

# 丰满老坝近距离爆破拆除施工关键技术

朱晓秦 陈祖荣 谢辉

(中国水利水电第十六工程局有限公司, 福建 福州 350003)

**摘要:** 丰满老坝爆破拆除工程施工环境复杂, 新坝的坝轴线与老坝的坝轴线相距仅 120m, 新坝上游坝面与老坝的坝脚线距离只有 40m, 同时还有运行中的三期厂房开关站及其中控室。爆破拆除施工中存在着工期紧、工程量大、工程所在地气候严寒、爆破介质不均等不利因素, 需克服上述困难, 同时还要将爆破飞散物、爆破冲击波、爆破振动等有害效应控制在设计允许范围内, 确保工程安全、平稳、高效施工。本文介绍丰满老坝爆破拆除施工技术。

**关键词:** 近距离爆破拆除; 丰满老坝; 施工关键技术

## Key technology of blasting demolition in short distance for Fengman old dam

Zhu Xiaoqin, Chen Zurong, Xie Hui

(Sinohydro Bureau 16 Co., Ltd., Fuzhou, Fujian 350003)

**Abstract:** The construction environment of the blasting demolition project of Fengman old dam is complex. The distance between the axis of the new dam and the axis of the old dam is only 120m. The distance between the upstream dam face of the new dam and the foot line of the old dam is only 40m. There are also the switching station of the third stage power house and the central control room in operation. In the blasting demolition construction, there are many unfavorable factors, such as short construction period, large quantities of work, severe cold climate and unequal blasting medium. The above difficulties need to be overcome. Meanwhile, harmful effects such as blasting flying objects, blasting shock wave and blasting vibration should be controlled within the allowable range of design to ensure the safe, stable and efficient construction of the project. This paper introduces the blasting demolition construction technology of Fengman old dam.

**Keywords:** demolition by short distance blasting; Fengman old dam; key construction technology

### 1 工程概况

原丰满大坝位于吉林省境内松花江干流上的丰满峡谷口处, 坝址处控制流域面积42500km<sup>2</sup>, 占松花江流域面积的58%, 坝址处多年平均流量432m<sup>3</sup>/s, 是一座混凝土重力坝, 坝体混凝土量194万m<sup>3</sup>, 坝顶全长1080m, 分成60个坝段, 其中1#~8#、20#、32#~60#为挡水坝段, 9#~19#为溢流坝段, 21#~31#为发电取水坝段, 坝段长18m, 最大坝高90.5m (94年坝顶加高1.2m后为91.7m), 最大泄洪能力10450 m<sup>3</sup>/s。

老坝坝顶高程为267.7m, 拆除的坝段为6#~43#坝段, 共38个坝段, 拆除总长684.0m, 拆除高度27.5m, 缺口底高程为240.20m, 全断面拆除。坝体混凝土拆除量为26.64万m<sup>3</sup>。具体工程量见表1。

---

收稿日期:

作者简介: 朱晓秦 (1984-), 男, 湖北荆州人, 高级工程师, 主要从事水利水电施工与项目管理。

通讯地址: 福建省福州市湖东路 82 号中国水利水电第十六工程局有限公司。手机: 18672124972。E\_mail: 83722396@.com

表 1 丰满老坝拆除工程量表

序号	土建拆除	单位	工程量	合计
1	素混凝土拆除	m <sup>3</sup>	64032	266434.8
2	钢筋混凝土拆除	m <sup>3</sup>	122770	
3	锚杆混凝土拆除	m <sup>3</sup>	79073	
4	挂板混凝土拆除	m <sup>3</sup>	209.9	
5	沥青混凝土拆除	m <sup>3</sup>	349.9	
6	预应力锚索拆除	根	110	110
7	锚头混凝土拆除	m <sup>3</sup>	255	255

## 2 工程重难点

难点一：大坝结构复杂，爆破设计难度大

丰满老坝拆除部分涵盖挡水坝段、厂房坝段、表孔溢流坝段，其中溢流坝段、厂房坝段坝体内孔洞、廊道等较多，且由于建设年代久远，图纸资料不齐全，部分结构未在图纸中标出；上游为松花湖库区，下游为70m高临空面，且下游面坡比为1:0.75，爆破时需增设斜孔，钻孔作业及爆破设计难度大。

难点二：气候严寒，工期紧，拆除工程量大，施工进度控制难

爆破拆除主要涵盖钻爆、铲装和钢筋切割等施工工艺，拆除工程量大，但挡水坝段坝顶宽度只有9.4m，爆破作业面窄，随着爆破拆除工作的推进，垂直高差逐渐变大，垂直运输困难，严寒地区施工环境恶劣，施工设备降效严重，施工效率低，施工进度控制难度大。

难点三：老坝坝体爆破介质不均，爆破施工难度大

坝体内铁质埋件、钢筋锚索多，钻孔及爆破作业难度大，同时也影响爆破效果；老坝混凝土质量差，每层爆破后上下游产生较多缺口，增加下层爆破难度。老坝混凝土品质分布不均一，爆破后部分区域呈粉状，部分区域未完全剥落；老坝混凝土分缝较多，增加爆破难度。

难点四：近距离爆破有害效应控制严

丰满老坝缺口拆除爆破工程施工环境复杂，新坝的坝轴线与老坝的坝轴线相距仅120m，新坝上游坝面与老坝的坝脚线距离只有40m，同时还有运行中的三期厂房开关站及其中控室。爆破飞散物、爆破冲击波、爆破振动等有害效应是老坝缺口拆除爆破工程施工控制的重难点。

难点五：施工质量控制难

丰满老坝缺口拆除爆破工程施工质量主要包括钻孔精度、保留坝段壁面的平整度及稳定性、入库混凝土量。由于丰满老坝各坝段的结构形式复杂，埋件较多，图纸不全，且下游面坡度0.75~0.78，需要钻设倾斜孔，厂房坝段门槽部位上游面为薄壁结构，钻孔精度控制要求高。

## 3 施工组织规划

### 3.1 水位控制

根据流域调度及库区水位总体规划，结合丰满老坝拆除的特点，丰满老坝上游库区水位呈逐月下降的特性，设计对施工过程提出了施工平台始终高于水面线2.5m的安全高差基本要求。具体见表2。

表 2 丰满老坝拆除上游控制水位

时 间	控制水位 (m)	备 注
2018 年 10 月中	251.50	
2018 年 12 月末	250.50	水位控制在每层施工平台高程以下 2.5m
2019 年 1 月末	246.50	
2019 年 2 月末	242.00	
2019 年 4 月末	242.00	

### 3.2 爆破拆除分层分区

综合分析大坝各坝段的结构特点、周边环境条件、施工交通、控制水位和发包人要求，该项目的总体爆破方案为“干地分四层的拆除方案”。

第一层：20#~43#坝段拆除范围为EL267.70~EL263.50（4.2m）；6#~19#坝段拆除范围为EL267.70~EL251.00（16.7m）；

第二层：20#~43#坝段拆除范围为EL263.50~EL251.00（12.5m）；6#~19#坝段拆除范围为EL251.00~EL245.00（6m）；

第三层：20#~43#坝段拆除范围为EL251.00~EL245.00（6m）；6#~19#坝段拆除范围为EL245.00~EL239.90（5.1m）；

第四层：20#~43#坝段拆除范围为EL245.00~EL239.90（5.1m）。

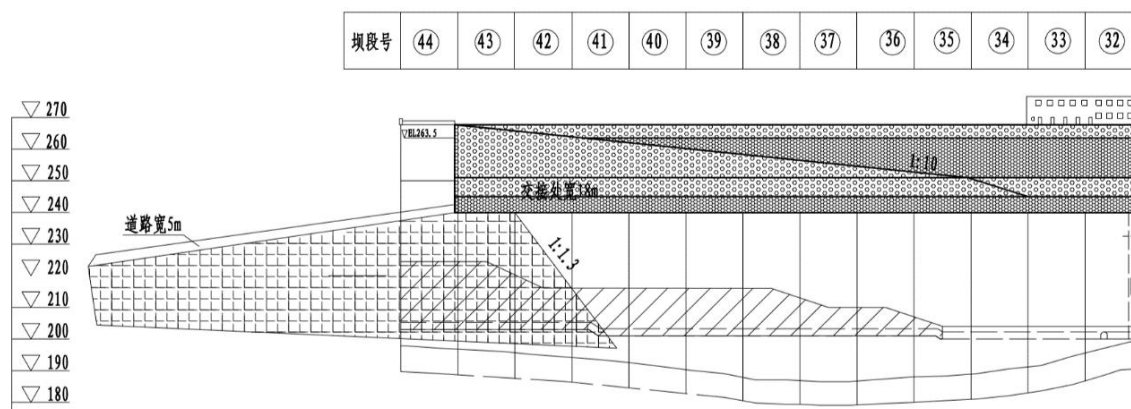
其中，下游侧底板防护混凝土施工完成后进行挡水坎拆除。

预留挡水坎宽度为8.5m左右，底板防护混凝土施工完成后进行挡水坎拆除，爆破截面角度为50°，底板防护混凝土厚30cm。

### 3.3 爆破拆除拆除顺序

根据分层特点，老坝拆除钻爆施工整体分为左右岸（6#~24#坝段、25#~43#坝段）同步进行，并在右岸EL245以上设置1:10的斜坡道，作为临时施工道路，EL245以下采用坝后填筑施工便道与缺口端头部位对接，保证施工设备及人员始终能正常通行。爆破渣体利用挖机往下游翻渣至基坑，再进行二次转运。爆破分层见图1。

图1 老坝拆除分层图



### 3.4 爆破振动控制标准

参考以往工程经验，并结合前期丰满工程泄洪兼导流洞、新坝坝基开挖爆破的观测和科研成果，综合分析确定了老坝拆除爆破振动安全允许标准，见表3。

表 3 老坝缺口拆除爆破振动安全允许标准

防护对象名称	允许振速 (cm/s)	备注
上游坝踵、坝基	3.0	1) 对于新浇不同龄期混凝土、不同龄期的灌浆区应严格按照 GB6722-2014 中表 2 和 DL/T5135-2013 中附录 A 的规定执行。 2) 经分析对爆破振动起控制作用的是帷幕灌浆区、电厂机电设备和中控室。
坝顶	10.0	
厂房基础	5.0	
帷幕灌浆区	1.5	
水电站及发电厂中心控制室设备	0.5	
电站引水管进口、钢闸门	5.0	
开关站	2.5	
廊道、洞室	5.0	
止水结构	5.0	

### 3.5 最大单响控制

最大单响控制由萨道夫斯基经验公式确定。使用小药量试爆，测试数据V、R、Q值进行线性回归，计算得出 $\alpha$ ，k。再由计算得出的 $\alpha$ ，k值，反推计算出距离敏感建筑物最近时爆破施工最大允许单段药量，经计算分析，丰满老坝拆除最大单响控制为139Kg。

$$V = k \left( \frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^\alpha$$

式中：V为爆破产生的振动速度 (cm/s)；k为介质系数； $\alpha$ 为衰减系数；Q为最大一段装药量 (kg)；R为测点与爆心的距离 (m)

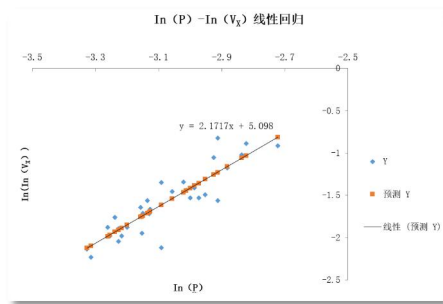


图 2 线性回归曲线图

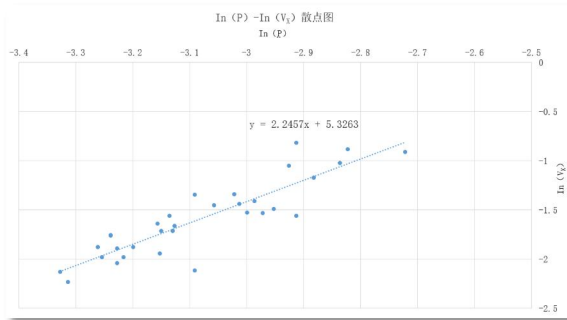


图 3 散点图

### 3.6 安全监测

根据相关技术要求，老坝爆破拆除共布置了振动速度 16 套，振动加速度 12 套，涵盖了：新、老坝坝顶及廊道、新坝开关站、厂房及中控楼、三期地下厂房及开关站，调压井等。

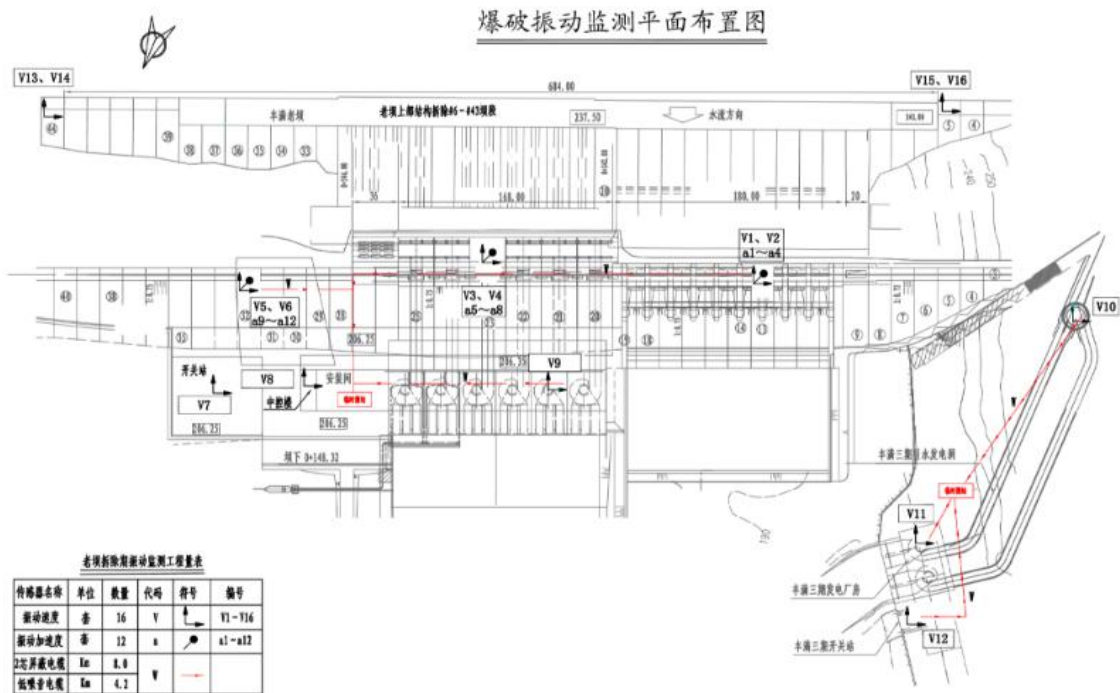


图4 爆破振动监测平面布置图

## 4 施工关键技术措施

### 4.1 细化爆前勘探

- 1、针对坝体结构复杂，闸门孔洞多，溢流坝段上部混凝土空间狭窄，在闸门井口覆盖钢盖板形成钻机施钻平台，确保布孔、钻孔精度满足爆破设计要求。
- 2、溢流坝段爆破拆除前预先对堰顶进行爆破拆除，形成作业平台，以便后续钻爆施工，拆除高差1.5m。
- 3、溢流坝段溢流孔上部混凝土、闸门井不分层，一次性爆破拆除16.7m。
- 4、厂房坝段根据廊道走向及其特点，灵活布置爆破孔位。图5中，斜线填充区域下方为廊道空腔体结构，为保障施工安全，必须与周边实体结构同步爆破，若分先后爆破，则后爆区无法到达作业面，无法满足施工要求；在同步爆破时，需在廊道顶拱上方钻孔装药，分段堵塞，受限于图纸资料不齐全，需进入廊道实地测量，绘制实际地形图，顶拱孔深探测方法为钻设探测孔，以测量顶拱厚度。根据实际地形图与探测结果，灵活进行孔位布置与孔深控制。

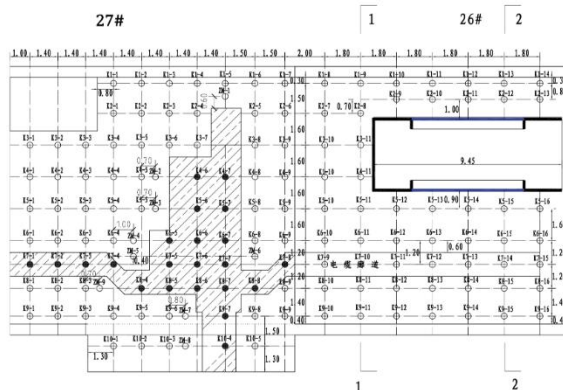


图5 老坝厂房坝段顶部爆破孔位布置图

5、下游侧斜孔只在底部装药，保证最小抵抗线在1.5m，保障爆破安全。

## 4.2 强化资源配置

1、垂直孔采用液压钻，保证钻孔强度，斜孔采用潜孔钻钻孔，保证下游斜孔孔斜满足施工规范，以加快施工进度。灵活选用施工设备，既节约施工成本，又保证爆破施工质量。

2、工程中后期采用数码电子雷管，大规模组网，加快施工进度。

## 4.3 优化爆破设计

初始爆破参数可根据爆破试验取得，受限于爆破试验爆破部位、结构等，其取得的爆破参数只适用当前类型混凝土，后续爆破参数需根据爆破效果不断优化。

### 1、布孔与钻孔

布孔是否合理为爆破成功的关键，全面掌握拆除物的结构、尺寸、埋件位置、混凝土强度等信息至关重要，充分根据其特点，合理布孔，其基本原则遵守：埋件多、混凝土强度高、存在薄壁结构时应密布孔，少装药。素混凝土部位可适当提高间排距，减少钻孔量，预裂孔、光爆孔孔距可控制在0.7m ~ 0.8m。在条件允许情况下，造孔孔径尽量与炸药药径相近，降低不耦合系数，增强爆破效果。

在坝体结构复杂、埋件较多部位采用密打孔、少装药的爆破方案。上下游混凝土质量差，容易产生缺口，部分坝段采取上下游两排孔减少孔深50cm，提前预留劈裂深度。

加强钻孔精度的控制。测量对每个炮孔进行放样，钻孔时每隔1m对钻孔角度进行一次校核并调整，以保证钻孔的精度与爆破安全。

### 2、单耗/线装药密度

爆破拆除工程中不同强度混凝土爆破所需单耗不同，不同的单耗选择可达到不同的爆破效果，爆破效果可分类为松动爆破、标准抛掷爆破、加强抛掷爆破。在丰满老坝拆除过程中，炮孔直径为90mm，主爆炸药药卷直径为60mm，预裂孔和光爆孔炸药药卷直径为32mm，合理的爆破单耗/线装药密度为：光爆孔、预裂孔线装药密度为400~450g/m，钢筋混凝土及锚杆混凝土部位的炸药单耗为1.0~1.2kg/m<sup>3</sup>，素混凝土的炸药单耗为0.5~0.6kg/m<sup>3</sup>。水下混凝土（挡水坎拆除）炸药单耗为0.6~0.8kg/m<sup>3</sup>（临水面为加强抛掷爆破）。

### 3、抵抗线

为保证爆破安全，临近被保护物一侧最后一排主爆孔抵抗线应不小于1.2m（以松动爆破为主），其他主爆孔抵抗线可根据单耗反推（满孔装药）确定是否满足爆破需要。

### 4、装药结构

在同等单耗、同等装药量下，不同装药结构的可在一定程度上影响爆破效果，在堵塞长度（1~1.2倍抵抗线）满足爆破安全的前提下，加强底部装药能增强底部破碎效果，并在一定程度上对中上部飞石的产生起到抑制作用。在爆破孔底部及顶部各设置一发雷管，可减小孔内单发雷管拒爆导致爆破失败的可能性。

### 5、雷管及联网

丰满老坝拆除过程中同时使用过数码电子雷管与普通导爆管雷管，电子雷管对比普通导爆管雷管，技术优势明显，数码电子雷管在延时精度、拒爆率、组网规模、安全性上全面领先普通导爆管雷管。数码电子雷管大规模爆破作业可控性好，震动主振频率可控、干扰减振效果明显，爆破飞石、噪声危害减小，破碎度均匀、边坡残留明显减少，炸药能量利用效率高，工程爆破拆除进度明显加快，综合效益提高显著。

使用普通导爆管雷管时，其规模越大，后段延时误差越大，出于安全性考虑，应限制联网规模，在联网设计上考率使用串并联网络，在一定程度上对延时误差进行修正。

使用数码电子雷管时，因其技术优势，可大规模组网，在联网时，可在孔内使用双发雷管时，顶部及底部雷管分别与两台起爆器相连，形成2组网络，减小偶然因素导致拒爆的可能性。

## 6、延时

根据丰满老坝拆除相关经验，爆破孔间延时为17~26ms,段间延时为27~50ms时，爆破效果、爆破振动控制方面最为理想。

### 4.4 安全监测与防护

1、每层正式爆破拆除前先在合适坝段单坝段爆破拆除缺口，槽深和拆除层高一致，后利用该缺口形成的临空面向两侧进行爆破。后续爆破改变起爆方向（下游方向斜向角起爆），减少以上游为起爆临空面造成较多的爆渣掉入库区或以下游垂直新坝方向为起爆临空面造成爆破飞石等不稳定风险。

2、增加顶部炮被覆盖层数，由一层增加至二层，采购高强度、小网径布鲁克网。

3、及时整理、分析安全监测数据，根据其监测结果反馈至爆破设计人员，优化爆破参数，保证施工安全。

4、部分重要部位采用孔内分段延时，进行精确控制，减少爆破有害效应。

### 4.5 加强质量控制

1、针对不同坝段不同结构（素混凝土、钢筋混凝土、锚杆混凝土）的爆区，灵活调整爆破参数，确保混凝土破碎与钢筋分离的要求。

2、定期对施工范围坐标进行校核，发现与设计有出入时立刻停止施工，找出偏差原因并制定下一步处理措施，报项目技术负责人批准后实施。

3、加强钻孔精度的控制。测量对每个炮孔进行放样，钻孔时每隔1m对钻孔角度进行一次校核并调整，预验孔前自查孔斜，重点关注下游侧斜孔，若孔斜偏差超过施工规范，则重新钻孔，以保证钻孔的精度与爆破安全。

4、加强最终底板标高控制。技术、质量部实行分区管理，分区技术人员对最终底板标高控制负全面责任，每天进行现场测量控制并及时反馈至现场调度人员处，发现偏差立刻进行纠偏处理。

## 5 实施效果

1、根据爆破监测成果统计：新坝坝顶振动速度1cm/s以下，新坝廊道（基础廊道）振动速度0.2cm/s以下，新坝厂房振动速度0.3cm/s以下，新坝中控楼振动速度0.7cm/s以下，新坝开关站振动速度0.1cm/s以下，三期厂房振动速度0.2cm/s以下，三期开关站振动速度0.1cm/s以下，调压井振动速度0.3cm/s以下，所有指标均控制在设计安全允许标准范围内。

2、老坝挡水坎水下爆破40#-43#坝段EL239.9~EL245.0混凝土在拆除爆破中，距离爆区边界10.0m处的老坝44#坝段坝顶处V13测点记录到的顺河向、铅锤向峰值振动速度为8.78cm/s，接近爆破安全标准值10cm/s，爆后对老坝44#坝段混凝土进行现场调查表明，坝顶混凝土未出现爆破产生裂缝，原有分缝张开度无变化，由波形分析最大峰值速度由43#坝段主爆孔引发，结合类似水工围堰爆破工程经验与前期爆破试验安全监测成果，可以认为本次爆破不会对相邻44#坝段混凝土造成破坏。

## 6 结语

丰满老坝作为国内第一个混凝土高坝近距离爆破拆除工程，在我国水电发展史上具有重要的意义。老坝在爆破后，取得了良好的爆破效果，爆破飞石及爆渣库区入库量控制良好，且各项安全监测均满足爆破

安全标准值，均未对新坝坝顶机电设备及其他结构建筑物造成损害，为以后类似工程提供了宝贵的经验，尤其在爆破方案及爆破设计的优化上提供了更多借鉴参考。

#### 参 考 文 献：

- [1] 刘乃臣. 刚果(金)ZONGO II 水电站项目厂房后边坡及基坑开挖爆破粒径控制分析[J]. 中国科技信息, 2014(09):118-120.
- [2] 吕磊. 混凝土面板堆石坝坝体级配料开采爆破设计的优化[J]. 水利建设, 2019(05):289-290.
- [3] 史秀志, 郭霆, 尚雪义, 姬露露. 基于PCA-BP神经网络的岩石爆破平均粒径预测. 爆破, 2016, 33(2): 56-61.
- [4] 许泾川, 赵铭荟, 朱跃华, 齐晓亮. 苏阿皮蒂项目辉绿岩开采爆破粒径控制方法研究与应用[J]. 水电与新能源, 2019, 33(7):16-22.
- [5] 李勇军. 优化隧道光面爆破参数[J]. 山西建筑, 2010, 36(7):309-310.