

# 不同混合材对水泥减水剂适应性及胶砂强度的影响

蔡杰龙<sup>1</sup>, 吴笑梅<sup>2</sup>, 杨永民<sup>1,2</sup>

(1. 广东省水利水电科学研究院, 广东省水利重点科研基地, 广东 广州 510635;

2. 华南理工大学材料科学与工程学院, 广东 广州 510640)

**摘要:** 混合材类型的不同对水泥与减水剂之间的适应性和胶砂强度具有重要的影响。该文对广东某地3种矿物包括河砂、炉渣和铁渣进行粉磨并以一定比例掺入到水泥中, 研究其对水泥与减水剂的适应性和胶砂强度的影响规律, 为当地矿物资源利用提供参考依据。研究结果表明, 掺入铁渣的水泥样品减水剂适应性最好, 河砂次之, 炉渣最差; 掺入炉渣和铁渣的水泥胶砂28d抗压强度比均超过65%, 可作为活性混合材使用。

**关键词:** 水泥; 混合材; 减水剂适应性; 胶砂强度

**中图分类号:** TV42<sup>+1</sup>, TU528.042<sup>+2</sup> **文献标志码:** A **文章编号:** 1008-0112(2014)04-0052-05

在水泥工业中, 高炉矿渣、粉煤灰和火山灰质材料经常被用作水泥混合材, 随着商品混凝土的快速发展, 水泥混合材的供应逐渐凸显紧张局面。同时, 近些年来国家对环境保护以及工业废渣开发利用的呼声也越来越高, 其中混合材用于制造水泥受到众多材料科学人员的重视, 其即解决了工业废渣无处堆放占用空间的问题, 同时也减少环境污染并能代替部分天然矿物资源的消耗<sup>[1,3-6]</sup>。因此, 研究并开发利用已有资源制备水泥混合材成为当前水泥工业发展的关键。鉴于此, 本文针对广东某地3种矿物资源包括河砂、炉渣和铁渣进行试验, 研究其对水泥与减水剂适应性和胶砂强度的影响, 探索其作为水泥混合材的可行性, 为当地开发利用工业废渣、实现水泥工业可持续发展提供参考依据。

## 1 试验内容

### 1.1 主要原材料

#### 1.1.1 水泥

广东塔牌集团生产的P·II 42.5R水泥, 其化学组成及基本物理性能分别如表1和表2所示。

表1 水泥的化学成分

Loss	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Σ
2.75	20.92	4.80	3.02	62.32	1.97	2.24	98.02

表2 水泥基本物理性能

标准稠度/%	比表面积/(m <sup>2</sup> ·kg <sup>-1</sup> )	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	凝结时间/min		安定性	抗压强度/MPa	
			初凝	终凝		沸煮法	3 d
24.40	365	3.11	135	205	合格	29.0	53.1

#### 1.1.2 混合材

河砂、炉渣和铁渣3种原材料均来自广东某地, 分别粉磨成不同比表面积的样品后以30%的比例等质量替代水泥均匀混合成新的水泥样品进行相应试验, 混合前3种原材料化学成分和基本物理性能分别如表3和表4所示。

表3 混合材的化学成分

样品	Loss	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
铁渣	4.59	12.01	2.65	13.57	47.6	7.87	0.45
河砂	5.96	71.94	6.55	2.69	6.61	2.06	0.14
炉渣	4.08	53.55	3.56	3.07	14.34	1.06	0.75

表4 混合材基本物理性能

磨细河砂	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )		2.66				
	比表面积/(m <sup>2</sup> ·kg <sup>-1</sup> )		440	490	541	600	
	0.08 mm		1.1	0.8	0.6	0.5	
	筛余量/%		0.045 mm	13.8	12.6	7.9	8.7

收稿日期: 2014-02-17; 修回日期: 2014-03-16

作者简介: 蔡杰龙(1987), 男, 硕士, 助理工程师, 主要从事水泥混凝土及外加剂等建筑材料研究。

	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )		2.67			
磨细炉渣	比表面积/(m <sup>2</sup> ·kg <sup>-1</sup> )	353	412	488	544	
	筛余量/%	0.08 mm	15.5	9.8	8.0	2.4
		0.045 mm	40.6	34.8	25.9	17.8
	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )		3.30			
磨细铁渣	比表面积/(m <sup>2</sup> ·kg <sup>-1</sup> )	414	470	530	592	
	筛余量/%	0.08 mm	12.0	6.8	5.5	4.4
		0.045 mm	33.1	24.8	19.6	18.9

1.1.3 减水剂

深圳五山蔡系减水剂,固含量为30%,pH=6.2,密度=1.12 g/ml,减水率20%。

1.2 主要试验方法

将固定比例(混合材:水泥=3:7,质量比)的不同比表面积的混合材分别掺入到同一水泥中,过筛均匀混合制得新的水泥样品后进行相应试验。

1.2.1 Marsh筒试验

Marsh筒法按照文献[2]的规定进行,净浆水灰比为0.35,水泥样品用量为400g,用净浆搅拌机搅拌5min后,将净浆加入Marsh筒内,筒口用玻璃板控制浆体的流出,抽玻璃板的同时用秒表计时,测量浆体流满200ml量筒所需要的时间,改变减水剂掺量测量其流出时间<sup>[2]</sup>。

1.2.2 其它试验

比表面积测定方式参照GB/T 8074-2008《水泥比表面积测试方法 勃氏法》;密度测定方法参照GB/T 208-1994《水泥密度测定方法》;水泥胶砂强度测定方法参照GB/T 17671-1999《水泥胶砂强度检验方法(ISO法)》。

2 结果与讨论

2.1 对水泥物理性能的影响

将不同比表面积的磨细河砂、炉渣和铁渣掺入到水泥样品中进行水泥物理性能试验,结果如表5所示。

表5 混合材对水泥物理性能的影响

样品	比表面积 /(m <sup>2</sup> ·kg <sup>-1</sup> )	安定性	标准稠度 用水量/%	凝结时间/min	
				初凝	终凝
水泥	365	合格	24.40	130	175
	440	合格	25.80	175	225
	490	合格	25.80	170	220
	541	合格	26.00	160	210
	600	合格	26.00	160	210
磨细炉渣	353	合格	26.20	155	205
	412	合格	26.40	150	200
	488	合格	26.60	165	215
	544	合格	26.80	160	210
	414	合格	24.00	175	225
磨细铁渣	470	合格	24.00	170	220
	530	合格	24.00	160	210
	592	合格	24.00	180	230

由表5可见,掺入不同比表面积的磨细河砂、炉渣和铁渣制成的水泥样品安定性均合格,随着比表面积增大,水泥标准稠度用水量均呈现增大的趋势,而凝结时间变化规律不明显,但均满足标准要求(GB 175-2007)。

2.2 对水泥 Marsh 时间的影响

2.2.1 磨细河砂

图1中“水泥”是指纯水泥样品,“河砂”是指不同比表面积的磨细河砂以30%的比例等质量替代水泥后混合制成的新水泥样品。由图1可知,对于磨细河砂而言,随着比表面积的不断增大,在同等减水剂掺量下,其对应的水泥样品5min时Marsh时间呈现有规律的增大趋势;而对于同一种比表面积,5min时的Marsh时间则随着减水剂掺量的增大而逐渐减小。同时,由图1曲线发展趋势则可判断出,掺入比表面积分别为440m<sup>2</sup>/kg、490m<sup>2</sup>/kg、541m<sup>2</sup>/kg和600m<sup>2</sup>/kg的磨细河砂对应的水泥样品减水剂掺量饱和点分别为1.4%、1.4%、1.6%和1.6%,而基准水泥样品减水剂掺量饱和点则为1.0%,较其他4个磨细河砂对应的水泥样品要低。

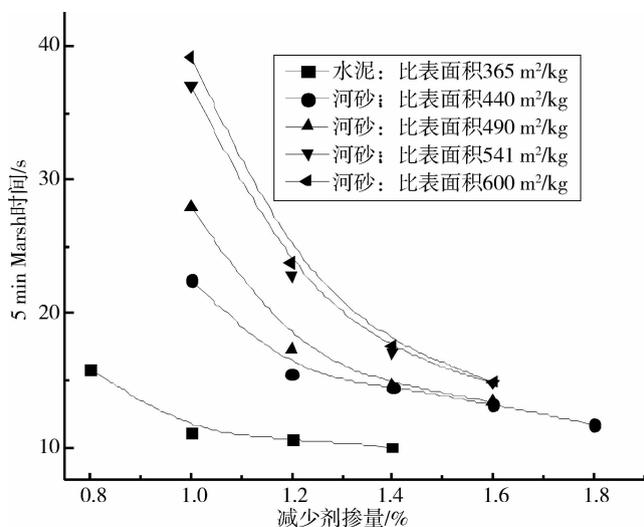


图1 掺入磨细河砂水泥样品5min时的Marsh时间

2.2.2 磨细炉渣

图2中“水泥”是指纯水泥样品,“炉渣”是指不同

比表面积的磨细炉渣以30%的比例等质量替代水泥后混合制成的新的水泥样品。由图2可知，对于磨细炉渣而言，随着比表面积的不断增大，在同等减水剂掺量下，其对应的水泥样品5 min时 Marsh 时间呈现有规律的增大趋势；而对于同一种比表面积，5 min 时的 Marsh 时间则随着减水剂掺量的增大而逐渐减小。同时，由图2曲线发展趋势则可判断出，掺入比表面积分别为 353 m<sup>2</sup>/kg、412 m<sup>2</sup>/kg、488 m<sup>2</sup>/kg 和 544 m<sup>2</sup>/kg的磨细炉渣对应的水泥样品减水剂掺量饱和点分别为 1.4%、1.6%、1.8% 和 1.8%，而基准水泥样品减水剂掺量饱和点则为 1.0%，较其他 4 个磨细炉渣对应的水泥样品要低。

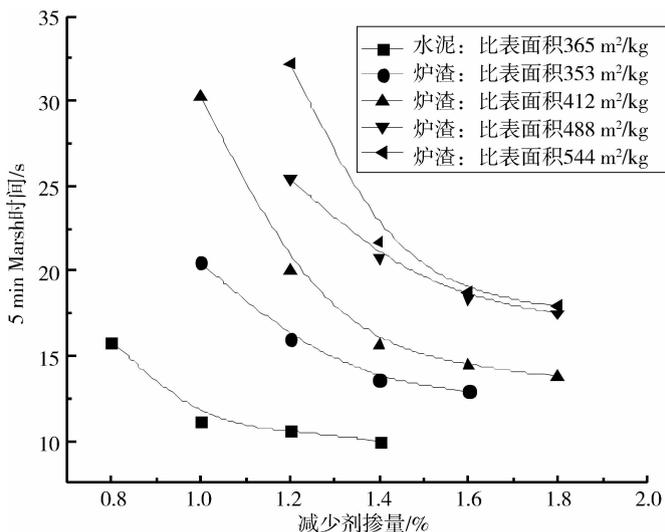


图2 掺入磨细炉渣水泥样品 5 min 时的 Marsh 时间

### 2.2.3 磨细铁渣

图3中“水泥”是指纯水泥样品，“铁渣”是指不同比表面积的磨细铁渣以30%的比例等质量替代水泥后混合制成的新的水泥样品。由图3可知，对于磨细铁渣而言，随着比表面积的不断增大，在同等减水剂掺量下，其对应的水泥样品5 min时 Marsh 时间呈现有规律的增大趋势；而对于同一种比表面积，5 min 时的 Marsh 时间则随着减水剂掺量的增大而逐渐减小。同时，由图3曲线发展趋势则可判断出，掺入比表面积分别为 414 m<sup>2</sup>/kg、470 m<sup>2</sup>/kg、530 m<sup>2</sup>/kg 和 592 m<sup>2</sup>/kg的磨细铁渣对应的水泥样品减水剂掺量饱和点分别为 1.2%、1.2%、1.4% 和 1.4%，而基准水泥样品减水剂掺量饱和点则为 1.0%，较其他 4 个磨细

铁渣对应的水泥样品要低。

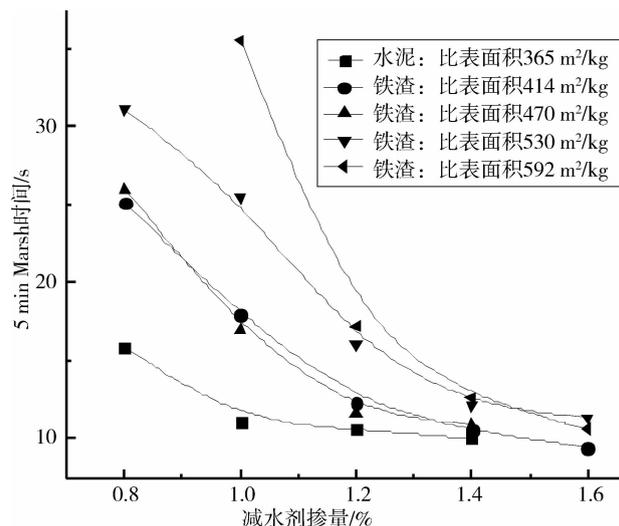


图3 掺入磨细铁渣水泥样品 5 min 时的 Marsh 时间

由图1~图3及上述分析得知，对于掺入同一种混合材的水泥样品，在相同减水剂掺量情况下，比表面积越大，吸水量越多，Marsh 时间越大，往往表现出的减水剂适应性越差；而当比表面积相同的情况下，减水剂掺量越大水泥样品吸水量则越少，Marsh 时间就越小，当减水剂达到一定掺量下其吸附会逐渐达到饱和，Marsh 时间不再变化。

### 2.2.4 不同混合材对比

由表6数据对比可知，3种不同的混合材，当取相近比表面积即河砂为440 m<sup>2</sup>/kg、炉渣为412 m<sup>2</sup>/kg、铁渣为414 m<sup>2</sup>/kg时，掺入炉渣的水泥样品减水剂掺量饱和点最大，铁渣的则最小，河砂居中。同样，当取相近比表面积即河砂为490 m<sup>2</sup>/kg、炉渣为488 m<sup>2</sup>/kg、铁渣为470 m<sup>2</sup>/kg时，3种不同混合材对应的水泥减水剂掺量饱和点的大小顺序依然是炉渣 > 河砂 > 铁渣。由此得知，在同等比表面积条件下，掺入不同混合材的水泥减水剂掺量饱和点的大小顺序为炉渣 > 河砂 > 铁渣。而从纯水泥样品的数据可知，比表面积为365 m<sup>2</sup>/kg的P·II 42.5R水泥减水剂掺量饱和点为1.0%，虽其比表面积相对较低，但饱和点与其它混合材相差较大。由此可以说明，掺入3种不同混合材的水泥样品，减水剂适应性最好的是铁渣，河砂次之，炉渣则最差，而掺入该3种混合材在一定程度上则会降低纯水泥样品的减水剂适应性。

表6 不同混合材对水泥 Marsh 时间的影响

样品	比表面积 $/(m^2 \cdot kg^{-1})$	减水剂适应性/%						饱和点/%	饱和点对应的 Marsh 时间
		0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8		
水泥	365	15.8	11.1	10.6	10.0	/	/	1.0	11.1
河砂	440	/	22.5	15.5	14.5	13.2	11.7	1.4	14.5
炉渣	412	/	30.3	20.0	15.6	14.4	13.8	1.6	14.4
铁渣	414	25.1	17.9	12.3	10.5	9.4	/	1.2	10.5
河砂	490	/	28.0	17.3	14.7	13.4	/	1.4	14.7
炉渣	488	/	/	25.4	20.8	18.4	17.5	1.8	17.5
铁渣	470	26.0	17.0	11.6	10.9	/	/	1.2	11.6

## 2.3 对水泥胶砂强度的影响

### 2.3.1 抗折和抗压强度

由表7数据可知,随着混合材比表面积的不断增大,水泥样品1 d、3 d和28 d的水泥胶砂抗折和抗压强度总体呈现不断增大的趋势。究其原因,结合表3中河砂的化学成分可知,其主要化学组成为惰性的游离 $SiO_2$ ,参与水化反应的能力较低,在水泥浆体中颗粒的填充作用更明显,从而导致浆体体系更加密实,随着比表面积增大,浆体的密实度也随着增大,从而导致胶砂强度得到不断提高。而对于具有一定水化活性的炉渣和铁渣而言,比表面积越大,颗粒平均粒径越小,水化速率越快,在各个龄期下水化程度越高,掺入水泥中对水泥胶砂强度的贡献也就越大。

通过对比不同混合材和纯水泥样品之间的强度,1 d和3 d水泥胶砂抗压强度均以炉渣最高,河砂次

之,铁渣最低,而28 d水泥胶砂抗压强度则以炉渣最高,铁渣次之,河砂最低。究其原因,样品强度产生主要来自于水泥和混合材颗粒的化学(水化)作用和物理(填充)作用。结合表4中混合材的基本物理性能分析可知,河砂对应的水泥样品早期(3 d前)强度的产生可能主要源于河砂物理填充作用导致整个结构更加密实有关;炉渣可能由于早期水化速度较快或与水泥水化矿物反应程度较高,从而对早期强度贡献较大有关;铁渣虽细颗粒含量最多早期水化速率最快,但可能与铁渣在水泥浆体体系中的物理填充作用较弱导致其对水泥胶砂早期强度贡献较低有关。而后期(3 d后)炉渣水化速率依然较快,铁渣次之,河砂相对较慢,当达到28 d龄期时,炉渣对应的水泥胶砂抗压强度总体最高,铁渣次之,河砂最低。

表7 不同混合材对水泥胶砂强度的影响

编号	品种	比表面积/ $(m^2 \cdot kg^{-1})$	抗折强度/MPa			抗压强度/MPa		
			1 d	3 d	28 d	1 d	3 d	28 d
0	纯水泥	365	3.3	5.7	8.6	14.1	29.0	53.1
1	磨细河砂	440	1.9	3.6	6.6	7.4	17.0	32.2
2		490	2.0	3.7	6.8	7.8	17.6	32.7
3		541	2.0	4.0	6.5	8.1	18.6	33.6
4		600	2.1	4.1	6.8	8.2	18.4	34.4
5	磨细炉渣	353	1.9	3.8	6.7	7.4	18.4	34.6
6		412	1.9	4.0	7.0	7.6	18.6	34.8
7		488	2.1	4.2	7.0	7.9	20.6	38.1
8		544	2.1	4.3	7.6	8.4	20.5	40.1
9	磨细铁渣	414	1.8	4.0	6.8	6.6	17.5	33.9
10		470	1.9	4.1	7.0	6.8	17.4	35.1
11		530	1.9	4.3	6.6	7.0	17.9	35.1
12		592	2.0	4.0	6.8	7.0	17.6	35.2

### 2.3.2 水泥胶砂28 d抗压强度比

混合材水泥胶砂28 d抗压强度比是指在同一水灰比条件下,掺有30%一定比表面积的磨细混合材等量替代水泥制成的水泥混合料28 d胶砂抗压强度与纯水泥样28 d胶砂抗压强度的比值。由图4可知,同一种混合材对应的水泥胶砂28 d抗压强度比均随着比表面积增大而增大,这与同龄期条件下颗粒越细水化程

度越高或填充作用越显著有关。而在比表面积相近的情况下,不同混合材对应的水泥胶砂28 d抗压强度比的大小顺序为炉渣>铁渣>河砂,即对水泥胶砂强度贡献程度大小顺序为炉渣>铁渣>河砂。其中4种比表面积的炉渣和3种比表面积的铁渣28 d抗压强度比均超过65%,说明炉渣和铁渣具有一定的潜在的水硬活性和火山灰活性,根据活性混合材标准(GB/T 2847

-2005)不低于65%的要求,两者均可作为活性混合材使用。而磨细河砂对应水泥胶砂28d抗压强度比虽不符合要求,但结合2.1节分析结果可知,掺入磨细河砂的水泥样品安定性、标准稠度用水量和凝结时间均符合标准要求(GB 175-2007),仍可作为普通混合材使用。

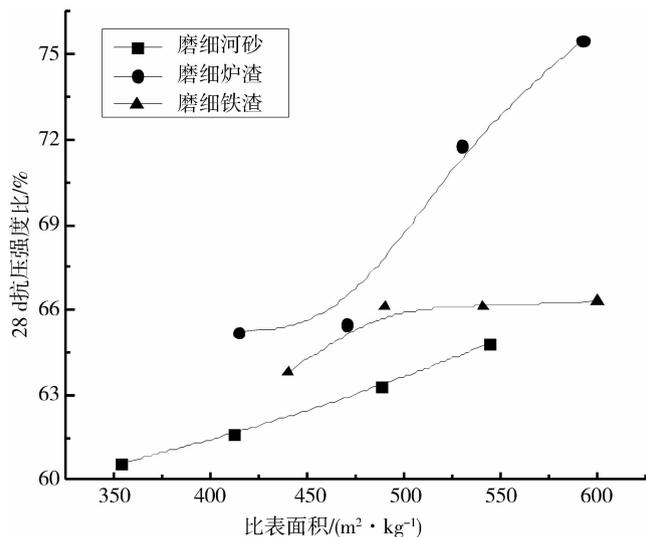


图4 3种混合材对应的水泥胶砂28d抗压强度比

### 3 结论

1) 对比掺入不同混合材的水泥样品,从5min时的Marsh时间及测得的饱和点可知,减水剂适应性以

掺入磨细铁渣的水泥样品最好,河砂次之,炉渣最差;

2) 从水泥胶砂抗折和抗压强度上看,3种混合材中,炉渣对强度贡献最大,铁渣次之,河砂最小;

3) 根据水泥胶砂28d抗压强度比数据以及活性混合材标准,炉渣和铁渣均可作为活性混合材使用。掺入磨细河砂的水泥样品安定性、标准稠度用水量和凝胶时间均符合标准要求,可作为普通混合材使用。

#### 参考文献:

- [1] 沈威,黄文熙,闵盘荣. 水泥工艺学[M]. 武汉:武汉理工大学出版社,1998.
- [2] 中国建材研究院水泥小组编著. 水泥性能及其检测[M]. 北京:中国建材工业出版社,1994.
- [3] 杨永民,孙虎,林东. 石粉用作水泥混合材对水泥性能的影响研究及机理分析[J]. 广东水利水电,2012(9): 8-11.
- [4] 孙振平,蒋正武,王培铭,等. 商品混凝土中减水剂与水泥、混合材适应性的研究[J]. 商品混凝土,2004(1): 11-15.
- [5] 赵旭光,郭文瑛,文梓芸,等. 高效减水剂与矿渣、钢渣复合混合材的适应性研究[J]. 混凝土,2005(4): 39-43.
- [6] 王立华,陈理达,刘佳. 矿渣和粉煤灰对胶砂力学性能的影响研究[J]. 广东水利水电,2012(3): 19-22.

(本文责任编辑 马克俊)

## Effect of Different Admixtures on Water Reducer Compatibility of Cement and Mortar Strength

CAI Jielong<sup>1</sup>, WU Xiaomei<sup>2</sup>, YANG Yongmin<sup>1,2</sup>

(1. Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower,

Guangdong Provincial Key Scientific Research Base, Guangzhou 510635, China;

2. South China University of Technology, School of Materials Science and Engineering, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** Different kinds of admixtures have a great influence on the compatibility between cement and water reducer and the mortar strength. This article studies the effect law of three kinds of admixtures including natural sand, furnace slag and iron slag which were milled and mixed into the cement in a certain ratio on the water reducer compatibility of cement and mortar strength, then provides reference for local manufacturers to optimize the use of resources and control the cost of the cement. The result shows that the cement mixed with iron slag is the best on water reducer compatibility, natural sand is a little worse and furnace slag is the worst. Ratio of cement mortar compression strength with 28 days all exceed 65% for furnace slag and iron slag which are all available for active admixture.

**Key words:** cement; admixture; water reducer compatibility; mortar strength