

地下水示踪试验在岩溶塌陷成因判别中应用分析 ——以安庆市怀宁县黄岭区为例

潘国林^{1,2}, 洪天求¹

(1. 合肥工业大学 资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230001;

2. 安徽省公益性地质调查管理中心, 安徽 合肥 230001)

摘要:在对安庆市怀宁县黄岭塌陷区地质环境条件、岩溶发育特征以及岩溶水动态变化特征简要分析的基础上,选择NaCl作为示踪剂,开展地下水示踪试验,结果显示在JJ1孔北侧—宣家屋南—潘家老屋南—洞山一带有一个地下水分水岭,分水岭之北为某铜矿疏干排水降落漏斗范围,分水岭之南为天然流场和开采井漏斗范围。该结论的得出有助于加强岩溶塌陷灾害防治的针对性。

关键词:岩溶塌陷;水动力条件;地下水示踪试验

文章编号:1003-8035(2014)01-0125-06

中图分类号:P641;P694

文献标识码:A

0 引言

岩溶塌陷是可溶盐岩地区特有的一种地质灾害,塌陷形成的基本条件是:岩溶洞隙的存在、一定厚度的松散盖层和水动力条件。前两者是形成塌陷的物质基础,后者是外因,是形成塌陷的作用力,往往是产生岩溶塌陷最积极或主导的因素。长期以来,很多学者对岩溶发育与地下水动力之间关系进行了研究并取得很多成果^[1-6]。大量研究和工程实践表明,正确探测和确定岩溶发育区地下水流场特征是防治岩溶塌陷灾害的关键和前提,地下水示踪试验则是其应用的主要途径和有效手段^[7-10]。本文通过一工程实例,利用地下水示踪技术对岩溶区地下水流动情况进行了分析研究,取得了满意效果。

黄岭岩溶区位于安庆市怀宁县月山镇东部,距市区约20km。至1987年5月首次发生岩溶塌陷以来,到2012年5月止,累计产生塌陷坑89处,塌陷坑密度达297个/km²,岩溶塌陷发育强度强烈,给当地人民生命财产安全埋下极大隐患。区内人口稠密,工矿企事业单位较多,附近某铜矿矿坑排水和区内部分企事业单位抽取地下岩溶水活动造成地下水在基岩面附近长时间强烈的水位波动是导致岩溶地面塌陷产生的根本原因,但二者谁是主导因素或是联合作用影响仍不清楚,给该区岩溶塌陷灾害防治和责任认定带来困难。本文在岩溶水文地质调查的基础上,采用示踪试验手段探究黄岭岩溶区地下水汇流情况及分布特征,以为政府决策和灾害防治提供依据。

1 塌陷区地质环境条件及岩溶发育特征

1.1 气候、水文概况

本区属亚热带季风湿润区,气候温和,雨热同季,年平均气温16℃,7~9月为高温季节,最高温度40.6℃,最低温度-12.5℃。每年3~8月为雨季,年平均降雨量1420mm,最大年降雨量2294.2mm,年降水日数130~140天。区内地表水系发育,较大的水系有月山河和石门湖。月山河位于研究区的中南部,自西向东流入石门湖,最后进入长江。月山河的支流主要有马鞍山河,该河自某铜矿经马山口由北向南流入月山河内。

1.2 地质构造及水文地质特征

研究区位于丘陵河谷平原,地面标高12.4~179.7m,总体上北部和南部高,中部低。主要有低丘、坡洪积扇和河漫滩三种微地貌形态,其地层岩性分别为低丘地貌区主要由三叠系的灰岩、大理岩、砂岩及燕山期闪长岩组成;坡洪积扇地貌区阶面较平坦,地面标高为16.8~45.5m,由第四系上更新统冲积物(Q₃^{pl})组成;河漫滩广泛分布,滩面平坦、开阔,地面标高12.4~28.3m,由第四系全新统(Q₄^{pl})粉质粘土、中粗砂、砂砾卵石组成。

收稿日期:2013-04-15; **修订日期:**2013-06-23

作者简介:潘国林(1980—),男,博士生,工程师,主要从事工程地质、环境地质等相关工作。

E-mail: lashou 80@163.com

研究区位于月山河谷水文地质单元。北部月形山和东西部马鞍山丘陵地区,分布富水性弱—极弱的碎屑岩、岩浆岩裂隙含水岩组和富水性中等—强的碳酸盐岩裂隙岩溶含水岩组;中部的月山河谷地区,分布富水性弱—中等的第四系松散岩类孔隙含水岩组和富水性中等的碳酸盐岩裂隙岩溶含水岩组。南部的百子山、扁担山丘陵地区,分布富水性弱至极弱的碎屑岩裂隙含水岩组和富水性中等—强的碳酸盐岩含水岩组。各含水岩组均表现出一定的水力联系,其中松散岩类孔隙含水岩组与下伏各含水岩组之间的水力联系一般较为密切,碎屑岩类裂隙含水岩组与裂隙岩溶含水岩组之间的水力联系较弱,裂隙岩溶含水岩组之间的水力联系视其隔水层厚薄而强、弱不等。

地下水赋存受区域构造带控制,区内断裂构造发育,按其展布方位可划分为南北向、北西向、北东向和东西向四组,对区内构造起了一定控制作用。断层对地下水赋存影响主要表现为:F1、F6 断层及其两侧的派生羽状断裂组成一个“断层束”,在“断层束”带内,岩溶极为发育,是地表塌陷内的重点地段之一。据矿区揭露的 F1 断层资料显示,一般无水或微弱($< 50\text{m}^3/\text{d}$),且 F1 断层两侧地下水有明显水位差,从总体上看,F1 具有隔水性,但据钻孔抽水、地下水动态等综合研究,在马山口一带由于受北西向 F6、F7、F8 截切,F1 隔水性遭受破坏,以致断裂两侧相连通。如图 1 所示,ZK119 抽水时,F1 断层两侧的观测孔水位降深相近(8.06m,9.1m),ZK117 孔抽水,其降落漏斗长轴穿过该断层,呈东、西向展布;F6、F7、F8 等北西向断裂组,岩溶发育,观测孔水位沿此带普遍加深,属含水构造带。

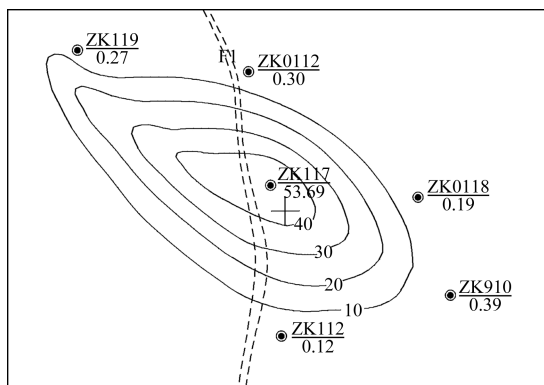


图 1 ZK117 孔抽水降落漏斗示意图

Fig. 1 The map of Pumping drawdown funnel

1.3 岩溶塌陷的发育特征

区内岩溶塌陷始发于 1987 年,1988 ~ 1992 年为塌陷盛发期,塌陷坑个数 39 个,占总数的 43.8%,特别是 1992 年,塌陷坑个数 24 个,占总数的 27%。1992 年以后岩溶塌陷发生的次数明显减少,主要表现为塌陷零星发生或少数复活,年均塌陷个数 2.6 个。岩溶塌陷地面表现以塌坑为主,个别表现为地面沉陷。塌坑平面上呈圆形、椭圆形,少数呈长方形;剖面上竖井状为主,部分为坛状、锅底状,地面沉陷呈长方形、长条形。单个塌陷坑一般均较小,直径一般 1 ~ 3m,少量继续发展至 20 ~ 30m;深度 1 ~ 3m,少量 5 ~ 8m,个别大于 10m;塌坑面积一般小于 10m^2 ,体积小者 2 ~ 5m^3 ,一般几十至 100m^3 ,个别塌坑由于多次垮落规模较大,达 2000m^3 。地面沉陷最长约 30m,深度为 0.2 ~ 0.5m。单个塌陷坑,从地裂到垮落一般不超过 3 天时间。

2 塌陷区岩溶水动态变化特征

2.1 天然状态下地下水动态

天然状态下本区地下水主要是大气降水补给,局部受深切基岩的地表溪流补给。地下水径流方向与地表水一致,分别由南北两侧流向中部的月山河,汇合后经石门湖流出本区,地下水径流流速缓慢。区内浅层地下水排泄主要为当地河流,部分以下降泉的形式排泄。深层地下水由于径流流程深而远,其排泄区(点)情况复杂,一般以承压上升泉形式排泄。

2.2 矿山排水和月山镇供水状态下地下水动态

矿山排水和月山镇供水状态下地下水补给仍以大气降水主,局部地段增加地表水(河水)及岩溶塌陷坑的倒灌。矿山排水和月山镇供水状态下地下水径流局部改变为流向矿坑或开采井,地下水的径流速度加大,如该铜矿开采后由于矿山排水作用加快地下水循环,使得原 $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 或 $\text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 型水,经过一段时间后,变为 $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型水。

随着矿山持续开采,矿井排水总体呈逐年增加的趋势,目前已形成以矿坑为中心的降落漏斗(中心水位标高 - 340m 以下),并向东南方向、正南方向和西南方向扩展的相对稳定的降落漏斗。此外,月山地区的开采井也呈稳定的递增趋势。这些开采井分散分布,单井开采量小,各自形成了以开采井为中心的小范围的降落漏斗,供水井降落漏斗随每天开采和停采而扩展和收缩,供水井之间在同时开采时,其降落漏

斗互相迭加,停采时,开采井降落漏斗收缩至互不干扰。矿山排水和月山镇供水状态下,地下水排泄以矿坑排水和开采井抽水为主。

3 地下水示踪试验研究

示踪试验是指采用稳定的易溶性盐类离子作为示踪剂,通过地面钻孔等将溶解后的示踪剂投放至目标含水层,在含水层不同位置的井下放水利等排出的地下水中定时取样接收,根据示踪剂浓度大小来监测和分析研究放水条件下地下水的运动规律,进而反向分析岩溶含水介质中岩溶发育特征^[11-12]。

3.1 投放点与接收点的选择与分布

根据本次工作施工的钻孔和区内长观孔水文观测资料,选择潘家老屋地区地下水位最高的 ZK8 孔作为本次示踪试验投盐孔,围绕投盐孔四周布置 I-4、I-4A、I-4E、ZK9、ZK11、JJ1、JJ7、JJ11 等 8 个孔作为接收点,布设方位大致为:ZK9、I-4、I-4A 位于投盐孔(ZK8)北东向,与投盐孔距离分别为 284m、352m 和 488m;JJ11 孔位于投盐孔(ZK8)北西向,与投盐孔距离为 261m;I-4E、ZK11、JJ1、JJ7 位于投盐孔南、西南方向,与投盐孔距离分别为 159m、307m、386m、557m(图 2)。

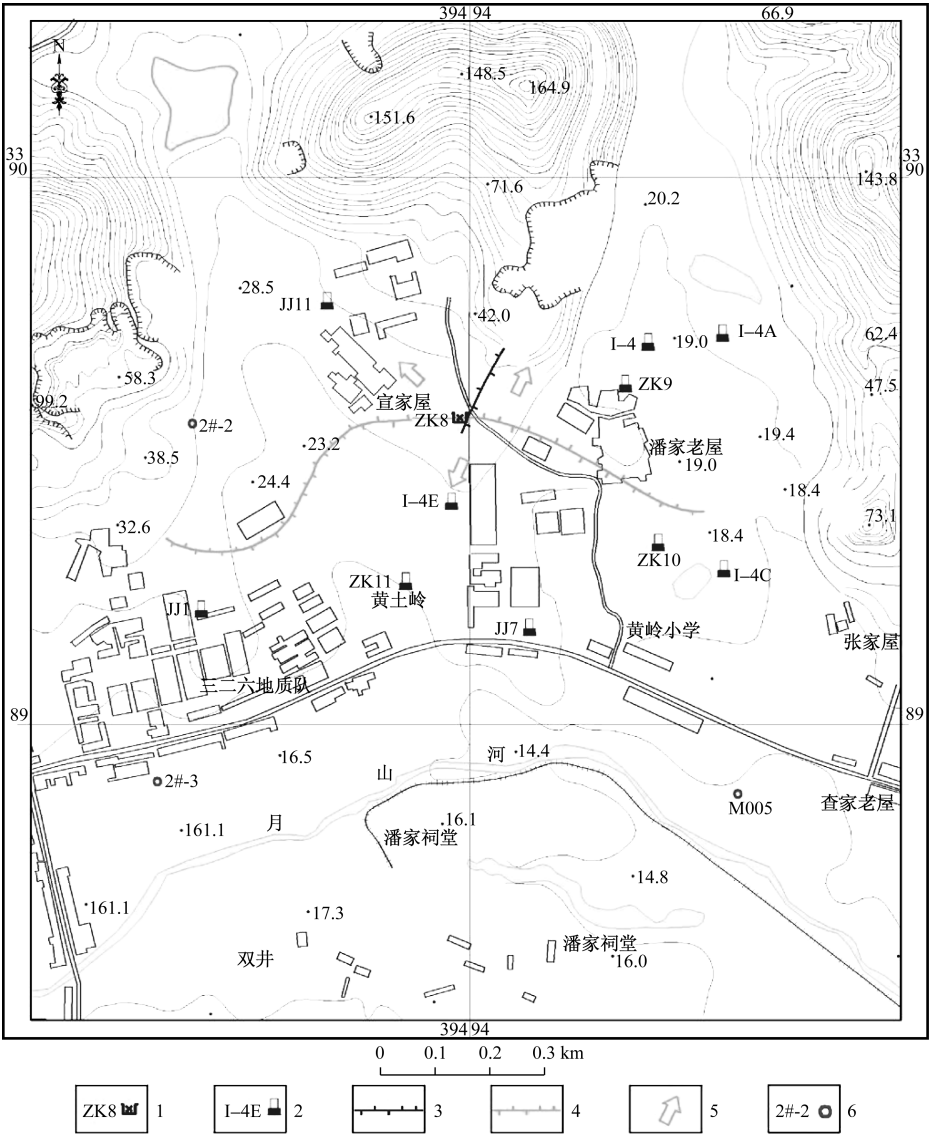


图 2 黄岭区示踪试验平面布置图

Fig. 2 Planar distribution map of the tracing test in Huangling

1—投盐孔及编号; 2—水质监测孔及编号; 3—地表水分水岭; 4—地下水分水岭; 5—地下水流向; 6—长观孔及编号

3.2 示踪剂的投放及背景值采取

为防止示踪剂对地下水的污染,本次选用食用盐为示踪剂,分两次投放,第一次投放时间为2008年12月9日13至14时,投放食盐水(盐量为50kg),第二次投放时间为2008年12月10日8至9时,投放食盐水(盐量为50kg)。投盐后连续采样检测三天,其中JJ1、JJ7、JJ11每天检测一次,其余接受点第一天每小时检测一次,第二天二小时检测一次,第三天三小时检测一次。

在投放示踪剂前几天,对投盐点和所有接受点均采集水样,对水体中 Na^+ 、 Cl^- 进行了检测,检测值作为示踪试验背景值。

3.3 示踪试验结果分析

由于投盐孔在施工期间采用了 Na^+ 含量较高的浓泥浆钻探,对试验有较大影响,因此试验采用 Cl^- 含量变化进行分析。

3.3.1 投盐孔北西向接收孔的 Cl^- 含量变化情况

2008年12月9日13至14时第一次投盐后,10日14时JJ11孔 Cl^- 含量由7.09mg/L(背景值)上升为56.72mg/L,出现第一个峰值,此后在11日和12日的14时依次降低为36.08mg/L和14.18mg/L,说明地下水从投盐点向JJ11孔方向流动(图3)。

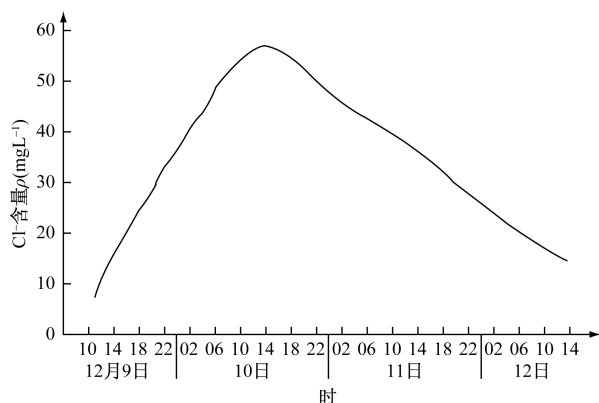


图3 JJ11孔 Cl^- 离子含量历时曲线图
Fig. 3. Tracing curves for JJ11

3.3.2 投盐孔北东向接收孔的 Cl^- 含量变化情况

如图4~6所示,ZK9和I-4孔的 Cl^- 含量第一个峰值出现在投盐9~11小时后,由背景值10.64mg/L分别上升到24.12mg/L和14.56mg/L。I-4A孔 Cl^- 含量第一个峰值出现在投盐18小时后,由背景值10.64mg/L上升到11.23mg/L。峰值出现

时间与据投盐点距离远近相关,表明地下水流向可能由投盐点向北东向流动。

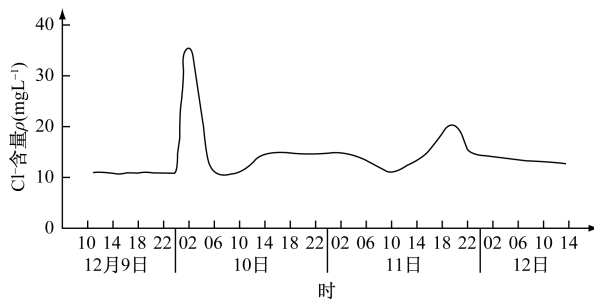


图4 ZK9孔 Cl^- 离子含量历时曲线图
Fig. 4 Tracing curves for ZK9

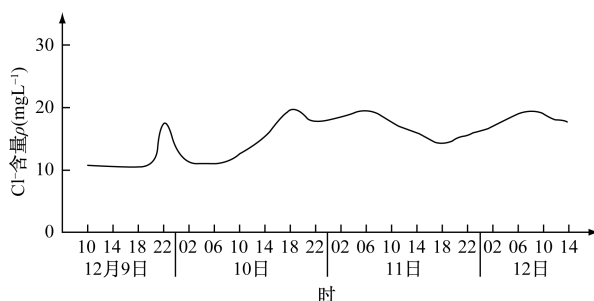


图5 I-4孔 Cl^- 离子含量历时曲线图
Fig. 5 Tracing curves for I-4

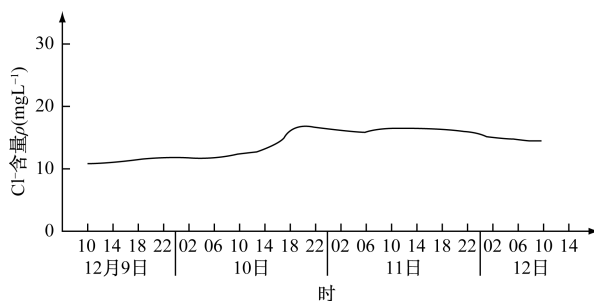


图6 I-4A孔 Cl^- 离子含量历时曲线图
Fig. 6 Tracing curves for I-4A

3.3.3 投盐孔南、西南方向接收孔的 Cl^- 含量变化情况

如图7~10所示,I-4E孔 Cl^- 含量第一个峰值出现在投盐4小时后,由背景值27.51 mg/L上升到33.10mg/L,ZK11孔 Cl^- 含量第一个峰值出现在投盐9小时后,由背景值35.45mg/L上升到42.54mg/L,JJ7、JJ1两孔 Cl^- 含量第一个峰值出现在投盐20小时后,由背景值28.36mg/L、17.73mg/L分别上升到34.81mg/L和28.36mg/L。

从各个接受点检测的 Cl^- 含量变化曲线图可以

看出,第一次投盐后接受点反映较好,所有接受孔均有反映,第二次投盐后部分接收点反应不明显。各接收点在投盐孔投盐后的一定时间里 Cl^- 含量均高于其背景值,离投盐孔距离较近的, Cl^- 含量峰值到达的时间基本也短。由此说明试验区投盐点处地下水位最高,为一个地下水位分水岭,根据其地下水径流方向判断分水岭走向呈近东西向分布。各接收点 Cl^- 含量第一次峰值浓度相差较大,特别是北东方向的 I-4、I-4A、ZK9 浓度较小,反映出这个方向可能受矿区矿井排水影响地下水流速较大,即北东方向地下水水力坡度较大,向南、西南方向流速较慢,水力坡度相对较小。

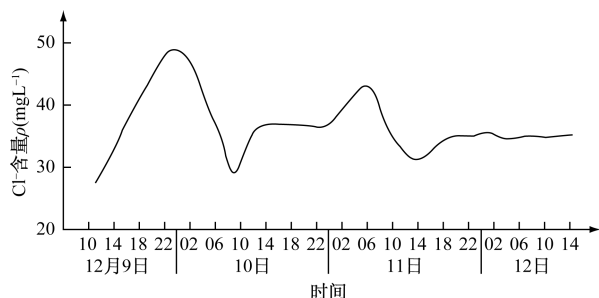
图7 I-4E孔 Cl^- 离子含量历时曲线图

Fig. 7 Tracing curves for I-4E

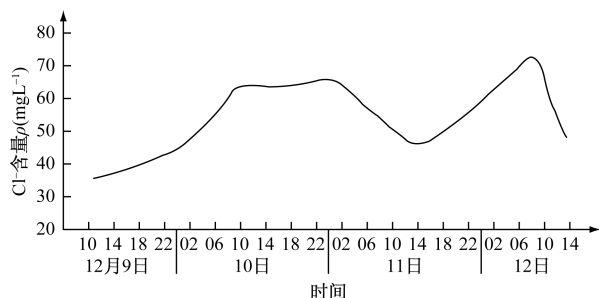
图8 ZK11孔 Cl^- 离子含量历时曲线图

Fig. 8 Tracing curves for ZK11

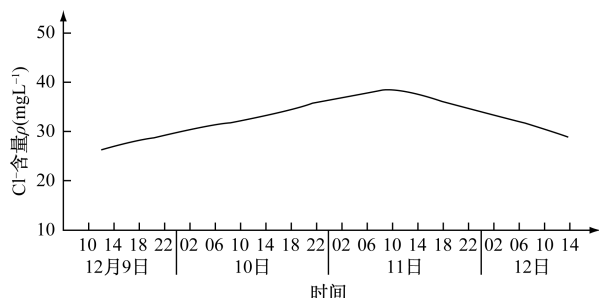
图9 JJ7井 Cl^- 离子含量历时曲线图

Fig. 9 Tracing curves for JJ7

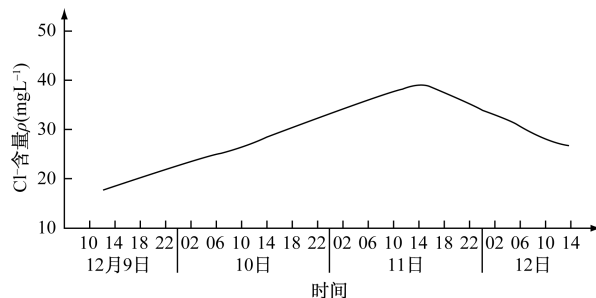
图10 JJ1井 Cl^- 离子含量历时曲线图

Fig. 10 Tracing curves for JJ1

4 结果与讨论

为验证示踪试验结果的可靠性,后期工作中对区内开采井、铜矿区长观孔、本次勘查钻孔的水位等资料进行了综合分析,如 I-4C 长观孔地下水位为 14.68m, ZK10 地下水位为 15.08m,在两孔之南的 M005 长观孔地下水位为 13.57m,在两孔之北的 I-4A 长观孔地下水位为 9.97m,说明在 I-4A、M005 两长观孔之间则有一个地下水分水岭;JJ1 开采井地下水位为 17.30m,在其南侧的 2#-3 长观孔地下水位为 15.16m,在其北侧的 2#-2 长观孔地下水位为 8.19m,说明 2#-3、2#-2 两长观孔之间存在地下水分水岭,分水岭位于 JJ1 孔北侧。根据地下水位资料推断结果均与示踪试验结果相一致,确认在 JJ1 孔北侧-宣家屋南-潘家老屋南-洞山一带有一个地下水分水岭,分水岭之北为安庆铜矿疏干排水降落漏斗的范围,分水岭之南为天然流场和开采井漏斗分布范围。因此,分水岭以南的岩溶塌陷应为区内开采井抽水引发的,分水岭以北的岩溶塌陷应是铜矿区疏干排水引发。

参考文献:

- [1] 骆银辉,马刚,顾荣生,等. 云南南伞盆地岩溶塌陷机制初探[J]. 水文地质工程地质, 2003(2): 53-55.
LUO Yinhui, Ma Gang, GU Rongsheng, et al. Mechanism of karst collapse of Nansan basin of Yunnan province [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2003(2): 53-55.
- [2] 卢耀如,段光杰,于海潮,等. 岩溶水文地质环境演化与工程效应研究[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 212-243.
LU Yaoru, DUAN Guanjie, YU Haichao, et al. Karst hydrogeological environment evolution and the engineering

- effect[M]. Bei jing: Science Press, 1999:212-243.
- [3] 范玉龙, 万军伟, 晁念英, 等. 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(2): 130-135.
- FAN Yulong, WAN Junwei, CHAO Nianying, et al. Analysis on the leakage conditions and karst development in Dong ping reservoir[J]. Carsologica Sinica, 2003, 22(2): 130-135.
- [4] 廖怀军, 王积宽, 彭亮. 重庆煤矿区岩溶地下水的水动力特征[J]. 中国水运, 2009, 9(2): 179-183.
- LIAO Huaijun, WANG Jikuan, PENG Liang. The hydrodynamic characteristics of karst groundwater in Chongqing coal mine area[J]. China Water Transport, 2009, 9(2): 179-183.
- [5] 贺可强, 王滨, 杜汝霖. 中国北方岩溶塌陷[M]. 北京: 地质出版社, 2005: 6-32.
- HE Keqiang, WANG Bin, DU Rulin. Karst collapse in north China[M]. Beijing: Geology Press, 2005: 6-32.
- [6] 袁杰, 高宗军, 马海会. 论岩溶地下水位对岩溶塌陷形成的控制作用——以山东枣庄市岩溶地面塌陷区为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(4): 95-98.
- YUAN Jie, GAO Zongjun, MA Haihui. Discuss on controlling and forming mechanism of Zaozhuang karst collapse[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2010, 21(4): 95-98.
- [7] 虎维岳, 郑刚, 闫兰英. 应用化学示踪技术探查深部岩溶发育特征研究[J]. 中国岩溶, 2010, 29(2): 205-211.
- HU Weiyue, ZHENG Gang, YAN Lanying. Study on detecting deep karst developing features by chemical tracing[J]. Carsologica Sinica, 2010, 29(2): 205-211.
- [8] 李敬兰, 李益民. 广西龙布排泥库地下水多元示踪试验研究[J]. 安全与环境工程, 2004, 11: 59-62.
- LI Jinglan, LI Yimin. Multi-element trace testing study of ground water in Painiku, Guangxi [J]. Safety and Environmental Engineering, 2004, 11: 59-62.
- [9] 邓振平, 周小红, 何师意, 等. 西南岩溶石山地区岩溶地下水示踪试验与分析——以湖南湘西大龙洞为例[J]. 中国岩溶, 2007, 26(2): 163-169.
- DENG Zhenping, ZHOU Xiaohong, HE Shiyi, et al. Analysis and tracing-test to karst groundwater in Southwest China karst rocky mountain area[J]. Carsologica Sinica, 2007, 26(2): 163-169.
- [10] P. Tuccimei, R. Salvati, G. Capelli, et al. Groundwater fluxes into a submerged sinkhole area, Central Italy, using radon and water chemistry [J]. Applied Geochemistry, 2005(20): 1831-1847.
- [11] 薛亮, 于青春. 岩溶水系统演化中河间地块分水岭消失过程的数值模拟分析[J]. 水文地质工程地质, 2009(2): 7-12.
- XUE Liang, YU Qingchun. Numerical simulation for the disappearing of a watershed divide in a karst groundwater system[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2009(2): 7-12.
- [12] 姜光辉, 郭芳. 我国西南岩溶区表层岩溶带的水文动态分析[J]. 水文地质工程地质, 2009(5): 89-94.
- JIANG Guanghui, GUO Fang. Hydrological character of epikarst in Southwest China [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2009(5): 89-94.

Apply tracing-test to karst groundwater in karst collapse area ——A case study in Huangling county area of Anqing city

PAN Guo-lin^{1,2}, HONG Tian-qiu¹

(1. School of Resources & Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230001, China)

(2. Geological Survey of public service management center in Anhui Province Hefei 230001, China)

Abstract: Based on the hydrogeological investigation of karst, tracer tests were conducted, the results showed that a watershed divide near the north of JJ1-South of Xuan jia wu-South of Pan jia lao wu-Dong shan mountain area. watershed North for copper mine drainage funnel range, watershed south of the natural flow and mining wells funnel range. The conclusion is helpful to strengthen the pertinence of karst collapse disaster prevention.

Key words: karst collapse; hydrodynamic condition; tracer test of karst water