

级粉煤灰掺量、细度对水泥强度发展的影响

应德标, 李振明, 卢振平

(浙江工业大学 职业技术学院, 浙江 杭州 310014)

摘要: 为了开发和应用数量大、成分复杂、均匀性差且活性低的级粉煤灰, 本文中通过对级粉煤灰的粉磨处理, 研究了级粉煤灰的掺量、细度对硅酸盐水泥、普通水泥强度发展的影响。结果表明, 为了更好地发挥粉煤灰的活性, 级粉煤灰在配制硅酸盐水泥、普通水泥时存在一个合理的粉磨细度和适宜的掺量, 当粉煤灰的掺量小于 5% 时, 细度应控制在 $500 \text{ m}^2/\text{kg}$ 左右; 当掺量为 10%~15% 时, 细度应为 $600 \text{ m}^2/\text{kg}$ 左右。

关键词: 粉煤灰; 掺量; 细度; 水泥强度

中图分类号: TQ172.7 文献标识码: A

文章编号: 1008-5548(2006)01-0031-03

Effects of Grade Fly Ash with Different Amount and Fineness on Cement Strength Development

YING De-biao, LI Zhen-ming, LU Zhen-ping

(School of Vocational Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: In order to utilize the great quantity of grade fly ash with complicated composition, poor homogeneity and low activity, the effects of amount and fineness of the grade fly ash on strength development of Portland. The results showed that there were a rational fineness and suitable proportion amount of grade fly ash in Portland cement and ordinary Portland cement to further develop the activity of the fly ash. When the amounts of admixture of grade fly ash was less 5% or in the range of 10%~15%, the suitable fineness was about $500 \text{ m}^2/\text{kg}$ or $600 \text{ m}^2/\text{kg}$ respectively.

Key words: fly ash; amount of admixture; fineness; cement strength

粉煤灰是火力发电厂燃煤后所产生的废料, 全国电厂每年排放粉煤灰量为 1.6 亿 t。大量粉煤灰不仅占用土地, 而且污染环境。据国家有关部门规划, 到 2010 年全国发电装机总容量分别达到 5 亿 kW, 粉煤灰每年排放量为 3.2 亿 t, 当年排灰堆场占用土地 0.85 万 hm^2 , 处置和管理等各项费用高达数十亿元以上^[1]。目前, 随着对粉煤灰水化机理的研究, 把粉煤灰变废为宝的途径越来越广阔。经分级后的

级、级粉煤灰水化活性好, 掺入混凝土中能显著改善混凝土强度和耐久性, 但因级、级粉煤灰所占比例低(30%左右), 市场供不应求, 价格很高。而级粉煤灰数量大, 成分复杂, 均匀性差, 活性低, 价格便宜, 开发和应用级粉煤灰具有显著的经济效益和社会效益。本文中将以级粉煤灰作为水泥的混合材, 探讨其细度和掺量对水泥强度的发展影响。

1 实验设备与仪器

(1) 试验磨, 规格 $500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$, 磨内钢球级配见表 1; (2) 颚式破碎机, 型号 DSP-I, 出料粒度为 $3 \sim 10.5 \text{ mm}$; (3) 电动勃氏透气比表面积测定仪, 型号为 DBT-127, 无锡建筑材料仪器机械厂; (4) 抗压试验机, 型号为 NYL-300, 无锡建筑材料仪器机械厂; (5) 抗折试验机, 型号为 DKZ-5000, 无锡建筑材料仪器机械厂。

表 1 磨内钢球级配
Tab.1 Proportion of grind medium

钢球直径 /mm	60	50	40	30	总量
钢球质量 /kg	6	20.7	20.9	13.1	60.7
钢段质量 /kg		19.5			80.2

2 实验过程

2.1 实验原材料

级粉煤灰: 杭州火力发电厂, 其化学成分、质量指标见表 2。

回转窑熟料: 杭州三狮水泥有限公司生产的熟料; 天然石膏: 取自杭州三狮水泥有限公司; 砂子: 采用 ISO 型标准砂。

2.2 试验方案

原级粉煤灰经电动勃氏仪测定, 比表面积为 $294 \text{ m}^2/\text{kg}$; 然后经试验磨不同时间的粉磨制备不同细度的粉煤灰(见表 3)。

2.2.2 熟料和石膏制备

将石膏、熟料分别置于试验磨内, 分别粉磨

收稿日期: 2005-06-22。

第一作者简介: 应德标(1962-), 男, 硕士, 高级讲师。

表 2 级粉煤灰化学成分、质量指标

Tab.2 Chemical composition of grade fly ash

化学成分 /%						质量指标 /%		
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	细度 (45 μm 筛余)	烧失量	需水量比
53.80	30.75	5.12	3.25	0.99	0.33	37.4	7.68	108.8

表 3 级粉煤灰粉磨细度

Tab.3 Particle size of grade fly ash

时 间 /min	20	40	60
比表面积 /m ² ·kg ⁻¹	388	493	603

15 min 和 25 min。测得石膏的比表面积为 317 m²/kg, 熟料的比表面积为 300 m²/kg。

2.2.3 试样制备

将上述水泥熟料、石膏和级粉煤灰配制成普通水泥 (见表 4)。按水泥胶砂强度检验标准制成水泥试体, 标准养护(24 ± 2) h 后脱模, 试体标准养护, 测试各试体 3、7、28 d 龄期的抗压强度和抗折强度。

表 4 试样配制方案

Tab.4 Proportion of cement

试 样 编 号	w (熟料) %	石 膏 %	粉 煤 灰	
			掺 量 /%	细 度 /m ² ·kg ⁻¹
P-1	92	3	5	294
P-2	87	3	10	
P-3	82	3	15	
A-1	92	3	5	388
A-2	87	3	10	
A-3	82	3	15	
B-1	92	3	5	493
B-2	87	3	10	
B-3	82	3	15	
C-1	92	3	5	603
C-2	87	3	10	
C-3	82	3	15	

3 试验结果与讨论

3.1 试验结果

各试样编号的各龄期强度和对应的标准稠度需水量的测定值见表 5。

3.2 讨 论

(1)当粉煤灰掺量为 5%, 煤灰细度为 493 m²/kg 时, 试样 P-1、A-1、B-1 和 C-1 各龄期抗折、抗压强度较好; 对照 GB175-1999 标准, 按 P-1 试样的配制, 硅酸盐水泥为 P 52.5 等级, B-1 试样却可以配制 P 52.5R 等级的早强型硅酸盐水泥;

表 5 各试样编号的各龄期强度值和标准稠度需水量

Tab.5 Cement strength and standard water requirement

编 号	抗折强度 /MPa			抗压强度 /MPa			标准稠度 需水量 /%
	3d	7d	28d	3d	7d	28d	
P-1	4.7	6.9	9.0	25.8	37.4	57.5	26.0
P-2	4.5	6.7	8.8	23.5	35.1	50.3	27.4
P-3	4.1	6.3	8.2	22.8	33.4	47.8	28.2
A-1	4.8	7.0	9.2	26.2	37.9	58.3	26.7
A-2	4.7	6.9	8.9	24.1	36.8	51.0	27.5
A-3	4.2	6.5	8.4	23.1	34.2	48.2	28.3
B-1	5.1	7.2	9.5	27.3	38.5	58.8	27.0
B-2	4.8	6.9	9.0	24.6	37.1	53.1	27.8
B-3	4.5	6.8	8.7	24.3	36.2	50.2	28.5
C-1	4.5	6.9	9.3	26.5	36.3	58.6	27.4
C-2	4.9	7.2	9.0	25.4	37.8	53.4	28.0
C-3	4.4	6.6	8.7	23.7	35.6	48.5	28.6

(2)当粉煤灰掺量为 10%, 粉煤灰细度为 603 m²/kg 时, 所配制 C-2 试样各龄期强度最高;

(3)当粉煤灰掺量为 15%, 粉煤灰细度为 603 m²/kg 时, 所配制 C-3 试样各龄期强度处于最高。

(4)水泥净浆的标准稠度需水量随粉煤灰细度的提高而增大, 按理说水泥的早强会降低, 但因超细粉煤灰对早强的作用超过需水量增加的影响, 因此水泥早期强度不但没降反而有所提高。

3.3 分 析

粉煤灰在水泥中的活性主要是通过活性氧化物与水泥水化产物发生“二次水化反应”产生的。目前水泥生产一般采用混合粉磨工艺, 熟料颗粒细度与粉煤灰颗粒细度比较相近, 约为 0.08 mm 方孔筛筛余 2%~5%。此时粉煤灰活性很低, 水泥水化生产的早期强度主要是水泥熟料水化的结果, 粉煤灰仅起微集料填充作用^[2]。所以粉煤灰的潜能没有发挥, 随着粉煤灰掺量的增加, 水泥早期强度也随之降低, 不能适应一般建筑工程施工的要求。

如果采用先将粉煤灰与熟料分别粉磨再混合的生产工艺, 就有利于分别控制粉煤灰和熟料细度。可将熟料细度控制在一般水泥的细度范围, 而大幅度提高粉煤灰的细度, 尽量缩小粉煤灰与熟料的活性差距, 使两者的水化反应能较好地匹配, 从而提高水泥的早期强度。其活性发挥与水泥熟料活性匹配最佳, 使硅酸盐水泥强度等级提高一级。当粉煤灰掺量为 10%~15%, 细度为 600 m²/kg 左右时, 粉煤灰活性与水泥熟料活性匹配较好, 有利于粉煤灰的“二次水化反应”, 对应龄期的强度较高。 (下转第 42 页)

表1 实验主要设备的工作参数
Tab.1 Parameters of classifier

设备参数	数值	设备参数	数值
主机电机功率/kW	5.5	电机满载转速 /r·min ⁻¹	2900
排风机功率/kW	3.0	排风机主轴转速 /r·min ⁻¹	2900
螺旋输送机功率/kW	0.75	螺旋输送机电机转速 /r·min ⁻¹	1390
旋风收尘器型号	XZZ-III型	袋式收尘器型号	DMC-24

(主风机风量为 30 m³/min), 喂料量 68 kg, 运行时间为 35 min。

3.3 实验结果

分级后结果: 粗料 50.5 kg、旋风收尘器中 10.2 kg、袋式收尘器中 6.6 kg; 实验结果表明: 粒径在 3~6 μm 之间的粒子通过率较高, 特别是 3~10 μm 左右的粒子通过率是增加的; 当粒径 >15 μm 时, 通过率反而减少, 也就是说粒径大于 10 μm 的某个粒径开始, 就不能通过旋转叶片了。

4 结论

通过上述研究分析, 我们得到了影响分级机性能的几个关键因素:

(1) 颗粒的浓度对分级机的分级精度有较大的影响。气流速度梯度越大, 则分级精度越低。

从本分级机的实验中观察到, 浓度对分级精度的影响在最初阶段比较明显。当喂料速度缓慢时, 颗粒分布较为均匀, 分级效果较好; 相反, 当喂料速度过快, 颗粒的浓度较大, 颗粒间有着较大的相互干扰, 不易分散, 分级效果较差, 分级精度也较低。因此, 若对分级机的分级有较高的质量要求时, 应尽量保持喂料速度均匀, 避免出现较大的波动。

(2) 涡轮分级机的分级粒径的大小与涡轮转速、抽风机风量、风压及涡轮结构参数有关。实验表明, 对于一个结构尺寸确定的涡轮分级机, 通过选取前 3 个合适的参数, 可以得到较理想的分级粒径。如对于 150FJW 涡轮分级机, 分级粒径要求, 涡轮转速的最佳数值为 4 000~6 000 r/min。

梅芳^[3-5]等人研究了涡轮的几何尺寸对分级机分级精度的影响, 他们的研究表明分级粒度重叠宽度取决于涡轮半径和长度, 在涡轮半径或长度不变的情况下, 其长径比越小, 分级粒度重叠宽度越小, 分级精度越高。

(3) 分级机在分级的同时, 由于高速流动会形

成强烈的紊流, 使颗粒间、颗粒与分级机内壁、颗粒与涡轮叶片间产生强烈的碰撞, 会出现粉碎效应, 因此在分析分级精度时应考虑该因素的影响。

参考文献(References):

- [1] 张佑林. 粉体的流体分级技术与设备[M]. 武汉: 武汉工业大学出版社, 1997.
ZHANG You-lin. Fluid Classification technology and equipments for Powder[M]. Wuhan: Wuhan University of Technology Press, 1997. (in Chinese)
- [2] 梅芳, 陆厚根. 涡轮式气流分级机分级过程的数学分析[J]. 上海建材学院学报, 1995, 8(2): 125-131.
MEI Fang, LU Hou-gen. Mathematical analysis on classification process of turbine gas classifier[J]. Journal of Shanghai Institute of building materials, 1995, 8(2): 125-131. (in Chinese)
- [3] 梅芳, 陆厚根. 涡轮式气流分级机分级效率数学模型研究[J]. 同济大学学报, 1996, 24(3): 293-297.
MEI Fang, LU Hou-gen. Research on mathematical model of classification efficiency of turbine gas classifier[J]. Journal of Tongji University, 1996, 24(3): 293-297. (in Chinese)
- [4] 申祖武, 柯善. FGM 涡轮分级机的分级机理研究[J]. 辽宁建材, 2002, (4): 26-27.
SHEN Zu-wu, KE Shan. Research on classification mechanism of FGM turbine classifier[J]. Liaoning Building Materials, 2002, (4): 26-27. (in Chinese)
- [5] Mareus Adam, Stefan Zampini, Bodo Fruechler Augsburg. A new generation of classifier wheel [J]. Aufbereitungs Technik, 2001, 42 (7): 340-344.

(上接第 32 页)

因此, 采用分别粉磨再混合的生产工艺, 控制合适的粉煤灰的掺量和细度, 有利于熟料和粉煤灰活性发挥时间相当, 从而促使水泥早期强度的提高。

4 结论

(1) 当粉煤灰掺量 5%, 粉煤灰细度为 500 m²/kg 左右时, 粉煤灰活性与水泥熟料活性匹配最佳;

(2) 当粉煤灰掺量为 10%~15%, 粉煤灰细度为 600 m²/kg 左右时, 粉煤灰的潜在活性发挥最佳。

参考文献(References):

- [1] 帅政. 粉煤灰综合利用技术[J]. 能源基地建设, 2000, (3): 47.
SHUAI Zheng. Comprehensive utilization technology of fly ash[J]. Energy Base Construction, 2000, (3): 47. (in Chinese)
- [2] 周宗辉, 王玉广, 等. 采用分别粉磨工艺提高粉煤灰水泥早强的试验研究[J]. 水泥, 2000, (10): 11-12.
ZHOU Zong-hui, WANG Yu-guang. Experimental research on improving early strength of fly ash cement by respective grinding process[J]. Cement, 2000, (10): 11-12. (in Chinese)