

丰满水电站重建工程爆破开挖安全控制技术

高贵华

中国水利水电第十六工程局有限公司 福建 福州 350000

摘要: 根据丰满水电站新建坝基基础开挖对振动传播特点, 通过爆破振动测试、应用声波测试和高速摄影, 对爆破施工进行全过程监测控制, 分析、结出新坝基坑内不同部位开挖爆破的最大单响药量指标, 爆破飞石的飞行特点及安全距离推算, 不断优化、调整爆破施工参数, 确保了新坝基开挖建基面及电站运行不受爆破危害的影响。

关键词: 水电站重建工程; 坝基爆破开挖; 控制技术

1 工程概况

丰满水电站(重建)工程位于松花江干流上的丰满峡谷口, 工程是按恢复电站原任务和功能, 在原大坝下游120m处新建一座大坝, 并利用原丰满三期工程相关设施进行重建。新建电站装机容量140MW, 多年平均发电量17.09亿kWh。

项目碾压混凝土重力坝坝顶高程269.50m, 最大坝高94.50m, 坝顶总长1068.00m, 由左右岸挡水坝段、河床溢流坝段、河床偏右的厂房坝段组成。

丰满水电站坝基以变质砾岩和花岗岩为主, 基岩岩质坚硬, 抗风化能力强, 多属较完整~完整岩体, 局部为完整性差~较破碎岩体, 河床无全、强风化带。

新坝基础开挖工程于2014年7月开工, 2015年2月结束, 因电站新坝基础距旧厂房及建筑物较近, 开挖时间必需保证电站安全运行, 承包商采取控制爆破的方法对丰满水电站(重建)工程新坝基础开挖进行了爆破控制。

2 爆破控制方法

2.1 爆破振动测试方法

在本工程爆破位置临近的基岩表面和原大坝已安装静态监测仪器, 爆破振动监测同时测试径向、切向、垂直向三个分量的质点振动速度。泄洪导流洞及其它分部工程爆破开挖位置不一, 地震波传播路径和方向复杂, 因此仅以常规的垂直分量或者三个分量的最大值进行计算不能完全表征爆破地震波的特性, 因此需要分析三个分量及三个分量的矢量和, 并以三个分量矢量和作为测试点的合速度:

$$v_{\max} = \sqrt{v_{r\max}^2 + v_{t\max}^2 + v_{L\max}^2} \quad (2-1)$$

$V_{L\max}$ 、 $V_{T\max}$ 、 $V_{V\max}$ 分别为径向、切向和垂直向最大质点振动速度。

将数据导入计算机, 使用专用软件对导入的数据进行分析。分析时需判断掏槽爆破、主爆、光面爆破三种爆破类型所产生地震波是否可以区分开。若无法区分上

述三种类型爆破地震波, 则在爆破监测点监测的振动速度存在振动加强或振动减弱的情况, 进而说明上述三种爆破类型产生的地震波有叠加或抵消情况。可以直接区分时, 直接读取相应监测点振动速度。在确定上述三种类型爆破最大单响药量时, 应结合允许爆破质点振动速度限值情况并结合实际监测的振动速度情况确定K值和 α 值。

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^[1]。

2.2 测点布置和埋设

2.2.1 在爆破位置临近的三期中控楼(五楼)、老坝坝顶(7#坝段)、老坝坝基(7#坝段)、泄洪洞帷幕灌浆区和调压井闸门室, 分别安装三分量振动速度传感器, 测试水平径向、切向和铅直向爆破振动速度大小, 水平径向指向爆心。

2.2.2 在新坝基坑内沿直线布置5个振动测点, 各测点与爆破点的距离分别为10m、20m、35m、50m和70m左右, 每个测点各安装1支三分量振动速度传感器, 水平径向指向爆心。以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, 并确保周围已有建筑物(或设施)的安全, 以及发电机组的正常运行。

2.2.3 在爆破点周围安装1台SpeedCam VISARIO高速数码相机, 记录爆破飞石轨迹, 推算爆破安全距离。

2.2.4 基础开挖到临近建基面时, 最后一层的爆破开

挖时进行爆破损伤监测。爆破损伤采用声波法测试,在爆破前、后分别进行声波测试。在33#~35#坝段基础开挖部位进行测试孔布设,布置3组声波测试孔,每组4个,呈方形布置,孔间距约为1.5m。

2.3 构筑物振动监测

2.3.1 历次爆破振动,三期中控楼(五楼)、老坝坝顶(7#坝段)、老坝坝基(7#坝段)、泄洪洞帷幕灌浆区和调压井闸门室各方向爆破地震波主频均值22~50.2Hz。

2.3.2 历次爆破,三期中控楼水平径向峰值振动速度为0.226cm/s,铅直向峰值振动速度为0.322cm/s,水平切向峰值振动速度为0.239cm/s,合速度峰值为0.414cm/s。

2.3.3 老坝坝顶水平径向峰值振动速度为0.587cm/s,振动速度铅直向峰值为1.121cm/s,水平切向峰值振动速度为1.616cm/s,合速度峰值为2.052cm/s。

2.3.4 老坝坝基水平径向峰值振动速度为0.495cm/s,铅直向峰值振动速度为0.558cm/s,水平切向峰值振动速度为1.162cm/s,合速度峰值为1.32cm/s。

2.3.5 泄洪洞帷幕灌浆区水平径向峰值振动速度为0.718cm/s,铅直向峰值振动速度为0.810cm/s,水平切向峰值振动速度为0.761cm/s,合速度峰值为1.323cm/s。

2.3.6 调压井闸门室水平径向峰值振动速度为0.130cm/s,铅直向峰值振动速度为0.246cm/s,水平切向峰值振动速度为0.174cm/s,合速度峰值为0.306cm/s。

2.3.7 三期中控楼、老坝坝顶、老坝坝基、泄洪洞帷幕灌浆区和调压井闸门室爆破峰值振动速度均未超出设计要求的安全控制标准。

2.4 爆破地震波衰减和传播规律

2.4.1 爆破地震波传播公式

根据《爆破安全规程》的规定,爆破振动的安全距离公式为

$$R = \left(\frac{K}{V}\right)^{\alpha} Q^{\frac{1}{3}} \quad (2-1)$$

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;

K 、 α —与地形、地质条件、爆破条件等有关的爆破点至保护对象间的系数和衰减系数。

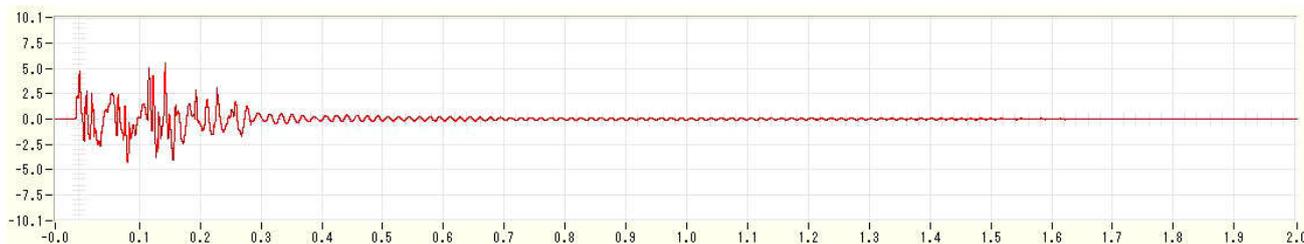
若监测点高于爆破点,爆破点与监测点之间存在高差,则在(2-1)式中需进行高程差修正。由于大坝爆破试验监测点与爆破点高程基本一致,因此本工程无需考虑高差修正项, K 值和 α 值需通过现场试验确定。(2-1)式经过变换即成为萨道夫斯基公式

$$v = k \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R}\right)^{\alpha} \quad (2-2)$$

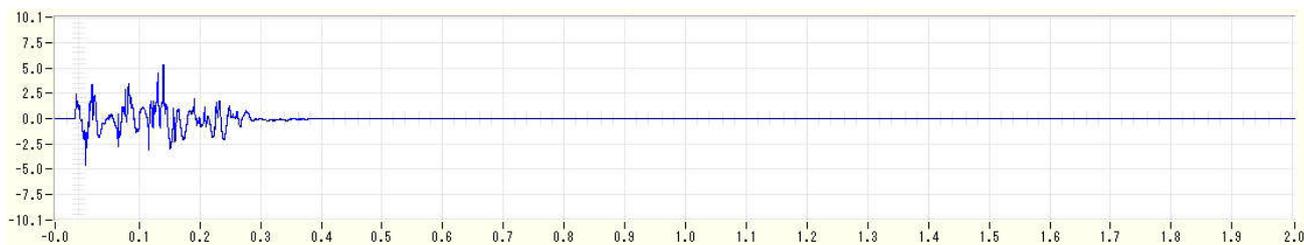
经变换后的(2-2)式提供了爆破地震波强度的预报方式,也体现了爆破地震波的衰减规律。

新坝基础开挖爆破网络方式采用孔间毫秒微差爆破,主爆孔孔内一般采用MS12非电毫秒雷管,MS2、MS5段雷管用于孔、排间连接,采用击发枪起爆。

2014年12月28日主爆爆破爆心距为18m的监测点质点三个方向的振动波形见图2-1。爆破地震波主要由主爆孔爆破引起,2~3个主爆孔一响,每一响间爆破间隔为25ms,各主爆孔爆破引起的地震波叠加作用明显,较难区分各孔爆破引起的地震波,及各质点峰值振动速度所对应的单段最大药量爆破的控制。



水平径向



水平切向

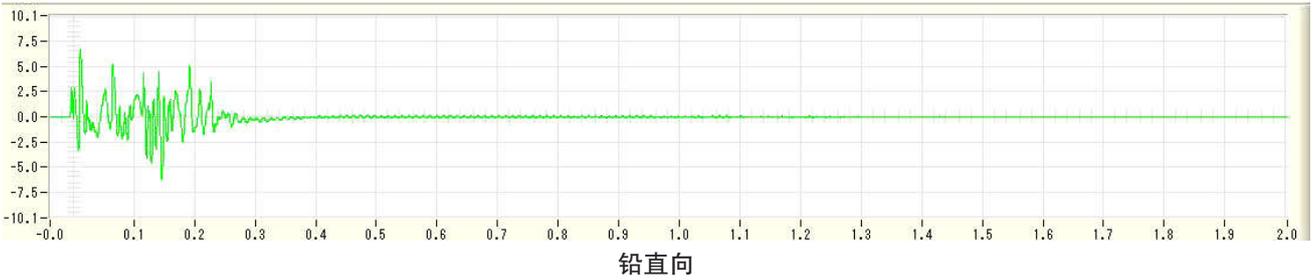


图2-1 监测点各方向振动波形图

对于在(2-1)和(2-2)式中的质点振动速度是采用垂直向、切向、径向三个分量的矢量和,即合速度,还是仅采用其中一个分量,目前在行业内尚未统一明确,在《爆破安全规程》(GB6722-2003)中也未作明确的规定。新坝开挖一般1~3孔为一响,爆破地震波峰值振动速度一般对应单段最大药量爆破;每一响主爆间隔时差一般为25ms,各主爆孔装药量差异较小;因此进行新坝基础开挖爆破地震波传播公式拟合时,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^[2]。

应用萨道夫斯基公式拟合分析新坝爆破地震波的衰减和传播规律,得到主爆孔的爆破地震波衰减和传播规律;在计算地震波衰减和传播公式时采用单段最大药量爆破进行拟合。由于爆破地震波存在叠加和抵消作用,在应用地震波衰减和传播公式进行药量控制计算时,应考虑单段最大药量的同时也应控制各主爆孔的药量。

2.5 爆破飞石安全距离

2.5.1 爆破飞石计算公式

深孔爆破的飞石距离参照瑞典德堂尼克研究基金会总结的经验公式估算:

$$S_{\max} = \frac{40}{2.54} d \approx 15.8d$$

式中: S_{\max} 为飞石飞行最大距离,单位m; d 为钻孔直径,单位为cm。

2.5.2 爆破飞石监测

2.5.2.1 历次爆破,爆破飞石最大飞行水平距离范围为18.1~47.4m,飞行最大高度范围为5.9~29.4m。

2.5.2.2 历次爆破飞石的飞行距离在《爆破安全规程》规定的安全距离范围内,小于经验公式估算值。

2.6 爆破损伤

2.6.1 33#~35#坝段坝段岩体均未爆破破坏。

2.6.2 33#~35#坝段爆破破坏轻微的部分声波速度降低率为10%~15%;爆破破坏甚微的部分单孔声波速度降低率为4%~8%。

2.6.3 33#坝段爆破破坏深度值:轻微为0.6m,甚微

为1.3m;34#坝段分别为0.7m和1.6m;35#坝段分别为0.8m和2.0m。计算出各坝段爆破破坏轻微和甚微的深度均值分别为0.7m和1.6m。

3 结论

3.1 新坝基础爆破开挖采用孔间微差爆破网络,已有建筑物的振动速度未超出设计要求的安全控制标准,爆破飞石距离小于爆破安全规程,造成了一定范围内坝基岩体破坏,爆破网络、参数和施工措施基本合适,但存在优化的必要^[3]。

3.2 按照爆破参数进行爆破飞散物飞行安全距离的估算,爆破飞石最大飞行距离为142.0m。根据高速摄影数据分析,2015年1月22日16点29分爆破的飞石的最大飞行距离为41.7m,小于经验公式估算值。影响爆破飞石飞行距离主要因素为:药包埋置深度(W)与爆破作业指数(n)、气候、地质条件及爆破施工质量等。丰满水电站重建工程坝基岩质坚硬,多属较完整~完整岩体;在重建工程坝基爆破开挖时,在爆破孔浅部使用粉土及黄砂等进行封堵、地表孔口处进行覆盖等防护措施。通过实践及观测情况证明,本工程爆破网络设计合理,单孔爆破药量控制较好,实际观测的爆破飞石飞行距离也远小于经验公式估算值。

3.3 从爆破安全距离角度分析,本工程爆破网络、爆破参数和爆破施工措施能够满足安全距离的要求。当现场出现极端工况时,如外部环境导致爆破指数增大的情况,应采用符合规定的安全距离,确保构筑物 and 人员不被飞石伤害。

3.4 应用爆破地震波传播公式进行药量控制时,在考虑单段最大药量时也应控制其他主爆孔的药量。

参考文献

- [1]陈昌林,王凤玉.丰满大坝的全面修复与加固[J].水力发电,1999(8):46-48.
- [2]赵涛.冻结裂隙岩体力学特性及冲击动力学响应研究[D].西安科技大学,2021.
- [3]孙鹏举.严寒地区大型水电站重建工程开挖爆破震动安全控制标准研究[D].长江科学院,2016.