

DISANJIE LIANGAN SIDI
GAOXINGNENG HUNNINGTU GUOJI YANTAOHUI
LUNWENJI

第三届两岸四地 高性能混凝土国际研讨会 论文集

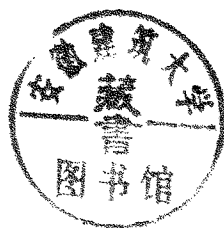
主编 吴文贵 冯乃谦



中国建材工业出版社

第三届两岸四地高性能 混凝土国际研讨会论文集

吴文贵 冯乃谦 主编



中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

第三届两岸四地高性能混凝土国际研讨会论文集 /
吴文贵, 冯乃谦主编. — 北京: 中国建材工业出版社,
2012. 10

ISBN 978-7-5160-0317-6

I. ①第… II. ①吴… ②冯… III. ①高强混凝土—
学术会议—文集 IV. ①TU528.31-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 240495 号

第三届两岸四地高性能混凝土国际研讨会论文集

吴文贵 冯乃谦 主编

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: 北京雁林吉兆印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 34.5

字 数: 842 千字

版 次: 2012 年 10 月第 1 版

印 次: 2012 年 10 月第 1 次

定 价: 100.00 元

本社网址: www.jcbs.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

第三届两岸四地高性能混凝土国际研讨会

主办单位

中建商品混凝土有限公司

中硅会高性能混凝土委员会

台湾混凝土学会

台湾海洋大学

协办单位

中国建筑第四工程局

北京交通大学

台湾科技大学

中国建筑技术中心

新加坡昂国集团

台湾交通大学

美国混凝土协会新加坡分会

顾问委员会

主 任：叶浩文 张大鹏 肖绪文 张吉平

副主任：曹永康 宋中南 张 琨

组织委员会

主 席：吴文贵 黄 然

委 员：王 军 高 原 张 涛 霍 亮 孙克平 田景伟

赵日照 陈 景 杨 文 王 艳 吴 雄

学术委员会

主 任：冯乃谦 赵文成

副主任：石云兴 张 君

委 员：（按姓氏拼音排序）

陈恩义	丁建彤	丁庆军	封孝信	高春勇	葛 勇
顾晴霞	关国雄	郝挺宇	何 真	黄忠信	孔祥明
冷发光	李崇智	李 钊	刘数华	陆金平	马保国
彭 波	朋改非	王 元	谢 彪	邢 锋	叶为忠
张国志	张建智	张金喜	张 雄	张 勇	周仕琼

论文集编委会

主 编：吴文贵 冯乃谦

副主编：王 军 张 君 朋改非

编 委：顾晴霞 赵日照 杨 文 陈 景 吴 雄 吴媛媛

张凯峰 贺 悦

前 言

混凝土是用量最多、应用最广泛的土木工程材料，对建筑工程建设的可持续发展具有重要意义。改善混凝土性能，提高混凝土结构的耐久性，发展高性能混凝土是目前国内外共同关注的热点话题，同时也是混凝土研究和发展的方向。提高混凝土结构服役年限，延长混凝土结构寿命是节省能源、节约资源、实现环境友好型混凝土结构的重要体现，是土木工程材料的可持续发展之路。

为进一步推动混凝土高性能化的研究与发展，总结和交流科技研究新成果，由中建商品混凝土公司、中国硅酸盐学会高性能混凝土委员会、台湾混凝土学会及台湾海洋大学联合主办的“第三届两岸四地高性能混凝土国际研讨会”于2012年11月在中国武汉举行。自2012年6月份组委会发布研讨会第一轮通知之后，受到了两岸四地高等院校、科研院所及相关单位的热烈响应。研讨会征集到学术科研论文近90篇，经过审阅，遴选了优秀论文71余篇编纂成集，内容涉及混凝土矿物掺合料开发与应用技术、混凝土外加剂制备与应用研究、混凝土力学性能分析与耐久性研究、特种混凝土制备技术与性能研究及混凝土工程应用及检测新技术等方面，并由中国建材工业出版社正式出版发行。论文集内容丰富、涉及面广、研究深入、联系工程实践，为混凝土高性能化发展提供了宝贵的研究思路和大量的技术信息。

我们对来稿进行了审核、编辑，并对部分文字进行了必要的修改和处理；对涉及内容重大的修改，多数征得了作者的同意。由于时间仓促，编者水平有限，书中难免有错误和不当之处，敬请读者予以指正。

编委会

2012年10月

发展出版传媒 服务经济建设

传播科技进步 满足社会需求

我们提供

图书出版、图书广告宣传、企业定制出版、团体用书、
会议培训、其他深度合作等优质、高效服务。

编辑部

010-88376511

图书广告

010-68361706

出版咨询

010-68343948

图书销售

010-68001605

jccbs@hotmail.com

www.jccbs.com.cn



中国建材工业出版社
China Building Materials Press

(版权专有，盗版必究。未经出版者预先书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。举报电话：010-68343948)

目 录

第一部分 混凝土矿物掺合料开发与应用技术

绿色环保建材的低碳未来	余 晶 (3)
高性能矿渣粉及其工程应用	陈恩义 (7)
物理化学激发对锂渣胶凝材料性能的影响	黄快忠 李相国 龚明子 (11)
矿物掺合料混凝土的强度发展规律	聂法智 (17)
湿排粉煤灰料浆活性激发及性能研究	龚明子 曾冲盛 孟祥杰 陈晓彬 (22)
改性对不同掺量下 CFBC 脱硫灰-水泥胶凝性能的影响	陈全滨 马保国 李相国 (30)
矿物掺合料对高强泵送混凝土性能的影响研究	黄洪财 桂苗苗 龚 俊 (38)
添加转炉钢渣对水泥基复合材料性质影响之研究	蔡嘉荣 黄 然 翁在龙 纪茂杰 (43)
玄武岩微粉作 C45 混凝土掺合料的试验研究	马清清 陈 平 (52)
高铝活性粉混凝土性质之研究	张建智 叶为忠 纪茂杰 (58)
粉磨时间对磷渣粉活性的影响	唐俊峰 彭艳周 肖 文 孙 珩 (73)
粉煤灰改性磷酸镁水泥与普通水泥基体粘结性能研究	苏柳铭 黄义雄 钱觉时 (78)
掺磨细玻璃粉水泥基材料水化动力学研究	谢国帅 孔亚宁 代瑞平 刘数华 (86)
磨细石灰石粉对混凝土早期性能的影响	叶建雄 余林文 黄义雄 (93)
铁尾矿砂石对混凝土强度的影响	封孝信 李 思 孙景卫 王新原 宋裕增 (99)

第二部分 混凝土外加剂制备与应用研究

聚羧酸减水剂对混凝土早期开裂性能的影响研究	李 贞 杨长辉 黄义雄 (107)
CSA 膨胀剂对 C80 高性能混凝土性能影响及膨胀机理研究	蔺喜强 王栋民 霍 亮 张 涛 石云兴 (114)
改性聚丙烯酸减水剂的合成及分散保持性能研究	黄汉洋 郭丽萍 刘 明 杜小弟 傅承飞 (122)
聚羧酸减水剂用新型保塑剂的研制与性能研究	刘 明 黄 波 雷家珩 王 军 赵日煦 唐玉超 王 婵 (127)
一种新型醚类聚羧酸减水剂的合成研究	智艳飞 霍 亮 张 涛 (133)
一种缓释型聚羧酸系减水剂 TP2000 的试验研究	李崇智 马 健 葛挺林 王 琴 刘骏超 魏功晓 袁荣辉 刘 俊 (138)
绿色高性能混凝土 BTC 功能外加剂的应用研究	李崇智 马 健 钱丽明 葛挺林 刘骏超 魏功晓 (145)
一种复合水泥助磨剂对水泥性能影响研究	王建兵 覃爱苗 (151)

脂肪族磺化醛酮缩合物减水剂的发展应用及其分子结构研究

..... 郑广军 傅承飞 雷家珩 李 兴 (155)

马来酸酐-改性聚醚类聚羧酸减水剂的合成与性能研究

..... 王凤玲 郑广军 韩周冰 周 辉 邵 炜 (162)

高效减水剂种类对低水胶比砂浆流变性能的影响

..... 张倩倩 刘建忠 刘加平 周华新 (169)

第三部分 混凝土力学性能分析与耐久性研究

耐久及低碳混凝土材料的设计原则 陆金平 (179)

使用田口方法与灰关联分析评估混凝土表面涂封材料防护效能影响因子之研究

..... 邹思宇 黄 然 傅墩祺 徐辉明 郑 安 (191)

多因素耦合作用下水泥混凝土孔结构特征参数变化规律 于 蕾 张金喜 (202)

早龄期混凝土的力学性质研究 张 涛 覃维祖 霍 亮 廖 娟 (214)

外加组分对自密实混凝土早期诱导开裂的影响

..... 王 涛 刘子科 李海燕 邵丕彦 吴韶亮 (223)

配合比参数对 C100 混凝土工作性及早期收缩影响

..... 徐仁崇 桂苗苗 江达宣 陈 茜 (228)

高吸水性树脂对高强混凝土早期自收缩和干燥收缩的影响 张珍林 孔祥明 (233)

海工硅灰混凝土抗冻渗性与孔结构的研究 杨文武 张松鹤 王 璐 (241)

水泥混凝土路面抗盐冻剥蚀性能影响因素分析 申力涛 刘 柳 (247)

现场测试方法在混凝土结构渗透性测试中的应用综述 郭 伟 吴晓明 (256)

钢筋腐蚀影响下砂浆中氯离子之扩散行为 陈君弢 庄宜健 吴介豪 (262)

碱活化炉石混凝土耐久性与微观特性之研究 纪茂杰 黄 然 翁在龙 (274)

基于电阻率方法的混凝土水化阶段的划分及骨料体积分数对特征点的影响

..... 魏小胜 肖莲珍 (286)

以田口法规划再生粒料混凝土动弹性模数之研究

..... 蔡得时 张大鹏 萧添进 邱义宏 杨天鹏 (293)

以田口法规划再生粒料混凝土抗压强度之研究

..... 萧添进 张大鹏 蔡得时 杨天鹏 邱义宏 (300)

混凝土多重质量特性配比技术开发 张清云 黄 然 李秉展 邱志强 (307)

基于钢环约束试验的早龄期混凝土抗拉应力松弛参数确定 高 原 张 君 (318)

含粗骨料的超高性能混凝土抗火性研究综述

..... 朋改非 滕 岩 黄艳竹 林力勋 令狐延 (330)

含粗骨料的超高性能混凝土抗压强度试验研究

..... 杨 娟 朋改非 高育欣 王 斌 (341)

第四部分 特种混凝土制备技术与性能研究

日本的超高强混凝土与绿色混凝土 西林新藏 (工博) (353)

树脂与微硅粉改质纤维混凝土之工程与磨耗性质研究

- 杨宗叟 张大鹏 文家纶 林志彦 (367)
- 大流动性高强钢纤维混凝土的制备研究 孙成辉 霍 亮 屈铁军 石云兴 (376)
- 泵送山砂混凝土配制技术研究 陈尚伟 徐立斌 胡伟伟 董 艺 (381)
- 配合比设计参数对 200MPa 级机制砂活性粉末混凝土性能的影响
- 王 斌 赵晚群 叶海艳 杨仕海 (388)
- 泵送轻集料混凝土的性能研究及应用 王 昱 黄 辉 刘 栋 张旭龙 (394)
- 工程化活性粉末混凝土 ERPC 的制备及其性能 ... 丁庆军 苗 强 聂传振 黄修林 (399)
- 轻质高强粉煤灰加气混凝土的研究 聂传振 郭 凯 黄绍龙 丁庆军 (405)
- 高性能炉石清水混凝土工程性质之研究 王和源 林志忠 (410)
- 掺聚丙烯纤维面板混凝土的性能研究与应用 王少江 田军涛 王松波 朱贤博 (418)
- PVA 纤维长度对混杂纤维 RPC 力学性能的影响..... 陈 茜 伍勇华 徐仁崇 龚 俊 (425)
- 高强度钢纤维混凝土围束效应研究 廖文正 郭耀仁 (431)
- 添加钢纤维与石墨对混凝土电热特性之研究 吴德宪 黄 然 纪茂杰 翁在龙 (438)
- 预吸水轻骨料内养护高强混凝土早龄期收缩研究 韩宇栋 张 君 王振波 (449)
- 乳化沥青对水泥混凝土强度影响的试验研究
- 彭丙杰 王万金 查炎鹏 张 乐 马 强 (458)
- 不同纤维对大坝混凝土力学性能和抗裂性能的影响
- 刘艳霞 刘晨霞 纪国晋 陈改新 (463)

第五部分 混凝土工程应用及检测新技术

低碳, 绿色 PHC 管桩的研发与生产应用

- 冯乃谦 傅 军 陈恩义 刘富增 谭志广 李先中 李世东 (473)
- 基于碳化环境下地铁车站混凝土性能评估与寿命预测 秦明强 刘 松 占 文 (484)
- 管片混凝土外观质量施工工艺控制 占 文 秦明强 席华桥 李进辉 (490)
- 新拌混凝土拌合物组分快速测定新技术研究 陈 伟 申培亮 杨 沫 劳里林 (495)
- 超厚混凝土墙体温度应变监测与分析
- 庞二波 孙克平 赵日照 王 艳 张恒春 杨 龙 岳健男 (503)
- 武汉中心钢板剪力墙收缩裂缝控制措施
- 李 杰 陈 景 张建亮 吴俊龙 黄义雄 宋正林 (510)
- 马来西亚槟城第二跨海大桥主塔承台混凝土温度裂缝控制技术
- 刘 松 李顺凯 周拥军 李佳圣 邓 翀 李红君 (515)
- Sustainable Infrastructure- Concrete Solutions Tony C. Liu (522)
- 纤维混凝土在隧道二次衬砌中的应用简介 曹擎宇 郝挺宇 孙 伟 苏 波 (530)
- 宁波轨道交通 1 号线二期工程混凝土耐久性设计
- 陈 斌 刘 松 秦明强 叶俊能 占 文 (534)

第一部分

混凝土矿物掺合料 开发与应用技术

绿色环保建材的低碳未来

余 晶

新加坡昂国集团

1 前言

绿色产业概念已经深入全球所有国家和地区，全球经济正在进行一场向绿色可持续发展升级的过程。武汉城市圈按照“资源节约型和环境友好型”的总体要求，在“两型社会”道路上迅速起步。建筑材料企业在经营过程中也必须充分体现环境保护意识、资源节约意识和社会责任意识，尽可能满足消费者的绿色需求，以科学地实现企业的经营目标和发展的可持续性。

2 矿粉在低碳绿色建筑中的贡献

低碳建筑是指在建筑材料与设备制造、施工建造和建筑物使用的整个生命周期内，减少化石能源的使用，提高能效，降低二氧化碳排放量。目前低碳建筑已逐渐成为国际建筑界的主流趋势。一个经常被忽略的事实是：建筑在全球二氧化碳排放总量中，几乎占到了 50%，这一比例远远高于运输和工业领域。

绿色建筑评价系统是绿色建筑标准实施的依据。绿色建筑评价体系致力于通过建立一套通用的评估标准来界定“绿色建筑”；推进整合的建筑整体设计实践；促进建造行业中的环保意识；激励绿色竞争；唤起消费者对绿色建筑效益的重视以及推动建筑市场的转型。

世界各发达国家纷纷制订了绿色建筑评估体系，例如美国的 LEED、新加坡 Green Mark 等等，目前在中国绿色建筑项目中普遍使用的有以下四种标准，矿粉在各类绿色建筑标准中可以达到的贡献总结如表 1：

表 1 矿粉在各类绿色建筑标准中的规定

美国 LEED 绿色建筑 评价标准	新加坡绿色标志 评价标准	中国绿色建筑评价标准 (3 星标准)	中新生态城绿色建筑 评价标准 (GBES)
SS 7.1 热岛效应：非房顶建筑	NRB 3-1 可持续建筑	5.4.3 施工现场 500km 以 内生产的建筑材料重量占建 筑材料总重量的 60% 以上 * 一般项	5.4.5 施工现场 500km 以 内生产的建筑材料重量占建 筑材料总重量的 60% 以上 * 强制项
MR 4.1 & MR 4.2 废弃材料	NRB 3-2 可持续产品	5.4.5 建筑结构材料合理 采用高性能混凝土、高强 度钢 * 一般项	5.4.8 建筑结构材料合理 采用高性能混凝土、高强 度钢 * 优选项

续表

美国 LEED 绿色建筑 评价标准	新加坡绿色标志 评价标准	中国绿色建筑评价标准 (3 星标准)	中新生态城绿色建筑 评价标准 (GBES)
MR 5.1 & MR 5.2 地域性材料: 超过 40% 的材料为地域性的生产	NRB 5-1 绿色特性和创新	5.4.10 在保证性能的前提下, 使用以废弃物为原料生产的建筑材料, 其用量占同类建筑材料的比例不低于 30% * 一般项	5.4.10 在保证性能的前提下, 使用以废弃物为原料生产的建筑材料, 其用量占同类建筑材料的比例不低于 30% * 优选项
2.1 and 2.2 减少普通水泥在混凝土 中的使用			5.4.12 采用资源消耗和环境影响小的建筑结构体系 * 优选项
MR 4 and 5 30% 以上废弃材料的重 新使用			

3 矿粉的环保知识延伸及应用

(1) 碳足迹报告

碳足迹 (Carbon Footprint) 指的是: 一项行为或者一个产品在其生命周期内所释放出来的二氧化碳及其他温室气体的总量。其范畴包括二氧化碳 (CO₂)、甲烷 (CH₄)、氮氧化物 (N₂O)、氢氟碳化物 (HFC)、全氟化物 (PFC) 和六氟化硫 (SF₆)。对于各建筑企业, 测量各种产品在其整个生命周期内的碳足迹是收集其所需信息的一种强有力的途径, 这样的测量和报告的益处在于:

- ①识别节约成本的机会;
- ②减少各种温室气体 (GHG) 的排放量;
- ③将排放量的影响融入有关供货、材料、产品设计、制造等过程的决策;
- ④展示在环境责任或企业责任方面的领导作用;
- ⑤区分和满足来自于“绿色”消费者的需求。

(2) 碳管理

在全球对于温室气体排放量控制的关注下, 越来越多的企业承诺对碳排放量进行“测量”, “报告”和“验证”的步骤, 这正是对控制碳排放量的一个开始。

建筑包含了隐含碳和经营碳:

- ①隐含碳 = 制造、建筑和建设建筑物或建造物所排放的二氧化碳
 - 蕴藏中的二氧化碳只能在建设过程时减少;
 - 如果在建设过程时没行动把蕴藏二氧化碳减少, 那么减少蕴藏二氧化碳的机会就永远消失了。
- ②经营碳 = 建筑物或建设物使用期间所排放的二氧化碳
 - 建筑物经营中的二氧化碳可以以增强保温隔热、密封、装制省电电系统、太阳能光伏系统或生物燃烧系统等等来处理。

隐含碳和经营碳必须在计划新建筑物的阶段时慎重思考。因为使用低碳产品将直接减少建筑物的隐含碳，在建设过程中缺乏减少隐含碳的行动将损失大部分的二氧化碳减排量。比如使用一吨的矿渣粉（GGBS）替代一吨的普通硅酸盐水泥就能使产品本身的二氧化碳排放量降低 95%，同时矿渣粉在价格上同样也具有优势。

对于中国绿色建筑项目，测算建筑中的使用材料的隐含碳的碳足迹报告可以帮助明确在此建筑项目的建材中隐含的碳排放量，以确保选择低碳环保的建筑材料。这也是此建筑中唯一一次可以测量和选择减少隐含碳的机会。而对于不可避免的剩余的二氧化碳排放量（1 吨 VCEM 牌矿渣粉仍然会产生 30 ~ 60kg 二氧化碳排放量），可以采用购买碳信用额来抵消剩余的碳排放量，从而做到真正的碳中和产品。

（3）碳中和解决方案

碳中和（Carbon Neutral）是人类为了减缓全球变暖所作的努力之一。在建筑行业中，开发商、承包商、建筑商或者材料供应商等可以提前计算项目或者材料直接或间接产生的二氧化碳排放量，并计算抵消这些二氧化碳所需的经济成本，然后付款给专门企业或机构，通过其他环保项目抵消大气中相应的二氧化碳量。

第一步：使用拥有绿色标签的低碳产品，比如矿渣粉（GGBS），让产品本身的二氧化碳排放量降低 95%。

第二步：计算水泥或者混凝土产品的需要抵消的碳排放量。计算混凝土的碳排放量目的在于让建筑从业人员了解到使用更多的矿渣粉（GGBS）在混凝土中可以降低混凝土在建筑中的二氧化碳的排放量。计算混凝土中的隐含碳量须关注以下三个要点：

- ①建筑项目中使用混凝土的总量；
- ②混凝土中水泥的总量（包括普通水泥和其他水泥类物质）；
- ③混凝土中绿色水泥〔GGBS（矿粉）〕和普通水泥的含量。

第三步：提供碳信用额去抵消水泥或者混凝土产品的碳排放量，从而达到“零碳排放量”或者“碳中和”建筑产品。

4 矿粉和混凝土碳管理实例

案例一：城市发展有限公司（CDL）——亚太首座“碳中和”建筑

在新加坡，其中一家著名房地产发展商《城市发展有限公司（City Developments Limited）》在 2009 年 7 月 8 日为亚太首座“碳中和”建筑举行开幕。所谓“碳中和”，是指计算建筑在兴建及营运过程中，直接或间接排放的二氧化碳总量，并透过植树等不同方式把进行碳抵消（Carbon offsetting），以达到环保的目的。

案例二：Ecocem

爱尔兰混凝土制造商 Ecocem，同样也是绿色矿粉 GGBS 制造商，在竭力推崇使用绿色矿粉的同时，从 2009 年 5 月开始，Ecocem 推出碳中和水泥，并目标在 2012 年所有生产的绿色水泥都成为碳中和绿色环保水泥。

Ecocem 公司发言人提到碳中和水泥是迈向可持续发展建筑的很大的一步。因为混凝土是全世界除了水之外使用最大的资源之一，使用碳中和水泥对于全世界减少碳足迹的产生来说都是意义重大的。

5 总结

从测量、减排、中和到报告和沟通验证了企业的碳管理的重要过程。同样,企业和产品达到碳中和目标也存在着许多的必然性,首先国家出台碳税和碳交易制度的必然性:在政府工作报告和“十二五”规划纲要确立的“十二五”主要目标中,提到单位国内生产总值二氧化碳排放降 17%,这就意味着如果某些企业或者项目在指定的时期内达不到减排标准,相应的碳税政策或者定额碳交易政策将会出台。企业内部也必然会有相应减排标准和行动。作为碳排放首当其冲的建筑行业,从低碳建材走向碳中和目标也将指日可待。其次,在有碳管理制度的情况下,必然会有碳税政策的产生。因此,作为企业,预先达到碳中和的目标有利于顺应政府政策的执行和获得比同类企业更多的绿色竞争优势,同时有助于提高企业品牌效应,完善企业的社会责任,创造产品额外的销售点。我们相信在不久的将来,二氧化碳将等同于一个产品必有的元素,同样的,二氧化碳也等将等同于金钱,企业和产品预先达到碳中和的目标同样也创造了商业先机。碳中和目标也将给建材业者提供有效地生存途径,从而向可持续发展的绿色建筑市场发展。

参考文献

- [1] <http://www.ghgprotocol.org/>.
- [2] UK Carbon Trust (2008) “Carbon Footprinting”. (http://www.carbontrust.co.uk/solutions/CarbonFootprinting/what_is_a_carbon_footprint.htm) . UK Carbon Trust. Retrieved 2009-07-24.
- [3] http://www.carbontrust.co.uk/carbon/briefing/carbon_label.htm.
- [4] http://ecosystemmarketplace.com/documents/acrobat/StateoftheVoluntaryCarbonMarket18July_Final.pdf.
- [5] World Energy Council Report (2004) . Comparison of energy systems using life cycle assessment.
- [6] Walkers Carbon Footprint. http://www.walkerscarbonfootprint.co.uk/walkers_carbon_trust.html.
- [7] BSI. PAS 2060: 2010 *Specification for the demonstration of carbon neutrality*. ISBN 978 0 580 667527, April 2010.

高性能矿渣粉及其工程应用

陈恩义

新加坡昂国集团

磨细矿渣粉（以下简称矿渣粉）是将水淬粒化高炉矿渣经过粉磨后达到规定细度的一种粉体材料，它既可用作等量取代熟料生产高掺量矿渣水泥，也可作为混凝土的掺合料取代部分水泥。由于高性能矿粉能有效地改善混凝土的力学性能和耐久性，同时兼备低二氧化碳排放、低污染和低能耗等优势，成为当今冶金行业发展循环经济的新亮点，对国民经济的发展，尤其是发展绿色建筑业，以及对节能减排和冶金行业发展循环经济的贡献也日益显著。

1 矿粉的生产

矿粉生产工艺按磨机的形式分主要有球磨和立磨两种，目前我国大规模矿粉生产企业均是采用从日本或德国引进的立式粉磨工艺。

（1）球磨

球磨机用于水泥熟料的研磨已有一个世纪的历史，它利用下落的研磨体（如钢球）的冲击作用以及研磨体与球磨内壁的研磨作用而将物料粉碎并混合。当球磨转动时，由于研磨体与球磨内壁之间的摩擦作用，将研磨体依旋转的方向带上后再落下。这样物料就连续不断地被粉碎。球磨机的优点是设计和操作简单、性能可靠、耐用和维护容易，相对其他磨机球磨研磨出的粉末颗粒是较为理想的。但球磨能耗高、效率低且不宜研磨湿物料。

（2）立磨

立磨的研磨过程为：电动机通过减速机带动磨盘转动，物料从下料口落到磨盘中央，在离心力的作用下向磨盘边缘移动并受到磨辊的碾压，粉碎后的物料从磨盘边缘溢出，同时被来自喷嘴环（风环）高速向上的热气流带至与立磨一体的高效选粉机内，粗粉经分离器分选后返回到磨盘上，重新粉磨；细粉则随气流出磨，在系统的收尘装置中收集下来，即为产品。没有被热气流带起的粗颗粒物料和意外进入的金属件从风环处沉落，由刮料板刮出后，经外循环的斗提机喂入磨内再次粉磨。

立磨经济效益远高于球磨机，它集合研磨、选粉和烘干于一身，其工艺流程简单，布局紧凑，建筑面积小，占地面积约为球磨机系统的 70%，建筑空间约为球磨系统的 60% 且可露天布置，降低了企业投资费用。立磨系统的能耗不仅比球磨系统相比节约 30% ~ 40%，而且通过合并烘干系统轻易处理湿炉渣，进行碾磨加工程序，仅需调整磨机进口出口温度，研磨压力和系统抽风来调节碾磨仓内气流，便可取得理想的分体细度、低含水量优质的矿