代天豪,王中美,陈 尧,等.贵阳花溪养牛村暗河枯水期岩溶水动态特征分析[J].中国岩溶,2019,38(4):546-551.
DOI:10.11932/karst20190411

贵阳花溪养牛村暗河枯水期岩溶水动态特征分析

代天豪,王中美,陈 尧,张雅娣,江建旭,邹 磊
(贵州大学资源与环境工程学院, 贵阳 550025)

摘 要:贵阳市花溪区养牛村一带岩溶发育,地下水资源丰富。为了解该区域在枯水季地下河流量、水位变化情况以及地下水受污染状况,特开展了本研究。研究区域为构造变形复杂的岩溶槽谷地貌,通过野外调查、实测、室内实验等途径获取数据,利用CAD绘图和Excel数据统计,分析了暗河流量、水位、水质、水温、pH值动态特征。结果表明,养牛村地下河岩溶水枯水季流量季调节系数为6.83,平均流量0.102 $m^3 \cdot s^{-1}$,处于较稳定状态;水位变化幅度值为2.7,处于稳定状态,水温与pH均呈缓慢上升趋势。根据《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017),该区地下水水质处于III—V类水,不宜作为饮用水资源开采。本次研究结果可为该区地下水资源的开发利用和水环境评价与保护提供参考。

关键词:岩溶地下河;岩溶槽谷;地下水质;动态特征;贵阳
中图分类号:P641.134 **文献标识码**:A
文章编号:1001—4810(2019)04—0546—06 **开放科学(资源服务)标识码(OSID)**:

0 引 言

全球岩溶地区面积约2 200万 km^2,其中中国境内岩溶区达344万 km^2,占国土面积的35.93%。贵州省作为我国南方岩溶发育的核心区,岩溶分布面积占全省国土面积的73.6%,是世界上岩溶地貌发育最典型的地区之一[1]。中国广阔的岩溶分布、强烈的岩溶作用,在南方形成了2 800多条地下河,在北方形成了170多个岩溶大泉,加上全国各地岩溶蓄水构造等,赋存的岩溶水资源为4亿多人提供了丰富的水资源。但是,对地下岩溶空间的探测和水循环规律的模拟,是世界性难题,开展该方面科技研究,对于促进水文地质学发展和地球关键带的研究具有重要意义[2]。科学地认识和掌握岩溶地下水动态特征和时空分布规律,是实施我国水资源可持续利用战略的基础[3]。地下水动态变化是非常复杂的自然过程,是多种输入(天然或人工的)对地下水系统激励后的综合响应,是地下水的数量和质量在降水、地表径流等自然因素和人类开采活动等人为因素影响下随时间的变化过程[4-5]。研究地下水动态变化趋势,能有效预防水体污染以及某些地质灾害的发生。近年来,许多学者开展了大量的研究,莫美仙等[6]分析了云南南洞地下河系统边界构成,杨秀丽等[7-9]、王亚维等[10]、张世旭等[11]、张荣等[12]分别展开了地下水水质及污染、岩溶地下水水化学特征及水质评价的研究;王中美等[13-15]分析了贵阳市61个采样点氨氮、亚硝酸盐、硝酸盐和氯化物的检出率和空间分布特征;黎容伶等[16]利用统计分析求出地下水水位和泉流量的衰减方程,推算出泉域内岩溶地下水的存储量,为地下水环境影响评价提供了重要依据;董雪妍[17]等通过分析总结地下水脆弱性,利用GIS与ANN耦合的

资助项目:贵州大学SRT计划项目(2018)252);贵州大学实验室开放项目(SYSKF2019-091);贵州省科技计划联合基金项目(黔科合LH字[2017]7284号);贵州大学新苗培养及创新探索专项(黔科合平台人才[2017]5788号)
第一作者简介:代天豪(1998—),男,本科生,主要从事水文地质与工程地质的学习与研究。E-mail:1923068352@qq.com。
通信作者:王中美(1975—),女,博士,副教授,主要从事岩溶水文地质教学与研究。E-mail:891342472@qq.com。
收稿日期:2019—04—30

万方数据

综合评价方法,建立了适合研究区的评价指标体系,为岩溶地区城镇、交通、水利等工程建设提供了技术参考。

养牛村地下河位于贵州省贵阳市花溪区贵州大学西校区附近,属于岩溶丘陵谷地地貌区,岩溶地下水丰富,鲜少有对该区地下水研究成果的报道,本次研究意在弄清养牛村地下河岩溶地下水的水量、水位、水质状况,以期为今后该地区地下水资源的开发利用和水环境保护提供参考依据。

1　研究区概况

1.1　研究区位置与气候

养牛村位于贵州大学西校区附近,距离贵阳市花溪区中心约 4 km ,地理位置为东经 106°39′,北纬 26°26′,区内岩溶地下水发育。本次研究的暗河段主要分布于贵州大学西校区北侧,长约 2 km,主要发育在三叠系下统安顺组白云岩中。暗河入口监测点位于葛家寨大桥附近,出口监测点位于养牛坡地下河出露泉处(图 1)。

研究区所属亚热带季风湿润气候,全年降雨量比较充足,温度适中,1 月气温最低,7 月气温最高。年平均温度约 14~18 ℃,适宜多种作物生长,因此,河水及河流周围常伴生大量植被。夏季多南风,冬季多北风,春秋为南北风交替,受季风影响,降雨分布不均。10 月至次年 3 月,降雨量约占全年降水量的 20%,河流水量较小,部分出露点呈枯竭状态。4 月至 9 月为丰水期,降雨丰沛,约占全年降水量的 80%,河流水量较大。

1.2　地形地貌

实验监测区经过复杂的构造运动和岩溶作用,形成了大面积的岩溶槽谷地貌类型。岩溶槽谷主要在隔档式或隔槽式褶皱构造的基础上经溶蚀和侵蚀作用形成,常以长条状“一山两岭一谷”的地貌形态出现。槽谷地区人口密度高,人地矛盾比较突出[18]。从葛家寨连通实验投放口(暗河入口)到贵州大学西校区养牛坡暗河出口区域内,岩溶丘陵谷地单元发育,随处可见。

1.3　地层岩性及构造

研究区出露地层主要为三叠系下统安顺组(T_1a)、三叠系中统花溪组(T_2h)和第四系(Q),岩性主要为中厚层-厚层状灰白色白云岩、薄层紫红色泥质白云岩、淡黄色灰绿色薄层泥岩、第四系残坡积层。区内发育构造主要有螃蟹井断层 F1 和花溪断层 F2(图 1)。

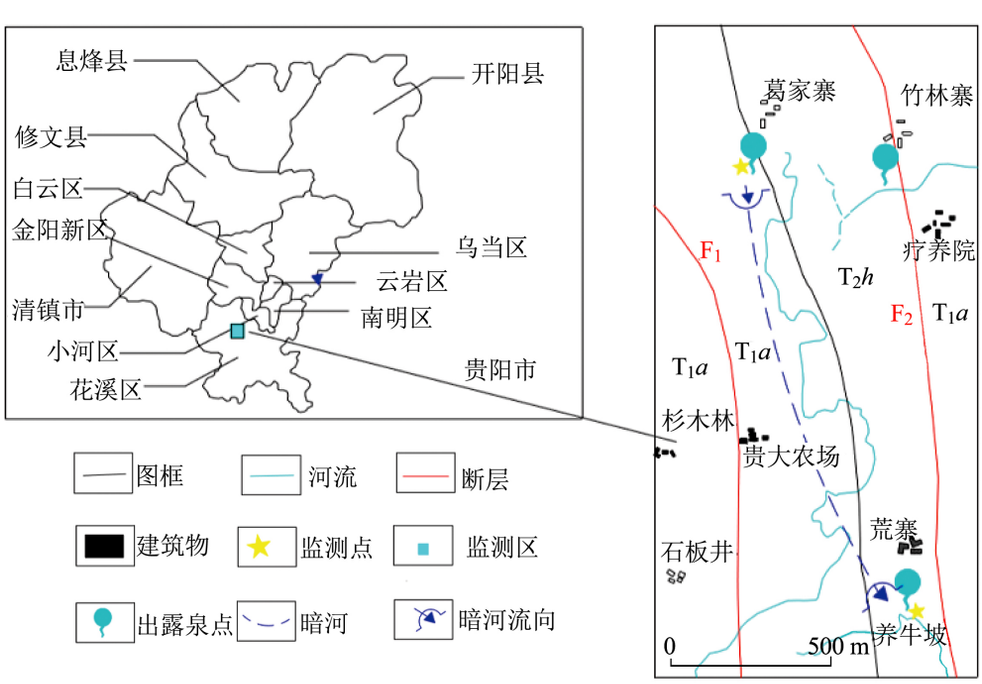

图 1　花溪养牛村水文地质简图

Fig. 1　Simplified geological map of the study area

万方数据

2 原理及方法

此次研究的数据主要来自于野外勘探、实地测量、室内实验、成果计算，分为室内、室外两个部分。

（1）室外测量：采用500 mL聚乙烯瓶，在监测点润洗三次后进行采样，采样后用测杆和卷尺现场测量水位、过水断面的宽度、利用实验仪器测量河水的电导率、TDS、pH、COD、温度等指标。取样点分布在区域内暗河的其中一个入口和出口。主要的实验仪器有：斯德克电波流速仪、金属测杆、TDS水质检测笔、pH笔、水温度计、电导率仪。

（2）室内实验：主要测量水中氨氮（纳氏试剂分光光度法）、总磷（钼酸铵分光光度法）、硝酸根离子的浓度。通过配制所需的标准溶液来绘制对应离子吸光度的校准曲线，再利用水样吸光度计算出其中的离子浓度。在测量氨氮浓度前，需要对样品进行除余氯处理，具体方法是加入硫代硫酸钠溶液，用淀粉碘化钾试纸检验是否除尽。测量样品总磷浓度之前，需要加入过硫酸钾溶液在高温高压下持续加热消解。主要仪器有：高压蒸汽锅、比色管、容量瓶、烧杯、移液管、吸光度测试仪。实验步骤严格按照国家标准进行。

3 地下水动态特征

3.1 流量动态特征分析

两个流量监测点位于地下河出口与入口处，且均出露于碳酸盐岩，其流量变化如图2所示。从图2可看出，流量上下起伏呈锯齿状，多处于0.1~0.2 $m^3 \cdot s^{-1}$，在1月中旬流量达到峰值，为0.587 $m^3 \cdot s^{-1}$。根据观测记录可知，在1月4日-11日期间，曾先后出现过一次大的降雨和降雪，由于雨水和融雪水在岩溶天窗处的注入补给，使流量突然增加达到一个峰值，而后又恢复正常，因此，表明大气降水和融雪水对该地下河水量具有一定的影响。暴雨事件后，无有效降雨的条件下，岩溶地下水的排泄动态可反映出岩溶含水介质的储水空间结构特征[19]。养牛村地下河从葛家寨大桥处由地表流入地下，至养牛坡附近由地下又流出地表，在岩溶化岩体内，岩溶管道与裂隙发育，地下河因复杂的补给、径流、排泄条件影响，使得流量动态变化呈现起伏特征，但从总体来看，地下水流量还是较为稳定。根据实测得出地下河出口处流量在1-3月份最大值为0.587 $m^3 \cdot s^{-1}$，最小值为0.086 $m^3 \cdot s^{-1}$，平均流量0.102 $m^3 \cdot s^{-1}$，通过计算得出流量季调节系数为6.83，根据岩溶水流量动态稳定程度的判定标准表1可知，该地下河枯季流量动态处于较稳定状态。

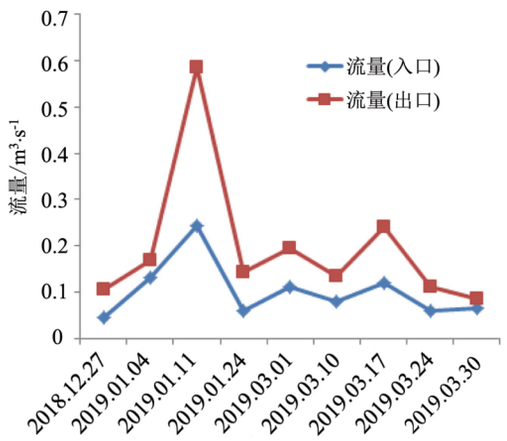

图2 流量变化曲线

Fig. 2 Curve of flow change

表1 岩溶水流量动态稳定程度

Table 1 Dynamic stability of karst water flow

调节系数	≤1~2	2~5	5~10	10~50	>50
稳定性	极稳定	稳定	较稳定	不稳定	极不稳定

3.2 水位动态特征分析

地下水水位动态的影响因素可以分为两类：一类是由含水层水量变化引起的水位变化，包括天然降水、蒸发、人工开采以及河流入渗、灌溉回渗等；另一类是由含水层应力应变状态改变引起的水位变化，包括大气压力的变化、太阳及月亮的引力引起的变化、固体潮以及地震等[20]。在岩溶地区，地下水位的升降起伏是很敏感的，主要取决于降雨、地表及地下水补给排泄条件以及岩溶发育程度和岩体透水性[21]。如图3所示，在监测期间，水位动态变化特征类型为平缓型，变化幅度小于1 m，由此可知由于地下岩溶发育，地下水流动空间大，外界的水量变化主要影响了地表河流的流速，导致地下水位上升，但地表水位的影响较小，变化不明显。根据实测的水位深度可知，在1-3月份最大值为19 cm，最小值为7 cm，计算出水位变化幅度值为2.7，根据岩溶水水位动态稳定程度的判定标准表2可知，该地下河枯季水位动态处于稳定状态。

万方数据

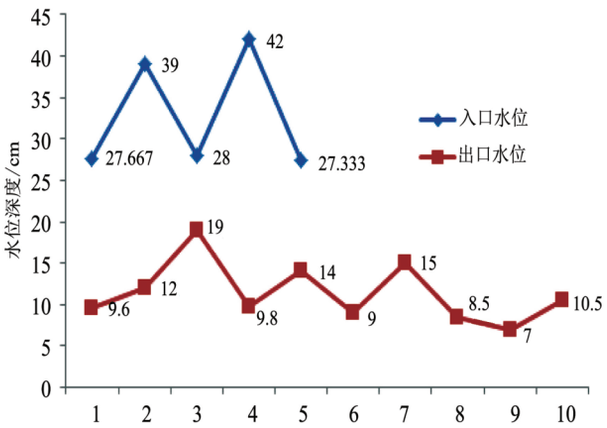

图 3　水位动态变化图

Fig. 3　Dynamic change of water level

表 2　岩溶水水位动态稳定程度

Table 2　Dynamic stability of karst water level

水位变幅	≤1～2	2～5	5～10	10～20	20～50	＞50
稳定性	极稳定	稳定	较稳定	不稳定	极不稳定	超极不稳定

3.3　水质动态特征分析

实验测得入口处硝酸盐浓度 21 mg·L^{-1},出口处硝酸盐浓度 26.5 mg·L^{-1},根据《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017)可知该离子浓度超标,划分为 IV 类水。氨氮、总磷浓度变化曲线如图 4、图 5 所示,由结果分析,12 月至 3 月入口处氨氮、总磷含量的变化较出口大,且平均含量较大,表明入口处存在人为污染,使水中离子浓度不稳定;4 月至 6 月氨氮、总磷含量的波动减小,逐渐趋于平稳,且含量有明显的下降。由该结果可知水流经地下管道过程中有一定的净化作用,水中氨氮、总磷的含量受季节性的影响而变化。

电导率表示水传导电流的能力,纯水的电导率很小,但如果水中含有无机酸、碱、盐或有机带电胶体时,电导率增加。如图 6、图 7 显示,监测点水样电导率比较大,达 700~1 500 μS·cm^{-1},总溶解性固体(TDS)达 300 ×10^{-6}~900 ×10^{-6},变化趋势与电导率变化相似,在范围内上下波动,所以结果显示河水污染比较大,水中无机酸、碱、盐含量较大。

如图 8、图 9 所示,水的温度与 pH 均呈缓慢上升趋势。监测期间,天气逐渐回暖,水温主要受到气温的影响而变化。而一方面随着水中钾、钠、钙、镁等阳离子盐类的增加,pH 将升高,主要是受生产开发活动及生活排污的影响;另一方面随着温度的缓慢增长,水中藻类也开始繁殖,导致 pH 的升高。

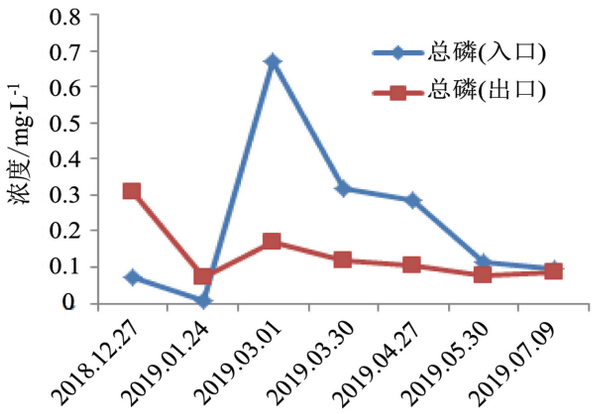

图 4　总磷变化曲线图

Fig. 4　Curve of total phosphorus change

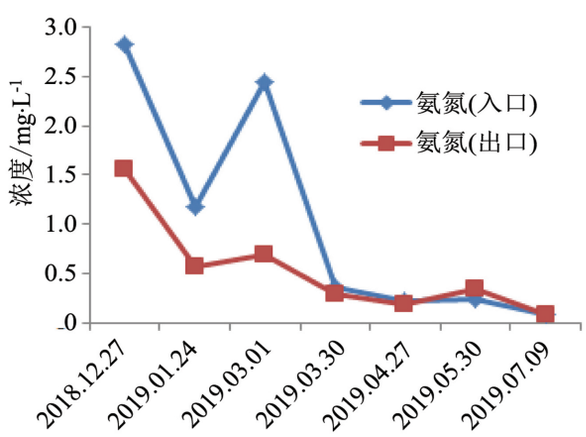

图 5　氨氮浓度变化

Fig. 5　Ammonia nitrogen concentration change

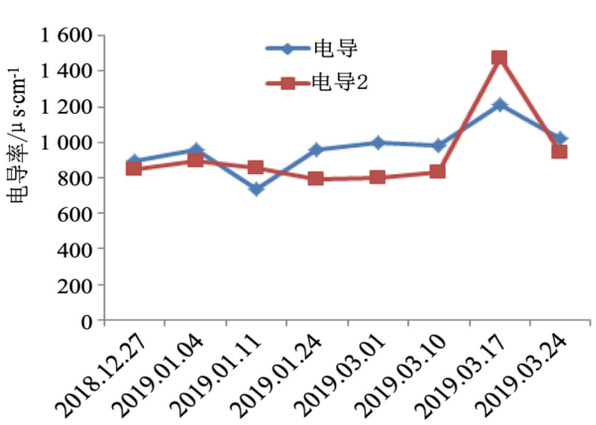

图 6　电导率变化曲线图

Fig. 6　Curve of conductivity change

万方数据

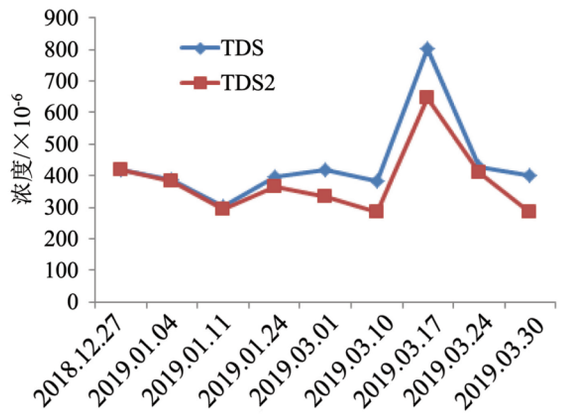

图 7 TDS变化曲线图

Fig. 7 Curve of TDS change

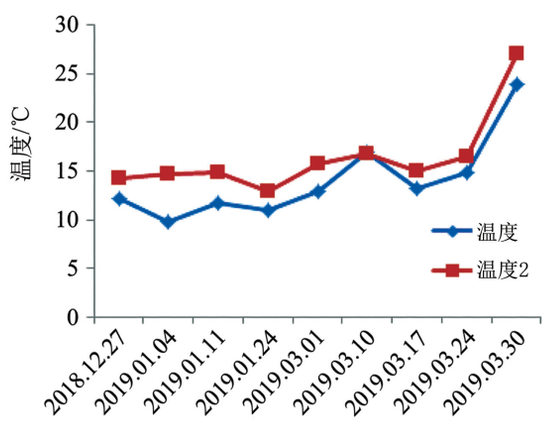

图8 温度变化曲线图

Fig. 8 Curve of temperature change

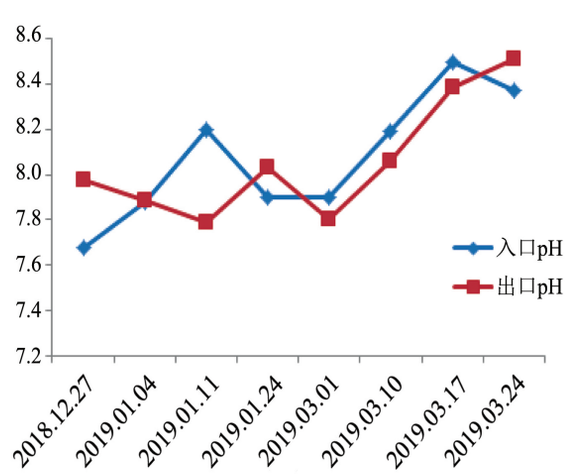

图 9 pH值变化曲线图

Fig. 9 Curve of pH value change

综上所述，养牛村地下河枯季流量动态处于较稳定状态，水位动态处于稳定状态，地下水中的氨氮、总磷、TDS浓度变化幅度不大，水质动态处于稳定状态，水温与pH均呈缓慢上升趋势。

4 结 论

通过对研究区进行短期的监测和统计分析与评价得出如下结论：

(1)监测区域流量的变化除了受降水影响外，也受地下其他因素的影响而产生锯齿状波动。因此可知区域地下河中发育有大量的裂隙管道形成若干分支补给排泄；

(2)地下河入口处水体污染较严重，根据实验所得结果，利用《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017)将水划分为III-V类。地下水化学组分含量较高，适用于农业用水和部分工业用水，不宜用于生活饮水。建议对入口处水体污染进行净化处理，加大对地下水资源的保护力度。改善后将水进行一定的处理，可以作为周围居民的生活用水水源；

(3)养牛村地下河枯水季流量动态处于较稳定状态，水位、水质动态处于稳定状态，水温与pH均呈缓慢上升趋势。

参考文献

[1] 王腊春，蒙海花，张兆千，等.贵州典型岩溶小流域水文水资源研究[M].北京：科学出版社，2010.

[2] 袁道先.岩溶地貌 雄奇浩瀚[J].国土资源科普与文化，2015(4)：1.

[3] 张宗祜，李烈荣.中国地下水资源(综合卷)[M].北京：中国地图出版社，2004.

[4] 仵彦卿，李俊亭.地下水动态研究现状与展望[J].西安地质学院学报，1992，14(4)：58-64.

[5] 蒋文武.成都平原浅层地下水水位动态变化[J].价值工程，2018，37(13)：233-237.

[6] 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.

[7] 杨秀丽，罗维，裴建国，等.贵阳市岩溶地下水水质变化特征浅析[J].中国岩溶.2017，36(5)：713-720.

[8] 杨秀丽，曾群，苏泽志. 贵阳市地下水污染现状评价及防治对策[J]. 贵州地质，2010，27(4)：291-295.

[9] 杨秀丽，罗维，邹胜章.贵阳观山湖区至白云区地下水有机污染现状与防治对策[J].中国岩溶，2015，34(4)：375-381.

[10] 王亚维，王中美，王益伟，等.贵阳市岩溶地下水水化学特征及水质评价[J].节水灌溉，2019(6)：60-66.

[11] 张世旭，王中美，代天豪.毕节地区岩溶地下水水化学特征与水质评价[J].长江科学院院报，2019，36(5)：28-33，41.

[12] 张荣，王中美，周向阳.黔南龙里地区岩溶地下水水化学特征及水质评价[J].水利水电技术，2019，50(5)：167-174.

万方数据

[13] 王中美,廖义玲,李明琴,等. 贵阳市水文地质条件及环境效应研究[J].水土保持研究,2012,19(1):226-229.
[14] 王中美,谭正莲.贵阳市岩溶地下水动态特征分析[J].贵州大学学报(自然科学版),2013,30(1):27-32.
[15] 王中美.贵阳市岩溶地下水4种污染离子的空间分布特征[J].贵州农业科学,2013,41(5):158-164.
[16] 黎容伶,蓝俊康,陆海建,等.广西平果县赤泥堆场周边岩溶地下水动态变化特征[J].桂林理工大学学报,2014,34(4):666-672.
[17] 董雪妍.基于GIS与ANN方法的花溪河流域岩溶地下水脆弱性评价[D].贵阳:贵州大学,2017.
[18] 吴协保,孙继霖,林琼,等.我国西南岩溶石漠化土地生态建设分区治理思路与途径探讨[J].中国岩溶,2009,28(4):391-396.
[19] 梁日胜,曾成,闫志为,等.贵州印江朗溪岩溶槽谷龙洞湾泉流量衰减分析[J].中国岩溶,2019,38(1):10-18.
[20] 王仕琴,宋献方,王勤学,等.华北平原浅层地下水水位动态变化[J].地理学报,2008,63(5):435-445.
[21] 邹成杰.岩溶地区地下水位动态分析[J].中国岩溶,1995,14(3):261-269.

Dynamic characteristics of karst water in underground rivers during dry seasons at the Yangniu village, Huaxi district, Guiyang

DAI Tianhao, WANG Zhongmei, CHEN Yao, ZHANG Yadi, JIANG Jianxu, ZOU Lei
(*College of Resources and Environmental Engineering, Guizhou University, Guiyang, guizhou* 550025, *China*)

Abstract The area around Yangniu village, Huaxi district, Guiyang City is characterized by well-developed karst, abundant groundwater, and valley landforms with complex tectonic deformation. The objective of this study is to investigate the underground river flow, water level changes and groundwater contamination in dry seasons in this region. Based on data from field investigations, actual measurements and laboratory experiments, the dynamic characteristics of the flow, water level, water quality, water temperature and pH value of the underground river are analyzed using CAD drawing and Excel data statistics. The results show that the seasonal adjustment coefficient of the karst water in the underground river of Yangniu village is 6.83 and the average flow is 0.102 $m^3 \cdot s^{-1}$, which is in a stable state. The water level change amplitude is 2.7, which is also stable. Moreover the water temperature and pH exhibit a gentle increasing trend. According to the Groundwater Quality Standard (GB/T 14848-2017), the groundwater quality in this area is of class III-V and is not fit for drinking purpose. This study can provide reference for the development and utilization of groundwater resources and environment assessment and protection in this area.

Key words karst underground river, karst valley, groundwater quality, dynamic characteristics, Guiyang

(编辑　张玲)

万方数据