

冶勒水电站深厚覆盖层坝基的勘察研究

④
15-17, 24

杜明祝

(国家电力公司成都院成都水利水电建设工程公司, 四川 成都 610072)

P642
P641

摘要:通过深入细致的地质勘察研究工作,对冶勒电站坝基深厚覆盖层的工程地质条件进行了充分揭露,并对其进行了分析评价。地质勘察结果表明,冶勒电站坝基工程地质与水文地质条件虽然复杂,但经相应的防渗、抗渗工程处理,兴建125.5 m高的沥青混凝土心墙堆石坝是可行的。

关键词:深厚覆盖层;地质勘察;工程地质评价;冶勒水电站

中图分类号:TU195;TV221.2

文献标识码:B

文章编号:1001-2184(1999)03-0015-03

1 概况

冶勒水电站是大渡河支流南桎河“一库六级”开发的龙头水库工程。工程兴建的主要任务是发电,电站采用混合式开发,大坝设计为沥青混凝土心墙堆石坝,最大坝高125.5 m,正常蓄水位高程2 650 m,总库容2.98亿 m^3 。水库具有多年调节性能,电站装机容量24万kW,年发电量5.88亿 $kW \cdot h$ 。本工程的兴建除自身发电效益外,还可使下游5个梯级电站和大渡河已建的龚嘴、铜街子水电站的保证出力增加约16万kW,效益显著,是四川电力系统中难得的枯水期补偿电源点。

坝址位于新生代断陷盆地边缘的峡谷河段上,距安宁河东、西支断裂分别为4 km、2 km。坝址左岸为晋宁期石英闪长岩,节理裂隙发育,岩体卸荷强烈,卸荷水平深度60~80 m。河床及右岸由第四系中、上更新统冰水河湖相沉积层组成,钻探揭示其最大厚度大于420 m,河床下部残留厚度160 m,自下而上分为5大岩组:第一岩组,弱胶结卵砾石层(Q_3^1);第二岩组,块碎石土夹硬质粘性土(Q_3^2);第三岩组,弱胶结卵砾石层与粉质壤土互层(Q_3^{1-1});第四岩组,弱胶结卵砾石层(Q_3^{2-2});第五岩组,粉质壤土夹炭化植物碎屑层(Q_3^{3-1})。该套巨厚冰水河湖相沉积层各岩组岩相和厚度变化较大、层次较多,物理力学特性各异,含水、透水程度不均一,并有多层承压水分布。坝址工程地质、水文地质条件复杂。为此,对其筑坝建库工程地质条件进行了长期而大量的地质勘察和深入细致的研究工作。

收稿日期:1999-06-16

2 勘察过程回顾

冶勒水电站的勘测设计工作,是在气候严寒、潮湿多雨和交通运输极其艰苦的环境下,成都院通过精心勘测、精心设计和组织管理而完成的。若从开发研究阶段算起,历经坝址选择、初步设计,到初设审查及咨询调研后的补充地勘试验工作,则前期勘察时间基本连续达8年之久。

本工程勘测设计可追溯到70年代初,1971~1972年间对两岔河坝址曾开展了规划选点地勘工作,1972年提交“汇报材料”后中断勘探。1985年5月~1986年8月,随着南桎河规划的启动,对本工程进行了开发研究阶段的勘测设计,重点对两岔河坝址建坝条件和水库渗漏问题做了进一步的地质勘探与论证,于1986年底完成了“四川省南桎河冶勒水电站开发研究报告”。1987年1月,原水利水电规划设计总院在北京对开发研究报告进行了审查,会议肯定了冶勒水库作为龙头水库的必要性,并要求加快开发进度,决定不经过可行性研究直接开展本工程的初步设计。据此,成都院首次向总院签订了初步设计工作项目承包协议书,为加快冶勒初步设计和南桎河梯级规划,随即修建了勘测公路和设置水文站观测收集水文气象资料。

1987年7月~1988年12月,围绕坝址比较与选择,在多次组织有关专业深入现场查勘的基础上,先后对两岔河上、下坝址和三岔河坝址全面开展了地质勘探试验和相应的设计工作,得出了下坝址的地质条件优于上坝址的初步结论,于1988年底提交了“四川省南桎河冶勒水电站坝址选择专题报告”。1989年4月在北京,由原水利水电规划设计总院主持召开了选坝技术讨论会,会议着重研究了3个坝

址的比较,初步同意成勘院推荐的下坝址;并要求继续查明作为坝基防渗依托的第二岩组块碎石土夹硬质粘性土相对隔水层的分布范围、厚度、性状和渗透变形稳定情况,研究在高地震烈度区深厚覆盖层上建高土石坝的坝型及基础防渗处理措施等问题。

在初步明确坝址、坝型的基础上,根据选坝技术讨论会精神,1989年4月~1991年1月,重点对选定的下坝址各枢纽建筑物轴线、坝基岩土物理力学参数,以及筑坝材料和水库渗漏等,继续深入地开展了地质勘探与试验研究,于1991年6月完成了“四川省南桧河冶勒水电站初步设计报告”。至此,经各阶段大量的地质勘测、试验工作,坝址主要工程地质问题已查明,达到了初步设计的工作深度和要求。1991年9月在成都,经原水利水电规划设计总院会同四川省建委、计经委审查通过“初步设计报告”,并于1992年10月和1995年8月由中国国际工程咨询公司主持,分别进行了咨询调研与评估。

鉴于坝址工程地质、水文地质条件的复杂性,根据初设审查和咨询调研提出的意见与建议,1992年以来对坝址地震危险性分析、坝基各岩组物理力学参数与渗透变形指标、地下水动态特征等,又进行了全面复核和补充勘察论证;并在大坝右岸开展了100 m深混凝土防渗墙和100 m深帷幕灌浆的现场试验,为本工程的立项、建设,奠定了可靠基础。

3 勘察方法与研究内容

冶勒电站坝址主要工程地质问题是对深厚覆盖层坝基渗漏、渗透变形稳定研究,以及对地基不均一沉降变形和粉质壤土抗振动液化的评价。为此,在前期勘察工作中采用多种勘测、试验方法进行了系统的论证:

3.1 工程地质测绘

利用沟谷露头剖面测制详细地层柱状图,采集炭化植物碎屑、钙质胶结物进行 ^{14}C 法、TL法年龄测试,根据岩性组合、沉积韵律和含水、透水特征,再结合深孔钻探取芯资料,确定地层层序和时代,建立水文工程地质岩组;开展坝区1:2000综合工程地质测绘,对坝址左右岸或下游渗流出逸部位,以及可能渗漏进出口地段,进行了重点调查和研究。

3.2 物探

勘察初期阶段,在库坝区大范围内进行了地震勘探和电法勘探,以探查覆盖层厚度、结构、地下水位、基岩顶板埋深与起伏状态等,亦为防渗线勘探布置提供了信息。

3.3 勘探

根据坝址地形地质特点,结合枢纽建筑物布置和防渗需要,勘探手段以钻探为主,辅以井探、洞探。勘探范围自坝轴线向上、下游延伸各1.5~1.8 km,沿防渗线长约1.3~1.5 km;钻孔深度以深孔为主,深孔(200~250 m)与浅孔(80~150 m)相结合,最深达420 m。为获取深厚覆盖层原状样岩芯,钻进工艺普遍采用了成勘院研制的SM冲洗液金刚石钻进与取样新技术。通过93个钻孔计6887 m的钻探和物探综合测井,查明了各含水或透水岩组与相对隔水岩组的埋深、厚度、岩性岩相变化和空间分布范围,以及深部承压水和浅层承压水的水头、水量和埋藏条件。

3.4 水文地质试验

进行钻孔抽、注水试验或承压水扬水试验和试坑渗透试验,以及室内渗透试验,获取了各岩组水文地质参数,为渗透性分级和防渗设计提供了依据。138段(组)水文地质测试成果表明:第一、三、四岩组弱胶结卵砾石层渗透系数 $K=6.6\times 10^{-3}\sim 1.58\times 10^{-4}\text{ cm/s}$,属弱透水岩组;第三、五岩组之粉质壤土 $K=2.3\times 10^{-5}\sim 1.4\times 10^{-6}\text{ cm/s}$,为微透水层;第二岩组块碎石土夹硬质粘性土为坝基防渗的相对隔水层, $K=3.51\times 10^{-5}\sim 5.6\times 10^{-9}\text{ cm/s}$,属微~极微透水岩组。

3.5 渗透变形试验

开展现场(室内)渗透变形试验和反滤试验,获取各岩组水平向与垂直向的抗渗坡降值,以合理选择渗控参数和确定坝基防渗形式与范围。19组试验结果均反映出坝基各岩组具有较高的抗渗强度特点。第二岩组块碎石土结构紧密,临界坡降 $i_c=3.81\sim 5.94$,破坏坡降 $i_f>11.11$,约高出一般块碎石土的4~5倍;第三岩组之粉质壤土呈超固结状态, $i_c=7.1$, $i_f=12.2$ (平行层面);第三、四岩组弱胶结卵砾石层, $i_c=1.1\sim 2.1$, $i_f=5.7\sim 10.0$ 以上(平行层面),当采用土工布作反滤时,坡降值大为提高($i_c=1.94\sim 4.45$),为未加反滤时的1.76倍以上,而渗透系数 K 降低为 $9.35\times 10^{-5}\text{ cm/s}$ 。

3.6 土体物理力学性能试验

针对坝址区巨厚冰水河湖相沉积层在堆积过程中经历了较长时间(约6.0~3.2万年)不同程度的泥钙质胶结和超固结压密(最大先期固结压力达4.5~6.0 MPa)作用的特点,为研究其工程地质特性,获取物理力学参数,分别利用地表露头点、竖井、平洞和钻孔,开展现场密度、载荷、剪力、旁压试验和动力特性试验。大量试验成果表明,坝基各岩组具有密

度大、压缩性低、承载力和强度均高的特点。第二岩组块碎石土的干密度 $\rho_d = 2.24 \text{ g/cm}^3$, 现场载荷试验比例界限荷载 $P_{1/2} = 1.4 \text{ MPa}$, 变形模量 $E_0 = 44.3 \text{ MPa}$ (已卸荷), 饱和固结快剪 $\varphi = 39.52^\circ$, $C = 0.14 \text{ MPa}$; 第二岩组的硬质粘土和第三岩组粉质壤土, $\rho_d = 1.78 \sim 1.88 \text{ g/cm}^3$, $P_{1/2} = 0.8 \sim 1.1 \text{ MPa}$, $E_0 = 44 \sim 68 \text{ MPa}$ (已卸荷)。饱和固结快剪 $\varphi = 33.27^\circ \sim 35.94^\circ$, $C = 0.125 \sim 0.21 \text{ MPa}$; 第三、四岩组弱胶结卵砾石层, $P_{1/2} = 1.4 \sim 3.6 \text{ MPa}$ 以上, $E_0 = 133.58 \sim 253.4 \text{ MPa}$, 天然固结快剪 $\varphi = 41.98^\circ \sim 42.96^\circ$, $C = 0.22 \sim 0.35 \text{ MPa}$ 。

3.7 水同位素测试

采集不同含水介质的地下水与地表水, 进行水化学分析和同位素(氘、氚、 ^{18}O)测定, 从水化学场研究地下水与地表水的补径排关系。据 208 组水同位素测定结果, 库坝区地下水、地表水的同位素组成存在明显的差异, 特别是埋藏于第一岩组弱胶结卵砾石层深部承压水 δD 、 $\delta^{18}\text{O}$ 值最低, 其氚含量 ($\leq 5.0 \text{ Tu}$) 与河水氚含量 ($22.31 \sim 29.39 \text{ Tu}$) 相差甚大, 表明该承压水补给的源远流长, 径流缓慢, 排泄不畅, 水交替较弱, 为 50 年代以前进入地下的“古水”。

3.8 地下水动态观测

利用钻孔进行地下水动态长期观测, 同时设置河床水文断面开展水文测验, 从动态与均衡研究地下水与河水补排关系。据地下水长期观测结果, 深部承压水测压水位一般保持在 2 570~2 572 m 高程, 承压水通过钻孔往上喷射, 高出坝址河水位 28~30 m, 且动态稳定。

3.9 电模拟试验

根据已获取的水文地质参数, 结合枢纽布置进行三维电阻网络渗流试验, 研究筑坝建库前后的渗流场, 求解了不同边界条件下的渗流量, 给出了渗控工程措施建议, 为大坝防渗方案的确定提供了依据。

4 工程地质评价

通过上述工作, 对冷勒深厚覆盖层坝基工程地质问题作如下评价:

(1) 河床坝基及其右岸由第四系中、上更新统卵砾石层、粉质壤土和块碎石土层组成的五大岩组, 在较长地质历史时期里经历了不同程度的泥钙质胶结和超固压密过程, 结构密实, 透水性较弱, 抗渗稳定性较好, 力学强度和变形指标较高, 对高土石坝有良好的适应性。

(2) 坝基河床下部埋深 18~24 m 以下的第二

岩组块碎石土夹硬质粘性土, 厚 31~46 m, 具有较好的隔水与抗渗性能, 向上、下游延伸长度均可达 1.3~1.5 km, 往右岸坝肩延展宽度约 600 m 逐渐减薄为上覆第三岩组Ⅱ。粉质壤土层替代, 共同组成较完整的相对隔水层。因此第二岩组可以作为坝基防渗工程的基础。

(3) 坝基深部的第一岩组卵砾石承压含水层, 呈泥钙质胶结状态, 透水性较弱, 承压水径流缓慢, 排泄不畅, 含水层封闭条件较好, 筑坝建库无防渗措施时, 沿第一岩组的渗漏量不大, 仅 0.285~0.298 m^3/s , 可不进行防渗处理。水库蓄水后虽然坝下游第一岩组的承压水头将有所增高, 渗透压力较大, 但不易击穿上覆隔水、抗渗性能较好的第二岩组而影响坝基稳定。

(4) 坝基粉质壤土夹炭化植物碎屑层, 沉积时代为 Q_3^2 , 沉积过程中曾受到高达 4.5~6.0 MPa 的先期固结压力作用, 呈超固结压密状态, 结构密实, 动、静强度指标和标准贯入击数均高, 经评判和动剪应力对比法计算, 在 9°地震设防烈度或地面最大水平加速度为 0.322 g 与 0.273 g 情况下, 坝基不同深度饱和状态的粉质壤土均不会发生液化破坏而影响坝体稳定。

(5) 坝基及右岸坝肩分布的泥钙质胶结卵砾石层和粉质壤土, 天然状态下具有较高的抗渗强度、易溶盐含量低; 且库坝区地下水和地表水均属弱碱性低矿化度碳酸盐类水体, 不具侵蚀性。预测筑坝建库后水质和溶解性不会发生重大改变, 沿第二、三、四岩组内部及其接触面产生管道式的机械、化学管涌的可能性极小。

右岸坝肩 2 650 m 高程至河床坝基下部深 18~24 m 范围内的第三、四岩组中, 地下水位较低, 建坝后是坝基及绕坝渗漏的主要途径 (约占总渗流量 0.95~0.957 m^3/s 的 70% 左右), 需进行防渗工程处理。左岸坝肩石英闪长岩卸荷岩体采取帷幕灌浆处理也是十分必要的

5 结 语

冷勒水电站经各阶段大量地质勘探和试验研究, 主要工程地质问题已查明。坝址工程地质水文地质条件虽然复杂, 但经相应的防渗、抗渗工程处理, 兴建 125.5 m 高的沥青混凝土心墙堆石坝是可行的。坝址右岸 100 m 深防渗墙和 100 m 深帷幕灌浆的现场试验已取得可喜的成果, 其它一些筑坝关键

(下转第 24 页)

从表 2 分析可以看出,顿巴斯准则判断的发生岩爆的临界应力值总体偏大,巴顿判据与后面分析的围岩稳定性临界应力值接近,故采用巴顿判据较为合适。隧洞区除大理岩、灰岩发生岩爆的深度较浅为 200 余 m 外,变质石英砂岩、粗面岩、角闪岩等发生岩爆的深度均在 650 m 以上。

8 高地应力条件下的围岩稳定性

这里只探讨地应力对围岩的变形破坏稳定问题。

8.1 围岩变形破坏判据

采用围岩——强度应力判据。

$$S = \frac{R_c \cdot K_v}{\sigma_m}$$

式中 S ——围岩强度应力比;

R_c ——岩石饱和单轴抗压强度,MPa;

K_v ——岩体完整性系数;

σ_m ——围岩最大主应力,MPa。

对坚硬连续介质(或 I、II 类围岩)。

当 $S > 4$ 围岩稳定;

$S = 2 \sim 4$ 时 稳定性差;

$S < 2$ 时 不稳定。

对中等坚硬岩石(片岩或 III 类围岩)。

当 $S < 2$ 时 围岩不稳定;

对软弱岩石(千枚岩或 IV、V 类围岩)。

当 $S < 1$ 时 围岩不稳定。

8.2 岩石抗压强度与岩层走向的关系

对片岩、千枚岩等软弱岩石,片理、层理发育,岩石强度具有明显的方向性,垂直片理和层理的强度最小,平行片理和层理的强度最大,若岩石强度和片理、层理走向的夹角(暂未考虑陡倾角影响)呈线性关系,则任一方向的岩石强度有下列关系式:

$$R = R_{\perp} + (R_{\parallel} - R_{\perp})\beta/90^{\circ}$$

式中 R_{\perp} ——为垂直片理和层理的强度;

R_{\parallel} ——平行片理和层理的强度;

β ——岩石强度和片理、层理走向的夹角。

利用围岩破坏判据及岩石强度资料,可以计算出各类岩体在地应力条件下的临界稳定应力和查地应力~埋深关系图可知临界深度。见表 3。

表 3 各类岩体临界稳定应力和临界深度表

岩 性	应力比 $S = 2 \sim 4$		应力比 $S = 2$		应力比 $S = 1$		备 注
	临界稳定应力 /MPa	临界深度 /m	临界稳定应力 /MPa	临界深度 /m	临界稳定应力 /MPa	临界深度 /m	
变质石英砂岩	24~48	660					厂 区
角闪岩	27.6~55.3	860					么堂子沟~挡巴沟
大理岩	19~37.8	250					
粗面岩	26~52	800					得胜沟~厂区
灰岩	18~36	220					
白云千枚岩					8.7	320	得胜沟~厂区
炭质千枚岩					8.78	325	进水口~么堂子沟
千 枚 岩					11.1	410	么堂子沟~挡巴沟
方解石片岩			13.6	500			
石英片岩			22	430			得胜沟~厂区

从表 3 的计算成果可知,岩石产生变形破坏的深度与岩爆有一定的对应关系,坚硬岩石产生变形破坏的深度除大理岩、灰岩在 200 余 m,其它均在 660~800 m 以上,千枚岩等软岩发生变形破坏的深度在 320 m 以下。施工中应结合具体情况采取不同的措施。特别指出的是,施工支洞洞轴线与岩层走向夹角较小,更易产生变形破坏,深度更浅。

9 结 语

(1)深埋隧洞的研究是较为复杂的,它需要施工的进一步论证,但对指导设计、施工是非常有益的。

(2)不同岩石中的地应力状态不尽相同,岩石的变形破坏形式各异,各洞段的工程地质问题亦不同,当在施工中采取相应的措施后,隧洞的施工开挖是可行的。

参考文献:

- [1] 王贤能等.深埋长大隧道中地下水对地温异常的影响[J].地质灾害与环境保护,1996.(4).
- [2] 朱焕春等.岩体地应力状态、影响因素及河谷地应力场的数值检验.第四届全国青年工程地质大会论文集[C].武汉,中国地质大学出版社,1997.352~358.

作者简介:

彭仕雄,男,国家电力公司成都院成都水利水电建设工程公司地质一处副处长,高级工程师,学士。

开发有限责任公司开展招标设计工作。

作者简介:

杜明祝,男,国家电力公司成都院成都水利水电建设工程公司,教授级高级工程师。

(上接第 17 页)

技术问题亦基本解决;自 108 国道从栗子坪接口,经厂到大坝两岸进场公路已建成。目前,成都院正在配合电站业主——四川省电力局及南桤河流域水电