

颗粒组成和分布对大掺量粉煤灰水泥性能的影响

刘文永¹, 李其敏², 杨 鹏¹, 张长海¹, 李振伟³

1. 中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院, 北京 100083

2. 茂华万通源煤业有限公司, 山西朔州 036800

3. 云南金山矿业有限公司, 昆明 654100

摘要 中国是粉煤灰资源大国, 粉煤灰综合利用率低, 在水泥中粉煤灰的掺加量低于 40%。研究粉煤灰掺加量大于 50% 的粉煤灰水泥技术已引起学术界和工程界的密切关注。将粉煤灰直接大量掺入水泥会导致水泥早期强度的降低和凝结时间的延长。本文研究的大掺量粉煤灰水泥, 在水泥原材料中加入 3% 的晶核素, 通过晶核诱导作用, 使粉煤灰中的硅、铝氧化物迅速生长成稳定的水化矿物相, 提高了粉煤灰水泥的早期强度, 解决了大掺量粉煤灰水泥早期强度低的问题。粉煤灰的掺加量为 50% 和 60% 时, 大掺量粉煤灰水泥达到了 GB 175-2007 通用水泥标准的 32.5[#] 粉煤灰水泥性能指标要求。在此基础上, 通过改变粉磨时间和粉煤灰掺加量, 得到若干组不同的粉煤灰水泥试样, 采用灰色关联分析研究方法, 研究了颗粒组成及分布对大掺量粉煤灰水泥性能的影响。从而进一步研究颗粒级配和水泥性能之间的关系, 并通过改变粉煤灰水泥的颗粒级配及组成来达到改善水泥性能的目的。结果表明: 对同一配比的粉煤灰水泥, 当粉磨时间改变后, 影响水泥强度性能的颗粒区间会发生变化; 不同配比的粉煤灰水泥, 当粉磨时间不同时, 其有效作用区间颗粒也有较大的差别, 对不同龄期的抗压强度和抗折强度起作用的区间颗粒也不完全相同。

关键词 粉煤灰; 颗粒级配; 大掺量粉煤灰水泥; 灰色关联分析

中图分类号 X705

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)24-0041-05

Particle Composition and Distribution in Cement with Large Volume of Fly Ash and Their Influences on the Mechanical Property

LIU Wenyong¹, LI Qimin², YANG Peng¹,
ZHANG Changhai¹, LI Zhenwei³

1. Faculty of Resources & Safety Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China

2. Maohua Wantongyuan Coal Co., Ltd, Shuozhou 036800, Shanxi Province, China

3. Yunnan Jinshan Coal Co., Ltd., Kunming 654100, China

Abstract This paper discusses the particle composition and distribution in cement with large volume of fly ash and their influences on the mechanical property of the cement. Through

changing the grinding time and the content of fly ash adulterated into the cement, different samples of fly ash cement are obtained. The relation between the particle distribution and the mechanical property of the cement is analyzed by using the grey correlation analysis method, and the mechanical property of the cement could then be improved with the optimization of the particle distribution. The results show that for the same kind of cement, with different grinding time, the particle zones that dominate the strength of the cement varied; for cement of different compositions, with the same grinding time, the effective particle zones that dominate the mechanical property of the cement also much varied.

Keywords fly ash; particle distribution; cement containing large volume of fly ash; grey correlation analysis

0 引言

在工业废渣再生资源化研究中, 各种工业废渣的利用水平很不平衡, 粉煤灰并没有被充分利用^[1]。中国是粉煤灰资源大国, 但粉煤灰利用技术水平低、综合利用率低, 在水泥中粉煤灰的掺加量低于 40%^[2]。因此, 提高粉煤灰的综合利用技术

收稿日期: 2009-11-26

作者简介: 刘文永, 教授级高级工程师, 研究方向为采矿工程技术、矿山充填材料、注浆材料、矿山固体废料和粉煤灰的综合利用、高性能混凝土研究, 电子信箱: liuwenyongkuangda@126.com

水平,增加粉煤灰利用量,特别是研究粉煤灰掺加量大于50%的粉煤灰水泥技术已引起学术界和工程界的密切关注^[3]。采用常规技术,粉煤灰大量掺入水泥会导致水泥早期强度的降低和凝结时间的延长。

本文研究的大掺量粉煤灰水泥,采用晶核素诱导和促进硅铝氧化物加快水化反应的聚集与定向过程,解决了大掺量粉煤灰水泥早期强度低的问题,在此基础上,通过改变粉磨时间和粉煤灰掺量,得到若干组不同的粉煤灰水泥试样,采用灰色关联分析方法^[4-5],研究颗粒组成及分布对大掺量粉煤灰水泥性能的影响^[6],从而进一步研究颗粒级配和水泥

性能之间的关系,并通过改变粉煤灰水泥的颗粒级配及组成达到改善水泥性能的目的。

1 材料和方法

1.1 设备和材料

- 1) 设备:φ 500 mm×500 mm 球磨机,水泥性能测试仪器,蔡康 DMM-300C 图像颗粒分析仪等。
- 2) 熟料:本试验所用的熟料来源于北京市琉璃河水泥厂,密度为 3.09 g/cm³,熟料化学成分见表 1。
- 3) 粉煤灰:来自京西发电厂,化学成分见表 2。

表 1 水泥熟料化学成分										
Table 1 Chemical composition of clinker										
成分	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	SO ₃	TiO ₂	Na ₂ O	总计
含量/%	60.38	21.98	5.54	5.14	2.17	3.04	0.84	0.37	0.25	99.7

表 2 粉煤灰化学成分							
Table 2 Chemical composition of fly ash							
项目	烧失量	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	总计
含量/%	8.48	43.62	26.85	7.6	3.1	0.82	90.47

4) 晶核素:晶核素是一种新型水泥掺加料,主要由含 CaO、SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃ 的无机矿物原料按适当配比磨成细粉,经高温煅烧至部分熔融,所得的水硬性胶凝物质。在水泥原材料中加入适量的晶核素,通过晶核诱导作用,使粉煤灰中的硅、铝氧化物迅速生长成稳定的水化矿物相,可提高粉煤灰水泥的早期强度和强度等级。试验所用晶核素由北京恒生建材科技有限公司生产。

5) 标准砂:厦门标准砂公司生产,1 350 g/袋。

1.2 试验方法

灰色系统是介于白色系统和黑色系统之间的一种系统,因此,灰色预测法是一种对含有不确定因素的系统进行预测的常用定量方法。粉煤灰水泥的粒度分布对水泥强度的影响有些信息是确定的,有些信息是不确定的,粉煤灰水泥系统具有灰色系统的特点。灰色关联分析所计算的关联度是因素之间关联性的“量度”,其值愈大,反映子序列与母序列的相关性越大。正关联表示子序列对母序列起积极作用(或称增进作用);而负关联则表示子序列对母序列起消极作用(或削弱作用)。

1) 选取粉煤灰掺加量分别为 50%和 60%的粉煤灰水泥,编号为 FJ-50、FJ-60,分别在粉磨 45、60 min 条件下的水泥颗粒组成和分布。试验配比见表 3。

2) 把在上述条件下粉磨出的水泥制成试块,测试水泥 3、7、28 d 的强度。

3) 为了研究粒度分布对水泥强度的影响,把粉煤灰水泥的粒度范围分成 0~3 μm,3~8 μm,8~13 μm,13~18 μm,18~23 μm,23~28 μm,28~32 μm,32~40 μm,40~50 μm,50~60 μm,>60 μm 共 11 个区间,以粉煤灰水泥的 3、7 和 28 d 抗压

表 3 大掺量粉煤灰水泥配比方案				
Table 3 Proportion of flay ash cement's components				
试样 编号	原材料组分/%			
	熟料	石膏	粉煤灰	晶核素
FJ-50	42	5	50	3
FJ-60	32	5	60	3

和抗折强度为母序列,以粉煤灰水泥颗粒在不同区间的含量为子序列,计算母序列与各子序列的灰色关联度。

4) 利用灰色关联分析对粉煤灰水泥的强度和相关粉煤灰水泥粒度区间分布进行纵向研究,确立影响水泥强度和强度发展的优势颗粒区间。

2 结果与分析

2.1 粉煤灰水泥 3、7 和 28 d 抗压强度与颗粒区间分布的关联度分析

以粉煤灰水泥的 3、7 和 28 d 抗压强度为母序列,以粉煤灰水泥颗粒在不同区间的含量为子序列,并对各序列的原始数据,根据灰色关联度的计算步骤,计算粉煤灰掺量为 50%、60%时,粉煤灰水泥 3、7 和 28 d 抗压强度与颗粒区间分布的关联度。原始数据及计算结果见表 4、表 5。

2.1.1 FJ-50 抗压强度与颗粒区间分布的关联度分析

由表 5 可以看出:

1) 0~3 μm,3~8 μm,8~13 μm,13~18 μm,18~23 μm,23~28 μm,28~32 μm 区间颗粒对粉煤灰水泥 3、7、28 d 抗压强度



煤灰水泥的 3、7、28 d 强度起消减作用,应减少此区间颗粒的含量。

4) 当粉煤灰掺量相同时,粉磨时间改变后,影响水泥强度性能的颗粒区间会发生变化。对 FJ-50 强度增进作用最大的是 13~23 μm 区间颗粒,消减作用最大的是 >60 μm 颗粒,对 FJ-60 强度增进作用最大的是 28~32 μm 区间颗粒,消减作用最大的是 50~60 μm 区间颗粒。

5) 大掺量粉煤灰水泥颗粒区间中 13~32 μm 区间颗粒含量与水泥强度的关联度最大。<32 μm 的颗粒与水泥强度均有较大的增进作用,而 >32 μm 的颗粒与水泥强度负相关。为了提高粉煤灰水泥的强度,应提高粉煤灰中 <32 μm 的颗粒含量,限制 32~60 μm 区间颗粒含量,减少 >60 μm 的颗粒含量。

参考文献 (References)

- [1] 韩怀强, 蒋挺大. 粉煤灰利用技术 [M]. 北京: 中国建材工业出版社, 1999.

- Han Huaiqiang, Jiang Tingda. Fly ash utilization technologies [M]. Beijing: China Building Materials Industry Publishing House, 1999.
- [2] 吴中伟, 廉慧珍. 高性能混凝土 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1999.
- Wu Zhongwei, Lian Huizhen. High-performance concrete [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1999.
- [3] 刘文永, 付海明, 冯春喜, 等. 高掺量粉煤灰固结材料 [M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2007.
- Liu Wenyong, Fu Haiming, Feng Chunxi, et al. Large amount fly-ash bonding material [M]. Beijing: China Building Materials Industry Publishing House, 2007.
- [4] 刘思峰, 谢乃明. 灰色系统理论及其应用 [M]. 4 版. 北京: 科学出版社, 2008.
- Liu Sifeng, Xie Naiming. Grey system theory and its application [M]. 4th ed. Beijing: Science Press, 2008.
- [5] 邓聚龙. 灰色控制系统 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1997.
- Deng Julong. Gray control system [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1997.
- [6] 乔龄山. 水泥的最佳颗粒分布及其评价方法 [J]. 水泥, 2001, 8: 2-5.
- Qiao Lingshan. Cement, 2001, 8: 2-5.

(责任编辑 岳臣)

欢迎各全国学会、协会、研究会, 各省、自治区、直辖市科协学会部, 各计划单列市、副省级城市科协学会部积极参与中国科协学术文献收藏工作

为充分发挥文献在学术研究和信息交流中的作用, 对学术资源进行整合和利用, 促进科学研究事业的振兴和发展, 为广大科技工作者提供更好的服务, 使其能及时了解各专业领域和新兴学科的最新发展动态和研究成果, 中国科协特建立学术文献收藏机制, 委托北京理工大学图书馆收集、整理、收藏中国科协系统召开的各类学术会议文献, 科技导报社组织辑录相应的学术文献题录, 并刊载于其编辑、出版的《中国学术期刊文摘》上。

**请各学术活动组织单位
将会议论文集 (纸质版和电子版)
直接邮寄或送到
北京理工大学图书馆**

通信地址: 北京海淀区中关村南大街5号北京理工大学图书馆参考咨询部
邮政编码: 100081
电话: 010-68914779 (北京理工大学图书馆)
电子信箱: lvrh@bit.edu.cn

