

城东电站坝基主要工程地质条件研究

赵启龙

(水利部四川水利水电勘测设计研究院勘察分院, 四川 郫县 611731)

摘要: 通过大量的勘探、试验资料, 详细分析研究了城东电站闸坝强风化泥岩的物理、力学特征和闸基岩体中承压水分布特征, 提出闸基置于强风化泥岩上的工程处理措施。

关键词: 强风化带; 土工试验法; 地质特征; 承压水; 含水介质; 水理性质

中图分类号: P64

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2000)增-0020-03

1 工程概况

洪雅城东电站为青云江干流八级开发中的第五级, 电站装机 7.5 万 kW, 泄洪、冲沙闸计 20 孔, 长 310 m, 最大闸高 27 m。

工程可行性研究地勘工作于 1996 年 6~10 月完成, 1996 年 12 月底开工修建。可研地勘报告建议挖除 K_{1g}^+ 层强风化泥岩 6~19 m, 闸基置于 K_{1g}^+ 层弱风化带粉砂质泥岩上。施工中由于基坑大量涌水, 给工程施工开挖和基础浇筑带来难以克服的困难。因此, 研究 K_{1g}^+ 强风化泥岩的工程地质特征、闸基岩体透水性特征, 确定建基面高程和工程处理措施是非常必要的。为此, 补充作了大量勘探试验工作, 主要工作量有: 机动岩芯钻探 646.32 m, 声波测试 180 m, 岩石、土工及水化试验共 47 组, 抽压水试验 25 段。

2 闸坝段基本地质条件

区内出露地层为白垩系灌口下组的河湖相地层和第四系堆积层。坝基下主要岩层性质为: K_{1g}^+ 层泥岩夹薄层粉砂质泥岩, 厚 6~19 m, 分布高程 422~425.23 m 以上; K_{1g}^+ 层粉砂质泥岩夹薄层泥岩, 厚 18~21 m, 分布高程在 402~406 m 至 422~425.23 m 之间。

工区位于川西褶皱带尖尖石背斜核部的北东, 岩层产状为 $N15E \sim N70W$, 倾向 SE 或 NE, 倾角 $2 \sim 4^\circ$ 。坝基岩体中发育 4 组裂隙, 其产状分别为: $N5 \sim 15W / NE$ 或 $SW 70 \sim 80^\circ$; $N60 \sim 80E / NW 80 \sim 85^\circ$; $N30 \sim 40W / NE 85^\circ$; $N30 \sim 40E / SE 85^\circ$ 。

3 坝基岩体主要工程地质问题研究

3.1 K_{1g}^+ 层强风化泥岩的工程地质特征

3.1.1 分布特征

K_{1g}^+ 层在闸基范围内产状为 $N40W / NE 2 \sim 3^\circ$; 底板高程 414.50~420.0 m, 厚度一般为 12.5~15.5 m, 最厚达 19.0 m, 最薄 6.0 m, 由河床左岸向右岸有逐渐增厚的趋势。

3.1.2 结构特征

该层总的岩性为泥岩夹粉砂质泥岩薄层(或透镜体), 底部分布有角砾岩透镜体, 局部夹弱胶结的砂岩。

泥岩为暗紫-紫红色, 泥质结构, 中-薄层状构造。分布于

闸址范围内的泥岩呈强风化, 塑-硬塑状。钻探过程中采用无水钻进, 进尺快, 一般 5.0~10.0 m/min 可进尺 1.0 m; 取出的岩芯大多呈柱状, 且周壁较平整, 光洁, 仅个别井深段泥岩中含有粉砂质泥岩碎块及碎粒。

试验资料表明, 泥岩的颗粒组成为: 粉砂质泥岩角砾(或砾) ($> 2 mm$) 26.4%; 砂粒 ($2 \sim 0.05 mm$) 16.4%, 粉粒 ($0.05 \sim 0.005 mm$) 32.6%; 粘粒 ($< 0.005 mm$) 24.6%。按其颗粒组成分类一般为粉质粘土, 泥岩的界限含水量为: 液限 30.4%; 塑限 16.7%; 塑性指数 13.7。

泥岩的 X 射线粉晶衍射测试成果表明: 泥岩的粘土矿物中伊利石为主占 80%, 次为绿泥石/蒙脱石混层矿物。

由于泥岩中主要矿物伊利石和次要矿物绿泥石/蒙脱石混层矿物具有较强的亲水性, 吸水易分散特点, 决定了泥岩具有遇水易崩解, 易膨胀和风化厚度大的特点。试验成果表明泥岩自由膨胀率平均值为 21.6%, 最大值 27.0%, 在水中浸泡 48 min 全部崩解。

在 K_{1g}^+ 层强风化带中, 上部分布有灰白色或灰绿色泥岩条带。施工开挖揭示, 灰白色或灰绿色泥岩条带在平面上呈团块状分布, 顺层延伸一般 5~10 m, 连通率 60%~70%, 其粘土矿物成分据 X 射线粉晶衍射测试成果, 蒙脱石含量 52%, 伊利石 41%, 绿泥石 7%。因此, 其水理性质极差, 亲水性极强, 遇水分散崩解快, 具压缩性强, 抗剪力极低的特点。因此, 当该类泥岩条带位于建基高程附近时, 对闸基抗滑稳定极为不利。

K_{1g}^+ 层中的粉砂质泥岩夹层或透镜体, 厚度 0.22~2.05 m, 平均厚度 0.5 m, 占该层总厚度的 11.12%~31.85%, 粉砂质泥岩大多是 1.0~3.0 cm 厚薄片状, 沿层面发育有 0.1~0.4 cm 的溶蚀孔洞, 最大可达 1.0~2.0 cm。溶孔在局部地段呈蜂窝状, 形成沿层分布的“溶蚀孔隙”, 粉砂质泥岩构成 K_{1g}^+ 层中的透水岩体。

3.1.3 物理力学特征

为研究 K_{1g}^+ 层强风化泥岩的物理力学性质, 采用土工法试验, 岩石常规试验, 结合声波测试成果进行对比研究。

(1) 土工法试验。强风化泥岩工程地质特征在宏观上主要表现为粘性土的一些特征。为研究其物理力学特征, 主要采取边钻边封取原状岩(土)试样, 按土工法测得其物理力学

表 1 K_{lg}^I 层强风化泥岩试验(土工法) 成果汇总表

项 目	天然含水量 /%	天然密度 /g · cm ⁻³	干密度 /g · cm ⁻³	比重	自由膨胀率 /%	塑性指数	液性指数	
试验组数	22	22	22	24	11	11	11	
平均值	15.4	2.09	1.81	2.75	21.6	13.6	0.10	
项 目	压缩系数		压缩模量		饱和快剪		饱和固结快剪	
	$a(0.1 \sim 0.2)$ /MPa ⁻¹	$a(0.2 \sim 0.4)$ /MPa ⁻¹	$E_s(0.1 \sim 0.2)$ /MPa	$E_s(0.2 \sim 0.4)$ /MPa	φ /d	C /MPa	φ /d	C /MPa
试验组数	17	17	17	17	12	12	14	
平均值	0.06	0.06	27.12	29.22	26.9	0.0479	29.5	0.0412
大(小)值平均值	0.08	0.09	(20.36)	(19.54)	(25.01)	(0.0397)	(26.2)	(0.0391)

指标, 见表 1。

试验成果表明: 泥岩天然含水量 15.4%, 天然干、湿密度为 1.81 g/cm³ 和 2.09 g/cm³, 比重为 2.75~2.76, 表明泥岩矿物成分比较均一。液性指标为 0.10, 属硬塑状, 自由膨胀率为 21.6%, 表明泥岩具微膨胀性, 这主要与粘土矿物以伊利石及绿泥石/蒙脱石混层矿物有关。

钻孔取样作“加荷 卸荷 再加荷”试验过程, 其试验成果表明, 再次加荷的压缩模量相对于初次加荷有较大的变化。再次加荷的压缩指标为首次加荷的 1.65~2.25 倍。分析其原因是因为试验取出后产生回弹松弛所致。由于闸基在一定天然应力状态下, 再次加荷的指标更接近闸基岩体的实际受力状态。因此, 在选用强风化泥岩压缩指标时宜选取再次加荷后的值。

剪切试验作了饱和快剪与饱和固结快剪, 其相应的摩擦系数及凝聚力之比分别为: $f_{固快}/f_{饱快} = 0.566/0.507 = 1.12$, $c_{固快}/c_{饱快} = 41.12(\text{kPa})/47.90(\text{kPa}) = 0.86$, 两者指标较为接近, 表明强风化泥岩固结程度较好, 其工程地质性质主要表现为固结粘土土的特征。由于强风化泥岩粘土矿物成分为亲水性较强的伊利石及绿泥石/蒙脱石混层矿物晶体, 并具有一定的可塑性($I_p = 13.6$); 压水试验表明其透水性差, 故饱和快剪指标更能反映闸基岩体的实际情况。

(2) 岩石常规试验。岩石常规试验成果表明, 泥岩比重 2.79, 干密度 1.95 g/cm³, 含水量 15.8%, 天然状态下单轴抗压强度 0.58MPa; 湿抗压浸水试件均崩解破坏。岩石弹模割线模量 640MPa, 泊桑比 0.31, 三轴不排水剪切试验成果 $tg\varphi = 0.31$, $c = 0.68\text{MPa}$ 。反映了风化泥岩强度极低, 但具有一定的抗剪强度。

(3) 岩体声波测试。钻孔岩体声波测试成果表明 K_{lg}^I 层强风化泥岩纵波速度一般为 1650~2100 m/s, 局部孔段达 2480~2500 m/s, 这是由于局部分布有粉砂质泥岩透镜体, ZK1、ZK4、ZK5 波速为 1900~2100 m/s, 反映了该层泥岩组成物质较为均一。

(4) 按《水利水电工程地质勘察规范》的岩体物理力学参数取值原则, 结合工程实际, 强风化泥岩主要物理力学指标建议值见表 2。

3.2 闸基岩体水文地质特征

3.2.1 岩体的含水介质

枢纽区 K_{lg}^I 层泥岩中所夹粉砂质泥岩及 K_{lg}^I 层粉砂质泥岩中均有石膏呈薄层状或团状, 星点状分布于岩体中。由

表 2 K_{lg}^I 层强风化泥岩主要物理力学指标建议值

天然 含水量 /%	比重	压缩系数 /MPa ⁻¹	压缩模量 /MPa	允许承载力 /MPa	抗剪强度 $tg\varphi$ /MPa
15.4	2.75	$a(0.1 \sim 0.2) 0.06$	$E_s(0.1 \sim 0.2) 20.00$	0.4	0.35
2.09		$a(0.2 \sim 0.4) 0.06$	$E_s(0.2 \sim 0.4) 27.00$		0.10

于石膏为中溶盐类结晶盐, 在地下水作用下被溶蚀而形成大小不等的溶孔或溶穴。据勘探揭示 K_{lg}^I 层粉砂质泥岩大多呈薄层状, 沿层面分布有孔径 0.1~0.3 cm 溶孔; 局部地段溶孔呈蜂窝状密集, 形成溶穴, 面岩溶率一般 10%~15%, 大者达 20%, 如城 ZK24 孔在高程 425.63~425.58 m 段即是此类溶穴。 K_{lg}^I 层粉砂质泥岩也在不同高程揭示有溶孔或溶穴, 其大小规模等与前述 K_{lg}^I 层类似。闸址区钻探发现有掉钻、钻孔不返水等岩溶地区钻进中常出现的异常钻进动态, 由此表明, 闸基 K_{lg}^I 层中粉质泥岩及 K_{lg}^I 层粉砂岩体中普遍存在有溶穴。

右岸城 ZK23~25 孔在不同高程揭示有亚粘土夹粉砂质泥岩碎块或碎片, 其结构疏松, 含水量高, 约 15%~20%; 碎块或碎片上可见钙质, 其颗分成果显示为壤土~重壤土。钻进过程中采用无水钻进, 其进尺也明显增快; 城 ZK23 孔钻进至该层时, 钻孔同时不返水。据以上特征综合分析, 其成分应为粉砂质泥岩中石膏被地下水溶蚀后, 形成了一定规模的溶蚀带, 带内组成为亚粘土夹岩石碎块或碎片。

3.2.2 含水(透水)岩体的含水性质及分布规律

勘探及帷幕(冲沙闸左导墙及 1 号~5 号闸前与帷幕灌浆试验, 下同)孔揭示: K_{lg}^I 层强风化层中上部有一层纯泥岩, 钻孔一经揭穿泥岩进入粉砂质泥岩中时, 就有地下水涌出孔。右岸 ZK23~26 孔当钻至含水岩体时, 均能观测到高出含水岩体一定高度的稳定地下水水位。据对 DZK7 及城 ZK22 孔涌水量观测, 其动态较稳定。以上现象表明闸基含水岩体属承压含水岩体, 泥岩及未被溶蚀的粉砂质泥岩为其承压顶板。

左岸一枯基坑中钻孔涌水量随着孔深的增加而增大, 右岸城 ZK23~26 压水试验, 水化分析成果表明, 闸基岩体承压水在铅直方向上具成层分带性, 各承压含水带特征见表 3。

由表 3 可知, 承压水水头均低于同期河水位, 且第 与带承压水水头低于第 带承压水头。由此可见, 承压水主要受河水补给, 且第 与带之补给边界较第 带远。

3.2.3 承压水的水化学特征

为研究承压水水化学特征及其河水的联系, 勘探中对城

表3 右岸城 ZK23~ 26 勘探孔承压水特征一览表

项 目	孔 号							
	城 ZK23		城 ZK24		城 ZK25		城 ZK26	
	含水带编号							
	第 带	第 带	第 带	第 带	第 带	第 带	第 带	
孔口高程/m	443.47	442.52		440.56		441.55		
承压水顶板高程/m	414.97	428.90	415.83	413.94	421.97	415.55		
承压水头高程/m	439.80	440.14	439.24	437.93	439.24	437.71		
观测日期	19970925	19971006	19971007	19971022	19971104	19971105		
河水位/m	441.34	440.25	440.23	439.56	439.31	439.37		
观测日期	19970925	19971006	19971007	19971022	19971104	19971105		
透水率/Lu	/	38(142)	61(81)	53(99.6)	18(160)	32(90)		
渗透系数/m·d ⁻¹	138.60	43.00	/	327.80	/	66.9		

ZK23~ ZK26 孔抽水试验的同时分别取了 4 组钻孔承压水,并同时取了相应的河水。水化学分析成果表明:承压水与河水化学成分差异较大,承压水化学类型一般为 SO₄-HCO₃-Ca-Na 型或 SO₄-HCO₃-Ca 型,而同期相应的河水则为 HCO₃-Ca 型,其特征指标见表 4。

表4 河水、承压水化学成分特征指标对比表

试验 水的 组数 类型	特征指标							
	Na ⁺ K ⁺	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	总硬度	游离 CO ₂	矿化度	
	/mg·L ⁻¹		/德国度		/mg·L ⁻¹	/g·L ⁻¹		
2 河水	15.64	39.98	23.54	119.60	6.56	3.86	0.17	
4 承压水	64.22	154.66	359.75	256.28	26.35	44.40	0.75	

由表 4 中证明:承压水化学成分的差异明显与岩体中存在石膏(CaSO₄·2H₂O)及芒硝(Na₂SO₄·H₂O)有关,其化学成分主要是地下水对岩体中石膏及芒硝的溶滤作用形成的。

从水化学分析成果得知,左岸第 与 带承压水 SO₄²⁻ 含量为 383.14mg/L;第 带为 289.14mg/L;左岸城 ZK22 孔高于右岸。由此可以初步推断,就承压水补给途径而言,深部承压水较浅部远,而左岸又较右岸远。

由于承压水中 SO₄²⁻ 含量较高,导致其环境水对混凝土具有一定的腐蚀性。其腐蚀程度按《水利水电工程地质勘察规范、国标送审稿》判定,右岸第 带承压水对普通水泥拌制的混凝土具弱腐蚀,第 与 带具中等腐蚀,左岸承压水则为强腐蚀,腐蚀类型为结晶类硫酸盐型。

4 工程处理措施

(1)厂房施工开挖已揭穿 K_{1g}⁺ 层泥岩(K_{1g}⁺ 层粉砂质泥岩已开挖 9~ 11m),K_{1g}⁺ 层中连续灰白色条带一条,出露高程从左至右岸为 430.0~ 424.7m,灰绿色条带断续分布,出露高程 431.0~ 426.5m。位于闸址部位的上述两类夹层均予以挖除。

(2)为增加闸基岩石的承载力及抗滑稳定安全储备,在闸基部位作固结灌浆处理,间距 3.0m,排距 1.5m,梅花型布置,深入弱风化粉砂质泥岩 2.0~ 3.0m。并设置 3×Φ32 锚筋束(锚入混凝土内 2.0m)。从已作的几孔闸室固结灌浆成果看,K_{1g}⁺ 层风化泥岩仍具有可灌性,检查孔压水成果,岩石的透水率达到设计要求小于 5Lu,较灌前有较大提高。开挖及检查孔岩芯揭示,沿岩石层面、特别是粉砂质泥岩与泥岩界面、有溶蚀的粉砂质泥岩和泥质粉砂岩岩体中、混凝土与基础的接触面,均可见有结石现象,顺层面可见有 1~ 2cm,延伸数m 的水泥结石层,证实固结灌浆对岩体性状改善具有一定作用。

帷幕灌浆深入相对隔水层以下 2.0~ 5.0m,深入建基面以下 23.0~ 28.0m,最深达到高程 395.0m。经灌浆试验确定,孔排、间距 1.5m,可满足设计要求岩石透水率小于 5Lu。实际灌浆中,大部分地段可达到设计要求,部分地段经增补第二排后亦可满足设计要求。帷幕孔内亦设置 3×Φ32 锚筋束。

闸基地段设置排水孔,间距 4.0m 呈梅花型布置,设计仅考虑深入基岩 0.5~ 1.0m。

(3)由于直接利用 K_{1g}⁺ 层强风化泥岩作基础持力层,设计根据地质建议数值,对基础断面、结构均进行相应调整,在各种工况下,所计算的抗滑稳定成果均满足规范要求。加之固结灌浆、帷幕灌浆,并于孔内设置锚筋束,增加了闸基的安全储备。

5 结 论

(1)K_{1g}⁺ 层强风化带泥岩工程地质宏观特征主要表现为固结粘性土的特点,其组成物质较为均一,主要矿物成分以伊利石为主,次为绿泥石/蒙脱石混层矿物,具有较强的亲水性,吸水易分散特点,因而使坝基泥岩风化厚度大。物理力学特征主要表现为:硬塑状具有一定干密度、微膨胀、低压缩、强度极低,但具有一定抗剪强度。其压缩再加荷指标,接近闸基岩体的实际受力状态饱和快剪指标能反映闸基岩体实际抗剪特征。

鉴于 K_{1g}⁺ 层强风化泥岩上述工程地质特征,直接利用 K_{1g}⁺ 层强风化泥岩作闸基持力层,清除岩层中建基面附近的灰白色、灰绿色条带,对闸基岩体作固结灌浆、帷幕灌浆,并于孔内设置锚筋束,增加了闸基抗滑安全储备。

(2)闸基粉砂质泥岩石膏溶隙是闸基岩体的含水介质,此溶隙在岩层中分布具有成层分带性,形成多层溶蚀带及相应的承压含水带,闸基岩体中普遍存在中等-强透水的“溶隙”承压含水岩体,其承压水具有成层分带性,最深部承压水带分布高程为 407.75~ 408.32m,承压水的补给主要受河水及右岸漫滩阶地沙卵石含水层补给,补给途径属中——远程。承压水中的 SO₄²⁻ 对普通水泥拌制的混凝土具有一定的腐蚀作用。

(3)采用多种试验方法,勘探手段研究软岩及风化岩体的工程性质,挖掘其潜在的方面。

作者简介:

赵启龙(1966年-),男,四川中江人,水利部四川水利水电勘测设计研究院勘察分院工程师,从事水电工程地质工作