

巴塘水电站主体工程开挖料作 混凝土骨料研究

杜晓凡, 田应辉

(华电金沙江上游水电开发有限公司巴塘分公司, 四川 巴塘 627650)

摘要:通过对巴塘水电站主体工程开挖料进行物理性能、碱活性、云母含量及混凝土配合比、力学性能等试验,得出主体工程开挖料弱风化以下黑云母石英片岩满足相关规范各项指标要求,可以作为混凝土骨料、大坝过渡料及反滤料的结论,并据此对料场、渣场、砂石混凝土加工系统布置进行调整,大大降低了工程投资,提高了巴塘水电站的经济性。

关键词:巴塘水电站;人工骨料;力学试验;成果应用

中图分类号:[TM622];F416.9;TU755.1

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2021)02-0088-04

Research on Excavated Material of the Main Project as Concrete Aggregate in Batang Hydropower

DU Xiaofan, TIAN Yinghui

(Batang Branch of Huadian Jinsha River Upstream Hydropower
Development Co., LTD, Batang, Sichuan, 627650)

Abstract: Tests on physical properties, alkali activity, mica content, concrete mix ratio, and mechanical properties of excavated material of the main project of Batang hydropower Station show that black mica-quartzose schist below weak-weathered rock meets the requirement of relevant specifications, and it can be used as concrete aggregates, filling-material for dam transition area and cushion materials. Based on this, the author proposes adjustment of the layout of material yards, spoil yard, and concrete batching system, which remarkably reduces the investment and improves the economy of the project.

Key words: Batang Hydropower Station; crushed aggregate; mechanical test; application

1 概 况

巴塘水电站位于四川省甘孜藏族自治州巴塘县巴楚河口(巴楚河入金沙江交汇处)上游约 660 m 的金沙江干流上,是金沙江上游河段 13 级开发的第 9 级电站。电站装机容量 750 MW,年发电量 33.93 亿 kWh,为二等大(2)型工程。

水利水电工程一般混凝土工程量巨大,混凝土骨料料源的选择对工程质量和投资有直接影响。巴塘水电站可研阶段规划采用和达通沟块石料场的闪长岩作为混凝土骨料料源,而可研审查时考虑到和达通沟石料场开采边坡高,采运难度较大,料场支护工程量大,且主体工程开挖料总量达 1 414.58 万 m³,坝体填筑利用仅 472.20 万 m³,开挖料没有得到充分利用。因此,探索研究利用主体工程开挖料加工混凝土骨料、大坝过渡

料及反滤料的合理性,避免料场的开挖和减少弃渣量,以达到保护环境和水土保持,并提高巴塘水电站的经济性,十分必要。

2 人工骨料试验

巴塘水电站主体及导流工程的石方开挖总量约 1 414.58 万 m³,考虑开挖废料及损耗,可利用的开挖料约 585.14 万 m³。而工程所需料源 472.20 万 m³;其中:筑坝料 267.04 万 m³,过渡料 26.85 万 m³,反滤料 7.74 万 m³,混凝土骨料 170.57 万 m³。主体工程开挖料储量充足。

根据巴塘水电站可研报告,开挖区弱风化黑云母石英片岩干密度 2.73~2.90 g/cm³,孔隙率 0.72~1.33%,单轴抗压强度 86~104 MPa,饱和抗压强度 62~89 MPa,软化系数 0.67~0.88,凝聚力 1.9~3.1 MPa,内摩擦角 46°24'~55°55',变形模量 12.4~17.8 GPa。从物理力学参数看,

收稿日期:2021-03-14

弱风化岩块质量可满足混凝土骨料及大坝堆石料的要求。为充分利用开挖料,工程人员开展相关试验工作。

2.1 骨料碱活性试验

试验样品采自工程现场开挖的黑云母石英片岩,采用 PE250×400 型颚式破碎机破碎大石、中石、小石,采用 PCΦ400×300 型锤式破碎机破碎

砂料。胶凝材料为华新 42.5 普通硅酸盐水泥、云南宣威 II 级粉煤灰。

采用砂浆棒快速试验法对料试样进行了碱活性试验。

按试验规程的要求,“砂浆棒快速法”所用砂料级配应符合表 1 的要求。

表 1 制作砂浆棒的砂料级配

筛孔尺寸/mm	5~2.5	2.5~1.25	1.25~0.63	0.63~0.315	0.315~0.16
分级质量%	10	25	25	25	15

砂浆棒快速法配合比如下:

水泥与砂的质量比为 1:2.25。一组三个试件,共需水泥 440 g,砂 990 g。砂浆水灰比为

0.47。

主体工程开挖弱风化以下黑云母石英片岩料骨料碱活性砂浆棒快速法试验结果见表 2。

表 2 骨料碱活性砂浆棒快速法试验结果

试件编号	骨料类型	不同龄期砂浆膨胀率/%			
		3 d	7 d	14 d	28 d
1	黑云母石英片岩	0.006	0.014	0.043	0.063

由表 2 可知:黑云母石英片岩骨料岩石样品砂浆试件 14 d 膨胀率为 0.043%,小于 0.1%,依据骨料碱活性砂浆棒快速法评价标准,可判定该骨料不会发生碱-硅酸反应,为非活性骨料。

~30%。由于切片方向和观察范围不同,所检测到的云母含量不同,不具备代表性。

再利用 X 射线衍射法检测,共取 3 组样品,云母含量在 7~13.5%之间。

2.2 云母含量检测

2.2.1 开挖原料云母含量检测

取黑云母石英片岩采用岩相法检测,共取 5 组样品。其中 4 组云母含量为 0%,1 组含有 20

2.2.2 骨料物理性能试验

依据《水工混凝土砂石骨料试验规程》DL/T5151-2014 的要求,对黑云母石英片岩骨料物理性能进行试验,试验结果见表 3~4。

表 3 细骨料物理性能测试结果

项 目	水工混凝土施工规范 DL/T5144-2015(人工砂)	测试值
坚固性/%	有抗冻要求混凝土	≤8
	无抗冻要求混凝土	≤10
泥块含量/%	不允许	0.0
饱和面干表观密度/kg·m ⁻³	≥2 500	2 800
饱和面干吸水率/%	—	1.52
硫化物及硫酸盐含量/%	≤1	0.07
有机质含量/%	不允许	0.0
云母含量/%	≤2	1.0
细度模数	2.4~2.8	2.69
0.16 mm 及以下颗粒含量/%	6~18	14.9

从表 3 试验结果可以看出:黑云母石英片岩细骨料的各项指标均满足《水工混凝土施工规范》DL/T5144-2015 对细骨料品质的要求。

从表 4 试验结果可以看出:黑云母石英片岩粗骨料的各项指标均满足《水工混凝土施工规范》DL/T5144-2015 对粗骨料品质的要求。

2.2.3 试验的启示

采用《水工混凝土砂石骨料试验规程》DL/

T5151-2014 中的方法与岩相法、X 射线衍射法检测云母含量结论相差较大,根据科技文献资料可知,岩相法和 X 射线衍射法主要是针对岩石中的云母含量检测,并不能作为评判标准,且 0.16 mm 以下的云母颗粒几乎对混凝土不会产生不利影响。

通过分析,破碎后的人工砂的粒径为 0.315~5.0 mm,此范围内游离出来的云母含量较

少,部分细微的云母依附在较大的颗粒上或小于 0.315 mm 而被筛除,从而通过破碎加工冲洗的细骨料满足《水工混凝土施工规范》DL/T5144—2015 中云母含量小于 2% 要求;且黑云母石英片岩碱活性砂浆棒快速法试验结果为非活性骨料,可作为巴塘水电站砂石骨料加工的料源。

3 混凝土配合比及力学试验

混凝土配合比的目的是在满足设计和施工要求的前提下确定最优配合比,使混凝土单位成本较低。由于主体工程开挖料黑云母石英片岩不具

有碱活性,因此,常态混凝土粉煤灰掺量取 20~30% 的配合比进行试验。再根据选定的骨料级配、砂率及由 28 d 强度曲线选定的水胶比,可以确定初选配合比(表 5)。

根据以上初选配合比方案,按照 DL/T5150—2001《水工混凝土试验规程》中有关规定,进行了混凝土力学、耐久性、变形试验,水泥品种采用华新 42.5 普通水泥,粉煤灰品种采用宣威灰。试验结果见表 6~10。

表 4 粗骨料物理性能试验结果

骨料种类	检测项目	DL/T5144—2015 标准	粒径/mm				
			5~10	10~20	20~40	40~80	
黑云母石英片岩	饱和面干表观密度 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	$\geq 2\ 550$	2 830	2 860	2 880		
	饱和面干吸水率 /%	≤ 2.5	1.07	0.55	0.49		
	针片状颗粒含量 /%	≤ 15	二级配 3.8, 三级配 8.1				
	坚固性 /%	有抗冻要求混凝土	≤ 5	二级配 1.3, 三级配 0.6			
		无抗冻要求混凝土	≤ 12				
	压碎指标 /%	≤ 20	6.0				
	硫化物及硫酸盐含量 /%	≤ 0.5	0.07				
	有机质含量 /%	浅于标准色	浅于标准色				
	泥块含量 /%	不允许	无				

表 5 混凝土初选配合比

编号	混凝土强度等级	级配	水胶比	胶材用量 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	粉煤灰掺量 /%	外加剂掺量		混凝土材料用量 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$				
						GK-4A(%)	DH9(0.01%)	水	水泥	粉煤灰	砂	石
1	C15F100W6	三	0.50	252	30	0.8	0.5	126	176	76	651	1 480
2	C20F100W6	三	0.49	257	20	0.8	0.4	126	206	51	651	1 482
3	C25F100W6	三	0.44	286	20	0.8	0.4	126	229	57	622	1 483
4	C25F100W6	二	0.44	327	20	0.8	0.4	144	262	65	689	1 301
5	C30F100W6	二	0.39	382	20	0.8	0.4	149	306	76	647	1 276

表 6 混凝土抗压劈拉强度和抗弯强度试验结果

编号	混凝土强度等级	胶材品种	配制强度 /MPa	抗压强度 /MPa		劈拉强度 /MPa	
				7 d	28 d	7 d	28 d
1	C15F100W6	华新普通 +宣威灰	20.8	16.5	26.2	1.41	2.15
2	C20F100W6		26.6	21.4	28.7	1.87	2.36
3	C25F100W6		31.7	25.5	33.3	2.11	2.77
4	C25F100W6		31.7	23.5	32.8	2.02	2.68
5	C30F100W6		37.4	30.6	39.3	2.27	3.17

表 7 混凝土静压弹性模量试验结果

编号	混凝土强度等级	静压弹模 /GPa		
		7 d	14 d	28 d
1	C15F100W6	20.74	23.50	25.57
2	C25F100W6	23.74	27.64	29.87

表8 混凝土极限拉伸试验结果

编号	混凝土强度等级	极限拉伸值($\times 10^{-4}$)		轴拉强度 /MPa		拉伸弹模 /GPa	
		7 d	28 d	7 d	28 d	7 d	28 d
1	C15F100W6	0.95	1.11	1.67	2.26	22.67	26.35
2	C25F100W6	1.22	1.19	2.56	2.78	23.90	29.88

由上述试验结果可见:

- (1)混凝土 28 d 轴拉强度高于劈拉强度;
- (2)混凝土轴拉弹性模量高于静压弹性模量;
- (3)设计龄期的混凝土极限拉伸值均满足设计要求。

表9 混凝土抗冻试验结果

配合比 编号	混凝土 强度等级	相对动弹模	质量损失	抗冻 等级
		/%	/%	
		50	50	
1	C15F100W6	96.4	0.59	>F100
2	C20F100W6	97.8	1.01	>F100
3	C25F100W6	96.5	0.69	>F100
4	C25F100W6	96.9	0.36	>F100
5	C30F100W6	97.3	0.87	>F100

上述试验结果表明:

- (1)常态混凝土各配比达到抗渗等级时试件

表10 混凝土抗渗试验结果

配合比编号	混凝土强度等级	胶材品种	最大水压力 /MPa	试件是否渗水	平均渗水高度 /mm	抗渗等级
1	C15F100W6	华新普通水泥+ 宣威灰	0.7	无渗水	36	>W6
2	C20F100W6			无渗水	132	>W6
3	C25F100W6			无渗水	36	>W6
4	C25F100W6			无渗水	110	>W6
5	C30F100W6			无渗水	49	>W6

场的开采、爆破、道路、支护、安全监测等项目费用较高。直接利用主体工程开挖料作为混凝土骨料,取消和达通沟料场,直接降低投资 7 424.56 万元。

4.2 砂石混凝土系统布置调整

因和达通沟料场取消,与其紧邻的砂石、混凝土系统调整布置于左岸 2 号弃渣场之上,若不作调整,仍按原计划地基采用砂砾石换填、浇筑筏板基础大混凝土、高边坡开挖,初步估算砂石混凝土系统建设增加投资 1 806.91 万元。调整至 2 号渣场后,毛料、混凝土运距变化导致的骨料、混凝土单价降低,总费用自然降低,同时,混凝土骨料由闪长岩改用黑云母石英片岩,水泥用量按增加 30 kg/m³ 计,该项调整总共减少投资 4 804.46 万元。

4.3 渣场优化调整

因把开挖料作为加工混凝土骨料、大坝过渡料及反滤料,减少弃渣 130.92 万 m³;取消和达通

表面均未出现渗水,劈开试件检测其平均渗水高度均小于混凝土抗渗试件高度,初选混凝土各配合比满足设计要求抗渗等级;

(2)根据 DL/T5150—2001《水工混凝土试验规程》,相对动弹模量下降至初始值的 60% 或质量损失率达 5% 时,即可认为试件已达破坏程度。由试验结果可见,巴塘水电站所选配比混凝土的抗冻均满足设计抗冻等级的要求。

4 成果应用及降低成本

4.1 取消和达通沟料场

可研阶段推荐和达通沟料场作为巴塘水电站的混凝土骨料料场设计开采量 335.00 万 m³,开采面积约 15.8 万 m²;边坡最大高度约 310 m,料

沟料场,减少弃渣料场夹层弃料 108 万 m³。经对土石方的平衡分析,巴塘水电站 1 号、2 号、3 号弃渣场能满足堆渣量要求,从而取消可研阶段规划的 4 号(渣场堆渣量为 162.46 万 m³)和 5 号弃渣场(渣场堆渣量为 68.03 万 m³)。因此,将原来运至这两个渣场的厂房尾水开挖弃料 170.34 万 m³ 调整运到 1 号渣场,运距从 8 km 减少到 6.5 km,投资减少 918.05 万元。由于减少了 4 号、5 号渣场挡排量及料场植被恢复费用,环境保护及水土保持工程费用减少约 3 361.56 万元。

5 结 语

水电工程混凝土骨料料源的选择在规划阶段主要考虑储量和质量两个因素。通过料源平衡分析及对主体工程开挖料开展相关试验,得出主体工程开挖料弱风化以下黑云母石英片岩可以满足混凝土骨料品质要求。据此对巴塘水电站有用料进行调整,并优化取消和达通沟料场和 4 号、5 号

(下转 104 页)

满足砂石系统生产废水连续处理需求,经处理后的中水水质优良,达到了SS<100 mg/L回用标准。该系统具有处理能力大、运行稳定,对不同浓度废水的适应性较好,且占地面积小,土建施工费用低,建设周期短等优点,实现了高效率、低成本运行,达到了废水处理循环利用和“零”排放的生态环保要求,为大型人工砂石系统生产废水处理树立了“亮点”标杆,为巴塘水电站创建“绿色金上”奠定了坚实基础。

参考文献:

[1] 《污水综合排放标准》GB8978-1996[S].

[2] 《水电工程砂石系统废水处理技术规范》DL/T5724-2015[S].
 [3] 燕乔,屠丹,李华斌.砂石骨料生产系统废水处理工艺设计及应用[J].人民长江,2015,(46):42-44.
 [4] 王文学,曹龙滨,牛有江.两河口水电站人工骨料加工系统废水处理工艺浅析[J].四川水利,2012,(4):52-55.

作者简介:

李富兵(1982-),男,贵州余庆人,高级工程师,学士,从事水利水电工程施工管理;
 孙叶龙(1984-),男,河北任县人,华电金沙江上游水电开发有限公司、工程师、学士、从事水利水电工程施工;
 丁善锋(1980-),男,河南濮阳人,项目副总,高级工程师,从事水利水电工程施工管理。 (责任编辑:卓政昌)

(上接第91页)

渣场,对施工总布置进行相应调整,直接降低投资14 701.72万元,大大提高了项目的经济性。

但是,混凝土骨料料源在实施阶段仍会受一些工程边界条件变化的影响,如地质条件变化、骨料加工工艺、有用料管理等。为此,巴塘水电站在实施阶段采取以下几个措施确保了混凝土骨料料源的管控。

(1)对砂石加工系统采取成品粗骨料的全整形工艺,有效控制碎石的针片状含量,确保骨料品质达标;

(2)根据工程实际情况制定了《巴塘水电站有用料管理办法》,通过加强有用料管理,提高有用料利用率;

(3)加强动态管控,根据实际开挖地质条件做好有用料的储存,分析实际储量是否能够满足工

程需求,以便及时对料源进行调整。

参考文献:

[1] DL/T 5144-2015,水工混凝土施工规范[S].中国电力出版社,2015.
 [2] DL/T 5151-2014,水工混凝土砂石骨料试验规程[S].中国电力出版社,2014.
 [3] DL/T 5330-2015,水工混凝土配合比设计规程[S].中国电力出版社,2015.
 [4] 李太成,余奎,常作维,等.大型水电工程混凝土骨料料源选择的思考[J].水力发电,2011,37,(10):48-50.
 [5] 雷爱中,唐宪国,卜向东.水利水电工程混凝土骨料料源的选择[J].建材发展导向,2012,(20):23-26.

作者简介:

杜晓凡(1991-),男,贵州安顺人,工程师,巴塘分公司工程技术部副主任,从事水利水电工程建设管理工作;
 田应辉(1970-),男,贵州德江人,高级工程师,巴塘分公司副总工程师,从事水利水电工程建设管理工作。 (责任编辑:卓政昌)

(上接第100页)

[4] DL/T5173-2012.水利水电工程施工测量规范[S].2012.
 [5] 万里,谷治浪.导流隧洞洞身开挖施工技术要求.陕西:西北勘测设计研究院有限公司.2018.

作者简介:

曾 鸣(1989-),男,甘肃岷县人,工程师,一级建造师,本科,从事水利水电工程施工;
 古小梦(1993-),男,四川泸州人,助理工程师,本科,从事水利水电工程施工;
 李 航(1994-),男,四川成都人,助理工程师,本科,从事水利水电工程施工。 (责任编辑:卓政昌)

金沙水电站二号机组实现并网发电

4月22日,金沙水电站二号机组并网发电成功,这是继11月30号一号机组投产发电之后,该水电站传来的又一捷报,这也标志着金沙水电站这一国家重大建设项目已经完成了工程建设任务的95%。2号机组并网发电后,运行状况稳定,各项指标均优于国家及行业规范。2号机组每年发电量约6.27亿度,可满足34.8万户居民一年用电需求。同时,作为优质清洁能源,每年可节约火电标煤约20万吨,减少CO₂排放量约50万吨,二氧化硫年排放量0.15万吨,氮氧化物年排放量0.13万吨,将为国家如期实现碳达峰、碳中和目标做出有力贡献。