

(18)

护面材料

粉煤灰砂浆 水混类土

掺合料

83-87

# 新型水工抗冲磨护面材料的研制与应用

支拴喜 尚许阁

贺科治

(甘肃省电力试验研究所,兰州,730050) (甘肃省电力局,兰州,730050)

TV431

**摘 要** HF型高强耐磨粉煤灰砂浆(混凝土)是利用大电厂废弃物粉煤灰作掺合料,复合适宜的多功能外加剂研制而成的一种比硅粉砂浆(混凝土)性能更优越的新型水工抗冲磨护面材料。已在六个水利水电工程中应用,效果良好,经济效益显著。在水利水电工程中具有广阔的推广应用前景。

**关键词** 粉煤灰砂浆(混凝土) 掺合料 复合外加剂 抗冲耐磨 护面材料

## 1 问题的提出

水利水电工程中普遍存在含泥沙(包括推移质)水流的冲刷磨损及高速水流的空蚀对泄水建筑物护面的破坏,影响建筑物使用的耐久性甚至威胁工程的安全运行。因此,开发和应用新型的护面材料是一重要的研究课题。在我国先后使用的护面材料有多种,如环氧砂浆(混凝土)、铸石板、铸铁板、钢板、花岗岩料石及高标号干硬砂浆(混凝土)等。但这些材料都因存在这样或那样的缺点,使用效果并不理想。近年来开发研制的硅粉混凝土以其优良的抗冲耐磨性能在工程中得到了普遍的推广应用,取得了较好的技术经济效果。但近年来,由于硅粉供不应求,价格猛涨,已严重制约了硅粉混凝土的应用。为解决这一问题,经3年多大量的试验研究,我们开发研制出了技术性能优良、原材料易得、价格低廉的高强耐磨粉煤灰砂浆(混凝土),经工程使用,效果良好。

## 2 试验用原材料

试验使用祁连山525#普硅水泥、省内外十几种粉煤灰、多种化工原料及混凝土外加

剂。所用骨料除兰州本地沙石料外还使用了刚玉及铁矿石等耐磨骨料。

## 3 配合比试验中主要采取的技术措施

与硅粉相比粉煤灰的成份较复杂,颗粒粗,火山灰活性低,掺入混凝土中一般会使强度发展速度减缓,强度降低,抗冻,抗碳化及抗冲耐磨性能降低。因此,过去粉煤灰在水利工程中主要是作为大体积混凝土的掺合料,一般不允许在有抗磨要求的工程部位中使用。为了使粉煤灰能代替硅粉应用于抗冲耐磨混凝土中,我们主要采取了以下技术措施。

### 3.1 选择适宜的粉煤灰

粉煤灰是直接参加水泥水化反应的组份,其品质的优劣会影响胶凝材料水化反应的速度及水化产物的化学成份与微观结构,影响砂浆(混凝土)的力学性能与耐久性能。试验中对省内外十几种原状粉煤灰及几种加工粉煤灰进行了对比试验。找出了粉煤灰品质对抗冲耐磨混凝土性能的影响规律,进而得出了配制高强耐磨粉煤灰砂浆(混凝土)所用粉煤灰需具备的条件。

### 3.2 通过对多种外加剂的筛选、复合、合成

• 本项目为甘肃省“八五”科技攻关(GK944-1-126-2)“高强耐磨粉煤灰砂浆(混凝土)的研制与应用”专题成果。本成果的技术持有人为支拴喜、尚许阁、贺科治。

出适合配制抗冲耐磨砂浆(混凝土)的外加剂

该复合外加剂具有多种功能:可显著减小水灰比,提高混凝土强度;可激发粉煤灰的火山灰活性,使掺粉煤灰混凝土的水化速度加快,并可使水化产物致密坚硬,抗冲耐磨性能提高;具有减小高强混凝土坍落度损失的作用,使混凝土坍落度在1~2h内损失减小,有利于施工。另外该外加剂对减小混凝土干

率,提高混凝土的耐久性也有显著的作用。

### 3.3 选择质地坚硬耐磨骨料

混凝土中的粗细骨料占混凝土总体积的60%以上,砂浆中沙子的比例也达50%以上,因此,骨料的抗冲耐磨性能对混凝土的抗冲耐磨性能有显著的影响。对几种不同质地的骨料所配制的砂浆(混凝土)进行的对比试验结果见表1。

表1 骨料对粉煤灰砂浆及混凝土性能的影响

编号	水泥用量 /kgm <sup>-3</sup>	粗骨料 种类	细骨料 种类	流动度 /cm	抗压强度/MPa			抗磨强度/hm <sup>2</sup> ·kg <sup>-1</sup>		
					7d	28d	90d	28d	90d	180d
S26	680	/	河沙	3.8	61.9	89.9	95.7	2.38	3.8	5.1
S27	760	/	棕刚玉+河沙	4.5	67.7	84.4	93.9	3.17	5.85	6.93
S39	765	/	铁矿砂+河沙	2.2	/	75.1	/	/	/	/
FH1	425	河卵石	河沙	3.3	57.6	79.1	89.8	1.73	2.71	/
FH4	445	铁矿石	河沙	2.0	79.5	88.6	103.3	1.12	/	/
FH3	545	铁矿石	铁矿砂	0.5	78.9	96	101.5	1.15	3.62	/

由试验结果可明显的看出,选择耐磨的骨料,可提高混凝土的抗冲耐磨性能。

## 4 高强耐磨粉煤灰砂浆(混凝土)的物理力学性能

### 4.1 新拌粉煤灰砂浆(混凝土)的性能

新拌高强耐磨粉煤灰砂浆(混凝土)具有良好的粘聚性和保水性,不易发生离析与泌水,即使混凝土坍落度达18~22cm,混凝土仍具有良好的抗离析与保水性能。在单位用水量相同的情况下,比普通砂浆(混凝土)或硅粉砂浆(混凝土)流动性更好,坍落度更大,并且因粉煤灰中含有大量的玻璃微珠,在拌合物中产生“滚珠效应”,使其易于施工浇筑,易于振捣密实和收光抹面,并可进行泵送浇筑,克服了硅粉混凝土施工难度大的缺点。

由于复合外加剂中使用了可减小混凝土坍落度损失的组份,使粉煤灰混凝土在1~2h内坍落度损失减小,使其比硅粉混凝土更易于浇筑抹面。

### 4.2 一般力学性能

#### 4.2.1 抗压强度

在常规水泥用量下,高强耐磨粉煤灰砂浆(混凝土)的28d强度可达与硅粉混凝土相当的强度,砂浆可达80~100MPa,混凝土可达70~90MPa,当使用特种骨料时,混凝土强度可达100MPa。尽管粉煤灰砂浆(混凝土)7d强度较硅粉砂浆(混凝土)稍低(约低5%),但已达28d强度的70%以上,因而属早强砂浆(混凝土)的范畴,见图1。

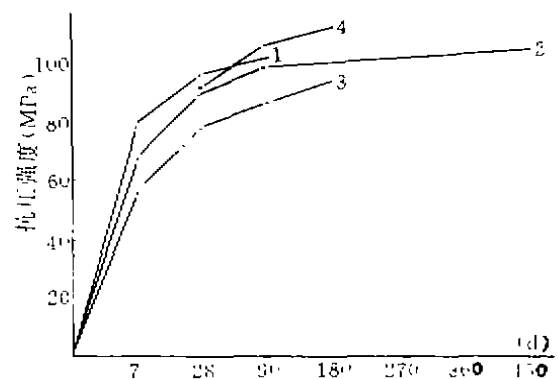


图1 粉煤灰砂浆(混凝土)随龄期变化曲线  
注:1 粉煤灰铁矿石(混凝土);2 粉煤灰砂浆;3 粉煤灰混凝土;4 刘家峡现场试验,粉煤灰高强砂浆。

#### 4.2.2 抗磨强度

与硅粉砂浆(混凝土)相比,粉煤灰砂浆(混凝土)的抗磨强度稍低,而后期较高。几种不同骨料的砂浆(混凝土)的抗磨强度随龄期变化曲线见图2~4。由图上估计大约40d以后,粉煤灰砂浆的抗磨强度大于硅粉砂浆的抗磨强度。我国许多工程,混凝土护面层设计使用年限为10年,因而,从长期效果来看,粉煤灰砂浆(混凝土)是一种比硅粉砂浆(混凝土)抗磨性能更优的护面材料。

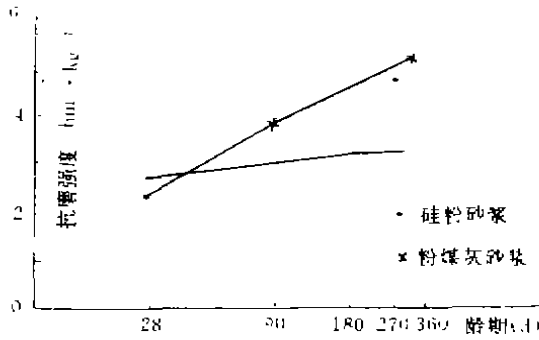


图2 天然河沙水泥砂浆的抗磨强度与龄期关系

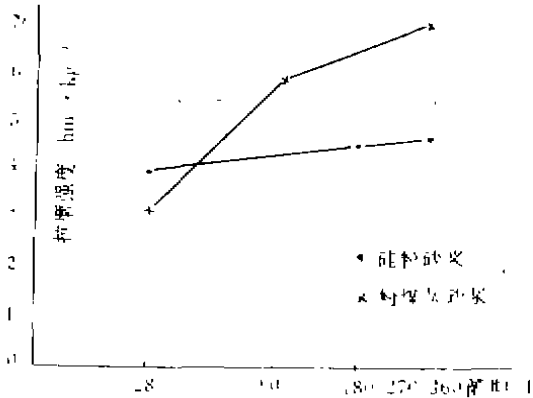


图3 棕刚玉水泥砂浆的抗磨强度随龄期关系

#### 4.2.3 抗空蚀性能

利用磁致空化伸缩仪,对高强耐磨粉煤灰砂浆与硅粉砂浆的抗空蚀性能进行了测试,从试验结果可看出见图5,两种砂浆的抗

空蚀性能相同。

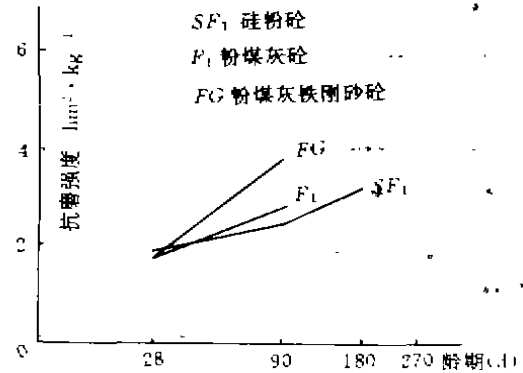


图4 几种混凝土抗磨强度与龄期关系

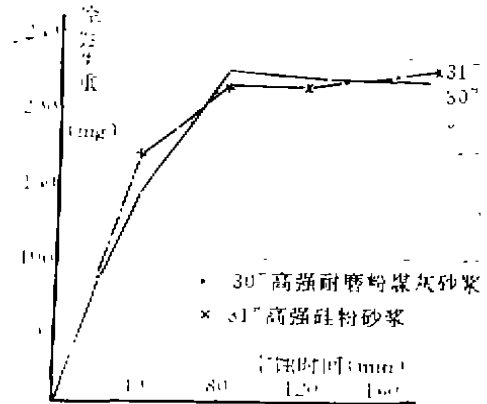


图5 砂浆空蚀失重随空蚀时间变化曲线

#### 4.2.4 其它力学性能

高强耐磨粉煤灰混凝土的静压弹模  $E_h = 46.1 \text{ GPa}$ , 砂浆与砂浆粘结强度大于  $2.46 \text{ MPa}$ 。

#### 4.3 粉煤灰砂浆的干缩变形

硅粉砂浆(混凝土)的缺点之一就是早期干缩率太大,在应用中易于产生干缩裂缝,在一定程度上影响了其使用效果。经测试,粉煤灰砂浆的早期干缩率比普通水泥砂浆还小,因此,与硅粉砂浆比较,粉煤灰砂浆不易产生干缩裂缝。试验结果见表2。

表2 几种高强砂浆干燥试验结果

编号	掺合料		各龄期的干燥率/ $\times 10^{-4}$			
	品种	掺量/%	1d	2d	3d	4d
S <sub>10</sub>	—	—	1.31	2.79	3.63	8.94
S <sub>11</sub>	粉煤灰	15	1.31	2.46	3.38	7.31
S <sub>12</sub>	硅粉	15	1.88	3.25	4.23	9.1

## 4.4 高强耐磨砂浆(混凝土)的耐久性

几种砂浆耐久性能试验结果见表3。试验结果表明,高强耐磨粉煤灰砂浆与硅粉砂浆耐久性能相当,都具有优良的耐久性能。

表3 几种砂浆对耐久性能试验结果

材 料	抗渗标号	抗冻标号 (慢冻法)	碳化深度/mm (快速碳化28d)	抗硫酸盐侵蚀系数 k(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 浓度为20250mg/L 的Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 溶液)
50MPa普通水泥砂浆	—	—	6.1	0.75
高强耐磨粉煤灰砂浆	> S <sub>11</sub>	> D <sub>110</sub>	0	1.04
硅粉砂浆	> S <sub>12</sub>	> D <sub>110</sub>	0	1.05

表4 高强耐磨粉煤灰砂浆(混凝土)的技术指标

材 料	水 泥 /kg·m <sup>-3</sup>	流动度 /cm	抗 压 强 度/MPa			抗 磨 强 度 /hm <sup>2</sup> ·kg <sup>-1</sup>		抗折强度 /MPa	劈拉强度 /MPa
			7d	28d	90d	28d	90d	28d	28d
粉煤灰砂浆	680	3.8	66.7	89.3	99.2	2.38	3.8	11.5	—
粉煤灰玉砂浆	760	4.5	67.7	84.4	98	3.17	5.85	14	—
硅粉玉砂浆	760	3.1	69.3	84.7	100	4.0	4.47	—	—
粉煤灰混凝土	425	3.3	57.6	79.1	89.8	1.73	2.71	—	5.73
粉煤灰铁矿石 混凝土	545	0.5	78.9	96.0	101.5	1.73	3.62	—	7.01
粉煤灰铁矿石 混凝土(河砂)	445	2.0	79.5	88.6	103.3	—	—	—	6.5

## 5 经济比较

硅粉在1989年售价仅400元/t。近年来由于供不应求,价格已上涨至2000~3000元/t。又由于硅粉的容重仅为水泥的1/4,运输单价约为水泥的一倍。加上目前全国仅有为数不多的硅铁厂可供应硅粉,硅粉的运距较远,这些因素使硅粉运至工地的价格更高。如果硅粉运至工地的价格按2500元/t计算,粉煤灰运至工地的价按200元/t计算,每立方米砂浆和混凝土使用的硅粉与粉煤灰量分别按,砂浆:110kg/m<sup>3</sup>,混凝土:70kg/m<sup>3</sup>计算,则几种抗磨材料中就掺合料一项的费用如下:

硅粉砂浆中硅粉费用275元/m<sup>3</sup>,硅粉

混凝土中硅粉费用175元/m<sup>3</sup>。

粉煤灰砂浆中粉煤灰费用22元/m<sup>3</sup>,粉煤灰混凝土中粉煤灰费用14元/m<sup>3</sup>。

高强耐磨粉煤灰砂浆与硅粉砂浆(混凝土)所使用的外加剂费用相等,在使用的骨料与水泥相同的情况下,使用高强耐磨粉煤灰砂浆(混凝土)代替硅粉砂浆(混凝土),节约费用分别为253元/m<sup>3</sup>与161元/m<sup>3</sup>,经济效益显著。

## 6 工程应用情况简介

1995年3月,高强耐磨粉煤灰砂浆(混凝土)的研制与应用项目顺利通过了甘肃省科委组织的技术鉴定。研制的新型抗磨蚀材料以低廉的价格、优良的性能在水利水电工

程中具有广阔的使用前景。至1995年9月份,该材料已在6个水利水电工程中得到了应用,使用效果良好。以下仅对应用最早且有代表性的两个工程的应用情况作一简单介绍。

#### 6.1 在刘家峡水电站泄水道维修工程中的应用

刘家峡泄水道为水电站泄洪、排沙、排污和向下游供水的主要泄水建筑物。最大泄水流速38.6m/s,水流最大含沙量达961kg/m<sup>3</sup>。由于泥沙磨损与空蚀破坏,使泄水道护面屡遭破坏,自1975年以来曾先后进行过10多次维修,总修补面积达1万多m<sup>2</sup>。花费了大量的人力物力和财力。所使用的修补材料也有多种,包括3200环氧砂浆、81022组份环氧砂浆、干硬水泥砂浆等抗磨材料。近年来使用的胶乳硅粉水泥砂浆修补,比较经济,效果也比较好。

1993年4月,我们在泄水道维修工程中,在使用胶乳硅粉水泥砂浆的同时,也使用了高强耐磨粉煤灰砂浆。使用部位位于泄水道出口附近及左导墙冲刷破坏比较严重的地方。总修补面积23m<sup>2</sup>,其中立墙2m<sup>2</sup>。现场取样试件抗压强度为: $R_{28} = 91.4\text{MPa}$ ,  $R_{90} = 106.5\text{MPa}$ ,  $R_{180} = 112.7\text{MPa}$ 。在泄水道多处出现破坏的情况下,使用高强耐磨粉煤灰砂浆无一处发现有脱落掉块现象,表面平整光滑,磨损甚微,使用效果良好,见封三照片。

#### 6.2 在酒泉洪水河灌区东干渠维修工程中的使用

酒泉洪水河东干渠,设计引水流量25m<sup>3</sup>/s,由于属底栏栅引水,引入渠道中的水中泥沙及推移质含量很大,对渠底混凝土衬砌磨损严重。渠道中有一处陡坡,总落差达9m,陡坡下游流速近20m/s,由于含沙量大,流速高,陡坡段及其下游曾发生多次严重破坏,虽经屡次修补,效果不佳。

1993年4月份,在该处修补工程中,使用了高强粉煤灰混凝土,总修复面积约240m<sup>2</sup>,原计划浇筑厚度18~20cm,因所备材料不足,实际浇筑厚度平均仅12cm,最薄处5~10cm,总浇筑量约32m<sup>3</sup>。

由于当时下游灌区急需供水,浇筑后第三天就开始过水,发挥了高强粉煤灰混凝土早期强度高的优点,保证了下游用水。

经过三年的运行,使用高强粉煤灰混凝土修复的区段未发生任何破坏,表面冲刷磨损甚微,应用效果良好。

### 7 结 论

1. 粉煤灰可以作为配制高强耐磨砂浆(混凝土)的掺合料。掺粉煤灰复合适宜的外加剂,可在常规水泥用量下,配制出80~100MPa的高强砂浆,70~90MPa的高强度混凝土,使用优质骨料时,混凝土的强度可达90MPa以上。

2. 高强耐磨粉煤灰砂浆(混凝土)具有强度高强的特点及良好的耐久性能,各项技术指标基本达到了硅粉砂浆(混凝土)的相应指标。尽管早期抗磨强度较低,但后期抗磨强度则显著较硅粉砂浆(混凝土)高。考虑护面使用年限较长,因而该材料是一种比硅粉砂浆(混凝土)抗磨性能更优的护面材料。

3. 与硅粉砂浆(混凝土)相比,高强耐磨粉煤灰砂浆(混凝土)具有和易性好,坍落度损失小、干缩率小之优点,且成本低廉、资源充足,便于推广应用。

4. 骨料对砂浆(混凝土)的抗压及抗磨性能影响较大,使用中应注意选材,对特殊工程可使用耐磨料作骨料,以使其抗磨性更好。

5. 高强耐磨粉煤灰砂浆(混凝土)已在实际工程中得到应用,经过两个汛期的过水考验,未发生破坏,使用效果良好。

(联系电话:(0931)2334311-3513)

(收稿日期:19950919)