

# 高海拔高地应力区深斜井扩挖施工单价分析

周峰<sup>1</sup>, 白现军<sup>2</sup>, 陈功民<sup>2</sup>, 侍克斌<sup>1</sup>

(1. 新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 葛洲坝新疆工程局, 新疆 乌鲁木齐 830000)

**摘要:** 布仑口-公格尔水电站地处高海拔、高地应力区,其引水斜井是目前国内已建和在建中倾角最大的深斜井之一,工程施工难度大。斜井工程采用先开挖施工导井,然后进行扩挖施工的方案。通过技术研究和改进,使用了自下而上全断面钻孔爆破斜井溜渣的斜井扩挖施工方法,保证了斜井扩挖的施工安全、质量、进度和经济性,引水斜井顺利贯通。单价分析结果及工程实践表明:该斜井扩挖施工技术具有投资小、设备和技术简单、操作方便等优点。

**关键词:** 高海拔区;高地应力区;深斜井;扩挖;施工单价

**中图分类号:** TV52      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1672-643X(2013)03-0072-04

## Analysis of unit price of expanding - dig construction in deep inclined shaft of high altitude and field stress area

ZHOU Feng<sup>1</sup>, BAI Xianjun<sup>2</sup>, CHEN Gongmin<sup>2</sup>, SHI Kebin<sup>1</sup>

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Gezhouba Xinjiang Engineering Co., LTD, Urumqi 830000, China)

**Abstract:** The Bulunkou - Konggur hydropower station is located in high altitude and filed stress area. As one of the biggest steeply inclined shaft among the shafts having been built and being built in domestic at present. The engineering construction is very difficult. The technology of inclined shaft is followed by the pilot shaft construction and then the expanding excavation. Through technology research and improvement, the construction method of inclined shaft expanding excavation in whole section bottom - up drilling blasting was used, which ensured the security, quality, progress and economy of construction inclined shaft, and the smooth completion of diversion inclined shaft. Unitary analysis and engineering practice show that the inclined shaft technology of expanding excavation has the advantages such as small investment, simple equipment and technique and easy operation.

**Key words:** high altitude area; high field stress area; deep inclined shaft; expanding excavation; construction unit price

## 1 工程概况

布仑口-公格尔水电站位于新疆维吾尔自治区克孜勒苏柯尔克孜自治州阿克陶县境内,是盖孜河流域梯级开发中的第一级水电站,主要任务是灌溉、发电和防洪。水库正常蓄水位3 290.00m,总库容6.44亿m<sup>3</sup>,总装机容量200 MW,保证出力69.8 MW,其中引水系统中的斜井段总斜长656 m,坡度60°,开挖洞径4.2 m。为了便于施工,沿斜长分为三段,中间由水平段连接。斜井段从上往下依次为上斜井、中斜井、下斜井,斜井长分别为296、280、80 m。

引水斜井所处位置为海拔2 640~3 220 m之间的在海拔区,由于气压低、缺氧,施工机械的稳定运行和施工效率大大降低,这既影响了施工安全又增加了施工成本。斜井段上覆岩体厚100~600 m,地应力较大,发生岩爆的可能性较大,随时威胁着斜井内的施工人员的生命安全,对施工也极为不利。本斜井工程是目前国内已建和在建中倾角最大的深斜井之一,施工难度很大,在斜井开挖施工过程中,对钻孔爆破、出渣、施工辅助系统等方面做了一系列的研究改进,取得了相应的研究成果。

收稿日期:2012-12-14; 修回日期:2013-02-25

基金项目:新疆水利水电工程重点学科基金资助项目(xjzdk-2010-10-06)

作者简介:周峰(1973-),男,新疆乌鲁木齐人,硕士,讲师,主要从事当地材料坝设计理论与施工技术研究。

通讯作者:侍克斌(1957-),男,新疆石河子人,博士,教授,博导,主要从事水工结构及施工方面的教学与研究工作。

## 2 斜井扩挖施工

### 2.1 扩挖施工方法

布仑口-公格尔水电站斜井的开挖方案是选择了先人工钻孔爆破,自下而上开挖施工导井,一次性贯通后,在进一步探明斜井的地质条件情况下,进行斜井扩挖施工。斜井开挖断面为圆形,直径为4.2 m,导井布置在斜井断面的正上部,导井宽2.2 m,高1.8 m。

布仑口-公格尔水电站斜井扩挖施工中采用了两种不同的施工方法。在下斜井段的施工中,采用了自下而上全断面钻孔爆破-斜井溜渣的方法,于2011年7月顺利完成扩挖。在中斜井段的施工中,采用了自上而下全断面钻孔爆破-导井溜渣的方法,于2012年3月顺利完成了扩挖。在上斜井段的施工中,最初也采用了自上而下全断面钻孔爆破-导井溜渣的方法,后因先后两次造成导井被溜渣堵塞,采用灌水法冲开后,在下斜井扩挖经验的基础上,也选用了自下而上全断面钻孔爆破-斜井溜渣的方法,于2012年6月顺利完成了扩挖。经过详细的实际施工数据比较,自下而上扩挖施工方法在多个方面都明显优于自上而下扩挖施工方法,下面仅对自下而上的深斜井扩挖施工方法进行论述和探讨。

### 2.2 自下而上全断面钻孔爆破-斜井溜渣斜井扩挖施工工艺

自下而上全断面钻孔爆破-斜井溜渣斜井扩挖施工工艺流程为:施工准备→钻孔→装药→起爆→通风散烟→安全检查→支护→出渣。

在斜井扩挖过程中,斜井导洞上口是向下进入斜井内部的必经之路,在斜井导洞上口应设置锚杆,布置木板和沙土袋做成0.5 m高的挡渣墙进行防护。每个自下而上全断面钻孔爆破-斜井溜渣斜井扩挖工作循环的开始是施工准备,首先对掌子面及工作面范围内洒水降尘,湿化围岩岩体,以缓解高地应力区发生岩爆的可能性,然后在上导井内设置爬梯、导线、管路等。上导井用做交通和通风,应设置必要的安全防护设施,还应设置测量必备的控制点。

利用爆破后的堆渣表面做为钻孔工作平台,堆渣表面与掌子面的最短距离为2.0 m。钻孔作业自下而上进行斜井断面扩挖。斜井断面为圆形,直径为4.2 m,斜井扩挖断面共布置掏槽孔3个,崩落孔17个,周边孔21个,总计41个炮孔。

施工区在海拔2 640~3 220 m之间,空气缺氧量达35%左右,气压也较低,斜井内排烟除尘十分

困难,尤其是斜井深度大,排烟除尘就成为影响正常施工的主要因素。但是由于上导井已经全部贯通,通风散烟效率得以大大提高。起爆结束后立即开始通风,同时采用高压水喷洒掌子面以降低斜井内灰尘。为防止施工人员缺氧,施工人员必须每人配备一只氧气袋。同时为防止停电造成的不安全隐患,每名施工人员均配备一盏矿灯。

表1 斜井扩挖断面炮孔参数表 mm, cm, 个

孔名	钻孔参数		
	孔径	孔深	孔数
掏槽孔	40	270	3
崩落孔	40	250	17
周边孔	40	250	21
合计			41

表2 斜井扩挖断面装药参数表 mm, kg/孔, kg

孔名	装药参数			雷管段别
	药径	单孔药量	孔总药量	
掏槽孔	32	2.00	6.00	Ms1
崩落孔	32	1.90	32.30	Ms3 - Ms7
周边孔	25	0.65	13.65	Ms9
合计			51.95	

注:周边光爆孔线装药密度260 g/m。

斜井扩挖爆破中,采用了爆破地震仪近距离断面监测,其质点峰值振动速度均小于5 cm/s。由于斜井的长度大、坡度陡、施工空间小,故潜在的安全隐患多,因此在每次爆破后,采用高压风和水将掌子面上的松动石块除掉,再由经验丰富的安全人员和电工进行安全处理及恢复照明,确认爆破成功和危石全部处理后,还应测定斜井内的有害气体含量,测定斜井内空气的含氧量,当检测指标符合规范规定时,才允许其他工作人员进入正常施工。同时对不良地质条件的斜井段可及时采取喷混凝土和加短锚杆等方法进行支护。

由于爆破布孔和装药控制得当,爆破后产生的石渣粒径一般为20~50 mm,在人工翻渣与石渣自重作用下,石渣经扩挖后的斜井自行溜下,堆积在斜井下部端与平洞连接处,出渣作业就在此处进行。随着堆渣的逐步清除,堆积在斜井中的石渣整体下移,由于要利用斜井堆渣上部表面做为下一个工作循环的钻孔工作平台,因此,出渣时要精确控制出渣量。出渣过多时会造成钻孔工作平台距掌子面距离较远,不利钻孔施工,出渣过少时会造成钻孔工作平台距掌子面距离较近,钻孔等作业没有足够的工作

空间。出渣工作结束后,再进行下一个工作循环。

### 3 斜井扩挖施工单价分析

布仑口-公格尔水电站自下而上全断面钻孔爆破-斜井溜渣斜井扩挖施工所处位置为海拔2 640~3 220 m之间的在海拔区,斜井上覆岩体厚100~600 m,地应力较大,斜井的倾角为 $60^\circ$ ,围岩岩石为绿泥石英片岩、云母石英片岩,片理较发育,岩石级别为Ⅷ级,每个自下而上斜井扩挖工作循环进尺2.0 m左右,开挖断面面积 $10.12\text{ m}^2$ ,岩石开挖方量 $20.24\text{ m}^3$ 左右。

表3 钻孔爆破施工主要技术参数表

开挖断面( $\text{m}^2$ )	钻爆总数(个)	炮孔密度(个/ $\text{m}^2$ )
10.12	41	4.05
爆破效率	进尺(m)	爆破方量( $\text{m}^3$ )
89%	2.0	20.24
装药总量(kg)	炸药单耗( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	周边孔不耦合系数
51.95	2.565	1.6

每个自下而上全断面钻孔爆破-斜井溜渣斜井扩挖施工工作循环统计平均需11.5 h,其中:洒水降尘0.5 h;施工准备1 h;钻孔4 h,装药2.5 h,通风散烟2 h,安全检查、支护、翻渣等1.5 h;出渣1 h(出渣与钻孔同时进行不计入工作循环时间内)。

#### 3.1 人工消耗指标的确定

人工消耗指标包括完成该分项工程必须的各种用工量,由基本用工和其他用工两部分组成。基本用工是为完成分项工程所需的主要用工量。其他用工是辅助基本用工而消耗的工时。

每个自下而上斜井扩挖工作循环共需基本用工20人次,其中:洒水降尘3人,施工准备4人,钻孔4人,装药4人,通风散烟2人(已含在空气压缩机的施工机械消耗定额中了,不计入人工消耗指标内);安全检查、支护、翻渣等4人;出渣3人(出渣在施工平洞中进行,不计入斜井扩挖石方消耗定额内)。每个工作循环平均共需基本用工为38.0工时,其中:工长1.5工时;中级工13.5工时;初级工23.0工时。

斜井扩挖工作循环所需的其他用工有:①超运距用工(是指超过劳动定额所规定的材料运距的用工数量)发生在施工准备中,需增加超运距人工工作时间为1 h,超运距用工为中级工1.5工时、初级工3.5工时;②材料加工人工(是指材料需要在现场加工的用工数量)主要为消耗在爬梯的焊接制作中的人工,材料加工人工为初级工0.5工时;③人工幅度差用工

(是指在一般正常施工情况下不可避免的一些工时消耗,例如施工过程中的工序搭接交叉所需的停歇时间、工程检查验收而影响工人的操作时间等)可按超运距用工与材料加工人工之和的50%计入,即人工幅度差用工为中级工0.75工时、初级工2.0工时。每个自下而上斜井扩挖工作循环共需人工消耗指标为46.25工时,其中:工长1.5工时;中级工16.25工时;初级工28.5工时。

#### 3.2 材料消耗指标的确定

材料用量由材料的净用量和材料的损耗量组成。自下而上斜井扩挖工作循环所需的主要材料有合金钻头、炸药、雷管、导线,另外还需要供水管、供风管、钢梯等其他材料。每个自下而上斜井扩挖工作循环平均消耗合金钻头(即手持式风钻的钎头)0.8个。扩挖断面共布置炮孔41个孔,由于山体无地下水,故采用2#岩石硝铵炸药,平均需装药51.95 kg。扩挖工作循环所需的其他材料约占主要材料的5%。

#### 3.3 施工机械台时消耗指标的确定

自下而上斜井扩挖是以手工操作为主的工人班组,所配备施工机械为班组配合使用的施工方法,应以工人班组工作量计算施工机械台时消耗指标。每个斜井扩挖工作循环所需的主要施工机械有手持式风钻(型号YT28)和电动固定式空压机(型号22.0  $\text{m}^3/\text{min}$ ),其他辅助机械有水泵(型号7.5 kW)、柴油发电机(型号200 kW)等。每个自下而上全断面钻孔爆破-斜井溜渣斜井扩挖施工工作循环平均消耗手持式风钻12.0台时,平均消耗电动固定式空压机2.0台时,其他机械的消耗约占主要机械的6%。

#### 3.4 综合单价

自下而上全断面钻孔爆破-斜井溜渣斜井扩挖施工中,以上人工消耗指标、材料消耗指标、施工机械消耗指标都是在一个工作循环(岩石开挖方量为 $20.24\text{ m}^3$ )时发生的,需将其调整至定额单位(岩石开挖方量为 $100\text{ m}^3$ )情况下的消耗指标。经分析计算,全断面钻孔爆破-斜井溜渣自下而上斜井扩挖单价如表4。适用范围:钻爆斜井溜渣法(自下而上)扩挖施工,风钻钻孔。工作内容:钻孔、爆破、安全处理、翻渣、清面、修整。开挖断面 $\leq 10\text{ m}^2$ 。

## 4 结语

(1)全断面钻孔爆破-斜井溜渣自下而上斜井扩挖单价分析,得到了斜井石方开挖——全断面钻爆斜井溜渣法扩挖斜井的预算消耗定额,为今后此类工程单价的分析确定了计算参考依据。

表4 斜井石方开挖-全断面钻爆斜井溜渣法扩挖定额 100 m<sup>3</sup>

项目	数量	项目	数量
工长/工时	7.41	雷管/个	202.57
高级工/工时	0	导线 电线/m	395.26
中级工/工时	80.29	其他材料费/%	5.00
初级工/工时	140.81	风钻 手持式/台时	59.29
合计/工时	228.51	空压机(22 m <sup>3</sup> /min)	9.88
合金钻头/个	3.95	/台时	
炸药/kg	256.70	其他机械费/%	6.00

注:本斜井位于海拔2 640 m~3 220 m之间,倾角为60°,岩石级别为Ⅷ级,围岩类别为三类。

(2)经单价分析,证明了全断面钻孔爆破-斜井溜渣法扩挖斜井的施工方法具有施工成本低、设备和技术简单等优点,具有很好的经济性,有推广和应用的價值。

(3)本单价分析是针对高海拔、高地应力区深斜井(井斜为60°,井斜长为80~300 m,围岩为三类)的全断面钻孔爆破-斜井溜渣自下而上斜井扩挖方法而做的,对类似且施工条件有变化的工程,可根据具体情况做适当的调整。

参考文献:

[1] 周峰,刘章,陈功民,等.高海拔高地应力区深斜井施工导井开挖技术研究[J].水资源与水工程学报,2011,22(3):25-28.

[2] 周峰,白现军,陈功民,等.高海拔高地应力区深斜井扩挖技术[J].水资源与水工程学报,2011,22(6):34-37.

[3] 周峰,白现军,陈功民,等.高海拔高地应力区深斜井施工导井开挖单价[J].南水北调与水利科技,2012,10(2):142-144.

[4] 周峰,岳春芳.单价法预测水利工程造价的商榷[J].南水北调与水利科技,2011,9(5):152-157.

[5] 覃威.工程预算与工程单价初探[J].今日南国,2010(8):9-10.

[6] 王淑珍.水利工程定额中人工预算单价的缺陷及改进措施[J].水利技术监督,2010(5):8-19.

[7] 罗友兵.浅析高压喷射灌浆造孔的单价分析[J].水利水电工程造价,2005(4):15-17.

[8] 黄虹.长江赤心堤应用粘土灌浆技术的单价分析[J].水利水电工程造价,2005(3):27-29.

[9] 张庆.沿海风电工程软土地基处理及其造价分析[J].水利水电工程造价,2010(2):30-32.

[10] 张平朗,秦博,杨艺.岩石锚杆基础工程造价对比分析[J].电力技术,2010(2):7-9.

(上接第71页)

4 结 语

(1)通过收集沁河中游基础信息资料以及洪水演进不同时刻的水深信息,利用GIS软件分析,建立淹没范围内的地理信息、社会经济、土地利用、洪水淹没范围和水深信息库。

(2)采用多元回归分析方法建立洪灾损失率模型,得到损失率与各相关要素的关系图。

(3)对沁河张峰水库入库100年一遇的洪水时淹没区内损失状况进行了预评估。得出洪水漫堤时,淹没面积115.13万m<sup>2</sup>,受灾影响人口6 613人,直接经济损失9 017.58万元,间接经济损失1 623万元,为防洪调度提供直观依据。

(4)淹没村庄较少,计算得出各个村庄的损失情况。通过对沁河中游洪水漫堤淹没损失的计算分析和评估,为洪泛区内长期的土地合理利用、远期经济发展规划等提供参考。

参考文献:

[1] Dushmanta Dutta, Srikantha Herath, Katumi Musiake. A mathematical model for flood loss estimation [J]. Journal of Hydrology, 2003, 6:24-49.

[2] Jennifer Dierauer, Nicholas Pinter, Jonathan W. F. Remo. Evaluation of levee setbacks for flood-loss reduction, Middle Mississippi River[J]. Journal of Hydrology, 2012, 11: 1-8.

[3] 冯平,崔广涛,钟 昀.城市洪涝灾害直接经济损失的评估与预测[J].水利学报,2001,32(8):64-68.

[4] 张欣莉,丁 晶,金菊良.基于遗传算法的参数投影寻踪回归及其在洪水预报中的应用[J].水利学报,2000,31(6):45-48.

[5] 陈 曜,丁 晶,赵永红.基于投影寻踪原理的四川省洪灾评估[J].水利学报,2012,43(2):220-225.

[6] 傅 春,张 强.基于GIS空间信息单元格的区域洪灾损失快速评估模型[J].南昌大学学报,2008,30(2):93-96.

[7] 李红英.基于GIS的洪灾损失评估研究[D].西安:西安理工大学,2007.