

# 重庆市开县关面水库岩溶水文地质调查及分析

张正清, 郭 贵, 谭书全

(长江岩土工程总公司, 湖北 武汉 430010)

**摘 要:** 重庆开县关面水库是南水北调引江济渭入黄工程供水水库之一, 位于开县东河上, 地貌形态大巴山中部中低山, 库坝区大范围出露碳酸盐岩。从岩石化学成分、各岩层的组合关系、地表岩溶形态等方面宏观研究可溶岩层及岩溶发育程度。通过对水库区河间地块地形地貌、地层组成及组合、构造、水文地质等特征研究, 分析关面水库存在的东河向弯滩河渗漏途径, 为水库成库条件提供地质依据。

**关键词:** 开县关面水库; 岩溶发育程度; 河间地段; 水库渗漏分析

**中图分类号:** P642.25

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1671-1211(2010)02-0158-04

## 1 开县关面水库地质概况<sup>①</sup>

重庆开县关面水库是南水北调引江济渭入黄工程供水水库之一, 位于重庆市开县关面乡上游 600 m 处的东河上, 拟建坝高约 130 m, 坝顶高程 770 m, 正常蓄水位 765 m, 死水位 680 m, 总库容 1.32 亿  $\text{m}^3$ , 调节库容 1.1 亿  $\text{m}^3$ , 从 12 月至次年 3 月可向北方调水, 年调水量 1.1 亿  $\text{m}^3$ 。

工程区位于大巴山中部, 山脉走向与区域构造方向基本一致, 即由北西—南东走向逐渐过渡到近东西走向。水库区山峦叠嶂, 河谷深切, 地形坡角  $60^\circ \sim 70^\circ$ ; 两岸临江岸坡山顶高程 1 300 ~ 1 500 m, 最高山峰高程 1 875 m, 河谷高程 730 ~ 800 m, 为中山地形。水库区及坝址邻近地区出露的主要地层为志留系徐家坝组 ( $S_xj$ )、二叠系下统栖霞组及茅口组 ( $P_1q + P_1m$ )、上统吴家坪组 ( $P_2w$ )、长兴组 ( $P_2c$ ) 及中生界三叠系下统大冶组 ( $T_1d$ )、嘉陵江组 ( $T_1j$ ); 东河自上游向下游切割鱼沙—建楼冲断复背斜 ( $_{27}$ )、石塘坝—天子城复背斜 ( $_{20}$ )、红花—龙洞冲断背斜 ( $_{15}$ )、樱桃坪向斜 ( $_{18}$ ) 等, 背、向斜的轴向均在  $290^\circ \sim 310^\circ$  左右, 背斜核部多由寒武系 ( $\epsilon$ ) 地层组成, 往往伴随有密集巨大冲断层, 向斜核部多由嘉陵江 ( $T_1j$ ) 地层组成, 保存相对完整。发育有满月冲断层 ( $F_1$ ), 由一系列的分支断层 ( $F_{1-1}$ 、 $F_{1-2}$ 、 $F_{1-3}$ ) 组成, 见图 1。

水库区两岸冲沟发育, 右岸有石峡子沟、蒿子坝沟、干河沟、老院子沟; 左岸有螺蛳峡沟、水淹塘沟、无名沟、龙王庙沟、洗脚河沟、天星桥沟、野猫湾沟、杉木

桥沟和二道河沟。

东河—弯滩河河间地段宽约 12 km, 山体雄伟宽阔, 地形强烈切割, 高程 2 000 m 以上分水岭部分宽度狭窄, 两河相应地点高差 270 m, 樱桃坪向斜横穿东河及弯滩河, 核部地层为  $T_1j$  的灰岩, 两翼为  $T_1d$  及  $P_2c$  地层。向斜核部  $T_1j^2$ 、 $T_1j^{1-2}$  层为强岩溶发育岩组, 向斜核部东河侧发育 W39、W85 两个岩溶系统及 8 个干溶洞, 弯滩河侧向斜核部  $T_1j^2$ 、 $T_1j^{1-2}$  发育有 U4、U8 等一系列岩溶系统, 且区域性断裂满月冲断层横穿整个河间地块。

## 2 可溶岩层及岩溶发育程度划分

岩溶发育程度与地质期、地形地貌、地层岩性、地质构造、地下水活动、岩溶层与难溶岩层的分布等诸多因素有关。由于国内可溶岩地层分布地理位置不同, 气候环境不同, 岩溶发育程度差异较大, 形成统一量划分标准比较难, 一般可根据各岩组中各类岩石的化学成分及其岩性组合, 结合地表岩溶形态等方面划分。

### 2.1 岩石化学成分

碳酸盐岩岩性差异主要表现在  $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$  含量及酸不溶物含量的差异, 它们含量的多少直接影响岩溶的发育程度, 相对而言岩石  $\text{CaO}$  含量高, 岩石的可溶性较大, 酸不溶物含量高, 岩石的可溶性小。

根据关面水库岩石化学成分分析成果, 灰岩类  $\text{CaO}$  含量 50% ~ 54%,  $\text{Mg}$  含量 0.8% ~ 1.3%, 酸不溶物 < 10%; 泥质灰岩类  $\text{CaO}$  含量 27% ~ 45%,  $\text{Mg}$  含量 0.9% ~ 2.4%, 酸不溶物含量 15% ~ 35%; 白云岩及灰

收稿日期: 2009-06-22; 改回日期: 2009-11-13

作者简介: 张正清 (1966-), 男, 高级工程师, 工程地质及水文地质专业, 从事水利水电勘察工作。E-mail: cjwzzq@163.com

①长江水利委员会重庆勘测研究院, 南水北调引江济渭入黄前期规划成库条件调查, 2003。

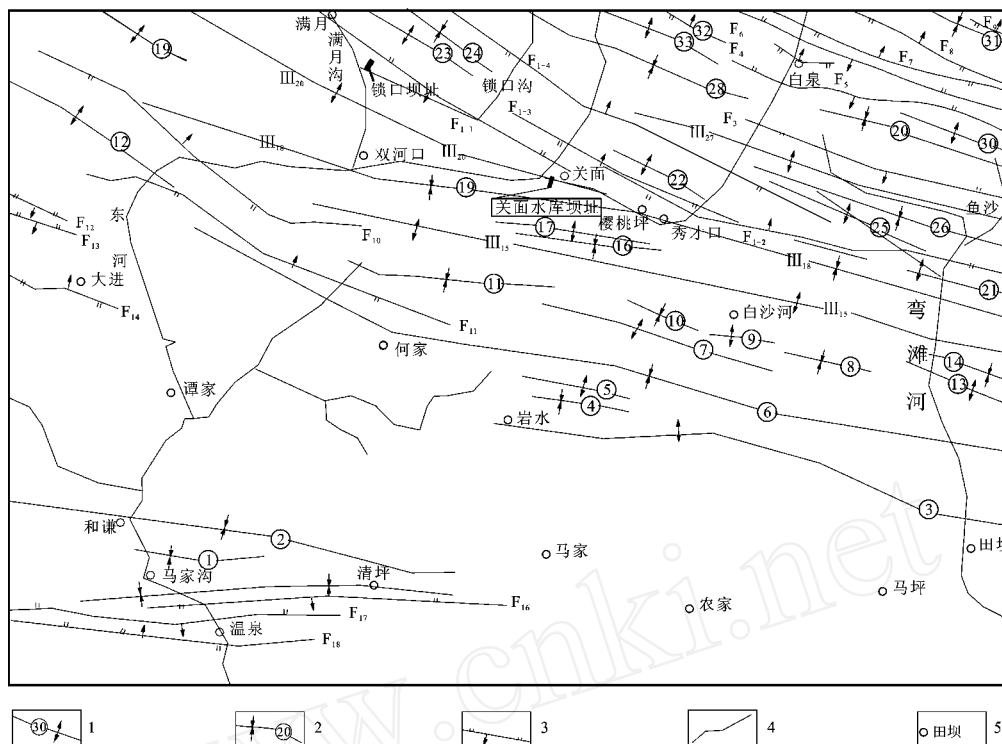


图 1 开县关面水库构造纲要图 (1:20 万)

Fig. 1 Outline map of Guanmain reservoir construction in Kai county

1. 背斜及编号; 2. 向斜及编号; 3. 断层及编号; 4. 水系; 5. 乡镇。

质白云岩类  $\text{CaO}$  含量 36% ~ 43%,  $\text{Mg}$  含量 11% ~ 18%, 酸不溶物含量 2.4% ~ 10.8%。

工程区纯灰岩组有  $P_2w$ 、 $P_2c^1$ 、 $T_1j^{1-2}$ , 其中  $P_2c^1$  地层中  $\text{CaO}$  含量最高可达 54%, 酸不溶物为 1.6%;  $P_2w$  灰岩中  $\text{CaO}$  含量最高可达 52.7%, 酸不溶物 < 1%;  $T_1j^{1-2}$  地层中  $\text{CaO}$  含量最高可达 50.8%, 酸不溶物为 8.22%, 为易溶盐地层, 一般为强岩溶层。

而相对溶解度比值低的白云岩、泥质灰岩、白云质灰岩等易溶程度相对较差, 为弱岩溶层; 由碎屑岩组成的志留系  $S$  为不岩溶地层, 组成区域相对隔水层。

## 2.2 不同岩性的组合

测区各组由单一的岩性组成的较少, 往往由两种或几种岩性的岩石组合而成, 岩溶发育程度与所夹的相对溶解度比值低的岩类厚度及灰岩总厚度有关。

二叠系吴家坪 ( $P_2w$ ) 组地层厚度约 284 m, 全部由灰岩组成; 二叠系长兴组第一段 ( $P_2c^1$ ) 组地层厚度 129.75 m, 全部由灰岩组成; 三叠系嘉陵江组  $T_1j^{1-2}$  地层 149.16 m, 其中灰岩厚度 128 m, 其余由泥灰岩、含泥质灰岩组成。上述三组地层中灰岩所占比例大, 且夹层较少, 岩溶发育程度较高, 一般为强岩溶层。

由灰岩夹泥灰岩 (或互层)、白云岩组成的有  $T_1d^2$ 、 $T_1d^4$ 、 $T_1j^{1-1}$ , 其中灰岩占层厚的 57.7% ~ 71.3%, 其余

由低溶解度比值的泥灰岩、白云岩等组成, 可为强—弱岩溶层, 一般可根据地表岩溶形态进行细分。

由白云岩、灰质白云岩等组成的地层有  $P_2c^2$  及  $T_1d^1$ , 其中  $P_2c^2$  厚 31.7 m, 全部由白云岩组成, 为弱岩溶层。  $T_1d^1$  主要由白云岩组成, 夹较多泥质白云岩及页岩, 也为弱岩溶层。由泥质灰岩夹少量灰岩组成的地层有  $T_1d^3$ 、 $T_1d^5$ , 其中的灰岩单层厚度小, 占层厚的比例较小, 一般为 10.2% ~ 13.5%, 岩溶不发育。

## 2.3 地表岩溶形态

工程区发育岩溶形态有溶蚀盆地、溶蚀峰林、石芽残丘、溶洞、落水洞、暗河、岩溶泉水、溶沟溶槽等。据 1:20 万岩溶水文地质测绘的不完全统计, 测区共发现岩溶点 109 个, 其中落水洞 34 个, 溶洞 75 个, 泉水点 69 个, 其中流量 > 60 L/min 的 23 个。

落水洞主要分布在  $T_1j^{1-1}$ 、 $T_1j^{1-2}$  地层中, 分别为 7 个及 19 个, 占落水洞总数的 20.6% 及 55.9%, 其余的分布在  $P_2c^1$  的落水洞有 3 个, 分布在  $T_1j^2$  层中有 5 个, 所占落水洞总数比例较小。

溶洞主要分布在  $P_2c^1$  层中, 有 15 个, 占溶洞总数的 20%;  $T_1j^{1-1}$ 、 $T_1j^{1-2}$  层分别发育溶洞 10 个及 33 个, 分别占溶洞总数的 13.5% 及 44%;  $T_1d$  地层分布 2 个, 其余的分布在  $T_1j^{2+3}$  层中。

分布在  $T_1j^{1-1}$ 、 $T_1j^{1-2}$  地层中泉水点分别为 18 个及 12 个,分别占泉水总数的 26.1% 及 17.4%,  $T_1d$  地层中分布泉水点 15 个,  $P_2w$  及  $P_2c^1$  地层中发育泉水个数分别为 1 及 5 个,其余分布在  $T_1j^{2+3}$  层中。

根据各泉水流量统计分析  $T_1d$ 、 $T_1j^{1-1}$  及  $T_1j^{2+3}$  地层中泉水流量多  $< 60 \text{ L/min}$ ,占泉水总个数的 82.6%,其平流量之和占  $< 60 \text{ L/min}$  泉水总流量的 77.6%;流量  $> 60 \text{ L/min}$  主要分布在  $T_1j^{1-2}$ 、 $T_1j^2$ 、 $T_1j^3$  地层中,占泉水总个数的 69.4%,平流量之和占  $> 60 \text{ L/min}$  的泉水总流量的 68.4%,其中  $P_2w$  及  $P_2c^1$  地层中泉水个数较少,但各发育暗河一个,流量较大,平流量分别为  $400 \text{ L/min}$  及  $700 \text{ L/min}$ ,占泉水总平流量的 7.2% 和 13.7%。

统计表明:  $P_2w$ 、 $P_2c^1$  及  $T_1j^{1-2}$  地层中泉水点、落水洞、溶洞发育个数较多,或流量较大,总体上为强岩溶层;  $P_2c^2$ 、 $T_1d$  发育岩溶形态数量少,各泉水流量一般  $< 60 \text{ L/min}$ ,为弱岩溶层。

$T_1j^{1-1}$  虽然发育较多落水洞、溶洞等,但泉水点流量较小,为弱岩溶层。

### 3 水库向弯滩河岩溶渗漏分析

根据库坝区的地形地貌、地层组成及组合、构造、水文地质等特征,关面水库可能存在东河向弯滩河、水库向右岸关面沟、水库向左岸下游封神庙沟发生岩溶渗漏的可能,这里仅对东河向弯滩河发生岩溶岩漏的可能性进行分析。

#### 3.1 自然状态下的岩溶渗漏分析

从东河—弯滩河间地段  $T_1j$  岩溶层组成的向斜核部直接贯通两河,两河相距约 12 km,山体雄伟宽厚,地形强烈切割,相对高差约  $1\ 600 \sim 1\ 800 \text{ m}$ ,属高中山地形,高程  $2\ 000 \text{ m}$  以上分水岭部分宽度狭窄,流向东河、弯滩河及北部马家河的冲沟,分水岭最高山峰高程  $2\ 300 \text{ m}$ ,两河床高程  $300 \sim 700 \text{ m}$ ,两河相应地点高差  $270 \text{ m}$ ,在自然状态下,东河水有可能向弯滩河发生岩溶渗漏。

对东河三个断面同阶段的情况进行流量测量,水库上游里二坝至二道河之间实测流量  $4.45 \text{ m}^3/\text{min}$ ,上坝线野猫湾沟附近实测流量  $4.91 \text{ m}^3/\text{min}$ ,两断面相距约  $6.7 \text{ km}$ ,其间有少量冲沟汇入,流量较小。除去冲沟汇水影响,从这二个断面的流量来分析,水库上游向下游流量逐渐增大,且相差很小,另据实地多次反复调查访问,在水库河段河床没有发现落水洞及河流干枯现象。因此认为在自然状态下,东河水没有向弯滩河渗漏的迹象。

#### 3.2 水库沿 $F_1$ 断层带向弯滩河岩溶渗漏分析

$F_1$  断裂带从宏观上控制了水库右岸的地质结构,既改变了褶皱初期的地质结构,如  $F_{1-1}$  逆冲断层使上盘的  $T_1j^{1-2}$  地层变薄,而  $F_{1-2}$ 、 $F_{1-3}$  逆断层使原本有一个向斜构造面目全非。

$F_{1-3}$  穿过东河及弯滩河,在东河河床处高程为  $732 \text{ m}$ ,低于正常蓄水位  $24 \text{ m}$ ,且断面倾向上游,倾角  $40^\circ$ ;  $F_{1-3}$  断层两侧大部分为  $T_1j^{1-1}$  的弱岩溶层或相对隔水层。

通过野外对  $F_{1-1}$ 、 $F_{1-2}$ 、 $F_{1-3}$  断裂实地调查,发现高程  $1\ 300 \sim 1\ 500 \text{ m}$  夷平面上断层破碎带附近发育溶洞 3 个,落水洞 18 个,在断裂带附近较集中,岩溶相对较发育,为高程较高的一级岩溶系统。沿断裂带附近发现泉水 10 个,且流量多不大,沿断层带岩溶不发育。

其中 KW24 溶洞泉及 W20 泉水发育东河水库内,分布右岸  $F_{1-1}$  破碎带及  $F_{1-3}$  断层带内, KW24 位于蒿子坝沟内,出水点高程  $780 \text{ m}$ ,出露地层为  $T_1j^2$ ; W20 泉水出水点高程  $1\ 110 \text{ m}$ ,泉水流量大,是蒿子坝明流的主要补源,但两泉水点高程高于正常蓄水位,不可能沿断层向弯滩河发生管道型岩溶渗漏。

在弯滩河  $F_{1-3}$  断层及  $T_1j^{1-1}$  的地层进行岩溶水文地质调查,在  $F_{1-3}$  断层近  $20 \text{ m}$  厚的断层带中未发现岩溶发育,仅  $T_1j^{1-1}$  地层地表调查发现 U10 泉水一个,流量约  $50 \text{ L/min}$ ,部分地段出现渗水带宽可达  $150 \text{ m}$ ,说明沿断层带岩溶不发育,导水性差,邻近  $T_1j^{1-1}$  地层为弱岩溶层,沿断层及邻近地层无渗漏出口的岩溶系统存在。

与断层带相邻的中强岩溶层 ( $T_1j^2$ 、 $T_1j^{1-2}$ ) 中地下水位已高于  $760 \text{ m}$ ,如杉木桥沟内的 W85 号泉水高程  $800 \text{ m}$ ,沟内有常年流水。

因此水库蓄水后不会沿  $F_{1-3}$  断层带向弯滩河发生岩溶渗漏。

#### 3.3 水库沿向斜核部向弯滩河岩溶系统渗漏分析

(1) 可能发生渗漏的岩溶系统 发生渗漏进口的主要岩溶系统 W39 号泉位于野猫湾沟与天星桥沟之间的东河左岸,高程  $696.78 \text{ m}$ ,出口层位  $T_1j^{1-2}$ ,平流量  $250 \text{ L/min}$ ,泉水点高程低于正常蓄水位,地层顺樱桃坪向斜延伸到弯滩河,可能为野猫沟水渗漏后顺岩层走向补给。

W85 号泉位于杉木桥沟中,出口高程  $800 \text{ m}$ ,是从向斜核部  $T_1j^2$  层中流出,丰水流量  $500 \text{ L/min}$ ,据访问得知此泉水常年不干,枯流量约  $150 \text{ L/min}$ ,由于出口高程高于正常蓄水位,不可能向弯滩河发生岩溶渗漏。

可能渗漏的出口的主要岩溶系统 U1—U8 位

于弯滩河右岸渔沙下游的向斜核部,出口层位  $T_1j^{1-2}$ 、 $T_1j^2$ ,出口高程 440~573 m,出水点高于河水 10~150 m,其中出水口较低的 U4、U8 系统高程分别为 530 m 和 575 m,最大流量分别为 1 200 L/min 和 2 000 L/min。另有 29 股出水点,分散后渗入地下又露出地表,出水段总宽度约 800 m,总流量 21 750 L/min,据访问后得出,枯流量为观测流量的 2/3 或 1/2。

(2) 地下水分水岭高程及岩溶层分布高程分析  
河间地段为深切峡谷,存在有地下分水岭,根据对地下水运动方向及两河地下水流量的分析,地下水分水岭应偏东河一侧,距东河 3 km,距弯滩河约 9 km。根据地表溪沟坡降,对较大溪沟底部统计,坡降为 11%~15%,关面沟平均坡降 2.9%,一般深切峡谷岩溶地区地下水最小坡降 >2.6%。东河左岸 W39 泉进口高程 696.78 m,距分水岭平均距离 3.5 km,按水力坡降 2.5%推算,分水岭地下水位高程 787 m 左右,库水不会沿 W39 岩溶系统向弯滩河发生渗漏。

弯滩河侧 U4 出口高程 530 m,距分水岭平均距离约 9 km,按峡谷区统计岩溶系统水力坡降 2.6%推算至分水岭,地下水位高程 764 m,地下水分水岭高程略低于正常蓄水位,但根据库坝区水文地质测绘,东河下关溪剖面观察,向斜核部  $T_1j^2$  与  $T_1j^1$  分界高程 1 200 m 左右,用各层厚度推算分水岭处  $T_1j^1$  与  $T_1d$  分界点最低高程约 800 m,岩溶层最低点高于正常蓄水位,因此推算分水岭地段强岩溶发育下限高程及地下水位应在 820 m 以上,与实际地形图上出水溶洞高程为 900~1 000 m 基本相匹配,说明此段地下水水力坡降应 >2.6%。

综合上述分析水库蓄水后不会发生沿向斜核部  $T_1j^{1-2}$  及  $T_1j^2$  层向弯滩河的岩溶渗漏。

## 4 结语

岩溶形态发育与地层的可溶岩程度、可溶岩分布面积、出露的地形条件、地质构造(断层、裂隙及产状)、河谷岩溶水动力类型、地形分水岭地下水位、隔水层及相对弱岩溶的展布等特点有关,可溶岩溶蚀过程由复杂的地质演变形成,是经历了漫长的地质时代形成的。

地表地质调查是岩溶渗漏分析研究的基础,宏观地从岩石化学成份、地层不同的组合、地表岩溶形态分析可溶岩层及岩溶发育强弱程度、发育规律是岩溶地区工作的基本方法,可以确定区域内岩溶层及相对隔水层的分布特点;根据岩溶发育强弱程度,本文从自然条件下河谷流量、强岩溶层与弱岩溶层地层分界高程、邻谷河流两岸泉水出露层位及高程、地下水分水岭的分布位置及高程等方面对东河向弯滩河发生岩溶渗漏的可能性进行了分析。

碳酸盐岩区岩溶地质工作是十分复杂的,野外地质调查只能宏观分析判断,随着勘察阶段的深入,通过勘探、岩溶水文地质试验、岩溶地下水动态观测及地下水水温场、化学场分析、同位素研究与预测,遥感分析等多种工作手段<sup>[1]</sup>,积累工作区岩溶的工作经验及资料,才能更加真实地反映岩溶水文地质特征,为岩溶地区水库渗漏分析提供可靠的地质依据。

## 参考文献:

- [1] 邹成杰. 水利水电岩溶工程地质 [M]. 北京: 水利水电出版社, 1994.

(责任编辑:潘 潇)

# Karst-hydrogeological Inquiry and Analysis on Guanmian Reservoir in Kai County, Chongqing

ZHANG Zhengqing, GUO Gui, TAN Shuquan

(Changjiang Geotechnical Engineering Corporation, Wuhan, Hubei 430010)

**Abstract:** Kai county reservoir, as one water supply reservoir of divert water from the south to the north project, is located on east river of Kai county. The land form of this place is in the low mountain at central Daba. The large scale of dam exposes carbonate rocks. This paper does macro-analysis on soluble terrane and degree of development about karst in many aspects, including chemical composition of rocks, the relationship between combination of rocks, surface karst configuration, etc. It provides geological basis for reservoir after studying the features of land form, composition and structure of stratum, hydrogeological characteristics about this reservoir land, as well as reservoir leakage existing between the East river and Wantan river.

**Key words:** Guanmian reservoir; degree of karst development; Hejian section; analysis on reservoir leakage