

爆破振动监测在水电隧洞施工中的应用

杨志盛¹，张岩²，杨波²

(1. 中铁建大桥工程局集团第五工程有限公司, 四川 成都 610500;

2. 国家能源集团大渡河公司, 四川 成都 610041)

摘 要: 本文通过双江口水电站泄洪系统洞室爆破振动监测, 介绍了目前比较成熟的质点振速传感器和爆破振动自动记录仪的具体应用, 并提出了监测结论和下一步注意事项, 对同类工程有一定的借鉴意义。

关键词: 爆破振动; 监测; 方法及判别; 方案设计; 成果

中图分类号: O643.2+23; X827; TV554

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2019)增 2-0081-05

Application of Blasting Vibration Monitoring in Hydropower Tunnel Construction

YANG Zhisheng¹, ZHANG Yan², YANG Bo²

(1. The 5th Engineering Co., LTD, CRCC, Chengdu, Sichuan, 610500;

2. Dadu River Co., LTD, CHN Energy, Chengdu, Sichuan, 610041)

Abstract: Based on the chamber blasting vibration monitoring of flood discharge system of Shuangjiangkou Hydropower Station, this paper introduces the specific application of the relatively mature particle vibration velocity sensor and the automatic recorder of blasting vibration at present, and puts forward the monitoring conclusion and the precautions in next step, which has certain reference significance for similar projects.

Key words: blasting vibration; monitoring; method and discrimination; scheme design; achievement

1 工程概况

双江口水电站工程为一等大(Ⅰ)型工程, 枢纽主要建筑物为 1 级建筑物, 次要建筑物为Ⅲ级建筑物。枢纽工程由拦河大坝、泄洪建筑物、引水发电系统等组成。拦河土质心墙堆石坝, 最大坝高 312 m, 坝顶高程 2 510 m, 坝体填筑总量约 4 400 万 m³。枢纽泄水建筑物包括洞式溢洪道、深孔泄洪洞、利用施工后期导流洞改建的竖井泄洪洞和利用施工中期导流洞改建水库放空洞, 洞式溢洪道、深孔泄洪洞、放空洞布置于右岸, 竖井泄洪洞布置于左岸。引水发电系统布置于左岸, 发电厂房采用地下式, 厂内安装 4 台立轴混流式水轮发电机组, 采用“单机单管供水”及“两机一室一洞”的布置格局。

枢纽泄洪主要由洞式溢洪道、深孔泄洪洞和竖井泄洪洞共同承担, 设置放空洞承担水库放空任务。其中洞式溢洪道、深孔泄洪洞和放空洞布置在右岸, 放空洞由 2# 导流洞改建; 竖井泄洪洞布置在左岸, 由 3# 导流洞改建。

工程区地震烈度为Ⅶ度。坝址区两岸山体雄厚, 河谷深切, 谷坡陡峻, 呈略不对称的峡谷状“V”型谷; 出露地层岩性主要为燕山早期木足渡似斑状黑云钾长花岗岩和晚期可尔因二云二长花岗岩。河床覆盖层一般厚 48 m~57 m, 最大厚度达 67.8 m, 分 3 层, 由下至上分别为漂卵砾石层、(砂)卵砾石层、漂卵砾石层。由于地质结构复杂, 给隧洞施工爆破带来一定的难度。

2 爆破振动监测的意义

2.1 爆破振动监测的定义

爆破振动监测: 就是对爆破时产生的振动波对周边建筑物的影响, 根据爆破安全标准规范中质点振动速度是否超标作出一个评判^[1]。在爆破作业中爆破振动对基础、建筑物自身、周边环境物均会造成一定的影响, 无论从工程施工的角度还是环境安全的需要, 均要对爆破作业提出控制。

2.2 爆破振动监测的目的

通过对泄洪系统工程爆破振动监测, 达到以下目的:

(1) 监测泄洪洞工程爆破试验中边坡、洞室、灌

浆和新浇筑混凝土等各部位的爆破振动响应情况。

(2)分析开挖爆破在不同地形和地质条件下的爆破振动传播规律。

(3)提出相应的爆破振动控制措施,为优化爆破设计提供技术支持,以期减小开挖爆破对保留岩体的振动影响和冲击劣化,同时在保证边坡、洞室、灌浆和新浇筑混凝土等振动安全受控情况下,加快开挖施工进度。

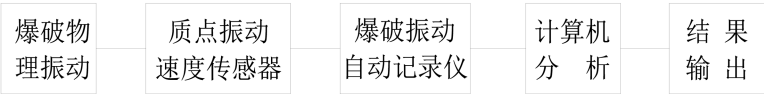


图1 质点速度监测流程图

3.1 传感器安装

- (1)安装前,应根据测点布置情况对测点及其传感器进行统一编号;
- (2)应对传感器安装部位的岩石介质或基础表面进行清理、清洗,速度传感器与被测目标的表面形成刚性连接;
- (3)在传感器安装过程中,应严格控制每一测点不同方向的传感器安装角度,误差不大于 5°;
- (4)固定内部测点传感器的充填材料,其声阻抗应与被测介质相一致,可与静态观测仪器一同埋设。

3.2 现场监测技术

- (1)应收集爆破规模、爆破方式、孔网参数及起爆网路等爆破参数;
- (2)合理选择自触发设定值,设置的量程、记录时间及采样频率等应满足被测物理量的要求;
- (3)对被测物理量的频率范围进行预估(表 1);
- (4)应依据自动记录仪待机时间,合理选择开机时间;
- (5)监测后应填写爆破振动监测记录表。

表 1 被测物理量的频率范围

序号	监测范围	频率范围参考值 /Hz
1	近区	30~500
2	中区	10~200
3	远区	2~100

3.3 爆破振动监测的频次

重点监测断面附近及重点测线应进行 2~3 次爆源的监测,边墙部位同一次爆源应包含不同

(4)了解岩体开挖爆破对保留岩体的损伤情况,为爆破参数优化提供参考依据^[2]。

3 爆破振动监测方法

采用的爆破振动监测系统主要由传感器和爆破振动自动记录仪组成。通过上升沿外触发方式,自动记录从传感器输出的电讯号,再通过 USB 接口向计算机传输数据,打印输出^[3]。监测流程见图 1。

高程 3~5 个测点,同一测点同时布置水平和竖向速度传感器。

4 监测方案设计

4.1 地下工程开挖爆破安全监测设计

- (1)应进行爆破质点振动速度监测及爆破影响深度检测;
- (2)大型洞室开挖爆破应布置 1~2 个与静态监测断面一致的重点监测断面^[4];
- (3)每一监测断面应设 3~5 个测点,地下厂房开挖爆破时,岩锚梁上的测点宜布置在边墙侧,最近测点宜布置在距爆区边缘 10 m 范围内;
- (4)重点监测断面的岩锚梁上及各开挖层上下游侧的边墙上,应各布置一组垂直于被测岩基面的爆破影响深度声波观测孔,引水洞、尾水洞、母线洞及主变洞等隧洞按不同围岩类别及每 100 m 布置一组垂直于被测基岩面的声波观测孔,每条洞不少于一组;
- (5)洞间距小于 1.5 倍平均洞径的相邻洞爆破时,应在非爆破的邻洞布置质点振动速度测点,定期进行监测,需要时还应进行本洞爆破质点振动速度监测;

(6)在新浇混凝土、喷锚支护(临时喷锚支护除外)以及其他特殊部位附近进行爆破作业时,应在这些部位距爆区最近点上布置质点振动速度测点;

(7)洞室开挖按照 100 m~150 m 应进行不少于 1 场次的爆破振动监测。

4.2 高边坡开挖爆破安全监测设计

(1)应进行爆破质点振动速度监测,工程爆破安全评估需要进行数值分析时,还应进行相应物

理量的监测;

(2)监测断面及测点布置:①应遵循重点监测断面与随机监测断面相结合的原则进行监测断面设计;②重点监测断面的选择宜与静态监测断面一致,应布置质点振动速度测点及爆破影响范围声波观测孔,视工程需要在岩体内适当布置质点振动速度、加速度及动应变测点^[5];③随机监测断面应布置表面质点振动速度测点;

(3)重点监测断面数量宜为:大坝坝端、溢洪道及钢管槽边坡 2~4 个,水垫塘、电站进(出)水口等高边坡 1~2 个^[3];

(4)在临近爆区不同高程马道上,测点宜布置在马道内侧坡角处,测点数不少于 3 个,最近测点宜布置在距离爆区边缘 10 m 范围内;

(5)在重点监测断面的马道及坡面处宜各布置一组垂直于被测基岩面的爆炸影响深度声波观测孔;

(6)在新浇混凝土、喷锚支护(临时喷锚支护除外)以及其他特殊部位附近进行爆破作业时,应在这些部位距爆区最近点上布置质点振动速度测点;

(7)当需要测量爆破振动传播规律时,测点宜布置在具有代表性的重点监测断面上;

(8)边坡每个层面开挖应进行不少于 1 场次的爆破振动监测。

4.3 监测仪器设备

(1)爆破振动监测采用的监测仪器以及辅助器材应满足相关规程规范的规定;

(2)使用成都中科测控公司生产的 TC-4850(N)型便携式振动数据采集仪,传感器使用威海双丰物探设备股份有限公司生产的 PS-4.5B 数字地震检波器。均满足相关规程规范的规定;

(3)按水利水电规程规范要求,每个测点按照水平径向、水平切向和竖直向三个方向布置传感器。

4.4 仪器安设

4.4.1 安设位置

一般选在距离爆源较近的隧洞边墙或底板上,总体规律近密远疏。

4.4.2 安设方法

(1)将边墙或底板清理干净,通过膨胀螺钉将

传感器固定在边墙或底板上,保证刚性连接,同时采用轮胎或钢板焊接对仪器进行保护;

(2)用连接线将传感器和测振仪连接;

(3)开启测振仪,设定触发速度值,设定为等待触发状态;

(4)仪器记录:测振仪在等待触发状态下,自动记录下所有由振动产生的大于设定触发速度值的数据及波形,每一场次据以触发当时日期自动命名保存为一个文件,时间精确到秒,如“2017.04.28.14.30.22”,每台仪器的容量能自动保存至少 300 个文件。

4.5 数据采集

4.5.1 数据采集

一般每天采集一次数据(根据现场情况和要求处理)。采集方式是将仪器带回营地采集。

4.5.2 数据保存

将数据线 with 数字地震检波器连接,将仪器内记录并保存的所有数据保存到电脑。

4.6 数据整理

4.6.1 数据整理

将采集的所有数据逐一比对、分析整理,排除其他扰动等非爆破振动产生的数据。同时,依据被监测爆破施工单位提供的爆源信息,核查爆源信息。

4.6.2 数据分析

定期对该保护区采集到的所有爆破振动数据进行整理分析。结合被监测爆破施工单位提供的相关爆破设计资料,提交监测结果。

4.6.3 非爆破振源

非爆破振源或非被监测施工区爆源信号辨识。由于监测点有剧烈活动可能会被记录,仪器自动记录有触发时间,监测人员一是可根据被监测施工区爆源信息的爆破时间确定相应的振动波形等原始数据,二是根据触发时间、特征参数、波形时程曲线等技术参数区别爆破振动波和非爆破振动波^[1]。

5 监测成果

5.1 洞室爆破监测结果

洞式溢洪道详细监测成果共形成 23 期简报,25 场次监测数据,布置 168 个测点,获得 504 点次数据。监测过程中,根据波形图和爆破设计,最大峰值质点振速是由掏槽孔引起的。重点针对不

同的掏槽孔最大单响药量和监测成果进行分析如下,包括最大单响药量、测点距离、各方向质点振速和回归计算得到的 K 、 α 值,以及距离爆源 10 m 处的可能振速值。

通过对洞式溢洪道不同方向监测成果进行线性回归分析,发现采用萨道夫斯基公式,可以较好地反映爆破地震衰减规律(图 2、图 3、图 4)。

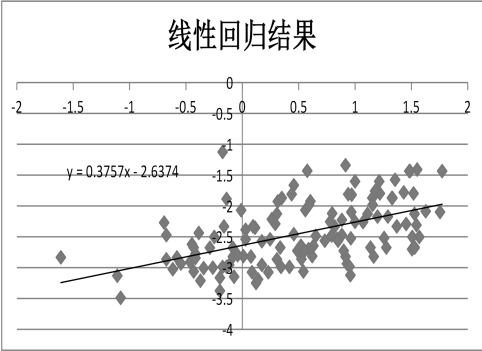


图 2 X 水平径向线性回归结果

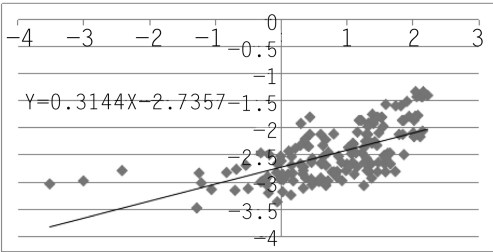


图 3 Y 水平切向线性回归结果

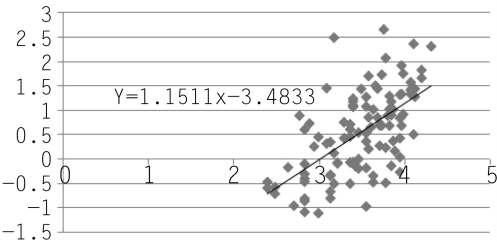


图 4 Z 竖直向线性回归结果

不同单响药量情况下 K 、 α 值,可见 K 、 α 值较为稳定,受不同地质条件等影响稍有波动。由于 K 、 α 值较为稳定,可以通过统计平均算的洞式溢洪道平均 K 、 α 值(表 2、表 3)。

根据回归得到的各方向平均 K 、 α 值,根据峰值质点振速不超过 10 cm/s 的要求,回归不同距离处的最大单响药量,要满足距爆源 10 m 处不超过 10 cm/s 的要求,掏槽孔最大单响药量不超过 18.6 kg(图 5)。

表 2 不同单响药量情况下 K 、 α 值

最大单响药量 /kg	K	α	
21	56.8	1.5	水平径向
	59.5	1.4	水平切向
	54.3	1.5	竖直向
12	56.9	1.4	水平径向
	57.8	1.3	水平切向
	59.4	1.6	竖直向
	43.0	1.5	水平径向
18	56.5	1.5	水平切向
	45.6	1.5	竖直向

表 3 洞式溢洪道各方向平均 K 、 α 值

距爆源 10 m 处 10 cm/s 进行控制	K	α	最大单响 药量 /kg	
10 cm/s	56.8	1.5	21.0	水平径向
	59.5	1.4	18.6	水平切向
	54.3	1.5	37.7	竖直向
	56.9	1.4	31.0	水平径向
	57.8	1.3	20.4	水平切向
	59.4	1.6	30.7	竖直向
	43.0	1.5	57.4	水平径向
	56.5	1.5	28.1	水平切向
	45.6	1.5	47.3	竖直向
平均值	49.95	1.45	35.9	水平径向
	57.15	1.4	23.9	水平切向
	52.5	1.55	40.4	竖直向

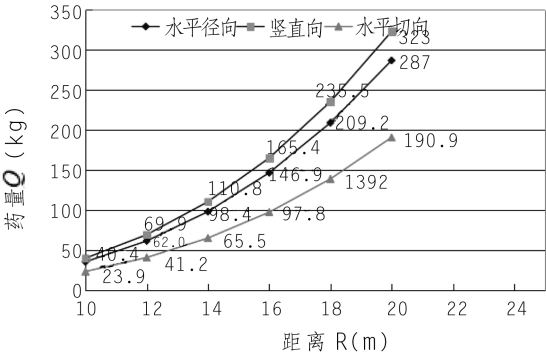


图 5 满足不超过 10 cm/s 的要求回归不同距离处的最大单响药量

5.2 深孔泄洪洞监测成果

以竖井泄洪洞出口边坡为例,已形成详细监测成果 2 期,2 场次监测数据,布置 19 个测点,获得 57 点次数据。监测过程中,根据波形图和爆破设计,最大峰值质点振速是由预裂孔引起的。重点针对不同的预裂孔最大单响药量和监测成果进行分析,包括最大单响药量、测点距离、各方向质点振速和回归计算得到的 K 、 α 值,以及距离爆源 10 m 处的可能振速值。

6 结 语

(1)根据现场施工情况,以及爆破安全监测大纲和实施方案,本阶段对泄洪系统开挖爆破进行

了爆破振动监测,获得了有效数据共 316 测点(即 948 点次)。其中有 3 点次实测值超过 10 cm/s,

表 6 不同水平距离和高差最大可能振动速度值反演成果

水平距离 /m	高差 /m	最大单响药量 /kg	水平径向 /cm·s ⁻¹	水平切向 /cm·s ⁻¹	竖直向 /cm·s ⁻¹	最大振动速度 /cm·s ⁻¹
10.00	0.00	104	9.89	7.83	9.68	9.89
15.00	0.00	104	5.43	3.67	4.80	5.43
20.00	0.00	104	3.54	2.14	2.92	3.54
25.00	0.00	104	2.55	1.41	1.98	2.55
30.00	0.00	104	1.95	1.00	1.45	1.95
35.00	0.00	104	1.55	0.75	1.11	1.55
40.00	0.00	104	1.27	0.59	0.88	1.27
50.00	0.00	104	0.91	0.39	0.60	0.91
60.00	0.00	104	0.70	0.27	0.44	0.70
10.00	10.00	104	9.789	7.085	8.758	9.789
15.00	10.00	104	5.372	3.319	4.343	5.372
20.00	10.00	104	3.509	1.938	2.640	3.509
25.00	10.00	104	2.522	1.277	1.795	2.522
30.00	10.00	104	1.926	0.908	1.309	1.926
35.00	10.00	104	1.533	0.681	1.003	1.533
40.00	10.00	104	1.258	0.530	0.796	1.258
50.00	10.00	104	0.904	0.349	0.541	0.904
60.00	10.00	104	0.690	0.248	0.395	0.690
10.00	20.00	104	9.691	6.411	7.924	9.691
15.00	20.00	104	5.318	3.004	3.929	5.318
20.00	20.00	104	3.474	1.754	2.389	3.474
25.00	20.00	104	2.497	1.156	1.624	2.497
30.00	20.00	104	1.907	0.822	1.185	1.907
35.00	20.00	104	1.518	0.616	0.907	1.518
40.00	20.00	104	1.245	0.480	0.720	1.245
50.00	20.00	104	0.895	0.316	0.489	0.895
60.00	20.00	104	0.683	0.225	0.357	0.683

占总监测点次的 0.3%,没有大于 15 cm/s 的实测值。一场次为深孔泄洪洞,为 11.33 cm/s;一场次为竖井泄洪洞出口边坡 11.24 cm/s。根据爆破安全监测和其他监测结果分析,爆破开挖施工振动未造成破坏性影响。

(2)根据本阶段爆破监测成果,对爆破质点振动速度衰减规律进行了计算,回归计算距离爆源 10 m 处按最大振速 10 cm/s 控制,计算得相应的最大单响药量控制值,可作为未来施工参考。

(3)根据爆破监测成果,本阶段监测结果初步获得了边坡、洞室等各部位的爆破振动响应情况,分析了开挖爆破在不同地形和地质条件下的爆破振动传播规律。

(4)建议后续试验过程中开展爆破影响深度检测,分析岩体爆破损伤范围及深度,为保留岩体质量评价和爆破参数的优化提供依据,并为爆破

振动安全允许标准的确定提供佐证依据。

参考文献:

[1] 高鸣安等.引水隧洞施工安全监测与控制[J],岩石力学与工程学报.1999 年.
[2] 泄洪标施工期临时监测招标文件[S].
[3] 泄洪标爆破振动监测实施方案[S]。2017 年.
[4] 胡刚,吴云龙.爆破地震振动控制的一种方法[J].煤炭技术, 2004,23(4):104—105.
[5] 李保珍,王迪安.高程差与爆破振动强度及衰减规律之间关系的探讨[A].第六届全国工程爆破学术会议论文集[C], [s.l.]: [s.n.], 1997. 778—783.

作者简介:

杨志盛(1989-),男,甘肃靖远人,助理工程师,工学学士,现于中铁建大桥工程局集团第五工程有限公司从事项目技术管理;
张岩(1981-),男,辽宁锦州人,高级工程师,现于国家能源集团大渡河公司从事水电工程技术管理工作;
杨波(1995-),男,四川小金人,工学学士,业务专责,主要从事水电工程建设技术和管理工作。(责任编辑:卓政昌)