

巴塘水电站大坝堆石料的开采与质量控制

曾铁钢

(中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610066)

摘要:针对巴塘水电站大坝堆石料开采困难的具体情况,开展了坝料开采与质量控制研究。通过现场爆破开采试验得知,堆石料开采质量难以满足设计级配要求的主要原因:岩体本身破碎,加上裂隙切割、发育,在枢纽建筑物左岸边坡岩体条件下开采,难以通过调整爆破参数收集到满足设计要求的大坝堆石料。虽然巴塘水电站左岸枢纽建筑物的边坡开挖料料源中的细颗粒偏多、级配较差,但通过堆石料的室内试验和现场碾压试验可以研究其物理特性,最终选用了左岸枢纽建筑物的边坡开挖料,研究确定了堆石料开采爆破参数、堆石料填筑及碾压施工参数,保障了大坝堆石料的开采质量及填筑质量,节省了工程投资,亦避免了新增堆石料开采料场破坏金沙江上游青藏高原藏区脆弱的生态环境,取得了较好的经济效益和社会效益。

关键词:岩体破碎;坝料开采;爆破试验;颗粒级配;巴塘水电站;质量控制

中图分类号:TV7;TV52;TV523;TV53+4

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2024)04-0013-04

Rock-fill Material Mining and Quality Control for the Dam of Batang Hydropower Project

ZENG Tiegang

(Sinohydro Bureau 5 Co., LTD., Chengdu Sichuan 610066)

Abstract: In view of the difficulties in mining rock-fill materials for the dam of the Batang Hydropower Project, a study on the mining and quality control of the dam materials was carried out. According to the blasting mining test at the site, the broken rock mass and the cut and developed crack are the main reasons that the rockfill material mining cannot meet the design gradation requirement, under the rock mass condition of the left bank key structure slope of the Batang Hydropower Project, it is difficult to collect the rockfill material that meets the design requirements by adjusting the blasting parameters. Although there are more fine particles and worse gradation in the excavated materials of the left bank project of the Batang Hydropower Project, the physical characteristics of the rockfill materials were obtained through laboratory and field compaction tests, the rock-fill material of the dam was finally selected to excavate the slope of the left bank key building, and the blasting parameters, filling and rolling construction parameters of the rock-fill material were determined to ensure the mining and filling quality of the rock-fill material of the dam, the project investment was saved, and new rock-fill quarrying sites were prevented from damaging the fragile ecological environment of the Tibetan plateau in the upstream of Jinsha River, resulting in better economic and social benefits.

Keywords: Rock fragmentation; Dam material mining; Blasting test; Grain gradation; Batang Hydropower Project; Quality control

1 概述

巴塘水电站为金沙江上游河段规划十三座梯级水电站开发中的第九座梯级水电站,其上游为拉哇水电站,下游为苏洼龙水电站。该工程以发电为主,为Ⅱ等大(2)型工程。其正常蓄水位高程为 2 545.00 m,总库容为 1.41 亿 m^3 ,电站装机容量为 750 MW,多年平均发电量为 33.75 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,

装机年利用小时数为 4 500 h。死水位高程为 2 540.00 m,相应库容为 1.07 亿 m^3 。设计洪水位高程为 2 545.00 m,下泄流量为 8 700 m^3/s ,相应下游水位高程为 2 494.17 m。校核洪水位高程为 2 547.90 m,总库容为 1.42 亿 m^3 ,校核洪水位下泄流量为 10 500 m^3/s ,相应下游水位高程为 2 495.63 m;其有效库容(调节库容)为 0.21 亿 m^3 ,为日调节水库,回水长度为 18.4 km。

收稿日期:2024-03-14

挡水建筑物采用沥青混凝土心墙堆石坝,坝轴线位于金沙江与巴楚河汇合口上游约 660 m 处,拦河坝坝顶高程为 2 549.00 m,坝顶长约 348 m,坝顶宽 10 m,最大坝高 69 m,左岸布置有导流洞、泄洪放空洞、引水坝段、坝后厂房等枢纽建筑物。

该工程开挖料的岩性为黑云母石英片岩,筑坝料及混凝土骨料^[1]采用左岸枢纽建筑物的开挖料。该工程所需有用料总量为 440 万 m³,其中大坝填筑料为 280 m³(自然方),混凝土毛料为 160 m³(自然方)。

根据《巴塘水电站工程开挖利用筑坝料开采

储存技术要求》,用于大坝填筑的堆石料分为三个区:堆石Ⅰ区、堆石Ⅱ区、堆石Ⅲ区。堆石Ⅰ区的料源主要采用左岸建筑物开挖的弱风化岩石,堆石Ⅱ区的料源主要采用左岸建筑物开挖的新鲜岩石,堆石Ⅲ区的料源主要采用左岸枢纽建筑物开挖的弱风化岩石并结合开挖料情况掺入了部分强风化岩石。堆石各区的质量要求从高至低依次为:堆石Ⅱ区→堆石Ⅰ区→堆石Ⅲ区。

根据设计要求,用于坝体堆石区开挖料的最大粒径为 80 mm 并需满足堆石料级配曲线。堆石料级配曲线见图 1。

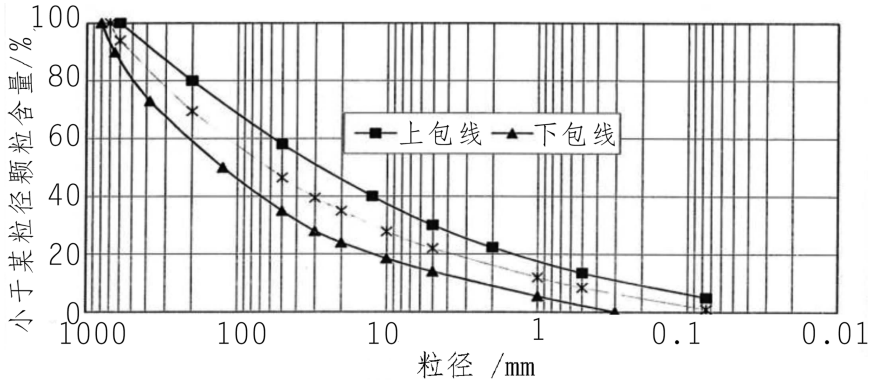


图 1 堆石料级配曲线示意图

坝料开采前,项目部组织业主、设计、监理、施工等相关方对有用料进行了鉴定^[2]。在堆石料鉴定过程中,参与鉴定的各方对堆石料进行了分区鉴定。项目部为了做好大坝堆石料开采与质量控制工作,对需要开采的堆石料料源进行了爆破试验,并在爆后进行了颗粒分析试验,对爆破开采的堆石料在渣场回采场进行了堆石料堆存。

2 坝料开挖爆破试验

2.1 开挖爆破试验

鉴于巴塘水电站总量约为 280 万 m³ 的大坝填筑料均来自其左岸枢纽建筑物的开挖料,而开挖堆石料的质量将直接影响到后期大坝填筑的质量。爆破试验的中间成果报告及后续爆破参数调整后的实践情况显示:通过爆破参数的调整,难以获取满足设计级配要求的堆石料,需要通过颗粒分析试验研究堆石料开采难以满足设计级配要求的影响因素;同时,为了保证颗粒分析试验成果的完整性,充分反映出堆石料开采收集的情况,项目部对现场未进行爆破而直接采用钩机获得的堆石料进行了颗粒分析试验。

2.2 开挖料颗粒分析试验成果

该项目进行了多组堆石料颗粒分析试验。颗粒分析试验级配曲线汇总情况见图 2。多组试验结果均表现为堆石料料源级配不满足设计要求,具体表现在以下几个方面。

(1)堆石料料源颗粒整体偏细。设计要求的颗粒最大粒径为 800 mm,粒径 200~800 mm 的颗粒为 20%~30.5%;而实际取得的颗粒最大粒径小于 490 mm,粒径 200~800 mm 的颗粒含量除 1 组为 37.3%外,其余各组的颗粒含量均在 4.5%~14.1%之间。

(2)粒径为 20~200 mm 的颗粒集中且偏多。设计要求的粒径为 20~200 mm 的颗粒含量约为 35%;而实际取得的粒径为 20~200 mm 的颗粒占比为 35.4%~79.5%,平均占比为 59.3%,高于设计要求(平均占比约为 35%)。

(3)粒径小于 5 mm 的颗粒呈整体偏下。考虑到后续大坝填筑过程中存在二次破碎细颗粒会增加的实际情况,碾压后其含量基本上能够满足设计要求^[3](注:由钩机开采方式获得的堆石料级

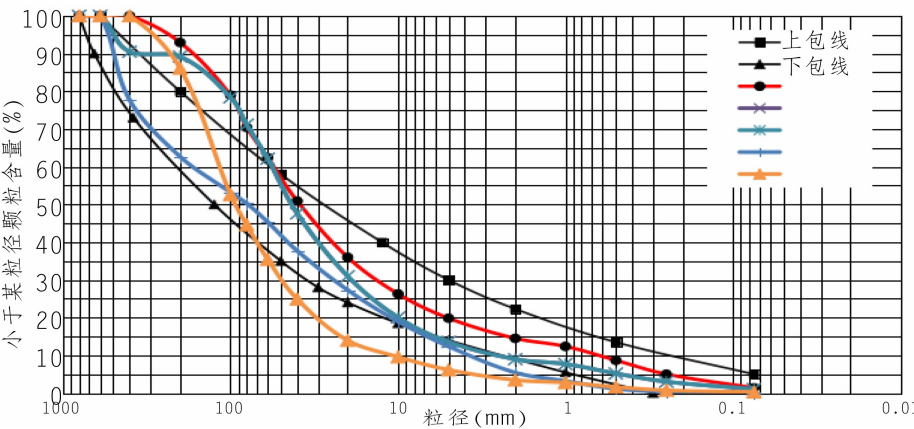


图 2 颗粒分析试验级配曲线汇总图

配数据表明:天然状态下岩体粒径为 20~200 mm 的颗粒含量偏高(平均占比为 75.8%),最大粒径含量偏小。

(4)对比采用爆破及钩机两种方式获得的颗粒分析结果发现:经爆破作用后其粒径小于 5 mm 的颗粒含量显著增加(由平均含量 5.3%上升至 13.9%),粒径为 20~200 mm 的颗粒含量降低(由平均含量 75.8%下降至 48.1%),爆破开采方式有效地改善了粒径为 200 mm 以下的颗粒含量,更趋于设计包线;但爆破后其最大粒径无显著变化。初步分析后认为其原因为:岩体结构裂隙发育,存在受结构裂隙切割影响料源整体偏细的实际情况;另外,爆破过程中部分能量沿岩石结构裂隙损失亦可能是造成粒径为 20~200 mm 颗粒含量偏高的主要原因。

(5)在左岸枢纽建筑物边坡开挖爆破试验中,1 组钩机开采获得的堆石料级配情况与爆破试验反映的情况基本一致。

3 原因分析

3.1 爆破参数分析

左岸枢纽建筑物边坡明挖作业面爆破施工后,先后进行了三个阶段的堆石料梯段爆破试验。

工程前期开展了爆破试验,项目部根据现场实际取得的爆破效果及颗粒分析试验情况,分别对孔排距、炸药单耗、抵抗线、装药结构等进行了调整。多次爆破试验结果显示:爆破后的大坝堆石料中粒径为 20~200 mm 的颗粒含量普遍偏高,若要稳定获取满足设计要求的堆石料存在一定的技术难度。鉴于该工程左岸枢纽建筑物边坡开挖工期紧、任务重、强度高,现场施工采用了高

边坡快速施工技术^[4],在施工现场选取了一组最优爆破参数进行爆破施工,并在后续生产过程中根据岩体情况对爆破参数进行了优化与调整。

爆破试验依托颗粒分析试验结果进行,共试验了 8 组不同的爆破参数。对使用不同爆破参数取得的堆石料进行了颗粒分析试验。但通过以上爆破试验,仍然无法获取满足设计要求的堆石料料源。通过对比分析钩机开采获得的堆石料料源级配情况得知:堆石料料源级配曲线超包络线的原因是由于岩体本身裂隙切割发育所致。

通过调整孔排距及炸药单耗、不断优化现场爆破参数,并对爆破试验结果进行分析与总结,最终确定了堆石料爆破装药的结构、堵塞长度、抵抗线及孔径参数,现场爆破主要采用了第 6 组爆破参数。爆破参数统计情况见表 1。

表 1 爆破参数统计表

序号	孔距 /m	排距 /m	炸药单耗 /(kg·m ⁻³)
1	5	3	0.51
2	5	3	0.37
3	5	2.5	0.37
4	5	2.5	0.46
5	5	4	0.46
6	5	4	0.39
7	4	4	0.39
8	4	4	0.48

3.2 开挖区颗粒分析试验料源地质条件分析

3.2.1 开挖区 I

开挖区 I 颗粒分析试验的料源为左岸枢纽建筑物边坡。现场揭露的地质条件为:岩体破碎,裂

隙发育,不成形,无完整岩石。裂隙纵向切割宽度为100~200 mm,横向切割宽度为200~400 mm。

3.2.2 开挖区Ⅱ

开挖区Ⅱ颗粒分析试验的料源为导流洞洞内洞挖料。现场揭露的地质条件为:该洞段的岩性为薄层夹中厚层黑云母石英片岩,岩体呈薄层状~层状结构,裂隙发育,岩体挤压变形严重、完整性较差。裂隙纵向切割宽度为200~400 mm,横向切割宽度为200~400 mm。

3.2.3 开挖区Ⅲ

开挖区Ⅲ颗粒分析试验的料源为泄洪放空洞洞内洞挖料。现场揭露的地质条件为:该洞段岩性为薄层夹中厚层黑云母石英片岩,岩体呈薄层状~层状结构,裂隙发育,岩体挤压变形严重、完整性较差。裂隙纵向切割宽度为200~400 mm,横向切割宽度为200~400 mm。

3.2.4 开挖区Ⅳ

开挖区Ⅳ颗粒分析试验的料源为导流洞、泄洪放空洞进口边坡的岩体。现场揭露的地质条件为:岩体破碎,裂隙发育,不成形,无完整岩石。裂隙纵向切割宽度为100~200 mm,横向切割宽度为100~200 mm。

通过调查各组颗粒分析试验料源点的实际情况发现:各开挖作业面所揭露的岩体均呈现出岩体破碎、裂隙发育、切割严重的现象。经现场测量得知岩体被纵横发育的裂隙切割后形成颗粒为100~200 mm的块体、片状体。爆破过程中的能量沿岩石裂隙释放,造成爆后堆石料级配颗粒为100~200 mm粒径含量偏高的状况。

4 质量控制措施

巴塘水电站大坝堆石料选用的是左岸枢纽建筑物的开挖料,其料源细颗粒偏多,级配较差,而土石坝为当地材料坝。为了充分利用左岸枢纽建筑物的开挖料,在其开采过程中,通过爆破试验确定了最优爆破参数,对料源开采的质量进行严格的控制,同时,通过对堆石料进行的室内试验和现场碾压试验^[5]获得了堆石料Ⅰ区、堆石料Ⅱ区、堆石料Ⅲ区在不同加水量、虚铺厚度及不同碾压遍

数情况下的干密度和沉降变化,最终根据实际开挖的料源确定了大坝填筑及碾压施工参数,使巴塘水电站大坝的填筑质量得到了有效控制。

5 结 语

笔者根据开挖区堆石料颗粒分析试验成果、结合现场地质情况进行分析后得出了以下结论:

(1)造成巴塘水电站堆石料开采难以满足设计级配要求的主要原因是巴塘水电站左岸枢纽建筑物边坡岩体本身破碎、裂隙切割、发育所致。

(2)在巴塘水电站左岸枢纽建筑物边坡岩体条件下,难以通过调整爆破参数收集到满足设计要求的大坝堆石料。其堆石料开采必须严格按照爆破试验取得的施工参数组织坝料开采质量控制,并通过大坝堆石料碾压试验确定切实可行的施工参数,以确保堆石料开采及坝体填筑质量控制满足设计要求。

(3)巴塘水电站通过对开挖料源爆破开采施工参数与大坝填筑及碾压施工参数进行控制,使巴塘水电站大坝的填筑质量得到了有效控制,既节省了工程投资,亦避免了新增坝料开采料场导致的对金沙江上游青藏高原藏区脆弱生态环境的破坏,取得了较好的经济效益和社会效益,并为类似大坝填筑料源开采及填筑质量控制提供了可供参考的经验。

参考文献:

[1] 杜晓凡,田应辉.巴塘水电站主体工程开挖料作混凝土骨料研究[J].四川水力发电,2021,40(2):88-91,104.
[2] 骆晗,韦振新,刘荣清.基于地质三维模型巴塘水电站有用料鉴别与挑选[J].西北水电,2020,39(4):110-112.
[3] 冯江江.龙背湾水电站面板堆石坝坝料开采与质量控制[J].陕西水利,2015,84(1):79-80.
[4] 丁善锋,罗文广,张显为.巴塘水电站左岸高边坡快速施工技术[J].四川水力发电,2021,40(2):19-23,32.
[5] 冯加栋.巴塘水电站大坝堆石料碾压试验成果研究[J].中国水能及电气化,2022,11(11):60-66.

作者简介:

曾铁钢(1984-),男,湖南醴陵人,项目总工程师,副高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(编辑:李燕辉)