

锦屏二级水电站地下厂房岩壁梁开挖爆破试验

陈 刚^{1,2} 吴 立¹ 左清军¹ 张良刚¹

(1. 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 葛洲坝集团第二工程有限公司, 四川 成都 610091)

摘要 :在锦屏二级水电站地下厂房岩壁梁爆破开挖施工中,为了获得较好的岩台成型效果,进行了不同方案的爆破试验,并在试验时进行了爆破振动监测。试验结果表明:爆破孔孔距为 30 cm 的爆破效果好于孔距为 40 cm 的爆破效果;孔距为 30 cm 的不耦合系数大于孔距为 40 cm 的不耦合系数,故增加不耦合系数,可以有效提高岩面平整度,减少爆破振动对岩壁面的损伤。

关键词 :岩壁梁;岩台;爆破试验;爆破振动;地下厂房;锦屏二级水电站

中图分类号:TV731.6;TV542

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2012)03-0056-03

Blasting test of underground workshop's rock anchor crane beam for Jinping Secondary Hydropower Station//CHEN Gang^{1,2}, WU Li¹, ZUO Qing-jun¹, ZHANG Liang-gang¹ (1. Faculty of Engineering, Chinese University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Gezhouba Group No.2 Engineering Co., Ltd., Chengdu 610091, China)

Abstract :For formation of a better quality rock bench in the blasting excavation of an underground workshop's rock anchor crane beam for the Jinping Secondary Hydropower Station, optimization of drilling and blasting parameters as well as the charging constitution was carried out through extensive comparative tests with different schemes and blasting vibration monitoring. The results indicate that the blasting effect of 30 cm hole spacing is better than that of 40 cm hole spacing. Furthermore, the coupling coefficient of 30 cm hole spacing is also greater than that of 40 cm hole spacing. Therefore, an increased coupling coefficient could lead to a smoother rock surface and less damage induced by the blasting vibration.

Key words :rock anchor crane beam; rock bench; blasting test; blasting vibration; underground workshop; Jinping Secondary Hydropower Station

岩壁梁是利用锚杆或锚索将混凝土吊车梁锚固在岩壁上,梁体承受的全部荷载通过锚杆(或锚索)和混凝土与岩台的接触面传递到岩体^[1-3]。采用岩壁吊车梁这种结构形式,可充分利用围岩自身的承载力,不仅可减少地下洞室的开挖跨度,有利于围岩稳定,而且可加快厂房下部开挖、浇筑混凝土和安装机组的进度,缩短工期,降低造价,效益显著^[4-5]。

目前,岩壁梁的爆破开挖已经有了一些行之有效的实践经验,而岩壁梁的施工受地质条件等因素影响较大^[6-9],必须在具体施工中进行岩壁梁开挖爆破试验,以获得最优的爆破参数和较好的岩台成型质量,保证岩壁梁施工质量和运行期的安全。

1 工程概况

锦屏二级水电站位于四川省凉山彝族自治州木里、盐源、冕宁三县交界处的雅砻江干流锦屏大河弯

上,是雅砻江干流上的重要梯级电站。锦屏二级水电站利用雅砻江下游河段 150 km 长大河弯的天然落差,通过长约 16.67 km 的引水隧洞,截弯取直,获得水头约 310 m。电站总装机容量 4800 MW,单机容量 600 MW。厂房岩壁吊车梁起止桩号为厂右 0+294.62~厂左 0+33.8,上、下游长度均为 328.42 m,混凝土梁高程为 1345.4~1348.5 m(黄海高程),岩壁梁宽 2.25 m。

厂房有多组裂隙通过,影响主厂房顶拱稳定的裂隙最主要有 2 组。第 1 组为顺层裂隙(层间裂隙),SN E~W/80°~90°,一般中~薄层产出,局部薄层结构面间接出现岩体开裂,光滑平直、湿润或淋水黏附泥质物,与厂房轴线方向呈 35°交角;第 2 组为缓倾角薄层构造裂隙,N30°~40°E,SE/25°~45°,中~薄层产出,结构面间接局部岩体开裂,形成裂隙和小溶洞等,上游出露高程为 1343~1350 m,为岩壁吊车梁

高程 对上游岩锚梁斜面岩台成型影响较大。

厂房区位于川藏交界处,临近主要构造带,构造应力强度较高,存在较高的地应力,地应力释放将导致围岩的破损,从而影响岩锚梁的成型。无Ⅰ、Ⅴ类围岩,主要以Ⅲ类和Ⅲ~Ⅳ类围岩为主。

2 岩壁梁开挖爆破试验

2.1 岩壁梁开挖施工工序

厂房第Ⅱ层是岩壁梁所在的部位,岩壁梁开挖技术难度大,质量要求高,要求有光滑的轮廓面且松动圈最小。第Ⅱ层开挖的层高为9.8m,梯段开挖宽度为21.0m,两侧保护层厚度根据岩石情况,按4.5m或5.5m留设,岩台厚度为1758mm。为获得良好的开挖质量,梯段的台阶开挖高度为9.8m,在梯段开挖之前先进行超前预裂,预裂孔的间距为0.8~1.0m,孔深为9.8m,而后进行保护层分层开挖,保护层分层台阶高度分别为2.5m、2.0m、2.2m和3.1m。岩壁梁开挖施工程序如下:中槽预裂→中槽分层开挖→两边保护层开挖→岩台开挖。

2.2 试验程序

- a. 岩台爆破试验前的爆破施工。首先小梯段爆破,后分3层光面爆破,形成8.5~9.0m高岩台爆破试验临空面。
- b. 岩台爆破试验。根据不同的试验方案分别进行钻孔布置、钻孔、装药、联网等爆破工作,同时布置爆破振动监测点,进行爆破振动测试^[10]。
- c. 每次试验结束后,进行爆破效果分析评价,优化下次爆破试验参数^[11-13]。

2.3 岩壁梁开挖爆破参数设计

2.3.1 爆破试验参数设计

为获得良好的岩台开挖质量,在副厂房(厂横)0+165~(厂横)0+180段上游侧非保护层部位实施岩壁梁岩台开挖爆破试验,爆破岩台台阶高度为4.75m,岩台开挖采用垂直孔加斜孔的爆破开挖方法。试验内容包括爆破试验、爆破振动测试和声波检测,试验采用两种方案:①岩台垂直孔、斜孔的孔距为40cm,其线装药密度为100~110g/m;②垂直孔、斜孔的孔距为30cm,相应的线装药密度为80~90g/m。采用手风钻钻孔,孔径均为42mm,垂直孔

孔深为215cm,最小抵抗线为70cm;斜孔孔深为315cm,辅助孔孔距为70cm,最小抵抗线为105cm,孔深为220cm,炸药单耗为0.30~0.45kg/m³。试验爆破参数见表1,岩台开挖钻孔布置见图1。

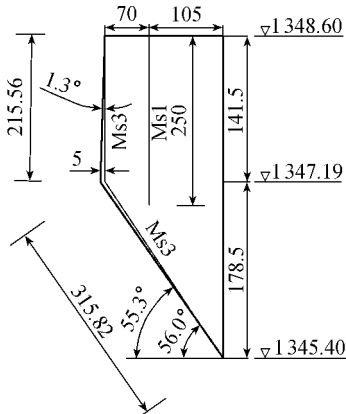


图1 岩台爆破试验钻孔布置(单位:高程m,尺寸cm)

2.3.2 爆破网路及爆破器材

岩台爆破试验采用毫秒微差爆破,辅助孔采用连续装药^[14],孔内全部装Ms8段毫秒雷管;岩台垂直孔和斜孔均采用间隔不耦合装药,药卷用胶布捆绑在竹片上采用导爆索连接,在导爆索上用2发Ms9段雷管微差延时。两个试验段用间隔微差起爆,间隔微差采用2发Ms2段接力,最后一并并入主爆网路,火雷管起爆,爆破网路见图2。

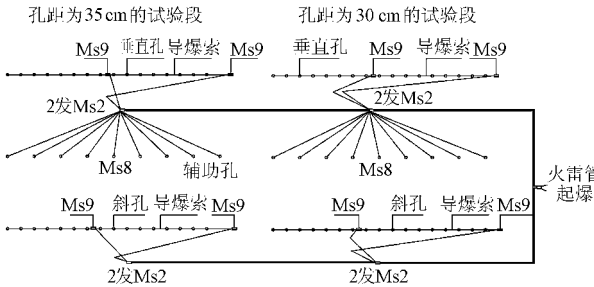


图2 岩台爆破试验爆破网路示意图

2.4 爆破振动测试

对岩台爆破试验进行振动测试,每组测试布置5个测点,每个测点两条测线,测点沿厂房轴向靠边墙布置,测点(编号MVT1~MTV5)布置见图3。测试数据见表2(最大单段药量为8kg)。根据GB6722—2003《爆破安全规程》^[15]中规定的水工隧道爆破振动安全允许标准(7~15cm/s),振动速度控

表1 试验爆破参数

孔名	钻孔参数						装药参数						装药结构
	孔径/ mm	孔深/ cm	最小 抵抗线/ cm	孔数			药卷 直径/ mm	单孔药量/kg		线装药密度/(g·m ⁻¹)		堵塞 长度/ cm	
				孔距 30 cm	孔距 40 cm	孔距 70 cm		孔距 30 cm	孔距 40 cm	孔距 30 cm	孔距 40 cm		
垂直孔	42	215	70	17	16		25	0.18	0.23	90	110	30	间隔装药
斜孔	42	315		17	16		25	0.25	0.33	90	100	40	间隔装药
辅助孔	42	220	105			16	25	0.80	0.80			90	连续装药

制在允许范围之内 ,不会对围岩造成损伤。

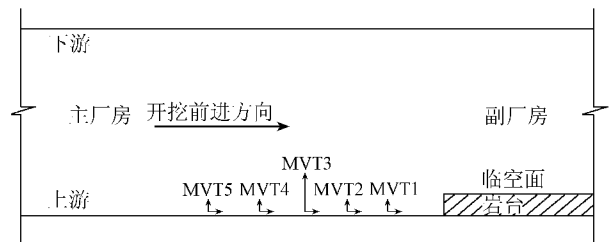


图 3 岩台爆破振动测点布置示意图

表 2 质点振动速度测试数据

测点编号	爆心距/m	水平振动速度/ ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)	垂直振动速度/ ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)
MVT1	7.5	6.83	6.46
MVT2	15.3	3.75	3.45
MVT3	23.0	1.38	3.58
MVT4	33.0	1.38	1.43
MVT5	41.0	0.73	0.69

3 爆破试验效果

a. 40 cm 孔距的爆破效果 :垂直孔相邻两孔间的岩面平整 ,炮孔痕迹在开挖轮廓面上均匀分布 ,孔壁没有明显的爆振裂隙 ,斜孔的炮孔痕迹在开挖轮廓面上分布不均匀 ,总体平整度较差。

b. 30 cm 孔距的爆破效果 :垂直孔相邻两孔间的岩壁面平整 ,炮孔痕迹在开挖轮廓面上均匀分布 ,孔壁没有明显的爆振裂隙 ,斜孔相邻两孔间的岩面平整 ,炮孔痕迹在开挖轮廓面上均匀分布 ,孔壁没有明显的爆振裂隙。

c. 孔距为 30 cm 的试验段装药结构的不耦合系数为 3.4 ,孔距为 40 cm 的不耦合系数为 1.7 ,增加不耦合系数 ,可以有效减少对岩壁面损伤。

d. 爆破振动测试结果分析表明 ,在单段最大药量 8 kg 情况下 ,爆心距 7.5 m 处的水平、垂直质点振动速度分别为 6.83 cm/s 和 6.46 cm/s ,振动速度控制在允许的范围之内 ,不会对围岩造成损伤。

图 4 为岩石条件较好部位岩台开挖效果 ,图 5 为岩石破碎部位岩台开挖效果。



图 4 岩石条件较好部位岩台开挖效果



图 5 岩石破碎部位岩台开挖效果

4 结 论

a. 通过爆破试验 ,在锦屏二级水电站地下厂房岩壁梁爆破开挖施工中 ,获得了较好的岩台成型效果 ,爆破振动测试的结果表明振动速度控制在允许范围之内 ,不会对围岩造成损伤。

b. 通过爆破试验效果分析 ,孔距 40 cm 和孔距 30 cm 的爆破试验参数均合理。对于 II 类和 III-1 类围岩 ,采用 40 cm 的孔距 ;对于岩石性质和地质条件较差的地段 ,采用 30 cm 的孔距 ,可根据现场具体情况做个性化设计。

c. 辅助孔起爆和光爆孔(垂直孔和斜孔)起爆时间差为 50 ms ,有效地降低了爆破振动对岩台面的损伤。

d. 从岩台开挖的实际效果可以得出 ,不耦合系数的大小也会影响爆破效果。不耦合系数越大 ,爆破振动对岩壁面的损伤越小。因此 ,不耦合装药结构对于光面爆破具有重要的作用。

参考文献 :

[1] 李新平 ,徐剑 ,张成良 ,等 .溪洛渡电站地下厂房岩台开挖爆破试验研究 [J].爆破 ,2008 ,25(2) :30-33.
[2] 祝文化 ,李元章 ,程康 ,等 .地下厂房吊车梁岩台爆破开挖试验研究 [J].工程爆破 ,2004 ,10(1) :53-55.
[3] 杨春旭 ,李家兴 ,田灿斌 .糯扎渡水电站地下厂房岩壁梁岩台开挖爆破试验 [J].云南水力发电 ,2010 ,26(5) :122-126.
[4] 沈洁 ,程康 ,黄霖 .百色水利枢纽地下厂房岩壁梁岩台开挖二序工法研究 [J].爆破 ,2003 ,20(2) :29-33.
[5] 段征宇 ,钟平 .岩锚吊车梁基础开挖爆破方案的设计优化与实施 [J].工程爆破 ,2004 ,10(1) :48-52.
[6] 陈彬 ,杜汉青 ,安萍 .复杂条件下的地下厂房岩壁梁岩台开挖爆破实践 [J].爆破 ,2006 ,23(2) :38-52.
[7] 郑平 ,徐成光 ,倪斌 .岩壁梁部位开挖施工关键技术研究 [J].工程爆破 ,2006 ,12(3) :25-29.
[8] 尚诗涛 ,陈通 .地下厂房岩壁吊车梁开挖施工技术 [J].人民长江 ,2006 ,37(6) :45-46.

(下转第 94 页)

- rapidly oscillating coefficients[J]. Math Comp ,1999 ,68 :913-943.
- [4] EFENDIEV Y R ,HOU T Y ,WU Xiao-hui. Convergence of a nonconforming multiscale finite element method[J]. SIAM J Numer Anal ,2000 ,37(3) :888-910.
- [5] HOU T Y ,WU Xiao-hui ,ZHANG Yu. Removing the cell resonance error in the multiscale finite element method via a Petrov-Galerkin formulation[J]. Commun Math Sci ,2004 ,2(2) :185-205.
- [6] EFENDIEV Y ,GINTING V ,HOU T Y ,et al. Accurate multiscale finite element methods for two-phase flow simulation[J]. J Comp Phy ,2006 ,220(1) :155-174.
- [7] CHEN Zhi-ming ,HOU T Y. A mixed multiscale finite element method for elliptic problems with oscillating coefficients[J]. Math Comp ,2002 ,72 :541-576.
- [8] CHEN Zhi-ming ,YUE Xing-ye. Numerical homogenization of well singularities in the flow transport through heterogeneous porous media[J]. Multiscale Model Simul ,2003 ,1(2) :260-303.
- [9] CHEN Jin-ru ,CUI Jun-zhi. A multiscale finite element method for elliptic problems with highly oscillatory coefficients[J]. Appl Numer Math ,2004 ,50(1) :1-13.
- [10] ALLAIRE G ,BRIZZI R. A multiscale finite element method for numerical homogenization[J]. Multiscale Model Simul ,2005 ,4(3) :790-812.
- [11] CHU J ,EFENDIEV Y ,GINTING V ,et al. Flow based oversampling technique for multiscale finite element methods [J]. Adv Water Resour ,2008 ,31(4) :599-608.
- [12] AARNES J E ,STEIN K ,LIE K A. A hierarchical multiscale method for two-phase flow based upon mixed finite elements and nonuniform grids[J]. Multiscale Model Simul ,2006 ,5(2) :337-363.
- [13] ZHANG Hong-wu ,ZHANG Sheng ,GUO Xu ,et al. Multiple spatial and temporal scales method for numerical simulation of non-classical heat conduction problems :one dimensional case [J]. Int J Solids Struct ,2005 ,42(3/4) :877-899.
- [14] ZHANG Hong-wu ,ZHANG Sheng ,BI Jin-ying ,et al. Thermo-mechanical analysis of periodic multiphase materials by a multiscale asymptotic homogenization approach[J]. Int J Numer Meth Eng ,2007 ,69(1) :87-113.
- [15] 付振东. 非均质饱和多孔介质准静态行为分析的耦合多尺度及耦合升尺度有限元法[D]. 大连 :大连理工大学 ,2010.
- [16] 陆新征 ,林旭川 ,叶列平. 多尺度有限元建模方法及其应用[J]. 华中科技大学学报 :城市科学版 ,2008 ,25(4) :76-80.
- [17] 孙戡. 多尺度下裂纹断裂过程区力学特性分析[D]. 西安 :西安科技大学 ,2009.
- [18] 瞿伟廉 ,何钟山 ,刘嘉. 动力荷载作用下杆系钢结构节点疲劳裂纹扩展断裂破坏的分析方法[J]. 土木工程学报 ,2010 ,43(12) :78-86.
- [19] 黄其青 ,谢伟. 基于有限元重合网格法的等大共面的三维表面裂纹交互因子研究[J]. 西北工业大学学报 ,2009 ,27(1) :105-109.
- [20] 李兆霞 ,李爱群 ,陈鸿天 ,等. 大跨桥梁结构以健康监测和状态评估为目标的有限元模拟[J]. 东南大学学报 :自然科学版 ,2003 ,33(5) :562-572.
- [21] 丁幼亮 ,李爱群 ,缪长青 ,等. 大跨桥梁结构损伤诊断与安全评估的多尺度有限元模拟研究[J]. 地震工程与工程振动 ,2006 ,26(2) :66-72.
- [22] 孙正华 ,李兆霞 ,陈鸿天. 结构多尺度有限元模型修正试验研究[J]. 特种结构 ,2008 ,25(4) :61-64.
- [23] 孙正华 ,李兆霞 ,陈鸿天. 结构行为一致多尺度有限元模型修正及验证[J]. 东南大学学报 :自然科学版 ,2009 ,39(1) :85-90.
- [24] 薛禹群 ,叶淑君 ,谢春红 ,等. 多尺度有限元法在地下水模拟中的应用[J]. 水利学报 ,2004 ,35(7) :7-13.
- [25] 贺新光. 非均质多孔介质中水流问题的多尺度数值模拟[D]. 北京 :中国农业大学 ,2006.
- [26] 林琳 ,杨金忠 ,方跃骏 ,等. 多尺度有限元法在地下水三维数值模拟中的应用[J]. 中国农村水利水电 ,2005 (12) :10-12.
- [27] 贺新光 ,任理. 求解非均质多孔介质中非饱和水流问题的一种自适应多尺度有限元方法 :I 数值格式[J]. 水利学报 ,2009 ,40(1) :38-51.
- [28] 贺新光 ,任理. 求解非均质多孔介质中非饱和水流问题的一种自适应多尺度有限元方法 :II 数值结果[J]. 水利学报 ,2009 ,40(2) :138-144.
- [29] 张鸣翠. LCM 数值模拟的自适应多尺度有限元法[J]. 科协论坛 ,2010(9) :76-77.
- [30] 周妍. 多尺度有限元法在复合材料液态成型模拟中的应用[D]. 武汉 :武汉理工大学 ,2009.
- [31] 曹磊 ,徐广为 ,沈连娣. 用多尺度方法分析热喷涂层应力[J]. 材料科学与工艺 ,2006 ,14(1) :22-24.
- [32] 黄均平 ,彭向和. 基于能量统一格式的多尺度有限元法[J]. 计算机辅助工程 ,2010 ,19(4) :38-43.

(收稿日期 2011-10-31 编辑 骆超)

(上接第 58 页)

- [9] 杨中方 ,张成良 ,张璞. 某水电站地下厂房岩壁梁爆破参数优化研究[J]. 爆破 ,2006 ,23(1) :42-51.
- [10] 徐成光. 复杂地质条件下地下厂房吊车梁岩壁成型控制爆破[J]. 工程爆破 ,2000 ,4(2) :74-77.
- [11] 王尚荣 ,谢小莉 ,郭开亮. 瀑布沟水电站地下厂房岩壁吊车梁开挖的研究与分析[J]. 四川水力发电 ,2007 ,26(4) :31-34.
- [12] 杨春旭 ,李家兴 ,田灿斌. 糯扎渡水电站地下厂房岩壁梁岩台开挖爆破试验[J]. 云南水力发电 ,2010 ,26(5) :122-126.
- [13] 胡朝新 ,杨学伏. 石垭子电站岩壁梁岩台开挖施工技术[J]. 广东水利水电 ,2010(6) :37-38.
- [14] 吴立 ,闫天俊 ,周传波. 凿岩爆破工程[M]. 武汉 :中国地质大学出版社 ,2005.
- [15] GB6722—2003 爆破安全规程[S].

(收稿日期 2011-09-29 编辑 熊水斌)