

粉煤灰预应力混凝土性能研究

张宽权

摘要 介绍粉煤灰在预应力混凝土中的应用技术及性能研究的部分成果。

关键词 粉煤灰 预应力混凝土 性能研究

引言

我国是一个电力生产大国,预计全国电厂年排放量可达1.2~1.5亿吨。如不将这些粉煤灰很好地利用,不仅大量占用土地资源,造成资源浪费,而且更严重的是造成大气层污染、土壤污染和资源污染,危害人类生存环境和自身健康。

在诸多综合利用粉煤灰途径之中,粉煤灰用于混凝土,可以说是最能大量节省建材、节约能源的一条有效途径。

高性能混凝土 HPC(High Performance Concrete)是利用优质水泥、集料、饮用水和活性细混合材料与高效外加剂配制而成的优质混凝土,它不仅强度高,而且耐久性、工作性以及各种力学性能优良,甚至具有某些特殊功能,如超早强、低脆性、高耐磨性、吸声、自呼吸性等。而优质粉煤灰就是一种配制高性能混凝土的优良的活性细混合料。将粉煤灰掺入混凝土拌合料中,不但可以代替部分水泥,而且可以改善和提高混凝土的工作性能。只要在选料、确定配合比、养护条件等方面遵循一定的规则,所制成的粉煤灰混凝土可以提高强度,改善混凝土的工作性,降低徐变,降低干燥收缩率,减少渗透性,改善混凝土对硫酸盐侵蚀的抵抗力,减弱或消除碱—氧化硅化反应,提高混凝土制品的修整性等。因而,在某些情况下,采用优质粉煤灰配制高性能混凝土是特别适宜的。本文着重介绍粉煤灰在预应力钢筋混凝土中的应用技术及性能研究的部分成果,以促进

优质粉煤灰在高性能混凝土中的推广应用。

2 粉煤灰混凝土的基本力学性能

中国城乡建设粉煤灰利用技术开发中心等单位,于1991年对全国26个省市装机量在5万KW以上的烧煤发电厂,调查了解我国部分电厂粉煤灰资源状况。其品质调查结果如表1、2所示。

表1 我国电厂粉煤灰化学成分波动范围

成分	烧失量	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
范围	0.63 ~	34.30 ~	14.59 ~	1.50 ~	0.44 ~	0.20 ~	0.10 ~	0.10 ~	0.02 ~
(%)	29.97	66.75	40.12	16.22	16.80	3.72	6.00	4.23	2.14
平均值	7.9	60.8	28.1	6.2	3.7	1.2	0.8	1.2	0.6

表2 我国电厂粉煤灰物理性能变动范围

项目	相对密度	细度	需水量比
		80μm筛余(%)	(%)
范围	1.75~2.70	0~57.2	90.9~123.5
平均值	2.14	18.9	103.8

由表1、2可知,我国粉煤灰大多属低钙灰,且细度偏粗,大多属于Ⅱ级灰。

粉煤灰的品质基本上由细度来决定,而粉煤灰的细度对混凝土材料影响也较大,表3给出我院的部分试验结果。

表 3 成都电厂粉煤灰混凝土

	水泥用量 (kg/m ³)	混凝土配合比					水胶比 (W/C+F)	塌落度 (cm)	抗压强度 (MPa)		
		水泥	砂	卵石	粉煤灰	外加剂			3d	7d	28d
干排原状灰	500	1	1.25	2.54	0.05	0.01	0.30	3.6	43.4	54.6	66.1
	490	1	1.25	2.53	0.10	0.01	0.30	3.4	38.3	50.6	56.2
	420	1	1.25	2.37	0.15	0.01	0.30	3.0	36.9	48.1	57.7
	461	1	1.32	2.67	0.05	0.01	0.30	1.6	42.7	57.2	73.5
干排磨细灰	420	1	1.47	2.98	0.10	0.01	0.30	4.0	41.9	53.2	71.1
	381	1	1.63	3.31	0.15	0.01	0.30	2.9	38.5	48.7	71.1
	330	1	1.89	3.85	0.20	0.01	0.30	1.5	38.3	50.7	70.8
	560	1	1.15	3.28	0.15	0.01	0.30	0.3	57.2	69.9	84.0
	445	1	1.34	3.77	0.25	0.01	0.30	2.7	51.3	65.7	84.1

注:①卵石粒径为5~20mm, *为5~20mm碎石,砂为中砂,525普通硅酸盐水泥,泵系高效减水剂;
②干排原状灰比表面积1375cm²/g,磨细后比表面积5200~6800cm²/g。

表 4 粉煤灰混凝土的力学性能

水泥用量 (kg/m ²)	粉煤灰掺量 (%)	外加剂掺量 (%)	抗压强度 (MPa)	轴心抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	弹性模量 (MPa×10 ⁴)	钢筋抗拔强度 (MPa)
533	0	1.0	67.3	54.7	2.48	3.34	72.8
480	10	1.0	67.1	55.1	2.94	3.15	77.3
453	15	1.0	65.1	56.1	2.79	3.22	77.8
426	20	1.0	67.8	55.7	2.61	3.24	81.2
400	25	1.0	67.6	56.7	2.68	3.15	74.7
373	30	1.0	60.0	49.7	2.29	3.16	76.9

表 5 试验混凝土配合比

硷强度等级	粗骨料	水灰比	砂率 %	级配	粉煤灰掺量 (%)	外加剂掺量 (%)	每 m ³ 硷材料用量 (kg)				坍落度 (cm)	
							水	水泥	粉煤灰	砂		
C40	卵石	0.43	34.82	1	20	0.6(FIM)	153	285	71	587	109	15
C60	碎石	0.335	36.5	1	15	1.5(FTS)	184	468	81	615	107	18

表 6 强度、弹模和干缩

硷	抗压强度 (MPa)				弹模 (MPa)×10 ⁻⁴		干缩 (×10 ⁻³)						
	3d	7d	28d	90d	180d	28d	3d	7d	14d	28d	60d	90d	180d
C40	16.0	40.5	47.4	21.9	29.4	67.70	144.28	274.62	414.53	534.51	562.51	600.79	
C60	26.6	39.9	51.6	56.4	60.9	38.8	112.39	231.39	380.15	528.91	633.59	699.69	754.84

表 7 徐变比 (10⁻⁶/MPa)

混凝土	加荷龄期 (d)	持荷时间 (d)							
		3	7	14	28	60	90	120	150
C40	28	13.8	17.3	21.3	26.0	31.1	34.1	36.4	38.5
C60	28	10.8	13.9	17.6	21.9	26.6	29.1	31.0	32.6

表 8 粉煤灰对混凝土的影响

	性能	与同等级普通硷土相比较	效果
新拌硷	和易性	增加	相同坍落度粉煤灰混凝土易于操作
	可浇注性或可泵送性	改善	对于给定重量的复合水泥,由于粉煤灰密度较小,使水泥浆体体积增加,即易于填充孔隙,产生一种较密实的充填结构。
	需水	降低	减少拌合物需水量,减少渗水和离析
	凝结时间	延长	在低温下尤其明显
	修整性	改善	产生一种均匀的、稳定的、密实的填充质结构,有助于改善硷修整特性
水化中硷	水化热	降低	降低拌合水蒸发率,有利于减少硷发生塑性收缩裂缝风险
	早期强度	降低	早期强度降低,可以由现场浇注温度上升得到部分补偿,应加强养护。
已硬化硷	长期强度	增长	粉煤灰硷长期强度增长导致产生较多的密实凝胶体,可以有效地用来浇灌高强度硷
	弹性模量徐变	增加减少	粉煤灰硷较硬,能减少硷在荷载作用下的变形,粉煤灰硷有较大应变恢复能力
	热膨胀	稍微降低	
	收缩	不变或降低	不明显,收缩对其它一些影响因素更敏感
	导热系数	不变	
耐久性	渗透性	降低	由于含水量的减少,振捣密实、水泥水化反应增强以及凝硬反应,在硷中掺粉煤灰有利于降低硷的渗透性
	硫酸盐侵蚀	降低	减少小硫酸盐侵蚀能力
	碱-骨料反应	减弱或消除	粉煤灰是一种可用来在硷中减弱或消除碱-氧化硅反应材料
	碳化	未受影响	
	对钢筋锈蚀	无明显影响	掺粉煤灰硷并不会更容易遭受导致钢筋腐蚀的氯化物侵蚀
	冻融循环	降低	应考虑渗透性降低的有利作用

由表 3 可知,磨细的优质粉煤灰可以配制高性能混凝土(当然,这里仅从强度而言),而且也可以认为:细度是用于混凝土的粉煤灰质量的单

一最重要的因素。

表4给出我院粉煤灰混凝土基本力学性能的部分试验结果。

表5~7给出我院两组粉煤灰混凝土强度、干缩和徐变试验结果。图1给出时间、徐变比曲线。表8综合给出粉煤灰对混凝土性能的影响。

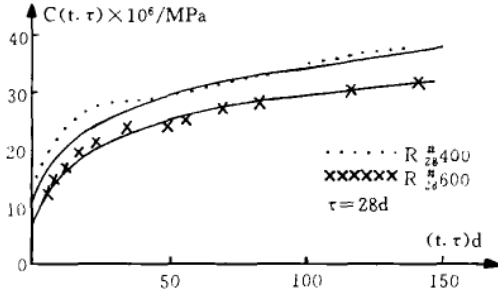


图1

3 粉煤灰混凝土的构件性能

从技术观点而言,粉煤灰混凝土可以改善干硬拌合料的粘聚性,和易性好,产品修整性改善,便于施工;加之粉煤灰混凝土收缩徐变减少,耐久性增强,这就是结构性预制混凝土,特别是预应力混凝土构件中使用粉煤灰的好处。下面介绍我院最近进行的一组预应力大型屋面板结构试验的主要结果。

试验构件采用工业厂房结构构件标准图件G410《1.5×6.00米预应力钢筋混凝土屋面板》YWB-2Ⅱ型板,C30硷,预应力筋为Ⅱ级钢筋,硷的配合比见表9。

表9 YWB-2Ⅱ板配合比(每 m^2 用料,kg)

组分 板号	水	水泥 (525R)	砂 (粗砂)	卵石 (5~20mm)	粉煤灰
1	155	335	653	1267	0
2	155	301.5	647	1267	33.5(10%)
3	155	285	645	1267	50.0(15%)
4	155	268	624	1267	67.0(20%)
5	155	251.25	639	1267	83.75(25%)

注:①水泥采用江油双马牌525R普通硅酸盐水泥;
②粉煤灰为成都华能电厂Ⅱ级干排灰。

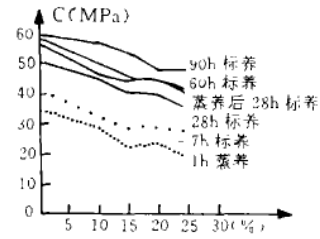


图2

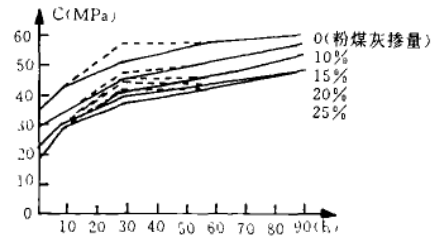


图3

试块强度随粉煤灰不同掺量变化曲线如图2;试块强度按粉煤灰不同掺量随龄期变化曲线如图3。由图可见,随粉煤灰掺量的增加,试块强度有不同程度的下降;但掺粉煤灰凝土试块后期强度则有较大增长。

YWB-2Ⅱ板标准荷载为 $3.86\text{kN}/\text{m}^2$,试验采用法码分级均布加载,主要试验结果列于表10。

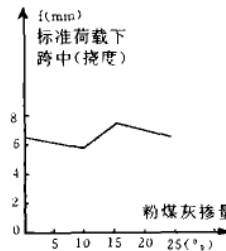


图4

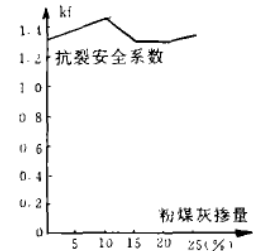


图5

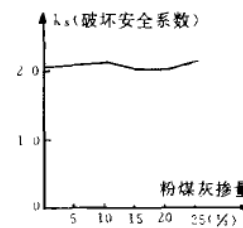


图6

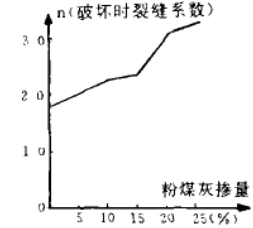


图7

表 10 YWB-2 I 板结构试验结果

项目 板号	标准荷载 作用下挠 跨比	抗裂安全 系数 K_1	破 坏			
			安全 系数 K_2	挠跨比	裂缝 条数	特征
1	1/900	1.33	2.03	1/138	18	裂宽大 于 1.5mm
2	1/1014	1.49	2.11	1/155	23	同上
3	1.785	1.33	1.99	1/93	24	同上
4	1/849	1.33	2.05	1/129	31	同上
5	1/900	1.38	2.11	1/130	33	同上

标准荷载作用下跨中挠度、抗裂安全系数 K_1 、强度安全系数 K_2 及破坏时裂缝条数随粉煤灰掺量的关系曲线,分别如图 4~7 所示。由各表和图可见,标准荷载作用下跨中挠度、抗裂安全系数 K_1 和强度安全系数 K_2 ,随粉煤灰掺量增加而无明显变化;而破坏时裂缝条数则随粉煤灰掺量增加而明显增多,表明结构塑性破坏特征更倾向明显。

实测跨中截面应变分布如图 8 所示。由图可见,各板虽然粉煤灰掺量不同,但跨中截面应变分布均符合平均平截面假定。掺粉煤灰预应力构件与未掺粉煤灰的普通混凝土预应力构件,跨中截面应变分布无明显差异。

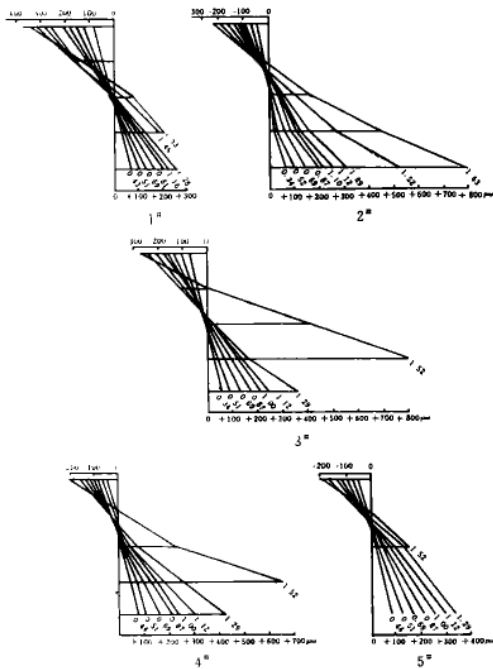


图 8

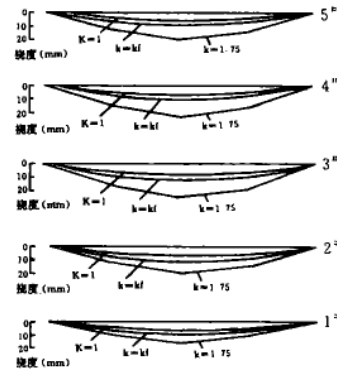


图 9

由图 9 可见,掺粉煤灰预应力混凝土构件与未掺粉煤灰普通预应力混凝土构件,其荷载挠度曲线无明显差异。

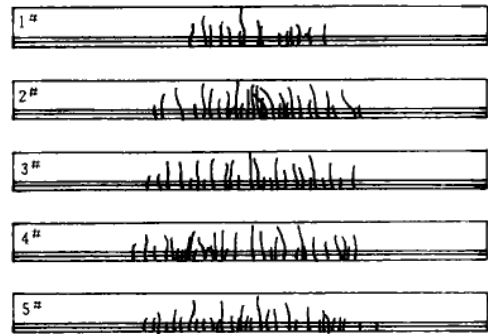


图 10

由图 10 可见,掺粉煤灰预应力混凝土构件与未掺粉煤灰普通预应力混凝土构件,裂缝条线明显增多,表明掺粉煤灰预应力混凝土构件塑性破坏特征更为显著。

综上所述,掺粉煤灰的预应力混凝土构件(粉煤灰掺量可达 30%),与基准预应力混凝土构件,其构件性能无明显差异。由此可知,掺粉煤灰的预应力混凝土构件仍然采用普通预应力混凝土构件的标准规范和设计计算方法是可行的。

4 结语

概而论之,优质粉煤灰是一种配制高性能混凝土的优良活性混合料。将粉煤灰掺入混凝土拌合料中,不但可以代替部分水泥,而且在一系列方面都可以改善和提高混凝土的工程特征。因而,在某些情况下,采用优质粉煤灰配制高性能混凝土是特别适宜的,下面,将本文的一些主要论点概括如下:

4.1 掺粉煤灰混凝土,拌合物需水量减少,

可减少掺水和离析,虽然粘聚性增加,但拌合物和易性、可浇注性和可泵送性改善,且产生一种均匀的、稳定的、密实的填充质结构,有助于改善混凝土修整特性,便于施工。

4.2 由于含水量减少,振捣密实,水泥水化反应增强以及凝硬反应等;在混凝土中掺粉煤灰有利于降低其渗透性。与之相关,加之其它因素,掺粉煤灰混凝土抗硫酸盐侵蚀、碳化,对钢筋锈蚀、冻融以及碱—骨料反应等耐久性得以改善。

4.3 由于掺粉煤灰混凝土弹性模量增加,收缩徐变值减少,有良好变形恢复能力,利于在预应力混凝土中推广使用。

4.4 掺粉煤灰预应力混凝土构件,虽然混凝土早期强度有所下降,但是,长期强度有较大增长,结构性能(承载能力、抗裂性和刚度)与未掺粉煤灰的普通预应力混凝土构件相比无明显差异,且受弯构件正截面应变分布符合平均平截

面假定,应予特别强调指出的是塑性特征更加明显。

4.5 在诸多综合利用粉煤灰途径之中,将粉煤灰用于混凝土,可以说是最能大量节省水泥、节约能源的一条有效途径。若将我国热电厂年排粉煤灰量10%~30%有效地用于混凝土生产,则年节约水泥可达1200~4500万吨,有十分显著的经济效益。

4.6 综合利用粉煤灰,变废为宝,保护环境,节省水泥,节约能源,减少CO₂排放,生产质量优良、耐久性好的绿色高性能混凝土,不仅有显著的经济效益,而且有极大的社会效益。

参 考 文 献

- 1 [英]JR·K·德海尔著陈义初译,粉煤灰的试验研究及其工程应用,人民交通出版社,1992年1月第1版
- 2 孙靛萍编,高性能混凝土1998年10月

(上接第25页)

维吸收能量的能力比平直钢纤维要大的多。

(3)不同钢纤维弹性粘结阶段以后的荷载—位移曲线相差很大,反映在相应的钢纤维混凝土的宏观力学性能中,对混凝土的增强、增韧程度差别很大,我们的力学性能试验证明了这一点。

五、结束语

1. 自由状态下,加入膨胀剂的水泥砂浆基体与钢纤维的界面粘结强度,随膨胀剂掺量增加而降低。自应力水泥砂浆与钢纤维的界面粘结力,较普通硅酸盐水泥砂浆与钢纤维界面粘结力低。

2. 同一基体而言,两端带钩的钢纤维(贝卡尔特、哈瑞克斯)较平直型钢纤维界面粘结强度高。不同类型异型钢纤维的界面粘结强度相差较大。所以,应对钢材材质适用的基体混凝土强度、对混凝土增强增韧要求及效果进行综合考虑,设

计生产出较优质的异型钢纤维。

3. 在拔出试验中,从达到最大荷载时的吸能比较结果看,带钩钢纤维比平直钢纤维的吸能能力大几十倍。

参考文献

- 1 赵华,赵鲁光.充分利用钢纤维对钢纤维混凝土的增强性能,钢纤维混凝土技术简讯(大连理工大学),1994,5(17)
- 2 金藏生等,钢纤维与基体界面粘结性能的研究,武汉工业大学学报,1991,1,55~60
- 3 J. M. Aljwan, A. E. Naaman & W. Hansen. Cement & concrete composites 13(1991)247~255
- 4 Youjiong Wang, Victor C. Li and Stanley Backer. The international Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol. 10, Number 3.
- 5 钢纤维混凝土试验方法(CECS 13:89),中国建设标准化协会标准