

在线监测仪在岩溶地下水示踪实验中的应用——广西临桂县罗锦地下水示踪试验

邓振平^{1,2}, 周小红², 邹胜章², 罗 英², 孙 骞³

(1. 中国地质大学(北京)水资源与环境学院, 北京 100083; 2. 中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西 桂林 541004; 3. 桂林市环保局环境监察支队, 广西 桂林 541002)

摘要 采用氯化钠作示踪剂在罗锦响水岩地下河开展示踪试验, 以 AgNO_3 标准溶液滴定检测。根据回收率的大小判断天井洞地下河是马冲—源头地下河系统的唯一通道, 但在投放点(响水岩)与天井洞接收点之间地下河局部存在几个小溶潭。此外, 本次示踪试验在天井洞地下河布置在线监测仪进行示踪离子检测, 将检测结果与人工取样检测的结果进行分析比较, 结果表明在线监测仪器在示踪试验回收率计算及示踪剂到达时间的判断上具有明显的优势。

关键词 示踪试验; 在线监测仪; 相关性分析; 地下河; 罗锦

中图分类号: P641.75 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2009)02-0075-04

Application of online monitor to tracing test of karst groundwater : A case study in Luojin of Lingui County , Guangxi Province

DENG Zhen-ping^{1,2}, ZHOU Xiao-hong², ZOU Sheng-zhang², LUO Ying², SUN Qian³

(1. School of Water Resources and Environmental Science, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 2. Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin 541004, China; 3. Environmental Supervision Branch of Guilin Environmental Protection Administration, Guilin 541002, China)

Abstract A tracing test of karst groundwater was carried out in the Xiangshuiyan subterranean stream in Luojin. NaCl was adopted as the tracer and titrated with a standard AgNO_3 solution. The resulting recovery rates indicate that the Tianjingdong subterranean stream is the only channel connecting the Machong and Yuantou subterranean streams, but there are several small ponds obstructing groundwater flow from the Xiangshuiyan subterranean stream, the dropping point of the NaCl, to the Tianjingdong subterranean stream, the recovery point of the NaCl. An online monitor was set up in the Tianjingdong subterranean stream to monitor NaCl. The monitoring results were compared with the examination results of manual sampling, showing that the online monitor more accurately calculates the recovery rate and judges the arrival time of the tracer.

Key words tracing test; online monitor; correlation analysis; subterranean stream; Luojin

在岩溶区, 示踪试验常被用来探寻地下水补给源、污染源、岩溶地下河管道连通性以及获取地下水流场特征参数^[1-4]。本次示踪试验区所涉及的天井洞是一个正在开发的旅游观光的天然溶洞, 因开发金钟山旅游景区而修建的公路, 使地下河系统的补给与径流发生了改变, 天井洞附近的一些泉点断流。本次示踪试验的目的是了解研究区内地下水运移方向、速度, 地下岩溶与裂隙发育状况以及响水岩与天

井洞地下河、源头地下河出口和源头水井的水力联系, 为旅游开发规划提供科学依据。此外, 在示踪试验过程中, 将在线监测仪布置在天井洞地下河中进行示踪离子检测, 最终与人工取样检测的结果进行比较, 以探讨在线监测仪在示踪试验中应用的可行性。在线监测仪在水文地质研究中常用来监测地下水和地表水的水温、水位和电导等参数^[1], 近年来一些监测仪器被用来监测水化学参数, 如溶解氧、pH

值和一些离子的浓度变化,也有用自动化监测电导率,通过电导率反映盐类示踪剂的变化^[2-3]。但还没有有用在线监测仪器直接检测人工示踪离子的报道。

1 试验区的地质及水文地质概况

试验区位于桂林弧形构造带架桥岭复式背斜的倾伏端西北侧,在区内呈单斜构造。地层走向 NE,倾向 NW280~300°,倾角 18°~20°。区内未见较大规模的断裂,但 NW290°~340°的构造裂隙非常发育,其倾角近直立,具张性或张扭性特征,对区内岩溶的发育和地下水的流向具有明显的控制作用。主要地层分布为泥盆系碳酸岩,岩溶发育强烈,洼地、漏斗、落水洞、溶洞等岩溶现象分布众多,地下河规模较大。

响水岩岩溶水系统是源头岩溶水系统中下游的组成部分,源头岩溶水系统南起崇树底村南的山脊,北至源头地下河出口;东及西牛塘村西的山脊,西抵大料洼地西北部一带的峰丛山顶,整个系统呈现出一个南小北大的不规则椭圆形汇水范围,面积 13.25 km²。系统边界均为地表或地下分水岭边界。

系统内含水介质除南部上游地带存在少量含水贫乏的 D_{2x} 碎屑岩孔隙、裂隙含水岩组外,主要为 D_{3r} 及 D_{2d} 灰岩、白云质灰岩和白云岩组成的纯碳酸盐岩连续型裂隙溶洞含水岩组。在岩溶区岩溶发育强烈,洼地、漏斗、落水洞、溶洞、地下河等岩溶现象分布众多,导富水性强,岩溶水主要赋存和运移于以地下河为主的溶洞和溶蚀裂隙之中。

源头岩溶水系统接受大气降水的入渗补给输入。以地下河的形式集中排泄输出于北部岩溶峰丛洼(谷)地与溶蚀孤峰平原分界地带的源头地下河出口。据 2007 年 1 月 4 日现场监测,其流量约为 0.2 m³/s。源头地下河主管道南起马冲洼地北西侧的地下河入口(标高 378 m),经麒麟岩、下洞村、响水岩、天井等地,在北部源头地下河出口(标高 167 m)流出地表。地下河长约 4.5 km,总体水力坡度 4.69%,水力坡度较大,并在径流过程中多处形成陡坡状跌水。地下水水位埋深由南向北逐渐增大,如南部下洞洼地一带水位埋深一般 3~5 m,中部响水岩水位埋深约 30 m,北部天井一带水位埋深达 40 m 以上。

源头岩溶水系统受其内部地形地貌、构造及含水介质特征等影响,岩溶水主要由南东向北西、由两侧向中间地下河主管道径流汇集。在岩溶水的径流汇集过程中形成,地下河主管道的几条侧支径流管道。

2 示踪试验

2.1 示踪剂的选择

本次示踪试验为单元示踪试验,试验区有村庄,

根据区域水文地质调查情况,结合以往的示踪试验经验^[5-7],应该选择对环境和人体完全无害的示踪剂。此外,还要考虑到示踪元素的地下水环境背景值较低且波动小,示踪剂价格及检测费用低,便于现场操作等因素。由于本次示踪试验应用了在线监测仪器进行检测,所以选择的示踪离子必须是仪器能够检测的,故选择氯化钠。

2.2 示踪剂的投放与接收

根据前期的现场勘查和长期的水文地质观测资料的综合分析,依据地下水出露情况,选择响水岩岩洞内地下河出露点作为投放点,位置见图 1。考虑到试验区段的水量、示踪距离和方法的检出限,本次试验投入示踪剂氯化钠 1 000 kg。2007 年 1 月 9 日下午 3 点开始投放,地下水流量为 25 L/s,水流速度较大,投放过程历时 8 min。

本次试验共选定了 3 个接收点,即响水岩下游的天井洞和源头地下河出口、源头水井。投放点距天井洞接收点 1.5 km,距源头岩地下河出口直线距离 2.1 km。接收点天井洞地下河流量 38 L/s,源头地下河出口流量 45 L/s,源头水井泉流量 10 L/s。各接收点的位置见图 1。接受点人工取样间隔时间为 4~8 h,同时在天井洞地下河布置 DS5 型水质监测仪在现场检测氯离子及水位、pH 等参数,监测频率 10 min,示踪试验历时 13 d。

2.3 分析测试

示踪离子氯离子的测试依照国土资源部行业标准 DZ/T0064—93《地下水标准检验方法》进行^[8]。示踪试验开始前测得各接收点氯离子的本底值分别为:天井洞地下河 7.01 mg/L,源头地下河出口 5.85 mg/L,源头水井 5.85 mg/L。

本次试验所用自动监测仪是哈希公司生产的 Hydrolab DS5 型水质自动监测仪,在使用前,按操作手册用氯离子标准溶液对仪器进行校准。

3 结果与讨论

3.1 地下河系统连通性分析

根据所采样品的检测结果,绘制各取样点的氯离子浓度历时变化曲线,从对曲线的分析看,示踪剂投放后的第 2 天晚上 10 点,天井洞地下河氯离子的浓度开始变化,示踪剂初现质量浓度为 8.18 mg/L,随后逐渐升高,到 1 月 13 日 18 点氯离子质量浓度达到最高峰值 39.75 mg/L。1 月 14 日氯离子质量浓度开始缓慢衰减,至 1 月 17 日 14 点氯离子质量浓度降至 16.37 mg/L,因洞内施工取样困难,故停止取样,但在线监测仪仍在运作。从图 2 中可见,投放点响水岩天窗地下河与天井洞地下河的连通性好,

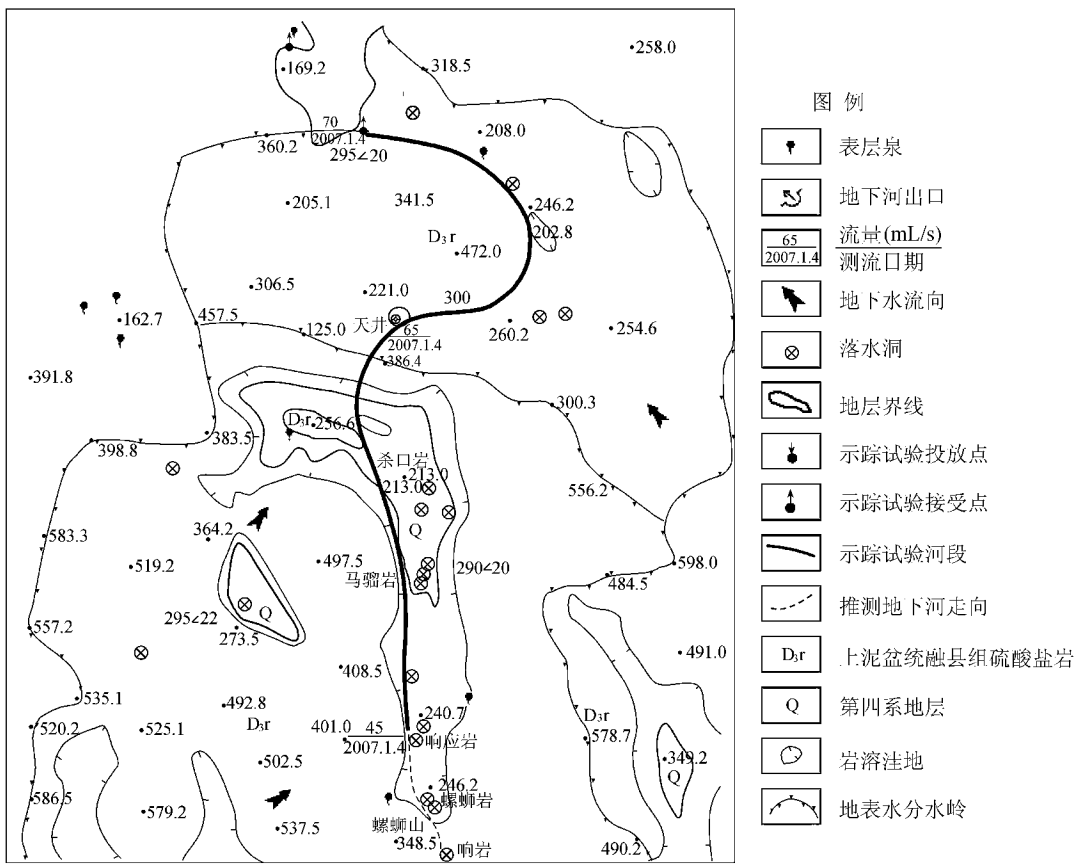


图1 罗锦响水岩洞——源头示踪试验平面布置

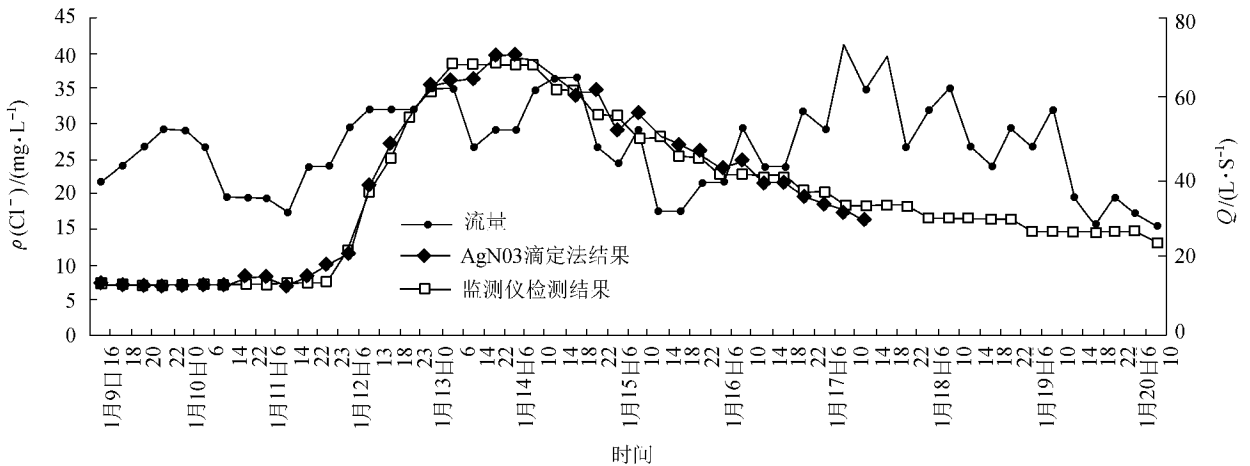


图2 天井洞地下河氯离子质量浓度历时曲线

响水岩到天井洞间地下水径流经过一些小型溶潭^[9]。

读取 DS5 型水质监测仪的检测结果,选取与人工采样用硝酸银滴定法对应时间的数据进行比较,两种检测方法得出的结果基本一致。通过相关性分析,两种检测方法的相关系数为 0.993 3,说明两种方法检测的结果基本吻合,其氯离子质量浓度历时曲线也基本上完全吻合,见图 2。

示踪试验进行到 1 月 17 日 18 点,源头地下河出口氯离子质量浓度开始缓慢升高,初现示踪离子质量浓度为 7.01 mg/L,到 1 月 20 日 10 点达到最高

峰值,氯离子质量浓度为 19.88 mg/L,然后开始下降,至 1 月 20 日 22 时,此时氯离子质量浓度为 7.01 mg/L,很快回到本底值,示踪离子质量浓度急剧下降是因为降雨,地下河水量增大,流速加快的缘故。从图 3 的时浓度历时曲线可见,投放点响水岩天窗地下河与源头地下河出口的连通性好;而源头水井的氯离子检测结果接近本底值,表明响水岩天窗地下河与源头水井的连通性差。

3.2 地下水流速

岩溶管道形态多变,地下水运移过程中其流态也发生变化,各空间点水流速度互不相同,一般常

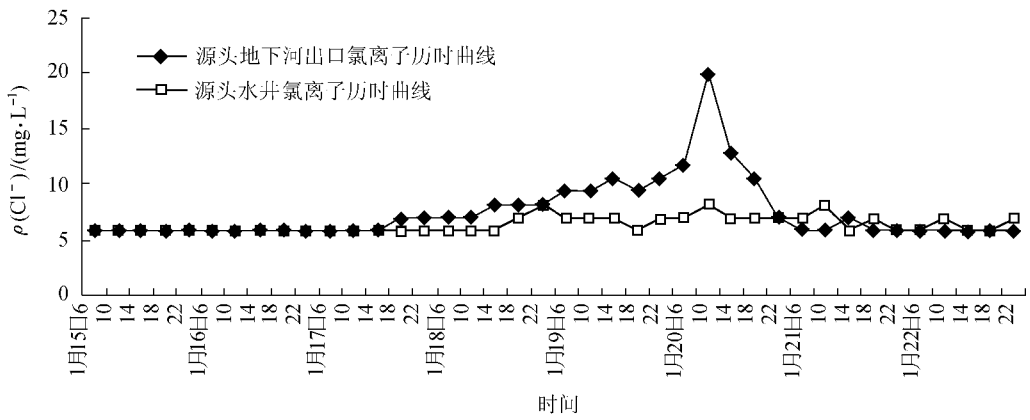


图3 源头地下河出口和源头水井氯离子质量浓度历时曲线

用峰值的运移速度来表征地下管道中水流平均速度^[9]。投放点响水岩到观测点天井洞和源头的距离分别为:1500 m和2100 m。天井洞峰值出现的时间人工检测为102 h,自动监测仪监测为91.5 h,源头峰值出现时间为258 h。地下水水流的平均速度为

$$v_{\text{均}} = \frac{L}{t_{\text{峰}}}$$

式中: L 为长度; $t_{\text{峰}}$ 为到达峰值的时间。

计算出地下水的平均流速为:响水岩到天井洞地下河为人工检测结果14.7 m/h,自动监测仪检测结果16.4 m/h,到源头地下河出口流速为8.14 m/h。

3.3 回收量和回收率

地下水示踪剂回收量和回收率的计算公式分别为

$$W_{\text{回}} = \sum_{i=1}^n \frac{(C_i - C_0) + (C_{i+1} - C_0) Q_i + Q_{i+1} \Delta t}{2}$$

$$\eta_{\text{回}} = W_{\text{回}} / W_{\text{投放量}} \times 100\%$$

式中: $W_{\text{回}}$ 为示踪剂的回收量; C_i, C_{i+1} 分别为时浓曲线相邻两取样点的浓度; C_0 为投放示踪剂前的本底值; Q_i, Q_{i+1} 分别为相应 C_i, C_{i+1} 两点取样期间地下水量; Δt 为取样间隔时间; $\eta_{\text{回}}$ 为示踪剂回收率。

由公式计算出天井洞地下河NaCl的回收量为906 kg,回收率为90.6%。

因在线监测仪可设置成每10 min读数1次,因此在示踪剂回收率、地下水流速的计算上,峰现和最高峰值出现时间的精度上,明显优于人工采样。而人工采样检测的间隔时间长,极易错过示踪剂到达的时间和最高峰值。

4 结论

a. 示踪试验证明了响水岩地下河与天井洞地下河和源头地下河出口的连通性好,根据示踪试验结果,马冲—源头地下河洞穴系统中,响水岩地下河流经天井洞最后到源头地下河出口,是单一管道。

b. 天井洞地下河历时曲线有明显的浓度上升

翼,而下降翼延续的时间较长,氯离子浓度下降缓慢,说明在响水岩投放点与天井洞接收点之间地下水的径流经过一些溶潭。

c. 根据示踪试验结果,计算出示踪剂的回收率为90.6%,说明响水岩到天井洞地下河的径流没有支道,原先的一些小支流由于修公路而被堵塞,造成天井洞附近的泉点断流。

d. 根据示踪试验结果,人工取样 AgNO_3 标准溶液测定的结果与DS5型水质监测仪的检测结果基本吻合,其相关性为0.9933,说明采用在线监测仪检测示踪离子是可行的,而且检测频率快,检测精密度高,减少了人为误差和适时快速无线传输,必将在地下水示踪试验中得到广泛应用。

参考文献:

- [1]高娟,李贵宝,华珺.地表水环境监测进展与问题探讨[J].水资源保护,2006,22(1):5-8.
- [2]汪进良,姜光辉,侯满福,等.自动化监测电导率在盐示踪试验中的应用——以云南八宝水库盐示踪试验为例[J].地球学报,2005,26(4):371-374.
- [3]樊引琴,高宏,李立阳,等.自动监测站在水资源质量监测与评价中的应用[J].水资源保护,2006,22(5):71-73.
- [4]吴法伟,刘群昌,王宏伟.辽宁本溪水洞地下暗河的补给源研究[J].地下水,2007,29(1):43-46.
- [5]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(1):59-62.
- [6]裴建国,谢运球,章程.湘中溶蚀丘陵区示踪试验——以湖南新化为例[J].中国岩溶,2000,19(4):366-371.
- [7]黄保健,张之淦,陈伟海,等.高山峡谷岩溶水示踪试验——以川西锦屏地区为例[J].中国岩溶,1995,14(4):362-371.
- [8]陈学民,周云.示踪试验中的浓度测定[J].甘肃环境研究与监测,1995,8(1):5-7.
- [9]杨立铮,刘俊业.试用示踪剂浓度-时间曲线分析岩溶管道的结构特征[J].成都地质学院学报,1979(4):211-219.

(收稿日期:2008-02-24 编辑:徐娟)