

# 粉煤灰中球形玻璃微珠含量检测探讨

曹 钺, 柴景波

(中国人民武装警察部队 水电第三总队, 四川 成都 610036)

**摘要:**粉煤灰由于其具备“形态效应、微集料效应及活性效应”,在将其掺入混凝土后对混凝土多项性能指标有大幅度改善。其中形态效应主要是因优质粉煤灰中含有大量球形玻璃微珠而形成的。现行规范对粉煤灰品质的检测共有七项内容,但缺少对球形玻璃微珠含量的检测项目。近年来市场上出现了球形玻璃微珠含量较少的伪 I 级粉煤灰,因此,建议修订标准,增加球形玻璃微珠含量检测项目。

**关键词:**粉煤灰;球形玻璃微珠;检测;标准

**中图分类号:**TV431;V448.15<sup>+</sup>1

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2012)02-0195-03

## 1 粉煤灰在混凝土中的作用机理

粉煤灰由于其具备“形态效应、微集料效应及活性效应”,掺入混凝土后对混凝土多项性能指标有大幅改善,主要表现在减少混凝土用水量、改善和易性、降低水化热温升。

### 1.1 形态效应

粉煤灰由不同形状的颗粒组成,在电子显微镜下显示优质粉煤灰中 45  $\mu\text{m}$  以下的球形颗粒占 80% 以上。这些球形颗粒粒形完整,表面光滑,质地致密,在混凝土中如同轴承滚珠一样起到润滑作用,使混凝土拌和物更加致密、匀质,同时兼备减水作用。根据经验,采用电吸尘粉煤灰减水效果可达 10% 左右,在同样的用水量下,混凝土塑性增加,在稠度不变时,粉煤灰可减小用水量。

### 1.2 微集料效应

在电吸尘的粉煤灰中,5  $\mu\text{m}$  以下的颗粒约占 10% ~ 15%, 10  $\mu\text{m}$  以下的颗粒为 25% ~ 30%。这部分颗粒比水泥细度小,在水化热初期形成晶核,在水化产物表面上沉淀结晶,大量粉煤灰颗粒分散在水泥颗粒之间,熟料矿物的水化生成物被分散开,从而促进熟料矿物的水化反应,明显的改善和增强混凝土的结构强度,提高其匀质性和致密性。

### 1.3 活性效应

活性效应又称“火山灰效应”。因粉煤灰系火山灰质材料,其火山灰反应分为三个阶段。第

一阶段是静止期,在此期间,粉煤灰颗粒都分散在水介质中,熟料矿物与水发生水化反应,粉煤灰只起分散胶溶作用。第二阶段为活化期,此时水泥颗粒继续与水接触,熟料中的硅酸盐矿物继续水化并生成许多 C-S-H 凝胶体,同时生成的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  向液相中扩散,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  不断增加,在水和碱条件下,粉煤灰中活性  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  被激发,产生水化反应,即二次水化反应。在粉煤灰颗粒表面上生成 C-S-H 凝胶体,同时有钙矾石形成。第三阶段是结晶期。由于 C-S-H 凝胶体含量不断增加以及再结晶作用,晶体不断生长增长,形成结晶迭聚体,交织成网状结构填充空隙,从而提高混凝土的耐久性能。

以上三种效应相互关联,互为补充。粉煤灰的品质越高,效应越大。由于粉煤灰品质主要由其所含的玻璃微珠球体的比例决定,因此,粉煤灰对混凝土性能改善的程度是由其所含的玻璃微珠球体的比例决定的。

## 2 不同玻璃微珠球体含量的粉煤灰效果对比

I 级粉煤灰烧失量低、颗粒细、球形颗粒含量高,45  $\mu\text{m}$  以下的玻璃微珠球体含量应在 90% 以上,从而使形态效应、微集料效应和火山灰效应得以充分发挥,具有 1+1>2 的效果。

对编号为 A 和 B 两种品牌 I 级粉煤灰的玻璃微珠球体含量进行检测。A 品牌粉煤灰在放大至 200  $\mu\text{m}$  时电子显微镜下的成像见图 1;在放大至 20  $\mu\text{m}$  时电子显微镜下成像见图 2;B 品牌粉煤灰在放大至 200  $\mu\text{m}$  时电子显微镜下的成像见图 3,

收稿日期:2012-04-10

在放大至 50  $\mu\text{m}$  时的电子显微镜下成像见图 4。

### 2.2.1 粉煤灰品质检验

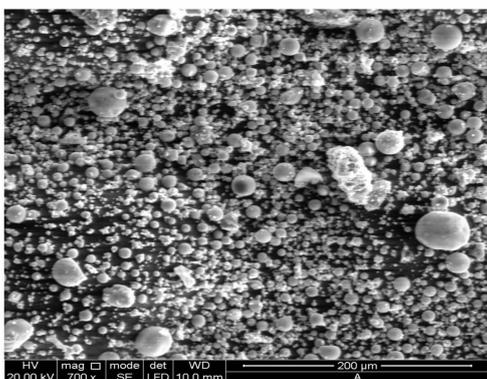


图 1 A 品牌粉煤灰放大至 200  $\mu\text{m}$  时的成像

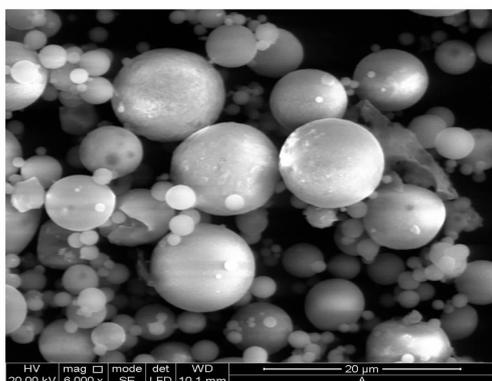


图 2 A 品牌粉煤灰放大至 20  $\mu\text{m}$  时的成像

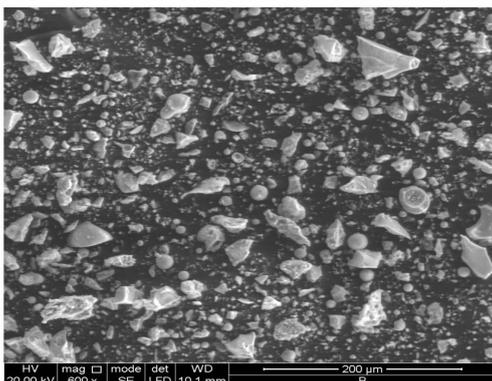


图 3 B 品牌粉煤灰放大至 200  $\mu\text{m}$  时的成像

对两种品牌 I 级煤灰的品质检验结果见表 2。检测结果表明其各项指标符合 DL/T5055 - 2007《水工混凝土掺用粉煤灰技术规范》I 级粉煤灰的标准。

### 2.2.2 粉煤灰玻璃微珠球体含量及强度对比

粉煤灰的作用是减少混凝土用水量、改善和易性、降低水化热温升。粉煤灰与水泥混合加水得到的扩散颗粒和致密浆体有利于提高混凝土的

密实性、强度和耐久性;粉煤灰在胶凝材料与水的二次反应过程中提升了混凝土的性能,粉煤灰对混凝土性能改善的程度是由其所含的玻璃微珠球体的比例决定的。

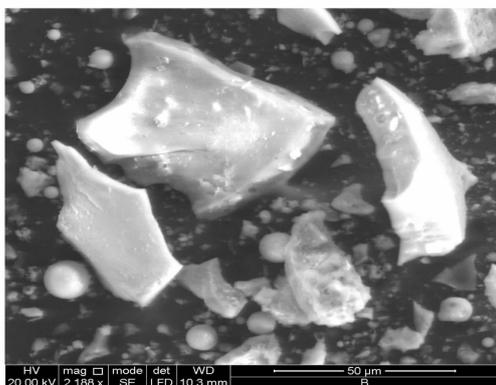


图 4 B 品牌粉煤灰放大至 50  $\mu\text{m}$  时的成像

两种粉煤灰不同掺量下混凝土抗压强度对比试验结果见表 3。由表 3 得知, A 品牌粉煤灰在不同龄期的抗压强度均高于 B 品牌粉煤灰,最高抗压强度高约 5 MPa。

### 2.2.3 两种粉煤灰减水效果对比

I 级粉煤灰减水作用是由形态效应和微集料效应决定的。粉煤灰中的玻璃微珠能使水泥砂浆粘度和颗粒之间的摩擦力降低,使水泥颗粒均匀分散,在相同稠度条件下降低用水量。另外, I 级粉煤灰颗粒较细,可改善胶凝材料的颗粒级配,使填充胶凝材料部分空隙的用水量减少,从而降低用水量。

由表 4 可知,两种品牌粉煤灰都有显著的减水效果,其减水效果差异不大。

通过对不同玻璃微珠球体含量的粉煤灰的品质检验度对其减水效果及相应混凝土强度指标的对比,可以发现除强度指标相差较大外,品质检验符合规范要求,减水效果也基本一致。笔者分析 B 品牌粉煤灰可能是由 II 级灰或其他材料磨细后加入适量减水剂制成的,因此规范中的品质检验标准都能达到。但由于其玻璃微珠含量过低,起不到润滑作用和致密作用,从而在混凝土强度指标方面达不到 I 级粉煤灰应有的作用。

## 3 结论与建议

鉴于本次发现伪 I 级粉煤灰混凝土施工性能和力学性能与真正的 I 级粉煤灰相差甚远,用于工程将产生严重后果,建议相关部门尽快修订粉

表2 粉煤灰品质检验结果表

粉煤灰品种	密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	细度 /%	烧失量 /%	需水量比 /%	含水量 /%	$\text{SO}_3$ /%
A 品牌粉煤灰	2.4	8.4	4.8	95	0.24	1.21
B 品牌粉煤灰	2.42	8.9	3.2	94.6	0.17	1.76
DL/T5055-2007	/	$\leq 12$	$\leq 5$	$\leq 95$	$\leq 1$	$\leq 3$

表3 两种粉煤灰不同掺量下混凝土抗压强度试验成果表

粉煤灰掺量 /%	A 粉煤灰(抗压强度 MPa)			B 粉煤灰(抗压强度 MPa)		
	7 d	28 d	90 d	7 d	28 d	90 d
0	16.3	23.8	25.4	16.3	23.8	25.4
30	14.1	22.6	28	12.5	20.3	23.5
40	13.3	21.4	29.4	11.6	19.4	25.9
50	12.7	20.6	30.2	10.7	18.5	26.3
60	11.6	19.8	32.6	8.8	17.6	27.2

表4 I级粉煤灰掺量与混凝土用水量关系表

粉煤灰掺量 /%	基准混凝土( $W/C=0.50$ )				JM200 掺量 /‰
	A 粉煤灰		B 粉煤灰		
	/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	减水率 /%	/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	减水率 /%	
0	120	0	120	0	
10	114	5.0	116	3.3	
20	108	10.0	110	8.3	
30	103	14.2	104	13.3	0.06
40	98	18.3	101	15.8	
50	97	19.2	99	17.5	
60	95	20.8	97	19.2	

煤灰检测规程,增加玻璃微珠检测项目,杜绝磨细粉煤灰冒充 I 级粉煤灰的现象。

#### 作者简介:

曹 钺(1976-),男,陕西宝鸡人,十一支队总工程师,工程师,学

(上接第 194 页)

$\times 1.5 \text{ m}$  水管布置) 通水 14 d, 表面采用聚氨脂喷涂泡沫板粘贴。

混凝土浇筑过程中,对于整个导流明渠,不论是结合段,还是消力池段的混凝土,在各个浇筑季节,浇筑厚度对混凝土的影响较小。采用 2 m 厚度施工、在施工过程中采用薄层浇筑并适当延长层间间隔时间,可以降低水化温升。

#### (2) 流水养生。

新浇筑混凝土达到终凝后,抽取雅鲁藏布江河水对整个仓面进行表层流水养生,该方法可有效削减水化热温升,降低明渠内部混凝土温度。在实施过程中,可以在混凝土表面设置钻有小孔的  $\varphi 7.62 \text{ cm}$  的 PVC 管,持续养生 14 d。

#### (3) 模板拆除。

为了防止混凝土在拆模时边角破损,可以尽

量延长拆模时间至一周左右。

士,从事水利水电工程施工技术与管理工作;  
柴景波(1983-),男,河南长葛人,十支队实验室副主任,助理工程师,学士,从事试验检测工作。

(责任编辑:李燕辉)

量延长拆模时间至一周左右。

## 7 结 语

藏木水电站位于我国西南高海拔严寒地区,明渠混凝土做为大坝的一部分,温度控制与防裂是工程施工过程中的重要课题。通过进行温度应力有限元仿真计算并结合施工经验参数可知:明渠混凝土浇筑过程和养护期间,在多个部位出现温度引起的较大拉应力,极易产生温度裂缝。通过混凝土拌制、浇筑和养护期在现有施工条件下的降温、保温、材料、结构等一系列保温措施的落实,可以有效防止混凝土表面开裂,确保高原混凝土施工质量。

#### 作者简介:

黄永贵(1967-),男,四川简阳人,十一支队支队长,高级工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)