

Kuz-Ram 爆破块度预报模型在 Jatigede 大坝堆石料爆破开采中的研究与应用

杨尹, 蔡云, 尹斌

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 都江堰 611830)

摘要:在 Jatigede 大坝工程堆石坝料生产中,通过对 Kuz-Ram 爆破块度模型预报进行研究与应用,提供了一种较为成熟的、快速确定爆破料级配曲线的方法。通过块度模型的应用,可以提高爆破试验的效率,并且可以在地质条件反生变化时,该模型可以用于快速调整爆破参数。

关键词:堆石坝;级配料;爆破;块度预报模型;Jatigede 大坝

中图分类号:TV7;TV542;TV41

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2014)02-0032-04

1 工程概述

Jatigede 大坝为粘土心墙堆石坝,位于南纬 $6^{\circ}52'00''$ 与东经 $107^{\circ}48'00''$ 的印尼西爪哇省 Sumedang 县 Cimanuk 河上,距首都雅加达 220 km,距西爪哇省首府万隆市 85 km。大坝坝高 110 m,总填筑量约 570 万 m^3 ,其中 3A 型堆石料(最大粒径 400 mm)120 万 m^3 ,3B 型堆石料(最大粒径 800 mm)250 万 m^3 。工程开发的首要任务是为下游约 9 万 hm^2 农田提供灌溉用水;其次为

供应 Indramayu、Cirebon 和 Cirebon Kodya 三个地区的城镇工业与生活用水及发电。Jatigede 水库的控制流域面积为 1 460 km^2 ,水库总库容为 10.62 亿 m^3 ,电站装机容量为 110 MW,多年平均发电量约 4.5 亿 $kW \cdot h$ 。

Jatigede 大坝施工的特点是大坝填筑量大,总填筑量约 570 万 m^3 ;石料来自距大坝约 7 km 的 Julang 山采石场,施工运输距离为 23 km;施工强度高,月高峰填筑强度超过 40 万 m^3 ,典型剖面见图 1。

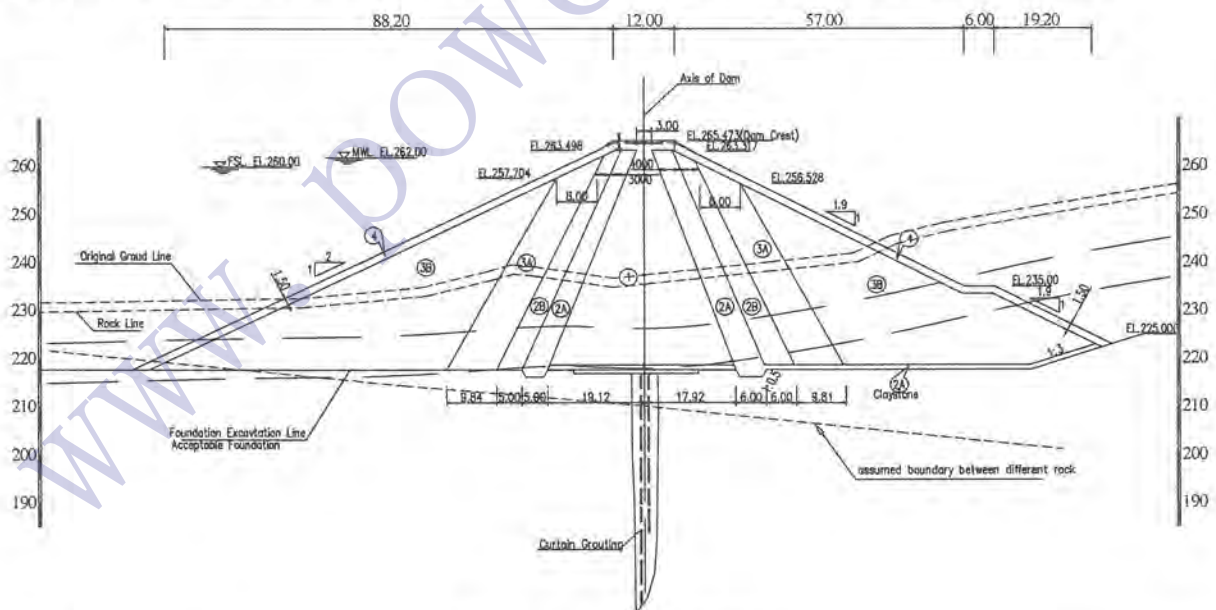


图1 Jatigede 大坝典型剖面图

2 堆石料设计要求

堆石料的开采必须满足设计的级配、粒径要

求。堆石料控制爆破技术系通过开采爆破试验确定满足设计要求的爆破参数,从而直接通过钻孔爆破开采出满足设计级配要求的堆石料。

收稿日期:2014-03-22

Jatigede 大坝的堆石料来自大坝左岸上游约 6.5 km 的 Julang 山采石场爆破开采的安山岩,风化程度为新鲜~微风化。

Jatigede 大坝堆石料级配控制参数为:

3A 堆石区:最大粒径 400 mm,粒径小于 5

mm 的含量为 2.5%~24%,压实干密度为 2.2 g/cm³(表 1);

3B 堆石区:最大粒径为 800 mm,粒径小于 5 mm 的含量为 0%~15%,压实干密度为 2.15 g/cm³(表 2)。

表 1 Jatigede 大坝工程 Gunung Julang 安山岩过渡料 3A 料设计级配表

项 目	3B 料设计级配表											
筛孔尺寸/mm	0.075	0.5	1	2	5	10	20	40	80	100	200	400
上包络线/%	5	10	13	16	24	33	43	56	73	79	100	100
下包络线/%	0	0	0	0.5	2.5	8	15	25	45	52	76	100

表 2 Jatigede 大坝工程 Gunung Julang 安山岩过渡料 3B 料设计级配表

项 目	3B 料设计级配表												
筛孔尺寸/mm	0.075	0.5	1	2	5	10	20	40	80	100	200	400	800
上包络线/%	4	6.6	7.5	10	15	22	31	41	53	58	75	100	100
下包络线/%	0	0	0	0	0	3	7	13	22	26	42	64	100

3 块度分布模型的发展

自上世纪 60 年代以来,世界各国学者在爆破岩体块度控制方面做了大量的研究工作,提出了十余种研究爆破块度分布的数学模型。概括起来大致有四类:即能量理论模型、应力波理论模型、块度分布函数模型以及新近发展起来的损伤力学模型。各种数学模型均有一定的适用条件和局限性,在理论性和实用性上各有长短。

Kuz-Ram 模型是库兹涅佐夫(Kuznetsov)和罗森拉姆(Rosin-Rammler)模型的结合。前者研究的是爆破的平均块度,后者研究的是块度的分布特征。该模型是用筛下累计为 50% 的筛孔尺寸为平均块度 X_{50} 和块度分布的均匀性指标 n 来预测爆破块度,它赋予块度分布曲线粗粒部分十分良好的相关性,其基本数学表达式为:

$$X_{50} = Aq^{-0.8}Q^{1/6}(115/E)^{19/30} \quad (1)$$

$$R = 1 - e^{-\left(\frac{x}{X_0}\right)^n} \quad (2)$$

$$n = \left(2.2 - \frac{14W}{d}\right)\left(1 - \frac{e}{W}\right)\left[1 + \frac{m-1}{2}\right]L/W \quad (3)$$

式中 A 为岩石坚固系数($A=7$,为中硬; $A=10$,为节理发育, $A=13$,为节理不发育); q 为炸药单耗,kg/m³; Q 为单孔装药量,kg; E 为炸药相对威力(铵油炸药为 100); X_{50} 为爆破块度平均粒径,cm; X_0 为特征块度,累计率为 63.21% 时的尺寸; x 为石粒粒径; R 为小于某粒径材料质量百分比; n 为不均匀系数; e 为钻孔精度标准差,一般取钻孔深度 5%; W 为最小抵抗线; m 为间距系数(孔距/抵抗线); d 为炮孔直径; L 为不计超钻部分的装药长度。

4 现场试验对模型的检验和修正

库兹(Kuz)-拉姆(Ram)模型中的参数除了 A (岩石坚固系数)和 n (不均匀系数)以外的参数都可以通过爆破参数获得。在实践中,只需要通过少量的爆破试验对 A 值和 n 值进行修正,即可以较为准确地解析出其在该爆破参数下的级配曲线;同时,当采石场地质条件发生变化时,只需要少量开采料进行筛分试验,修订开采料的 A 值和 n 值,即可以快速地预报爆破料的级配曲线。通过引入修正系数 K_x 和 K_n 对平局块度 X_{50} 和不均匀系数 n 进行修正,从而得到修正后的库兹(Kuz)-拉姆(Ram)模型:

$$X_{50} = K_x Aq^{-0.8}Q^{1/6}(115/E)^{19/30} \quad (4)$$

$$n = K_n \left(2.2 - \frac{14W}{d}\right)\left(1 - \frac{e}{W}\right)\left[1 + \frac{m-1}{2}\right]L/W > L/W \quad (5)$$

4.1 爆破试验

在 Jatigede 大坝堆石料爆破试验过程中,首先进行了两组 3B 料爆破试验,获得了爆破料筛余量累积曲线。

4.2 K_x 修正系数

通过对所计算的爆破平均粒径和爆破试验的筛分结果的平均粒径进行对比(筛分结果见图 2),可以得到 K_x 值并对块度模型进行修正。

4.3 K_n 修正系数

当 $R=50\%$ 时, $X=X_{50}$,将值带入式 2,可以得到 X_0 和 X_{50} 的关系式(式 6)。

$$X_0 = \frac{X_{50}}{(\ln 2)^{2/n}} \quad (6)$$

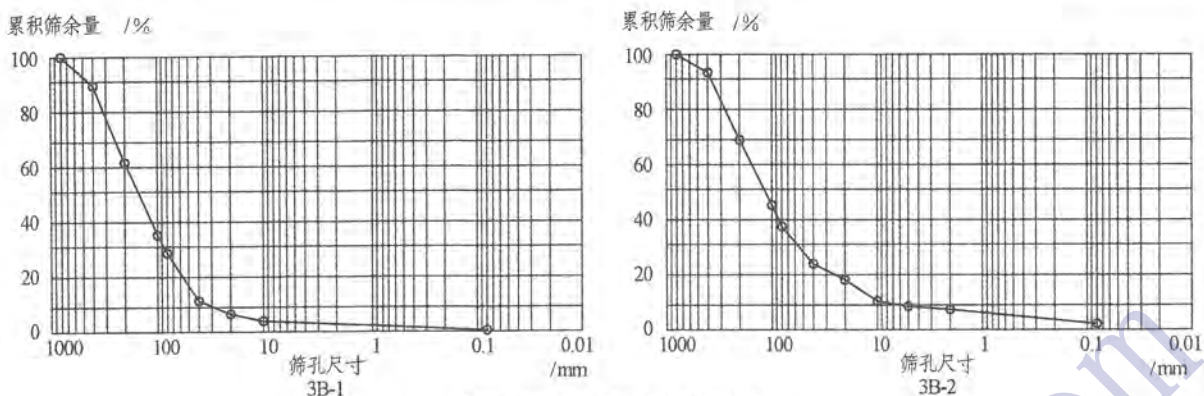


图 2 爆破料余量累积曲线图

表 3 3A 料爆破试验参数表

台阶高度	孔距 a	排距 b	钻孔直径 d	最小抵抗线 W	装药方式	间距系数	钻孔精度 e
10 m	2 m	2 m	90 mm	1.414 m	间隔	1.414	0.5 m

表 4 Rosin-Rammler 解析的 3A 料粒径表

项 目	3A 料的粒径分布							
筛孔尺寸 /mm	0.075	5	10	20	40	100	200	400
R (小于某粒径质量百分比)	0.7%	4.2%	8.2%	15.5%	28.26%	55.74%	79.96%	95.8%

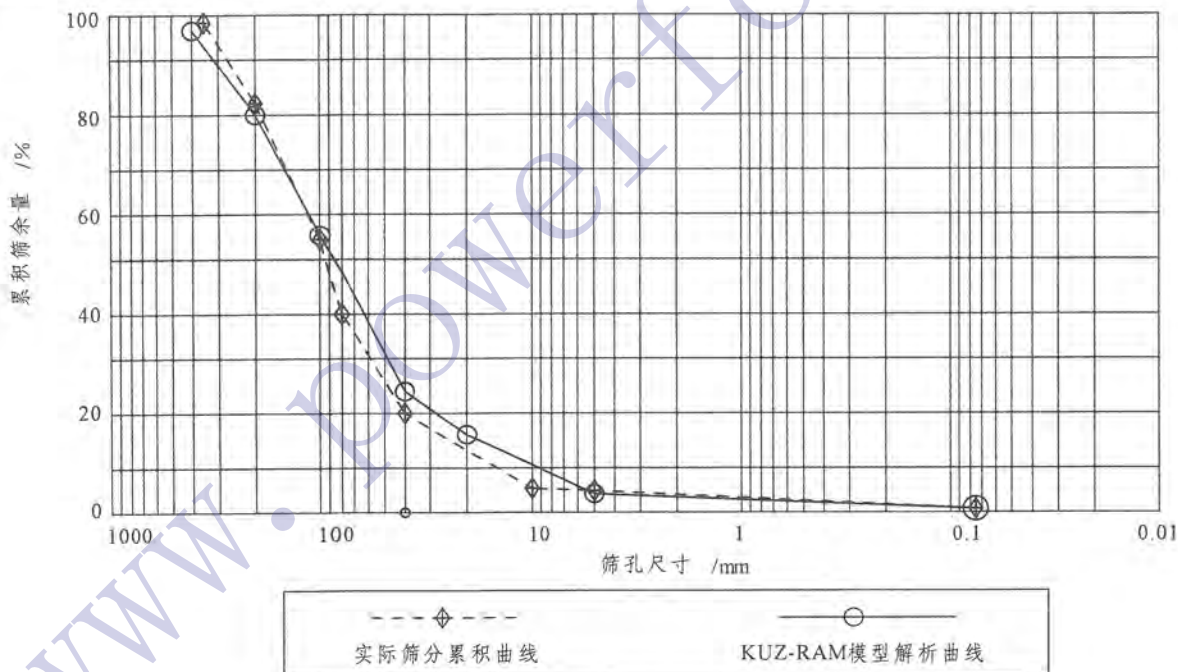


图 3 3A 料预报结果与实际筛分结果表

通过将筛分累积曲线中的 X_0 和 X_{50} 带入式 (6) 和可以计算得到的爆破料的实际 n 值, 将设计值和计算值进行对比, 可以得到 K_n 值从而对块度模型进行修正。

采用 $K_x = 0.5$ 和 $K_n = 0.73$ 对式 6 进行修正, 得到修正后的模型公式 7、8。

$$X_{50} = 0.5Aq^{-0.8}Q^{1/6}(115/E)^{19/30} \quad (7)$$

$$n = 0.73 \left(2.2 - \frac{14W}{d} \right) \left(1 - \frac{e}{W} \right) \left[1 + \frac{m-1}{2} \right] L/W \quad (8)$$

5 块度预报成果的应用

获得修正模型后, 修正的模型被用于 3A 料的爆破试验, 由式 7、8 解析出分布曲线。

经过爆破试验的修正后, 库兹 (Kuz)-拉姆

(Ram)模型解析的块度 $R-R$ 分布曲线与爆破筛分累积曲线非常接近,见图 3;3A 和 3B 填筑料爆破试验参数见表 5、6。

表 5 试验参数和模型参数对比表

项 目	试验编号	
	3B-1	3B-2
台阶高度	10 m	10 m
孔距 a	2.5 m	2.5 m
排距 b	2.5 m	2 m
钻孔直径 d	90 mm	90 mm
单孔装药 Q	40 kg	40 kg
单耗 q	0.64	0.8
装药方式	连续耦合	连续耦合
坚固系数 A	10	10
炸药系数 E	100	100
X_{50} 计算值	28.87 cm	24.15 cm
X_{50} 实际值	15	12
K_c	0.519	0.49

表 6 试验参数和模型参数对比表

项 目	试验编号	
	3B-1	3B-2
台阶高度	10 m	10 m
孔距 a	2.5 m	2.5 m
钻孔直径 d	90 mm	90 mm
抵抗线 W	1.77	1.57
装药方式	连续耦合	连续耦合
间距系数	1.41	1.59
钻孔精度 e	0.5	0.5
计算 n 值	1.335	1.38
实际 n 值	1.01	1
K_n	0.749	0.724

6 结 语

库兹涅佐夫(Kuznetsov)-罗森拉姆(Rosin-Rammler)模型的数学计算相对比较简单,其计算成果可以绘制成块度分布曲线。通过爆破试验,对模型中的 A 值(岩石坚固系数)和 n 值(块度均匀性指标)的修正,可以使公式适应不同的岩石和爆破参数。通过修正后的公式,可以利用爆破参数(如最小抵抗线 W ,孔距 a ,排距 b ,炸药单耗 q ,炮孔直径 d 等)较为准确地对爆破块度进行量化分析,提供了一种较为成熟的、快速确定爆破料级配曲线的方法。通过块度模型的应用,可以提高爆破试验的效率,同时,当地质条件发生变化时,该模型可以用于快速调整爆破参数。

参考文献:

[1] 张正宇,等.现代水利水电工程爆破[M].北京:中国水利水电出版社,2003.

作者简介:

杨 尹(1982-),男,四川新都人,工程师,学士,从事水电工程建设施工技术与管理工作的;

蔡 云(1985-),女,四川攀枝花人,工程师,学士,从事水电工程建设施工技术与管理工作的;

尹 斌(1985-),男,宁夏吴忠市人,工程师,学士,从事水电工程建设施工技术与管理工作的。

(责任编辑:李燕辉)

(上接第 23 页)

表 3 自平衡静载试验结果表

桩号	上段桩的实测最大加载值	上段桩的自重	下段桩的实测最大	单桩竖向抗压实测承载力
	Q_{uk}/kN		加载值 Q_{uk}/kN	Q_{uk}/kN
1-1#桩	12 080	1 940	12 080	$(12\ 080 - 1\ 940)/0.8 + 12\ 080 = 24\ 755$
1-16#桩	12 080	1 924	12 080	$(12\ 080 - 1\ 924)/0.8 + 12\ 080 = 24\ 775$

(1)自平衡静载试验结果表明:1-1#、1-16#桩的桩端承载力特征值分别为 12 376 kN、12 388 kN,两根桩的单桩竖向抗压承载力特征值均满足设计要求(设计承载力特征值为 12 078 kN);在最大试验荷载作用下,桩身质量完好。

(2)桩基自平衡静载试验在桩身内部寻求加载反力,不再需要外部的加载反力,因而可以在某些试验环境困难时,完成传统桩基堆载试验方法不能完成或很难完成的试验,同时也是大承载力

桩基静载试验的一种发展方向。随着该检测技术的不断成熟和发展,桩基自平衡法静载试验必将受到越来越多人的认可和推广应用。

参考文献:

[1] 公路桥涵施工技术规范, JTJ041-2000[S].

[4] 桩基静载试验自平衡法, JT/T738-2009[S].

作者简介:

黄 芬(1971-),女,四川大竹人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

杨 桦(1983-),男,四川资阳人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)