

丰满水电站大坝基坑开挖爆破振动安全监测成果分析

谢 登

中国电建集团城市规划设计研究院有限公司 广东 广州 510000

摘要: 吉林丰满水电站是世界上唯一一座一址双坝水电站,丰满水电站全面治理(重建)枢纽工程新坝基坑开挖爆破区距离原大坝、三期厂房、引水隧洞及闸门等已有建筑物较近,且施工期还要保持电厂的正常发电,施工环境极其复杂。为了保护建筑物与爆破保留区的安全,大坝开挖期间,我们对676次爆破作业进行了振动安全监测,通过监测数据分析,及时、准确的指导爆破施工,可靠、有效的保护了建筑物与爆破保留区的安全。文章介绍了该项目的爆破振动安全监测方法,选用的监测设备及运用回归法分析了监测结果,并对大坝基坑爆破安全进行了评价。

关键词: 丰满水电站; 大坝基坑; 开挖爆破; 振动安全监测

1 概述

吉林丰满水电站全面治理电站枢纽工程主要建筑物由碾压混凝土重力坝、坝身泄洪系统、左岸泄洪兼导流洞、坝后式引水发电系统、GIS开关站、过鱼设施及利用的原三期电站组成。工程等别为一等工程,工程规模为大(1)型,拦河坝、泄洪兼导流洞、新建电站厂房及开关站等主要永久性建筑物为1级。

坝址基岩主要为二叠系下统一拉溪组变质砾岩(P_1y)和第四系地层,侵入岩为华力西晚期花岗岩。

吉林丰满水电站全面治理(重建)工程开挖工程量大、工期紧、施工强度大,爆破区距离原大坝、三期厂房、引水隧洞及闸门等已有建筑物较近,基础开挖期间要保证原有大坝以及电站安全运,施工环境极其复杂,因此,必须对需重点保护对象进行全过程爆破振动安全监测。

丰满水电站大坝基坑开挖期间我们共对保护对象进行了676次爆破安全监测,获取了相应的振动监测数据,及时有效的解决了爆破开挖存在的问题,保护了建筑物的安全。

2 爆破振动监测采用的设备

根据大量的历史实测资料,假定丰满水电站全面治理(重建)工程开挖工程建基面和结构的在爆破荷载作用下振动主频率在10~50Hz之内。另据该工程震动效应观测特点,选用爆破振动自记录仪+速度传感器。

2.1 爆破振动监测设备

2.1.1 爆破振动测试使用成都中科测控TC4850爆破振动监测仪及其配套速度传感器,该系统采用自触发式、分体式结构。

2.1.2 高速摄影采用SpeedCam VISARIO高速数码相机,SpeedCam VISARIO数字相机系统主要由主控计算

机、黑白相机头、彩色相机头、连接器、电源、遥控盒等部件组成。主要技术指标:幅频:1~10幅/s,外触发输入要求脉宽 $\geq 1gs$ 、信号幅度为+5~+24V,在标准幅频模式下的记录长度为3.2S。

2.1.3 声波检测使用武汉岩海公司研制的RS-ST01C智能型声波仪。该仪器具有数字采集和存储功能,最小采样间隔为0.1 μs ,采样长度为512~4096点,频响范围10Hz~500kHz,声时测量精度 $\pm 0.1\mu s$ 。

2.2 爆破振动监测反馈系统

2.2.1 功能描述

具有物联网实时传输功能的YBJ-IH远程微型动态记录仪和各种传感器形成一个无线传感器网络,通过GPRS或者3G网络技术,将采集到的信号依托互联网无线传输到爆破管理信息平台的数据中心,实现爆破监测管理,并依据爆破安全控制标准及实测资料进行安全评价,上传监测简报。

3 爆破振动监测数据及分析

根据丰满水电站大坝基坑开挖施工进度计划,将爆破振动监测具体分为三个阶段:其中第一阶段在2014年8月底结束,主要在右岸进行爆破震动实验,采用回归分析推算衰减规律;第二阶段2014年9月初至2015年5月初,左右岸同时开挖,进入常规检测阶段,重点加强对坝下和三期厂房及泄洪洞等重点建筑物的监测;第三阶段2015年5月初至6月,坝基开挖主体工作基本完成,同时开始对右岸39#、左岸13#、19#坝段进行混凝土浇筑,这一阶段重点对左右岸新浇混凝土进行安全监测(受篇幅限制,以下详细说明第一阶段的爆破振动监测方法,第二、第三阶段仅简单介绍成果)。

3.1 第一阶段爆破振动监测数据及分析

从2014年7月16日至2014年8月29日共进行了23次爆

破，分别在大坝、厂房、开关站等地布置监测点。各测点均监测水平径向、水平切向、竖直三个正交方向爆破振动。

3.1.1 典型爆破振动监测数据表1

表1 典型爆破振动成果表

测试时间	测点编号	仪器编号	允许振速 (cm/s)	爆心距 (m)	水平切向		水平径向		竖直向	
					峰值 (cm/s)	主频 (Hz)	峰值 (cm/s)	主频 (Hz)	峰值(cm/s)	主频(Hz)
2014. 7. 16	5#	YBJ0185	5.00	10	0.97	33	0.91	43	1.07	24
2014. 7. 19	5#	YBJ0185	5.00	24	2.30	11	2.07	25	3.16	30
2014. 7. 24	6#	YBJ7005	5.00	268	0.16	13	0.17	14	0.12	15
2014. 2. 28	12#	YBJ0181	5.00	125	0.33	16	0.22	14	0.20	14
2014. 8. 4	4#	YBJ0184	2.50	161	0.08	15	0.08	13	0.17	11
2014. 8. 9	7#	YBJ0182	3.00	230	0.04	28	0.04	11	0.17	28
2014. 8. 13	5#	YBJ0185	5.00	24	2.44	16	1.71	29	2.73	29
2014. 8. 22	13#	YBJ0186	5.00	155	0.09	9	0.13	13	0.06	9
2014. 8. 29	6#	YBJ0126	6.00	268	0.21	12	0.19	13	0.11	20

3.1.2 爆破振动衰减规律

这一阶段爆破主要是在右岸进行，根据萨道夫斯基公式拟合新坝基础岩体的K和α值；结合其他已有建筑物附近的爆破振动测试结果，以及科研设计阶段开展的“丰满大坝已有静态监测仪器的振动影响”的室内试验研究成果，分析、研究现场爆破施工对周围已有建筑物（或设施）的振动影响，以及重复施工爆破对已有静态监测仪器的振动影响情况；分析新坝基础开挖对振动传播特点，给出新坝基坑内不同部位开挖爆破对最大单响药量指标，优化、调整爆破施工参数，其计算式为：

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

式中：R--爆破振动安全距离，m；v--保护对象所在地质点振动安全允许速度，cm/s；Q--齐发爆破取总炸药量，延时爆破取最大一段药量，kg；

采用最小二乘法对爆破试验的实测振动数据进行回归分析，分别得到水平切向、水平径向及垂直向质点三个方向的振动波形。（回归分析中，剔除了坝顶、乙地区控制室等结构振动响应测点的振动数据）

水平切向爆破振动的回归曲线如图1所示：

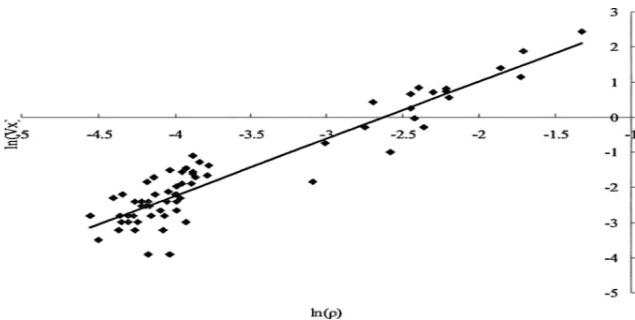


图1 水平切向爆破振动的回归曲线

水平切向爆破振动的回归公式为：

$$V_x = 71 P^{162} \quad (2)$$

式中：V_x为水平切向振速cm/s。参与回归的数据组数N = 67，相关系数r = 0.94。F检验结果：F = 464.8 > F_{0.0}，（F表中显著性水平为0.01时的临界值，下同）= 7.08，故回归结果线性显著。

水平径向爆破振动的回归公式为：

$$V_r = 170 P^s \quad (3)$$

式中：V_r为水平径向振速。参与回归的数据组数N = 67，相关系数r = 0.94。F检验结果：F = 536.2 > F_{0.01}（F表中显著性水平为0.01时的临界值，下同）= 7.08，故回归结果线性显著。

竖直向爆破振动的回归曲线如图2所示：

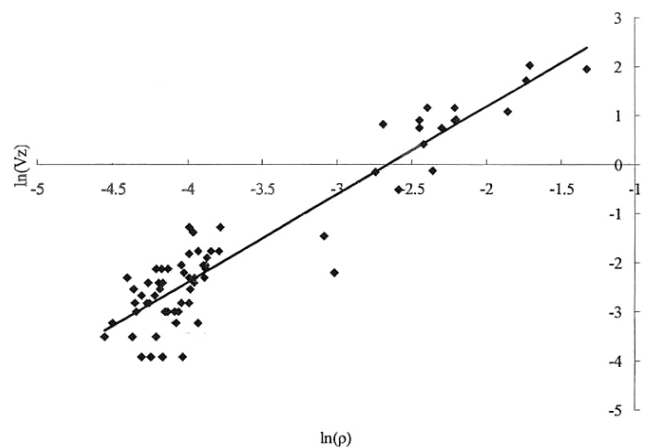


图2 竖直向爆破振动的回归曲线

竖直向爆破振动的回归公式为：

$$V_z = 115 P^{L79} \quad (4)$$

式中：V_z为垂直向振速，cm/s。参与回归的数据组数N = 67，相关系数r = 0.94；F检验结果：F = 464.9 > F_{0.01}

(F表中显著性水平为0.01时的临界值,下同)=7.08,故回归结果线性显著。

爆破单段药量控制根据式(1)推算得到最大单段药量公式如下:

$$Q_x = [R(V_{允}/K)]^n \quad (5)$$

式中, Q_x 为允许最大单段药量、kg, $V_{允}$ 为保护对象处允许的安全振动速度。

根据式(5),若规定了保护对象允许的安全振速允许值,则可根据保护对象至爆源的距离R已知推算出以该点为控制点的最大允许爆破单段药量。

若假定在变电所进行爆破,可得到爆心距50m时最大单段药量控制结果为:设计允许振速0.5cm/s,允许最大单响量 Q_x 为13kg,允许最大单响量 Q_y 为9kg,允许最大单响量 Q_z 为13kg;爆心距100m时,设计允许振速0.5cm/s,允许最大单响量 Q_x 为106kg,允许最大单响量为 Q_y 为729kg,允许最大单响量 Q_z 为108kg。

由此可见,随着爆破开挖的进行,爆区离重点保护物越来越近,爆破单段药量的控制也越来越严格。故需针对不同重点保护物的允许振速及爆心距,设置不同类型的爆破区域:一般爆破区和谨慎爆破区。谨慎爆破区除了需要控制单响药量外,还需要通过优化起爆网路等方式进一步控制爆破振动。

3.2 第二阶段爆破振动监测数据及分析

从2014年9月初至2015年5月初,根据衰减规律分析,按照控制药量和标准对左右岸同时进行开挖,监测共布置14个测点,安装静态监测仪器,监测爆破振动监测同时测试切向、径向、垂直向三个分量的质点振动速度。从2014年9月初至2015年5月初,共进行了588次爆破,其中左岸进行241次爆破,右岸进行347次爆破,各所测得的爆破峰值振动值均在允许范围内,不会对被保护对象造成破坏。仅10月15日左岸Z2#测点最大峰值振速为0.41cm/s(水平径向),超过该保护对象爆破振动安全允许振速0.5cm/s的预警值(80%)。在该次爆破后,经过对振动波形和爆破设计分析,通过对起爆网路的改进,防止爆破段之间的叠加,爆破振动振速得到了有效的控制。

3.3 第三阶段爆破振动监测数据及分析

从2015年5月初至2015年5月底,共进行65次爆破,

其中左岸进行26次,右岸39次,其中5月中旬开始主要对断层处理,爆破药量较小,各测点爆破振动速度相对较小,右岸39号坝段和左岸13#、19#坝段浇筑混凝土测得的爆破峰值振动未超过保护对象爆破振动安全允许振动速度,不会对新浇混凝土造成有害影响。仅5月1日水电六局对新厂房开挖对左岸16号坝段新浇混凝土最大峰值振速为3.03cm/s(水平径向),超过该保护对象爆破振动安全允许振速2.50cm/s通过分析振动波形,并对药量和现场连网的调整和改进,有效的控制了爆破对左岸新浇混凝土的影响。

结束语

从2014年7月到2015年5月底,测试了676次爆破,获得了大量有效数据,绝大多数爆破振动均控制在爆破安全标准值以内。

仅2014年10月15日左岸三期厂房最大振速0.41(水平径向),超过该保护对象爆破振动安全允许振动速度0.5cm/s的预警值(80%);2015年5月1日六局开挖新厂房左岸16号坝段新浇混凝土最大振速3.03cm/s(水平径向),超过该保护对象爆破振动安全允许振速2.50cm/s这两次爆破后,我们对爆破振动波形及爆破设计进行了分析,并对爆破参数及起爆网络进行优化,对切向、径向、垂直向及三个分量的矢量和均进行拟合,药量选取单段最大药量防止各段爆破振动的叠加,成功控制了爆破振动对各保护对象的影响。

我们通过对丰满水电站大坝重建工程坝基开挖的全过程进行密切的跟踪监测,获得了大量的监测数据。监测数据分析表明,通过不断的监测分析、反馈及优化,整个坝基开挖的过程中爆破振动得到了较好的控制,未对保护对象造成较大影响。

参考文献

- [1] 祁智斌.浅谈高岩溶大坝基坑开挖施工的实践[J].百科论坛电子杂志.2019,(12).113.
- [2] 张微微.藏木水电站基坑开挖梯段爆破试验[J].水电与新能源.2019,(4).006.
- [3] 梁俊霞,翁锐,李东福.高原地区深V峡谷中水电站基础开挖爆破试验研究[J].水电与新能源.2022,36(12).013.