

水布垭水电站防淘墙墙体开挖施工技术

李吉林¹, 乔 真²

(1. 山东电力工程咨询院, 山东 济南 250100; 2. 山东大学经济学院, 山东 济南 250100)

摘要 水布垭水电站防淘墙工程地质条件差, 施工部位常年处于清江正常水位以下, 施工难度大, 工艺复杂, 尤其是墙体开挖, 采用自下而上分层施工, 部分覆盖层较深部位采用宽竖井施工方案。通过施工, 总结出一套适合深埋地下、地质条件复杂、地下水丰富、无法采用先进机械设备的洞室开挖施工方法和技术措施。在地质条件较好岩层, 适当增加每层墙体施工高度; 地质条件较差时, 减少每层墙体施工高度, 并做好支护; 在覆盖层较厚时采取了宽竖井施工方案。施工实践表明, 该施工方案是可行的。

关键词 防淘墙; 洞室开挖; 水布垭水利枢纽

中图分类号: TV653+.9

文献标识码: B

文章编号: 1006-7647(2007)04-0067-04

Excavation construction technology for scour prevention wall at Shuibuya Hydroelectric Power Station/LI Ji-lin¹, QIAO Zhen²(1. Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute, Ji'nan 250100, China; 2. College of Economics, Shandong University, Ji'nan 250100, China)

Abstract: In consideration of the poor geological condition of Shuibuya Hydroelectric Power Station, the high difficulty in construction caused by lower site of construction which was located below the normal water level of Qingjiang River, the complex construction technology, the short time limit of the project, and especially the stratified construction from bottom to top in scour prevention wall excavation and the wide vertical shaft construction scheme adopted for deep overburden layers, a series of construction methods and technical measures of cavern excavation were proposed, which were suitable for deep underground, complex geological condition and abundant groundwater where advanced mechanical equipment could not be used. The measures are as follows: for the rock stratum with better geological condition, the construction height of each layer of the scour prevention wall could be enhanced properly; for the rock stratum with worse geological condition, the construction height of each layer of the scour prevention wall should be reduced, and the structural support is provided; the wide vertical shaft should be adopted when the overburden layer is relatively thick. Practice shows that the construction scheme is feasible.

Key words: scour prevention wall; cavern excavation; Shuibuya Hydro Project

1 工程概况

清江水布垭水利枢纽位于清江中游河段的湖北省巴东县水布垭镇, 是清江梯级开发龙头工程, 具有发电、防洪以及其他综合效益。工程主要由混凝土面板堆石坝、左岸溢洪道、右岸地下电站厂房和放空洞等建筑物组成。面板坝最大坝高 233 m, 水库正常蓄水位 400 m, 相应库容 43.12 亿 m³。电站装机容量 1 600 MW, 多年平均年发电量 39.20 亿 kW·h。

防淘墙位于溢洪道挑流鼻坎下游部位, 沿左、右两侧岸坡和河床布置, 由上游横向段、左岸段和右岸段 3 部分组成, 总长度 853.35 m, 是溢洪道消能冲刷区防护的重要组成部分。左岸防淘墙布置在大崖高边坡和大岩淌滑坡坡脚下, 墙长 336.48 m; 右岸防淘

墙布置在马崖高陡边坡坡脚下, 墙长 354.66 m; 河床部位防淘墙沿导流洞消力池尾坎布置, 墙长 160.21 m。两侧墙底最低高程 160 m, 最大墙高约 40 m。

防淘墙采用钢筋混凝土结构, 墙体厚 3~4 m。为改善墙体的受力状况, 对防淘墙靠山体一侧的岩石采用系统锚杆, 挂网喷混凝土, 同时进行预应力锚索支护。系统锚杆间距 3×3 m, 锚杆长度 3~14 m, 挂网采用 $\varnothing 6$ mm 钢筋网, 网间距 20 cm×20 cm, 预应力锚索设在墙体内高程 178 m、186 m、196 m 上, 锚索间距 3 m, 锚索长度 45~50 m, 单索设计张拉力为 2 000 kN。为进行预应力锚索施工, 在两岸防淘墙墙后山体内部设置拉锚洞, 进行对拉式锚索施工, 在没有拉锚洞的部位, 则在防淘墙内设置预应力锚索廊道, 采用内锚式预应力锚索, 内锚式预应力锚索长度为

2 地质条件

消能冲刷区位于坝址峡谷出口处大崖沱深潭、河谷由 NE 向转为 EW 向的转弯处,深潭覆盖层薄,一般 1.5 ~ 9.4 m,基岩面高程 178.3 ~ 185.5 m。该处河谷略宽缓,呈一不对称的 U 形谷,其左岸为大崖高边坡和大岩淌滑坡,右岸为马崖高边坡。

溢洪道消能冲刷区所在的地层为二叠系下统马鞍组(P_{1ma})、石炭系中统黄龙组(C_{2h})、泥盆系上统写经寺组(D_{3x})等岩性软弱的地层。岩体完整性差,风化较强烈, P_{1ma} 及 D_{3x} 地层含有较多的页岩,浅表部处于强风化状态。 D_{3x} 强风化带水平深可达 30 ~ 45 m,最深达 60 m^[1]。与消能冲刷区有关的主要地层岩性见表 1。

表 1 消能冲刷区主要地层岩性

地层时代			钻孔揭示厚度/m	岩性描述
系	统	组		
二叠系	下统	马鞍组(P_{1ma})	0.3 ~ 10.08	上部为页岩夹煤层,下部为砂岩、粉砂岩,有 001 号夹层(剪切带)。
				上部灰岩夹少量炭质页岩,下部砂岩或白云岩夹多层泥质页岩,顶部偶见炭质页岩夹泥灰岩(缺失上下统)。
石炭系	中统	黄龙组(C_{2h})	16.05 ~ 32.15	主要为泥灰岩与页岩互层,顶底部为砂岩与页岩互层,含赤铁矿。
泥盆系	上统	写经寺组(D_{3x})	70.6	

消能冲刷区发育的主要断层有 F_3 、 F_{24} 、 F_{158} 、 F_{160} 、 F_{205} 、 F' 及 F 等。

3 工程特点及难点

水布垭水电站防淘墙工程规模大,水文地质、工程地质条件复杂,施工难度高,工程具有以下特点和难点^[2]:

a. 工程安全等级高。本工程为一等大(1)型水利水电工程,溢流水头高、能量大,坝下游为高边坡和滑坡体,地质条件复杂,防淘墙对防止消能冲刷至关重要,若在主坝下游发生崩岸、垮塌,其危害将是灾难性的。

b. 工程地质、水文地质条件复杂。防淘墙轴线上一定范围内的地层软弱,又处于地下,其底部水头高 40 m 以上,平洞或隧洞中施工难度极大,保证防淘墙洞壁的施工稳定很困难。

c. 锚索孔的施工难度大。①在产状平缓的地层中造孔难度大。地层产状为倾向 SW,走向 320°,倾角 10° ~ 15°,锚索孔与水平夹角较小,故与地层层理间的夹角较小,页岩和泥灰岩的强度较低,锚索孔的长度为 36 ~ 53 m,受这些因素的影响,在造孔时,

钻孔极易出现顺层跑或钻孔摆动的情况,钻孔的技术难度较大^[3]。②钻孔形成漏水通道。防淘墙的开挖是在已形成的固结灌浆和帷幕灌浆防护范围内进行,锚索孔的钻进,将会打穿业已形成的截水帷幕,形成新的漏水通道,最高水压为 0.3 MPa,一旦漏水,堵漏难度极大。

d. 大厚度、超深墙体的开挖及支护施工难度大。防淘墙的施工是由竖井向下挖至高程 160 m 的部位,然后水平向逐层向上进行钻爆,工作面狭窄,系统锚杆、锚索、布筋、混凝土浇筑等作业时相互间施工干扰很大,安全问题十分突出。

4 施工方法及工艺

防淘墙施工工艺流程见图 1。

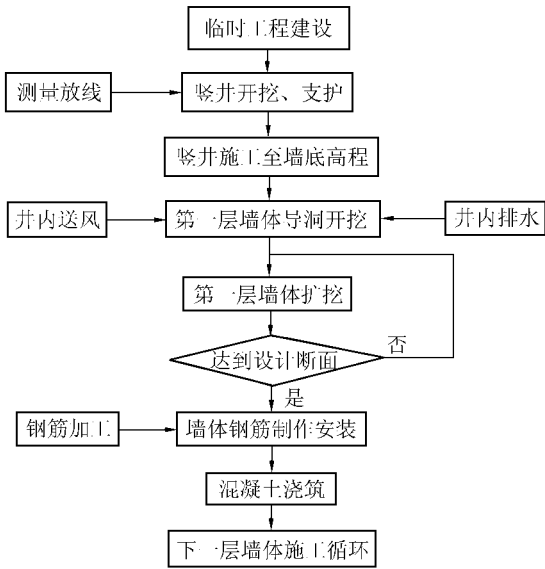


图 1 防淘墙施工工艺流程

4.1 竖井井架布置

防淘墙洞室开挖废渣在洞内水平运输采用人工配轨道车运至竖井部位,垂直运输由卷扬机、吊桶运至竖井口。见图 2。

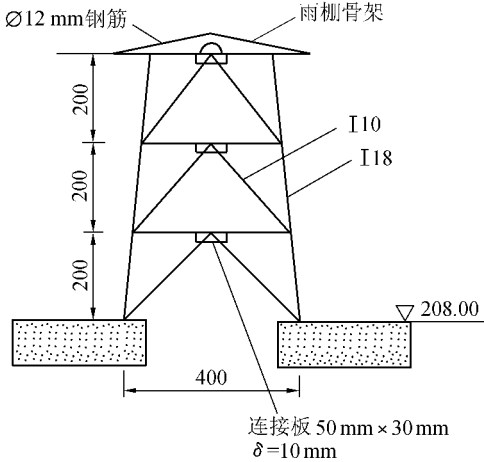


图 2 竖井井架布置示意图(尺寸单位:cm)

4.2 防淘墙岩层施工

防淘墙岩层洞室开挖典型断面爆破设计如图 3 所示(图中数字 1,2,...,7 为炮孔起爆顺序),在下层临空面布置崩落孔。为了使洞室开挖更安全、更稳定,拟将洞室上部开挖为拱形。爆破参数如表 2 所示,主要技术参数如表 3 所示。

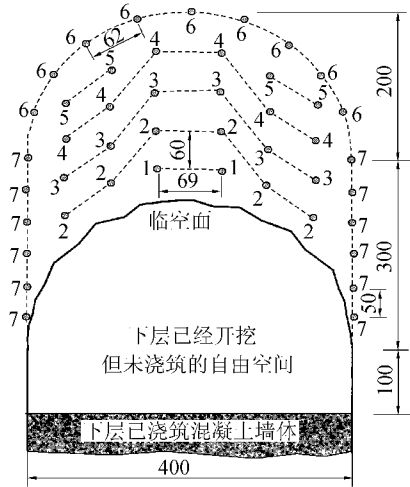


图 3 防淘墙岩层洞挖爆破布孔设计(单位:cm)

		钻孔参数				装药参数		
开挖 地层	孔名	孔径/ mm	孔深/ m	孔距/ m	孔数/ 个	药径/ mm	单孔 药量/ kg	总装 药量/ kg
岩层	崩落孔	42	3.0	0.6	24	32	1.2	28.8
	周边孔	42	3.0	0.5	9	32	0.9	8.1
	光爆孔	42	3.0	0.5	12	25	0.6	7.2
土层	崩落孔	42	3.0	1.0	14	32	1.5	21.0
	周边孔	42	3.0	0.8	19	25	0.9	17.1

表 2 洞挖爆破参数

开挖 地层	断面 面积/ m ²	孔数/ 个	炮孔 密度/ (个·m ⁻²)	爆破 方量/ m ³	炸药 单耗/ (kg·m ⁻³)	爆破 效率/ %	循环 进尺/ m
岩层洞挖	12	45	3.75	31.2	1.41	86.67	2.6
土层洞挖	13.8	33	2.39	35.88	1.06	86.67	2.6

表 3 防淘墙爆破设计主要技术参数

4.3 防淘墙土层施工

4.3.1 “管棚法”支护施工方案

防淘墙上部为石渣堆积体和第四系覆盖层,土层致密,需爆破松动。土层洞室开挖松动爆破布孔设计如图 4 所示(图中数字 1,2,3 为爆孔起爆顺序)。“管棚法”支护如图 5 所示,施工中:①采用 YT-28 型凿岩机钻孔插管或人工打击钢管,钢管长度比循环进尺长 1.5~2 m;②对于部分结构致密的地层,与岩层一样,仍然采用钻孔爆破法施工, YT-28 型风钻造孔,小药量控制爆破作业,循环进尺可按 2.6 m 考虑;③对于较松散、易坍塌地段,则采用短进尺、勤支护方案,循环进尺可按 1~1.5 m 设计。

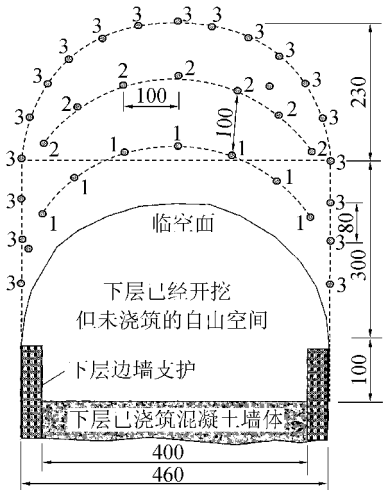


图 4 防淘墙土层洞挖松动爆破布孔设计(单位:cm)

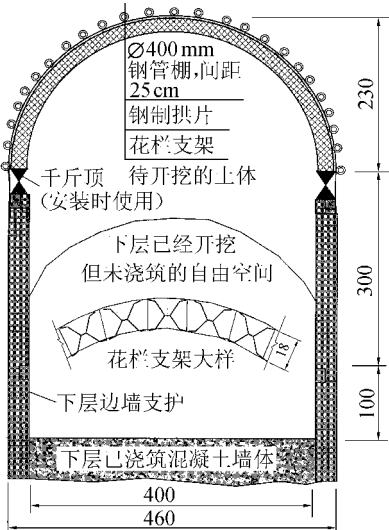


图 5 防淘墙土层洞挖松动爆破“管棚法”支护示意图(尺寸单位:cm)

对于覆盖层厚度较小部位,防淘墙采用土层洞挖、“管棚法”支护方案^[4]。边墙采用“钢筋混凝土顶梁柱+喷混凝土+随机土锚杆”支护,顶拱采用“管棚+花栏支架+钢拱片”进行临时支护,其中管棚、花栏支架和钢拱片可随上一层的开挖而分节拆除,循环使用,边墙支护不拆除。爆破参数见表 2,主要技术参数见表 3。

4.3.2 宽竖井施工方案

防淘墙部分部位覆盖层厚度较大,平均揭露覆盖层厚度达 25 m,岩性特点为第四系堆积体坡积物、强风化岩层、含有孤石及大块石,开挖时很容易出现掉块、塌方、冒顶现象,成洞条件极差。如采用自下而上平洞开挖分层施工存在两大问题:①安全隐患极多,安全风险特大,施工人员安全无法得到保证;②施工难度大,支护工程量极大,工期无法得到保证。为此,此段防淘墙由原设计的自下而上的平洞开挖浇筑混凝土方案改为以宽竖井为结构单元的自上而下浇筑混凝土的宽竖井方案。

宽竖井分两序施工,第一序宽竖井开挖完成后即进行墙体混凝土浇筑,混凝土浇筑到一定高程后进行第二序宽竖井施工。宽竖井衬砌混凝土厚50 cm,将宽竖井的上下游衬砌混凝土面做成墙体键槽形式,并对靠山侧的衬砌混凝土面进行凿毛处理,在浇筑墙体混凝土前按设计要求埋设止水铜片。

施工一序宽竖井时,要预留钢筋头,预留钢筋头的长度按两端的锚固长度不小于 $30d$ 确定,并使接头错开,二序宽竖井钢筋与一序井预留钢筋连接,确保宽竖井衬砌混凝土稳定。

墙体混凝土每层一般按4 m高控制,在浇筑宽竖井墙体混凝土时,为保证与已按自下而上水平施工墙体搭接,须在已浇筑墙体上布设混凝土防裂钢筋,若在覆盖层内按原设计结构分块水平施工一层不能确保施工安全,可将同一墙体单元块的宽竖井最底层混凝土浇筑按施工缝处理,布设墙体混凝土防裂钢筋,已浇筑墙体混凝土以上的墙体开挖按宽竖井结构缝施工。

墙体混凝土浇筑采用水平输送将混凝土运至井口,垂直运输采用泵管输送到浇筑仓位。

宽竖井全部在覆盖层内施工,必须确保宽竖井施工安全,施工中必须采取短进尺弱爆破措施,宽竖井开挖厚度按2 m控制,及时采取混凝土衬砌、排水措施及随机锚杆、钢支撑等临时支护措施。

4.4 安全措施及安全监测

在开挖过程中,要保护混凝土衬砌和支护结构不受损坏。注意保护已经浇筑的混凝土不受损坏。在爆破后、出渣前及时撬除、清除所有开挖面上残留的危石及碎块,以确保进入人员和设备的安全。经常检查已开挖洞段的围岩稳定情况,及时实施处理措施,如清除可能塌落的松动岩块及采用喷混凝土、锚杆或钢拱架等措施加固岩体等。

施工安全监测包括开挖爆破时的动态监测、围岩收敛变形观测和洞脸边坡变形监测等;开挖爆破时的动态监测部位为洞脸边坡、地下洞(井)室支护与衬砌结构及建(构)筑物等,以及认为有必要的部位,监测仪器应满足安全监测的要求,在实施监测之前应进行必要的仪器标定,实施监测过程中应注意仪器的保养,定期对仪器进行校准。安全监测成果应每周整理、分析一次。

4.5 开挖技术措施

a. 所有的洞(井)开挖后,及时进行支护。

b. 在保证质量和安全的前提下,根据围岩类别、断面尺寸、支护方式、工期要求、施工机械化程度

和施工技术水平等因素选定竖井和平洞的开挖方法。

c. 在不良的地质地段中开挖地下洞(井)室时,坚持预防为主方针,在确保安全的前提下,制定切实可行的施工方案。

d. 在围岩变形显著、偏压、高应力及交叉口部位开挖时,除加强常规检查外,还布置收敛计对围岩进行监测。发现异常情况,及时采取有效措施防止事故的发生^[5]。

e. 在软弱、松散、破碎的岩体中开挖地下洞(井)室,应尽量减少对围岩的扰动。必要时,采取预支护方法。

f. 在岩溶地段开挖地下洞(井)室时,应根据岩溶类型、溶蚀形态、充填及堆积物性质、分布范围及地下水的活动规律,确定开挖方法和处理措施。

g. 地下水活动较严重地段,根据需要,采用排、堵、截、引中的单项或综合治理措施。

h. 防淘墙施工一般采用自下而上开挖和回填浇筑混凝土。如遇特殊情况,可采用自上而下的施工方法。采用自上而下的施工方法时,在上下层混凝土接缝处埋设水平止水片和进行回填灌浆,在设置横缝止水片和钢筋处进行扩挖,并将止水片和钢筋向下延伸,同时注意对钢筋、混凝土和止水片的保护。

5 结 语

水布垭防淘墙地质条件差,施工难度大,通过采取有效的组织管理措施,不断地改进施工方案和施工技术,确保了工程顺利实施。实践证明其设计施工方案是可行的,尤其所采用的开挖施工方案对今后类似工程施工具有很好的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 徐瑞春.水布垭水利枢纽可行性研究:第三篇:工程地质[R].武汉:水利部长江水利委员会清江地质大队,1998.
- [2] 张建辉.湖北清江水布垭水电站防淘墙施工专题研究[R].武汉:水利部长江水利委员会长江勘测规划设计研究院,2005.
- [3] 李爱荣,张劲松,郭中华.丰都楠竹滑坡体稳定性分析及治理[J].河海大学学报:自然科学版,2001,29(增1):228-230.
- [4] 荣海北.三河闸下游北岸滑坡原因分析及处理[J].水利水电科技进展,2003,23(5):54-55.
- [5] 施建勇.地基基础理论及应用[M].南京:河海大学出版社,2002:26-38.

(收稿日期:2006-05-22 编辑:熊水斌)