

# 石板水水电站引水系统和厂房的工程地质条件

刘兴德

(重庆涪陵石板水电站工程指挥部, 重庆涪陵, 408000)

**摘要** 以石板水电站的施工地质资料为基础, 论述了电站引水系统和厂房的工程地质条件。通过开展对石板水电站的施工地质工作, 体会到中小型水电工程施工地质工作的重要性。建议中小型水电工程在施工期间应该进行岩体现场测试工作, 以便正确指导施工处理和监测工作, 确保工程安全。

**关键词** 引水系统 厂房 施工地质工作 现场测试 工程地质条件

石板水电站为混合式水电站, 由大坝、引水系统工程和厂房 3 部分组成。大坝为碾压混凝土重力坝, 坝高 84.6 m, 库容 1.05 亿 m<sup>3</sup>。引水系统工程由引水隧洞、调压井及压力管道组成。引水隧洞长 6045 m, 洞径为 4.6 m 及 5.9 m 两种。厂房由主副厂房及升压站等组成, 设计水头 200 m, 最大引用流量 64.7 m<sup>3</sup>/s, 装机 11.5 万 kW。

电站可行性研究、初步设计和技施设计三阶段均由国家电力公司成都勘测设计研究院与涪陵地区(市)水电建筑设计院承担工程地质勘察工作。施工地质工作的大坝部分由成勘院承担; 引水系统工程和厂房由涪陵地区(市)水电设计院与工程指挥部共同承担。本文着重以施工地质资料论述引水系统工程和厂房的工程地质条件。

## 1 引水系统工程的工程地质条件

### 1.1 地形条件

引水系统工程位于龙河右岸, 沿线山岭高程 600~830 m, 有 3 条冲沟切割, 山岭与冲沟相对高

差 100~300 m, 属于浅切割低山地貌区。隧洞进口底板高程 440 m, 出口高程 417.67 m。引水隧洞埋深一般为 50~150 m, 最大达 400 m, 最小为 20 m, 沿河水平埋深 500~1500 m。压力管道埋深 65~95 m。

### 1.2 地质条件

引水系统工程区地层为侏罗系上沙溪庙组, 岩性为紫红色砂质泥岩夹浅灰色厚层块状长石石英砂岩, 泥岩一般厚 35~70 m, 砂岩一般厚 20~35 m。地质构造处于川东褶皱带石柱向斜的南西翘起端转折部位, 向斜轴向为北东 20~35 度。南东翼岩层较平缓, 岩层走向 NE60~80 度, 倾向 NW, 倾角 3~10 度。北西翼岩层较陡, 岩层走向 NE23~50 度, 倾向 SE, 倾角 3~42 度。地下水主要是基岩裂隙水, 砂岩为裂隙含水层, 泥岩为相对隔水层, 地下水流量较小, 一般小于 100 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·d。

### 1.3 围岩分类

引水系统工程均系地下洞室, 围岩按水电地下工程围岩分类方法(V类围岩标准), 砂岩属于 II 类, 泥岩属于 III 类, 见表 1。

表 1 引水系统工程地下洞室围岩分类表

围岩类别	岩性	岩体结构类型	结构面组合状况	参 考 指 标						开挖状况	围岩稳定评价	
				$R_w / \text{MPa}$	$RQD / \%$	$C / \text{MPa}$	$\varphi / \text{度}$	$V_p / \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	$\mu$			塌落高度/m
II	长石石英砂岩	中厚层块状结构	局部有不	40.4~	93	6.77~	54	3.617~	0.11~	局部 < 0.5	局部有掉块	基本稳定
			稳定组合	50.3		11.70		3.782	0.28			
III	砂质泥岩	层状结构	层内分布有不连续	23.7~	85	5.20~	50	3.601~	0.23~	一般 0.1~0.5; 最大 1.5	有掉块及局部失稳	稳定性较差
			软弱夹层	28.4		9.25		3.631	0.34			

备注: (1)  $R_w$  —— 单轴湿抗压强度;  $c$ 、 $\varphi$  —— 室内岩块抗剪强度;  $V_p$  —— 原状岩体波速值;  $\mu$  —— 泊桑比, 均为长委会重庆岩基中心 1994 年 6 月测试资料;  $RQD$  —— 岩石质量指标, 为现场统计资料。

(2) 泥岩开挖后具弹塑性变形破坏特征, 有明显的时间效应。

### 1.4 工程地质分段

根据施工地质编录资料, 将引水系统工程分为 5 个工程地质段。现将各段主要工程地质问题及施

工处理情况简述如下。

#### 1.4.1 工程地质 I 段

包括进水口(长 32.32 m)及引水隧洞 0+000~

0+ 789.2 段。此段位于石柱向斜南东翼,岩层倾角平缓。主要工程地质问题: (1) 岩体处于弱风化卸荷带内,风化裂隙及卸荷裂隙较发育; (2) 洞室开挖时地下水出水点较多,流量 8~10 m<sup>3</sup>/m in; (3) 引水隧洞 0+ 097.5~ 0+ 340 段洞顶掉块较多。

采用的处理措施: (1) 泥岩段开挖后即进行锚喷临时支护,顶拱布系统锚杆  $\Phi 22$  mm,长 2.5 m,2 根与 3 根呈梅花型错开排列,孔排距约 1.5 m。顶拱及侧墙喷混凝土,厚约 1~3 cm (以下锚喷临时支护相同); (2) 进水口段进行钢筋混凝土衬砌,衬砌厚度顶部为 1~1.2 m,侧墙为 1.5 m,底部为 2~2.5 m; (3) 引水隧洞段进行混凝土衬砌,衬砌厚度砂岩段为 0.25 m,泥岩段为 0.4 m (以下砂泥岩衬砌厚度相同); (4) 对于地下水出水点,混凝土衬砌后仍有渗水的,采用人工掏挖一定深度,用水玻璃合水泥封堵。

#### 1.4.2 工程地质 II 段

主要是引水隧洞 0+ 789.2~ 2+ 870 段。此段位于向斜轴附近,岩层平缓,围岩均为砂岩,新鲜坚硬,完整性较好。主要工程地质问题为: (1) 洞室开挖时,1+ 400 以下段地下水出水点较多,呈浸滴状及小股流水状,流量 5~250 m<sup>3</sup>/m in; (2) 0+ 980~ 0+ 995 段有黑灰色粉砂岩夹层,局部夹煤线及泥膜。处理措施为: (1) 0+ 789.2~ 2+ 800 段喷射混凝土支护; (2) 2+ 800~ 2+ 870 段混凝土衬砌。

#### 1.4.3 工程地质 III 段

主要是引水隧洞 2+ 870~ 4+ 285 段。此段位于向斜北西翼,岩层倾角开始变陡。主要工程地质问题为: (1) 3+ 060~ 3+ 210 段含灰绿色砂质团块,洞顶层理发育,易掉块,掉块厚 0.1~0.5 m; (2) 3+ 940~ 3+ 975 左侧壁上上部有一软弱夹层,由破碎岩块岩屑组成,厚 0.5~1 m; (3) 3+ 930~ 4+ 030 及 4+ 160 附近洞顶有小坍塌,坍塌厚 0.5~1 m; (4) 2+ 892~ 2+ 913 段地下水出水点较多,呈滴水状态,流量最大为 124 m<sup>3</sup>/m in。

采用的处理措施为: (1) 全段混凝土衬砌; (2) 泥岩段开挖后先进行锚喷临时支护; (3) 软弱夹层、掉块坍塌段固结灌浆时增加(加密)灌浆孔。

#### 1.4.4 工程地质 IV 段

主要是引水隧洞 4+ 285~ 5+ 013 段。此段位于向斜北西翼,岩层倾角较大。主要工程地质问题为: (1) 4+ 340~ 4+ 430 段有 3 个较大的裂隙带,宽 0.1~1 m,充填岩块岩屑及粘土,并有与大裂隙近于垂直的小裂隙发育,将岩体切割成方形岩块,引起洞顶坍塌,坍塌厚度达 2.5 m; (2) 4+ 616~ 4+ 630 段左侧壁有一软弱夹层,由破碎岩块岩屑组成,厚 0.1~

0.5 m,引起洞顶坍塌高度为 1.5 m; (3) 4+ 656~ 4+ 666 段顶拱坍塌高为 0.5~1 m; (4) 4+ 761~ 4+ 778 及 4+ 851~ 4+ 864 两段有层间挤压破碎带,厚 20~40 cm,局部夹泥; (5) 4+ 890~ 4+ 900 段顶缓倾角层面裂隙发育;引起顶拱沿层面掉块,厚 0.2~0.5 m; (6) 本段地下水出水点较多,流量最大达 650 m<sup>3</sup>/m in。

采用的处理措施为: (1) 泥岩段开挖后即采用锚喷临时支护,喷混凝土最大厚度为 8 cm; (2) 全段混凝土衬砌,其中 4+ 445~ 4+ 465 及 4+ 742.5~ 4+ 778 两段采用钢筋混凝土衬砌; (3) 三个大裂隙带采用高压气水冲洗,用水玻璃合水泥封堵地下水,用混凝土封填裂隙; (4) 石板水沟段(4+ 817.5 上下游 40 m)上覆岩体较薄,对上覆岩体进行专门的固结灌浆处理。

#### 1.4.5 工程地质 V 段

包括引水隧洞最后一段(5+ 013~ 6+ 045)及调压井与压力管道。此段位于向斜北西翼,岩层倾角相对最大。主要工程地质问题为: (1) 5+ 126~ 5+ 220 段有裂隙破碎带及层间挤压破碎带,带宽 10~50 cm,局部夹泥,引起顶拱局部掉块,掉块厚 4~6 cm; (2) 5+ 437~ 5+ 600 段有 3 个深灰色泥质粉砂岩夹层,厚 1.5~6 m,其上或下界面有层间挤压破碎带,由深灰、紫灰色破碎岩块、岩屑组成,局部呈鳞片状,厚 5~80 cm; (3) 5+ 445~ 5+ 880 段洞顶有层面裂隙带,张开宽度 0.3~0.6 m,形成洞顶坍塌掉块,厚 0.1~0.4 m; (4) 压力管道斜井下段有一层间挤压破碎带,带宽 15~20 cm; (5) 本段地下水出水点较少,以调压井及压力管道的地下水流量较大,调压井井口附近流量达 400 m<sup>3</sup>/m in,压力管道斜井下段流量达 4 L/m in。

采用的处理措施为: (1) 泥岩段开挖后即进行锚喷临时支护; (2) 地下水出水点用水玻璃合水泥封堵,封堵不住的待混凝土衬砌后用水泥灌浆及化学灌浆处理; (3) 调压井开挖后井壁全部采用锚喷支护,锚杆  $\Phi 22$  mm,锚深 2.2 m,排距 1.5 m,每排 20 根沙浆锚杆,喷 250 号混凝土,厚 10 cm; (4) 压力管道开挖后即时进行锚喷支护,顶拱布系统锚杆,排距 1.5 m,锚深 2.5 m,顶拱及侧墙喷混凝土; (5) 引水隧洞段全部采用混凝土衬砌。调压井全部采用混凝土衬砌,衬砌厚度 1 m。压力管道钢管与围岩间全部浇筑混凝土。

以上 5 个工程地质段,除引水隧洞 0+ 789.2~ 2+ 800 段采用喷射混凝土支护外,其余全部采用混凝土或钢筋混凝土衬砌,其洞顶(或井壁)进行水泥

回填灌浆,围岩进行水泥固结灌浆,压力管道钢管与混凝土间进行水泥接触灌浆,引水隧洞水泥灌浆后仍有渗水的洞段进行化学灌浆。

### 1.5 围岩现场测试

为了给以上各段施工处理提供可靠的依据,同时也为施工期及运行期工程监测提供依据,对引水系统工程进行了围岩现场测试,求得各段围岩的力学参数。

#### 1.5.1 引水隧洞地震波测试

引水隧洞施工开挖初期,在128 m长洞段进行了地震波连续波速测试,测试仪器使用美国ES-1210F多道信号增强型地震仪。采用锤击法测试了多段砂泥岩洞段岩体波速,其测试段桩号及波速值见表2。

表2 引水隧洞围岩波速表

测段桩号	段长 /m	纵波波速 $V_p$ / $m \cdot s^{-1}$	岩性
3+ 630~ 3+ 648	18	5 000	砂岩
3+ 648~ 3+ 670	22	4 200	砂岩
3+ 700~ 3+ 708		5 000	砂岩
3+ 708~ 3+ 712	4	3 800	泥岩
3+ 712~ 3+ 744	32	4 400	泥岩
3+ 744~ 3+ 754	10	4 700	泥岩
3+ 754~ 3+ 762	8	4 000	泥岩
3+ 762~ 3+ 780	18	4 400	泥岩
3+ 780~ 3+ 788	8	4 000	泥岩

表2表明,引水隧洞围岩岩体力学强度较高,砂岩波速达4 200~ 5 000 m/s;泥岩波速达3 800~ 4 700 m/s。

#### 1.5.2 引水隧洞围岩及松动圈地震波测试

引水隧洞开挖大部完成之后,在引水隧洞的6个断面,用人工锤击地震折射法,测得围岩及其松动圈岩体波速值见表3。

表3 引水隧洞围岩及松动圈岩体波速值表

断面位置(岩石名称)	围岩平均波速 / $m \cdot s^{-1}$	松动圈岩体波速/ $m \cdot s^{-1}$	
		最小	最大
1+ 150(砂岩)	3 638	1 000	1 333
1+ 550(砂岩)	3 782	1 212	1 429
2+ 820(砂岩)	3 677	1 290	1 818
3+ 240(砂岩)	3 617	1 333	2 105
0+ 600(砂质泥岩)	3 631	900	2 000
3+ 820(砂质泥岩)	3 601	1 178	1 538

测试结果表明,围岩波速值较高,松动圈岩体(厚0.13~ 0.34 m)波速也较高,不需做特别的施工处理,运行期也无需设置过多的监测设施。

#### 1.5.3 引水系统工程围岩回弹仪及点荷载仪测试

引水隧洞、调压井及压力管道开挖后,均即时进行了回弹仪及点荷载仪测试。回弹仪测试一般每隔10 m测试一组,每组测10个测区,每个测区测160个测点,计算时剔除最大值及最小值,用100个测点回弹值相加平均,查表求得抗压强度。点荷载仪测试一般每层(地层)测试1~ 2组,每组取15~ 20个不

规则样,每个样以压裂破坏的最大荷载和两锥头距离,即可求得抗拉强度及抗压强度,见表4。

表4 回弹仪及点荷载仪测试成果表

地层(岩石)	抗压强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	围岩分类	工程地质分段(位置)
侏罗系上沙溪庙组 J <sub>2s</sub> 层(砂岩)	30~ 100	2.5~ 11	II	II(引水隧洞 0+ 740~ 2+ 870)
侏罗系上沙溪庙组 J <sub>2s</sub> 层(砂岩)	30~ 100	3~ 11	II	I、III(引水隧洞 0+ 000~ 0+ 097.5 3+ 110~ 3+ 710)
侏罗系上沙溪庙组 J <sub>2s</sub> 层(砂岩)	30~ 89	3~ 9.5	II	IV(引水隧洞 4+ 285~ 4+ 450)
侏罗系上沙溪庙组 J <sub>2s</sub> 层(砂岩)	42~ 68	4.5~ 7	II	IV(引水隧洞 0+ 760~ 4+ 850)
侏罗系上沙溪庙组 J <sub>2s</sub> 层(砂岩)	28~ 42	3~ 4.5	II	V(引水隧洞 5+ 000~ 5+ 240)
侏罗系上沙溪庙组 J <sub>2s</sub> 层(砂岩)	30~ 85	3~ 9	II	V(引水隧洞 5+ 240~ 5+ 780)
侏罗系上沙溪庙组 J <sub>2s</sub> 层(砂岩)	26~ 70	2~ 5	II	V(引水隧洞 5+ 780~ 6+ 045 调压井下部)
侏罗系上沙溪庙组 J <sub>2s</sub> 层(砂岩)	28~ 45	3~ 5	II	V(压力管道)
侏罗系上沙溪庙组 J <sub>2s</sub> 层(泥岩)	28~ 86	3~ 9	III	I、III(引水隧洞 0+ 097.5~ 0+ 740 2+ 870~ 3+ 110)
侏罗系上沙溪庙组 J <sub>2s</sub> 层(泥岩)	30~ 90	3~ 9.5	III	III(引水隧洞 3+ 710~ 4+ 285及取水口)
侏罗系上沙溪庙组 J <sub>2s</sub> 层(泥岩)	30~ 45	3~ 5	III	IV(引水隧洞 4+ 450~ 4+ 760)
侏罗系上沙溪庙组 J <sub>2s</sub> 层(泥岩)	30~ 40	3~ 4.5	III	IV(引水隧洞 4+ 850~ 5+ 000)
侏罗系上沙溪庙组 J <sub>2s</sub> 层(泥岩)	30~ 45	3~ 5	III	IV(引水隧洞 5+ 000~ 5+ 240)
侏罗系上沙溪庙组 J <sub>2s</sub> 层(泥岩)	30~ 40	3~ 4.5	III	IV(引水隧洞 5+ 780~ 6+ 045及调压井上部)
侏罗系上沙溪庙组 J <sub>2s</sub> 层(泥岩)	35~ 60	4~ 6	III	IV(压力管道)

## 2 厂房工程地质条件

### 2.1 地形地质条件

厂房位于龙河右岸谷坡下部,地形坡度为25~ 35度。厂房地段龙河枯水位250 m左右,主厂房建基面高程242.73~ 247.3 m。

厂房地层为侏罗系中统沙溪庙组上亚组6~ 8层(J<sub>2s</sub><sup>6</sup>~ J<sub>2s</sub><sup>8</sup>),J<sub>2s</sub><sup>6</sup>与J<sub>2s</sub><sup>8</sup>层为紫红色砂质泥岩夹粉砂岩与薄层砂岩,J<sub>2s</sub><sup>7</sup>为灰白色厚层块状细至中粒长石石英砂岩。厂址地质构造属于石柱向斜的南西翘起端北西翼,岩层走向NE20~ 40度,倾向SE,倾角24~ 32度,倾向龙河上游并微倾山内。区内地下水为基岩裂隙水,砂岩为裂隙含水层,泥岩为相对隔水层,地下水出水点流量0.1~ 1 L/s。

### 2.2 主厂房工程地质条件

主厂房地基为J<sub>2s</sub><sup>7</sup>长石石英砂岩,上游边坡及后边坡以J<sub>2s</sub><sup>8</sup>泥岩为主,新鲜至弱风化。主要工程地质问题为:(1)开挖基坑低于龙河河水位2.5~ 9 m,河

水通过裂隙渗透进基坑,给施工带来困难;(2)上游侧(小机)地基为 $J_2^s$ 顶部灰褐色砂岩夹泥质粉砂岩,建基面以下2~3m有两个软弱夹层,软弱夹层由泥岩及粉砂岩碎块构成,厚1~4cm,呈断续分布;(3)上游边坡高20~31.8m,坡比1:0.4,底部有一软弱夹层,厚25~30cm,由泥岩及粉砂岩碎块组成,局部有泥化现象;(4)后边坡高34m,坡比1:0.4~1:0.5,大部为泥岩,边坡顶为丰石公路,有来往车辆的动荷载作用,边坡稳定性较差。后边坡下游段下部 $J_{2s}^s$ 与 $J_{2s}^s$ 接触带有3个软弱夹层,厚1~30cm,其岩性结构与上游边坡软弱夹层相同。

采用的处理措施为:(1)主厂房地基为 $J_{2s}^s$ 砂岩,无需专门处理。基坑地下水采用潜水泵边抽水边施工;(2)小机组地基及上游边坡与后边坡中的软弱夹层属于岩块岩屑型,强度较高,也无需特别处理,泥化部分采用掏挖清除,并用混凝土封填;(3)后边坡地下水出水点流量较大,采用钢管引排;(4)上游边坡及后边坡全部采用100号混凝土挡墙式护坡,稳定性差的段增设 $\varnothing 55$ mm 锰硅钢砂浆锚杆。

### 2.3 副厂房及升压站的工程地质条件

副厂房位于主厂房下游,升压站又位于副厂房下游,厂房建筑物呈一字型排列。副厂房地基及后边坡均为 $J_2^s$ 上部灰褐色长石石英砂岩夹泥质砂岩,稳定性较好。后边坡高度仅10余m,处理措施采用与主厂房后边坡一致的100号混凝土挡墙式护坡。

升压站地基大部为 $J_2^s$ 砂岩,下游靠龙河一角为第四系堆积层,堆积层由崩坡积及人工堆积的亚粘土夹碎块石组成。砂岩地基稳定性较好,堆积层地基经回填夯实后也能满足建筑物要求。

(上接第11页)

顶部围岩裂隙情况、混凝土衬砌质量及顶部衬砌与围岩脱空的位置与范围。根据测试报告及现场漏水情况,指挥部立即组织施工单位按不同情况,分别采取固结灌浆、回填灌浆和化灌等措施进行处理,检查合格后投入试运行。半年后停水检查,证实处理效果良好。

石板水电站设计水头200m,压力管道为埋藏式钢管,内径3.7m,壁厚20~26mm。卷管用的16Mn钢板系某大厂生产,有产品合格证。在加工钢管切割钢板时,最初发现7块钢板有夹层,以后在各种厚度的钢板中又发现了夹层。最大夹层连续长度达1.3m(板长1.5m),一般为0.7~0.8m,为不合格产品。指挥部要求厂家对全部钢板探伤,查出有夹

### 2.4 岩体回弹仪及点荷载仪现场测试

厂房地基回弹仪及点荷载仪测试目的及方法与引水系统工程相同。测试成果见表5。

表5 厂房岩体回弹仪及点荷载仪测试成果表

地层(岩石)	回弹仪测试		点荷载仪测试		位置
	抗压强度 $M Pa$	抗拉强度 $M Pa$	抗压强度 $M Pa$	抗压强度 $M Pa$	
侏罗系上沙溪庙组 $J_3^s$ 层(泥岩)	28~53	4.16~7.14	38.7~66.4		压力管道岔支洞
侏罗系上沙溪庙组 $J_3^s$ 层(砂岩)	74~125	6.16~13.95	57.3~129.7		主厂房地基及压力管道岔支洞

## 3 结 语

(1)石板水电站引水系统工程和厂房的工程地质条件总体是比较好的。通过施工地质工作,发现也存在不少的工程地质问题。针对这些问题进行不同的施工处理,使工程的稳定性能得到保障。如果不作施工地质工作,或者不作正规的、细致的施工地质工作,很多工程地质问题是不容易发现的,将会给工程留下后患。因此,施工地质工作是十分重要的,呼吁中小型水电工程加强这方面的工作。

(2)围岩和岩体现场测试是一项十分重要的工作,它不但能给施工处理提供依据,同时也是施工期及运行期进行监测工作的重要依据,建议中小型水电工程施工期间加强这项工作。施工开挖后是进行现场测试的宝贵时机,放弃这个时机是十分可惜的。现场回弹仪及点荷载仪设备简单,野外携带方便,所费人力及费用不多,是一种值得提倡的测试手段。

作者简介

刘兴德 男 重庆涪陵石板水电站工程指挥部 副总工程师 高级工程师

(收稿日期:1998-12-31)

层者退货。厂家对16Mn钢板只同意已发现夹层的退货,不同意全面探伤。后在工程项目质量监督站和省检测中心站协助下,厂方对全部钢板(包括未加工和已加工成管节的)进行了超声探伤,查出不合格钢板100多t,全部退货,更换成真正的合格产品。因此,钢管安装工程推迟了数月,但质量得到了保证。

以上实例说明,质量是工程建设的永恒主题,有质量才能有效益。石板水电站坚持质量第一,完善质量管理机制,认真执行《评定标准》和《评定规程》,确保了工程质量,为电站获得了长久的效益。他们的经验值得借鉴和学习。

作者简介

杨宗铨 女 四川省水利电力研究所 高级工程师

(收稿日期:1999-01-05)