

沐若水电站大坝碾压混凝土石粉掺和料应用研究

付建平

(中国水利水电第八工程局有限公司,湖南长沙 410007)

摘要:沐若水电站大坝为全断面碾压混凝土重力坝,因当地人工砂的细度模数小,石粉含量高,为降低工程造价,合理利用资源,减少对环境的污染,对石粉作为掺和料进行了一系列现场试验研究。结果表明,只要采用合适的加工工艺控制人工砂的石粉含量在 27% 以下,以内含的方式按砂质量 3%~4% 的石粉作为掺和料配制碾压混凝土,就完全可以满足设计对碾压混凝土各项性能指标的要求。此项成果已成功应用于工程实际,取得了较好的效果。

关键词:碾压混凝土;石粉掺和料;现场试验;沐若大坝

中图分类号:TV642.3 **文献标志码:**A

1 工程概述

沐若水电站位于马来西亚婆罗洲岛的沙撈越州拉让(Rajang)河流域源头沐若河上。大坝为碾压混凝土重力坝,坝身设无闸控泄洪表孔,大坝建基面高程 400.0 m,坝顶高程 546.0 m,最大坝高 146.0 m。大坝轴线长 430.23 m,分成 21 个坝段,1~8 号坝段为左岸非溢流坝段,12~21 号坝段为右岸非溢流坝段,9~11 号坝段为河床溢流坝段。混凝土总量 165.5 万 m³,其中碾压混凝土(RCC)144 万 m³。工程主要任务是发电,水库正常蓄水位 540 m,死水位 515 m,总库容 120.43 亿 m³,调节库容 54.75 亿 m³。右岸引水发电厂房装机 4 台,单机容量为 236 MW,电站总装机容量为 944 MW。工程于 2008 年 10 月 1 日开工,2010 年 5 月 1 日截流,2010 年 11 月 8 日大坝河床坝段开始浇筑混凝土。

2 混凝土原材料

水泥由业主沙撈越能源公司(SEB)指定的供应商 CMS CEMENT(BINTULU) SDN BHD 供应,品种为普通硅酸盐水泥(P·O)。因该水泥厂所使用的水泥熟料为全球采购,水泥质量波动较大,细度不满足中国标准(GB175-2007)要求。

粉煤灰由 SEB 指定供应商供应,为 BINGTULU 木胶 I 级灰。其 CaO 含量较高,质量不稳定。

外加剂为湖南江海科技发展有限公司生产的 TG-2 缓凝高效减水剂和 TG-1A 引气剂复掺,其性能均满足 GB8076-1997 规范要求。

骨料采用坝址附近瀑布料场砂岩加工的人工骨料,料场砂岩呈微弱风化状态,钻孔取芯的岩石芯样及块石委托 GEOSPEC SDN. BHD 公司进行了检测,结果表明,岩石芯样虽抗压强度较高(81~145 MPa),但砂岩的吸水率较大(2.336%),表观密度值偏小,平均值 2.538 g/cm³。加工的细骨料细度模数较小,石粉含量偏高。骨料品质检验统计结果见表 1、表 2。

表 1 细骨料检测统计成果

项目	表观密度/ (kg·m ⁻³)	泥块 含量/%	石粉含量/ %	细度 模数	压碎 指标/%
施工技术要求	≥2500	不允许	6~18(10~22)	2.2~3.0	≤10.0
最大值	2570	0	35.5	2.48	9.7
最小值	2530	0	19.9	1.90	4.3
平均值	2550	0	24.8	2.21	8.2

注:石粉含量 10%~22% 为碾压混凝土标准。

3 石粉含量对碾压混凝土性能的影响

为深入研究骨料性能,合理有效地加工生产和使用骨料,在前期原材料及配合比试验成果的基础上,开

展了沐若砂岩人工骨料混凝土性能的补充研究试验。

人工砂中石粉含量对碾压混凝土可碾性有很大影响,石粉含量低的人工砂配制的碾压混凝土,外观粗糙,弹塑性、可碾性差。石粉含量过高则会增加混凝土单位用水量,影响混凝土的性能。不同石粉含量碾压混凝土性能试验成果见表 3。

由表 3 可知,人工砂石粉含量在 16% ~ 27% 之间变化时,混凝土各龄期的抗压强度无明显差异。随石粉含量增加,混凝土工作性有所改善,单位用水量增加;混凝土 90 d 极限拉伸值与轴拉强度略有降低。

4 石粉掺和料应用研究

基于沐若大坝人工砂石粉含量较高的情况,参考

其他工程使用非活性掺和料应用研究的经验,拟将人工砂中的部分石粉作为非活性掺和料,代替部分粉煤灰,以“粉煤灰 + 石粉”的形式掺入混凝土。沐若水电站主体工程石粉以人工砂中内含方式掺用,在现场开展了石粉掺和料混凝土的性能试验研究。

(1) 石粉的物理品质检测。人工砂中石粉的品质检验参照粉煤灰检验标准进行,品质检验成果见表 4。

检验结果表明,石粉颗粒较粗,细度为 75% (0.045 mm),超出 III 级粉煤灰 (45%) 标准;需水比为 108%,满足 III 级粉煤灰 ≤ 115% 的要求。

(2) 不同石粉掺量对碾压混凝土拌和物性能和抗压强度的影响。二级配 50:50 石粉掺和料碾压混凝土的水胶比与强度关系试验成果见表 5。

表 2 粗骨料检测统计成果

项目	表观密度/(kg·m ⁻³)			吸水率/%			针片状/%		压碎指标 (10~20) mm/%	超径/%			逊径/%		
	5~20 mm	20~40 mm	40~80 mm	5~20 mm	20~40 mm	40~80 mm	5~20 mm	20~40 mm		5~20 mm	20~40 mm	40~80 mm	5~20 mm	20~40 mm	40~80 mm
施工技术要求	≥2550	≥2550	≥2550	≤2.5	≤2.5	≤2.5	≤15	≤15	≤16	≤5	≤5	≤5	≤10	≤10	≤10
最大值	2580	2590	2600	3.0	2.7	2.5	6.4	8.1	16.6	4.9	11.6	17.6	15.2	14.8	15.4
最小值	2550	2550	2550	2.0	1.6	1.4	1.3	1.5	10.1	0.2	0	0	0.2	0.3	0
平均值	2563	2572	2579	2.4	2.2	1.9	3.7	3.7	14.1	2.0	3.7	4.4	2.7	5.1	4.2

表 3 不同石粉含量碾压混凝土性能试验成果

试验编号	引气剂/10 ⁻⁴	石粉含量/%	用水量/(kg·m ⁻³)	水泥/(kg·m ⁻³)	粉煤灰/(kg·m ⁻³)	工作性	V _c 值/s	含气量/%	28d 抗压/MPa	90d 抗压/MPa	180d 抗压/MPa	90d 劈拉/MPa	90d 极限拉伸值/×10 ⁻⁴	90d 轴拉强度/MPa
A-180	25	16	103	75	112	一般	4.0	3.15	10.0	21.0	25.3	1.75	1.18	1.93
A-179	25	19	103	75	112	较好	4.0	3.10	10.2	19.3	25.8	1.51	-	-
A-177	25	22	103	75	112	良好	3.5	3.15	11.4	21.4	27.2	1.58	-	-
A-178	28	24	105	76	115	良好	4.2	3.25	11.5	21.0	27.6	1.56	1.08	1.81
G _Y -09	30	27	107	78	116	较好	3.8	2.95	13.6	22.9	-	1.50	-	-

表 4 石粉物理品质检测成果

材料品种	抗压强度比/%			表观密度/(kg·m ⁻³)	细度/%		比表面积/(m ² ·kg ⁻¹)	需水比/%	烧失量/%
	3d	7d	28d		0.08mm	0.045mm			
大坝砂岩石粉	57.3	60.9	58.1	2700	57.1	75.0	147	108	-
Mukch 粉煤灰	-	72.3	78.0	2660	-	8.5	-	91	0.2
GB1596-2005 (I 级灰)	-	-	≥70	-	-	≤12	-	95	≤5.0

表 5 不同石粉掺和料掺量的 RCC 水胶比与强度关系

序号	水胶比	石粉/%	粉煤灰/%	用水量/(kg·m ⁻³)	砂率/%	TG-2/%	V _c 值/s	含气量/%	抗压强度/MPa		序号	水胶比	石粉/%	粉煤灰/%	用水量/(kg·m ⁻³)	砂率/%	TG-2/%	V _c 值/s	含气量/%	抗压强度/MPa	
									28d	90d										28d	90d
1	0.45	0	60	92	35	1.0	2.0	3.2	16.8	26.9	8	0.45	20	40	95	35	1.0	3.0	3.2	14.2	21.6
2	0.50	0	60	92	36	1.0	3.0	2.5	14.3	24.6	9	0.50	20	40	95	36	1.0	3.0	2.6	13.0	17.2
3	0.55	0	60	92	37	1.0	3.0	2.4	12.4	21.9	10	0.40	30	30	96	34	1.0	1.5	3.2	15.0	23.4
4	0.45	10	50	94	35	1.0	2.5	3.0	14.8	25.4	11	0.45	30	30	96	35	1.0	2.56	2.76	13.1	20.5
5	0.50	10	50	94	36	1.0	3.0	2.6	13.8	23.7	12	0.45	30	30	87	31	1.0	2.0	3.9	12.5	20.0
6	0.55	10	50	94	37	1.0	3.5	2.6	11.2	19.8	13	0.50	30	30	96	36	1.0	2.6	2.7	11.0	17.2
7	0.40	20	40	95	34	1.0	2.0	3.5	15.9	24.8											

注:序号 12 为三级配 30:30:40。

表 6 掺石粉掺和料碾压混凝土配合比

设计指标	级配	水胶比 $W/(C+F)$	砂率/ %	每立方米材料用量					
				TG-2/ %	TG-1A/ $\times 10^4$	水/ kg	水泥/ kg	粉煤灰/ kg	石粉/ kg
C ₁₈₀ 15W6RCC	30:40:30	0.55	29	0.9	10	89	65	72	25
C ₁₈₀ 20W6RCC	30:40:30	0.50	29	0.9	10	90	81	79	20
C ₁₈₀ 20W10RCC	50:50	0.50	33	0.9	10	98	88	88	20

表 7 掺石粉碾压混凝土性能试验成果

设计指标	级配	V_c 值/ s	含气/ %	初凝/ (h:min)	终凝/ (h:min)	抗压强度/MPa		劈拉强度/MPa		90d 轴拉 强度/MPa	90d 极限拉 伸值/ $\times 10^{-4}$	90d 抗拉 弹模/ 10^4 MPa	抗渗 等级	
						7d	28d	90d	28d					90d
C ₁₈₀ 15 F50W6	三	6.5	3.2	11:50	20:28	6.4	11.2	17.0	0.93	1.39	1.82	1.21	1.77	> W6
C ₁₈₀ 20 F50W10	三	8.0	3.4	12:30	21:09	9.1	15.5	21.9	1.22	1.64	2.16	1.29	2.04	> W10
C ₁₈₀ 20 F50W10	二	9.0	2.8	-	-	10.1	14.8	21.6	1.20	1.62	1.95	1.27	2.05	> W10

试验表明:石粉掺和料每增加 10%,用水量需增加 1~2 kg/m³,强度下降 5%~10%;随着水灰比的增加,强度下降有所增加,但仍满足设计要求。

(3) 采用非活性石粉掺和料的碾压混凝土施工配合比及混凝土性能。参考掺非活性石粉掺和料室内试验的碾压混凝土配合比,以人工砂中石粉含量 27% 的 3%~4%,大约 20~25 kg/m³ 作为掺和料,进行施工配合比优化,并进行碾压混凝土性能试验,试验成果见表 6、表 7。

从以上试验结果可以看出:碾压混凝土中掺加 20~25 kg/m³ 的石粉作为掺和料,混凝土拌和物的性能和试件的力学性能、变形性能和耐久性没有显著下降,均满足设计要求。

5 结 论

(1) 沐若水电站大坝的碾压混凝土人工砂石粉含量在 16%~27% 变化时,混凝土各龄期的抗压强度无显著变化。随着石粉含量的增加,碾压混凝土工作性有所改善,单位用水量有所增加,极限拉伸值和轴拉强度略有降低,但仍满足设计要求。

(2) 用合适的加工工艺控制砂的石粉含量在 27% 以下,以内含的方式按砂质量 3%~4% 的石粉作为掺和料配制碾压混凝土,完全满足设计要求的各项性能指标要求,既充分利用了开采加工的骨料,减少工程投资,又大大减少了石粉排放对环境的污染,具有显著的经济效益和环保效益。对类似的工程具有极大的借鉴作用。

(编辑:徐诗银)

Research on application of the admixture of stone powder in RCC dam of Muruo Hydropower Station

FU Jianping

(Sinohydro Bureau 8 Co. Ltd, Changsha 410007, China)

Abstract: The dam of Muruo Hydropower Station is a full section RCC gravity dam, the local artificial aggregate consists of sand with small fineness modulus and the high content of stone powder. A series of field tests on the admixture of stone powder are conducted in order to use the resources rationally and reduce engineering cost and environmental pollution. The results show that the powder content in artificial sand accounts for 27% at most by adopting appropriate processing technology, the RCC is prepared by using the stone powder accounts for 3%~4% sand content to form a admixture, both of which can fully meet the design requirements of each indicator of RCC. The result has been successfully applied to actual projects and obtained good effects.

Key words: RCC; admixture of stone powder; field test; Muruo Dam