

某水利枢纽工程地下厂房爆破施工对侧壁岩体振动影响分析

廖珊珊，方大勇，杨永民，陈夫

(广东省水利水电科学研究院；广东省水利重点科研基地，广州，510610)

摘要：本文通过某水利枢纽工程地下厂房爆破施工振动的实测数据分析，结果表明地下厂房爆破施工影响因素较多，侧壁岩体振动无明显主振方向，在地下厂房侧壁岩体振动传播分析中萨道夫斯基经验公式存在明显的局限性。

关键词：地下厂房；爆破施工；侧壁岩体；振动速度；振动分析

1 工程概况

某水利枢纽工程地下厂房所在位置地面高程为 200m~290m，厂房顶部岩石最小厚度约为 46m，侧向岩石最小厚度约为 38m。围岩主要以微风化石英砂岩为主，夹少量绢云母板岩和粉细砂岩。

该地下厂房由拱顶往下分层爆破开挖，其中爆破施工是重要工序，也是重点控制的环节之一，爆破产生的振动可能对已开挖的厂房侧壁及完成的厂房结构造成不良影响。设计单位提出岩锚梁位置的爆破振速控制值为 7cm/s。根据工程进展情况，为掌握地下厂房爆破施工产生的振动对厂房侧壁岩体影响情况，尤其是对岩锚梁位置岩体的影响情况，在 107.50m 高程进行了爆破振动现场测试，并对测试结果进行了分析，结果可为其它相关工程提供借鉴参考。

2 试验仪器及设备

本试验采用 2 台 UBOX-5016 爆破振动智能监测仪进行测试。每台监测仪均配置 1 支垂直速度传感器和 2 支水平速度传感器。配置手提电脑一台用于数据采集和分析，数据分析软件 2 套，其测试过程如下图 1。测试位置为地下厂房岩锚梁高程侧壁的岩体，拾振器放置在托板上，托板为 40cm×40cm 钢板，托板与岩体刚性连接。采用石膏将拾振器与托板固定耦合。

UBOX5016 便携式数据采集设备是针对现场爆破、振动、冲击、噪声等测试而专门优化设计的，用于信号记录和分析的仪器。UBOX5016 不但能够进行采集工作，配合 BM View 通过数据采集设备控制，得到的爆破振动数据，并在此基础上根据萨道夫斯基经验公式进行爆破振动的专业分析。

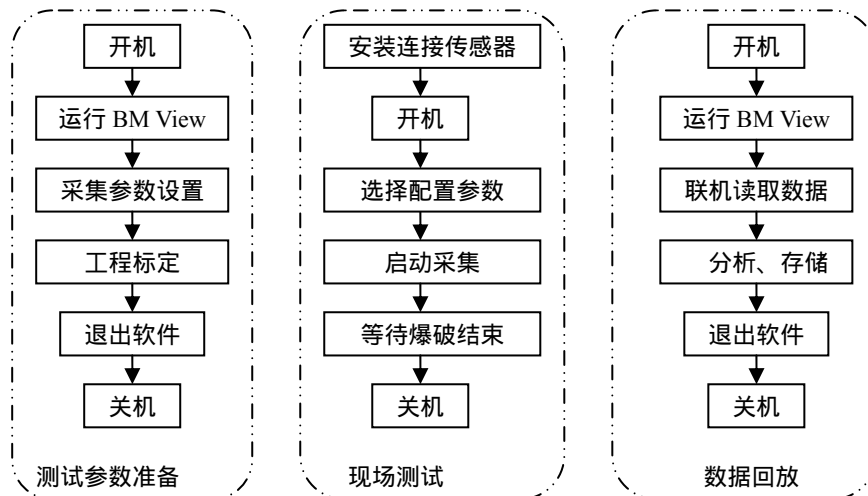


图 1 爆破振动现场测试流程

3 试验测点布置

结合现场实际施工情况，爆破段地下厂房施工至 107.50m 高程，爆破分别在 4 个位置进行，共 4 响。每一响同时测量 2 个测点。每个测点均布置 3 个拾振器，测量垂直、横向、纵向 3 个方向的振动速度。其中第 1 响、第 3 响是在地面爆破，第 2 响、第 4 响是在厂房侧壁爆破。具体测点布置、爆破位置和爆破装药量如图 2 所示。

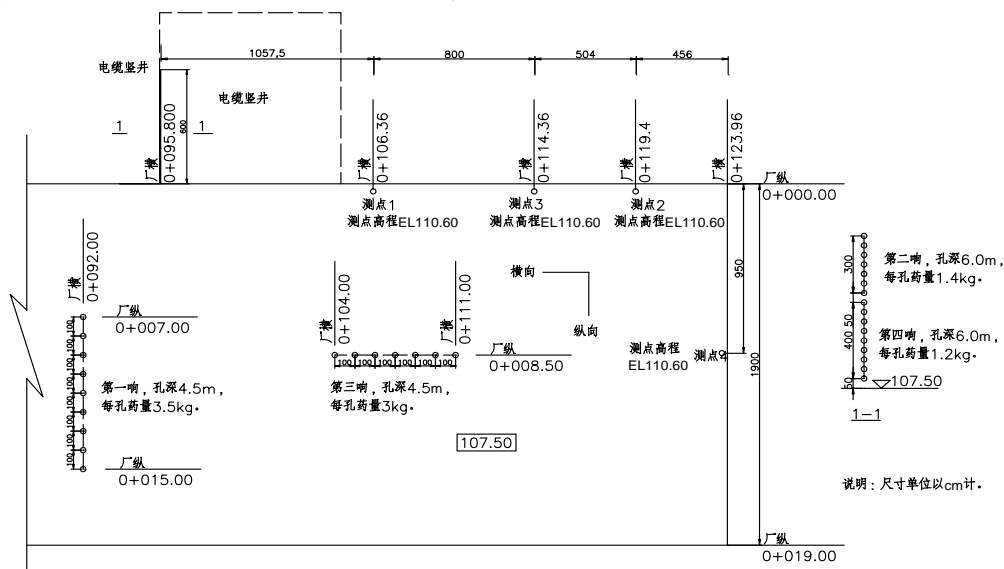


图 2 爆破震动测试测点和爆源平面布置图

4 试验结果

地下厂房振动检测结果如表 1 所示。

表 1 地下厂房（107.50m 高程）爆破振动试验结果

测点编号	传感器方向	最大振动速度 (cm/s)	至爆源距离 (m)	药量 (kg)	爆源
测点 1	垂	1.962	21.19	31.5	第 1 响 (地面爆破)
	横	4.292	21.19	31.5	
	纵	2.093	21.19	31.5	
	最大合速度 $v=4.746\text{cm/s}$				
测点 2	垂	2.066	32.63	31.5	第 1 响 (地面爆破)
	横	1.217	32.63	31.5	
	纵	0.998	32.63	31.5	
	最大合速度 $v=2.167\text{cm/s}$				
测点 1	垂	2.799	11.09	8.4	第 2 响 (侧壁爆破)
	横	4.503	11.09	8.4	
	纵	3.034	11.09	8.4	
	最大合速度 $v=4.574\text{cm/s}$				
测点 2	垂	4.692	23.84	8.4	第 2 响 (侧壁爆破)
	横	1.568	23.84	8.4	
	纵	1.958	23.84	8.4	
	最大合速度 $v=4.718\text{cm/s}$				

测点 3	垂	3.426	14.34	21	第 3 响 (地面爆破)
	横	3.199	14.34	21	
	纵	4.434	14.34	21	
	最大合速度 $v=4.859\text{cm/s}$				
测点 4	垂	2.42	20.09	21	第 3 响 (地面爆破)
	横	1.709	20.09	21	
	纵	2.914	20.09	21	
	最大合速度 $v=3.190\text{cm/s}$				
测点 3	垂	4.534	19.48	10.8	第 4 响 (侧壁爆破)
	横	3.251	19.48	10.8	
	纵	4.854	19.48	10.8	
	最大合速度 $v=5.200\text{cm/s}$				
测点 4	垂	4.226	37.67	10.8	第 4 响 (侧壁爆破)
	横	2.1	37.67	10.8	
	纵	2.447	37.67	10.8	
	最大合速度 $v=4.275\text{cm/s}$				

爆破振速一般取垂向、横向、纵向中的最大振速方向为主控方向。将测试得到的垂向、横向、纵向三个方向的振动速度-时间曲线进行矢量合成,可以得到各测点的最大合速度,从上述结果可以看出,在本次爆破条件下,各测点经过矢量合成后的振动速率测值均小于设计单位要求的 7cm/s 控制值,测点位置岩锚梁岩体振动速率满足设计要求。典型的测点测试结果如图 3 所示。

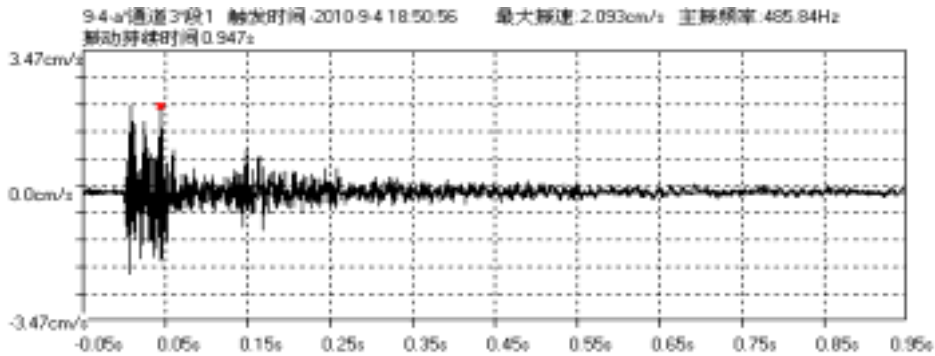


图 3 典型的爆破震动测试结果图

5 爆破振动试验结果分析

5.1 侧壁岩体的主振方向分析

地面爆破 4 个测点中, 1 个测点垂直方向振动速度最大, 1 个测点横向振动速度最大, 2 个测点纵向振动速度最大。侧壁爆破 4 个测点中, 2 个测点垂直方向振动速度最大, 1 个测点横向振动速度最大, 1 个测点纵向振动速度最大。

从以上数据可看出, 在本次爆破振动试验中, 侧壁岩体没有明显的规律显示某一个方向的振动速度大于其他方向的振动速度。

5.2 爆破传播规律分析

通常工程实际中, 爆破振动传播与衰减规律一般采用萨道夫斯基经验公式进行回归整理。即:

$$v = K(Q^{1/3} / R)^\alpha$$

v—质点振动速度，cm/s；

K, α ，—与爆区至测点的地形地质条件有关的系数和衰减指数；

Q—爆破装药量，kg；

R—测点至爆源的振动传播距离，m。

从爆破振动测值可以看出，侧壁爆破，即第 2 响、第 4 响爆破，测点振速值较离散、规律较差，未列入取回归分析范围。取地面爆破，即第 1 响、第 3 响爆破的测量结果进行回归整理。

表 2 第一响、第三响爆破垂直方向回归分析

数据源名称	振动测试方向	装药量(kg)	距离(m)	主振频率(Hz)	最大振速(cm/s)	K	α	相关性系数
测点 1	垂直	31.5	21.19	10.986	1.96	6.814	0.572	0.748
测点 2		31.5	32.63	125.732	2.07			
测点 3		21.0	14.34	10.986	3.42			
测点 4		21.0	20.09	108.642	2.42			

表 3 第一响、第三响爆破横向回归分析

数据源名称	振动测试方向	装药量(kg)	距离(m)	主振频率(Hz)	最大振速(cm/s)	K	α	相关性系数
测点 1	横向	31.5	21.19	433.349	4.29	53.116	1.593	0.786
测点 2		31.5	32.63	125.732	1.22			
测点 3		21.0	14.34	10.986	3.20			
测点 4		21.0	20.09	501.709	1.71			

表 4 第一响、第三响爆破纵向回归分析

数据源名称	振动测试方向	装药量(kg)	距离(m)	主振频率(Hz)	最大振速(cm/s)	K	α	相关性系数
测点 1	纵向	31.5	21.19	485.839	2.09	141.018	2.096	0.943287
测点 2		31.5	32.63	308.838	1.00			
测点 3		21.0	14.34	632.324	4.43			
测点 4		21.0	20.09	274.658	2.91			

从以上数据回归分析结果可以看出，垂直方向和横向振动速度的回归相关性系数相关性较差，纵向振动速度回归系数相关性相对较好。

总体分析得出，本次试验中测点振速传播规律性不明显，初步分析原因有：

1、该地下厂房场地测试工作面狭小，测点离爆心距离变化较小，相对于常规地面爆破，很难实现接近密远疏的对数规律布点；且地下厂房空间相对较小，四周均为岩体，振动的传播存在多路径效应；

2、爆心位置变化大，一部分在侧壁，一部分在地面，振动波传播路径不同；

3、测点位置在厂房侧壁，而不是在厂房地面，振动不只是在平面半无限体介质中传播，还应有高程的影响，而萨道夫斯基经验公式中未考虑高程影响，无高程影响因子；

4、本次测量共有 8 点测量数据，4 点为侧壁爆破，4 点为地面爆破，进行数据回归分析来说，测点数量偏少。

6 结论

本试验地下厂房侧壁岩锚梁位置岩体各测点的振动速率测值均小于 7cm/s 的设计控制值，测点位置岩体振动满足设计要求。

爆破振动试验过程中侧壁岩体振动测点垂直、横向、纵向三个方向振动没有明显主振方向。从爆破振动传播规律看，地下厂房爆破施工振动的传播路径复杂，萨道夫斯基经验公式因未考虑高程的影响，在对侧壁岩体的振动试验分析中存在一定的局限性。地下厂房爆破施工对侧壁岩体振动影响的规律尚需深入的实验研究。

参考文献：

- [1] 中国工程爆破协会，GB6722-2003 爆破安全规程[S]，北京：中国标准出版社，2004
- [2] 长江委长江科学院爆破与振动研究所，DL/T 5333-2005 水电水利工程爆破安全监测规程，北京：中国电力出版社，2006
- [3] 中华人民共和国国家发展和改革委员会，DL/T 5198-2004 水电水利工程岩壁梁施工规程，北京：中国电力出版社，2005