使用二次物料对排放物的影响	(320)
使用二次物料对产品的环境兼容性的影响	(324)
水泥生产中使用废弃物燃料的管理和环境保护	(331)
第五章 工艺技术和信息管理	(335)
工厂装备、技术和信息管理	(337)
水泥磨电气设备集中控制与离散控制比较	(355)
采用自动发运系统的工程实践经验	(360)
维护保养是企业的一个战略性因素	(363)
维护保养管理	(366)
维护保养——水泥生产取得优良成果的杠杆	(370)
水泥工业以工艺过程为导向的维护保养	(374)
在水泥生产中提高资产利用率增加利润	(377)
水泥厂经济型压缩空气装置	(385)
Anneliese Zementwerke AG 实验室信息和管理系统(LIMS)的运行经验	(389)
从卧式螺旋输送泵到立式螺旋输送泵是必要的发展阶段	(392)
海德堡水泥公司的综合管理系统	(395)
水泥包装最新技术	(400)
第六章 可持续性水泥生产	(409)
可持续性与水泥制造	(411)
水泥工业中氮氧化物的减排	(417)
工艺技术对熟料烧成过程中汞的行为特性的影响	(422)
水泥工业中二氧化硫的减排	(427)
水泥厂对其附近地区空气污染状况的影响	(431)
水泥工业二氧化碳的减排	(437)
世界可持续发展工商理事会框架内水泥工业可持续发展的倡议	(444)
投资、原料和自然保护:水泥工业的可持续发展	(450)
从行业工会的观点看可持续性与水泥生产	(454)
后记	

第一章 工艺技术 对面向市场的水泥生产的影响

工艺技术对面向市场的水泥生产的影响

H.-M.Ludwig, Schwenk Zement KG, Karlstadt

全球范围内对水泥生产的要求已有提高,这不仅影响到经济方面,而且对生产工艺的环境兼容性及其面向市场的水泥质量都会有影响。对水泥生产者来讲,面向市场意味着不仅要正确地利用现有的原材料和燃料,而且要满足客户的要求。因为能量成本在水泥生产成本中占有很高的比例,所以水泥产业比以往更关注减少燃料和电力的消耗。然而,事实上在很多地方工艺上已经无潜力可挖掘。近年来,尽可能地降低能耗的努力越来越多地集中在利用二次燃料取代化石燃料方面。很多经验表明,使用二次燃料可以满足对熟料的所有质量要求,并生产出高效水泥,甚至可以大量利用二次燃料。然而,使用这些替代燃料必须由工厂的质检部门严密监控,以便他们能对出现的任何变化作出迅速的反应,以保证水泥质量的均质性,对二次原料的利用也提出了同样的要求。目前,欧洲在利用二次原料和燃料的同时,在开发水泥类型上也存在着生态和经济引发的变化。CEM I 水泥正逐渐地被 CEM II 水泥所替代,CEM II 水泥除了熟料之外还含有其他主要成分。工艺的中心问题是配制并掺合适当的熟料与混合材,以便使其特性与相应的波特兰水泥处在同一范围内。水泥生产的发展面临着来自客户对水泥质量的更高的要求。混凝土技术领域许多新的开发对水泥的均匀性和均质性的要求越来越高。通过原料加工、煅烧工艺和粉磨技术领域新的进一步的开发,特别是通过利用新的有效分析和控制技术,水泥工业能够满足这些新的要求。水泥用户不仅要求稳定的水泥质量,而且越来越多地要求水泥尽可能地具有直接满足特殊应用领域的特性。个性化特种水泥销售量的剧增表明,水泥生产企业已有所准备且有能力生产这样的水泥。

引言

全球范围内对水泥生产的要求持续上升,这不仅对经济方面而且对生产过程的环境兼容性与面向市场的水泥的质量都会有影响。对水泥制造商来讲,面向市场意味着不仅要恰当地利用可得到的原材料和燃料,而且要满足客户的市场需求。因为能量成本在水泥生产成本中占有很高的比例,水泥产业比以往更关注减少燃料和电力的消耗。然而,事实上在许多工厂工艺上对降低能耗已经无潜力可挖掘。图 1 所示的德国水泥行业单位燃料能耗的变化趋势很好地说明了这一点。

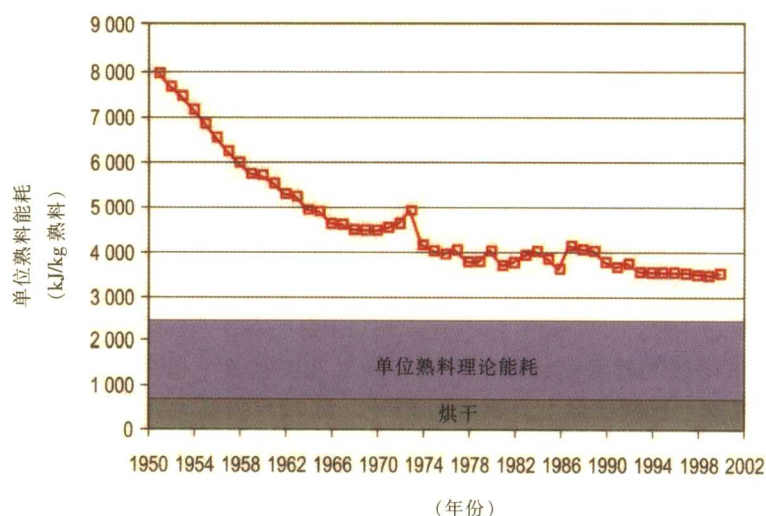


图1 德国单位水泥熟料能耗变化的趋势图

近年来由于工艺优化,对燃能的要求越来越接近理论上的燃能要求,所以进一步节能的余地似乎非常小^[1]。

为了进一步减少能量成本,同时继续进一步提高水泥生产的环境兼容性,近年来水泥产业越来越关注用二次燃料取代矿物化石燃料,及增加含有几种主要成分的水泥的生产。

水泥制造方的开发面临着客户对水泥性能和均质性的更高的要求。在许多领域,德国工业标准 DIN EN 197 所保证的最低要求不再能满足客户的要求,由于生产发展需要更加专门化的产品和生产工艺,特定用途的水泥品种或系统解决方案的需求越来越大。在满足特定用户需求的各种水泥范围内的最新开发清楚表明,水泥制造商愿意而且能够满足不断发展的市场需求。

水泥生产的原料技术和工艺设计是至关重要的。因为,一方面在利用二次原料和燃料资源及生产含有几种主要组分的水泥之间的优先选择方面是互相矛盾的;另一方面,使用水泥的产业对水泥的要求又在不断提高。水泥类型的发展、客户需求的不断增加及二次材料的利用将在下文中进行论述。根据这样的市场情况,就会讨论在生产面向市场的水泥中重要的质量问题。

在欧洲不同类型的水泥的发展

开始已经提到,在不同类型水泥的开发中,目前全欧洲正经历着由生态和经济引发的变化。熟料作为唯一的主要成分的 CEM I 水泥正逐渐被 CEM II 水泥所代替。CEM II 水泥除了熟料外,还含有其他主要组分。假如 CEM II 水泥表现出来的性能与 CEM I 水泥的相似,就会对资源保护、能量消耗和二氧化碳的排放非常有利。

通过采用新的欧洲水泥标准 DIN EN 197 使这种趋势得到了加速,目前这个新标准已经使欧洲制造和使用的 27 种类型的水泥标准化。允许粒化高炉炉渣、火山灰、粉煤灰、烧油页岩、石灰石、硅灰与熟料一起作为水泥的主要组分。

纯 CEM I 波特兰水泥继续在 52.5 强度等级中起着主要的作用,但在 32.5 和 42.5 水泥强度等级中,近年来已经存在着向含有几种主要组分的 CEM II 水泥转变的明显趋势。

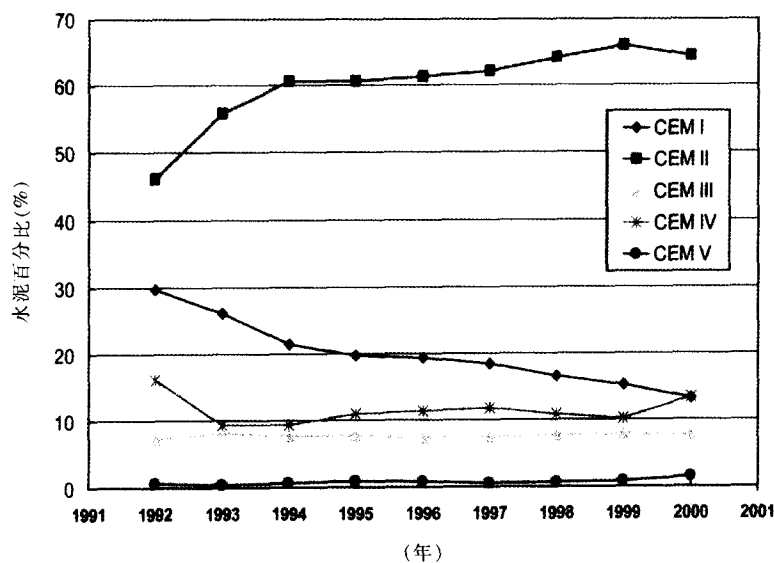


图2 根据欧洲水泥协会统计的数据,在欧洲32.5强度等级的水泥销售情况

图2表明了32.5强度等级的趋势图,可以看到CEM II 水泥在这个强度等级中占有了重要的地位已经持续一段时间了。近年来这个比例已经上升到大约65%,而32.5强度等级中CEM I 水泥现在只占一小部分,2000年只占大约15%。近年来从CEM III到CEM V的其他类型的水泥所占的比例没有多大变化,它们的百分比保持不变并且相对较低。

图3表明CEM II 水泥所包含的品种。用适当的石灰石粉作为混合材的波特兰石灰石水泥是32.5强度等级中经常用的水泥,占大约45%。接下来是含有两种以上组分的波特兰复合水泥,占大约31%。近年来它

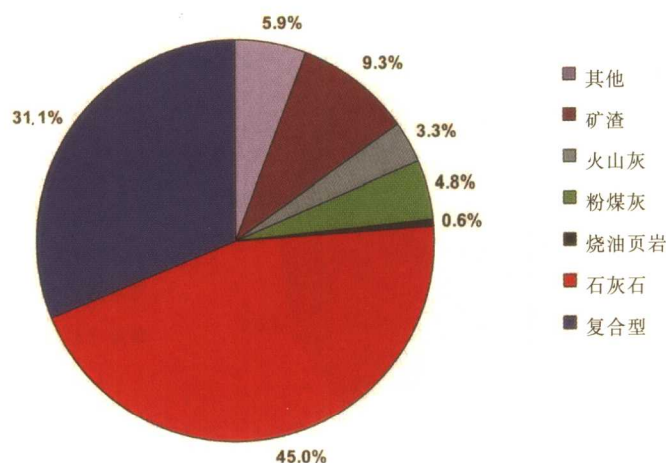


图3 根据欧洲水泥协会统计的数据,32.5强度等级的CEM II水泥中各水泥销售所占份额

们的百分比已经表现出极大的增加。除了进一步地减少成本之外,这些 CEM II-M 水泥的优势是:几种主要组分能用来特别优化与组合,对新拌的和硬化的混凝土特性有特别有益的作用。值得一提的是波特兰矿渣水泥用高炉矿渣作为另一个主要组分,它占有大约 9% 的市场份额。CEM II 扇形图中其他水泥,比方说粉煤灰水泥、火山灰水泥和波特兰油页岩水泥占有不到 5% 的销售额,因此不怎么重要。

在 42.5 强度等级中(见图 4), CEM I 到 CEM II 的变化比在 32.5 强度等级中的变化显著得多。1992 年 CEM I 水泥在这个强度等级中几乎占总销售额的 90%,而 CEM II 水泥完全处于次要的地位,占有的市场份额不到 10%。仅仅在 8 年后的 2000 年,在 42.5 强度等级中 CEM I 水泥与 CEM II 水泥的市场份额已经相等了。

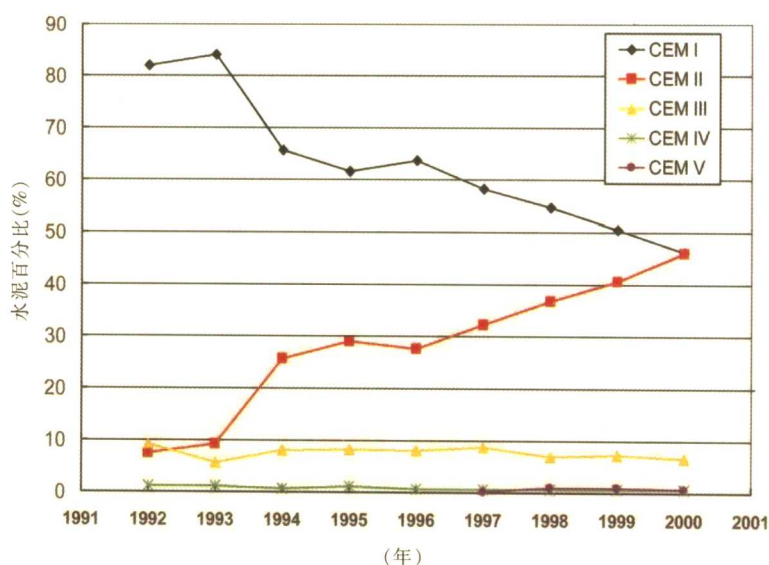


图4 在42.5强度等级中欧洲水泥销售情况

在图 5 中可以看到在 CEM II 水泥扇形图中波特兰石灰石水泥的市场份额为 53%, 在 42.5 强度等级中也占有优势。粉煤灰水泥和波特兰复合水泥的市场份额也是不错的,各占有 17% 市场份额。波特兰矿渣水泥和波特兰火山灰水泥相对来讲在这个强度等级中起的作用不大,各自的市场份额为 6.5%。

水泥的必备性能

标准水泥

近年来对水泥性能的要求越来越高,这一点可以从使用强度等级更高的水泥的例子中看出来。

图 6 表明近年来在欧洲水泥强度等级的进展情况。对较高强度等级的倾向是显而易见的。例如,52.5 强

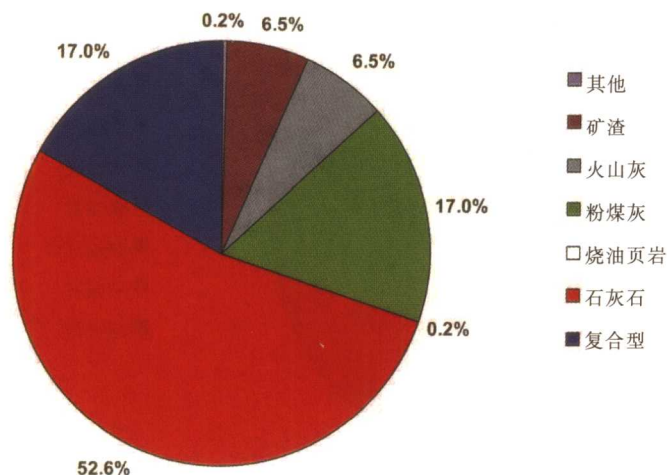


图5 根据水泥统计局的数据,42.5强度等级CEM II 水泥中各品种水泥的销售份额

度等级的销售额在 1992 年占 5.6%,到 2000 年翻了一番以上达到 11.4%。这种趋势基本上可以归因于以下几个方面:

- (1) 预制混凝土构件的增加;
- (2) 工程结构中高强度级别水泥的使用;
- (3) 早强的要求增加—更高效的施工程序;
- (4) 尽可能的节省水泥得到较高的成本效益;
- (5) 混凝土掺合料(粉煤灰、石粉等)用量的增加。

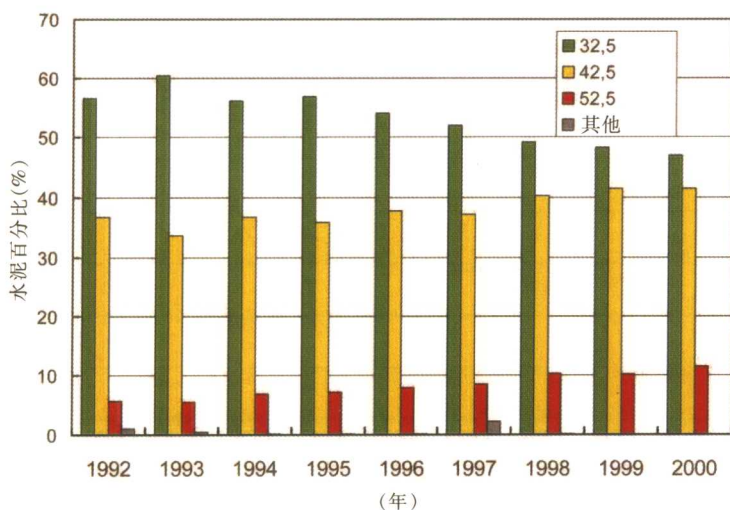


图6 根据欧洲水泥协会统计的数据,水泥强度等级的应用趋势

除了强度之外,客户对其他方面的要求比以前也高了,如工作性、耐久性、饰面混凝土质量。在某些情况下,客户的要求导致了不同应用领域对水泥性能的不同需求。对预拌混凝土、预制构件混凝土和混凝土成品的基本要求见表 1。

对于预拌混凝土、新拌混凝土经过相当长的时间,甚至在高温下的施工性、成型性及稠度的保持都是非常重要的。含有几种主要组分的 CEM II 水泥,如波特兰矿渣水泥和波特兰石灰石水泥及未来的波特兰复合水泥很适合达到这些混凝土特性^[2,3,4]。

表1 对混凝土/水泥的要求与水泥的选择

	对混凝土的要求	对混凝土中水泥的要求	首选的水泥
预拌混凝土	充分的施工时间 良好的施工性 凝结对温度的低相关性 高耐久性	较长的初凝 足够的早强 中等放热 高的耐久性潜力	含有混磨的混合材的 CEM II 水泥 (例如 CEM II/A-LL32.5R, CEM II/A-S32.5R, CEM II/M)
混凝土制品	高坯体强度 低脱色趋向 高早强 用除冰盐时的高抗冻融性	高早强 减少潜在的盐霜 用除冰盐时,较高的抵抗反复冻融的能力	波特兰矿渣水泥/含有适量矿渣和高强度级的高炉矿渣水泥 (例如 CEM II/B-S 52.5R, CEM III/A52.5N)
预制混凝土构件	很高的早强 较早的脱模能力 快速预加应力 良好的工作性 良好的饰面混凝土特性 高耐久性	非常高的早强 高后期强度 高耐久性潜力	高和极高强度的波特兰水泥 (例如, CEM I 42.5R, CEM I 52.5R)

对混凝土制品来讲,混凝土应该表现出非常高的坯体强度和早强。用防冰盐时的抗冻融性和低泌水性趋势也起着特别重要的作用。含有适量高炉矿渣的高强度级水泥,如 CEM II/B-S 52.5R 和 CEM III/A52.5N,近年来已经证明在混凝土制品应用中非常成功^[5,6]。

在混凝土预制构件行业,要想较早期地拆除模板和预加应力就要非常强调早期强度。根据应用场合,也要求有良好的饰面混凝土质量和足够高的后期强度。高强度等级和特高强度等级的波特兰水泥如 CEM I 42.5R、CEM II/A-LL42.5R 和 CEM I 52.5R,很适合于这种应用。

个性水泥

由于要求不同,生产完全个性化的水泥以满足每个具体的应用在多数情况下是不现实的,因为涉及到成本。更重要的是所生产的水泥是由标准所保证的要有高均质性和广泛的使用潜力。

尽管这样,还是应该注意到个性化水泥在欧洲高度发达的工业化国家中起着越来越重要的作用。对这类水泥的需求和供应有不断增加的趋势,这不仅涉及到标准化的水泥,其相对窄的标准范围足够适应于个性化,而且还涉及到获得建筑检验人员批准的水泥。在德国这些个性化水泥的市场份额估计已达到约 15%,而获得建筑检验人员批准的水泥占有的市场份额约为 5%^[7]。

具有个性化特性的水泥的例子见表 2。

表2 德国重要的特性水泥,包括标准化的或者是获得建筑检验人员批准的水泥

标准化的水泥	建筑检验人员批准的水泥
预浇注构件水泥	喷射混凝土水泥
混凝土制品水泥	超细水泥
轨枕水泥	快速凝固水泥
路面水泥	
固土水泥	
隧道水泥	
锚固水泥	
防潮水泥	
低碱水泥	
自密实混凝土水泥	
大约 15% 的市场份额	大约 5% 的市场份额

不考虑对某些水泥的具体需求,近年来人们对所使用水泥和建筑结构要求范围的重点已经发生了明显的变化:从仅以强度方面占主导到目前更多地要求混凝土的工作性和耐久性,同时对所用水泥性能要求也

在增加。由于在混凝土生产和应用中采用了新技术,这种趋势在未来会愈来愈明显。

需求的范例

在过去的 15 年里,创始于日本的自密实混凝土(SCC)在亚洲和欧洲已变得越来越重要^[8,9,10]。在未来的几年里这种趋势将继续下去,特别是在预制构件行业,在荷兰已经达到了相当高的水准。SCC 是一种普通的混凝土,它仅靠在重力作用而不需要任何附加的振捣能量,就能流动注模并完全充满模板和钢筋之间的间隙。如果恰当地利用,SCC 会表现出很多优点。较高的材料成本被混凝土的浇注捣实及必要的附加处理的成本大大节省所抵消,在产品质量(光面混凝土、均匀性、耐久性)和工作条件(噪音、振动和粉尘排放的减少)方面也有着进一步的优势^[11]。遗憾的是,自密实混凝土(SCC)对混凝土的原始材料和混凝土的混合配方中非常小的波动,反应是很敏感的。这主要与集料的内部含水量有关,也与所用砂子、掺合料和水泥的均质性有关。水泥制造商面临的特殊问题是水泥与高效减水剂的适应性。如果不用以聚羧酸为基础的最新一代的高效减水剂,就不可能有自密实混凝土(SCC)。与以三聚氰胺或萘磺酸盐为基础的常规减水剂相比,最新一代高效减水剂对水泥表现出有较强的适应性。

图 7 显示用相同的混合料配方和用以聚羧酸为基础的高效减水剂的混凝土,其中的水泥与德国工业标准 EN 197 所规定的特性只有很小的差别。尽管这样,两种混凝土表现出完全不同的增稠特性。所显示的差别可能是因为最新一代高效减水剂对水泥孔隙溶液中三氧化硫的浓度非常敏感。组成的高均质性和凝结调节剂石膏的脱水程度以及熟料的硫酸盐的均匀程度都是自密实混凝土中成功使用水泥的重要的先决条件。

CEMI 42.5R, A 工厂

需水量=30%

初凝=150 min

CEMI 42.5R, B 工厂

需水量=29.5%

初凝=160 min

60 min 后自密实混凝土中增稠



图7 以聚羧酸为基础的最新一代高效减水剂对水泥的依赖性

对水泥性能的较高需求的第二个例子是耐久性。对混凝土结构耐久性的重视在过去 10 年中已经提高了很多。在有关的混凝土标准中,全世界都更关注耐久性方面,可以认为是这种趋势的一种外在的表现。有关的范例,如新的美国 ACI 建筑标准 318,特别是新的欧洲混凝土标准 DIN EN 206,其中首次把分级的暴露量级别与相应的混凝土规范联系起来。可以预见的是:这将不是以耐久性为基础的方法的结束。目前一个国际委员会正在研究耐久性的结构设计规则。在具体的碳化和氯化物扩散方面的工作已经取得进展,其中涉及到钢腐蚀,特别是外露的工程结构的设计不再按照旧的描述性概念设计,而是正用新的概率安全概念设计并评价^[12,13]。例如荷兰的 Westerschelde 隧道和德国慕尼黑 Olympia 塔。

图 8 用模拟负荷设计的例子来说明抗氯离子耐久性设计方法。混凝土配方的设计公式是从水泥的抗氯离子潜力着手,由混凝土所决定的材料参数为基础来设计耐久性,根据混凝土材料参数与其他变量相结合进行耐久性设计。

以氯离子对桥的覆盖层的侵蚀为例得出 3 种不同水泥耐久性设计结果,如图 9 所示。计算得到的破坏概率清晰地表明了在其他相同的条件下,水泥的潜在抗力会产生很大的影响。因此,将来重要的是水泥制造商要了解他们水泥的耐久性潜力,或者使影响耐久性潜力的重要影响因素稳定,或使它们最优化。在这方面,应树立逐步增加高性能混凝土的利用以提高其耐久性的样板。为了设计这些专门针对某类应力的混凝土——例如严重酸侵蚀的——一种方法是优化粒度分布曲线使其与水泥的粒度范围相适应^[14]。选择水泥不

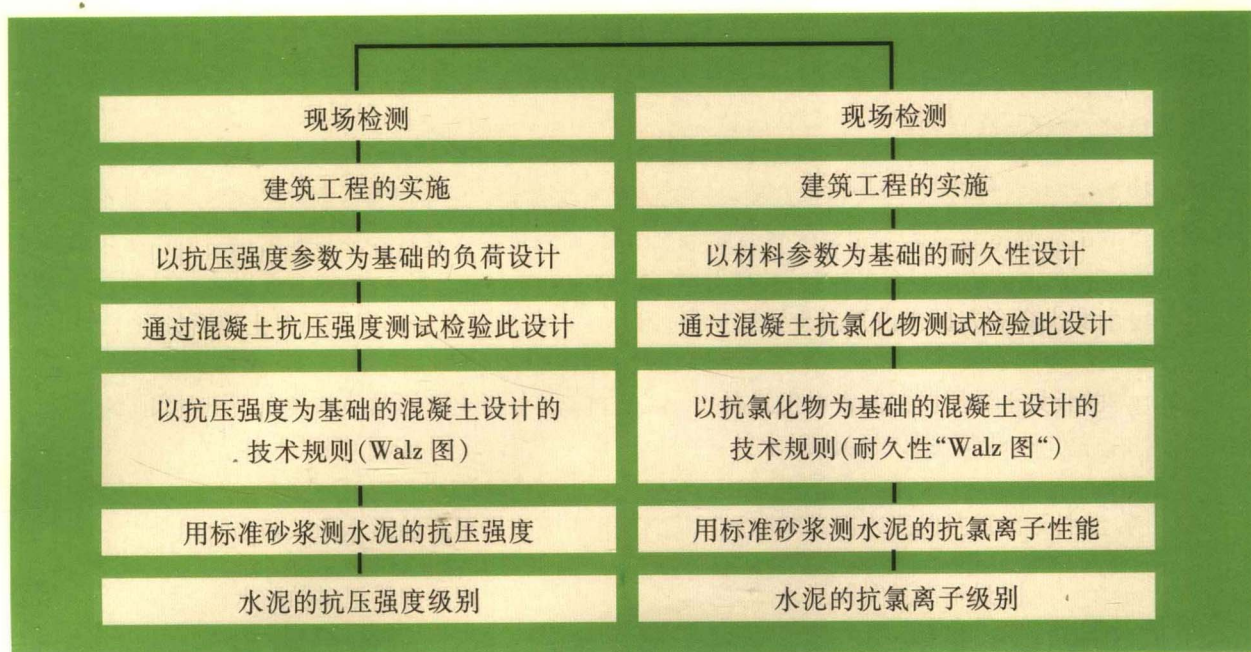


图8 强度和耐久性设计之间的对比

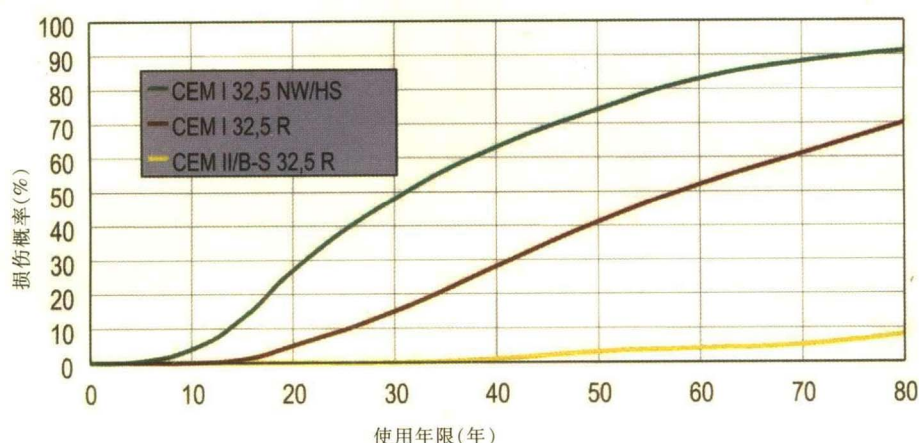


图9 桥的覆盖物被氯化物侵蚀,计算其损坏概率的例子(假设:使用2个月/年,混凝土覆盖层4 cm)

再主要依赖于水泥的强度级别，而主要由水泥的粒度分布和混凝土整体粒径分布之间良好的相容性所决定。

全球范围内对水泥生产的要求提高了。这不仅影响到经济的各个方面,而且对生产过程的环境兼容性与面向市场的水泥的质量都会有影响。对水泥制造商来讲,面向市场意味着不仅要恰当地利用可取得的原材料和燃料,而且要满足客户的要求。因为能耗成本在水泥生产成本中占有很高的比例,水泥产业比以往更关注减少燃料和电力的花费。然而,在很多地方工艺技术的潜力已经耗尽。近年来为进一步减少能量消耗,越来越关注用二次燃料取代化石燃料。大量的经验表明,用大量的二次燃料也有可能满足对熟料的所有质量要求,并生产出高效水泥。然而使用这些替代材料必须由工厂的质检部门严密监控,以便他们能对任何变化的情况作出迅速的反应,以保证水泥质量的均质性。对二次原料的利用也提出了同样的要求。目前欧洲在水泥型号的开发中利用二次原料和燃料也伴随着在生态和经济方面引发的变化。CEM I 水泥正逐渐地被 CEM II 水泥替代,CEM II 水泥除了熟料之外还含有其他主要成分。工艺技术的中心问题是配制并混合合理组合的熟料与混合材,以便使其特性与对应的波特兰水泥处在同一范围内。水泥生产方的开发面临着来自客户对水泥质量的更高的要求,混凝土技术领域中许多新的发展对水泥的均匀性和一致性的要求越来越高。通过原料加工、煅烧工艺和研磨技术领域的新开发,而不仅是通过利用新的高效分析和控制技术,水泥