

地下水低槽岩溶发育条件与成库潜在风险评估探究

陈金平 张黎

普洱市水利水电勘测设计院有限公司, 中国·云南 普洱 665000

摘要: 哥老哨水库位于云南省西盟佤族自治县, 库盆发育有断裂贯穿该水库库区及坝址区, 右岸岩溶发育, 水文地质条件复杂, 通过钻探、物探、钻孔压水试验、地表泉点调查、连通试验等勘察手段查明右坝肩存在地下水低槽渗漏带, 但该渗漏带宽度和深度难以查清, 结合工程前期勘察成本大、后期建设风险大的特点, 认为拟建坝址成库潜在风险较大, 在临近流域另寻合适的坝址方为上策。

关键词: 岩溶发育; 低槽渗漏带; 成库潜在风险

Investigation of the Conditions for the Development of Karst in the Groundwater Depression and the Potential Risk Assessment for Reservoir Formation

Jinping Chen Li Zhang

Pu'er Water Resources and Hydropower Survey and Design Institute Co., Ltd., Pu'er, Yunnan, 665000, China

Abstract: The Geli Reservoir is located in Ximeng County, Yunnan Province. The reservoir basin is developed with fractures that the reservoir area and the dam site. The right bank is characterized by karst development and complex hydrogeological conditions. Through drilling, geophysical exploration, bore pressure water tests, surface spring investigations, and connectivity tests, it has been determined that there is a groundwater leakage zone at the right dam shoulder. However, the and depth of this leakage zone are difficult to ascertain. Considering the high costs of preliminary engineering investigations and the high risks of later construction, it is believed that the risks of the proposed dam site are significant. Therefore, it is advisable to seek an alternative suitable dam site within the nearby watershed.

Keywords: karst development; low seepage zone; potential risk of reservoir formation

0 前言

大中型水库的勘察费用一般足够查明水库渗漏问题, 但对地质条件复杂的小型水库而言, 受资金等各方面条件限制, 有些特殊的岩溶渗漏问题难以查清。论文以云南省西盟佤族自治县哥老哨水库为例, 通过钻探、钻孔压水试验、物探、地表泉点调查、连通试验等勘察手段, 从地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件、工程地质条件和岩溶发育等对右坝肩存在地下水低槽渗漏带进行了分析, 认为在现有条件下, 难以查明水库渗漏问题, 即使不计成本投入, 也不一定能得到理想的结果。应停止进行下一步工作、及时止损, 规避风险。希望通过论文, 为类似工程提供借鉴。

1 工程概况

拟建哥老哨水库位于普洱市西盟佤族自治县永业村委会的永哈拉河中上游, 大坝坝型为粘土心墙堆石坝, 水库正常蓄水位 1140.768m, 大坝最大坝高 81.20m, 坝顶高程 1143.70m, 坝顶长度 305m, 宽度 10m, 水库总库容为 693.0 万 m^3 , 坝址以上控制径流面积 17.1 km^2 。是一座集灌溉用水和农村人畜饮用水为一体的小 I 型水利枢纽工程, 水库对西盟佤族自治县勐卡镇三个村委会 7 个村小组农村居民的生活饮用及以上村小组的灌溉用水。

2 工程区基本地质条件

2.1 地形地貌

测区属于横断山脉南延的部分, 地处云南高原南缘, 地貌分区属横断山脉切割山地峡谷区的南段中、高山地区。测区地势北东侧高、南西侧低, 呈台阶状下降至南康河河谷, 为斜坡、缓坡及部分陡坡地形, 相对高差在 700~1200m。永哈拉河是新厂河(南康河上游)的一级支流, 南卡江的二级支流, 属怒江水系。

永哈拉河两岸不对称分布有漫滩、阶地, 属河流冲积堆积地貌。水库回水 1.25km, 库区属构造剥蚀中低山地貌, 河道“蛇”曲型展布, 河谷相对较窄, 沟谷呈“U”型, 河床高程 1085~1099m, 河床一般宽 16~42m。左岸邻谷河底高程 1200m, 距库区 3.2km, 左岸山体宽厚, 地形完整性差, 缓坡地形, 近河谷段多呈陡坡。右岸邻谷河底高程 1300m, 距库区 2.7km, 未见低邻谷发育。右岸高程 1185m 高程以下自然坡度 15°~30°, 高程 1185m 以上为台地地形, 库区右岸大理岩溶蚀侵蚀缓坡台地地形, 发育溶洞群、溶蚀洼地, 溶洞的洞口宽度一般 2~3m, 多被人工充填, 落水洞呈串珠状, 落水洞长轴方向近垂直河道; 在库区右岸距坝轴线 0.1km、0.5km 和 1.4km 处分别发育有 3 条冲沟, 常年无断流。

2.2 地层岩性

工程区主要出露古生界地层和第四系（Q）地层，根据地层详述如下：

①古生界地层，可细分为四段：第一段为古生界寒武系王雅组下段（ $C_2\omega^1$ ），主要为石英片岩、含绿泥娟云石英片岩互层、绿泥长石白云母石英片岩，厚度> 247.2m，分布于测区外围的东部地区；第二段为古生界寒武系王雅组上段（ $C_2\omega^2$ ），主要为石英微晶片岩、绿泥娟云微晶片岩夹千枚岩、娟云硅质板岩及变基性岩、结晶灰岩，厚 608.0~1442.0m，在库区及枢纽区均有分布；第三段为古生界寒武系允沟组下段（ C_2y^1 ），主要为灰质白云岩大理岩、条带状大理岩夹透闪大理岩及绿泥阳起片岩、娟云硅质板岩，厚 700.0~1267.5m，在库区及枢纽区均有分布；第四段为古生界寒武系允沟组上段（ C_2y^2 ），主要为绿泥娟云微晶片岩、娟云石英微晶片岩，夹板岩、变质岩屑石英砂岩，厚 205.0~927.5m，主要分布于水库测区外的西南部。

②第四系（Q）地层广泛分布于缓坡、斜坡及河流、冲沟地带，由残坡积、冲洪积物及崩塌堆积物等组成，厚一般 2.00~12.0m。

2.3 地质构造

在水库工程测区（库盆地带）发育有东西向小向斜（B1），库盆整体呈东西延伸，置于向斜的核部地带；在 B1 小向斜核部发育有永哈拉河断裂（ F_{108} ）， F_{108} 正断层从坝址区右岸经过，断层走向 EW，倾向 N，倾角 70° ，断层破碎带宽度 5~10m，断层影响带宽度达到 30m，属于导水断层。该断层贯穿水库库盆区，向西延伸至南康河。 F_{108} 正断层上盘发育有 3 条小断层：（ F_{108-1} ）属于压性相对不透水逆断层。断层走向 $80^\circ\sim90^\circ$ ，与库盆近平行，延伸长

约 0.85km；（ F_{108-2} ）断层两盘均为大理岩，岩体破碎，裂隙及溶蚀现象发育，属于张性导水断层，与河流近垂直，倾角 $85^\circ\sim90^\circ$ ，延伸长约 0.95km；（ F_{108-3} ）断层走向与断层（ F_{108} ）近垂直，属于张性导水断层，与河流近垂直，延伸长约 0.97km（见图 1）。

3 水文地质条件

3.1 区域水文特征

水库位于永哈拉河，是南康河的一级支流，南卡江的二级支流，属怒江水系，为槽谷冲沟地形。东部低邻谷库兴河，距离 7.5~8km，库兴河河道高程 800~900m，低于永哈拉河 270~370m；南部及北部邻谷距离 2~4km，河底高程均高出永哈拉河 50~200m，总体库区距离邻谷较远或邻谷河底高程均高于永哈拉河，南康河为区内最低侵蚀排泄基准面。

3.2 地表径流

永哈拉河是库区内地势上的最低排泄面，河水为常年流水，主要为地表水及地下水补给河水。

3.3 岩溶规模及特征

在 F_{108-3} 断层东盘地表大面积出露大理岩，地表部分被碎石土覆盖，该地段处于 F_{108} 、 F_{108-1} 、 F_{108-3} 之间，受断层影响严重，导致大理岩的石节理、裂隙发育，岩体严重破碎，大理岩地段的岩溶发育，出现大面积的溶洞群。可见溶洞分布面积约 5 万 $m^2\sim5.5$ 万 m^2 。大部分溶洞碎石土、耕地被覆盖，现状明显出露的溶洞主要有 5 个，详见表 1。溶洞群在 1182m 以下至河床地段的缓坡、斜坡（耕地中）有较多的溶洞（垂直溶洞）分布，调查出露地表的可见溶洞 15 个，溶洞呈带状或不规则分布，溶洞进口呈近圆形，宽一般 1.5~2.6m，可见深度一般 2.5~2.8m，局部大于 8.0m。

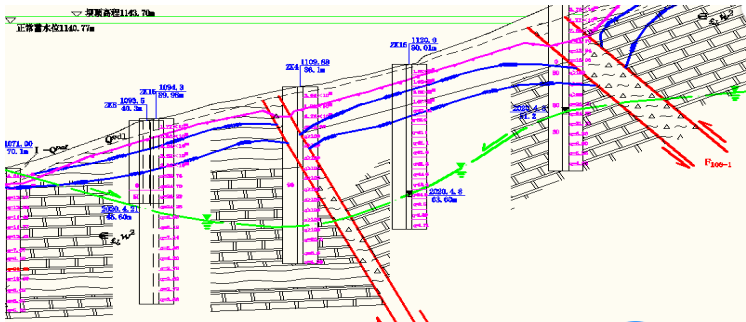


图 1 枢纽区右岸工程地质剖面图

表 1 岩溶统计表

名称及编号	出露高程（m）	溶洞描述
岩溶洼地	1182	直径 5m，深 1.5m
溶洞 1	1176.5	两个溶洞间距 1.5m，规模 5×3×1.5，3×3×1.5，溶洞走向 45° 方向
溶洞 2	1175	溶洞 3 个，间距 2m，规模 2×1.5×2.5，2×2×2.8，2×1.5×3，溶洞走向 350°
溶洞 3	1167	溶洞直径 2m，深 1.6m
溶洞 4	1162	溶洞规模 2×1×1.6
溶洞 5	1151	溶洞规模 6×5×3，长轴方向 28 度，地层产状：215 ∠ 34，弱风化状态

3.4 库区地下水补、径、排规律特点

枢纽区地下水主要为第四系孔隙水、基岩裂隙水及岩溶裂隙水类型。

坝址近坝库段左岸根据地质测绘及钻孔资料，地表水及地下水补给河水。永哈拉河接纳左岸溪沟和地下水往下游排泄；右岸受区域断层F₁₀₈及F₁₀₈₋₁两断层构造影响，近坝库段右岸坡深部隐伏大理岩地层，大理岩岩溶发育，断

层及断层影响带岩体破碎软弱，存在地下水异常现象。坝轴线ZK4钻孔水位低于河水位25m左右，近坝库段ZK13钻孔水位低于河水位12.4m左右，钻孔水位观测记录见表2。

右岸深部大理岩存在地下水低槽现象，存在右岸地下水与河水优先补给地下水低槽现象，低槽带内地下水独立水系顺河向往下游排泄。

表 2 钻孔水位观测记录表

钻孔号	日期	孔深（m）	地下水埋深（m）	水位高程 m
ZK5（孔口高程 1151.5m）	2020.4.5	82.6	51.2	1100.3
ZK13（孔口高程 1119m）	2020.3.17	30.53	无	
	2020.3.18	41.52	28.8	1090.2
	2020.3.22	70.27	54.4	1064.6
	2020.4.8	75.63	55.85	1063.15
ZK16（孔口高程 1120.1m）	2020.3.27	11.46	5.5	1113.5
	2020.3.30	40.14	37.4	1082.7
	2020.4.4	80.01	无	
	2020.4.8	80.01	63.6	1056.5（低于河床 14.04m）

4 库区及枢纽区渗漏分析

4.1 邻谷渗漏分析

地层岩性东部地形分水岭距离水库2~2.8km，分水岭走向呈南北向，高程1680~1920m。东部低邻谷为库兴河，距离7.5~8km，库兴河河道高程800~900m，低于永哈拉河270~370m；南部及北部邻谷距离2~4km，河底高程均高出永哈拉河50~200m；西部为永哈拉河下游，下游最低排泄河流为新厂河。总体库区距离邻谷较远或邻谷河底高程均高于永哈拉河，不存在邻谷东、南及北部邻谷渗漏问题。

4.2 地层及构造对水库渗漏分析

①永哈拉河断裂（F₁₀₈）：断层走向70°~106°，与库盆近平行，倾向（库区右岸）335°，倾角70°~80°，延伸长约7.0km。

根据本次勘察，该断层基本沿着永哈拉河流发育，贯穿该水库库区及坝址区，向西延伸至南康河。库盘及右岸处于该断层上盘，上部主要由（C₇y¹）为灰质白云岩大理岩、条带状大理岩夹透闪大理岩及绿泥阳起片岩、娟云硅质板岩组成，整体属于刚性地层，因受多区地壳运动影响，在该断层的上盆（库盆地段）发生有三条次级小断层（F₁₀₈₋₁、F₁₀₈₋₂、F₁₀₈₋₃），导致断层上盘岩石节理、裂隙发育，岩体严重破碎，大理岩地段的岩溶发育，出现大面积的溶洞群。下盘主要由C₇W²片岩组成（库区左岸）。

根据右岸ZK4勘察，断层两盘均为大理岩，岩体破碎，裂隙及溶蚀现象发育。ZK4钻孔压水试验，透水率q多大于100Lu，属于强透水性。在该断层地段的地下水埋深82m，比地表河水低约42m，形成地下水严重的低槽区，为地表水补给地下水，（F₁₀₈）断层带成为该库区向下游地下

渗漏的主要通道，根据对下游沿河流约4.0km地段勘察，未发现较大的泉水点出露，断层的地下渗漏通道较深、较远，该断层属于刚性导水正断层，对水库渗漏有严重的影响。根据本次勘察，断层F₁₀₈及F₁₀₈₋₁、F₁₀₈₋₂、F₁₀₈₋₃均属于导水断层，各地层之间在地下形成渗漏通道网。

②小断层（F₁₀₈₋₁）：该断层处于库区右岸，断层带宽约13m，断层带主要被黑色炭质泥夹碎石组成、断层带内不透水，但断层影响带透水。断层两盘均为大理岩，岩体破碎，裂隙及溶蚀现象发育，断层接触带的透水率q大于100Lu。该断层属于透水逆断层，对水库渗漏有严重的影响。

③小断层（F₁₀₈₋₂）：该断层处于库区右岸的坝轴线上游约145m地段，主要沿冲沟发育，断层带宽约不明（多被碎石土覆盖），断层两盘均为大理岩，岩体破碎，裂隙及溶蚀现象发育，推测断层接触带的透水率q大于100Lu，因该断层的存在，已导致冲沟水体产生断流，在冲沟与主河流沿线均未发现有泉水出露，说明冲沟地表的水体沿该断层渗漏至地下断层（F₁₀₈）贯通，该断层属于透水逆断层，对水库渗漏有严重的影响。

④小断层（F₁₀₈₋₃）：根据本次地表勘察，该断层属于断层（F₁₀₈）上盘的次级小断层。断层走向与断层（F₁₀₈）近垂直。属于张性导逆断层。断层走向近南北向，与河流近垂直，倾向西284°，倾角推测85°~90°，延伸长约0.95km。

在F₁₀₈₋₃断层东盘地表大面积出露大理岩，地表部分被碎石土覆盖，该大理岩地段处于F₁₀₈、F₁₀₈₋₁、F₁₀₈₋₃之间，受断层影响严重，导致大理岩的岩石节理、裂隙发育，岩体严重破碎，大理岩地段的岩溶发育，出现大面积的落水洞和溶蚀洼地。落水洞分布在高程1182m（正常水位1140m）至河床地段的斜坡地带，呈串珠状，长轴方向近垂直河道。分布面

积 5 万 m²~5.5 万 m², 调查出露地表的可见溶洞 15 个, 大部分溶洞已被碎石土、耕地被覆盖, 未被充填的溶洞主要有 5 个, 溶洞进口呈近圆形, 宽一般 1.5~2.6m, 可见深度一般 2.5~2.8m, 局部大于 8.0m, 详见表 1。

溶洞连通试验评价:

在出露的 5 个落水洞投放颜料, 同时对下游(库区)沿河流长达 3.5km 的河床及冲沟观测, 未发现有溶洞口, 未发现新的泉水点出露, 河流中无有色水体出露。推测库区右岸深部存在大的渗漏通道, 或存在暗河, 渗漏通道主要受构造影响, 形成构造裂隙溶蚀渗漏通道, 通道贯穿大理岩夹片岩, 地下已存在不规则状的网状通道, 本次连通试验未能查明库区渗漏特性, 认为库区右岸存在渗漏问题严重。

⑤断层透水性分析。根据枢纽区钻孔 ZK4 及 ZK5 资料, 两钻孔压注水试验中, 钻孔未观测到稳定地下水位及工作水位, 试验中有最大供水流量不起压现象。钻孔揭露断层 F₁₀₈ 及 F₁₀₈₋₁ 破碎带物质, 根据钻孔压注水试验资料, 断层影响带内属中等透水性。断层带及断层影响带压注水试验统计如表 3 所示。

表 3 断层带透水性分析压注水试验统计表

孔号	试验段深度 (m)	统计指标	吕荣值 (Lu)
ZK4	20.4~86.1	试验组数	10
		最小值	78.03
		最大值	100
		平均值	97.8
		小值平均值	78.03
		大值平均值	100
ZK5	20.5~50	试验组数	9
		最小值	13.7
		最大值	100
		平均值	47.36
		小值平均值	21.04
		大值平均值	100

根据枢纽区钻孔 ZK4、ZK5、ZK13、ZK16 水位观测资料, 右岸存在双层地下水现象, 上部板岩、片麻岩地层厚

度 18~25m, 地下水埋深 18~23m, 该水位变化较大, 枯水季节干枯; 下部隐伏大理岩地层存在地下水低槽现象, 大理岩内存在独立水位, 存在双层地下水情况, 地下水出露高程 1041~1057m 范围, 推测最低点位于 ZK4 钻孔位置。枢纽区永哈拉河存在一定水量排泄进入深部大理岩现象。

综上所述, 枢纽区、库区地下水主要靠大气降雨补给, 地下水补给周期短, 径流、排泄快, 库区左岸为地下水补给河水, 库区右岸为河水或地表水补给地下水, 坝基、坝肩及库区存在严重渗漏问题。右岸溶洞群发育, 溶洞群主要处于库区内, 溶洞与库区的 F108 区域断层已形成地下渗漏通道系统, 其渗漏特性无法查明或难查明, 无法进行有效的防渗处理。

5 结语

区内坝肩及库区发育多层大理岩, 岩溶强烈发育, 水文工程地质条件极为复杂, 大理岩发育规律难于查清。本工程地勘工作量已经超出常规很多, 小 I 型水库的地质勘察费用较大中型工程少, 继续投入更多的勘察资金和勘察措施, 仍不一定能查清, 无法采取有效的防渗措施。水利开发建设中出现了不少教训, 最为突出的是岩溶渗漏问题, 如前期勘察不清就进行设计施工, 会给工程建设造成工期、费用的增加, 甚至成为废库。因此, 本工程不再进行下一步工作, 定义拟建坝区域不具备建库条件。

参考文献:

[1] 刘浩,田茂中.贵州冗赖水库岩溶成库条件分析[J].中国岩溶,2019, 38(4):515-523.

[2] 卢晓鹏,谭光明.灿柯水库岩溶区渗漏分析与治理措施[J].水利技术监督,2012(5):56-59.

[3] SL31—2003.水利水电工程钻孔压水实验规程[S].

[4] GB 50487—2008.水利水电工程地质勘察规范[S].

作者简介: 陈金平(1974-), 男, 中国云南泸西人, 本科, 副高。