

爆破振动对地下厂房岩壁梁混凝土影响的研究

姚 珊¹, 宋卫民²

(1. 中国水利水电第十四工程局有限公司 曲靖分公司, 云南 昆明 650041;

2. 四川大唐国际甘孜水电开发有限公司, 四川 康定 626000)

摘要:岩锚梁是一种既经济又安全的新型结构,近年来在我国水电站地下厂房建设中获得了较广泛地应用。但由于工期原因,往往在岩锚梁混凝土28 d龄期后就进行临近洞室的爆破作业,其爆破振动对岩锚梁的破坏影响较大。如何降低影响,需要进行深入地研究。

关键词:爆破振动;岩壁梁;混凝土;影响;研究;黄金坪水电站

中图分类号:TV7;TV554;TV542

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2016)02-0029-04

1 工程概述

黄金坪水电站位于大渡河上游河段,系大渡河干流水电规划“三库22级”中的第11级电站。厂房位于大渡河姑咱镇时济桥上,安装6台机组,总装机容量为850 MW。厂房纵轴线方位为N70°W。厂房、主变室、尾水闸门室三大洞室采用平行并列布置。主变室布置于厂房和尾闸室之间,与厂房、尾闸室间的岩柱厚度分别为45 m、35 m。

厂房从山里至山外依次布置副厂房、主机间、安装间,呈“一”字型排列。主副厂房总长206.3 m,其中主机间长129 m,安装间长54.4 m,副厂房长22.9 m。主副厂房断面为弧拱直墙型,主机间毛洞断面尺寸:顶拱跨度28.8 m,岩锚吊车梁以下跨度25.5 m,最大高度65.9 m;安装间跨度与主机间相同,最大高度为28 m;副厂房毛洞断面尺寸:跨度25.5 m,最大高度38.6 m。

2 爆破质点振动速度控制要求及标准

2.1 爆破质点振动速度控制要求

岩壁梁混凝土浇筑前应先行进行厂房IV层预裂,混凝土浇筑完成28 d龄期内不允许在混凝土周边30 m范围内进行爆破作业,28 d龄期后的爆破作业应根据厂房爆破振动安全监测数据严格控制单响药量,以保证岩壁梁混凝土不因爆破振动扰动破坏。根据设计图纸要求,岩壁梁混凝土28 d强度后质点振动速度不得大于7 cm/s。在岩台开挖期间进行爆破振动监测,反演 k 、 α 值,以

收稿日期:2015-12-31

确定IV层开挖爆破时的最大单响药量。

2.2 爆破深度影响判断标准

根据《水电水利工程爆破安全监测规程》(DL/T 5333-2005),声波检测法判断爆破破坏或基础岩体质量的标准以同部位的弹性波纵波的爆后波速与爆前波速的变化率 η 衡量,当无法进行爆前测试时,宜与孔底稳定波速对比。在该工程中,采用爆前爆后波速进行对比的方法进行爆破影响深度判别,判别标准系根据《水电水利工程爆破安全监测规程》(DL/T 5333-2005),按照表1中所示判断标准进行。

表1 爆破影响深度声波检测法判断标准表

爆破后纵波波速变化率 $\eta/\%$	破坏情况
$\eta \leq 10\%$, 爆破破坏甚微或未破坏	
$10\% \leq \eta \leq 15\%$	爆破破坏轻微
$\eta \geq 15\%$	爆破破坏

2.3 测试仪器及方法

爆破影响深度检测采用单孔声波检测方法。

所采用的声波检测设备为RS-ST01C型智能岩石声波检测仪和RS-SD30型单孔一发双收换能器。单孔声波在无金属套管、有水耦合的钻孔中检测;探头采用一发双收装置,发射与两个接收换能器的距离分别为30 cm和50 cm。检测从孔底向孔口检测,移动步距为0.2 m。

爆破影响深度检测采用同孔爆前爆后声波测试的方法进行,在爆破前使用潜孔钻在岩台上钻设检测孔,造孔完成后用清水冲洗钻孔并进行声

波测试。爆前检测后用 PVC 管对检测孔进行保护,爆后找到原检测孔后用清水冲洗钻孔,然后进行爆后声波测试,并与爆前测试结果进行对比,以判断爆破影响深度和影响程度。

3 爆破质点振动速度控制

3.1 爆破参数及振动测点布置

本次爆破试验主变室开挖采用水平孔梯段爆破,上、下游分为两组爆破,各布置 12 个炮孔,孔深 6 m,单孔装药量为 4.6 kg,每组开挖爆破分为 4 段起爆,使用非电毫秒导爆管雷管微差起爆,雷管跳段使用,最大单响药量为 13.8 kg。

根据现场情况,爆破振动测点主要布置在主变室上游边墙靠近底板部位。另外在厂房岩壁梁对应桩号部位布置了 3 个振动测点。第二组爆破试验中,主厂房部位的 3 个测点已经拆除,所以只布置了主变室的 5 个测点。

3.2 振动监测成果

结合开挖爆破试验进行了两组振动测试,获得有效数据 36 点次,具体成果见表 2、3,表中同时列出了测点布置部位和距离。

表 2 第一组主变室开挖爆破试验振动监测成果表

测点 编号	水平径向		水平切向		竖直向		测点部位
	速度峰值 /cm·s ⁻¹	频率 /Hz	速度峰值 /cm·s ⁻¹	频率 /Hz	速度峰值 /cm·s ⁻¹	频率 /Hz	
1#	8.7	154	7.9	87	8.9	118	主变室上游边墙距爆源水平 10 m
2#	3.9	133	3.4	77	5.1	50	主变室上游边墙距爆源水平 13 m
3#	2.7	182	2.3	100	3.5	133	主变室上游边墙距爆源水平 16 m
4#	2.6	167	1.9	118	1.8	67	主变室上游边墙距爆源水平 26 m
5#	1.4	87	1.5	143	1.6	105	主变室上游边墙距爆源水平 38 m
6#	1.95	83	1.98	77	1.77	90	厂房岩壁梁部位距爆源水平 55.5 m
7#	2.80	91	1.40	59	2.35	46	厂房岩壁梁部位距爆源水平 55.5 m

表 3 第二组主变室开挖爆破试验振动监测成果表

测点 编号	水平径向		水平切向		竖直向		测点部位
	速度峰值 /cm·s ⁻¹	频率 /Hz	速度峰值 /cm·s ⁻¹	频率 /Hz	速度峰值 /cm·s ⁻¹	频率 /Hz	
1#	1.4	87	2	143	1.7	118	主变室上游边墙距爆源水平 5 m
2#	1.2	111	1.2	125	0.5	95	主变室上游边墙距爆源水平 10 m
3#	0.4	249	0.7	100	0.4	250	主变室上游边墙距爆源水平 13 m
4#	0.4	154	0.5	222	0.4	87	主变室上游边墙距爆源水平 25 m
5#	0.3	83	0.5	91	0.3	95	主变室上游边墙距爆源水平 37 m

律的回归方程:

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

式中 V 为峰值质点振动速度, cm/s; Q 为最大单响药量, kg; R 为爆心距或波行距, m; K, α 为回归系数, 与地形地质条件及爆源类型有关。

对主变室爆破试验振动实测数据进行整理发

从监测结果可以看出:第一组爆破试验中,实测最大振速为主变室距爆源 10 m 测点竖直向振速值(8.9 cm/s),在厂房岩壁梁对应桩号部位实测最大振速值为 2.8 cm/s。厂房内 55 m 距离处实测振速与主变室洞内 30 m 左右实测振速值相当,这可能是因主变室与厂房间为完整岩墙、振速在岩体内衰减相对较慢的缘故。为保证主变室开挖时厂房岩壁梁混凝土的安全,在后续回归爆破振动衰减规律时会考虑该因素;第二组爆破试验区域相对第一组而言,与各测点的距离相对减小,但是实测振速值明显比第一组小;分析其原因,可能是由于第一组试验临空面条件相对较差、处于较大的夹制作用中,故诱发振动相对较大;而第二组爆破试验时,一方面可以充分利用第一组试验创造的临空面且该部位岩体已经为第一组试验松动,由其诱发的振速值明显下降。

3.3 爆破振动衰减规律及振速预报公式

目前,爆破界一般通行使用前苏联 M. A 萨道夫斯基经验关系式作为峰值质点振动速度衰减规

现,主要考虑第一组爆破试验测试成果,对实测振速值(cm/s)及相应的爆心距(m)和单段药量(kg)进行统计,按照萨道夫斯基公式进行回归计算。回归分析中,考虑到实测厂房相对主变洞本洞内同距离部位实测振速值要大,同时,鉴于实测样本值有限,故对振动衰减规律按照 99% 的保证率进行回归计算,得到各方向振动衰减公式如下:

(1) 水平径向质点振动速度:

$$V = 81.4 \left(\frac{Q^{1/3}}{R} \right)^{1.14} \quad (2)$$

(2) 水平切向质点振动速度:

$$V = 68.6 \left(\frac{Q^{1/3}}{R} \right)^{1.09} \quad (3)$$

(3) 竖直向质点振动速度:

$$V = 87.1 \left(\frac{Q^{1/3}}{R} \right)^{1.29} \quad (4)$$

上述回归得到的爆破振动衰减规律(式(2)~式(4))可以作为目前主变室开挖爆破方式下主厂房及相关洞室振速预报和允许单响药量核算的依据。

4 爆破质点振动检测及得出的结论

4.1 检测部位及检测孔的布置

为了使检测爆破对预留岩台损伤情况具有代表性,选取了三段不同类型的围岩进行测试,上游

侧为厂横0+115桩号,下游侧分别为厂横0+145,厂横0+152桩号。厂横0+115桩号及附近岩体较为完整,爆前岩台保护层保留也较为完整;厂横0+145桩号及附近岩台预留保护层有轻微破坏,岩体节理裂隙较为发育;厂横0+152桩号及附近岩体预留保护层有轻微损伤,岩体局部发育裂隙。检测孔的分布基本上能够代表较差、一般、较好三种不同的围岩类型,以确保检测数据具有代表性。

声波检测孔均布置于岩台部位,与水平面成10°~20°下倾角,各组布置1个孔,孔径为φ76,孔深5.4~6m。

爆破松动影响检测完成3个孔(爆前爆后)、共30m的声波测试工作。

4.2 检测成果

各孔声波平均波速值、爆前爆后波速分段统计、波速变化率及爆破影响深度见表4。

表4 主厂房岩壁梁开挖声波检测成果统计分析表

组别	测孔编号	测孔深度 /m	爆前平均波速 /m·s ⁻¹	爆后平均波速 /m·s ⁻¹	爆破影响深度 /m	波速变化率 /%
第一组 (岩台)	zcfscyCZO + 115	0.2~1.8	3 999		0.4	8
		1.8~2.2	4 314	3 968		
		2.2~3.6	4 310	4 226		
		3.6~5.4	4 329	4 332		
		平均值	4 204	4 177		
第二组 (岩台)	zcfscyCZO + 152	0.2~1.4	3 976		0.6	7
		1.4~2	4 340	4 036		
		2~3.2	4 333	4 288		
		3.2~6	4 262	4 150		
		平均值	4 229	4 166		
第三组 (岩台)	zcfscyCZO + 145	0.2~1.4	3 568		0.6	10.4
		1.4~2	4 238	3 798		
		2~3.2	4 248	4 176		
		3.2~5.4	3 887	3 779		
		平均值	3 948	3 927		

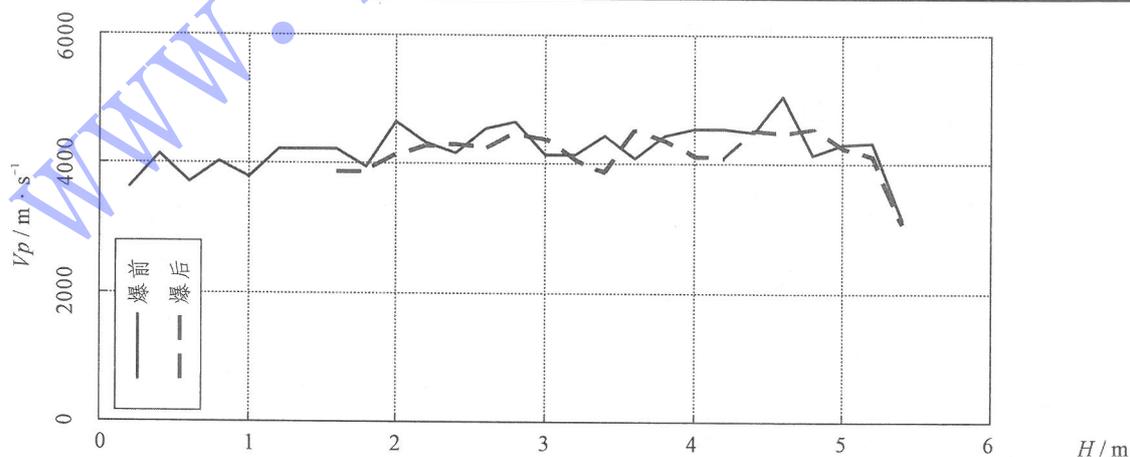


图1 主厂房岩壁梁 zcfscyCZO + 115 孔深度 - 波速曲线图

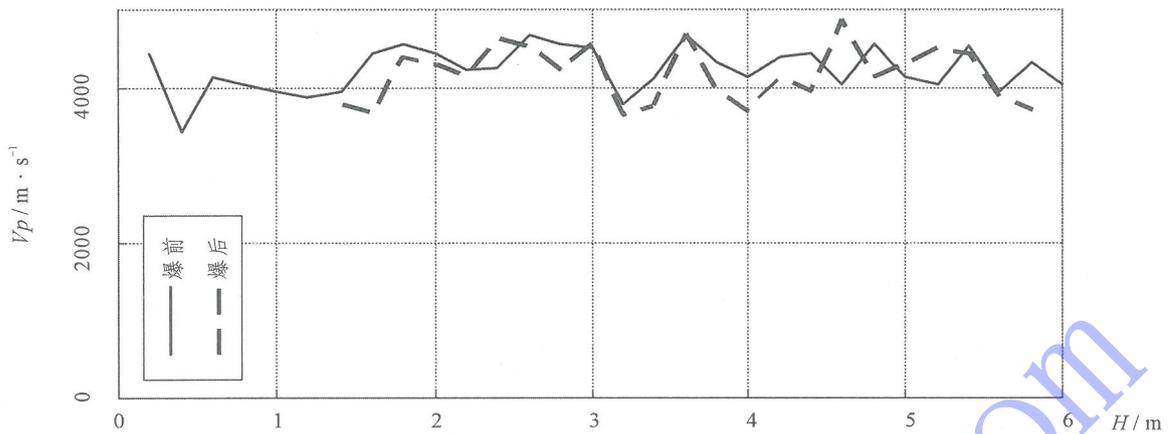


图2 主厂房岩壁梁 zcfxyCZ0 + 152 孔深度 - 波速曲线图

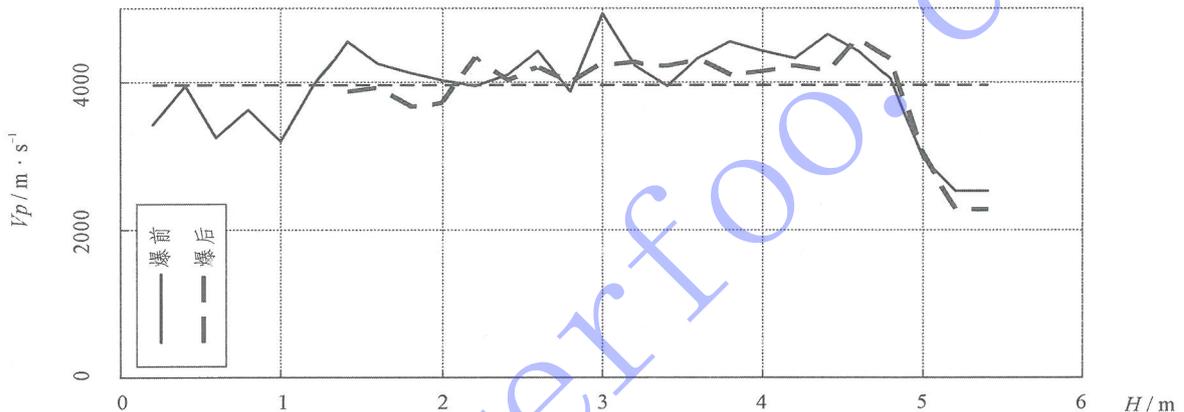


图3 主厂房岩壁梁 zcfxyCZ0 + 145 孔深度 - 波速曲线图

4.3 检测成果分析及取得的结论

在主厂房岩壁梁岩台3个部位的声波检测中,3个孔平均波速均在4000 m/s左右,各声波孔波速除局部有一定起伏外,总体相对比较稳定。

上游岩台0+115和0+152桩号处爆后0.4 m和0.6 m范围内平均波速相对爆前分别下降了8%和7%。参考《水利水电工程爆破安全监测规程》(DL/T 5333-2005)相关判断标准,该部位岩壁梁开挖导致局部爆破破坏甚微或未破坏,爆破影响深度平均值为0.5 m。

下游岩台0+145桩号处爆后0.6 m范围内平均波速相对爆前下降10.4%。参考《水利水电工程爆破安全监测规程》(DL/T 5333-2005)相关判断标准,该部位岩壁梁开挖导致局部0.6 m深度的轻微爆破破坏(波速变化率在10%~15%之间,略超过10%),爆破影响深度为0.6 m。

根据对以上三个检测孔检测数据进行分析得知:黄金坪水电站地下厂房岩壁梁爆破开挖情况

总体是爆破破坏甚微或未破坏,爆破影响深度平均值为0.5 m;局部0.6 m范围为轻微破坏(图1~3)。

参考文献:

- [1] 郭培华. 拉西瓦地下厂房岩锚梁开挖爆破优化与实施[J]. 爆破, 2005, 04期
- [2] 易长平. 爆破振动对地下洞室的影响研究[D]. 武汉大学, 2005.
- [3] 史秀志. 爆破振动信号时频分析与爆破振动特征参量和危害预测研究[D]. 中南大学, 2007.
- [4] 唐海. 岩石预裂爆破成缝分析及爆破参数确定的智能研究[D]. 武汉理工大学, 2004.
- [5] 黄平路. 中深孔爆破安全评价方法的研究[D]. 武汉理工大学, 2004.
- [6] 唐浩. 水电站地下厂房开挖爆破数值模拟与研究[D]. 武汉大学, 2004.

作者简介:

姚珊(1982-),男,陕西安康人,总工程师,工程师,工程硕士,从事水电工程施工技术与管理工作;

宋卫民(1967-),男,河南洛宁人,副总工程师,高级工程师,从事水电工程建设技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)