

## 精细爆破技术探讨与应用研究

王明新<sup>1</sup>, 刘治峰<sup>2</sup>, 张学东<sup>3</sup>, 李益铭<sup>3</sup>

(1. 新兴铸管股份公司 河北 邯郸 056038; 2. 河北省水利厅工程局, 河北 石家庄 050021; 3. 河北工程大学 土木学院 河北 邯郸 056038)

**摘要:** 围绕定量设计、精心施工、实时监控和科学管理的精细爆破理念, 采取控制爆破技术, 实现了溢洪道闸室快速安全拆除, 建立了开挖爆破块度预报系统, 控制了爆破危害, 形成了具有水利行业特色的“精细爆破”技术体系。

**关键词:** 控制爆破; 闸室拆除; 深孔梯段; 塑料导爆管毫秒雷管

**中图分类号:** TD235

**文献标识码:** A

## Study of fine blasting techniques and its applications

WANG Ming-xin, LIU Zhi-feng, ZHANG Xue-dong, LI Yi-ming

(Xinxing Ductile Iron Pipes Co. Ltd., Hebei Handan 056038, China)

**Abstract:** According to fine blasting the idea including quantitative design and construction, real-time monitoring and scientific management, this paper took control of blasting technology to achieve a quick and safe removal of Spillway Chamber, excavation blasting fragmentation prediction system is established to control blasting hazards, a "fine blasting" technology system which had the characteristics of the water industry was formed.

**Key words:** controlled blasting; chamber removed; deep bench; plastic nonel millisecond detonator

近年来, 在大型病险水库的除险加固施工中, 涉及到溢洪道开挖、爆破石渣综合利用填筑坝体、高边坡稳定、闸室快速安全拆除、周边环境复杂等问题, 对爆破开挖提出了极高的技术要求, 必须采用控制爆破技术, 正确的进行爆破方案设计, 合理选择爆破参数, 严格过程管理, 加强科学的监测与评估, 将爆破作业全过程进行精细化管理与控制。本文以河北省某水库除险加固爆破施工为例, 浅谈“精细爆破”的理念与技术体系。

### 1 工程概况

此水库位于河北省保定市曲阳县境内大清河南支沙河上游, 控制流域面积 3 770 km<sup>2</sup>, 水库总库容 13.89 亿 m<sup>3</sup>。除险加固的主要工程项目有: 溢洪道扩挖、原溢洪道闸室拆除、拦河坝加高培厚堆石填筑。下游坝坡加高培厚的填筑石料取自溢洪道扩挖的弱风化岩石, 将工程开挖与石料开采相

结合, 节约生产成本, 加快工程进度, 有利于自然环境保护。此水库大坝因其防洪护坝的要求低、拦河坝下游的坡度过陡、水库设备老化等被确定为“三类坝”, 现必须对其拆除与加固。

### 2 石方开挖爆破块度分布预报系统的建立

#### 2.1 块度分布预报系统建立的必要性

此水库大坝下游坡堆石填筑全长 1 281 m, 最大填筑宽度 32.0 m, 填筑石料要求采用溢洪道扩挖的弱风化及以下爆破石碴, 全、强风化石料不允许上坝。设计要求填筑石料有较好的级配, 最大块径不大于 0.8 m, 土、石粉等粒径小于 0.1 mm 的颗粒含量不超过 5%, 填筑体碾压后堆石孔隙率小于 25%, 干容重应不小于 20 kN/m<sup>3</sup>。且石碴应有连续级配, 以利于振动压实, 减小后期沉降量。按设计要求, 不能满足填筑要求的爆破石渣将被

作为弃料。这样,若不能很好控制溢洪道开挖石渣块度及级配,将造成弃料增多,甚至造成填筑料不足问题。若采取对不合格石渣二次处理或外购石渣措施满足大坝填筑需要的话,工程成本势必成倍上升。这就促使我们在溢洪道扩挖爆破施工中建立块度分布预报系统,满足工程建设需要。

## 2.2 溢洪道扩挖爆破块度分布预报系统的建立

### 2.2.1 爆破块度分布模型的选取

结合现场实际条件,采用 Kuz - Ram 模型预估爆破堆石料块度分布。

Kuz - Ram 模型是南非人 C. Cunningham 在苏联人 V. E. Kuznetsov 研究的基础上提出的。V. E. Kuznetsov 提出了表达爆破平均块度  $\bar{X}$  与爆破能量和岩石特性的经验方程(式 1),C. Cunningham 认为爆破块度分布服从 Rosin - Rammler (R - R) 分布函数(式 2),R - R 分布函数由下式表达,它包含石料特征尺寸  $x_0$  和块度分布不均匀指数  $n$  两个变量,Kuz - Ram 模型给出的  $n$  值算法(式 3)。

$$\bar{X} = A_0(q)^{-0.8} Q^{1/6} (115/E)^{19/30} \quad (1)$$

$$R = 1 - e^{-(x/x_0)^n} \quad (2)$$

$$n = (2.2 - 14W/d) (1 - e/W) [1 + (m - 1) / 2] \times L/H \quad (3)$$

式中  $\bar{X}$  为平均粒径,即筛余累积为 50% 的块度尺寸,单位: cm;  $A_0$  为岩石系数,中硬岩石取  $A_0 = 10$ ,坚硬岩石,节理不发育岩石取  $A_0 = 14$ ;  $q$  为炸药单耗药量,单位:  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $Q$  为单孔装药量,单位: kg;  $E$  为炸药相对威力,TNT 炸药取  $E = 120$  2#岩石铵梯炸药取  $E = 110$  铵油炸药取  $E = 85$ ;  $R$  为小于某一粒径的百分比;  $x$  为石料粒径;  $x_0$  为特征粒径,即筛余累积率为 63.21% 的块度尺寸,单位: cm;  $n$  为块度均匀性系数;  $W$  为最小抵抗线,单位: m;  $d$  为炮孔直径,单位: mm;  $e$  为钻孔精度标准差,单位: m;  $m$  为间距系数  $m = a/W$ ,  $a$  为孔距;  $L$  为为不计超钻部分的装药长度;  $H$  为爆破梯段高度,单位: m。

由公式可知,在所有影响爆破石渣块度分布的因素中,炮孔直径  $d$ ,台阶高度  $H$ ,一经确定,变化不大,影响不均匀性系数的因素主要包括炸药单耗  $q$ ,最小抵抗线  $W$ ,间距系数  $m$ ,钻孔精度  $e$  和装药量长度  $L$ 。

### 2.2.2 Kuz - Ram 模型的修正系数

修正后的 Kuz - Ram 模型为:

$$\bar{X} = K_1 A_0 (q)^{-0.8} Q^{1/6} (115/E)^{19/30} \quad (4)$$

$$R = 1 - e^{-(x/x_0)^n} \quad (5)$$

$$n = K_2 (2.2 - 14W/d) (1 - e/W) [1 + (m - 1) / 2] \times L/H \quad (6)$$

爆破试验或实际生产中进行的石料筛分试验可以得到两个参数即:筛余为 50% 的颗粒粒径  $d_{50}$  和筛分曲线中由  $d_{50}$  推算出的实际块度分布均匀性指标  $n$ 。这两个参数就是现场实测的  $\bar{X}$  和  $n$ ,则有平均块度和块度均匀性指标修正系数:

$$K1 = d_{50}/\bar{X} \quad (7)$$

$$K2 = n_0/n \quad (8)$$

### 2.2.3 爆破块度现场筛分资料统计

在溢洪道进行爆破试验后,取样进行了爆破石料的筛分实验,结果见表 1。

根据筛分试验数据绘制的爆破块度分布曲线(图 1)。曲线中筛分 1、筛分 2、筛分 3 分别为爆破试验中的实际块度分布曲线,由图中可以查出  $d_{50}$  并计算出不均匀系数  $C_u$ 、曲率系数  $C_c$  和块度不均匀系数  $n_0$ (见表 2),三组筛分结果不均匀系数  $C_u > 5$ ,曲率系数  $C_c$  在 1~3 之间,级配良好,爆破石料满足堆石填筑工程要求。由  $d_{60}$ 、 $d_{30}$ 、 $d_{10}$ ,可以得到级配曲线的不均匀系数  $C_u = d_{60}/d_{10}$  和曲率系数  $C_c = d_{30}/d_{60} \times d_{10}$ 。

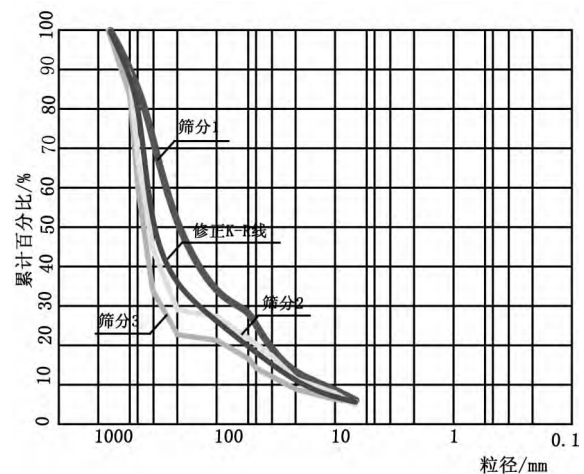


图1 修正后的爆破石料预估块度曲线  
Fig.1 Estimated blocks of stone blasting curve corrected

表 1 溢洪道爆破石料筛分统计  
Tab. 1 Spillway blasting stone screening statistics

第一组			第二组			第三组		
编号	粒径/mm	小于某粒径含量百分比/%	编号	粒径/mm	小于某粒径含量百分比/%	编号	粒径/mm	小于某粒径含量百分比/%
1-1	10 以下	9.13	2-1	10 以下	6.78	3-1	10 以下	8.30
1-2	10 ~ 20	12.78	2-2	10 ~ 20	9.25	3-2	10 ~ 20	11.73
1-3	20 ~ 40	19.21	2-3	20 ~ 40	13.58	3-3	20 ~ 40	17.66
1-4	40 ~ 60	24.65	2-4	40 ~ 60	17.37	3-4	40 ~ 60	22.63
1-5	60 ~ 80	29.57	2-5	60 ~ 80	20.80	3-5	60 ~ 80	27.27
1-6	80 ~ 100	32.09	2-6	80 ~ 100	21.92	3-6	80 ~ 100	29.75
1-7	100 ~ 200	49.01	2-7	100 ~ 200	34.08	3-7	100 ~ 200	43.76
1-8	200 ~ 400	70.64	2-8	200 ~ 400	59.79	3-8	200 ~ 400	67.20
1-9	400 ~ 600	88.55	2-9	400 ~ 600	83.62	3-9	400 ~ 600	88.71
1-10	600 ~ 800	100.00	2-10	600 ~ 800	100.00	3-10	600 ~ 800	100.00

表 2 溢洪道爆破石料块度及块度分布情况  
Tab. 2 Spillway blasting stone fragmentation and fragmentation distribution

试样	$d_{50}/mm$	$C_u$	$C_c$	$n_0$
第一组	20.62	27.0	2.68	1.07
第二组	31.98	18.2	2.91	0.93
第三组	26.06	21.3	1.84	0.98

2.2.4 试验所得参数修正后的 Kuz - Ram 模型

此水库溢洪道进行的堆石料开采爆破试验所得的  $C_u$  和  $C_c$  显示爆破块度满足优良级配的范围, 平均块度  $d_{50}$  和不均匀性指标  $n_0$  取三组筛分结果的平均值  $d_{50} = 26.22 \text{ cm}$   $n_0 = 0.99$  将其与计算的平均块度和块度分布不均匀性指标进行比较, 作为确定  $K_1$  和  $K_2$  计算的依据。根据式 7、8 分别计算修正系数  $K_1$ 、 $K_2$ :

$$K_1 = d_{50}/\bar{X} = 26.22/34.55 = 0.7589$$

$$K_2 = n_0/n = 0.99/1.217 = 0.8155$$

修正后的爆破块度预报模型见式 9、10、11:

$$\bar{X} = K_1 A_0 (q)^{-0.8} Q^{1/6} (115/E)^{19/30} = 0.7589 A_0 \times (q)^{-0.8} Q^{1/6} (115/E)^{19/30} \quad (9)$$

$$R = 1 - e^{-(x/x_0)^n} = 1 - e^{-(x/x_0)^{0.99}} \quad (10)$$

$$n = K_2 (2.2 - 14W/d) (1 - e/W) [1 + (m - 1) / 2] \times L/H = 0.8155 \times (2.2 - 14W/d) (1 - e/W) [1 + (m - 1) / 2] \times L/H \quad (11)$$

从图 1 可以看出, 修正后的 Kuz - Ram 模型预估爆破块度曲线筛余在 20 ~ 80% 的范围内与现场筛分结果是基本吻合的,  $C_u = 8.63$ ,  $C_c = 1.3$ , 预估块度在优良级配范围内。

2.3 利用块度分布预报系统对设计参数的调整

2.3.1 需调整的设计参数

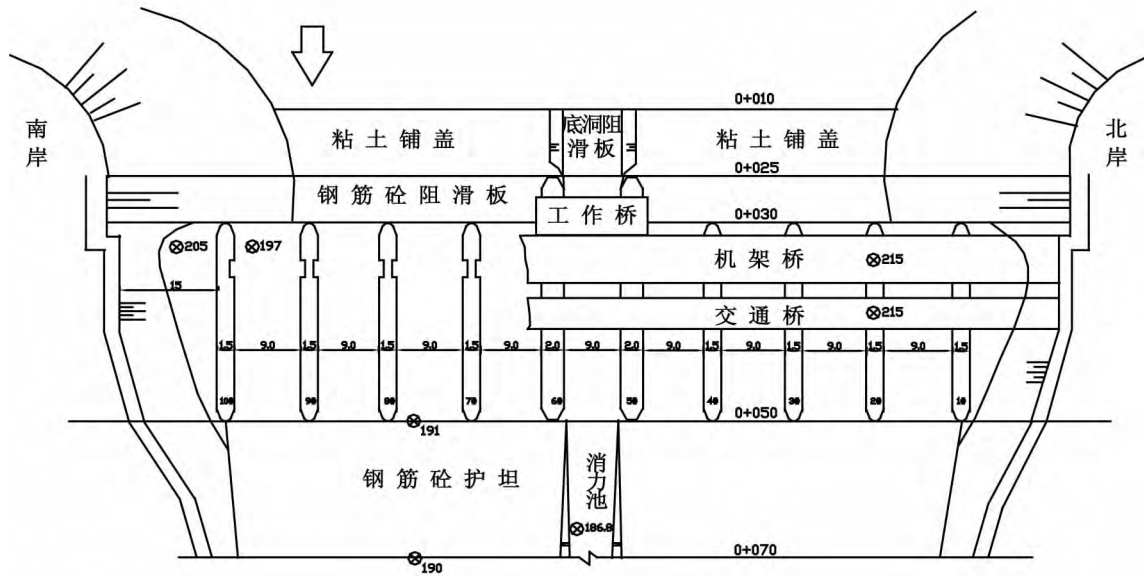
根据块度分布模型可知, 在岩石开采试验中, 大于 800 mm 的颗粒(石块)含量约为 10%, 爆破试验梯段高度为 7.5 m, 由于受溢洪道边坡设计马道影响, 梯段高度多为 10 ~ 15m, 在单耗不变的情况下, 单孔装药量将增加至 53 ~ 79 kg, 是试验装药量的 1.5 ~ 2 倍, 用爆破块度分布模型预测, 大于 800 mm 的颗粒(石块)含量约为 18% ~ 23%, 即将有 18% ~ 23% 的爆破堆石因粒径过大而作为弃料。

2.3.2 设计参数调整的分析方法

在矿山石料开采中, 为充分利用料场石料, 一般控制允许大块率为 3%, 则  $X_{97}$  可表示为:

$$X_{97} = 2.426^{1/n} X \quad (12)$$

为降低  $X_{97}$ , 可以采用降低爆破块度  $X$  和增加不均匀性指标  $n$  的方法, 由前面计算知道  $n$  值变化范围小(在 1 附近),  $X$  变化范围大,  $X$  与  $X_{97}$  是线性函数, 而  $n$  与  $X_{97}$  是幂函数,  $X$  变化对  $X_{97}$  的影响比  $n$  快速; 由式(10)知, 增加单耗  $q$  和调整单孔装药量  $Q$  可以降低爆破块度  $X$ ; 由式(11)知, 为增加不均匀性指标  $n$ , 可以采用增加  $L$ 、 $m$ 、 $d$  和降低  $H$ 、 $W$  等方法,  $H$  和  $d$  受爆破区开挖尺寸和钻孔设备的制约, 不易变化; 增加  $L$  和调整  $Q$  表明, 采用间隔装药、不耦合装药或炸药上面加空气柱等可以降低  $X_{97}$ 。按上述方法, 为有效降低大块率, 控制大于 800 mm 的颗粒(石块)含量不宜超过 15%



说明：图中尺寸以 m 计。

图3 原溢洪道闸室平面图

Fig.3 Spillway Chamber original floor plan

### 3 溢洪道原闸室爆破拆除

#### 3.1 原闸室概况

此水库溢洪道原闸室由高堰、低堰及底孔三部分组成,最大泄洪能力为  $14\ 636\ \text{m}^3/\text{s}$ 。溢洪道原闸室平面图见图 3。

#### 3.2 拆除工程的特点和要求

- (1) 闸墩形状特殊,上小下大,结构复杂。
- (2) 闸墩四周自上而下密布一层钢筋网。
- (3) 墩体中有方形窗、气孔、闸门槽等结构物。

#### 3.3 安全防护

为严格控制个别爆破飞石逸出,确保闸室上游 100 余米处 11 万伏高压线的安全,对闸墩爆破体上游进行 I 级防护,采用两层草帘、一层尼龙网防护,从墩顶垂到墩底。闸墩与桥面炮孔上表面均进行覆盖。

### 4 结论

因爆破拆除方案设计合理、参数选择正确、防

护与预处理措施得当,溢洪道复杂结构的闸室得以快速安全顺利地拆除。周围水工建筑物和高压线均安然无恙。

#### 参考文献:

- [1] Cunningham. 预估爆破破碎的 Kuz - ram 模型 [C]. 长沙岩石力学技术公司编译. // 第一届爆破破岩国际会议论文集.
- [2] 刘治峰, 张戈平. 大型病险水库除险加固控制爆破技术 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2011.
- [3] 吴新霞, 彭朝辉, 张正宇. Kuz - ram 模型在堆石坝级配开采爆破中的应用 [J]. 长江科学院院报, 1998, 15 (4): 39 - 41.
- [4] 胡子建, 周勇, 朱建群, 等. 隧道开挖过程中软弱围岩的爆破技术研究 [J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2012, 29 (3): 73 - 76.
- [5] 王民寿, 蒋晓明, 隆文非, 等. 修正 Kuz - ram 模型预报爆破堆石料块度 [J]. 四川水力发电, 1999, 18 (4): 77 - 80.
- [6] 冯海暴, 郭明章, 邹崇焰. 破碎围岩半裸露型隧道洞口进洞方法探讨 [J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2010, 27 (1): 85 - 87.

(责任编辑 王利君)