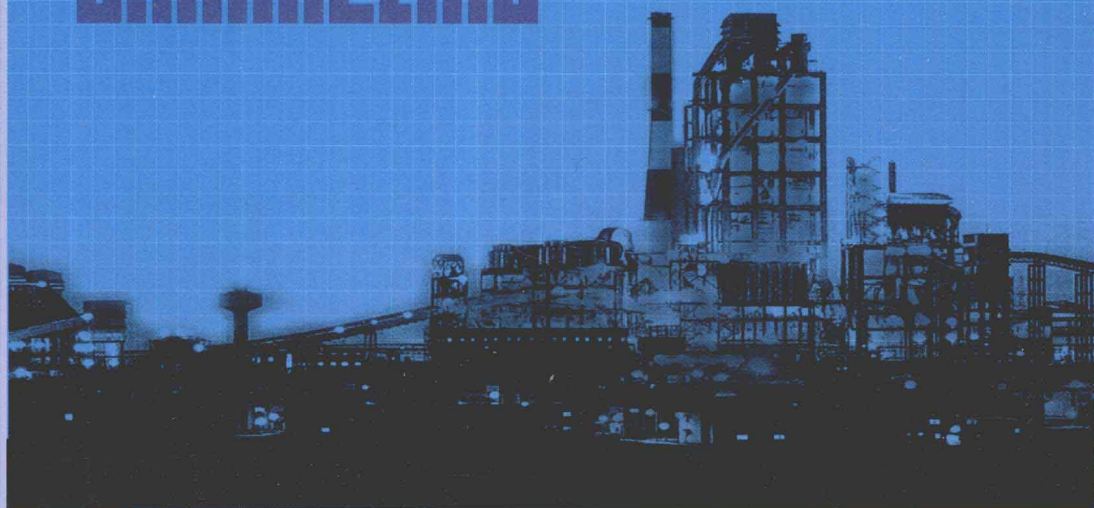


水泥生产技术丛书

水泥混合材和 混凝土掺合料

王迎春 苏英 周世华 编著

SHUINI HUNHECAI
HE HUNNINGTU
CHANHELIAD



化学工业出版社

水泥生产技术丛书

水泥混合材和混凝土掺合料

王迎春 苏 英 周世华 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是《水泥生产技术丛书》的一个分册,主要介绍各类硅质工业副产品在水泥和混凝土中的应用技术,包括矿渣和矿渣粉、粉煤灰、钢渣和钢渣粉、煤矸石和高岭土、磷渣粉、硅粉等的基本性能以及用作水泥混合材与混凝土掺合料的制备过程和应用技术。

本书可供水泥和混凝土领域的生产技术人员、科研人员、工程技术人员阅读,也可供高校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

水泥混合材和混凝土掺合料/王迎春,苏英,周世华编著.
北京:化学工业出版社,2011.8
(水泥生产技术丛书)
ISBN 978-7-122-11562-1

I. 水… II. ①王…②苏…③周… III. ①水泥-混合材
②混凝土-掺合料 IV. ①TQ172.4 ②TU528.041

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 118135 号

责任编辑:常 青
责任校对:宋 玮

装帧设计:张 辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张 17 $\frac{1}{4}$ 字数 318 千字 2011 年 10 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:59.00 元

版权所有 违者必究

丛书前言

水泥是社会经济发展最主要的建筑材料之一，在今后几十年甚至上百年之内仍然是无可替代的基础材料，对人类生活文明的重要性不言而喻。我国是水泥生产和消费大国，自 1985 年以来，我国水泥年产量一直居世界首位，目前占世界总产量的比重已近 50%，2005 年的产量已超过 10 亿吨。全国有水泥生产企业数千家，从业人员数百万人。在今后相当长的时期内，我国水泥的产量仍将持续增长，最终稳定在一个较高的水平上。

水泥工业的快速发展，以及水泥生产装备水平和生产技术的逐步提高，使越来越多的工程技术人员投入到水泥行业中。一方面，很多企业规模扩张较快，一些技术人员的专业水平跟不上生产技术的发展；另一方面，由于高等院校对于学生的培养趋于重基础、宽专业，专业授课时数减少，从事水泥生产的专业技术人员需要在生产实践中学习和掌握更多的专业知识。为此我们组织编写了这套水泥生产技术丛书，以期对水泥生产企业的技术人员有所帮助。

本套丛书共有《水泥的原料与燃料》、《水泥熟料烧成工艺与装备》、《水泥生产破碎与粉磨工艺技术及设备》、《水泥化学分析》、《水泥性能及其检验》、《水泥岩相》、《水泥工业大气污染治理》、《水泥窑用耐火材料》、《水泥混合材和混凝土掺合料》和《水泥工艺外加剂技术》10 个分册，基本上涵盖了水泥生产工艺全过程、产品性能控制、生产装备及其维护保养等各方面的知识。丛书的作者均为长期从事水泥行业科研、教学和生产一线工作的高级专业技术人员，有较高的专业技术水平和丰富的实践经验，丛书中包含了作者们多年的经验积累和部分研究成果。考虑到目前我国水泥工业的生产装备仍然是窑外分解窑和机械化立窑共存的局面，虽然新型干法窑逐步占据主导地位，但是在今后一段时期仍然会有部分机立窑存在，在提高新型干法窑水泥企业技术水平的时候，提高机立窑企业技术人员的技术水平进而提高机立窑水泥质量和降低资源消耗，也有利于经济可持续发展。因此，本套丛书的内容既力求全面系统地反映水泥新型干法生产工艺技术，也兼顾机立窑存在的客观需求。丛书尽可能从实用的角度总结和反映近年来国内外水泥生产技术方面的新进展和新成果，并给出一些生产实例，相信对于水泥生产企业的技术人员及管理人员会有所帮助，对于从事水泥专业研究和教学的科技人员、教师和研究生也会有较好的参考价值。

由于作者的知识水平和掌握的资料有限，丛书所述内容难免有疏漏和不妥之处，我们真诚欢迎读者提出宝贵的意见和建议，以便再版时使其得到改进和完善。

《水泥生产技术丛书》编委会

2006 年 11 月

前 言

水泥混凝土作为当今大宗的人造建筑材料，在经济建设中起着重要的作用，但混凝土所使用的胶凝材料——水泥，其生产过程的资源消耗、能源消耗与环境污染等问题十分突出，水泥生产消耗大量的石灰石、黏土、煤等不可再生的资源，同时排放数以亿吨计的 CO_2 、 SO_2 和 NO_x 等废气及粉尘，对环境造成严重污染。根据最新的统计，生产 1t 水泥大概排放 0.88t CO_2 ，由此推算水泥工业排放的 CO_2 占全球 CO_2 总排放量的 7.5%。如何少用熟料，多掺入工业废弃物（矿渣、粉煤灰、钢渣、磷渣、硅粉等）用于水泥混凝土生产，是可持续发展和降低混凝土生产成本的重要技术路线。今后负责选择材料的工程师，将被期待履行更多的社会职责，不仅要考虑材料的工程性能和造价，而且要重视其生态友好性。

在全世界能源和自然资源保护日益重要的背景下，大多数国家对工业废弃物在施工过程中具有的经济、环境和技术方面的优势表现出积极的兴趣，许多工业废弃物被证明在减少水泥生产对环境冲击方面具有很多技术优势。混凝土有优良的生态形象，而且可以普遍接受的是似乎没有比混凝土业更好的产业来处理其他工业活动排放的数量庞大的废弃物。

混凝土行业消纳的工业废弃物主要是矿渣和粉煤灰，随着产业政策的调整 and 环境保护意识的提高，其他工业废弃物的利用也呈现上升趋势，包括磷渣、钢渣、钒钛渣等各种冶金渣。在混凝土中使用这些硅质工业副产品有诸多优势，比如：节省能源和天然资源、减少 CO_2 排放、利废环保等。2008 年，我国的水泥产量为 13.99 亿吨，几乎是世界水泥产量的一半，其中熟料产量为 9.7 亿吨，余下的混合材主要是矿渣和粉煤灰。这些混合材高达 3.5 亿吨，因而也相应地减少了大约 3 亿吨的 CO_2 排放。我国生产的水泥约有 25% 是来自混合材的贡献（另 5% 是石膏）。

除了在水泥生产中用作混合材外，工业废弃物经过处理和筛选后，也可以作为单独的胶凝组分直接用于混凝土的生产，这些硅质工业副产品相当大的部分具有潜在活性或胶凝性，在混凝土行业甚至不被称为副产品或工业废弃物，而代之以矿物掺合料、矿物外加剂和“辅助胶凝材料”之类比较积极的术语。

基于以上事实，硅质工业副产品在水泥混凝土行业中的应用持续地成为全世界广泛关注的研究领域，其应用使现代混凝土更耐久、更绿色、更环保，成为进一步推动水泥混凝土行业发展循环经济和可持续发展的动力。本书系统地阐述和

总结了各国学者在该领域的最新研究成果，展望了混凝土行业利用其他工业废弃物的巨大潜力，内容包括矿渣和矿渣粉、粉煤灰、钢渣和钢渣粉、煤矸石和高岭土、磷渣粉、硅粉等硅质工业副产品在水泥混凝土中的应用技术，其中很大一部分是笔者和同事的工作成果，具有一定的实用价值。

目前市场上还没有一部专门介绍水泥混合材和混凝土掺合料的图书。本书作为第一本关于水泥混合材和混凝土掺合料的专著，力求比较全面地介绍各类工业废弃物制备水泥混合材和混凝土掺合料的生产过程、产品性能和应用技术，以期为读者提供一些参考。

本书在撰写过程中得到了长江科学院同事们的支持和帮助，恕未能一一提及，在此一并表示真诚的感谢。笔者还要特别感谢我的家人对我的理解、支持和帮助。

由于笔者水平有限，书中内容难免存在不妥和疏漏，敬请读者指正。

王迎春
2011 年 3 月

目 录

引 言

第一章 用于水泥和混凝土的矿渣与矿渣粉

第一节 概述	4
一、矿渣的来源及其制备	4
二、应用历史和发展趋势	8
第二节 矿渣的组成、结构与性能	11
一、化学成分	11
二、矿渣的组成结构与水硬活性	13
三、矿渣粉的品质指标	20
第三节 矿渣对水泥水化过程和性能的影响	24
一、对水泥水化和硬化的影响	24
二、掺矿渣粉水泥的水化程度	25
三、对水泥流变性能的影响	26
四、对水泥凝结时间的影响	29
五、对水泥水化热的影响	30
六、对水泥胶砂强度的影响	30
七、对硬化水泥浆体化学收缩的影响	31
第四节 矿渣粉对混凝土性能的影响	33
一、新拌混凝土	33
二、硬化混凝土	35
第五节 矿渣粉对混凝土耐久性的影响	38
一、抗冻性能	38
二、抗渗性能	38
三、抗硫酸盐侵蚀性能	39
四、碱-骨料反应	41
五、抗碳化和钢筋锈蚀	42
参考文献	42

第二章 用于水泥和混凝土的粉煤灰

第一节 概述	45
一、来源和制备	45
二、应用历史和发展趋势	50
第二节 粉煤灰的组成、结构与性能	52
一、化学成分	52
二、颗粒形态	53
三、细度与烧失量	54
四、需水量比	58
五、三氧化硫含量与碱含量	60
六、氧化钙含量	61
七、矿物组成和活性	61
第三节 粉煤灰对水泥性能的影响	64
一、对水泥水化的影响	64
二、水化热	68
三、凝结时间	70
四、水泥的胶砂强度	70
第四节 粉煤灰用作混凝土掺合料	72
一、在混凝土中的效应分析	72
二、对新拌混凝土性能的影响	73
三、对硬化混凝土性能的影响	75
四、对混凝土耐久性的影响	78
第五节 粉煤灰在高性能自密实混凝土中的应用技术	85
一、掺入粉煤灰的技术优势	85
二、掺粉煤灰自密实混凝土配合比的设计	87
三、配合比的优化	91
四、施工现场室内验证	92
第六节 粉煤灰在大体积混凝土和碾压混凝土中的应用	94
一、粉煤灰取代水泥的最大限量	94
二、碾压混凝土的技术特点	94
三、粉煤灰对碾压混凝土性能的影响	95
参考文献	100

第三章 用作水泥混合材和混凝土掺合料的钢渣粉

第一节 概述	102
一、钢渣的来源	102
二、钢渣应用历史	103
三、钢渣应用前景	104
第二节 钢渣组成、结构与性能	104
一、钢渣化学组成与胶凝性能	104
二、钢渣矿物组成与胶凝性能	105
第三节 钢渣活性激发措施与机理	106
一、机械磨细	106
二、化学激发	107
三、热激发	108
四、矿物重构	109
第四节 掺加钢渣粉的水泥性能	110
一、水泥强度	110
二、标准稠度需水量、凝结时间	113
三、体积安定性	113
四、水化热	116
第五节 钢渣粉对混凝土性能的影响	117
一、新拌混凝土	117
二、硬化混凝土	119
参考文献	122

第四章 煤矸石和偏高岭土在水泥和混凝土中的应用

第一节 煤矸石在水泥和混凝土中的应用	125
一、煤矸石的化学和矿物组成	125
二、煤矸石的活性	127
三、掺加煤矸石的水泥和混凝土的性能	131
第二节 偏高岭土在水泥和混凝土中的应用	134
一、偏高岭土的组成和结构	134
二、偏高岭土的制备技术	135
三、偏高岭土用于水泥和混凝土的性能	137

参考文献	144
------	-----

第五章 用作水泥混合材和混凝土掺合料的磷渣粉

第一节 概述	146
一、磷渣的来源	146
二、磷渣与磨细磷渣粉的应用历史	147
三、应用前景	150
第二节 磷渣组成、结构和性能	150
一、化学成分	150
二、磷渣中玻璃体形态	151
三、磷渣的品质指标	153
第三节 磷渣活性的激发措施与机理分析	154
一、磷渣的水硬活性	154
二、影响磷渣活性的主要因素	155
三、磷渣活性的物理激发方法	156
四、磷渣活性的化学激发措施	157
第四节 磷渣粉对水泥水化和性能的影响	159
一、掺磷渣粉水泥的水化硬化过程	159
二、对水泥凝结时间的影响	168
三、对水泥水化热的影响	170
四、对水泥强度的影响	172
第五节 磷渣粉对混凝土性能的影响	174
一、新拌混凝土	174
二、硬化混凝土	176
三、磷渣粉对混凝土性能影响的综合评价	179
四、磷渣应用中存在的问题	180
参考文献	181

第六章 用于水泥和混凝土的硅粉

第一节 概述	183
一、硅粉的来源	183
二、硅粉的种类	184
三、应用历史和发展趋势	185

第二节 硅粉的组成、结构与性能..... 188

一、化学成分..... 188

二、矿物结构形态..... 189

三、物理特性..... 189

四、硅粉在水泥混凝土中的作用机理分析..... 192

第三节 硅粉对水泥水化和性能的影响..... 193

一、掺硅粉水泥的水化产物及其微观结构..... 193

二、掺硅粉水泥的水化热..... 195

三、对水泥胶砂流动度的影响..... 195

四、对水泥凝结时间的影响..... 196

五、掺硅粉水泥的强度发展..... 196

六、硅粉对水泥收缩的影响..... 199

七、掺硅粉水泥的抗侵蚀性..... 200

第四节 硅粉对混凝土性能的影响..... 201

一、对新拌混凝土性能的影响..... 201

二、硅粉对硬化混凝土性能的影响..... 202

三、硅粉对混凝土耐久性的影响..... 205

第五节 硅粉混凝土的主要用途与应用技术特点..... 210

一、主要用途..... 210

二、硅粉混凝土的应用技术特点..... 211

参考文献..... 212

第七章 用于混凝土的浆状矿物掺合料

第一节 浆状掺合料的制备技术和特点..... 215

一、搅拌磨湿磨矿物掺合料的优势..... 215

二、湿磨参数确定..... 216

第二节 浆状掺合料的性能..... 218

一、湿磨处理对矿物掺合料物化性能的影响..... 218

二、浆状掺合料的分散稳定性及流变性能..... 225

三、浆状掺合料的掺合料效应..... 230

四、用浆状掺合料配制不同等级混凝土..... 231

五、浆状掺合料混凝土的凝结时间..... 233

六、浆状掺合料混凝土的耐久性..... 235

七、浆状掺合料水泥石组成、微结构与其混凝土耐久性·····	244
第三节 浆状掺合料的应用前景·····	254
一、在商品混凝土中的应用·····	254
二、在水泥基灌浆材料中的应用·····	255
三、在预制混凝土构件中的应用·····	256
四、其他应用·····	257
五、应用前景与社会经济效益·····	258
参考文献·····	259

引 言

基于当今人口膨胀、工业化和城市化飞速发展的趋势，正在加剧的环境污染问题可能成为所有行业增长的真正威胁，这种前景正在被社会各界所认识。由于众所周知的原因，如相对低成本、易得性、通用性、适应性并具有许多结构应用的工程属性，水泥混凝土已成为全世界应用最普遍的结构材料。根据目前趋势推测，混凝土业将继续以相应世界人口增长和城市化需求的速率稳步增长。历史学家和社会学家告诉我们，当城市化开始后，社会将变得更加富足，生活标准也将提高。城市的发展将导致基础设施建设的大量增加，包括新建和翻修旧结构物，进而使水泥用量增大：工业与民用建筑、交通基础设施、学校、医院、剧院、餐馆、运动场、电站、水厂、污水处理厂等都是用混凝土建造的，显然，这些都将导致世界水泥产量的急速增大。据统计，世界水泥消费量由 2001 年的 16.4 亿吨猛增到 2008 年的 28.57 亿吨，增长了 74.2%。同期，我国的水泥产量相应地由 6.6 亿吨猛增到 13.99 亿吨，增长了一倍多。从 1985 年起我国水泥产量已连续 25 年居世界第一位。水泥工业是资源密集型产业，生产 1t 水泥需要消耗 1t 石灰石，我国用于生产水泥的石灰石矿可采储量约为 300 亿吨，按目前的状况只能维持水泥工业 30 余年的需求，而山东、广东等水泥生产大省的石灰石矿可供年限已不足 10 年，我国用于水泥生产的石灰石矿山资源面临枯竭的趋势必须遏制。

随着经济持续快速增长，在创造社会财富的工业化过程中，也产生了大量的工业废弃物如矿渣、粉煤灰、钢渣、磷渣、硅粉等，这些工业废弃物因技术、经济等原因长期废弃而得不到利用，不仅是自然资源的浪费，而且污染环境。2009 年，我国高炉矿渣的年产量达 2 亿吨，钢渣年产量达 5000 万吨，粉煤灰年产量 4 亿吨，煤矸石年产量 2 亿吨，其他工业废弃物缺乏确切统计，历年积存的废弃物更是数量庞大，除高炉矿渣和粉煤灰作为水泥和混凝土工业的掺合料得到较好的应用外，其他工业废弃物因在化学品质、颗粒分布、有害杂质含量等方面存在问题，尚未被有效利用。大量的废弃物长年堆放在露天，不仅占用土地，而且其中含有的有毒元素经雨淋后会渗透到土壤中，造成对地表和地下水资源的污染，危及径流地区人畜的安全。

水泥混凝土作为当今大宗的人造建筑材料，在经济建设中起着重要的作用，但混凝土所使用的胶凝材料——水泥的资源消耗、能源消耗与环境污染等问题十分突出，水泥生产消耗大量的石灰石、黏土、煤等不可再生的资源，同时排放数

以亿吨计的 CO_2 、 SO_2 和 NO_x 等废气及粉尘，对环境造成严重污染。根据最新的统计，生产 1t 水泥大概排放 0.88t CO_2 ，由此推算水泥工业排放的 CO_2 占全球 CO_2 总排放量的 7.5%。如何少用熟料，多掺入工业废弃物用于水泥混凝土生产，是可持续发展和降低混凝土生产成本的重要技术路线。今后负责选择材料的工程师，将被期待履行更多的社会职责，不仅要考虑材料的工程性能和造价，而且要重视其生态友好性。

在全世界能源和自然资源保护日益重要的背景下，大多数工业国家对工业副产品在经济、环境和技术方面的优势表现出积极的兴趣，早在 1988 年，国际材料与结构研究实验联合会（RILEM）技术委员会 73-SBC（混凝土中的硅质副产品）报告了 14 个国家工业副产品的应用情况，主要涉及矿渣和粉煤灰作为胶凝材料在混凝土中的应用。许多工业废弃物被证明在减少水泥生产对环境冲击方面具有很多技术优势。混凝土有优良的生态形象，而且可以普遍接受的是似乎没有比混凝土业更好的产业来处理其他工业活动排放的数量庞大的硅质副产品。

在混凝土中使用这些工业硅质副产品有诸多优势，比如：节省能源和天然资源、减少 CO_2 排放、利废环保等。2008 年，我国的水泥产量为 13.99 亿吨，几乎是世界水泥产量的一半，其中，熟料产量为 9.7 亿吨，余下的混合材主要是矿渣和粉煤灰，这些混合材高达 3.5 亿吨，因而也相应地减少了大约 3 亿吨的 CO_2 排放。我国生产的水泥约有 25% 是来自混合材的贡献（另 5% 是石膏）。

除了在水泥生产中用作混合材外，工业废弃物经过处理和筛选后，也可以作为单独的胶凝组分直接用于混凝土的生产，这些硅质副产品相当大的部分具有潜在活性或胶凝性，在混凝土行业甚至不被称为副产品或工业废弃物，而代之以矿物掺合料、矿物外加剂和“辅助胶凝材料（supplementary cementitious materials）”之类比较积极的术语。

在水泥混凝土中使用这些辅助胶凝材料，取决于其粒径大小、活性和掺量，可以明显增强混凝土的微结构、力学性能和耐久性能，使渗透性显著降低和工作性明显改善，还可提高混凝土体积稳定性和抵抗热裂缝的性能，从而增加建筑物寿命。同时，这些深加工过的硅质副产品价格非常便宜，只有水泥价格的 $1/3 \sim 1/2$ ，随着掺量的增加，混凝土的综合成本可以得到有效控制。这些辅助胶凝材料已成为现代绿色高性能混凝土不可或缺的成分。

矿物掺合料的制备、应用已涉及水泥基材料科学研究的各个方面。在现代混凝土技术中，经过一定质量控制的矿物掺合料已成为高性能混凝土不可或缺的组分之一。正是对矿物掺合料的研究推动了混凝土技术的发展，而同时混凝土技术的发展要求也为矿物掺合料的研究指明了方向，提供了动力。现在，经过一定的质量控制或制备技术获得的优质矿物掺合料的掺加，可明显地改善硅酸盐水泥自身难以克服的组成、结构等方面的缺陷，包括劣化的界面区、耐久性不良的晶相



结构、高水化热造成的微裂纹等，赋予了混凝土优异的耐久性能和工作性，超越了传统的降低成本和环境保护的意义。矿物掺合料已成为混凝土材料的一个不可或缺的组分，称之为混凝土的第六组分毫不为过。

当前，混凝土行业消纳的工业废弃物主要是矿渣和粉煤灰，随着产业政策的调整 and 环境保护意识的提高，其他工业废弃物的利用也呈现上升趋势，包括磷渣、钢渣、钒钛渣等各种冶金渣。近年来混合材和掺合料的发展十分迅速，例如：10 年前我国还没有矿渣粉产品，现在矿渣粉的年产量已经达到 5000 万吨，市场供不应求；以前粉煤灰作为废弃物污染环境，现在得到很好的利用，在很多地区也已经供不应求，市场价格逐年上升；钢渣以往是十分难以处理的废弃物，近年来在水泥混合材和混凝土掺合料中得到有效利用。可以预计，不久的将来，水泥混合材和混凝土掺合料作为单独的产品，无论从产量上还是技术水平上都将有飞速的发展。

基于以上事实，工业硅质副产品在水泥混凝土行业中的应用持续地成为全世界广泛关注的研究领域，其应用使现代混凝土更耐久、更绿色、更环保，成为进一步推动水泥混凝土行业发展循环经济和可持续发展的动力。

第一章 用于水泥和混凝土的矿渣与矿渣粉

矿渣全称粒化高炉矿渣，是钢铁厂冶炼生铁过程中产生的副产品，在高炉炼铁过程中，生成以硅酸盐与硅铝酸盐为主要成分的熔融高炉渣，浮于密度较大的铁水表面，排出时置于水中急速冷却，限制其结晶，变成以玻璃体为主要成分并具有水硬活性的粒状水淬高炉矿渣。自 1860 年以来，矿渣作为一种水硬性材料获得了大量的研究与应用，使矿渣与普通水泥一样，成为水泥混凝土行业不可缺少的组成材料。

高炉矿渣不仅是生产水泥的重要原料之一，而且它作为辅助性胶凝材料，可替代水泥掺入混凝土中。大力推广应用矿渣和矿渣粉，符合环境保护和可持续发展的战略要求。

第一节 概 述

一、矿渣的来源及其制备

1. 矿渣的来源

在高炉炼铁过程中，除了铁矿石和燃料（焦炭）之外，为降低冶炼温度，还要加入适当数量的石灰石和白云石作为熔剂。它们在高炉内分解所得到的氧化钙、氧化镁和铁矿石中的废矿，及焦炭中的灰分相熔化，生成了以硅铝酸盐为主要成分的熔融物。在炉温达到 $1300\sim 1500^{\circ}\text{C}$ 时，浮于铁水表面的熔渣从炼铁炉中排出，即为高炉矿渣。但在高炉中倾倒出来的，只是一种液体状的矿渣，这样的矿渣并无水硬性，使用价值不大。高炉矿渣必须是经过快速冷却处理后，形成粒状矿渣，才能具有一定的水硬性，虽然它和水泥熟料比起来，水硬性是较弱的。GB/T 203—2008《用于水泥中的粒化高炉矿渣》定义：在高炉冶炼生铁时，所得以硅铝酸盐为主要成分的熔融物，经淬冷成粒后，具有潜在水硬性的材料。经水淬急冷后的矿渣，其玻璃体含量多，结构处在高能不稳定状态，潜在活性大，需经磨细才能使其潜能得以充分发挥。矿渣生产过程示意图 1-1。

粒化高炉矿渣经干燥、粉磨达到适当细度的粉体称为矿渣粉（图 1-2）。GB/T 18046—2008《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》定义：以粒化高炉矿渣为主要原料，可掺加少量石膏磨制成一定细度的粉体。磨细后的矿渣粉用作混凝

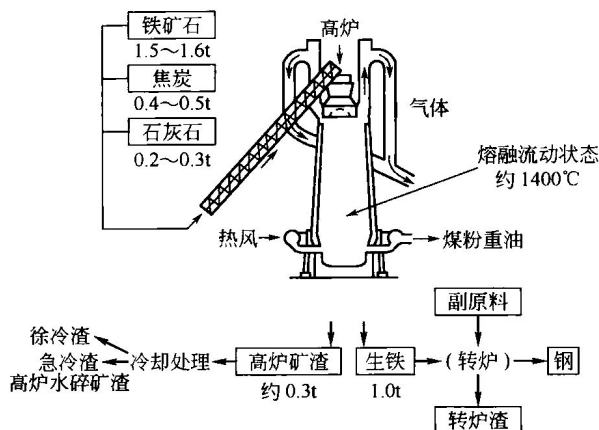


图 1-1 矿渣的生产过程示意

土掺合料，具有更高的活性，而且品质和均匀性更易保证，掺入混凝土中不仅可以节约水泥，降低胶凝材料水化热，而且可以改善混凝土的某些性能，如显著提高混凝土的强度，降低混凝土的绝热温升，提高其抗渗性及对海水、酸及硫酸盐等的抗化学侵蚀能力，具有抑制碱-骨料反应效果等。

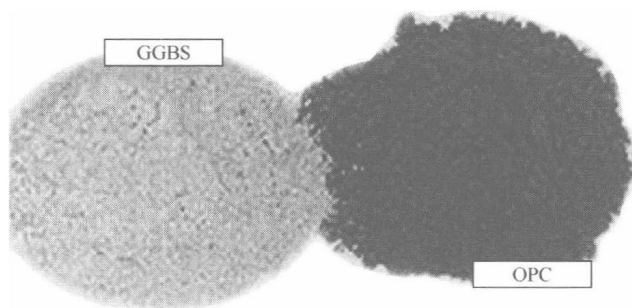


图 1-2 矿渣和水泥的外观区别

GGBS—粒化高炉矿渣；OPC—普通硅酸盐水泥

粒化高炉矿渣是一种具有良好的潜在活性的材料，它已成为水泥工业活性混材的重要来源。水泥企业使用粒化高炉矿渣可以扩大水泥品种、改善水泥性能（抗蚀性）。粒化高炉矿渣的活性以质量系数 $K = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2 + \text{MnO} + \text{TiO}_2}$ 来衡量，系数大则活性高。高炉矿渣的活性与化学成分有关，但更取决于冷却条件。慢冷的矿渣具有相对均衡的结晶结构，主要矿物为钙铝黄长石、镁黄长石、钙长石、硫酸钙、硅酸二钙等。除硅酸二钙具有缓慢水硬化性外，其他矿物成分常温下水硬性很差。水淬急冷阻止了矿物结晶，因而形成大量的无定形活性玻璃体结构或网络结构，具有较高的潜在活性。在激发剂的作用下，其活性被激发出来，能起水