



矿渣粉比表面积及粒度分布对水泥强度的影响

王 伟, 王文奎, 徐兆辉, 王 拓

(山东省建筑科学研究院, 山东 济南 250031)

摘要: 采用勃氏透气仪和激光粒度分析仪, 对矿渣粉试样进行比表面积和颗粒群粒度分布的测试, 研究矿渣粉比表面积及粒度分布对水泥强度的影响。结果表明: 矿渣粉总体颗粒越细, 则比表面积越大, 特征粒径越小, 颗粒群分布越宽; 细颗粒含量 (小于 5 μm) 越多的矿渣粉, 其比表面积越大, 水泥砂浆的早期强度就越高。

关键词: 矿渣微粉; 比表面积; 粒度分布; 强度

中图分类号: TQ172.4 **文献标志码:** A

文章编号: 1008-5548(2011)02-0080-03

Influence of Specific Surface Area and Particle Size Distribution of Superfine Slag Particles on Strength of Cement

Wang Wei, Wang Wenkui, Xu Zhaohui, Wang Tuo

(Shandong Province Academy of Building Research,

Jinan 250031, China)

Abstract: The specific surface area and particle size distribution of finely ground slag particles was measured by means of Blaine method and laser granulometer. The relationship between the particle size distribution of superfine slag particles and the cement strength was investigated accordingly. The results showed that the finely ground slag particles were smaller in general, the specific surface area was greater, the characteristic particle size was smaller, the particle size distribution was also wider. When the fine particles content (smaller than 5 μm) was more, the specific surface area was bigger, the early strength of cement mortar was also higher.

Key words: superfine slag particle; specific surface; particle size distribution; strength

关于矿渣粉作为水泥的混合材及高性能混凝土的掺合料, 国内外学者及工程技术人员进行了广泛的研究。磨细的矿渣粉不仅能等量取代水泥, 具有较好的经济效益, 而且还能显著地改善和提高混凝土的综合性能^[1-2]。目前, 人们往往用比表面积值来表征矿粉的粗细, 并且将其与掺有矿粉的水泥胶砂、混凝土的性能加以联系, 比表面积值固然能表示矿粉的总体粗细水平, 但它却无法反映矿粉的颗粒群分布情况。

收稿日期: 2010-08-19。

第一作者简介: 王伟(1981-), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为建筑材料性能及应用。电话: 13864017521, E-mail: wangwei81628@163.com。

从微集料效应考虑, 矿渣粉的性能与其粒度分布有直接的关系^[3], 由于细磨矿渣粉的粒度分布与 Rosin-Rammler-Bennett(RRB) 方程有较高的吻合性^[4], RRB 方程为 $\lg[\lg[100/R(x)]] = n\lg(x/x') + \lg\lg e$, 因此可用该方程中的特征粒径 x' 和均匀性系数 n 两个特性参数来确定矿渣粉颗粒群分布的总体特征, x' 值可以表征矿渣粉的总体粗细程度, n 值则反映了矿渣粉体颗粒粒径分布的宽窄程度, n 值越小, 颗粒粒径分布越宽。本文中依据 RRB 方程, 通过勃氏透气仪和激光粒度分析仪分别对矿渣微粉的比表面积与粉体颗粒粒径分布进行分析, 同时研究它们对水泥胶砂强度的影响。

1 实验

1.1 原材料

采用山东水泥厂生产的硅酸盐水泥作为基准水泥, 矿渣为山东某公司高炉水淬矿渣。利用直径 500 mm、筒体长 500 mm 的标准实验室磨机将粒状高炉矿渣按不同粉磨时间磨细成几种矿粉, 样品编号为 KF1—KF6。

1.2 测试方法

利用勃氏透气仪和激光粒度测试仪分别测试矿渣粉体的比表面积和颗粒群的分布; 将矿渣微粉等质量取代 50%(质量分数) 的基准水泥, 配成矿渣水泥, 按照 GB/T 17671—1999 规定的水泥胶砂强度检验方法测定其 7、28 d 的强度。

2 分析与讨论

2.1 矿渣粉比表面积与水泥胶砂强度的关系

通过勃氏透气仪测定了 6 个矿粉试样的比表面积, 其结果见表 1。

矿渣水泥胶砂强度检验结果见表 2。由表中矿渣水泥胶砂强度测试结果可以看出: 除矿粉试样 KF1 和 KF2 的 7 d 抗折强度及抗压强度均低于基准水泥的 7 d 强度外, 矿渣水泥的抗折和抗压强度都随着矿渣微粉比表面积的增大而增大, 强度与矿渣粉的比表面积几乎呈线性增长关系。这是因为矿渣微粉细度提高, 水化活性随之增大, 因此水泥胶砂强度也就越高。

表 1 矿渣粉试样比表面积

Tab. 1 Specific surface of ground slag particles

试样编号	KF1	KF2	KF3	KF4	KF5	KF6
t/min	30	45	60	75	90	105
$S_{\text{ss}}/(\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1})$	327	349	427	483	542	610

表 2 矿渣水泥胶砂强度测试结果

Tab. 2 Strength of cement mortar

试样编号	抗折强度 σ_f / MPa		抗压强度 σ_c / MPa	
	7 d	28 d	7 d	28 d
JZSN	5.6	6.8	27.9	44.0
KF1	5.1	8.2	25.2	48.7
KF2	5.3	8.6	25.0	48.9
KF3	6.0	8.9	28.9	56.3
KF4	6.6	9.3	31.7	57.4
KF5	6.8	9.4	33.4	60.8
KF6	7.7	9.8	37.3	65.9

注：JZSN 为基准水泥。

矿粉试样 KF3–KF6 的 7 d 强度较基准水泥均有所提高,而在 28 d 龄期时,所有矿渣水泥的抗折、抗压强度均有大幅提高,且均高于基准水泥的强度。

由以上分析可以看出：比表面积小于 350 m²/kg 的矿渣微粉活性发挥较低,且不同品种的矿渣微粉在如此低的比表面积时,其 7 d 活性发挥普遍较差;当比表面积介于 427~610 m²/kg 之间时,矿渣微粉的活性发挥较好,7、28 d 强度都已得到比较充分的发挥,随着比表面积的提高,其强度也已超过基准水泥的胶砂强度。

2.2 矿渣粉粒度分布与水泥胶砂强度的关系

采用激光粒度分析仪对矿粉试样进行测定,并对测定的颗粒群分布的结果根据 RRB 公式进行线性回归拟合^[5-6]。表 3 和表 4 分别为矿渣粉颗粒群分布结果及线性回归分析结果。表中 n 值表示均匀性系数, n 值越大,粉体颗粒分布范围越窄,表明颗粒分布越均匀,反之, n 值越小,颗粒分布越不均匀; x' 值为特征粒径, x' 值越大,粉磨的矿渣粉中粗颗粒所占的比例越大,反之则细颗粒所占比例越大。

图 1 和图 2 分别是矿渣粉 n 值、特征粒径 x' 值与水泥胶砂强度的关系图。由矿渣粒度分析数据和水泥强度数据的综合分析可以看出：矿渣粉 5 μm 以下颗粒累积质量分数中,KF1 和 KF2 明显低于其它矿粉试样,证明 KF1 和 KF2 中细颗粒含量较少,比表面积值相应较低,进而影响了矿渣粉的水化活性和水泥的早期强度。

由表 4 数据可以看出：矿粉试样 KF1 和 KF2 的均匀性系数与其它试样相比较低,即试样的颗粒群分布较窄,而且比表面积较低,就意味着在两个试样中,较粗和较细的颗粒较少,水化速率较快的细颗粒

表 3 矿渣粉颗粒群累积粒度分布

Tab. 3 Particle size distribution of superfine slag particles

粒径 $d/\mu\text{m}$	试样编号					
	KF1	KF2	KF3	KF4	KF5	KF6
1	4.72	5.78	6.20	7.29	8.11	8.98
2	10.50	13.30	14.11	16.41	18.21	20.35
3	13.48	17.42	18.55	21.60	24.25	27.80
5	18.60	22.30	25.85	29.95	33.80	38.85
8	24.70	30.50	32.40	37.70	41.95	48.70
10	30.40	39.10	41.35	46.75	51.80	56.30
15	41.35	50.70	53.25	57.70	63.11	68.57
20	50.70	60.90	63.93	70.33	75.45	79.80
25	59.45	69.78	72.58	78.98	83.30	86.80
30	66.73	76.85	79.46	85.80	89.70	92.50
35	72.60	82.10	84.40	89.95	92.50	94.60
40	77.45	87.85	88.50	92.90	94.75	96.65
45	84.20	90.60	91.75	94.80	95.75	97.80
50	88.15	94.87	96.80	97.52	97.80	98.50
60	92.47	95.90	97.70	98.10	98.49	99.35
70	96.30	97.85	98.45	99.45	99.83	99.90
80	98.15	98.80	99.20	99.90	99.92	99.99
90	98.90	99.27	99.50	99.97	99.99	100.00
100	99.30	99.80	99.97	99.99	100.00	
110	100.00	100.00	100.00	100.00		

表 4 矿渣粉试样线性回归拟合结果

Tab.4 Linear regression fitting results of superfine slag particles

试样编号	KF1	KF2	KF3	KF4	KF5	KF6
$x'/\mu\text{m}$	26.78	20.56	18.49	16.17	13.33	11.07
n	0.958	0.949	0.941	0.934	0.930	0.922
相关系数 R^2	0.997	0.997	0.998	0.997	0.998	0.998

就较少,因此降低了早期水化速率,导致早期强度明显下降。

由图 1 和图 2 还可以看出：矿渣粉的比表面积越高,其特征粒径 x' 越小,均匀性系数 n 值也越小,即矿渣粉越细,其粒度分布越宽。均匀性系数的减小意味着较粗和较细的矿粉颗粒都在增加,特征粒径降低意

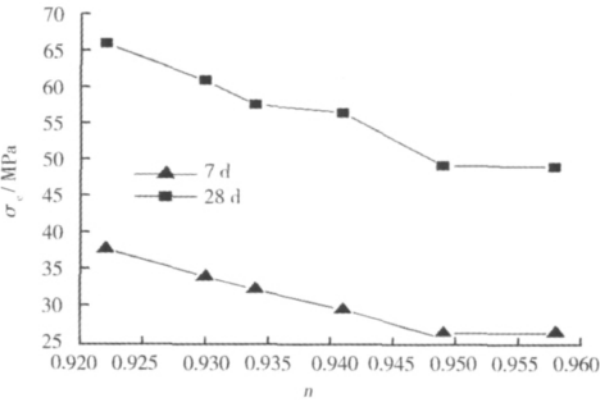


图 1 矿渣粉 n 值与水泥胶砂强度的关系

Fig.1 Relationship of n value and compressive strength of cement mortar

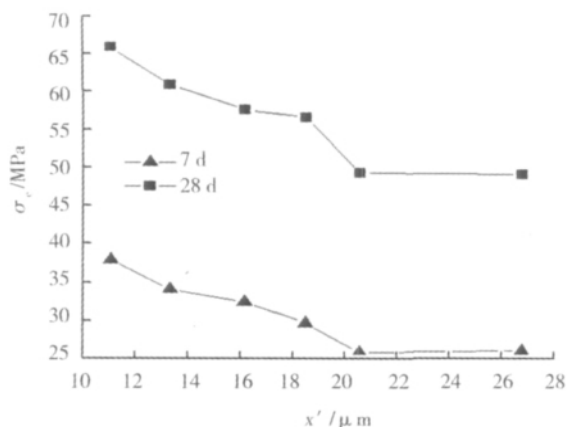


图 2 矿渣粉特征粒径与抗压强度的关系

Fig.2 Relationship of characteristic size of slag particles and compressive strength of cement mortar

意味着矿粉颗粒的平均粒径降低,水化速率较慢的大颗粒就相应减少。二者综合的效果就是提高了水化速率和水化程度,从而提高了水泥胶砂强度。因此在粉磨矿渣的过程中,可以通过高效选粉机工艺参数的调节,适当降低矿渣粉的特征粒径,降低均匀性系数,可以获得更高比表面积的矿渣微粉,同时还可以降低粉磨电耗,提高应用品质,具有很大的工程应用价值。

3 结论

1)矿渣粉总体颗粒越细,则比表面积越大,特征粒径越小,颗粒群分布越宽;

2)矿渣粉的比表面积越大,其水化活性越高,因此提高矿渣粉比表面积,有利于提高矿渣水泥胶砂强度。在矿渣粉比表面积相近时,通过同时降低矿渣粉的特征粒径和均匀性系数的方法,可以使得水泥胶砂强度获得更大的增强效果。

3)细颗粒含量(小于 $5 \mu\text{m}$) 越多的矿渣粉,其比表面积越大,水泥砂浆的早期强度越高。

参考文献 (References):

- [1] JAU W C, TSAY D S. A study of the basic engineering properties of slag cement concrete and its resistance to sea water corrosion [J]. Cement and Concrete Research, 1998, 28 (10): 1 363-1 371
- [2] 蒋家奋. 矿渣微粉在水泥混凝土中应用的概述[J]. 混凝土与水泥制品, 2002 (3): 3-6
- [3] 丁星, 蒲心诚. 水泥活性矿物掺料增强效应统计模型研究[J]. 硅酸盐学报, 1999, 27(4): 401-407
- [4] 赵三银, 赵旭光. 高炉矿渣的粉磨动力学研究[J]. 混凝土, 2002, 148(2): 7-9
- [5] 万惠文, 林宗寿, 水中和, 等. 矿渣微粉颗粒群分布及形貌对水泥性能的影响[J]. 武汉理工大学学报, 2003, 25(1): 19-22
- [6] 赵旭光, 文梓芸, 赵三银, 等. 高炉矿渣粉的粒度分布对其性能的影响[J]. 硅酸盐学报, 2005, 33(7): 907-911

共性技术与其他技术名词的区别与关系

在国内外讨论中,共性技术还经常与关键技术、竞争前技术、应用研究等概念相混淆。实际上,共性技术与这些概念有着本质不同。

共性技术研究不同于应用研究,也不等于试验发展。应用研究和试验发展是从研究开发阶段的角度,对技术创新过程的划分。而界定共性技术研究不仅要从研发阶段的角度,还要考虑到技术本身是否具有共性特征。不能在一个行业或多个行业得到普遍应用的应用研究或试验发展就不是共性技术研究。共性技术研究既可能处于应用研究阶段,也可能处于试验发展阶段,这取决于技术本身的特性和政府根据本国实际情况而做出的界定。

共性技术是竞争前研究开发活动,但两者也不等同。所谓“竞争前”是在以阶段划分研发过程的基础上,再加上“竞争前”这一限定条件。如果不具备共性特征,竞争前研发活动同样不是共性技术研究。共性技术研究则一定是处于竞争前的,具体处于竞争前的哪个阶段要视具体情况而定。

共性技术也不等同于关键技术。所谓关键技术是从一项技术对某企业、产业或国家提升技术水平的重要程度进行的定义。关键技术可能会具有共性特征,这要视具体的技术和产业特点确定,具有共性特征的关键技术是共性技术。而共性技术并不完全是从重要性角度进行界定的,这是与关键技术的本质不同。如果按重要程度划分,共性技术可分为关键共性技术,一般共性技术和基础性共性技术。因此,共性技术并不一定是关键技术。