

薛伟,袁宗峰,周密.西南地区某岩溶水库渗漏分析[J].中国岩溶,2019,38(4):508-514.

DOI:10.11932/karst20190406

西南地区某岩溶水库渗漏分析

薛伟,袁宗峰,周密

(中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司,昆明 650041)

摘要:西南地区某水库位于云贵高原中北部,库区可溶盐岩分布较广且岩溶较发育,中部有一条近南北走向的区域性断裂(F_1)穿过两岸,为论证此水库成库的可能性,通过地表调查及物探,结果表明:此水库向低邻谷渗漏的可能性小,沿 F_1 断裂带向南部或向下游渗漏的可能性问题不大,存在沿灰岩溶蚀通道向下游和向库外渗漏的可能性,沿左岸大理岩与灰绿岩接触带或大理岩向坝下游绕坝渗漏的可能性不大;水库正常蓄水位在 Kc_1 底板高程以下有成库的可能。

关键词:水库;可溶盐岩;区域性断裂;渗漏;成库

中图分类号:TV223.4;TV697.3 **文献标识码:**A

文章编号:1001-4810(2019)04-0508-07

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引言

西南地区岩溶面积占西南地区幅员面积的三分之一以上^[1]。由于岩溶发育的特殊性,复杂性^[2],地下水多通过岩溶管道发生渗漏。在可溶盐岩地区兴建水库,首先是判断水库蓄水的可能,是否存在渗漏通道,二是要考虑水工建筑物的稳定安全^[3]。根据相关资料,在可溶盐岩分布区,可溶盐岩是决定水库成立的关键因素之一,而构造条件、地形地貌对岩溶的发育方向和空间分布等具有重要的控制作用^[4]。本文通过调查导致西南地区某水库渗漏的工程地质条件,分析其渗漏的可能性,以期今后类似项目的建设提供借鉴。

1 库区地质条件

某水库位于云贵高原中北部,地貌特征受构造控制,山川近南北向延伸,东西排列,总体地势北高南低,水库流域背靠卓干山,流域分水岭东北部卓干山为区内最高点。河段整体为“V”字型狭长沟谷,河谷总体呈“S”近SW向延伸,河谷弯曲,两岸地形较

陡,其中在坝址上游左岸因开挖矿洞弃渣堆积形成一较开阔的平地,而右岸地形坡度一般在 $30^\circ\sim 40^\circ$,局部近直立,由于石料场开采形成高度不等的开挖平台。库区地层总体出露较为复杂,主要以泥盆系中统(D_2^d)、二叠系下统栖霞茅口组(P_1q+m)地层为主,此外华力西期辉绿岩脉(v)在坝址附近出露,三叠系上统舍资组及侏罗系下统冯家河组(T_3s+J_1f)(岩性为黄褐色薄层状泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩),与二叠系下统栖霞茅口组断层接触、与泥盆系中统呈角度不整合接触。华力西期辉绿岩为灰绿色致密块状—块状侵入岩,眼球状构造,在平面上呈不规则椭圆状,在剖面上呈锥状,在左岸出露拔河高在 $20\sim 40\text{ m}$ 之间,在右岸出露拔河高约 70 m ,辉绿岩与周边围岩之间接触带较起伏,因岩相不同而不同,与 D_2d 在灰岩之间形成 $0.5\sim 1.5\text{ m}$ 大理岩条带,局部可达 30 m ,岩相接触带在平面上呈“m”状起伏出露,与 T_3s+J_1f 接触带见变质砂岩,宽度约 1 m 。岩体多呈弱风化,岩石呈灰绿色,块状构造,致密坚硬^[5]。

库区处于团街—大缉麻“多”字型构造带内,断层发育,龙测村—大缉麻断层(F_1)断层从库尾右岸经

资助项目:云南省禄劝县本业水库工程(ND63—KM1207—0922)

第一作者简介:薛伟(1982—),硕士,高级工程师,主要从事水文地质、环境地质、工程地质调查研究。E-mail:182352667@qq.com。

收稿日期:2019—04—30

水库区中部斜穿左岸至下游,龙测村一大缉麻断层为库区附近主要大断裂,受区域断裂影响,在坝址左岸发育区域性断层,右岸发育二条Ⅲ级结构面(F_4 、

F_5),在坝址上游发育一条Ⅲ级结构面(F_3),受侵入岩影响,发育一定规模的3条挤压带,岩体在断层及侵入岩附近相对破碎,Ⅳ、Ⅴ级结构面较发育(图1)。

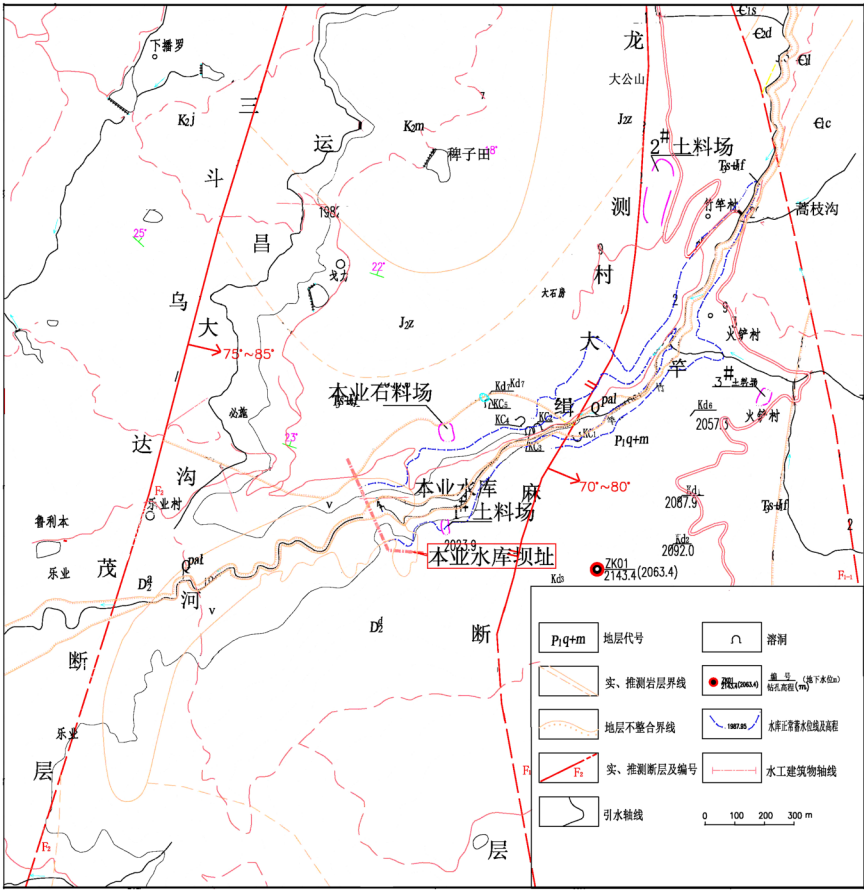


图1 工程地质及水文地质平面图

Fig. 1 Engineering geological and hydrogeological map

2 地下水补给、径流、排泄条件

水库所在河流称为本业小河,属金沙江流域普渡河水系,为其二级支流。本业小河汇入鹧鸪河后由北向南流过茂山镇、禄劝县城,在崇德镇转东流向,在岔河汇入普渡河。该流域位于卓干山脉西南麓。卓干山是掌鸠河流域中段顺流左岸的分水岭,与西北部云龙水库流域内卧璋山(最高峰海拔高程为2 885 m)相比为次高峰。卓干山最高峰海拔高程为2 803.2 m,东部及南部为翠华乡兆乌—翠华一片,区域河流自卓干山脉向东直接汇入普渡河;北部中屏镇境内河流则自卓干山脉向北东汇入普渡河;西部为团街镇,河流汇入普渡河。水库流域地势东高西低、北高南低,地处面向掌鸠河流域迎风面,主河为东北—西南向,海拔高程在1 950~2 803 m之间,

最大山谷落差近1 000 m。根据1:50 000地形图勾绘流域分水线,采用求积仪及CAD复核量算,此水库流域特征参数见表1。

表1 流域特征值成果表
Table 1 Characteristic values of drainage area

水库名称	流域面积/ km^2	主河长/ km	主河坡降/ $\%$	流域平均高程/ m
羊槽箐水库	2.93	1.56	118.0	2 430
羊槽箐水库—本业水库	11.60	6.69	53.6	2 200
本业水库	14.50	8.25	58.5	2 250

区内地下水类型齐全,主要为孔隙水、基岩裂隙水、岩溶水等,主要补给期为5~10月,大气降雨对岩溶地下水的补给方式主要是在地面形成汇流下渗补

给。其中松散孔隙水主要分布于河流两岸的残坡积土体,富水性一般弱—中等;基岩裂隙水主要发育在砂岩、泥岩、页岩地层中,地下水赋存在节理、构造裂隙、风化裂隙等中,富水性较弱;岩溶水主要发育在灰岩、大理岩等地层中,富水性较弱。区内各含水层、透水层地下水接受大气降水补给,通过覆盖层的孔隙、基岩裂隙、岩溶裂隙通道补给,向河流、冲沟等地形低洼处补给。

3 岩溶发育特征

根据地质调查及访问结果,该区岩溶发育主要受地层、构造等多种因素影响,岩溶类型主要有溶蚀洼地、溶洞、溶槽、溶孔及溶蚀裂隙,溶蚀地貌特征显著,分布的可溶岩地层主要有泥盆系中统和二叠系下统栖霞茅口组,两者成分有一定差异,前者主要为中晶灰岩或泥灰岩,其间有砂泥岩互层,反映出海陆交互的沉积特征,后者主要为隐晶或微晶灰岩,灰岩纯度较高,反映出浅海相—滨海相沉积的特征。经地表水下渗、淋滤,后者溶蚀程度明显高于前者,前者主要发育小规模岩溶洼地、溶洞或溶蚀裂隙,后者主要发育大型岩溶洼地或溶洞。此外,在泥盆系中统中有沿断层 F_1 侵入的辉绿岩体,经辉绿岩岩浆热液变质作用,其外围形成宽度不大的大理岩条带,大理岩化程度与热液蚀变程度相关,据地质测绘,大理岩岩溶总体不发育,未见明显的溶蚀特征。

岩溶洼地在区内竹竿小河两岸山顶或山脊均有分布,但左岸无论发育数量或规模均多于右岸:左岸分布在库区外围火铲村一带,呈线状分布,总体沿龙测村—大缉麻断层南东侧分布,下伏地层为栖霞茅口组,洼地平面形态多呈椭圆形,长轴长80~110 m,短轴长50~70 m,表部多为第四系残坡积土覆盖,洼地底部多见落水洞;右岸高处发育一岩溶洼地,代表性的岩溶洼地见图2、图3。竹竿小河河谷范围内,溶洞及溶蚀裂隙较为发育,发育高程一般在1 978 m左右,溶洞主要集中在泥盆系灰岩中,代表性溶洞见图4至图7。

平面上工程区及外围岩溶洼地呈线状近SN向分布,与区域构造延伸方向基本一致,同时因该区区域性断裂均为压扭性断层,岩溶洼地均分布于区域断裂的上盘;垂向上,地表水沿近EW向陡倾张节理形成溶蚀通道,至本区最低侵蚀基准面(竹竿小河)转为顺层面溶蚀;此外,岩溶洼地均沿砂泥岩与碳酸盐岩岩相过渡带分布。



图2 岩溶洼地 Kd_1

Fig. 2 Karst depression Kd_1



图3 岩溶洼地 Kd_2

Fig. 3 Karst depression Kd_2



图4 溶洞 Kc_1

Fig. 4 Karst cave Kc_1



图5 溶蚀裂隙

Fig. 5 Dissolution fissures



图 6 溶洞 Kc₂
Fig. 6 Karst cave Kc₂



图 7 溶洞 Kc₃
Fig. 7 Karst cave Kc₃

3.1 受构造控制明显

岩溶发育主要表现为沿陡倾节理裂隙溶蚀形成垂直型溶洞,在近竹竿小河河床附近沿层面溶蚀。溶洞 Kc₁、Kc₂、Kc₃、Kc₅等深部,在高程 1 972~2 050 m 附近,沿陡倾节理面溶蚀形成贯通性溶洞,而在各溶洞洞口,表现形式均为沿层面逐渐溶蚀。同时,在库区左岸发育线状分布岩溶洼地,Kd₃、Kd₄、Kd₅位于区域性断层龙测村—大缉麻断层 SE 侧,灰岩在区域性断层的影响下,岩体破碎,抗溶蚀能力弱,形成串珠状的岩溶洼地。

Kd₁、Kd₂、Kd₆及右岸岩溶洼地 Kd₇分布在岩相过渡带附近,岩相过渡带抗风化能力弱,溶蚀明显;而库区中部及左岸多为灰岩,岩溶多见溶蚀裂隙;库区及外围岩溶发育主要受构造的控制,岩溶通道顺构造裂隙扩展而成。

3.2 受岩性控制明显

因灰岩中方解石含量的差别,岩溶发育程度不同,其中栖霞茅口组灰岩方解石含量占 80%~95%,而泥盆系灰岩方解石含量占 51%~55%,泥盆系灰岩相比于栖霞茅口组灰岩抗溶蚀能力强,在水库区仅表现为一系列规模不同的溶洞,而栖霞茅口组灰岩在火铲村附近表现为一系列规模较大的岩溶洼地。

在坝址附近库区大理岩因热液变质作用,形成隐晶质致密岩体,抗溶蚀能力强,岩溶弱发育。

3.3 岩溶发育具分带性

水库区属金沙江流域,两岸的岩溶裂隙均向竹竿小河倾斜,竹竿小河为区内最低侵蚀基准面,岩溶作用向深部发展受到限制,表层岩溶发育,深部岩溶作用大大减弱,因而岩溶发育在垂向上具分带性。根据钻探揭露,在左岸钻孔 ZK1 上部钻进时,其循环水不返水,沿灰岩中岩溶裂隙向下部库岸 Kc₁沿其通道流出,勘探深度范围内,水库区地表以下 30~80 m 范围内岩溶较为发育,其中上坝址库段内岩溶发育深度主要在地表以下约 50 m 范围内,而左岸岩溶发育深度则主要在地表以下 30~40 m 范围内。

3.4 岩溶发育具不均一性

水库区中部上坝址附近,溶蚀作用强烈,岩溶发育受构造控制明显。库区范围内灰岩主要有二组:泥盆系中统第四段第三组及栖霞茅口组灰岩。在节理裂隙密集、岩体较破碎地段,岩溶较发育;在块度较大、岩体较完整地段,岩溶发育程度相对较弱。在上坝址附近发育的溶洞口近河床部位多沿层面发育,在深部多沿垂直裂隙发育,例如,溶洞 Kc₁、Kc₂、Kc₃、Kc₅。

4 水库渗漏分析

库区中部有一条近南北走向的区域性断裂穿过两岸,左岸沿该断层带附近有多个岩溶洼地或落水洞呈线状分布,沿断裂在南部翠华一带多有较大的泉水出露,水库东部外围约 10 km 有普渡河低邻谷,低于库水位约 600 m,而西部约 2.5 km 分布有掌鸠河低邻谷,低于库水位约 220 m,加之左坝肩小垭口附近有大理岩与辉绿岩交替分布,因此,水库存在下列渗漏的可能性:

4.1 向东部低邻谷渗漏的可能性

尽管在库岸分布的是岩溶地层,但向东分布有非岩溶地层(图8),依次为三叠系舍资组—侏罗系冯家河组砂、泥岩、页岩等,白垩系马头山组砂岩、寒武系筇竹寺组、渔户村组页岩及磷块岩等,且无导水断裂横穿这些地层;同时,在库岸也分布有两条较大的

断裂,但断裂均属压扭性,具有阻水性质,不存在沿断层导水问题。另外,经勘察库区左岸的勘探孔,钻孔稳定水位高于 Kc_1 出口约67 m,高出水库正常蓄水位约50 m,这说明其左岸存在高于库水位的地下水分水岭,也说明 Kc_1 与火铲村一带系列分布的岩溶洼地或漏斗之间无水力联系,水库存在向东部低邻谷渗漏的可能性小。

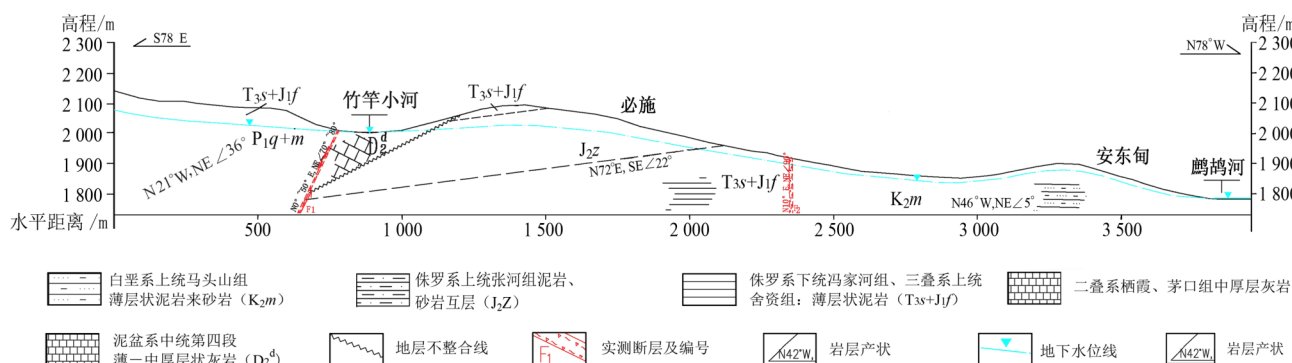


图8 水库东岸渗漏分析剖面图

Fig. 8 Profile of leakage analysis of the east bank of the reservoir

4.2 水库向西部低邻谷渗漏的可能性

库岸向西也分布有非岩溶地层(图9),依次为三叠系舍资组—侏罗系冯家河组、张河组砂、泥岩、页岩等,白垩系马头山组、江底河组砂岩夹泥岩等,且

无导水断裂横穿这些地层;另外,在右岸西侧有一条与 F_1 同组同性质的阻水断层,断层西侧为上升盘,东侧的泥盆系灰岩在断层两侧不连续,也不存在沿可溶盐岩向西部低邻谷渗漏的问题。因此,水库向西部低邻谷渗漏的可能性小。

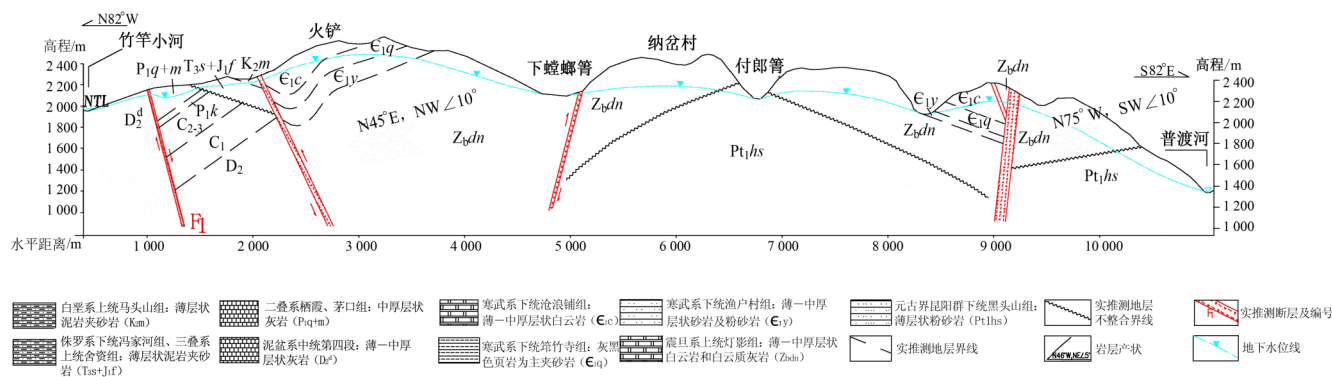


图9 水库西岸渗漏分析剖面图

Fig. 9 Profile of leakage analysis of the west bank of the reservoir

4.3 沿 F_1 断裂带向南部渗漏的可能性^[6]

据区域资料分析, F_1 断层属压扭性质,在上坝址右岸斜交至左坝肩,大体与河谷斜交,组成物质为糜棱岩、碎裂岩、断层泥等,具一定隔水性; F_1 在平面分布上呈扭曲状也说明其压扭性质。据当地村民介

绍,在1958年时,村委会曾在上坝址上游约50 m附近修建了一坝高约10余米的小型土坝,但水库建成后,库水均沿坝左岸灰岩中的岩溶裂隙向坝下游产生绕坝渗漏,水库无法蓄水,这说明其库水未沿 F_1 向南部翠华排泄, F_1 是阻水的;另外,在 F_1 东侧高程为2143 m处布置的钻孔中有高于 Kc_1 约67 m的地下水

稳定水位,这也说明 F_1 不是导水断层。但由于受断层影响,岩体靠近断层附近岩体破碎,可能存在一定的渗漏通道,水库蓄水后,沿 F_1 断裂带向南部或向下游渗漏的可能性问题不大,但不排除沿断层影响带向南西部或向下游渗漏的可能性。

4.4 沿灰岩溶蚀通道向下游和向库外渗漏的可能性

从库区两岸的灰岩岩溶发育特征来看,岩溶总体以垂直岩溶裂隙发育为主,两岸的岩溶裂隙均向

竹竿小河倾斜,说明其两岸地下水是以竹竿小河河谷为本区最低排泄面,但水库南西侧存在一低邻谷,高差约 20 m,加之该区域为栖霞茅口组灰岩,在左岸钻孔 ZK1 上部钻进时,其循环水不返水,沿灰岩中岩溶裂隙向下部库岸 Kc_1 沿其通道流出,这也说明竹竿小河为其最低排泄面,并得到了验证。但栖霞茅口组灰岩沿断层 F_1 出露,受断层影响,岩体破碎,节理发育,灰岩区可能存在贯通水库至龙泽箐的溶蚀通道,水库可能沿灰岩溶蚀通道向下游或库外渗漏(图 10、图 11)。

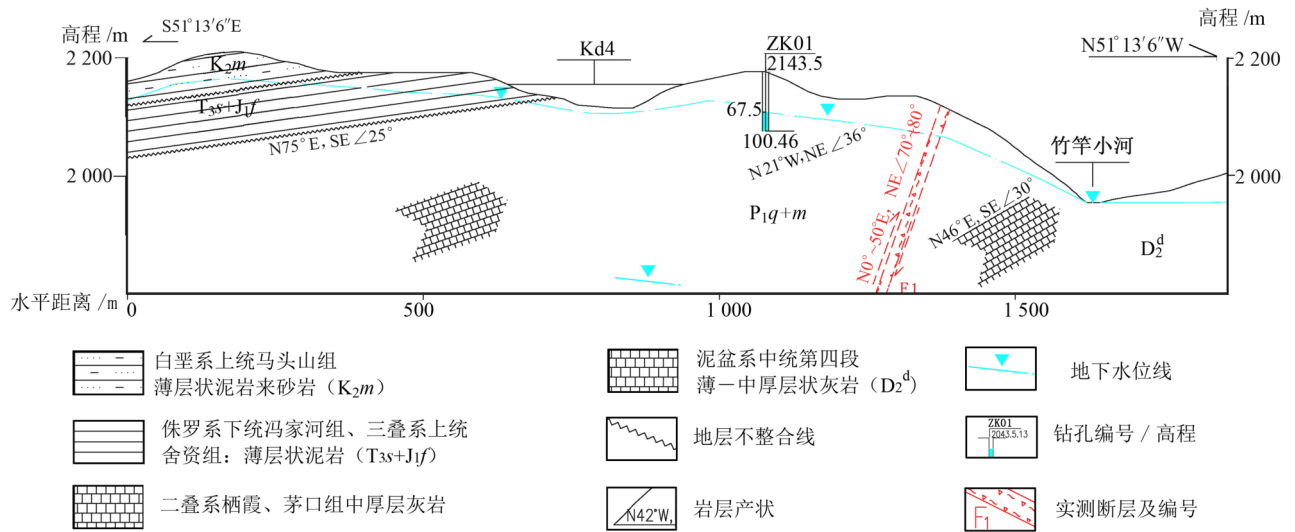


图 10 水库沿灰岩溶蚀通道向库外渗漏分析剖面图

Fig. 10 Profile of leakage to outside reservoir along limestone erosion channel

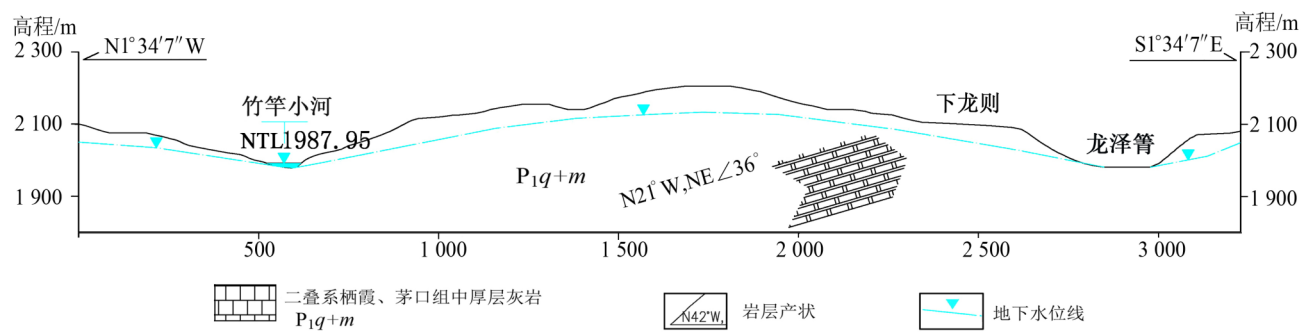


图 11 水库沿灰岩溶蚀通道向西南渗漏分析剖面图

Fig. 11 Profile of leakage to southwest along limestone erosion channel

4.5 沿左岸大理岩与灰绿岩接触带或大理岩向坝下游绕坝渗漏的可能性

在下坝址左岸坝肩垭口附近的两个钻孔中出现有灰绿岩与大理岩的接触带,左岸紧靠坝址有一条

小沟也揭露出该接触带顺沟分布的情况,加之,左岸坝址附近分布有较厚层的大理岩,均具备库水沿左岸大理岩与灰绿岩接触带或大理岩向坝下游绕坝渗漏的可能性。

据地质调查和钻探成果分析,大理岩层中的岩

溶发育较灰岩弱,只有局部规模较小的岩溶裂隙分布,由于大理岩经变质,矿物颗粒重新排列、致密,水的溶蚀性变差,因此其岩溶发育弱,岩溶裂隙的连通差,难以形成较大规模的岩溶通道,在大理岩中也未发现贯通性岩溶通道。原竹竿河小水库也未发现渗漏问题。大理岩与灰绿岩接触带多有岩体侵入时形成的挤压带,挤压带密实、不透水,属阻水带,大理岩与灰绿岩接触无挤压现象的部位也未见岩溶发育。同样,原竹竿河小水库也未发现渗漏问题。因此,综合分析认为,水库存在沿左岸大理岩与灰绿岩接触带或大理岩向坝下游绕坝渗漏的可能性不大。

5 结论及建议

西南某水库区内出露地层复杂,以泥盆系灰岩、砂岩、泥岩及辉绿岩为主,岩层缓倾上游偏右岸;岩溶发育,两岸分布溶洞、落水洞,区域性断层在水库区经过,水库向东西两侧低邻谷渗漏的可能性小,沿灰岩内岩溶通道向库外渗漏的可能性小。断层带的阻水性较好,但其断层影响带较破碎,岩溶裂隙发育,透水性强,存在沿断层影响带向库外渗漏的可

能,故水库蓄水位不宜高于 Kc_1 底板高程。

此次对水库的勘察工作在实施过程中,各种勘探工作量有限,加之岩溶问题的复杂性,并不能完全准确查明岩溶发育特征,即不能完全判断出水库渗漏通道,下一步需充分利用钻探和物探等手段,收集地下水长观资料,掌握其性状及特点,做出详细的岩溶渗漏分析、计算及评价。

参考文献

- [1] 曾中磊.滇中地区岩溶水文地质特征[J].人民珠江,2016,37(8):39-43.
- [2] 杨秀芬.岩溶水文地质及对工程的影响[J].科技传播,2013(16):122-123.
- [3] 蒋忠诚,裴建国,夏日元,等.我国“十一五”期间的岩溶研究进展与重要活动[J].中国岩溶,2010,29(4):352-353.
- [4] 中国科学院地质研究所.中国岩溶研究[M].北京:科学出版社,1979:73-83.
- [5] 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司.BDZ—2016—1.《云南省禄劝县本业水库工程可研报告》地质部分[R].2015.
- [6] 冯志刚,刘谢伶.构造条件对水库岩溶渗漏的影响研究[J].红水河,2018,5(37):69-72.

Analysis on leakage of a karst reservoir in southwestern China

XUE Wei, YUAN Zongfeng, ZHOU Mi

(Power China Kunming Engineering Corporation Limited, Kunming, Yunnan 650041, China)

Abstract A reservoir is located in the north-central part of the Yunnan-Guizhou Plateau. The soluble rock in the reservoir area is widely distributed and the karst is developed. A nearly north-south trending fault in the middle of the reservoir area crosses both banks. To investigate the feasibility and sustainability of this reservoir, field surveys and geophysical explorations have been conducted in this area. Results suggest that the possibility of leakage to the adjacent low-lying valley is very small, to the south or downstream along the fault is also small. However, the reservoir will probably leak downstream and towards outside of the reservoir along the limestone erosion channel. The possibility of leakage to the dam downstream along the contact zone of the marble and gray-green rock or marble on the left bank is also small. Therefore, the normal water level of the reservoir may be sustained below the height of the Kc_1 floor.

Key words reservoir, soluble salt rock, regional fault, leakage, reservoir sustainability

(编辑 黄晨晖)