

猴关岩微型地表地下联合水库成库条件分析

虞万霞¹, 劳文科², 王锦国¹

(1. 河海大学土木工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西 桂林 541004)

摘要 在对实地的水文地质条件分析的基础上, 设计出修建猴关岩微型地表地下联合水库的方案: ①利用帷幕灌浆的方法堵截地下河使之成为地下水库; ②利用地表有利地形兴建微型地表水库, 从而获得地表与地下库容相结合的微型水库, 提出 3 个选择水库坝址的方案进行对比, 得出一个较为合理的选址方案。

关键词 水文地质; 岩溶水系统; 帷幕灌浆; 地表地下联合; 水库

中图分类号 :TV62+3 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2009)02-0069-03

Building conditions of Houganyan surface water micro-reservoir combined with groundwater storage capacity

YU Wan-xia¹, LAO Wen-ke², WANG Jin-guo¹

(1. College of Civil Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin 541004, China)

Abstract According to local hydrogeological conditions, a surface water micro-reservoir with groundwater storage capacity in Houganyan was designed by having a grout curtain to intercept the underground river in order to form the underground reservoir, and by using surface negative terrain in order to build the surface water micro-reservoir. The most reasonable program was selected by comparison of three alternative options for reservoir dam sites.

Key words hydrogeological conditions; karst water system; curtain grouting; surface water reservoir combined with groundwater storage capacity

目前, 淡水资源已成为一种战略性资源, 合理开发利用水资源, 使水资源开发与经济、社会发展相和谐, 实现真正的可持续发展, 是值得人们高度重视、深思和深入研究的重大问题^[1]。岩溶地下水历来是岩溶区重要的供水水源, 岩溶水合理开发利用日益重要。在滇、黔、桂、湘、川等主要岩溶分布区, 地下河及其天窗、大泉的利用程度及地表、地下水综合利用程度都日益提高^[2-6]。本文以湖南省永州市接履桥镇猴关岩微型地表地下联合水库为例, 分析修建地表地下联合水库的可行性。

猴关岩微型地表地下联合水库工程, 是一个拟以堵截地下河(地下水主径流带)并利用地表有利负地形(一长条型开口洼地)兴建一微型地表水库(山塘)而获得地表与地下库容相结合的微型水库, 是以解决当地城镇居民生活用水困难为主要目的的岩溶

丘陵区地下水开发利用示范工程。本文通过对该地区自然地理、地质条件、岩溶及岩溶水系统、坝址的对比选择、水库工程地质条件的分析, 论证了拟建微型地表地下联合水库的可行性。

1 自然地理和地质条件

1.1 自然地理条件

该地区位于溶丘谷地与溶丘洼地交接地带。丘顶标高一般为 152.8 ~ 202.4 m; 谷地底部标高大多在 115.0 ~ 134.0 m 之间, 洼地底标高大多在 125.1 ~ 168.5 m 之间。区内的洼地按其分布的高程可分为低洼地和高洼地两类。

低洼地的底部标高一般在 125 ~ 135 m 之间, 洼地规模相对较大, 主要分布在溶丘谷地地区的边缘地带, 多呈开口状, 常为区内高洼地区地下水的排泄

地带,是区内兴建地表蓄水工程的主要地形。高洼地的底部标高一般在 151.1~168.5 m 之间,洼地规模相对较小,其底部常与其下直径 30~60 cm、深度 2~6 m 的小型消水洞、竖井、溶蚀裂隙等垂向岩溶形态相连。主要分布在区内位置相对较高的岛状溶丘洼地地区内,呈近圆或椭圆状,是区内汇集大气降水降落地面后形成的地表径流并入渗地下的主要负地形和下渗通道。

1.2 地质条件

区内出露的基岩地层主要有:泥盆系上统锡矿山组(D_{3x})、孟公坳组(D_{3m})和石炭系下统马兰边组(C_{1m}),其地层的主要岩性特征如下:锡矿山组(D_{3x}):深灰、灰白色厚层白云质灰岩、陷晶-微晶灰岩,局部具硅质条带、痢痢状白云质条带,厚 289 m。孟公坳组(D_{3m}):灰、深灰色页岩、砂质页岩、泥灰岩为主夹灰岩和泥质粉砂岩,底部以粉砂岩为主,厚数十米。马兰边组(C_{1m}):深灰色厚层隐晶质灰岩夹灰黑色薄~中厚层泥质灰岩,厚 206 m。

区内的构造形迹主要有褶皱、断裂和裂隙。褶皱主要有画眉铺~猴关岩向斜。由石碳系下统马兰边组(C_{1m})构成向斜的核部,两翼由泥盆系上统孟公坳组(D_{3m})和锡矿山组(D_{3x})所组成。地层产状东翼较陡,倾角 40~50°,西翼较缓,倾角 15~25°。轴向北北西。

断裂主要有北西向的 F1、F2、F3、F4 和北东向 F5。规模较大、走向北西的压扭性断裂是主干断裂,断裂带岩石挤压破碎,有充填胶结程度较好的断层角砾岩和糜棱岩,局部有硅化现象,具有相对隔水的性质,可见宽度 3~8 m 不等。走向北东、规模相对较小的张扭性断裂,断裂带主要由一组破裂面组成,充填胶结程度较差,具有一定的导水性,可见宽度 2~4 m 不等。

裂隙主要有北东 10~15°、北东 50~60°和北西 330~340° 3 组。长度 10~100 m,隙宽 5~10 cm 不等,发育深度一般为 2~5 m,局部达 10 m。其中北西 330~340° 一组裂隙多为方解石全充填,少量为半充填,导水性差,而北东 10~15°、北东 50~60° 两组裂隙多为少量充填或无充填,导水性较好。

2 岩溶及岩溶水系统

该研究区所处的小岩溶流域范围内,表层岩溶带发育较为强烈,浅小的洼地、漏斗、消水洞星罗棋布,分布密度可达 15 个/ km^2 。溶沟、石芽、溶槽、溶隙等岩溶形态随处可见。表层岩溶带的厚度多在 2~8 m 之间;而其下相对较深部地带的地下岩溶空间不甚发育,洞穴、管道、地下河、岩溶泉等岩溶形态

极其稀少,仅在向斜轴部有一地下河分布。

该岩溶小流域的岩溶地下水系统,是一个流域平面边界封闭条件较好、相对独立完整的岩溶地下水系统。以石炭系下统马兰边组(C_{1m})碳酸盐岩构成系统内部的岩溶含水岩层,底部及周边为泥盆系上统孟公坳组(D_{3m})非碳酸盐岩隔水地层所兜托。就相对完整的地下水系统来说,区内地下水的补给来源主要是大气降水,充沛的降雨量为区内的地下水提供了丰富的补给来源。系统内星罗棋布的浅小洼地、漏斗、消水洞、溶槽、溶隙等为大气降水降落地面后的汇集和入渗补给岩溶地下水提供了良好的空间和通道。另外,向斜构造型岩溶水文地质系统有利于地下水的汇集。地下水流场明显地受向斜构造分布格局的制约,沿向斜轴部地带分布的地下河是本系统内地下水汇集、径流的主要通道。其中,上游段以裂隙状的岩溶管道为主要径流通道的,而其中、下游段则以一组宽度 5~6 m、隙宽 5~10 cm 溶蚀裂隙为主要径流通道的。在中、上地段,地下河的水位标高为 152~170 m,而在中、下游地段,地下河的水位标高为 136~125 m。二者在 S8 消水洞至猴关岩 S1# 溢流天窗附近封闭洼地处之间水平距离约 120 m 的地段内,形成高差达 16 m 的水位跌坎。由于岩溶管道比溶蚀裂隙的流通性要好,所以在雨季由于以溶蚀裂隙为主要径流通道的中、下游地带地下水排泄不畅,常有地下径流从猴关岩“溢流天窗”处溢出排向地表洼地内。系统内地下水的主流向是自南南东往北北西向径流。另外在猴关岩“溢流天窗”附近开口洼地南端有一条向南南西向径流的小河流。

整个地下水系统是一边界条件封闭、具有相对独立完整的补给、径流、蓄水、排泄系统的水文地质单元。结合该区水文地质条件,以及年总降水量,可知该区为补给良好的岩石系统^[6]。因此,采用 0.7 的降雨入渗系数进行估算。由表 1 可知,拟开发年总降水量与降雨入渗系数相乘,就可得出可开采的降雨入渗补给量可达 82 万 m^3/a 。即使是在枯水季节,地下河中、上段的流量为 0.609 9 L/s,地下河出口(岩溶泉)处的流量为 0.793 8 L/s,也具有很高的开采价值。

表 1 流域地下、地表水统计

地下汇水面积/ km^2	地表集雨面积/ km^2	年总降水量/ (万 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)	拟开发地下汇水面积/ km^2	拟开发地表集水面积/ km^2	拟开发年总降水量/ (万 $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)
1.96	1.32	179	1.12	0.83	117

根据当地实际的水文地质条件,结合当地缺水情况和用水需求,拟在地下河流域内兴建一微型地表地下联合水库。其方法是利用帷幕灌浆的方法堵

截地下河使之成为地下水库 ,并利用地表有利负地型将猴关岩“溢流天窗”附近开口洼地南端原有的小型拦水坝加高至设计蓄水高程(140 m)以上兴建一微型地表水库 ,从而获得地表与地下库容相结合的微型水库。

3 坝址选择

在坝址的选择过程中 ,首先根据地下河流域范围内的地形地貌、地质、水文地质条件及地下河的发育与分布特征等方面情况 ,选择流域封闭条件良好的地段进行防渗处理^[3]。因此选择中、上游地段的猴关岩洼地一带采用帷幕灌浆的方式构建地下防渗墙(地下坝) ;对于地表副坝的坝址 ,则在猴关岩洼地南端的开口处将原有的小型拦水坝加高至设计蓄水高程(140 m)以上构筑微型地表地下联合水库。对于帷幕灌浆地段 ,主要有两种选择方案 :第 1 种方案是拟在猴关岩开口洼地内第二级台面的 1 号或 2 号坝线构建地下防渗墙(地下坝) ;而第 2 种方案则拟在猴关岩开口洼地北端的 3 号坝线构建地下防渗墙(地下坝)。纵观 2 种方案的多项具体条件(表 2) ,两种方案各有利弊。

由表 2 可以看出 ,上述两种方案 3 处坝址均可满足当地居民近期内的用水需求。但综合评价 ,以在第一方案的 2 号坝线作为坝址较为合理。如果在经费充裕的情况下 ,第二方案(选择 3 号坝线作为坝址)也不失为更好的选择。

4 水库工程地质条件

4.1 库区地质条件

从流域水文地质系统结构的整体来看 ,它是一个边界条件封闭完整的向斜蓄水构造^[4]。良好的地质和构造条件从总体上制约了邻谷、岸边及库底渗漏的发生。水库不应存在邻谷、岸边及库底渗漏问题。拟建水库位于区内低洼地区猴关岩洼地底部 ,四周基岩裸露 ,岩体为较为完整的石灰岩、页岩、砂

质页岩及泥质粉砂岩 ,强度都较高。也没有对库岸稳定有影响的滑坡、坍塌、泥石流等不良地质现象 ,故该水库库岸稳定性良好。另外由于库区汇水范围内为溶丘洼地区 ,且多为封闭的小型洼地 ,植被较发育 ,对水土流失起到良好的保护作用。而库区周边主要分布着不易风化的碳酸盐岩 ,仅在地表副坝附近局部地段的缓丘分布有少量较易风化的页岩、砂质页岩等 ,所以库区汇水范围内泥沙来源少 ,该水库淤积问题也不突出。

4.2 坝区工程地质条件分析

该水库备选 3 条地下坝线的坝址均分布于石炭系下统马兰边组(C_{1m})碳酸盐岩地层中、位置相对较低而接近当地岩溶发育下限的地带。采用帷幕灌浆方式将其中地下水主径流带的渗漏通道进行阻塞构筑成地下防渗墙(地下坝) ,用以阻断地下河河水流通^[5]。地下防渗墙以完整的基岩为其坝基和坝肩。对于拟建的轻型地下防渗墙荷载和不足 20 m 水头的侧压力 ,它具有足够的承载力和抗滑力 ,不会出现由于构筑地下防渗墙而导致基岩发生对坝基坝肩稳定有影响的变形 ,也不应出现对水库正常蓄水有影响的重大渗漏问题。而拟建的地表副坝坐落在泥盆系上统孟公坳组(D_{3m})的页岩、砂质页岩及泥质粉砂岩地层中 ,高度加高至设计蓄水高程(140 m)以上 ,对于高度不足 10 m 的微型重力坝和不足 10 m 水头的侧压力 ,它具有足够的承载力和抗滑力 ,不会出现由于构筑地表副坝而导致基岩发生对坝基坝肩稳定有影响的变形。同时 ,由于泥盆系上统孟公坳组(D_{3m})的页岩、砂质页岩及泥质粉砂岩地层系区内的隔水地层 ,也不会出现对水库正常蓄水有影响的渗漏问题。

5 结论与建议

从地质、构造、地貌及水文地质系统等方面来看 ,拟建的猴关岩微型地表地下联合水库的成库条件良好。

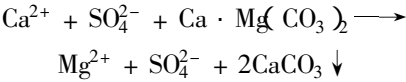
表 2 帷幕灌浆地段地下坝址选择条件对比

		勘察难易程度	施工条件	地表集雨面积/ km ²	地下汇水面积/ km ²	枯季截潜流量/ (L·s ⁻¹)	满足需求情况	地下水流域完整性	帷幕灌浆工程造价/ 万元	综合效益评价
第一方案	1 号坝线	较容易	较好	0.83	0.96	0.6296	满足	较差	> 63	较差
	2 号坝线	较容易	较好	0.83	0.93	0.6099	满足	较差	≈ 38	较好
第二方案	3 号坝线	较困难	不好	0.83	1.12	0.7345	满足	较好	> 137	差

主 要 工 程 量						
		帷幕段长度/m	造孔/个	深度/m	总进尺/m	灌浆水泥量/t
第一方案	1 号坝线	> 60	64	> 12	1 632	> 850
	2 号坝线	30	34	12 ~ 25	760	585
第二方案	3 号坝线	135	139	> 22	4 504	> 1 300

(下转第 82 页)

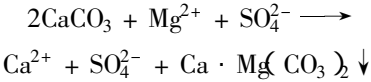
溶解度的影响。当硫酸水中含有较高浓度 Ca^{2+} 时,在对白云石的溶解过程中,会产生白云石溶解的同时出现方解石沉淀,这是一种不全等溶解去白云岩化作用^[4]。其反应过程如下:



从而促使白云石的溶解反应进一步发展。

如在江西东乡铜矿以白云岩溶解为主产生的白云岩粉(砂)、碎石、泥等溶蚀残积、堆积物(K_{sd})中就存在次生方解石^[14]。

当硫酸水中 Mg^{2+} 浓度较高时,在对方解石溶解过程中,将产生白云石沉淀,这是一种不全等溶解的白云岩化作用^[4]。其反应过程如下:



显然,该反应可促使方解石的溶解进一步发展。

f. 天然水中常存在 CO_2 和其他酸的作用

天然地下水中本身就存在不同程度的 P_{CO_2} 、硝酸、有机酸等,再加上硫酸水的作用,对碳酸盐岩的溶蚀作用比单纯的硫酸水更强。特别是热液地下水的温度、压力、 P_{CO_2} 常是很高的,对碳酸盐岩的溶解能力极强。

2.3 地下水的循环交替作用和混合作用加剧了溶蚀作用

由于硫酸水对碳酸盐岩的强烈侵蚀性,硫酸水存在的岩溶区岩溶发育常异常强烈,而大的溶蚀空隙又加剧了地下水的循环交替作用。与此同时,大的溶蚀空隙又为地下水的混合作用创造了条件,混

合后的水对碳酸盐岩常具有较强的侵蚀性^[6]。这两种作用均可促使岩溶进一步发展。

3 结 论

在天然环境下,如金属硫化矿区由于金属硫化矿物氧化、酸雨、工业污水排放以及在一定条件下的火山活动、岩浆入侵、热液作用等均可产生硫酸,这些硫酸与天然水混合后形成硫酸水。

硫酸水对碳酸盐岩溶蚀能力极强,通过模拟计算显示水中 1 mol 硫酸可溶解方解石 1.80~2.12 mol 或白云石 0.92~1.09 mol。控制该反应过程的水化学作用包括 H^+ 的作用、次生 CO_2 、盐效应、同离子效应、离子对的作用、白云石化和去白云石化作用等,此外,天然水中本身就存在的 P_{CO_2} 、硝酸、有机酸等对方解石、白云石的溶解也具有重要意义。

参考文献:

[1] 闫志为,张俊峰,黄苏锦,等.江西东乡铜矿层间溶蚀残积堆积物的特征及成因[J].中国岩溶,2007,26(2):126-131.
[2] 戴树桂.环境化学[M].北京:高等教育出版社,1997.
[3] 张之淦.岩溶发生学[M].桂林:广西师范大学出版社,2006:157.
[4] 闫志为.硫酸根离子对方解石和白云石溶解度的影响[J].中国岩溶,2008,27(1):24-31.
[5] 闫志为,张志卫.氯化物对方解石和白云石溶解度的影响[J].水文地质工程地质,2009,36(1):113-118.
[6] 任美镔,刘振中.岩溶学概论[M].北京:商务印书馆,1983.

(收稿日期 2008-08-05 编辑 高渭文)

(上接第 71 页)

拟建水库汇水范围内的年总降水量达 117 万 m^3/a ,降雨入渗补给量 82 万 m^3/a 。水资源较为充沛,水量能满足水库蓄水需求。拟建水库库容量达 19~27 万 m^3 ,加上汇水范围内地下水的枯季径流,在枯水季节,平均每天可向接履桥镇输送 1 320~1 850 m^3 的水量。可解决当地 15 000~20 000 人的生活用水缺水问题。

根据多项具体条件综合考虑,在满足需求的前提下,以在第 1 方案的 2 号坝线作为坝址较为合理。如果经费充裕,第 2 方案(选择 3 号坝线作为坝址)也不失为更好的选择。

当水库的蓄水高程提高到 140 m 或以上时,在地表副坝的左坝肩附近和右库岸的碳酸盐岩与非碳酸盐岩的接触地带若产生局部渗漏现象,应进行必要的防渗处理。

参考文献:

[1] 黄国夫,董永杰,付萍,等.国外水资源开发利用的经验教训[J].华东地质学院学报,2001,24(3):205-208.
[2] 陈可馨.我国水资源开发与持续利用探讨[J].天津师范大学学报:自然科学版,2000,20(3):63-66.
[3] 光耀华.广西岩溶地区水资源开发利用问题[J].中国岩溶,2000,19(3):251-259.
[4] 杨秀忠,王明章.贵州省岩溶地下水资源合理利用与生态环境改善[C]//中国地质调查局.中国岩溶地下水与石漠化研究,南宁:广西科学技术出版社,2003:197-203.
[5] 刘民生,毛郁.川南地区岩溶地下水开发利用方式初探[C]//中国地质调查局.中国岩溶地下水与石漠化研究,南宁:广西科学技术出版社,2003:237-243.
[6] 陈梦熊.西南岩溶石山地区岩溶水资源与石漠化治理[C]//中国地质调查局.中国岩溶地下水与石漠化研究,南宁:广西科学技术出版社,2003:1-12.

(收稿日期 2007-09-29 编辑 高渭文)