

表4

测点	起点距	后视	前视	间视	高差	平均高差	视线高	高程
BM2		0.230					1710.976	1710.746
0.0				0.785				1710.19
0.5				1.524				1709.45
1.3				2.210				1708.77
4.3				2.323				1708.65
4.8				3.768				1707.21
5.4				3.920				1707.06
10.0				3.883				1707.09
40.0				3.883				1707.09
45.0				3.895				1707.08
50.0				1.558				1709.42
50.4				1.178				1709.80
转1		0.554	3.883				1707.647	1707.093
10.0				4.969				1702.68
15.0				4.820				1702.83
20.0				4.703				1702.94
25.0				4.660				1702.99
30.0				4.695				1702.95
35.0				4.537				1703.11
40.0			4.586					1703.06

#### 4 洪水调查资料

汛期结束后,要进行每年本站及4个雨量站(中川、西巩驿、王马山、太平店)的洪水调查,洪水调查的要求是每年只要有最大水流过的痕迹,都进行调查。断面编号为上、下断面,基面为假定基面,测量单位为会宁水文站,如表5所示。

表5

垂线号	起点距	河底高程	垂线号	起点距	河底高程
1	0.0	9.60	1	0.0	9.45
2	0.0	9.40	2	1.3	9.04
3	1.0	9.15	3	6.3	8.59
4	6.0	8.76	4	21.3	8.34
5	21.0	8.61	5	29.3	8.58
6	22.0	9.17	6	32.7	8.97
7	33.0	9.51	7	33.7	9.37
8	33.5	9.52			
	0.0	9.49		1.0	9.14
	32.4	9.49		33.1	9.14

#### 5 结语

结合上述,根据《水文年鉴汇编刊印规范》及《水文资料整编规范》完成了本年度的测量工作,分析了水位资料整编、流量资料整编、悬移质输沙率资料整编、水准点高程考证整编、实测流量成果整编、实测大断面成果整编等反应出本年度资料的准确性,细致性,完整性。成功的绘制出本站的大断面图、水位~流量关系曲线图、瞬时水文要素过程线图。

#### 参考文献

- [1] 张俊茹,付焱焱,张文哲,等.2005—2019年自动站与人工站降水量观测资料对比分析[J].气象水文海洋仪器,2024,41(06):16-19. DOI:10.19441/j.cnki.issn1006-009x.2024.06.002.
- [2] 赵飞燕.钼酸铵分光光度法测定总磷精密性偏性试验分析评价[J].山西水利,2023,(05):23-25.DOI:CNKI:SUN:SXLS.0.2023-05-015.
- [3] 李春芳,钟悦,蒙健娇,等.水质总磷的测定——钼酸铵分光光度法中三种消解方法的比对分析[J].山东化工,2022,51(19):139-143. DOI:10.19319/j.cnki.issn.1008-021x.2022.19.004.

# Production blasting test of dam filling material for Chaoyang Reservoir project, Zhangpu County, Fujian Province

Jianchuan Wu

China Water Resources and Hydropower Engineering Bureau Co., Ltd., Fuzhou, Fujian, 350003, China

## Abstract

Based on the actual conditions of the concrete-faced rockfill dam project at Chaoyang Reservoir in Zhangpu County, Fujian Province, this study conducted production-scale blasting tests for dam filling materials (primary/secondary rockfill materials and transitional materials). The experiment aimed to determine optimal parameters for deep-hole micro-differential compression blasting, ensuring post-blasting material gradation and particle size meet dam filling quality requirements. Through systematic analysis of key factors including bench height, borehole grid parameters, explosive configuration, charge consumption per unit, and detonation network, combined with material screening and particle analysis, the study identified a blasting parameter combination suitable for this project. The experimental results provide reliable

## Keywords

concrete-faced rockfill dam; blasting test; gradation; fill material; blasting parameters

# 福建省漳浦县朝阳水库工程坝体填筑料生产性爆破试验

吴建传

中国水利水电第十六工程局有限公司, 中国·福建 福州 350003

## 摘要

结合福建省漳浦县朝阳水库混凝土面板堆石坝工程实际,开展了坝体填筑料(主堆石料、过渡料)开采的生产性爆破试验。试验旨在确定最优的深孔微差挤压爆破参数,保障爆破后石料的级配与粒径符合大坝填筑质量要求。通过系统分析梯段高度、孔网参数、装药结构、单耗药量及起爆网络等关键因素对爆破效果的影响,并对爆破料进行筛分与颗粒分析,最终得出适用于本工程的爆破参数组合。试验成果为朝阳水库大坝填筑料的规模化、标准化开采提供了可靠依据,对保障施工质量与进度具有重要实践意义,也为类似工程提供了有益的技术参考。

## 关键词

混凝土面板堆石坝; 爆破试验; 级配; 填筑料; 爆破参数

## 1 工程概述

朝阳水库工程位于福建省漳浦县南浦乡美林村上游约2.8km的南溪河段,坝址集雨面积99.3km<sup>2</sup>。工程以灌溉、供水为主,兼顾发电,主要建筑物包括拦河坝、岸边式溢洪道、输水系统及发电厂房。

拦河坝为混凝土面板堆石坝,坝顶高程194.2m,坝顶宽度8.00m,最大坝高91.2m,坝顶长度318.50m。溢洪道布置于左岸坝头,全长447.63m,溢流堰顶高程178.5m。输水系统布设于右岸,隧洞衬砌后洞径2.80m,开挖洞径3.60m,线路总长1275m。发电厂房为地面式,设于大坝下游约1.2km处,安装两台卧轴混流式机组,总装机容量6.0MW。水库正常蓄水位190m,总库容4342万m<sup>3</sup>。

【作者简介】吴建传(1990-),男,中国福建省三明人,本科,工程师,从事水利水电工程建设研究。

大坝坝体填筑工程量:垫层料89037m<sup>3</sup>,过渡料88234m<sup>3</sup>,主(次)堆石料1740710m<sup>3</sup>。

## 2 坝体填筑料料源规划

坝体结构自上游至下游依次为混凝土面板、垫层料、过渡料、主堆石区与次堆石区。坝体填筑料主要来源于下游料场,储量约214万m<sup>3</sup>,可满足2024年汛前填筑需求(约92.7万m<sup>3</sup>)。坝体总填筑量约190万m<sup>3</sup>。

## 3 填筑料生产性试验实施

### 3.1 爆破试验工作内容

#### 3.1.1 爆破试验目的

本试验旨在为堆石料与过渡料的开采确定适宜的深孔微差挤压爆破参数,具体目标为:

确定合理的爆破孔网参数与单孔耗药量。

研究不同爆破条件、地形及地质条件下的爆破振动衰减规律,制定相应开挖技术措施。

通过级配料爆破试验,明确相关爆破参数、单耗及级配特征。

评估爆破对高边坡、邻近建筑物及建基面的影响,确定爆破安全控制标准。

### 3.1.2 爆破试验内容

试验涵盖钻爆参数测试、起爆网络试验、爆破振动监测、

石料粒径分析、级配曲线测定及成品率评估等。

### 3.2 试验实施情况

爆破试验于2023年10月12日至11月18日进行,历时37天,共完成主(次)堆石料试验3组,过渡料试验3组。

试验区域划分为2个主(次)堆石区域,1个过渡料区域。具体爆破试验参数见表1。

表1 爆破试验参数

参数 试验名称	梯段高度 h (cm)	孔径 D (mm)	药径 d (mm)	孔距 a (cm)	排距 b (cm)	最小抵抗线 W (cm)	超深 H (cm)	孔深 L (cm)	堵塞长度 L堵 (cm)	单孔装药量 Q1 (kg)	炸药单耗 q (kg/m <sup>3</sup> )
主(次)堆第1组	1500	110	90	3.0	3.0	2.0	100	1600	2500	67.50	0.50
主(次)堆第2组	1500	110	90	3.0	3.0	2.5	100	1600	3000	74.25	0.55
主(次)堆第3组	1500	110	90	3.0	3.0	3.0	100	1600	2500	54.00	0.60
过渡料第1组	1000	110	90	3.0	2.5	2.0	100	1100	2500	37.50	0.50
过渡料第2组	1000	110	90	3.0	2.5	2.5	100	1100	2500	41.25	0.55
过渡料第3组	1000	110	90	3.0	2.5	3.0	100	1100	2500	45.00	0.60

### 3.3 现场爆破试验工程量

爆破试验共使用炸药17664kg,实施爆破6次,其中过渡料试验3次,用药量7344kg,试验方量12300m<sup>3</sup>;堆石料试验3次,用药量10320kg,试验方量20650m<sup>3</sup>。共计完成骨料筛分试验6组。

## 4 爆破试验成果及分析

试验规模与实际施工相当,单次爆破方量3500~8000m<sup>3</sup>,成果对大坝填筑施工具有直接指导意义。堆石料开采受地形地质等因素制约,但试验数据仍能反映总体趋势,为后续施工提供依据。

### 4.1 地质条件

工程石料场处于坝址左岸下游0.5~0.7km位置,该料场石质优良,其干密度、饱和抗压强度等指标均符合设计及规范要求。

岩性以侏罗系南园组的晶屑凝灰熔岩为主,岩体较完整,岩石呈弱风化状态,可开采为毛石、块石,也可轧制成粗、细骨料。

### 4.2 炸药

本次爆破试验炸药采用的是2号 $\phi$ 90岩石乳化炸药。该炸药使用方便,性能好,操作简单,便于加工,爆速中等。 $\phi$ 90岩石乳化炸药可以顺利装入D=110mm孔中。

### 4.3 钻孔设备

钻孔设备采用高压钻机,其工效可满足施工需求。

### 4.4 起爆器材

本次爆破试验的起爆雷管为数码电子雷管,共5段(3、5、7、9、11五个段位,角线长15m);起爆体为数码电子雷管+2号 $\phi$ 90岩石乳化炸药;起爆方式:脚线并联起爆+2号 $\phi$ 90岩石乳化炸药(起爆体)。

### 4.5 起爆方式、规模

为严格控制石料粒径与级配,采用“V”形起爆方式,

利用岩块间碰撞改善破碎效果。采用孔内延时接力传爆,孔外以3段数码电子雷管连接,孔内使用7段、9段雷管,排间延时约50ms。料场周边300m范围内无重要设施,便于安全警戒,爆破规模为3350~8000m<sup>3</sup>,可满足坝体填筑强度要求。

### 4.6 单耗

通过本次爆破试验,结合料场的地质情况,主(次)堆石料炸药单耗量为0.5~0.6Kg/m<sup>3</sup>,过渡料单耗量为0.5~0.6Kg/m<sup>3</sup>。

### 4.7 孔网布置

主(次)堆石区采用3m $\times$ 3m,间距a、排距b均为3m,前排抵抗线为2.5m~3m,采取梅花型布置。

过渡料区采用3m $\times$ 2.5m,间距3、排距2.5,前排抵抗线为2.5m~3m,采取梅花型布置。

### 4.8 梯段高度、超钻

本次爆破试验的实际梯段高度为10~15m。试验结果表明,主(次)堆石料的爆破梯段高度为10m~15m,过渡料的梯段高度为10m。超钻一般按抵抗线的0.15~0.35倍,抵抗线为2.5m~3m,超钻控制深度为0.38(0.45)m~0.9(1.0)m。

### 4.9 装药结构

试验采用连续装药方式。

试验表明,耦合装药方式效果明显优于不耦合装药方式,同样的单耗,耦合装药方式产生的特征粒径大,均匀系数小,与设计包络曲线更符合。为此,本工程堆石料开采采用耦合装药结构。

间隔装药对特征粒径和均匀系数的影响从试验中对比来看不是很大,但是,间隔装药操作困难,炮孔利用率低,所以,试验采取延续装药方式。试验表明,耦合结构装药可以满足爆破料的要求。

爆破体一般设在炮孔的底部或中下部,本次爆破试验爆破体设在炮孔的中下部或底部,爆破体的位置对爆破效果没有太大的影响。

### 4.10 堵塞

本次试验采用钻孔弃渣料进行炮孔堵塞。试验采用的堵塞长度为2.5m~3.5m，堵塞长度一般药卷直径的25倍。试验表明本次采用的堵塞方式，可有效控制爆破产生的飞石。

### 4.11 起爆网络

本次爆破试验采用数码电子雷管起爆网络。

试验采用毫秒微差爆破方式，起爆方式大部分为V或U型，该起爆方式便于网络连接，爆堆集中。微差间隔时间一般为25秒左右，可以产生微差爆破的作用。

### 4.12 爆破料的取样筛分、颗粒分析及级配包络图

主（次）堆石区和过渡区爆破料筛分及颗粒分析、包络图详见以下图表。

通过颗粒分析、包络图可以得出如下结论：

表 2 堆石料爆破试验第 1 组

爆破料所属填筑区域		大坝堆石区（3B,3C）					组次							
料径（mm）	800	700	600	500	400	300								
留筛土重（kg）	0	201.48	292	341.86	530.52	572.8								
累积留筛土重（kg）	0	201.48	493.48	835.34	1365.86	1938.66								
小于该孔径土重（kg）	5434.993	5233.513	4941.513	4599.653	4069.133	3496.333								
小于该孔径的总土重百分数（%）	100.0	96.3	90.9	84.6	74.9	64.3								
试样总质量（Kg）	5434.993			D <sub>60</sub>	269.7	D <sub>30</sub>								
第 1 组														
200	100	80	60	40	30	20	10	5	2	1	0.5	0.25	0.075	< 0.075
773.22	618.88	583700	303.88	453.36	314.7	219.6	119.28	45.32	24.618	11.762	12.978	13.116	1.804	0.115
2711.88	3330.76	3914.46	4218.34	4671.70	4986.40	5206	5325.28	5370.6	5395.218	5406.98	5419.958	5433.074	5434.878	5434.993
2723.113	2104.233	1520.533	1216.653	763.293	448.593	228.993	109.713	64.393	39.775	28.013	15.035	1.919	0.115	0
50.1	38.7	28	22.4	14.0	8.3	4.2	2.0	1.2	0.7	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0
83.7	D <sub>10</sub>	33.0	不均匀系数（Cu）		8.17		曲率系数（Cc）		0.79	级配判断		级配不良		

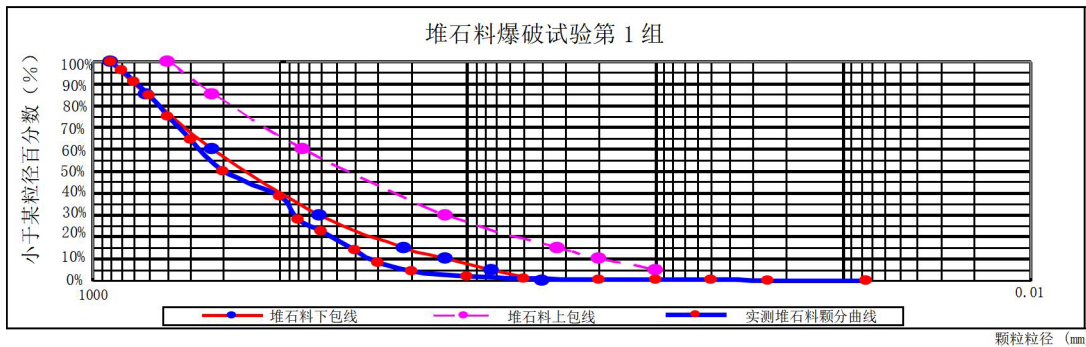


表 3 堆石料爆破试验第 2 组

爆破料所属填筑区域		大坝堆石区（3B,3C）					组次							
料径（mm）	800	700	600	500	400	300								
留筛土重（kg）	0	312.58	264.73	381.26	562.72	343.62								
累积留筛土重（kg）	0	312.58	577.31	958.57	1521.29	1864.91								
小于该孔径土重（kg）	5254.514	4941.934	4677.204	4295.944	3733.224	3389.604								
小于该孔径的总土重百分数（%）	100.0	94.1	89.0	81.8	71.0	64.5								
试样总质量（Kg）	5254.514			D <sub>60</sub>	253.1	D <sub>30</sub>								
第 2 组														
200	100	80	60	40	30	20	10	5	2	1	0.5	0.25	0.075	< 0.075
504.02	487.14	385.46	294.92	304.76	481.86	372.08	270.68	220.45	13.696	23.5	15.157	14.238	1.526	0.117
2368.93	2856.07	3241.53	3536.45	3841.21	4323.07	4695.15	4965.83	5186.28	5199.976	5223.476	5238.633	5252.871	5254.397	5254.514
2885.584	2398.444	2012.984	1718.064	1413.304	931.444	559.364	288.684	68.234	54.538	31.038	15.881	1.643	0.117	0
54.9	45.6	38.3	32.7	26.9	17.7	10.6	5.5	1.3	1.0	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0
50.7	D <sub>10</sub>	18.8	不均匀系数（Cu）		13.46		曲率系数（Cc）		0.54	级配		级配不良		

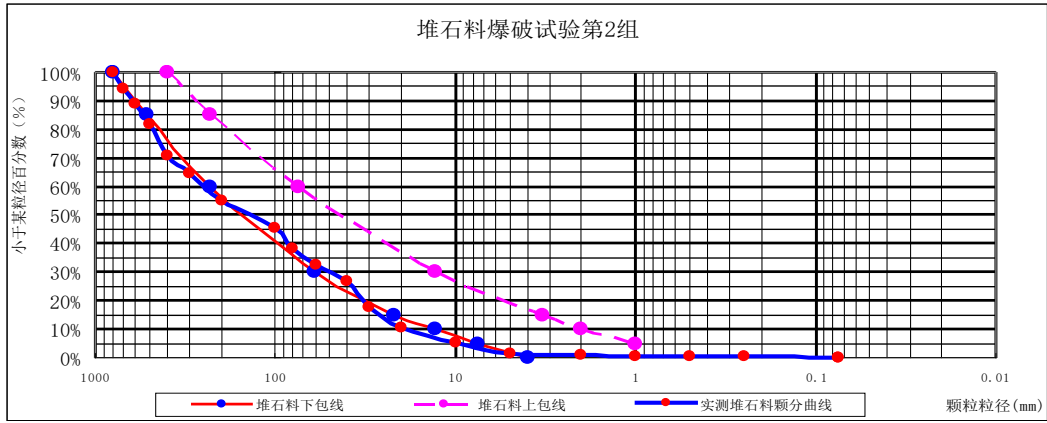


表 4 堆石料爆破试验第 3 组

爆破料所属填筑区域		大坝堆石区 (3B,3C)					组次							
料径 (mm)	800	700	600	500	400	300								
留筛土重 (kg)	0	0	182.8	252.43	321.89	495.5								
累积留筛土重 (kg)	0	0	182.80	435.23	757.12	1252.62								
小于该孔径土重 (kg)	5323.412	5323.412	5140.612	4888.182	4566.292	4070.792								
小于该孔径的总土重百分数 (%)	100.0	100.0	96.6	91.8	85.8	76.5								
试样总质量 (Kg)	5323.412		D <sub>60</sub>		121.7	D <sub>30</sub>								
第 3 组														
200	100	80	60	40	30	20	10	5	2	1	0.5	0.25	0.075	< 0.075
492.04	491.26	387.22	441.54	462.84	453.4	375.9	350.24	288.92	159.805	78.265	48.468	29.675	11.083	0.136
1744.66	2235.92	2623.14	3064.68	3527.52	3980.92	4356.82	4707.06	4995.98	5155.785	5234.05	5282.518	5312.193	5323.276	5323.412
3578.752	3087.492	2700.272	2258.732	1795.892	1342.492	966.592	616.352	327.432	167.627	89.362	40.894	11.219	0.136	0
67.2	58.0	50.7	42.4	33.7	25.2	18.2	11.6	6.2	3.1	1.7	0.8	0.2	0.0	0.0
35.6	D <sub>10</sub>	8.5	不均匀系数 (Cu)			14.32	曲率系数 (Cc)			1.23	级配	级配良好		

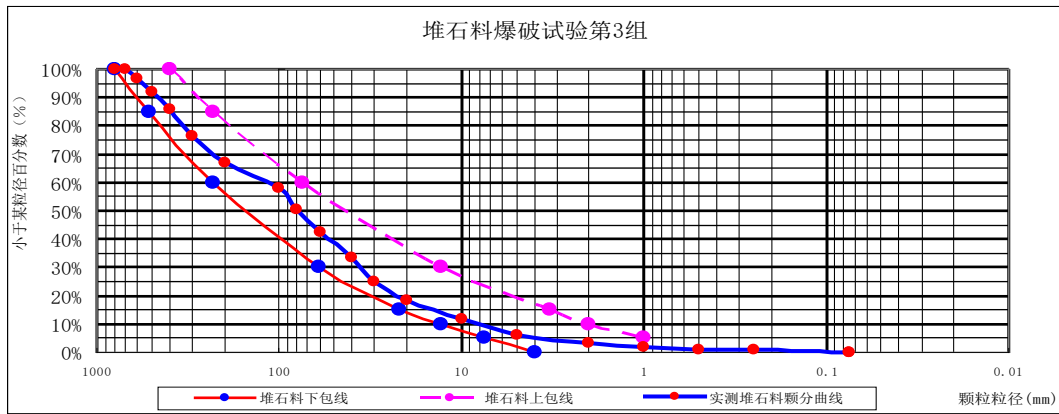


表 5 过渡料爆破试验第 1 组

爆破料所属填筑区域	大坝过渡区 (3A)			组次
料径 (mm)	300	200	100	80
留筛土重 (g)	143620	504020	687140	385460
累积留筛土重 (g)	143620	647640	1334780	1720240
小于该孔径土重 (g)	2659847	2155827	1468687	1083227
小于该孔径的总土重百分数 (%)	94.9	76.9	52.4	38.6
试样总质量 (Kg)	2803.467	D <sub>60</sub>	131.0	D <sub>30</sub>

第1组										
60	40	20	10	5	2	1.0	0.5	0.25	0.075	< 0.075
194920	104760	272080	170680	20450	13696	3500	5157	4238	526	17
1915160	2019920	2573860	2744540	2764990	2778686	2782186	2787343	2791581	2792107	2792124
888307	783547	229607	58927	38477	24781	21281	16124	11886	11360	11343
31.7	27.9	8.2	2.1	1.4	0.9	0.8	0.6	0.4	0.4	0.4
51.1	D <sub>10</sub>	21.9	不均匀系数 (Cu)		5.98	曲率系数 (Cc)		0.91	级配判断	级配不良

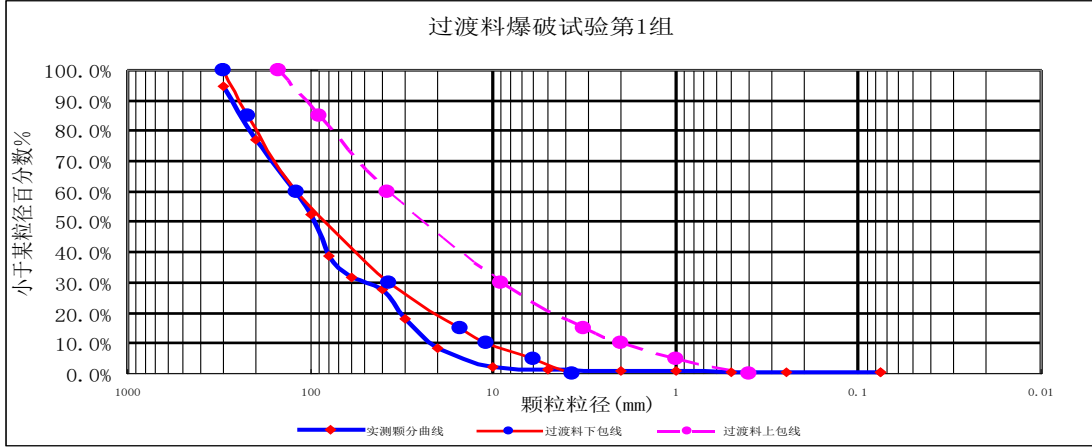


表 6 过过渡料爆破试验第 2 组

爆破料所属填筑区域	大坝过渡区 (3A)			组次
料径 (mm)	300	200	100	80
留筛土重 (g)	114920	502040	391260	207220
累积留筛土重 (g)	114920	616960	1008220	1215440
小于该孔径土重 (g)	2400692	1898652	1507392	1300172
小于该孔径的总土重百分数 (%)	95.4	75.5	59.9	51.7
试样总质量 (Kg)	2515.612	D <sub>60</sub>	100.6	D <sub>30</sub>

第2组										
60	40	20	10	5	2	1.0	0.5	0.25	0.075	< 0.075
241540	272840	225900	170240	108920	39805	8265	18468	9675	1083	36
1456980	1729820	2149120	2319360	2428280	2468085	2476350	2494818	2504493	2505576	2505612
1058632	785792	366492	196252	87332	47527	39262	20794	11119	10036	10000
42.1	31.2	14.6	7.8	3.5	1.9	1.6	0.8	0.4	0.4	0.4
38.4	D <sub>10</sub>	13.2	不均匀系数 (Cu)		7.62	曲率系数 (Cc)		1.11	级配判断	级配良好

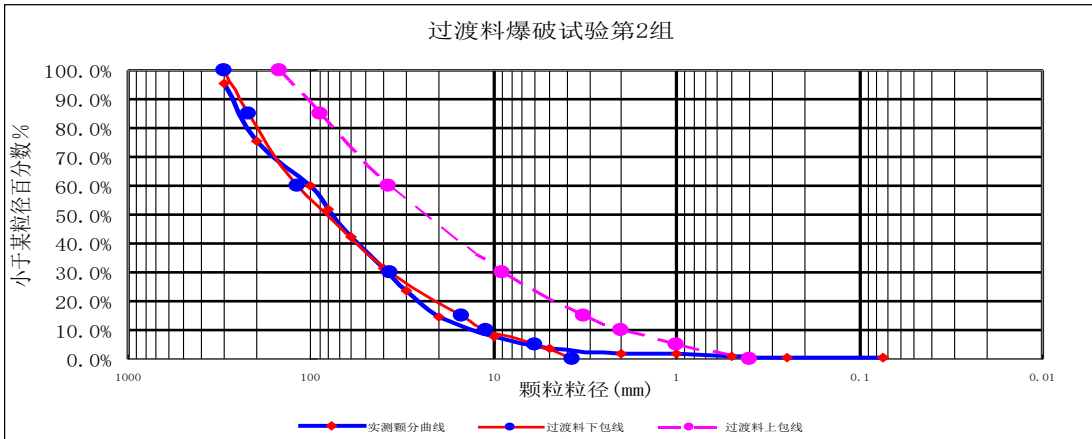
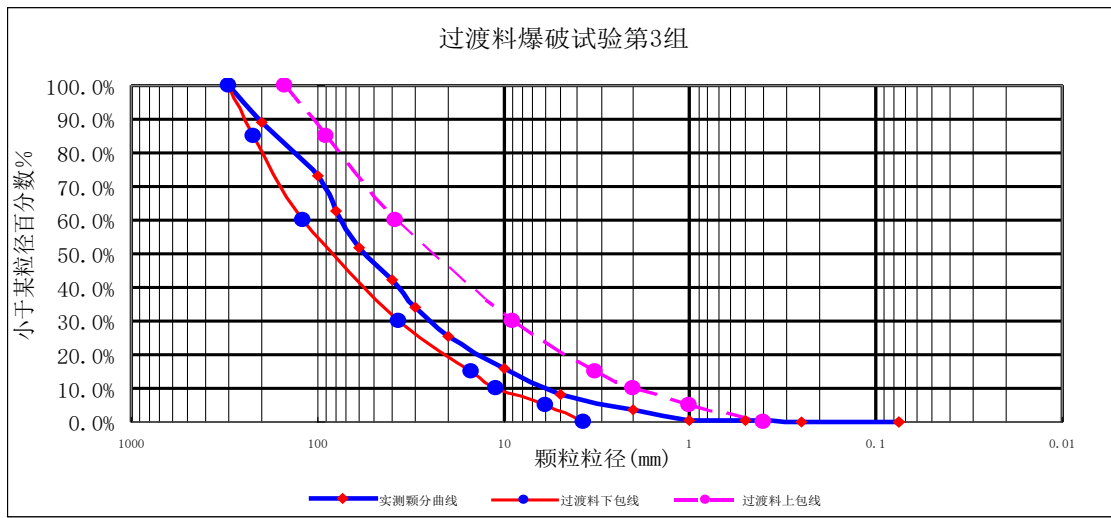


表 7 过渡料爆破试验第 3 组

爆破料所属填筑区域	大坝过渡区 (3A)			组次
料径 (mm)	300	200	100	80
留筛土重 (g)	0	256380	375360	237140
累积留筛土重 (g)	0	256380	631740	868880
小于该孔径土重 (g)	2340953	2084573	1709213	1472073
小于该孔径的总土重百分数 (%)	100.0	89.0	73.0	62.9
试样总质量 (Kg)	2340.953	D <sub>60</sub>	94.8	D <sub>30</sub>

第 3 组										
60	40	20	10	5	2	1.0	0.5	0.25	0.075	< 0.075
258440	223300	202570	225900	176570	113228	68961	7780	4469	1547	328
1127320	1350620	1741170	1967070	2143640	2256868	2325829	2333609	2338078	2339625	2339953
1213633	990333	599783	373883	197313	84085	15124	7344	2875	1328	1000
51.8	42.3	25.6	16.0	8.4	3.6	0.6	0.3	0.1	0.1	0.0
25.1	D <sub>10</sub>	6.1	不均匀系数 (Cu)	15.54	曲率系数 (Cc)	1.09	级配判断	级配良好		



各个粒径的颗粒含量满足设计要求，无超径颗粒；

通过计算各筛分料的不均匀系数和曲率系数得出主（次）堆石区和过渡区爆破料级配良好，满足设计要求和施工要求。

后续施工应严格按照爆破试验施工参数控制石料开采，并间歇性的抽查爆破料的级配情况，若石料级配不能满足施工和设计要求，及时调整爆破参数。

### 5 试验结论

本次爆破试验确定了炸药的类型、钻孔设备、钻孔参数、梯段高度、装药结构、堵塞和超钻、起爆网络等爆破参数。

通过相应的爆破筛分试验，爆破试验料满足设计要求，所得结论如下：

- (1) 主（次）堆、过渡料使用以下爆破参数得到的石料粒径、级配曲线及成品率满足设计要求。
- (2) 采用 2 号  $\phi$  90mm 岩石乳化炸药适宜堆石料开采；
- (3) 采用不耦和装药方式可以改善爆破料的级配；

(4) 本工程外部条件较好，东南西北四个方位在爆破安全距离内基本无主要的建筑设施，好警戒，一次性爆破规模为 0.35~0.8 万 m<sup>3</sup>；

(5) 常规的钻孔直径  $\phi$  110mm 可以产生合格的级配料；

(6) 主（次）堆石料的梯段高度为 10m-15m, 过渡料的梯段高度为 10m, 合理的梯段高度对级配的改善特别有利；

(7) 爆破孔采用垂直方式便于爆破施工定位，控制及安全；

(8) 布孔、起爆方式、雷管对爆破效果的影响不太明显，主要采用毫秒微差挤压爆破，采用 V 或 U 型起爆，采用 1.1~1.3 的密集系数比较便于控制；

(9) 堵塞长度在保证安全的条件下，应尽量减小堵塞质量对爆破质量影响较大，在施工过程中应严格控制；

(10) 延续的装药结构能够提高炮孔的利用率，便于施工，在特殊情况下才采用间隔装药；

(11) 临空面尽可能清除干净，以确保爆破效果。