

三峡工程二阶段降低混凝土单位用水量的试验研究

伏文勇, 王 宇

(中国水利水电第三工程局驻中国长江三峡工程开发总公司试验中心, 湖北 宜昌 443133)

摘要:通过对缓凝高效减水剂、引气剂、国标 I 级粉煤灰及三者联掺对混凝土减水效果的试验研究及机理分析, 认为缓凝高效减水剂、引气剂、国标 I 级粉煤灰三者均有减水作用, 其中高效减水剂是主要减水成分, 国标 I 级粉煤灰(掺量 30%)是第一辅助减水成分, 引气剂(混凝土含气量 $5.5 \pm 0.5\%$)是第二辅助减水成分, 三者联掺能最大限度地降低混凝土单位用水量。三峡工程二阶段应用表明, 降低混凝土单位用水量取得了明显的技术、经济效益, 大坝混凝土浇筑每万方的温度裂缝数量不到以往大坝混凝土浇筑的一半, 并且二阶段工程中, 仅混凝土原材料就节约费用 2 亿元以上。

关键词:混凝土; 缓凝高效减水剂; 引气剂; 粉煤灰; 骨料; 三峡水利枢纽工程

中图分类号: TV42+4

文献标识码: B

文章编号: 1006-7647(2001)06-0023-03

三峡工程二阶段混凝土, 需采用花岗岩人工骨料, 混凝土单位用水量偏高, 较天然骨料混凝土的单位用水量高 40 kg/m^3 左右^[1], 胶凝材料用量相应增加, 混凝土内部温升较高, 易导致混凝土产生温度裂缝, 破坏混凝土的整体性, 并降低其技术性能, 不利于大坝的快速施工, 而且对裂缝的处理——混凝土灌浆, 还将花费大量的人力物力, 其经济性较差。为降低混凝土单位用水量, 相应减少胶凝材料用量, 从而降低温升, 减少温度裂缝, 加快施工速度, 提高混凝土技术、经济性能, 进行了降低混凝土单位用水量的试验研究。

1 试验研究

1.1 试验原材料

a. 水泥。葛洲坝中热 525 号硅酸盐水泥。

b. 砂。采用三峡下岸溪斑状花岗岩质人工砂, 细度模数 2.57, 石粉含量 13.7%。

c. 石。采用三峡古树岭闪云斜长花岗岩质人工碎石。

d. 粉煤灰。采用安徽淮南平圩电厂粉煤灰, 为

国标 I 级粉煤灰, 需水量比 92%。

e. 外加剂。采用浙江 ZB-1A 缓凝高效减水剂和河北 DH9 引气剂。

1.2 外加剂减水效果试验

试验依据 GB8076-97《混凝土外加剂》进行, 使用葛洲坝中热 525 号硅酸盐水泥, C_3A 含量不高于 6%, 引气剂检验混凝土含气量控制 $5.0 \pm 0.5\%$, 试验结果见表 1。

试验结果表明, 缓凝高效减水剂 ZB-1A(0.7%)减水率为 22.8%; 引气剂 DH9(引气量 5.2%)减水率 9.8%。缓凝高效减水剂具有较高的减水率, 引气剂也有一定的减水效果。

1.3 粉煤灰减水效果试验

试验依据 SD105-82《水工混凝土试验规程》进行, 配合比设计为体积法, 粉煤灰等量替代, 外加剂采用缓凝高效减水剂 ZB-1A(掺量 0.7%)和引气剂 DH9, 坍落度控制在 $(4.0 \pm 1.0) \text{ cm}$, 湿筛混凝土含气量 $5.0 \pm 0.5\%$, 试验结果见表 2。

试验结果表明, 常态混凝土中掺入 10%~50%的国标 I 级粉煤灰, 可减水 4%~19%, 因此国标 I 级粉

表 1 外加剂减水率检验结果

混凝土 序 号	用水量 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	砂率 /%	水泥用量 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	外加剂		坍落度 /cm	含气量 /%	减水率 /%	抗压强度比/%		
				品种	掺量/%				3 d	7 d	28 d
C _{基准}	215	39	330			7.6	0.3		100	100	100
C _{ZB-1A}	166	39	330	ZB-1A	0.7	7.5	1.0	22.8	183	204	164
C _{DH9}	194	36	330	DH9	0.013	7.8	5.2	9.8	88	89	86

作者简介: 伏文勇(1974—), 男, 河北沧州人, 助理工程师, 主要从事混凝土配合比设计及试验研究。

煤灰有一定的减水作用,被誉为矿物(固体)减水剂。

表2 粉煤灰掺量与混凝土单位用水量的关系

粉煤灰掺量/%	二级配		三级配		四级配	
	用水量 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	减水率 /%	用水量 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	减水率 /%	用水量 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	减水率 /%
0	123		103		91	
10	117	5	99	4	86	5
20	109	11	94	9	82	10
30	105.5	14	91	12	80	12
40	101	18	88	15	78	14
50	100	19	84	18	75	18

1.4 降低混凝土单位用水量的试验

试验依据 SD105-82 进行,配合比设计为体积法,二级配,固定砂率 $S = 32\%$,固定胶凝材料用量 $C + F = 250 \text{ kg/m}^3$;粉煤灰等量替代水泥 $F = 30\%$;试验采用单掺缓凝高效减水剂 ZB-1A(掺量 0.7%,以下同)、单掺引气剂 DH9(混凝土含气量 $4.0 \pm 0.5\%$,以下同)、单掺国标 I 级平圩灰(等量替代水泥 30%,以下同)、缓凝高效减水剂 ZB-1A 与引气剂 DH9 联掺、缓凝高效减水剂 ZB-1A 与国标 I 级平圩灰联掺、引气剂 DH9 与国标 I 级平圩灰联掺及三者联掺的试验方案,坍落度控制在 $(5.0 \pm 1.0) \text{ cm}$,有引气剂掺入时混凝土含气量控制在 $4.0 \pm 0.5\%$.试验结果见表 3.

由表 3 可知:在混凝土中,缓凝高效减水剂 ZB-1A 减水率为 21.3%,引气剂减水率为 9.4%,国标 I 级平圩灰减水率为 10.6%,因此可以说在混凝土中,缓凝高效减水剂为主要减水成分,国标 I 级平圩灰为第一辅助减水成分,引气剂为第二辅助减水成分;在不同联掺组合中,缓凝高效减水剂、引气剂和国标 I 级平圩灰三者联掺减水率最大,因此三者联掺能够最有效地降低混凝土单位用水量,同基准混凝土用水量相比,三者联掺降低混凝土单位用水量 55 kg/m^3 .

2 试验结果机理分析

2.1 高效减水剂的减水作用机理

新拌混凝土中,高效减水剂高分子基团吸附于水泥颗粒表面,相同电性的亲水基统一指向水溶液,

水泥颗粒在电性斥力作用下解絮,释放水泥颗粒凝聚体中包裹的游离水^[2],同时,水泥颗粒间的相同电性斥力,减缓了棱角状水泥颗粒间齿合作用,利于水泥浆体流动,表现出减水作用.高效减水剂是混凝土中主要减水成分.

2.2 国标 I 级粉煤灰减水作用机理

首先,由于粉煤灰的表观密度通常小于水泥,如平圩灰的表观密度为 2220 kg/m^3 ,而葛洲坝 525 号硅酸盐水泥的表观密度为 3200 kg/m^3 ,替代相同重量的水泥,粉煤灰的体积较相同重量的水泥的体积大,这样会增加混凝土中的浆体体积,提高浆体对骨料的润滑作用;其次,国标 I 级粉煤灰具有优良的颗粒形貌,以平圩 I 级灰为例,国标 I 级粉煤灰基本上是由粒径细小的玻璃状球体组成,在混凝土中起滚珠轴承作用,减小水泥颗粒间的摩擦,提高了浆体的流动性;第三,国标 I 级粉煤灰极好的粒形和细小的粒径,如平圩灰粒径小于 $10 \mu\text{m}$ 的含量大于 40%,使之能够发挥其解絮作用,释放因凝聚作用而被水泥颗粒包裹的游离水,辅助高效减水剂,使水泥颗粒解絮更完善,因此国标粉煤灰具有减水作用,被誉为矿物(固体)^[3]减水剂.国标 I 级粉煤灰是混凝土中第一辅助减水成分.

2.3 引气剂减水作用机理

引气剂作用下,含气量 3% ~ 5% 时,混凝土中引入微小气泡 5000 ~ 8000 亿个左右^[4],含气量的提高,增加了浆体体积,对骨料的润滑作用提高,同时,微小气泡有一定机械强度,带有相同电性的微小气泡相互排斥,因此,大量的微小气泡能够稳定、均匀

表3 降低混凝土单位用水量试验结果

序号	用水量 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	缓凝高效减 水剂(ZB-1A)/%	引气剂 (DH9)/ 10^{-4}	粉煤灰(平圩灰) /%	坍落度/cm	含气量/%	减水率/%	抗压强度/MPa	
								7d	28d
L0	160				4.1	0.4		18.3	32.5
L1	126	0.7			3.9	1.2	21.3	30.4	47.4
L2	145		1.4		4.1	4.1	9.4	15.8	27.0
L3	143			30	4.6	0.7	10.6	16.7	29.6
L4	118	0.7	0.5		4.4	4.2	26.3	20.3	34.1
L5	116	0.7		30	3.7	1.4	27.5	23.0	36.8
L6	141		1.9	30	5.4	3.7	11.9	12.0	20.3
L7	105	0.7	0.7	30	4.1	3.7	34.4	21.4	36.5

表4 三峡工程二阶段四级配混凝土配合比(部分)^[6]

工程部位	设计要求	水胶比	用水量 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	粉煤灰 掺量/%	砂率 /%	外加剂品种及掺量		坍落度 /cm	含气量 /%
						ZB-1A/%	DH9/ 10^{-4}		
大坝内部	R ₉₀ 150D100S8	0.5	79	45	28.5	0.7	0.8	4~6	4.5~5.5
大坝基础	R ₉₀ 200D150S8	0.5	84	30	28.5	0.7	0.7	4~6	4.5~5.5
大坝水上、水下外部	R ₉₀ 200D250S10	0.5	84	30	28.5	0.7	0.7	4~6	4.5~5.5
大坝外部水位变化区	R ₉₀ 250D250S10	0.45	84	30	28.0	0.7	0.65	4~6	4.5~5.5

地分布于混凝土中,起着气体滚珠轴承作用,减小水泥颗粒间的摩擦,进一步提高了浆体的流动性,表现出一定的减水作用.引气剂是混凝土中第二辅助减水成分.

2.4 联掺减水作用机理

缓凝高效减水剂、引气剂和国标 I 级粉煤灰三者混凝土中各自发挥自身的减水作用,同时又相互作用、相互促进,如国标 I 级粉煤灰同缓凝高效减水剂共同作用,对水泥颗粒的解絮更加充分;带有相同电性互相排斥,并有一定机械强度的微小气泡粒径大多是 $20\sim 200\mu\text{m}$ ^[4],而平圩灰粒径小于 $10\mu\text{m}$ 的含量大于 40%,不同粒径组成的“微珠”相互补充,在混凝土中充分发挥滚珠轴承作用,因此缓凝高效减水剂、引气剂和国标 I 级粉煤灰联掺最大限度地降低了混凝土的单位用水量.

3 联掺法的应用效果

三峡工程二阶段混凝土配合比设计,采用联掺法对混凝土配比进行优化,取得了明显的技术、经济效益.

首先,克服了花岗岩骨料的限制,降低了混凝土的单位用水量,降低幅度在 30% 以上,有利于施工中的温控,每万方混凝土中温度裂缝的数量不到以往大坝混凝土浇筑的一半.在中国水利水电科学研究院《国内外大坝混凝土配合比概况》中共收集了 161 个大坝混凝土配合比,查知花岗岩人工骨料的大坝混凝土,四级配混凝土最低单位用水量为 $100\text{kg}/\text{m}^3$,而三峡工程优化的混凝土室内试验,由于合理地运用了缓凝高效减水剂、优质引气剂和国标 I 级粉煤灰联掺的技术措施,降低了混凝土的单位用水量,其最低单位用水量为 $79\text{kg}/\text{m}^3$,达到国际领

先水平^[5],见表 4.

其次,取得了优异的技术性能,配制出了高性能水工混凝土,不仅温升较低,而且具有高耐久性及良好的施工和易性等技术性能;并产生了巨大的经济效益,三峡工程二阶段仅原材料节省的直接费用就在 2 亿元以上.

4 结 语

a. 缓凝高效减水剂、引气剂和国标 I 级粉煤灰在混凝土中具有不同程度的减水作用,其中缓凝高效减水剂是主要减水成分,国标 I 级粉煤灰是第一辅助减水成分,引气剂是第二辅助减水成分.

b. 采用缓凝高效减水剂、引气剂和国标 I 级粉煤灰联掺,是降低混凝土单位用水量的一种有效途径,能够克服原材料的不利影响,最大限度地降低混凝土单位用水量.

c. 工程应用表明,降低混凝土单位用水量,不仅能够提高混凝土的技术性能,配制出高性能水工混凝土,而且能够产生巨大的经济效益.

参考文献:

- [1] 伏文勇.三峡二阶段混凝土技术特点——两掺一低[J].水利水电科技进展,2000,20(5):44~46.
- [2] 石人俊.混凝土外加剂性能及应用[M].北京:中国铁道出版社,1985.23~25.
- [3] 王福元,吴正严.粉煤灰利用手册[M].北京:中国电力出版社,1997.129~142.
- [4] 陈建奎.混凝土外加剂的原理与应用[M].北京:中国计划出版社,1997.124~130.
- [5] 伏文勇.三峡二期工程中混凝土用水量降低的解决办法[J].水利水电施工,1999,(1):33~34.

(收稿日期:2000-05-22 编辑:熊水斌)

·简讯·

世界上碾压混凝土方量最大的大坝建成

贝尼哈温坝位于非洲阿尔及利亚东北部的埃尔凯比尔河上,高 120m,坝顶长 710m,坝身体积 175 万 m^3 ,其中碾压混凝土 153.5 万 m^3 ,超过了日本的宫瀨坝,是迄今为止世界上已建成的碾压混凝土方量最大的碾压混凝土坝.另有 21.5 万 m^3 常规混凝土主要用在坝面和溢洪道上.该坝上游面垂直,下游面坡度为 1:0.5,坝顶宽 8m,溢洪道位于坝体中部,溢流埝长 124m,下接泻槽,设计洪水为 $13700\text{m}^3/\text{s}$,有挑坎挑向下游河槽.该坝由比利时一公司设计,西班牙一公司承建施工,由两条直径为 8m 的导流洞导流,1988 年初导流工程完工,4 月开始导流,同年 10 月开始浇筑大坝,日最大浇筑量 9000 m^3 ,月最大浇筑量 16 万 m^3 ,2000 年 7 月,大坝浇筑到坝顶,整个工程于 2001 年完工.该大坝用于灌溉和城市用水,工程总投资约 13 亿美元.(吴紫高供稿)