

文章编号 1000-5013(2000)03-0291-05

粉煤灰掺量对大坝混凝土力学性能的影响

严 捍 东

(华侨大学土木工程系, 泉州 362011)

摘要 系统测试与分析粉煤灰掺量(质量分数)为 0, 0.20, 0.30 和 0.45 的大坝粉煤灰混凝土的力学性能. 试验结果表明, 随粉煤灰掺量的增加, 养护 28 d 时, 粉煤灰混凝土的各项强度也降低. 养护至 90 d 时, 粉煤灰的影响程度明显减少, 且在该养护期内, 粉煤灰混凝土各项强度的增进率明显高于未掺粉煤灰的基准混凝土.

关键词 粉煤灰, 大坝混凝土, 力学性能

中图分类号 TV 41: TV 43

文献标识码 A

30 年代以来, 大坝混凝土中开始使用粉煤灰, 最大限度地降低大坝混凝土的水化热温升. 70 年代出现了碾压混凝土坝, 其粉煤灰掺量 W (占胶凝材料总量, 下同) 为 $0.50 \sim 0.70$ ^[1]. 80 年代后期, 高效减水剂技术的发展和市场上优质 I 级粉煤灰供应的提高, 使得大掺量粉煤灰混凝土成为一种新型的高性能水泥基建筑材料. 国外研究结果^[2~3]表明, 粉煤灰掺量为 0.55 ~ 0.60 时, 较低的水胶比可使得粉煤灰在早期就对混凝土强度做出贡献. 国内学者研究^[4~5]认为, 大掺量粉煤灰混凝土的强度随粉煤灰掺量的增加而降低, 特别是高水胶比时早期强度的降低更为明显. 由于大坝粉煤灰混凝土的水胶比较高(0.45), 随着粉煤灰掺量增加, 可能导致早期强度太低. 除了影响施工进度外, 各种环境因素也可能使混凝土的结构在早期受到损伤, 从而使混凝土耐久性下降. 所以, 有必要就粉煤灰掺量对大坝混凝土力学性能的影响规律进行系统研究.

1 试验原材料

水泥采用葛洲坝股份有限公司水泥厂生产的 525[#] 中热水泥, 粉煤灰采用安徽圩热电厂的级灰. 水泥和粉煤灰的化学成分、矿物组成和物理力学性能指标实测值, 如表 1 所示. 表中 w 为质量分数, ρ 为密度, S 为比表面积, s 为细度, t_0, t 分别为初凝、终凝时间, m 为需水量, P_3, P_{28} 分别为 3 d 和 28 d 的抗折强度, σ_3, σ_{28} 分别为 3 d 和 28 d 的抗压强度, γ_{28} 为 28 d 的抗压强度比.

配制混凝土的细骨料采用新鲜斑状花岗岩, 经人工破碎而成的人工砂. 其视密度为 $2.63 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 含水率 1.21%, 堆积密度 $1459 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 细度模数 2.67, 级配良好. 粗骨料采用新

鲜闪云斜长花岗岩,经人工破碎的人工碎石.其视密度为 $2.75\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$,堆积密度为 $1\,600\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.粗集料采用四级配,即小石

表 1 水泥和粉煤灰的基本参数

项 目	水泥	粉煤灰	项 目	水泥	粉煤灰
w_{SiO_2}	0.210 6	0.564 8	w_{CaO}	0.621 2	0.027 4
$w_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$	0.057 5	0.034 3	$w_{\text{Al}_2\text{O}_3}$	0.050 2	0.320 7
w_{MgO}	0.021 9	0.005 1	w_{SO_3}	0.017 2	0.010 0
$w_{\text{K}_2\text{O}}$	0.006 9	0.008 3	$w_{\text{Na}_2\text{O}}$	0.006 2	0.008 5
$w_{\text{其它}}$	0.011 8	0.030 4	$w_{\text{C}_3\text{S}}$	0.509 4	—
$w_{\text{C}_2\text{S}}$	0.219 4	—	$w_{\text{C}_3\text{A}}$	0.035 9	—
$w_{\text{C}_4\text{AF}}$	0.174 8	—	$\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	0.031 9	0.022 2
$S/\text{cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$	3 837	5 450	$s/(\%)$	2.2	5.4
t_0/min	108	—	t/min	206	—
$m/(\%)$	—	87.6	P_3/MPa	6.16	—
σ_3/MPa	8.08	—	P_{28}/MPa	38.7	—
σ_{28}/MPa	55.8	—	$\mathcal{Y}_{28}/\text{MPa}$	—	98.9

为 $5\sim 20\text{ mm}$,中石为 $20\sim 40\text{ mm}$,大石为 $40\sim 80\text{ mm}$,特大石为 $80\sim 150\text{ mm}$.其组成比例为小石 中石 大石 特大石= 2 2 3 3.小石、中石、大石和特大石的含水率分别为 0.82% , 0.3% , 0.27% 和 0.26% .

高效减水剂经优选为浙江龙游外加剂厂生产的 ZB-1A 型高效减水剂,当 W 为 8.0×10^{-3} 时,减水率大于 20% .引气剂选用的是水利部河北外加剂厂生产的 DH₉ 型松香热物型引气剂,当 W 为 5.0×10^{-4} 时,引气量为 7.6% .

2 混凝土配合比和试验方法

2.1 混凝土配合比

混凝土配合比设计按绝对体积法,骨料以饱和面干为基准计算.为降低水泥和水的用量,以达到降低水化热的目的,采用粉煤灰和高效减水剂复合双掺技术.充分发挥粉煤灰的形态效应,使混凝土的塌落度控制在 $30\sim 50\text{ mm}$ 范围内,混凝土的含气量控制在 $4.0\%\sim 5.5\%$,引气剂掺量由混凝土实测含气量控制.材料 Fa0, Fa20, Fa30 和 Fa45 的 W 分别为 $0, 0.20, 0.30$ 和 0.45 .所用的大坝混凝土配合比如表 2 所示.表中, v 为水胶比, η 为砂率, n 为减水剂质量分数(占胶凝材料总量), M 为混凝土材料的用量.

表 2 粉煤灰大坝混凝土配合比($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

材料	v	$\eta/(\%)$	n	$M_{\text{水}}$	$M_{\text{水泥}}$	$M_{\text{粉煤灰}}$	$M_{\text{砂}}$	$M_{\text{小石}}$	$M_{\text{中石}}$	$M_{\text{大石}}$	$M_{\text{特大石}}$
Fa0	0.50	—	7.0×10^{-3}	90.0	180.0	0	623.5	318.2	320.5	480.8	480.8
Fa20	0.50	28.5	7.0×10^{-3}	84.0	134.4	33.6	626.3	327.4	330.0	476.2	476.2
Fa30	0.50	28.5	7.0×10^{-3}	83.0	116.2	49.8	616.1	322.2	324.5	486.8	486.8
Fa45	0.50	28.5	7.0×10^{-3}	79.0	86.9	71.1	618.7	323.5	325.9	488.8	488.8

2.2 试验方法

严格按混凝土配合比称取各种原材料,其中减水剂先溶于部分拌和水中,引气剂配制成一定浓度(10^{-4})的溶液,所带入的水从拌和水中扣除.投料的顺序为细集料、水泥、粉煤灰、粗集料,搅拌数秒钟后将外加剂缓慢全部加入.搅拌 3 min 后迅速下料,筛除其中的特大石和大石,测定新拌混凝土的塌落度和含气量.各配比混凝土分别成型 3 个 $150\text{ mm}\times 150\text{ mm}\times 150\text{ mm}$ 的立方体试块(用于测定混凝土的抗压强度),3 个 $100\text{ mm}\times 100\text{ mm}\times 300\text{ mm}$ 的棱柱体试块(用于测定混凝土的轴心抗压强度),3 个 $100\text{ mm}\times 100\text{ mm}\times 400\text{ mm}$ 的棱柱体试块(用于测

定混凝土的抗弯强度). 折成两半的试件分别测定其劈拉强度和抗剪强度. 成型好的试块在标准养护室养护 2 d 后拆模, 继续养护至 28 d 和 90 d, 分别测定不同配比混凝土 28 d 和 90 d 时的各项强度.

3 试验结果与分析

3.1 新拌混凝土性能

新拌混凝土的塌落度和含气量实测值如表 3 所示. 从表中可知, 混凝土的塌落度(h) 基本控制在 30 ~ 50 mm 之间, 含气量(C) 也控制在要求的范围内. 由于所用粉煤灰的需水量比较小(表 1), 因此该粉煤灰应具有明显的减水效果. 实测数据表明, 在相同水胶比时, 粉煤灰混凝土的流动性优于未掺粉煤灰的混凝土. 但是, 随粉煤灰掺量的提高, 减水效果在消失. 粉煤灰掺量的增加, 也会影响引气剂的引气效果.

表 3 新拌混凝土性能		
代 号	h /mm	C /(%)
Fa0	30	5.5
Fa20	45	5.3
Fa30	40	4.6
Fa45	35	4.0

3.2 硬化混凝土的力学性能

各配比混凝土的实测力学性能指标, 如表 4 所示. 表中, σ 抗压强度, δ 为抗弯强度, ϵ 为劈拉强度, p 为抗剪强度. 为了更清楚地看出随粉煤灰掺量的提高, 粉煤灰混凝土各项强度所受

表 4 硬化混凝土养护 28 d 和 90 d 时的各项力学性能实测值 (MPa)

混凝土养护 28 d					混凝土养护 90 d				
项目	Fa0	Fa20	Fa30	Fa45	项目	Fa0	Fa20	Fa30	Fa45
$\sigma_{\text{立方体}}$	27.50	30.70	24.10	22.20	$\sigma_{\text{立方体}}$	30.90	40.00	33.30	28.90
$\sigma_{\text{轴心}}$	20.40	22.90	17.80	17.10	$\sigma_{\text{轴心}}$	23.20	30.40	24.30	21.40
δ	4.32	4.51	4.05	3.90	δ	5.34	6.00	5.17	4.94
ϵ	2.76	2.67	2.43	2.39	ϵ	3.44	3.65	3.33	3.14
p	4.80	4.90	4.50	3.70	p	5.60	6.10	5.50	4.50

到的影响. 将不同养护龄期的粉煤灰混凝土强度与基准混凝土($W=0$) 相应养护龄期的强度相比, 得到不同养护龄期、不同粉煤灰掺量时混凝土各项强度的变化率, 如图 1 ~ 5 所示.

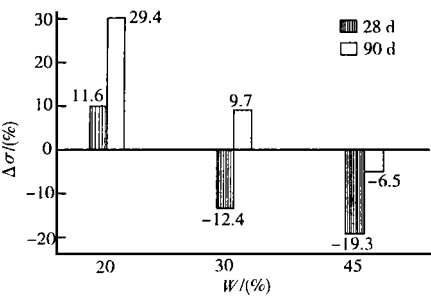


图 1 粉煤灰混凝土的抗压强度变化率

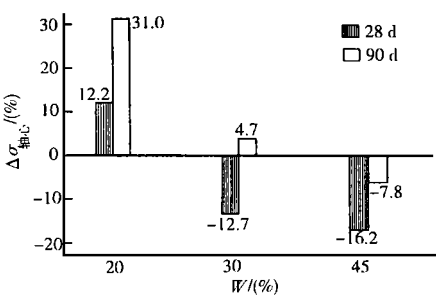


图 2 粉煤灰混凝土的轴心抗压强度变化率

从图 1 ~ 5 可以看出, 养护 28 d 时, 除劈拉强度外, W 为 0.20 的混凝土, 其各项强度均超过基准混凝土的相应强度值. 其中抗压强度的增加幅度要大于抗弯、抗剪和劈拉强度的增加幅度. 这可能是由于粉煤灰的比表面积远大于水泥的比表面积值, 粉煤灰细颗粒多, 较细的粉煤

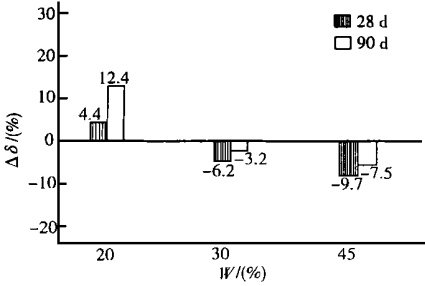


图 3 粉煤灰混凝土的抗弯强度变化率

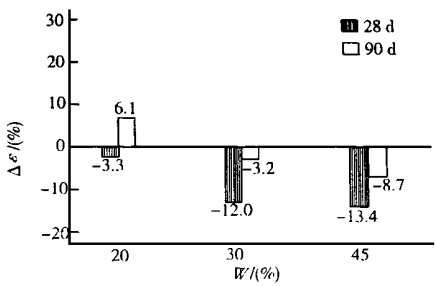


图 4 粉煤灰混凝土的劈拉强度变化率

灰颗粒可以进入粗骨料与水泥砂浆的过渡层中,更细的颗粒甚至可填充于水泥粒子的空隙中,使得混凝土基体的密实度明显提高.由于粉煤灰的掺入,相当于在混凝土中引入了许多微细的集料,粉煤灰早期的火山灰效应发挥程度低.因此 28 d 时,大部分粉煤灰颗粒与混凝土基体间的界面粘结强度低,无法起到微集料的作用.这又削弱了粉煤灰对混凝土基体的密实强化效应.粉煤灰掺量越高,削弱作用越明显.因此,随粉煤灰掺量的增加,强度的降低幅度增大.说明粉煤灰掺量越大,对粉煤灰混凝土早期强度的影响越大.由于抗弯、抗剪和劈拉强度对界面的粘结强度较之抗压强度更加敏感,因此它们受粉煤灰掺量的影响程度更大.

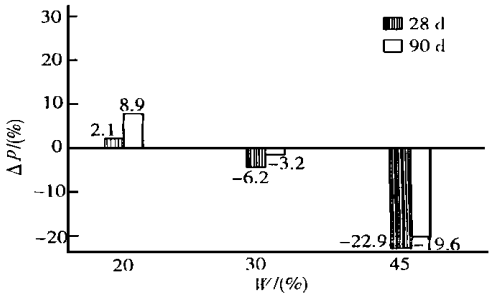


图 5 粉煤灰混凝土的抗剪强度变化率

养护 90 d 时,粉煤灰掺量为 0.20 和 0.30 的混凝土各项强度基本接近、甚至大大超过了基准混凝土的相应强度值.而且,其增加的幅度大于 28 d 时的增进率.表明随养护龄期的增加,粉煤灰的火山灰活性逐步得到发挥.形成的水化产物将粉煤灰颗粒与混凝土基体紧密地粘结起来,使得粉煤灰的微集料效应得到充分发挥.基体的密实度进一步提高,各种层次的界面粘结强度也得到强化,因而强度有较大幅度的提高.

以混凝土的 28 d 强度为基准,在养护 28 d 至 90 d 期间,混凝土各项强度的增进率随粉煤灰掺量增加的变化曲线,如图 6 所示.掺粉煤灰混凝土各项强度随养护龄期的增进率,均超过基准混凝土的相应值,即使粉煤灰掺量达到 0.45 时也是如此.表明粉煤灰对混凝土的增强效应,随养护龄期的增加而提高.但是,当粉煤灰掺量达 0.45 时,强度随龄期的增长幅度有所降低.可以预期,随养护龄期的延长,较高掺量粉煤灰混凝土的强度将会继续提高.

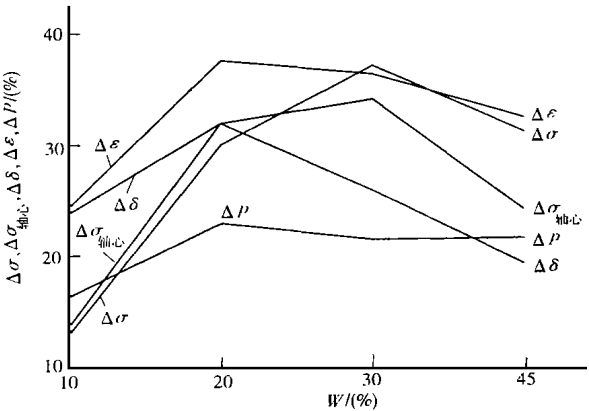


图 6 养护 28 d 至 90 d 的混凝土各项强度的变化

4 结论

(1) 对于水胶比较高的大坝混凝土, 早期(28 d)强度受粉煤灰掺量的影响较大. 随养护龄期的增加, 粉煤灰混凝土具有较高的强度增进率, 且受粉煤灰掺量的影响程度逐步降低. (2) 粉煤灰混凝土的抗压强度受粉煤灰掺量的影响较小, 抗弯、抗剪和劈拉强度受期影响程度大.

参 考 文 献

- 1 林宝玉, 吴绍章. 混凝土工程新材料设计与施工[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998. 73~74
- 2 Langley W S, Carrette G G, Malhotra V M, et al. Strength development and temperature rise in large concrete blocks containing high volumes of low calcium (ASTM CLASS F) fly ash[J]. ACI Materials J., 1992, 89(4): 362~368
- 3 Carrette G G, Bilodeu A, Chevrier R L, et al. Mechanical properties of concrete incorporating high volumes of fly ash from sources in the U.S. [J]. ACI Materials J., 1993, 90(6): 535~544
- 4 杨 静, 覃维祖. 粉煤灰对高性能混凝土的影响[J]. 混凝土与水泥制品, 1998, (5): 10~14
- 5 孙甯萍. 大掺量粉煤灰混凝土的特性[J]. 混凝土, 1997, (2): 16~23

Effect of Flyash Content on Mechanical Performance of Dam Concrete

Yan Handong

(Dept. of Civil Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract Systematic measurement and analysis were made on the basic mechanical performance of dam concrete mixed up with 0, 0.2, 0.3 and 0.45 flyash. As shown by test results, various intensity of flyash concrete reduced along with the increase of flyash content after a curing age of 28 days, however, the effect of flyash concrete decreased obviously of the 90th day of curing, and the rate of increase of various intensity were higher than those of reference concrete containing no flyash during curing age.

Keywords flyash, dam concrete, mechanical performance