

复杂地质条件下水电站地下厂房岩壁梁精细爆破开挖

李昌能¹, 徐成光²

(1. 泸州市鼎泰爆破工程有限责任公司, 四川泸州 646000; 2. 中国水利水电第七工程局有限公司, 成都 611730)

[摘要] 针对向家坝水电站地下厂房岩壁梁地质条件异常复杂、岩台宽度窄、承受荷载大、质量要求高和工期紧迫等特点和难点, 贯彻“精细爆破”理念, 通过采取合理的开挖顺序、自行设计钢管钻孔样架以确保钻孔精度、双层光面爆破和均匀微量装药、错孔布置及预锚锁角等技术和工艺措施, 对炸药爆炸能量释放与岩体破碎等进行精密控制, 以确保岩壁梁的开挖成型质量, 取得了优良的爆破效果: 岩台光爆孔半孔率分别为Ⅱ类围岩100%, Ⅲ类围岩99.2%, Ⅳ类围岩90%~97.3%; 岩壁无欠挖, 平均超挖仅2.9 cm; 不平整度为0~4 cm; 因爆破和围岩卸荷造成的影响深度在0.2~0.7 m。

[关键词] 向家坝水电站; 地下厂房; 岩壁梁; 精细爆破开挖

[中图分类号] TU443 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2014)11-0042-06

1 前言

目前, 水电站地下厂房开挖已呈现地形地质条件复杂、开挖质量要求高、开挖强度大和工期紧迫等特点。向家坝水电站地下厂房开挖跨度、高度均为已建同类工程之最, 属超大型工程; 其岩壁梁岩台水平开挖宽度仅1 m, 岩壁梁施工完毕后有超大型桥式起重机在其上运行; 岩壁梁部位Ⅳ、Ⅴ类围岩的分布占总开挖长度的一半。相对于类似规模地下厂房岩壁梁, 向家坝水电站地下厂房岩壁梁开挖宽度更窄、承受荷载更大、地质条件更复杂、质量要求更高, 加之工期紧迫, 因此, 向家坝水电站地下厂房岩壁梁开挖面临更严峻挑战。通过贯彻实施“精细爆破”技术体系所倡导的定量设计、精心施工和实时监测与反馈等技术措施, 确保了岩壁梁的开挖成型质量, 取得了优良的爆破效果。

2 工程概况

向家坝水电站地下厂房装机4台, 单机容量均

为800 MW。

地下厂房开挖尺寸: 长×宽×高 = 255.4 m×33.4 m×88.2 m。相邻的主变室开挖尺寸: 长×宽×高 = 192.3 m×26.3 m×24.4 m。

岩壁梁设置在厂房第三层上下游墙, 全长为255 m, 开挖岩台水平宽为1 m, 浇筑成型后宽为2 m, 高为3 m, 有2台1 200/200 t桥式起重机及1台50/20 t临时桥式起重机在岩壁梁上运行。

2.1 地质条件

地下厂房岩性主要由砂岩和粉砂质泥岩等构成, 存在多个包含这些岩性的“旋回层”, 各岩性层在空间的厚度变化大。厂区岩层产状一般为60°~80°/SE∠15°~20°。岩壁梁位于软硬相间的缓倾角砂岩和泥岩中, 地质构造很发育, 岩性变化大, 岩壁梁部位Ⅳ、Ⅴ类围岩的分布占岩壁部位总开挖长度的一半。

2.2 施工特点

1) 地下厂房开挖跨度为33.4 m, 开挖高度为88.2 m, 厂房开挖尺寸巨大, 均为已建同类工程世界

[收稿日期] 2014-09-01

[作者简介] 李昌能, 1976年出生, 男, 四川泸州市人, 工程师, 主要从事工程爆破施工技术及管理工

之最。

2) 厂房位于关键直线工期线路上, 开挖总工期仅30个月, 工期十分紧张。

3) 岩壁梁开挖岩台水平宽度窄, 仅为1 m, 形似牛腿, 开挖轮廓复杂, 施工质量要求高。

4) 须严格控制爆破振动, 爆破振动速度控制标准: 爆区边缘水平距离10 m处为10 cm/s; 防渗帷幕、固结灌浆为1.2~1.5 cm/s; 预应力锚索、锚杆为2~5 cm/s。

5) 工程地质条件比类似规模的地下厂房更复杂, 岩壁梁开挖成型更为困难。向家坝水电站地下厂房岩壁梁部位工程地质条件见图1。



图1 地下厂房岩壁梁部位工程地质条件

Fig. 1 Engineering geology condition of underground workshop crane beam of rock wall

3 精细爆破开挖

3.1 合理的施工顺序

根据厂房开挖施工特点, 将开挖与支护分为九层施工。吊车梁岩壁位于第三层, 开挖高度为9 m, 宽33.4 m, 分6区开挖。

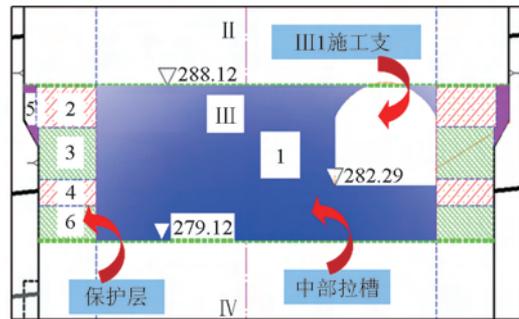
厂房第三层开挖施工顺序为: 中槽预裂→Ⅲ1区(中槽)开挖→Ⅲ5区岩台竖向光爆孔和辅助孔提前造孔→Ⅲ2区保护层开挖→Ⅲ3区保护层开挖→Ⅲ4区保护层开挖→下拐点锁角保护→Ⅲ5区岩台开挖→下拐点直墙支护施工→Ⅲ6区保护层开挖→第IV层施工预裂→第IV层结构预裂。第三层开挖施工顺序如图2所示。

3.2 精细爆破设计

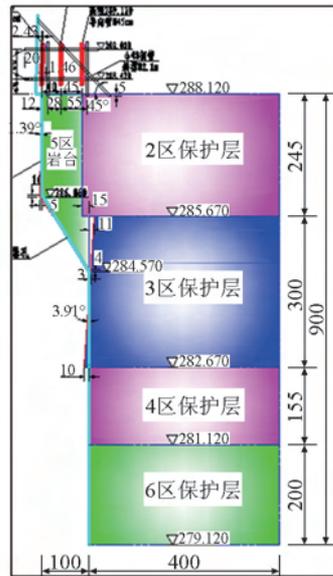
中部先锋槽Ⅲ1区爆破采用施工预裂爆破适当超前, 梯段爆破紧跟的开挖方式。

Ⅲ2~Ⅲ6区爆破均采用“双层光面爆破”。所

谓“双层光面爆破”就是将设计轮廓光爆孔外的缓



(a)



(b)

图2 第三层开挖施工顺序图(单位: cm)

Fig. 2 Construction sequence of the third layer (unit: cm)

注: 施工程序: 分6区开挖, 先中部拉槽后保护层开挖; 中部拉槽宽23.4 m, 保护层宽4~5 m, 共分为5区开挖, 分层高度分别为2.45 m、3 m、1.55 m、3.55 m和2 m。中部拉槽先施工预裂再梯段爆破, 两侧保护层均采用搭设样架, 光面爆破技术。

冲孔同样按爆破原理进行设计, 形成双层光面保护屏障, 这样既可最大限度地降低二圈孔爆破对设计壁面的损伤, 也可使轮廓光爆孔的抵抗线更加均匀, 最终形成高质量的设计轮廓面。

针对特有的复杂地质条件, 除适当加密双层光爆孔外, 还要将设计轮廓光爆孔装药变“集中”为“分散”, 实行“均匀微量装药”。

3.2.1 中部先锋槽Ⅲ1区爆破设计

中部先锋槽和保护层边界面的施工预裂爆破设计参数: 孔径为76 mm, 孔间距为80 cm, 孔深

9.5 m, 线装药密度为 450~500 g/m, 药卷 ϕ 32 mm, 堵塞 90 cm。

梯段爆破设计参数: 孔径为 76 mm, 孔间排距为 2.38 \times 2 m, 孔深 9.7 m, 药卷 ϕ 60 mm, 堵塞 2 m。采用非电毫秒雷管 V 型延时起爆网路。

3.2.2 岩壁梁保护层爆破设计

Ⅲ3、Ⅲ5 区爆破与岩壁梁开挖成型质量关系密切, 爆破参数须精心设计, 其保护层爆破设计参数如表 1 所示。

表 1 岩壁梁Ⅲ3、Ⅲ5 区保护层爆破参数

Table 1 Protective layer blasting parameters of Ⅲ3, Ⅲ5 zone

分区	孔类	孔径/mm	孔深/m	药卷规格/mm	孔距/cm	抵抗线/cm	线装药密度/(g·m ⁻¹)	单孔装药量/kg	堵塞长度/cm
Ⅲ3	光爆孔	42	3	1/10 ϕ 25	30~35	50	60~75		50
	缓冲孔	42	3.3	1/3 ϕ 25	60	60	200		60
	梯段孔	42	3.3	ϕ 32	110	90~100		2	120
Ⅲ5	竖直光爆孔	42	2.06	1/10 ϕ 25	30~35	40	60~75		40
	斜面光爆孔	42	1.84	1/10 ϕ 25	30~35	最大 57	50~70		40
	缓冲孔	42	1.83	1/3 ϕ 25	45	45	120		50

3.3 精细的爆破施工

3.3.1 合理配置施工机具

厂房第三层中部拉槽Ⅲ1 区采用 D7 液压钻钻孔, 周边施工预裂爆破; 岩壁保护层Ⅲ2~Ⅲ6 区扩挖采用气腿钻钻孔, 周边光面爆破。石碴采用 1.6 m³ 反铲配 20 t 自卸汽车出碴。

3.3.2 精细的钻孔工艺

Ⅲ2、Ⅲ3、Ⅲ5 区保护层光爆孔及缓冲孔全部采用钢管钻孔样架进行施工。

钻孔样架主要由支撑钢管排架、导向管钢管排架以及钻孔操作平台钢管排架三大部分组成, 并架设内外导向管, 规范钻孔施工, 确保钻孔精度。钢管钻孔样架具有施工稳定性好、钻孔精度高、钻孔均匀、开挖面不平整度小、超欠挖易控制等优点。

向家坝水电站岩壁梁Ⅲ5 区岩台开挖竖向孔钻孔样架搭设如图 3 所示。



图 3 Ⅲ5 区岩台开挖竖向孔钻孔样架搭设

Fig. 3 Steel tube frame for vertical drilling of crane beam excavation in Ⅲ5 zone

3.4 提高岩壁面成型质量的主要措施

3.4.1 错孔布置技术

岩壁梁岩台上拐点直孔、岩台斜孔和岩台下拐点直孔, 三孔在垂直投影面上不是成一条连续的直线即“三孔一线”, 而是采用三孔错孔布置, 使炸药能量在上下拐点部位的分布由集中变为分散均匀微量, 使岩台上下拐点部位岩体损伤更小, 最终达到岩台上下拐角成型更好的目的。

3.4.2 预锚锁角技术

由于地质结构面发育, 在爆破开挖过程中下拐角容易发生应力集中, 很难成型, 为更有利于下拐角成型质量优良, 在下拐角爆破成型之前通过增设锚杆、角钢和喷砼等技术, 对下拐角提前实施加固。

4 爆破振动观测及松动圈检测

4.1 爆破振动观测

采用 TOPBOX 爆破振动测试系统, 通过上升沿外触发方式, 自动记录从传感器输出的电讯号, 再通过 RS232 接口向计算机传输数据, 打印输出。

在厂房底板、边墙及主变洞等部位布置振动测点, 进行爆破振动观测。爆破振动测点按照近密远疏的原则布置, 每个测点均按照垂直、水平径向和水平切向 3 个方向布设传感器。

根据实测资料并按萨道夫斯基公式进行回归计算。

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

式(1)中, R 为爆源与需要保护的建筑物之间的距离

离, m; Q 为炸药量, kg, 齐发爆破为总药量, 延时爆破为最大一段药量; V 为保护对象所在地质点振动安全允许速度, cm/s; K 、 α 分别为与爆破点至计算保护对象间的地形地质条件有关的系数和衰减指数。

为了更便捷和安全地对爆破振动进行预测预报, 选取振速最大的方向进行振速预报和允许单响药量计算。厂房岩壁梁开挖爆破振速预报公式如表 2 所示。

表 2 岩壁梁开挖爆破振速预报公式

Table 2 Prediction formulas for blasting vibration of crane beam excavation

爆源类型	振速预报公式
预裂爆破	爆心距 $R \leq 20$ m, $V = 15.7 \left(\frac{Q^{1/3}}{R} \right)^{1.42}$
	爆心距 $R > 20$ m, $V = 9.6 \left(\frac{Q^{1/3}}{R} \right)^{1.17}$
中部梯段爆破	$V = 46.6 \left(\frac{Q^{1/3}}{R} \right)^{1.19}$
预留保护层开挖爆破	爆心距 $R \leq 40$ m, $V = 161.0 \left(\frac{Q^{1/3}}{R} \right)^{2.05}$
	爆心距 $R > 40$ m, $V = 104.8 \left(\frac{Q^{1/3}}{R} \right)^{1.81}$
岩台开挖爆破	爆心距 $R \leq 12$ m, $V = 253.3 \left(\frac{Q^{1/3}}{R} \right)^{2.14}$
	爆心距 $R > 12$ m, $V = 148.2 \left(\frac{Q^{1/3}}{R} \right)^{1.84}$

表 3 主厂房岩壁梁开挖围岩爆破影响深度统计

Table 3 Influence depth statistics affected by crane beam blasting excavation

部位	CZ0+128 上直墙	CZ0+155 下直墙	CZ0+145 下直墙	CZ0+155 岩台	CZ0+145 岩台	CZ0+50 下直墙	CZ0+50 岩台
平均爆破影响深度/m	0.6	0.2	0.4	0.3	0.5	0.4	0.4

6 结语

通过向家坝水电站地下厂房岩壁梁精细爆破开挖的实践, 可以得出如下主要结论。

1) 制定的向家坝水电站地下厂房岩壁梁开挖

在实际施工中, 依据相应的安全振动控制指标 $[V]$ 来确定允许的最大单段药量, 及时调整钻爆参数, 使开挖爆破对保护对象的振动影响控制在安全范围之内。

4.2 松动圈检测

钻孔声波测试采用中国科学院武汉岩土力学研究所研制的 RSM-SY5 智能声波检测仪; 孔内采用 FSY-2 型一发双收探头进行声波测试; 采用 IBM 笔记本电脑存储数据。

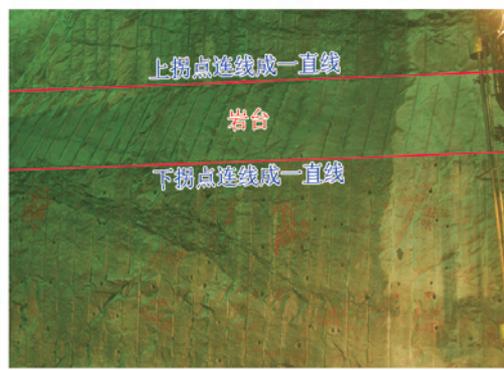
检测结果显示, 中部拉槽(预裂)对预留保护层的开挖影响深度值为 0.5 ~ 1.5 m。由此说明预留 4 ~ 5 m 厚的岩壁保护层是足够安全的; 保护层开挖对岩壁的开挖影响深度值为 0.2 ~ 0.7 m, 说明在主厂房 III 层保护层开挖时, 所实施的各类爆破有效地控制了对岩壁梁区域围岩原有质量的影响。主厂房岩壁梁开挖围岩爆破影响深度如表 3 所示。

5 爆破效果

岩壁梁岩台光爆孔半孔率: II 类围岩为 100%, III 类围岩为 99.2%, IV 类围岩为 90% ~ 97.3%。岩壁无欠挖, 平均超挖仅 2.9 cm; 不平整度为 0 ~ 4 cm; 由爆破和围岩卸荷造成的影响深度在 0.2 ~ 0.7 m, 开挖质量优良。爆破对已开挖的洞室及其他建筑物的爆破质点振动速度均控制在国家标准和有关技术条款所允许的范围以内。图 4 为岩壁梁开挖爆破效果图。

施工程序、爆破设计、施工方法和工艺、施工监测等措施是合理的。

2) 依据岩壁梁开挖爆破振速预报公式和爆破振动监测手段来不断优化爆破参数, 对爆破振动进行控制是成功的。



(a)



(b)

图4 岩壁梁精细爆破开挖效果

Fig. 4 Results of precision blasting excavation of crane beam of rock wall

3)精细爆破技术体系所倡导的定量设计、精心施工和实时监测与反馈等措施可确保苛刻条件下的爆破效果,具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 谢先启. 精细爆破[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2010.
[2] 汪旭光,于亚伦,刘殿中. 爆破安全规程实施手册[M]. 北京:人

民交通出版社,2004.

- [3] 张正宇. 现代水利水电工程爆破[M]. 北京:中国水利水电出版社,2003.
[4] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. DL/T 5333—2005 水电水利工程爆破安全监测规程[S]. 北京:中国电力出版社,2006.
[5] 陈祖安. 中国水利发电工程(工程地质卷)[M]. 北京:中国电力出版社,2000.

Precision blasting excavation of the underground workshop crane beam of rock wall in complicated geology condition

Li Changneng¹, Xu Chengguang²

(1. Luzhou Dingtai Blasting Engineering Co. Ltd., Luzhou, Sichuan 646000, China; 2. Sinohydro Bureau 7th Co. Ltd., Chengdu 611730, China)

[Abstract] The geology condition of Xiangjiaba hydraulic power station underground workshop is very complicated. The characteristics of crane beam of rock wall construction embodied in narrow rock bench, huge bearing load, high quality requirements, and urgent construction period and so on. According to the inherent conception of “precision blasting”, the technological measures of optimized excavation sequence, steel tube frame for drilling, double smooth

blasting, equal and minim explosive and plum blossom shaped holes were adopted in construction; therefore, the precision control of explosive energy release and rock fragmentation were achieved, insuring the blasting excavation quality. The half-hole rates of surrounding rock II, surrounding rock III and surrounding rock IV were 100%, 99.2% and 90% ~ 97.3%, respectively; the phenomenon of under break was avoided absolutely, and the average over break value was only 2.9 cm; the roughness was 0 ~ 4 cm; the influence depth caused by blasting excavation unloading was 0.2 ~ 0.7 cm. The excavation effect was nearly perfect.

[Key words] Xiangjiaba hydraulic power station; underground workshop; crane beam of rock wall; precision blasting excavation

(上接35页)

A new method of rock-explosive matching in drilling and blasting based on reasonable control of the crushed zone

Leng Zhendong^{1,2}, Lu Wenbo^{1,2}, Yan Peng^{1,2},
Chen Ming^{1,2}, Hu Yingguo^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. Key Laboratory of Rock Mechanics in Hydraulic Structural Engineering of Ministry of Education, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

[Abstract] Reasonable rock-explosive matching is of great important to the enhancing of explosive energy effective utilization and the improving of rock fragmentation effect. The traditionally emphasized method of acoustic impedance matching is not reasonable. Starting from the blasting breakage mechanism, a new method of rock-explosive matching in drilling and blasting is proposed. The new approach chooses explosive parameters by reasonable control of the size of crushed zone under the condition of fully fragmentation between adjacent blastholes. This method can intuitively reflect the blasting fragmentation effect and energy effective utilization, which is easy to implement. Also, a modified model is developed, with the combination of adjacent blastholes explosion load taken into account. As a result, explosive parameters for different grades of rock are given in full coupling on-site mixed explosive charge under different project objectives.

[Key words] drilling and blasting; crushed zone; rock-explosive matching; acoustic impedance matching