

三峡二阶段混凝土技术特点——“两掺一低”

伏文勇

TV431.9

(中国水利水电第三工程局施工研究所驻三峡工程开发总公司试验中心, 湖北 宜昌 443133)

摘要:对三峡工程二阶段混凝土采用掺外加剂、粉煤灰和低水灰比的配合比设计思想的形成进行探讨, 论证采取“两掺一低”技术措施的充分必要性。工程实践表明, 该技术能大幅度提高混凝土的技术性能, 克服原材料的条件限制, 降低混凝土的单位用水量, 减少胶凝材料用量, 减少温升, 有利于工程施工, 并且兼顾经济性。

关键词:混凝土; 粉煤灰; 外加剂; 水胶比; 集料; 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(2000)05-0044-03

三峡水利枢纽工程, 从二阶段开始进入了大规模混凝土施工阶段, 混凝土浇筑量达 1 699.92 万 m^3 , 混凝土性能的优劣直接关系到三峡工程质量的好坏。

三峡工程所用混凝土集料为斑状花岗岩人工砂、闪云斜长花岗岩人工碎石, 用传统技术方法生产混凝土, 某些技术性能达不到工程要求, 如导致混凝土单位用水量偏高, 四级配混凝土用水量高达 110 kg/m^3 ^①, 胶凝材料用量过高, 不利于大坝混凝土的温控防裂。而采用“两掺一低”技术措施配制的四级配混凝土, 用水量可降至 85 kg/m^3 左右, 大坝混凝土的温升可控制在避免发生裂缝的限值以下, 并提高混凝土的多项技术性能。

1 三峡工程两掺一低技术措施简介

所谓两掺一低, 即在混凝土配合比设计及生产中, 采用国标 I 级粉煤灰同缓凝高效减水剂与引气剂联掺, 以降低混凝土单位用水量, 提高混凝土和易性, 并坚持低水胶比设计, 减少混凝土内部缺陷, 进而提高混凝土多项技术性能的技术措施。

经调研及粉煤灰品质鉴定, 确定 6 种国标 I 级粉煤灰用于三峡工程, 它们是: 平圩灰、珞璜灰、南京灰、华能灰、神头灰和阳逻灰。在这里, 国标 I 级粉煤灰不再是传统意义上的填充料, 而是被用作固体(矿物)减水剂、第二胶凝材料和改性材料^[1]。

通过对 32 种减水剂、7 种引气剂的初选、优选和验证工作, 选出龙游 ZB-1A、武钢 FDN9001、上海

麦斯特 R561C 三种缓凝高效减水剂, 青岛 PC-2、石家庄 DH9 引气剂。减水剂与引气剂匹配良好, 对水泥有很好的适应性。

水胶比是影响混凝土强度和耐久性的重要因素, 研究表明^②, 0.25 左右水胶比时混凝土中水泥即可完全水化, 水胶比大于 0.25 时, 多余水分最终通过各种渠道蒸发, 在混凝土中留下结构缺陷, 造成混凝土性能的降低。因此, 二阶段工程中混凝土坚持低水胶比设计原则, 工程中最大水胶比为大坝内部混凝土, 其水胶比仅为 0.55。

2 两掺一低技术措施在二阶段混凝土工程中的必要性

2.1 克服花岗岩人工集料的条件限制

混凝土中集料占其总重量的 80% 以上, 集料质量的优劣显著影响混凝土技术性能, 合理选择集料对提高混凝土性能有重要意义。综合考虑各种条件因素限制和工程建设的统筹安排, 经过对三峡各料区的全面考查, 在考虑技术性能达标兼顾经济性的情况下, 二阶段混凝土集料采用由三峡工程建设中船闸、电站厂房和大坝基础开挖的微新和新鲜的闪云斜长花岗岩(粗粒结构矿物组成主要是长石、云母、黑云母和少量闪石或绿泥石)^[2], 经设置在古树岭的大型破碎加工系统, 破碎并筛分为各级成品粗集料; 三峡工程所用人工砂是采用下岸溪斑状花岗岩(粗晶粒镶嵌结构, 主要矿物成分为石英、斜长石、

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工作。

①中国水利水电科学研究院, 三峡工程二阶段混凝土配合比试验报告, 1998。

②三峡工程开发总公司试验中心, 长江三峡水利枢纽工程第二阶段混凝土配合比设计试验总报告, 1998。

白云母及磁铁矿等)^[2]经制砂系统得到人工细集料。花岗岩人工集料混凝土单位用水量比天然集料约高 40 kg/m³(表 1),相应的水泥用量增加,这对大坝混凝土的温控抗裂极为不利,采用两掺一低技术措施可以大幅度降低混凝土单位用水量,改进和提高混凝土技术性能。

表 1 人工、天然集料混凝土单位用水量比较

集料	级配	水胶比	用水量/(kg·m ⁻³)	砂率/%	坍落度/cm	和易性		
						棍度	抹平	离析
人工集料	二	0.50	179	40	6.5	上	好	轻
		0.45	179	39	7.1	上	好	轻
	三	0.50	156	35	5.0	上	好	轻
		0.50	152	33	5.5	上	好	轻
	四	0.50	146	32	5.0	上	好	轻
		0.50	143	30	5.1	上	好	轻
天然集料	二	0.50	139	33	7.5	上	好	轻
		0.45	144	34	7.8	上	好	轻
	三	0.50	110	27	5.7	上	好	轻
		0.50	107	25	7.3	中	较好	较轻
	四	0.50	102	25	7.0	上	好	轻
		0.50	99	23	7.6	上	好	轻

降低混凝土单位用水量是三峡二阶段工程中生产高性能水工混凝土的前提,采用高效减水剂和引气剂及国标 I 级粉煤灰联掺,能有效降低混凝土单位用水量。外加剂的减水机理在众多的资料中已有详尽说明,这里就不再赘述,仅简要说明粉煤灰的减水机理。混凝土试验表明,对于常态混凝土掺用 20%~50% 的国标 I 级粉煤灰,在保持混凝土原有和易性不变的情况下,可减水 8%~18%,见表 2。粉煤灰的减水作用主要是由三方面的因素决定:①国标 I 级粉煤灰具有优良的颗粒形貌,以平圩灰为例,显微结构表明,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,提高浆体流动性;②由于粉煤灰的表观密度较水泥小,如平圩灰的表观密度为 2 220 kg/m³,而葛洲坝 525 号中热硅酸盐水泥的表观密度为 3 200 kg/m³,等量替代水泥,胶体体积增大,混凝土中浆体体积相应增大,浆体对集料的包裹润滑作用提高,混凝土工作性能改善;③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 μm 的含量大于 40%,使之能够充分发挥解絮作

用,释放由于凝絮作用而被水泥颗粒包裹的自由水,从而降低混凝土的单位用水量。

表 2 粉煤灰掺量与混凝土单位用水量的关系

试验序号	粉煤灰掺量/%	混凝土单位用水量/(kg·m ⁻³)		
		二级配	三级配	四级配
1	0	123	103	91
2	10	117	99	86
3	20	109	94	82
4	30	106	91	80
5	40	101	88	78
6	50	100	84	75

注:混凝土配制采用:ZB-1A(0.8%)缓凝高效减水剂;DH9 引气剂;平圩国标 I 级粉煤灰。混凝土条件控制:坍落度 3~5 cm;含气量 4.5%~5.5%。

2.2 满足混凝土高耐久性技术要求

三峡工程对混凝土的耐久性提出了很高要求,低水胶比的设计,改善混凝土内部结构,直接导致混凝土中大孔隙孔洞、一维乱向毛细孔数量的减少,抗渗性提高;粉煤灰发挥三大效应^[1],使混凝土密实度提高,粉煤灰中的细小微珠填充毛细孔,毛细孔变细或阻断,致密的结构使混凝土的抗渗性进一步提高,并且有益于减缓混凝土的碳化侵蚀和抑制杂散电流对钢筋的锈蚀;缓凝高效减水剂对水泥颗粒强分散作用,不仅可以降低混凝土的单位用水量,而且由于胶凝材料颗粒的均匀分布,提高混凝土材料的匀质性,减少了材料出现应力集中的几率;引气剂大量引入均匀分布的微气泡,截断毛细孔的同时,不仅降低冰点,而且缓冲较大孔洞结构缺陷的冰冻膨胀压力^[3],可成倍提高混凝土的抗冻融性能。事实上,两掺一低的技术措施,是一个综合作用的结果,每一个技术措施的作用效果相互影响、相互叠加,共同提高混凝土的技术性能。混凝土耐久性指标的抗冻性试验结果见表 3。由表 3 可以看出,二阶段混凝土的设计完全满足三峡工程对耐久性的要求。

2.3 降低工程造价、提高经济效益

三峡工程耗资巨大,两掺一低的技术措施,优化了混凝土设计,取得了明显的经济效益,降低了混凝土的生产成本。若按基础与内部混凝土平均差价计算,三峡工程仅混凝土原材料就可节约经费 2 亿元以上(表 4)。

表 3 三峡工程二阶段混凝土抗冻性试验结果

工程部位	设计标号	水胶比	粉煤灰/%	含气量/%	混凝土重量损失与混凝土相对动弹模 ^① /%						抗冻标号
					D0	D50	D100	D150	D200	D250	
大坝内部	D100	0.55	35	4.9	0.0/100.0	0.6/93.9	1.2/89.3	1.9/82.0	3.0/72.2	4.2/60.3	D250
大坝外部	D250	0.50	25	5.4	0.0/100.0	0.2/94.9	0.6/93.8	0.9/92.7	1.3/92.1	2.0/89.4	> D250
大坝基础	D150	0.50	30	5.6	0.0/100.0	0.2/96.0	0.7/95.1	1.5/93.5	2.0/91.0	2.7/89.0	> D250
水变区	D250	0.45	20	5.5	0.0/100.0	0.5/96.5	0.6/94.0	1.0/92.6	1.7/89.9	2.5/88.3	> D250

注:①斜杠之前为混凝土重量损失百分值,之后为相对动弹模。

表4 两掺一低优化混凝土设计经济性比较

混凝土种类	设计与优化	水泥品种	水胶比	用水量 (kg·m ⁻³)	胶凝材料用量/(kg·m ⁻³)		胶凝材料单价 (元·m ⁻³)	外加剂单价 (元·m ⁻³)	总单价 (元·m ⁻³)	优化与设计差价 (元·m ⁻³)
					水泥	粉煤灰				
大坝内部	设计	中热	0.60	115	125	67	93.20	1.32	94.52	11.92
	优化	中热	0.50	79	87	71	74.70	7.90	82.60	
基础	设计	中热	0.60	115	154	38	100.90	1.32	102.22	9.72
	优化	中热	0.50	83	116	50	84.20	8.30	92.50	
水变区	设计	中热	0.50	113	226	0	130.40	1.56	131.96	30.36
	优化	中热	0.45	82	128	55	92.50	9.10	101.60	

3 两掺一低技术措施生产的混凝土技术特点

3.1 良好和易性的新拌混凝土

新拌混凝土的和易性好坏直接关系到施工的难易程度和施工质量,二阶段混凝土有着良好的和易性,适于施工作业和保证施工质量。两掺一低技术措施,充分发挥了粉煤灰微珠及微气泡(引气剂引入)的“滚珠轴承”作用,将胶凝材料颗粒间滑动摩擦作用,转化为摩擦系数远小于滑动摩擦系数的滚动摩擦作用,同时外加剂活性分子对胶凝材料的包裹作用,在胶凝材料颗粒表面以氢键形式形成润滑水膜,阻止了水泥颗粒间的直接接触,起到了润滑作用,减缓了胶凝材料颗粒间的齿合作用,以上共同作用的结果提高了混凝土的流动性,因此易于振捣成型;在粉煤灰的解絮及吸附作用与微气泡的界面张力作用下,改善了混凝土的粘聚性,使其结构更趋均匀、稳定、不离析,并且保水性较好,基本上不泌水。因此二阶段混凝土的和易性是良好的。

3.2 较低的温升利于大坝混凝土施工中的温控

混凝土作为热的不良导体,其水泥水化放热导致大体积的大坝混凝土内部热量积而难散,温升过高,如不采取技术措施,会导致混凝土的严重开裂。两掺一低技术措施使混凝土用水量降低,相应的水泥用量降低,同时粉煤灰等量替代水泥,进一步减少水泥用量,随着水泥用量的降低,水化热总量因此减少,辅以缓凝高效减水剂,缓解水化放热速度,综合作用的结果能使混凝土的温升降低 15%~35%,其顶峰温度下降到能避免发生裂缝的温升限值以下。

3.3 高的混凝土技术储备

二阶段混凝土具有较高的技术储备,这主要是混凝土拌合时,粉煤灰的形态效应和解絮作用,以及外加剂对胶凝材料颗粒的分散作用,使胶凝材料颗粒均匀分布,形成了良好的空间构架,混凝土硬化后期,粉煤灰缓慢的进行二次反应,表现出火山灰活性,与 Ca(OH)₂ 反应,减少并细化 Ca(OH)₂ 板状结晶,优化集料与凝胶界面结构的同时,粉煤灰水化凝胶不断填充密实混凝土微空间构架结构,改善并减少了混凝土内部缺陷,混凝土性能逐步提高,使二阶段

混凝土后期具有较高的技术储备,以抗压、劈拉强度为例,混凝土 180 d 龄期的后期抗压、劈拉强度分别比其 28 d 强度高 53%~78%和 59%~84%,见表 5。

表5 不同粉煤灰掺量混凝土抗压、劈拉后期强度储备

粉煤灰掺量/%	抗压强度/MPa		180 d 抗压强度储备/%	劈拉强度/MPa		180 d 劈拉强度储备/%
	28 d	180 d		28 d	180 d	
20	23.0	35.1	53	1.6	2.56	60
25	22.2	34.6	56	1.55	2.54	64
30	21.4	32.8	53	1.52	2.42	59
35	20.5	34.1	66	1.5	2.58	72
40	20.3	36.1	78	1.42	2.86	101
45	20.1	35.8	78	1.32	2.43	84

注:水胶比为 0.5。

4 结 语

用两掺一低技术配制生产的混凝土,不论技术性,还是经济性,都是传统技术生产的混凝土无法比拟的,其优良的技术性能,堪称水工高性能混凝土。水工混凝土中如此大规模使用国标 I 级粉煤灰和缓凝高效减水剂,在国内尚属首次,取得了良好的经济效益。两掺一低技术措施开创高性能水工混凝土之先河,在水工混凝土的发展史上具有里程碑意义。

参考文献:

- [1] 王福元,吴正严.粉煤灰利用手册[M].北京:中国电力出版社,1997.134~137.
- [2] 杨志帆.建设中的三峡工程砂石生产系统[J].中国三峡建设,1996(3):6~7.
- [3] 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,1997.145~146.

(收稿日期:1999-08-31 编辑:张志琴)

声 明

为适应我国信息化建设需要,扩大作者学术交流渠道,本刊内容已加入《北极星》网站。本刊从 2000 年起,将刊出文章全文在《北极星》网站(<http://www.lodestar.com.cn>)发布,作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付,如作者不同意将文章在该网站发布,请在来稿时声明,本刊将做适当处理。

《水利水电科技进展》编辑部