

爆破振动对邻近水工建筑物影响的监测与分析

钟 权¹, 李家亮¹, 王义昌²

(1. 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072; 2. 武汉大学 水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉 430072)

摘要:在邻近水工建筑物环境下进行爆破开挖, 爆破振动会产生一些负面效应, 因此爆破振动监测十分必要。以大渡河深溪沟水电站安装间排水灌浆廊道开挖工程为例, 对厂房机组及其他关键部位进行了爆破振动监测, 并对数据进行回归分析, 通过调整和优化爆破参数, 既确保了原有机组的正常运行和其他水工建筑物的安全, 同时又加快了工程施工进度, 可为类似工程提供借鉴和参考。

关键词:爆破振动; 安全监测; 参数优化; 水工建筑物

中图分类号: TV698

文献标志码: A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.10.020

爆破开挖在达到工程目的的同时, 不可避免地会产生一些负面效应, 如爆破振动、飞石、冲击波、噪声等, 其中爆破振动被公认为是爆破施工中最严重的负面效应, 尤其是在邻近既有建筑物附近进行爆破开挖, 爆破振动过大可能会导致建筑物开裂、边坡失稳、洞室坍塌等事故灾害。国内外学者对邻近建筑物环境下的爆破振动进行了大量研究, 并取得了一系列重要成果。在爆破振动监控方面, 张正宇等对三峡三期碾压混凝土围堰拆除爆破进行了详细介绍, 并提出了相应的减震防护措施^[1]; 苗胜坤等对三峡工程不同邻近建筑物的控制爆破技术进行了总结^[2]; 宗琦等通过回归处理振动速度和爆破药量关系, 提出了在保证建筑物安全前提下的最大单响药量^[3]。在爆破振动安全判据方面, 卢文波等系统介绍了水电行业采用的有关岩石高边坡、地下洞室围岩、基岩以及新浇混凝土的爆破振动安全判据, 并分析了其中的不足, 指出体现幅值、频率和持续时间综合影响的爆破振动安全判据是未来的努力方向^[4]; 刘晓军等提出的机电设备爆破振动安全控制标准为其他工程提供了参考^[5]; 朱奎卫对白山抽水蓄能电站施工过程中的爆破振动试验和安全标准进行了总结, 具有较强的参考意义^[6]。

在邻近既有水工建筑物环境下, 爆破振动监测是

预防和控制爆破振动危害的重要手段。基于大渡河深溪沟水电站排水灌浆廊道开挖工程, 通过爆破试验和对邻近水工建筑物的振动监测, 确定安全、高效的爆破开挖参数, 可为其他类似工程提供参考和借鉴。

1 工程概况

深溪沟水电站位于四川省大渡河干流中游汉源县及甘洛县境内, 电站装机容量660 MW, 于2011年7月全面投产发电。在电站运行过程中, 由于受到1、2号泄洪洞内水外渗和帷幕局部渗漏的影响, 厂房安装间出现了较大渗水情况。为减小外渗水对厂房安装间和交通洞的长期影响, 拟在1号泄洪洞与厂房安装间之间增设一条排水兼灌浆廊道, 排水灌浆廊道长约185.06 m, 由原2号施工支洞靠河端布置一条长约165.53 m的施工支洞进入施工, 排水灌浆廊道与施工支洞均为城门洞型, 断面尺寸为3.0 m×3.5 m。施工支洞与进厂交通洞近似平行布置, 距离约15~40 m; 排水灌浆廊道洞身段距厂房安装间端头约30 m, 距1号机组约100 m, 灌排洞末端距上坝交通洞帷幕约9 m。可以看出, 爆破开挖距已建好的水工建筑物, 特别是距离安装间端墙、交通洞帷幕非常近, 因此施工期间需严格控制爆破振动, 以防对电站的正常运行产生影响。

2 爆破参数初拟

2.1 安全允许振速与最大单响药量的拟定

2.1.1 质点安全允许振速

根据《爆破安全规程》(GB6722-2003)^[7]对安全允许振速的规定,水电站及发电厂中心控制室设备取值为 0.5 cm/s;水工隧洞推荐值为 7~15 cm/s,结合该工程实际情况取 10 cm/s。根据《水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范》(DL/T 5389-2007)^[8]规定,灌浆帷幕安全标准取值为 5 cm/s(龄期 > 28 d);对于安装间高端墙,考虑其结构特点及重要性取 2 cm/s。

2.1.2 最大单响药量的拟定

根据文献[7],测点振速与测点到爆破区域距离和单段最大炸药量有关,同时与爆破区域地质、爆破方法等因素亦有明显关系,相关计算公式为

$$Q = R^3 \left(\frac{v}{K} \right)^{\frac{3}{\alpha}} \quad (1)$$

式中, v 为峰值质点振动速度, cm/s; Q 为单响药量, kg; R 为爆心距, m; K 、 α 是爆破方法、场地条件相关系数,与爆破方式、装药结构、爆破点至计算点间的地形、地质条件密切相关。在无试验数据的条件下, K 、 α 值可参考表 1 选取。

表 1 爆破区不同岩性的 K 、 α 值

岩性	K	α
坚硬岩石	50~150	1.3~1.5
中硬岩石	150~250	1.5~1.8
软岩石	250~350	1.8~2.0

该工程区岩石以白云质灰岩为主,属坚硬岩石。因此,参照类似工程,取 $K = 120$, $\alpha = 1.4$ 。

结合实际设计排水灌浆廊道及施工支洞与厂房和进厂交通洞的距离关系,通过公式(1)可以计算得到爆破开挖的最大单响药量。根据计算结果初步拟定施工支洞的控制单响药量为 10 kg,由进厂交通洞控制;排水灌浆廊道的控制单响药量为 5 kg,由安装间端墙控制。

2.2 钻爆参数拟定

施工支洞及排水灌浆廊道的钻爆参数严格根据拟定的控制单响药量设计。施工支洞具体钻爆参数见表 2,其中,施工支洞的循环进尺为 1.5 m,最大单响药量为 8.4 kg;排水灌浆廊道循环进尺为 0.7 m,最大单响药量小于 5 kg,其他钻爆参数与施工支洞类似。

实际施工中,为保护上坝交通洞灌浆帷幕不受爆破振动影响,排水灌浆廊道靠近帷幕一端 10 m 范围内需采取短进尺、弱爆破施工措施,减小爆破振动;灌排洞与进厂交通洞斜交,洞底距进厂交通洞洞顶仅 3~4 m,该洞段需分层开挖,严格控制爆破振动,并在进厂交通洞内增设支撑措施。

3 爆破振动监测

3.1 监测方案

为有效保护邻近水工建筑物的安全运行,分别在厂房机组、上坝交通洞防渗帷幕、安装间端墙、进厂交通洞等重要建筑物的适当部位布置了爆破振动测试仪。具体监测方案如图 1 所示。

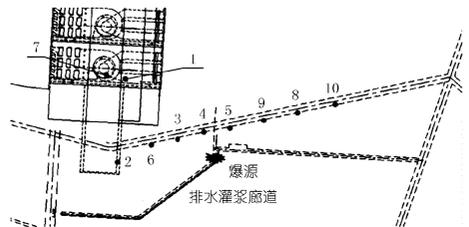


图 1 爆破振动测点布置

在施工支洞开挖期间,由于爆源距离安装间端墙、1 号机组及防渗帷幕较远,因此测点主要布置在进厂交通洞;随着开挖掘进的深入,将不断向上述部位增加测点;在进行排水灌浆廊道开挖时,测点主要布置在安装间端墙、1 号机组及上坝交通洞防渗帷幕等部位。

3.2 爆破振动波形图

对施工支洞爆破开挖的每一循环作业都进行了爆破振动监测。本文仅给出了施工支洞开挖至与排水灌浆廊道交会处距离最近的 4 号测点的典型波形图,如图 2 所示(图中自上而下依次为 X 、 Y 、 Z 向)。

表 2 施工支洞钻爆参数

类别	孔径/mm	孔深/cm	孔距/cm	孔数/孔	编号	药径/mm	线密度/(g·m ⁻¹)	单孔药量/kg	总装药量/kg	雷管段别
掏槽孔	42	180	35	6	1~6	32		1.4	8.4	MS1
辅助孔	42	160	70	8	7~14	32		1	8	MS5
辅助孔	42	160	70	7	15~21	32		1	7	MS7
底孔	42	160	50	4	22~25	32		1.3	5.2	MS9
周边孔	42	160	50	8	26~33	25	270	0.6	4.8	MS11
周边孔	42	160	50	6	34~39	25	270	0.6	3.6	MS13

由图 2 可以看出,采用分段延时爆破后,不同雷管段位炸药爆炸后产生的爆破振动波形分段十分明显,避免了爆破振动的叠加效应,有效削弱了爆破振动峰值。其中,测得水平方向 X(指向爆源方向)最大峰值振速为 8.39 cm/s,振动主频在 40 ~ 200 Hz 之间;水平方向 Y(垂直于 X 向)最大峰值振速为 3.84 cm/s,振动主频在 50 ~ 250 Hz 之间;竖直方向 Z 最大峰值振速为 5.35 cm/s,振动主频在 60 ~ 130 Hz 之间。测试结果表明,爆破所产生的爆破振动低于规范规定的控制标准。

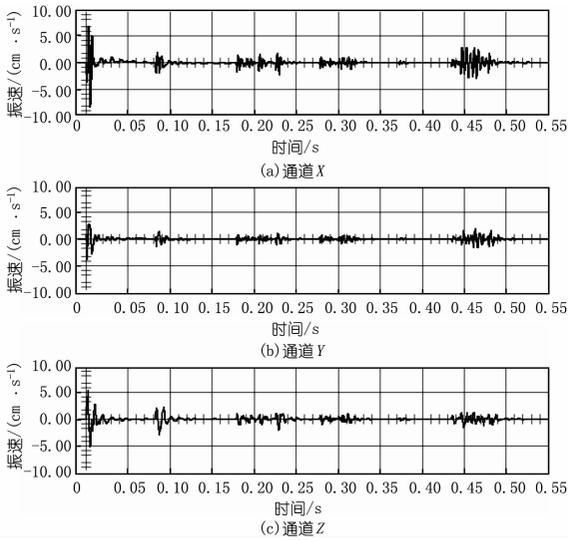


图 2 4 号测点爆破振动监测典型波形

3.3 监测结果回归分析

根据施工支洞爆破振动衰减规律进行回归分析,其结果如表 3 所示。表中 R 为相关系数,表征拟合程度的高低。

表 3 爆破振动衰减规律

测试方向	衰减规律	相关系数 R	样本数
水平径向	$v = 125.9(\frac{Q^{1/3}}{r})^{1.95}$	0.77	239
水平切向	$v = 49.0(\frac{Q^{1/3}}{r})^{1.77}$	0.69	239
竖直向	$v = 123.0(\frac{Q^{1/3}}{r})^{1.99}$	0.79	239

基于以上回归规律,可以看出水平径向振动速度最大,相应的 K 值为 125.9, α 值为 1.97; 将其代入公式(1),可以推算出根据现有围岩条件及安装间端墙允许振速控制为 2 cm/s 的情况下,排水灌浆廊道开挖的最大允许单响药量大于 10 kg,这为后续提高开挖循环进尺、加快施工进度提供了可能。

4 爆破参数优化

4.1 参数调整与优化

若根据原设计要求,排水灌浆廊道施工单响药量

控制为 5 kg,循环进尺 0.7 m,将严重制约施工进度。结合爆破振动监测结果,经综合分析,将排水灌浆廊道开挖进尺调整为 1.5 m,最大单响药量调整为 8.4 kg,其他钻爆参数与施工支洞类似,见表 2,相应的钻爆设计图如图 3 所示。

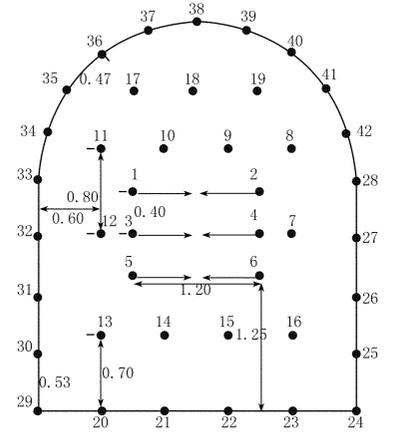


图 3 排水灌浆廊道钻爆设计(单位:m)

4.2 监测结果分析

按照调整后的钻爆参数进行爆破开挖,并在安装间端墙、1 号机组及上坝交通洞防渗帷幕等部位布置爆破振动监测仪。当开挖至正对安装间端头(如图 4 所示),监测到的最大爆破振动速度如表 4 所示。可以看出,各部位监测到的爆破振动速度均小于设计值,排水廊道开挖爆破未对现有水工建筑物的正常运行造成影响。

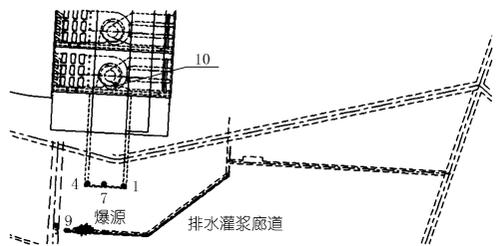


图 4 钻爆参数调整后排水灌浆廊道爆破开挖测点布置

表 4 排水灌浆廊道爆破振动监测值

部位	测点号	爆心距/m	监测值/(cm·s ⁻¹)	设计值/(cm·s ⁻¹)
安装间端墙	7	33	1.02	2
1 号机组	10	107	0.06	0.5
防渗帷幕	4	20	1.78	5

4.3 工期优化效果

排水灌浆廊道长约 185.06 m,根据原设计要求,循环进尺为 0.7 m,考虑每天 2 ~ 3 循环作业,完成开挖约需 3.5 个月。钻爆参数优化调整后,循环进尺增加至 1.5 m,实际每天 2 循环作业,完成开挖仅用了约 2 个月。由此可见,结合爆破振动监测,对数据进行回归分析,并对爆破参数进行优化和调整,在保证电站

正常运行的前提下,大大缩短了施工工期。

5 结 语

目前,深溪沟水电站安装间排水灌浆廊道施工已经完成,整个施工期内,爆破开挖未对电站机组的正常运行及其他水工建筑物的安全造成影响。实践表明,在邻近水工建筑物环境下进行爆破开挖,爆破振动现场监测十分必要,不仅可以通过前期的爆破振动监测和数据回归分析掌握爆破振动衰减的规律,确保现有水工建筑物安全和正常运行,还能及时指导修正和优化爆破施工参数,有效加快施工进度,节省投资,可为类似工程提供经验和借鉴。

参考文献:

[1] 张正宇,赵根.三峡三期碾压混凝土围堰拆除爆破研究[J].工程

爆破,2003,9(1):1-8.

- [2] 苗胜坤,赵峰.三峡工程建(构)筑物附近的控制爆破技术[J].人民长江,2001,32(10):27-28.
- [3] 宗琦,汪海波.岩石松动爆破振动效应对邻近建筑物影响的监控[C]//第九届全国工程爆破学术会议,2008.
- [4] 卢文波,李海波,陈明,等.水电工程爆破振动安全判据及应用中的几个关键问题[J].岩石力学与工程学报,2009,28(8):1513-1520.
- [5] 刘晓军,程黎,苏利军.机电设备的爆破振动安全控制标准研究[J].人民长江,2009,4(19):82-84.
- [6] 朱奎卫.复杂环境下施工爆破对已有建筑物振动影响的研究[J].水利水电技术,2008,39(6):56-58.
- [7] GB6722-2003 爆破安全规程[S].
- [8] GB5389-2007 水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范[S].

(编辑:胡旭东)

Monitoring and analysis of influence of blasting vibration on adjacent hydraulic structures

ZHONG Quan¹, LI Jialiang¹, WANG Yichang²

(1. Powerchina Chengdu Engineering Corporation Limited, Chengdu 610072, China; 2. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: The blasting vibration monitoring is essential because of the negative effects on the adjacent hydraulic structures. Taking the drainage-grouting gallery excavation in the erecting bay of Shenxigou Hydropower Station as a case, the blasting vibration monitoring of powerhouse units and other key parts were analyzed. According to the regression analysis of monitoring data, the drilling and blasting parameters were revised and optimized. As a result, the powerhouse units operation and other hydraulic structures are protected from blasting vibration hazards, and the engineering construction progress is accelerated. The research achievement can provide reference for other similar projects.

Key words: blasting vibration; safety monitoring; parameter optimization; hydraulic structure

(上接第 70 页)

Experimental study of energy variation of slope flow under different planting densities

ZHANG Lu, LEI Xiaozhang, SUN Linbo, SUN Juying, ZHAO Lu

(State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: To understand the erosion laws of slope flow and explore the soil-water conservation mechanism, we study the energy variation of slope runoff under different planting densities by flume experiment. The variation laws of slope flow energy with the slope length, discharge and slope gradient under natural planting density are analyzed in 5 sections. The different sectional energy characteristics under 4 slopes and 3 planting densities and planting modes (single row arrangement, increasing the rows with the same number at each row and increasing the rows with alternate number at each row) are compared. The reasonable planting modes for different slope and flow conditions are achieved.

Key words: slope flow, sectional energy, planting density; soil-water conservation