

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.
DOI:10.11932/karst20190407

贵州冗赖水库岩溶成库条件分析

刘浩^{1,2},田茂中^{1,2}

(1.中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院岩土工程有限公司,贵阳550081;
2.中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司,贵阳550081)

摘要:冗赖水库位于珠江流域的北盘江与南盘江两大水系之间的高原岩溶台地,左右岸外侧均存在低邻槽谷,坝址下游存在底部发育落水洞的大型岩溶海子,水库成库难度大,当地人饮水问题突出。通过岩溶水文地质调查、钻探、物探、连通试验等手段,从地形条件、地层岩性、地质构造、水文地质条件、岩溶发育特征等方面,对冗赖水库成库条件进行了分析论证。认为水库库盆底部依托隔水性岩体,不存在库水渗漏问题,但水库两岸受分水岭地下水位低、断层破碎带及岩溶发育等影响,存在库水渗漏问题,同时库首两岸可能存在顺平缓岩层面、溶蚀裂隙等产生渗漏问题。因此建议采用垂直防渗方式,防渗标准(透水率)小于3 Lu或防渗帷幕下限接稳定地下水位以下10 m,遇到溶洞等地质缺陷时应查明其分布特征,并根据实际情况降低防渗底线。

关键词:水库渗漏;岩溶;台地;地下水特征;成库分析

中图分类号:TV223.43;P641 **文献标识码:**A

文章编号:1001-4810(2019)04-0515-09

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引言

我国西南岩溶地区大中型水库建设中往往存在岩溶渗漏、岩溶塌陷等问题^[1-4]。自1845年法国在岩溶区修建第一座大坝以来,岩溶渗漏问题一直是决定后期水库蓄水能力的关键因素。多年来,国内外学者在水库渗漏模式、渗漏条件、水库防渗技术等方面进行了深入研究^[5-10],取得了很多科研成果。邹成杰等^[11]根据岩溶发育形态、地下水动力特点、渗漏通道之间的水力联系、渗漏水流集中与分散的程度、渗漏的下限深度、渗漏所处的部位、有无地下分水岭以及渗流速度等因素,划分了八类二十八种问题类型,认为岩溶地区水库库区产生渗漏的原因主要有两种:一是库区四周山体单薄,邻近又有低谷或洼地,且底部标高又低于正常水位时,若此时库区有渗漏通道,库水将不断地流向邻谷而形成渗漏。二是分水岭或河湾地带存在岩溶通道,或在断层破碎带、褶

曲转折部位以及某些节理发育、透水性强的岩层也是产生库水严重渗漏的原因^[10-16]。肖万春^[6]根据近20年岩溶地区大型水电站的建设经验及科技攻关,总结出岩溶区水库渗漏的主要勘察方法有岩溶水文地质测绘、溶洞调查、钻探、水文地质试验、地球物理勘探、岩溶地下水观测等。

随着勘测设计精度的不断深入和防渗处理技术的提高,对岩溶地区大中型水库渗漏问题研究比较透彻,渗漏处理都是成功的。但对岩溶地区小型水库而言,受各方面条件所限,库区岩溶渗漏问题仍较多^[17]。本文以贵州册亨县境内的冗赖水库为例,通过岩溶水文地质调查、钻探、物探、连通试验等手段,从地形条件、地层岩性、地质构造、水文地质条件、岩溶发育特征等方面,对成库条件进行了分析论证。并期望通过该典型岩溶成库项目的论证实施,为类似工程提供经验借鉴^[18-23]。

第一作者简介:刘浩(1987—),男,研究生学历,工程师,现主要从事岩土工程勘察工作。E-mail:493671873@qq.com。

通信作者:田茂中(1966—),男,教授级高级工程师,主要从事工程地质、水文地质方面的生产及研究。E-mail:1228941658@qq.com。

收稿日期:2019-04-30

1 工程概况

冗赖水库工程区位于珠江流域的北盘江与南盘江两大水系之间的高原岩溶台地上,地属贵州省册亨县,为我国典型岩溶山区地带,库内山峦起伏、岩石裸露,可溶岩地层广泛分布,地下溶洞、暗河较为发育,地表水资源少,严重干旱缺水,地下水以岩溶管道流为主,当地村镇饮水问题极为突出。拟建冗赖水库正常蓄水位 1 180 m,坝高 44 m,库容约 690 万

m³,控制流域面积约 7 km²。拟建水库坝址为上坝址。

2 工程区基本地质情况

2.1 地形地貌

测区位于云贵高原东南边缘,地处黔西南中山丘原盆谷区向广西低山丘陵区过渡的斜坡地带,区内地势北西高南东低,呈台阶状下降至北盘江河谷(图 1)。

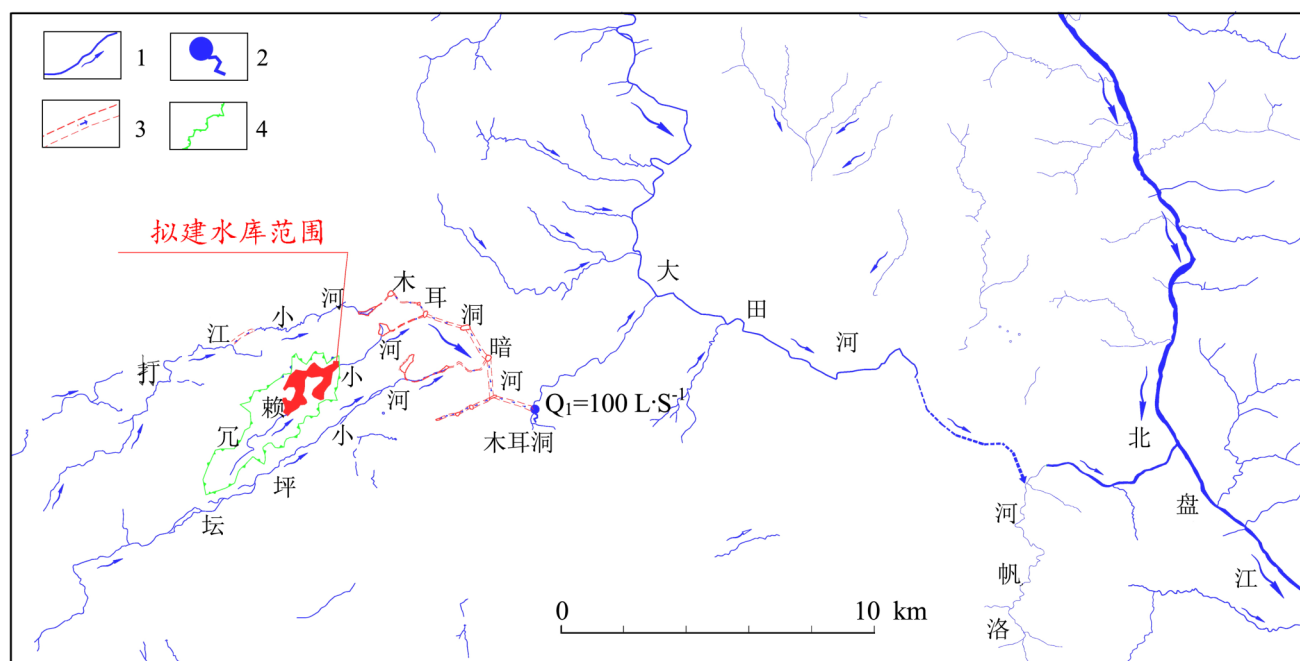


图 1 工程区水系分布图

Fig. 1 Map showing water systems in the project area

1—地表水系、河流及流向 2—泉水及流量 3—推测岩溶管道及水流方向 4—流域分水岭线

水库区为近 N60°E 发育的槽谷型岩溶地貌,槽谷长约 7.8 km。库区河谷呈“U”型谷,谷宽 105~320 m,上坝址上游地面高程 1 153~1 245 m 之间,两侧山脊地形高程 1 322~1 475 m,地势 SW 高、NE 低。水库主库区回水长 2.0 km,支库段长 0.9 km,水库底高程 1 153~1 180 m,相对高差 27.0 m。最低排泄点为坝址下游 1.9 km 的大型岩溶洼地,地面高程 1 062 m,该洼地底面平坦,中部可见多个落水洞。

平行水库槽谷发育方向同时发育有打江槽谷和坛坪槽谷,其中打江槽谷位于水库左岸北侧,垂直水库直线距离约 1.5 km,分布高程 1 136~1 168 m,坛坪槽谷位于水库右岸南侧,直线距离约 0.8 km,分布高程 1 120~1 165 m。两相邻槽谷谷底高程均较水库库底高程略低。

2.2 地层岩性

工程区出露地层为三叠系中统关岭组地层,根据岩性不同进一步划分二段,详述如下:

(1)三叠系中统关岭组一段(T_2g^1),可细分为三层:第一层(T_2g^{1-1})为白云岩夹角砾状白云岩,主要分布于下坝址下游 1 km 范围以外,下坝址库盆底部该组地层。第二层(T_2g^{1-2})为泥质白云岩、灰岩夹泥页岩,泥页岩最大厚度 35 cm。主要分布于上坝址下游至下坝址的库区内。第一层(T_2g^{1-1})与第二层(T_2g^{1-2})分界处为薄层泥质灰岩夹泥页岩,泥页岩最大厚度 10~12 cm。第三层(T_2g^{1-3})为薄至中厚层互层状泥质白云岩、白云岩夹黏土岩,主要分布于库盆底部、坝址区及下坝址区两岸。其中黏土岩在坝址区出露约

11层,单层厚度10~60 cm,累计厚度5~6 m。

(2)三叠系中统关岭组二段(T_2g^2),可细分为两层:第一层(T_2g^{2-1})为薄至中厚层、厚层灰岩,顶部夹泥灰岩,泥灰岩夹层厚0.5~1.5 m。主要分布于库首两岸及库盆底部。第二层(T_2g^{2-2})为巨厚层灰岩,主要分布于库区两岸。

2.3 地质构造

工程区主要为NE向构造,场区岩层整体缓倾库区上游,倾角 5° ~ 10° 。场区发育二条正断层:F1为近NE向延伸,倾向NW,倾角 80° ~ 85° ,破碎带富水性强,为角砾岩胶结,与右侧库盆库尾段相交;F2为近NE向延伸,倾向SE,倾角 80° ~ 85° ,破碎带富水性强,为角砾岩胶结,与左侧库盆高程为1 170~1 175 m段及1 175~1 180 m段两次相交。

3 岩溶水文地质条件

3.1 水文地质条件

3.1.1 区域水文特征

工程区属北盘江支流大田河水系,为槽谷冲沟地形,冲沟内发育冗赖小河。其北部为打江小河,南部为坛坪小河。冗赖小河、打江小河及坛坪小河均伏入洼地落水洞,于东南侧6 km处的木耳洞暗河流出汇入大田河。北盘江为区域地下水一级排泄基准面(图1)。

3.1.2 地表径流

槽谷内溪水是库区内唯一地表水系。采用枯水期径流模数法计算枯水期库区流量为 $35.0\text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$,与坝址处溪沟流量测定值基本吻合。另外库区内出露泉水(点)约20处,主要分布于关岭组 T_2g^{2-1} 及 T_2g^{1-3} 地层,因该层可溶性岩体中含泥质灰岩或黏土岩夹层,具有较好的隔水性,因此在库盆底部的可起到防渗作用。库区地表径流特征表明库盆底部封闭条件较好。

3.1.3 地下水类型和水动力特征

水库区出露泉水主要为基岩裂隙水、岩溶管道水,均为常年性流水,洪水期流量稍大。岩溶管道水主要分布在中等—强可溶岩地层中,其补给源主要为分水岭封闭的岩溶洼地大气降水,部分来自溪沟流水。

冗赖小河坝址中上游地表水主要补给源之一为泉水补给,说明该段地下水位较高,河流水动力类型为地下水补给河水。但坝址下游基本未见泉点,表明地下水埋深较大,因此河流水动力类型变为河水补给地下水。

根据现场地质调查,在水库两岸存在一小区域地表分水岭,控制流域面积 7.0 km^2 ,冗赖槽谷为小区域分水岭内最低排泄基准面,为地下水补给库水,根据水文地质钻探资料,左岸分水岭地下水位1 161.9~1 165 m,右岸地下分水岭地下水位1 168.8~1 171.2 m,均高于冗赖槽谷明流水位。

3.2 岩溶类型及发育特征

水库区及周边2 km范围内,岩溶地貌主要有岩溶海子、岩溶槽谷、岩溶洼地、落水洞、溶洞、岩溶泉等。从地层岩性分析,库区两岸为关岭组(T_2g^{2-2} 、 T_2g^{2-1})灰岩及泥质白云岩、泥灰岩及黏土岩夹层,库岸上部地层岩溶强发育、下部中等发育。如表1、表2所示,大型岩溶洼地、落水洞及溶洞主要发育在关岭组(T_2g^{2-2})巨厚层灰岩中,表明该层为强岩溶性岩体。

3.3 岩溶与水文地质岩组划分

工程区岩溶与水文地质岩组划分见表3。

4 成库条件分析

4.1 库底渗漏分析

水库库盆主要由两部分组成:一是主槽谷库段,回水库长2.0 km;另一部分为坝址上游右岸分支槽谷,回水长0.8 km,根据库区地质条件,其渗漏分析评价如下:

(1)地层岩性:从坝址至上游1.1 km为关岭组(T_2g^{2-1})薄至中厚层灰岩夹少量泥灰岩地层,泥灰岩夹层单层厚0.5~1.5 m;库尾至水库中部为关岭组(T_2g^{2-2})中厚层、厚层灰岩地层,在与(T_2g^{2-1})地层接触带底部有一层1.0~1.5 m泥灰岩地层,具有较好的隔水作用。总之,库盆出露地层分布多层泥灰岩,具有一定的防渗功能。

(2)构造发育情况:在库尾至水库中部发育一条斜穿水库的F2正断层,两岸破碎宽3~5 m,为方解石、角砾岩、断层泥充填胶结,现场调查表明,在河床部位断层带宽约2 m,充填胶结较好,未发现漏水现

表1 落水洞及溶洞统计表
Table 1 Statistics of sinkholes and karst caves

编号	形态	规模/m	底部高程/m	长轴方向/°	发育地层	备注
K-1	椭圆形	60×30	1 264	10	T_2g^{2-2}	落水洞
K-2	椭圆形	180×20	1 216	340	T_2g^{2-2}	落水洞
K-3	圆形	2.5×2	1 214	20	T_2g^{2-2}	落水洞
K-4	椭圆形	1.5×2	1 177	20	T_2g^{2-2}	地表溶洞
K-5	椭圆形	3×2	1 165	330	T_2g^{1-2}	地表溶洞
K-6	椭圆形	40×2	1 170	340	T_2g^{1-2}	地表溶洞
K-7	长条形	15×2	1 222	30	T_2g^{2-2}	落水洞
K-8	圆形	1×2	1 154	0	T_2g^{1-2}	地表溶洞

表2 岩溶洼地统计表
Table 2 Statistics of karst depressions

编号	底部 高程/m	发育 地层	形状	规模 /m×m	长轴方向
W-1	1 266.0	T_2g^{2-2}	碟状	700×160	N57°E
W-2	1 264.0	T_2g^{2-2}	槽状	760×130	N49°W
W-3	1 284.5	T_2g^{2-2}	碟状	450×120	N84°E
W-4	1 256.0	T_2g^{2-2}	碟状	400×100	N48°W
W-5	1 237.5	T_2g^{2-2}	碟状	700×120	N54°W
W-6	1 253.4	T_2g^{2-2}	漏斗状	110×110	N53°E
W-7	1 215.5	T_2g^{2-2}	槽状	1 700×200	N75°W
W-8	1 224.0	T_2g^{2-2}	漏斗状	350×140	N49°E
W-9	1 263.5	T_2g^{2-2}	漏斗状	220×100	N74°E
W-10	1 284.5	T_2g^{2-2}	漏斗状	260×100	N52°W
W-11	1 164.4	T_2g^{2-2}	漏斗状	250×130	N45°E
W-12	1 207.5	T_2g^{2-2}	漏斗状	170×80	NS
W-13	1 221.9	T_2g^{2-2}	碟状	100×50	N44°E
W-14	1 218.8	T_2g^{2-2}	槽状	210×40	N83°E
W-15	1 208.1	T_2g^{2-2}	槽状	300×160	N10°E
W-16	1 121.9	T_2g^{2-2}	漏斗状	400×240	N17°W
W-17	1 231.8	T_2g^{1-2}	漏斗状	190×160	N84°W
W-18	1 062.5	T_2g^{1-1}	碟状	350×330	N32°E

象。除F2断层外,库区未发现其它贯通性构造,因此认为,库盆因构造发育而产生的渗漏可能性较小。

(3)岩溶发育情况:根据现场地质调查,在库区1 190 m高程下未发现落水洞、大型溶洞及连通库外的岩溶管道发育,因此,库盆产生岩溶渗漏的可能性较小。

(4)泉水(点):主库及右岸支库段共出露9个常年性泉点,均分布于库盆底部,为两岸地下水排泄点,高程1 156~1 180 m,枯水期水流量0.1~2.0 L·s⁻¹,丰水期流量较大。从泉水出露情况及分布高程分析,库

盆基本上为槽谷两岸小分岭最低排泄基准面,不存在渗漏问题。

综上所述,库水沿库盆底产生渗漏的可能性较小。

4.2 邻谷渗漏分析

沿水库两岸,局部地形分水岭单薄,分水岭地带地下水位较低,受断层构造影响可能引起库水渗漏问题。根据已有资料及实地勘察,排查出7个可疑渗漏带。

表 3 岩溶含水岩组划分表
Table 3 Subdivision of water-bearing karst lithology

岩溶层组		岩 溶 特 征	水文地质岩组	
类别	地层岩性		地下水类型	透水性划分
弱岩溶 含水岩组	一段第三层(T_2g^{1-3})	埋藏深度较浅、水动力条件弱,少量溶蚀裂隙发育	裂隙水+溶隙水	以弱透水层为主
中等岩溶 含水岩组	二段第一层(T_2g^{2-1}) 一段第二层(T_2g^{1-2})	埋藏深度中等、水动力条件中等,溶蚀裂隙、小溶洞发育、少量管道发育	裂隙水+溶隙水+少量岩溶管道水	以中等透水层为主
强岩溶 含水岩组	一段第一层(T_2g^{1-1}) 二段一层(T_2g^{2-2})	埋藏深度深、水动力条件强,溶蚀裂隙、溶洞、管道发育	裂隙水+溶隙水+岩溶管道水	以强透水层为主

4. 2. 1 左岸邻谷渗漏分析

如图 2 所示,左岸疑似邻谷渗漏带主要有 4 个,其中 3 个位于左岸中部垭口位置,1 个位于库首上游左岸垭口位置。本文以Ⅲ-Ⅲ'渗漏带为例分析说明(图 3):

(1)地形条件:该渗漏带左岸低邻谷(打江槽谷)谷底标高低于水库拟蓄水位 43 m,但地形分水岭垭口高于蓄水位 56 m,不存在低矮垭口渗漏地形通道,因此,该渗漏带地形条件是封闭的。

(2)地质条件:左岸出露地层为关岭组(T_2g^{2-2}),岩层单斜、缓倾上游,由于无可靠的隔水地层分布,可能存在沿层面结构面向库外低邻谷渗漏问题;在构造上,该渗漏带发育 F_2 断层带,钻孔在 1 148~1 158 m 高程揭露了该断层,因此可能存在构造渗漏通道问题。

(3)岩溶发育特征:位于该渗漏带分水岭北侧(打江一侧)发育 W13、W12、W11 三个串珠状大型岩溶洼地,地表出露高程 1 222 m、1 207 m、1 164 m,洼地底部为第四系残坡积覆盖,未见落水洞。钻孔揭示 W13 洼地在 1 211~1 199 m 高程段发育 12 m 岩溶空洞,表明洼地底部岩体存在岩溶发育现象。从地表岩溶地貌特征分析,W13、W12、W11 三个串珠状大型岩溶洼地底部大都发育有溶洞或岩溶管道,因此,存在岩溶渗漏的可能性较大。

(4)分水岭地下水位:分水岭地下水位稳定在 1 160 m,低于拟建水库蓄水位 20 m,因此存在渗漏风险。

综上所述,Ⅲ-Ⅲ'渗漏带存在沿断层破碎带、岩溶通道等向打江槽谷渗漏的风险,需进行防渗处理。其他三个渗漏带分析方法与Ⅲ-Ⅲ'典型渗漏带分析方法类似,不再赘述。

根据上述分析及实地勘查,坝址库区左岸存在

的 4 个渗漏带,主要渗漏带只有两个:一是位于坝址上游 836 m 左岸冲沟内,存在沿岩体层面、溶洞或地下岩溶管道、断层带等渗漏风险;另一个是位于坝址上游 130 m 左岸冗赖寨垭口部位,因分水岭地形单薄,又无可靠隔水地层,存在沿层面、溶蚀裂隙等向Ⅲ-Ⅲ'渗漏带的渗漏风险,最终沿打江海子岩溶管道,向打江海子排泄,其它Ⅰ-Ⅰ'、Ⅱ-Ⅱ'渗漏带由于分水岭地下水位高于库区水位,通过两渗漏带向打江槽谷渗漏的可能性很小。

4. 2. 2 右岸邻谷渗漏分析

右岸支库下游侧二级分水岭有两个相邻的低洼“马鞍山”地形,支库库尾也存在一低洼“马鞍山”地形,由于地形低洼、山体单薄,加之断层影响,右岸存在三个渗漏带,渗漏口主要位于马鞍山中部垭口、尾部槽谷垭口及右岸库尾垭口附近,成为水库右岸的主要渗漏地带,具体位置如图 2 所示。本文以 V-V'典型渗漏带为例,对其渗漏特征进行分析,分析剖面见图 4。

(1)地形条件:该地形分水岭垭口高于水库蓄水位 74.5 m,不存在低矮垭口渗漏地形通道,该渗漏带地形条件是封闭的。

(2)地质条件:根据库区右岸出露地层,顶部为关岭组(T_2g^{2-2})灰岩,中部为关岭组(T_2g^{2-1})灰岩,下部为关岭组(T_2g^{1-3})互层状泥质白云岩、白云岩夹黏土岩。该渗漏带岩层,纵向上中上部两层岩溶中等至强发育,下部岩溶弱发育,纵向上下部岩层出口高程高于正常蓄水位,存在沿层面、溶蚀裂隙渗漏的可能性不大。

实地勘查马鞍山附近发育 N50°~60°E、N60°~70°W 两组陡倾交叉裂隙,延伸长为 5~10 m,地表溶蚀宽 10~20 cm。钻孔 ZK2 揭露深部裂隙宽度 1~3

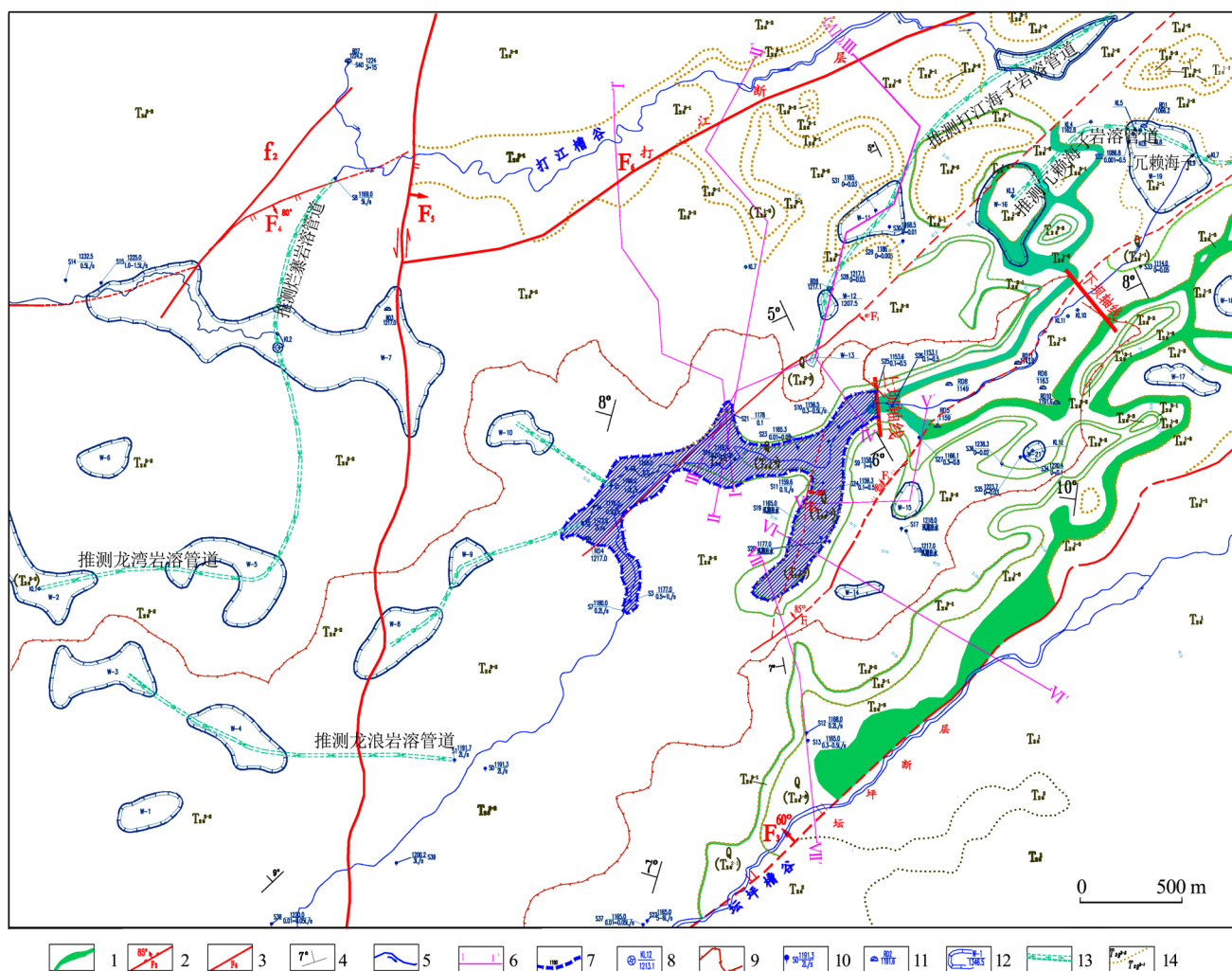


图2 库区岩溶水文地质图

Fig. 2 Karst hydrogeologic map of the reservoir area

T_2^{g2-2} -关岭组二段中厚层、厚层及巨厚层灰岩 T_2^{g2-1} -关岭组二段中厚层、厚层白云岩、泥质白云岩,顶部和底部各分部一层泥灰岩夹泥岩 T_2^{g1-3} -关岭组一段泥质白云岩夹黏土岩 T_2^{g1-2} -关岭组一段泥质白云岩、灰岩夹泥灰岩 T_2^{g1-1} -关岭组一段白云岩夹角砾状白云岩,底部为0.5~2 m“绿豆岩” 1-相对隔水层(地表出露) 2-正断层、产状及编号(实线为实测断层、虚线为推测断层) 3-性质不明断层及编号、产状 4-岩层产状 5-地表水径流线 6-渗漏分析剖面及编号 7-正常蓄水位线及标高 8-落水洞编号/洞口高程 9-地表分水岭线 10-溶洞及编号/洞口高程 11-泉水编号(出露高程/m)/(观测流量/ $l \cdot s^{-1}$) 12-岩溶洼地编号/(高程/m) 13-推测岩溶管道及流向 14-基岩分界线(平面图)

mm、局部8.0 mm,对渗漏有一定影响。在鞍尾部有 F_1 断层斜切发育,库水存在通过关岭组(T_2^{g2-1})中层、溶蚀裂隙渗入 F_1 断层带,并沿 F_1 断层带向坝后下游渗漏的可能。

(3)岩溶发育特征:右岸下游侧冲内发育近30 m²的W15岩溶洼地,高程1 208 m。钻孔在1 257.8~1 256.8 m高程揭露1.0 m空溶洞,其它部位未发现岩溶发育。据物探EH4资料,整个马鞍山在1 200 m高程以下未发现溶洞。总体来看,该区间岩溶主要发育于浅表层,规模不大,库水产生岩溶渗漏的可能性不大。

(4)分水岭地下水位:马鞍型分水岭部位地下水位1 168.8 m,低于拟建水库蓄水位11.2 m,存在渗漏问题风险。

综上所述,V-V'渗漏带经过马鞍型分水岭部位,地下水位低,地形单薄,存在通过层面、溶蚀裂隙渗入 F_1 断层带,并沿 F_1 断层带向坝后下游渗漏的可能。其他三个渗漏带分析方法与Ⅲ-Ⅲ'典型渗漏带分析方法类似,均存在渗漏风险。

通过上述分析,由于分水岭局部地形单薄,马鞍山中部垭口、尾部槽谷垭口存在沿层面、溶蚀裂隙进入 F_1 断层带向坝后的渗漏问题及右岸库尾垭口沿层

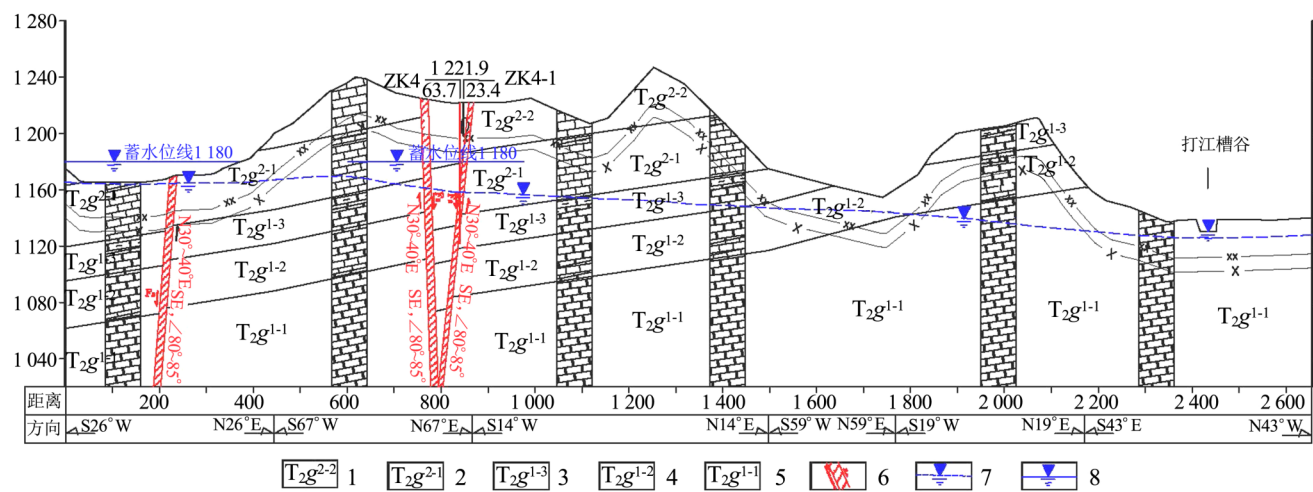


图 3 左岸Ⅲ-Ⅲ' 渗漏带分析剖面

Fig. 3 Profile of leakage zone III-III' on left bank

- 1-关岭组二段第二层:中厚层、厚层及巨厚层灰岩 2-关岭组二段第一层:薄至中厚层、厚层灰岩,顶部夹泥灰岩
3-关岭组一段第三层:薄至中厚层泥质白云岩夹黏土岩 4-关岭组一段第二段:泥质白云岩、灰岩夹泥灰岩
5-关岭组一段第一层:白云岩夹角砾状白云岩 6-断层及编号 7-地下水位线 8-蓄水位线

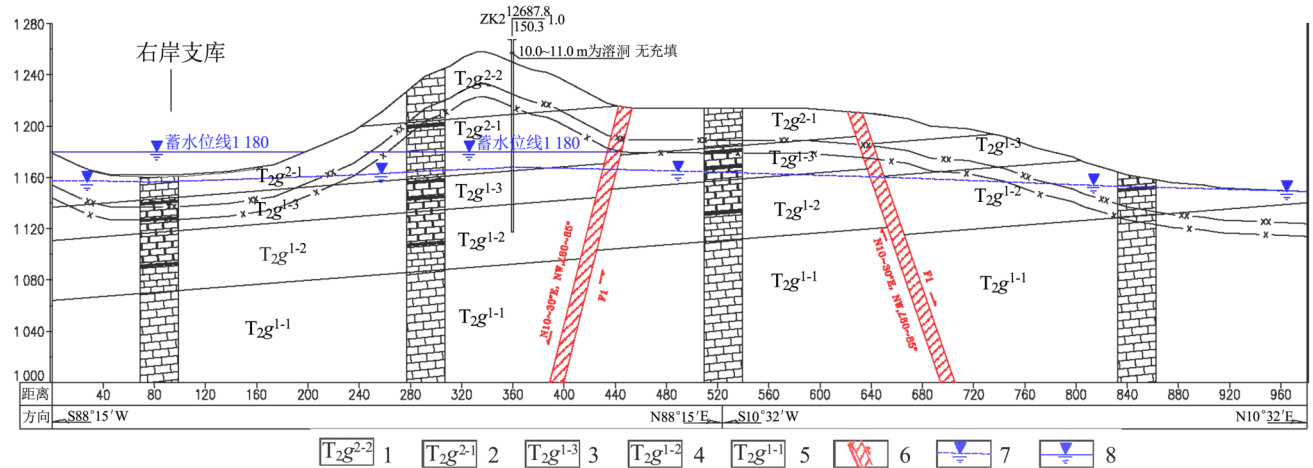


图 4 右岸Ⅴ-Ⅴ' 渗漏带分析剖面

Fig. 4 Profile of leakage zone V-V' on right bank

- 1-关岭组二段第二层:中厚层、厚层及巨厚层灰岩 2-关岭组二段第一层:薄至中厚层、厚层灰岩,顶部夹泥灰岩 3-关岭组一段第三层:薄至中厚层泥质白云岩夹黏土岩 4-关岭组一段第二段:泥质白云岩、灰岩夹泥灰岩 5-关岭组一段第一层:白云岩夹角砾状白云岩 6-断层及编号 7-地下水位线 8-蓄水位线

面、溶蚀裂隙向坛坪小河渗漏问题,需进行防渗处理。

4.3 库首渗漏

坝址库首为“V”型沟谷,坝前坝后地形平坦,右岸为一向槽谷内延伸的山脊,其间分布两马鞍型垭口,属二级分水岭;左岸较顺直,但发育一低凹垭

口。库首分布关岭组(T_2g^{2-1})灰岩、局部夹泥灰岩,属中等可溶岩,分布于坝肩两岸,关岭组(T_2g^{1-3})为泥质白云岩、灰岩夹泥页岩,分布于坝基,属弱岩溶相对隔水层,岩层单斜、视倾上游、近于横向谷,但岩层倾角平缓,近坝地段无断层发育,但裂隙极发育。现场调查及钻孔均未发现强岩溶发育现象,仅见局部裂隙溶蚀扩大现象,地下水位埋深较小,有

多个泉点出露,岩体透水率 0.55~19.2 Lu。右岸向冲沟内延伸的山脊及两马鞍型垭口均存在向坝后渗漏问题,需进行防渗处理。由于岩层倾角较缓,近坝地段库首弱岩溶相对隔水层出口位置较低,库首两岸存在沿关岭组(T_{2g}^{2-1})中等可溶岩层面、溶蚀裂隙向坝后下游渗漏问题,应结合坝基防渗和两岸邻谷渗漏防渗一并处理。

5 防渗处理建议

坝址区两岸出露的关岭组(T_{2g}^{1-3})地层为相对隔水层,两坝肩有较为稳定的地下水位,为防渗线路的选择提供了较为有利的地质条件。结合类似工程经验,水库防渗宜采用垂直防渗方式,防渗标准(透水率)小于 3 Lu 或防渗帷幕下限接稳定地下水位以下 10 m,同时遇到溶洞等地质缺陷时应在查明其分布特征基础上根据实际情况降低防渗底线。

5.1 防渗线路建议

库区左、右二岸防渗线均近于平行水库方向。左岸左端点应穿过最上游 I-I' 渗漏带,并进入分水岭外侧;右端点接坝轴线且交点应高于蓄水位线,即左岸防渗线长 990 m。右岸左端点接右侧库盆库尾,并穿过 F1 正断层;右端点接坝轴线且交点应高于蓄水位线,即右防渗线长 1 380 m。

坝区防渗线沿坝轴线方向布置。左端点接左岸水库蓄水位高程以上;右端点接右岸水库蓄水位高程以上,即坝区防渗线长 230 m。

5.2 防渗底线建议

(1)左岸:考虑到长期观测的稳定水位为 1 161.9 m,同时考虑到左岸地下水位有一定坡降,初步建议防渗底线标高为 1 150 m。

(2)右岸:考虑到右岸长期观测的稳定水位为 1 168.8~1 171.2 m,且考虑到右岸地下水位有一定坡降,初步建议防渗底线标高为 1 160 m。

(3)坝区:建议防渗底线高程 1 120 m。

5.3 防渗工程量估算

根据上述防渗线路建议方案及防渗底线确定标准,水库在 1 180 m 蓄水位高程下,左岸纵向灌浆面积 2.9 万 m^2 ,右岸灌浆面积 2.7 万 m^2 ,坝址区灌浆面积约 1.4 万 m^2 ,合计 7.0 万 m^2 ,另建议于左岸上游布置一条 350 m 长的灌浆廊道。

6 结论及建议

(1)库盆底部出露地层为关岭组 T_{2g}^{2-1} 及 T_{2g}^{1-3} 弱透水或隔水性岩体,库盆底部不存在库水渗漏问题。

(2)库区左岸主要渗漏带有两个,即 III-III'、IV-IV' 岩溶较发育带,存在沿 F2 断层或沿层面、溶蚀裂隙渗漏问题,分水岭地下水位低于正常蓄水位,需对 III-III'、IV-IV' 渗漏带进行防渗处理。

(3)水库右岸支库库尾分水岭单薄,沿分水岭发育 F1 断层,断层带岩溶发育,地下水位低于正常蓄水位,存在库水通过层面、溶蚀裂隙进入岩溶发育的断层带向坝下游绕渗问题,需进行防渗处理。

(4)近坝地段库首弱岩溶相对隔水层出口位置较低,存在库首两岸存在沿关岭组(T_{2g}^{2-1})中等可溶岩层面、溶蚀裂隙向坝后下游渗漏问题。

(5)建议水库防渗采用垂直防渗方式,防渗标准(透水率)小于 3 Lu 或防渗帷幕下限接稳定地下水位以下 10 m,同时遇到溶洞等地质缺陷时应在查明其分布特征基础上根据实际情况降低防渗底线。

参考文献

- [1] 邹成杰,张汝清,徐福兴,等.水利水电岩溶工程地质[M].北京:水利电力出版社,1994.
- [2] 卢耀如.岩溶地区主要水库工程地质问题与水库类型及其防渗处理途径[J].水文地质工程地质,1982(4):15-21.
- [3] 费英烈,邹成杰.贵州岩溶地区水库坝址渗漏问题的初步研究[J].中国岩溶,1984,3(2):120-129.
- [4] 邹成杰.库坝址岩溶渗漏类型及防渗帷幕布置型式的研讨[J].中国岩溶,1987,6(2):149-152.
- [5] 赵瑞,许模.水库岩溶渗漏及防渗研究综述[J].地下水,2011,33(2):33-36.
- [6] 肖万春.水库岩溶渗漏勘察技术要点与方法研究[J].水力发电,2008,34(7):53-55.
- [7] 万伟峰,王泉伟,东庄水库岩溶渗漏几个关键问题的探讨[J].人民黄河,2015,37(2):99-103.
- [8] 杜毓超,李兆林,唐健生.湖南新田水浸窝水库渗漏分析及其治理[J].中国岩溶,2003,22(4):271-275.
- [9] 范玉龙,万军伟.洞坪水库岩溶发育规律及水库渗漏条件分析[J].中国岩溶,2003,22(6):130-135.
- [10] 邹成杰.水库岩溶渗漏地质模型及数学模型的初步研究[J].中国岩溶,1990,9(3):231-240.
- [11] 邹成杰.深岩溶发育的基本规律与水库岩溶渗漏的研究[A].第四届全国工程地质大会论文集[C].1992.
- [12] 李择卫.塞海湖水库库首岩溶渗漏问题研究[J].人民长江,2016,47(23):50-54.
- [13] 郑捷.黔西南侵蚀台地地区双龙溶洼水库渗漏分析[D].成

- 都:成都理工大学,2017:1-20.
- [14] 张欣,赵明阶,汪魁,等. 电法三维成像技术在隧道岩溶探测中的应用[J]. 中国岩溶,2016,35(3):291-298.
- [15] 卢晓鹏,谭光明. 清华洞暗河堵洞成库与防渗技术[J]. 中国岩溶,2012,31(2):179-184.
- [16] 陈贻祥,邬健强,黄奇波,等. 水中自然电场法探测病态水库岩溶渗漏通道:以金鸡河水库一级水电站为例[J]. 中国岩溶,2018,37(6):883-891.
- [17] 黄顺涛. 断裂构造发育对贵州两岔河水库岩溶渗漏的影响研究[J]. 水利水电技术,2017,48(3):127-132.
- [18] M Séger, R Guérin, A Frison, et al. A 3D electrical resistivity tomography survey to characterise the structure of a albeluvic Tonguing horizon composed of distinct elementary pedological volumes[J]. Geoderma, 2014(5):219-220,168-176.
- [19] C Kneisel, A Emmert, J Kästl. Application of 3D electrical resistivity imaging for mapping frozen ground conditions exemplified by three case studies[J]. Geomorphology, 2014, 210(4):71-82.
- [20] 李择卫. 龙潭河水库右岸岩溶渗漏问题分析[J]. 资源环境与工程,2016,30(3):399-403.
- [21] 陈文理,王怀球,向能武,等. 构皮滩水电站坝址区岩溶发育特征[J]. 人民长江,2006,37(3):11-13.
- [22] 裴建国,梁茂珍,陈陈,等. 西南岩溶石山地区岩溶地下水系统划分及其主要特征值统计[J]. 中国岩溶,2008,27(1):6-10.
- [23] 莫美仙,王宇,李峰,等. 云南南洞地下河系统边界及性质研究[J]. 中国岩溶,2019,38(2):173-185.

Karst geological conditions of the planned Ronglai reservoir in Guizhou Province

LIU Hao^{1,2}, TIAN Maozhong^{1,2}

(1. Geotechnical Engineering Co., Ltd., Guiyang Survey and Design Institute, China Hydropower Consulting Group, Guiyang Guizhou 550081, China; 2. Co., Ltd. of Guiyang Survey and Design Institute, China Electric Power Construction Group, Guiyang Guizhou 550081, China)

Abstract The planned Ronglai reservoir is located on a karst platform between the Beipanjiang and Nanpanjiang water systems in the Pearl River basin, southwestern China. There are low-lying troughs on the left and right banks of the reservoir and large karst lakes with a number of sinkholes develop at the downstream of the chosen dam site. To further examine geological conditions of this reservoir, this work conducted the studies in terms of hydrogeological surveys, drilling, geophysical exploration and connectivity tests, involving the analyses of terrain, strata, lithology, geological structure, hydrogeological setting, and karst characteristics. Analytical result suggests that there will be no water leakage to occur at the bottom of the reservoir basin because of the existing impermeable rock mass. But as the two banks of the reservoir area are affected by the low groundwater level of the watershed, fault fracture zones and karst development, potential leakage remains a problem. Meanwhile, leakage can also take place along gentle-dipping rock surfaces and erosion cracks on the banks of the reservoir head. It is recommended to adopt the vertical anti-seepage method, in which the impervious standard (water permeability) is less than 3 Lu or the lower limit of the anti-seepage curtain is 10 m below the stable groundwater level. At the same time, when encountering geological defects such as caves, the threshold of this measure should be lowered to an appropriate extent.

Key words reservoir leakage, karst, platform, groundwater characteristics, geologic conditions of reservoir

(编辑 张玲)