

文章编号:1001-4179(2013)S1-0115-02

# 地下水示踪试验在水库岩溶渗漏分析中的应用

李 择 卫

(湖南省水利水电勘测设计研究总院,湖南长沙410007)

**摘要:**地下水示踪试验在水库岩溶渗漏分析中是一种非常有效的手段。塞海湖水库地处强岩溶区,为查明库首的岩溶通道、渗漏量大小,在塞海湖水库库首进行了多次地下水示踪试验。介绍了采用野外荧光光度计进行地下水示踪试验的方法,并利用试验成果计算出岩溶地下水的流速、溶剂回收率等,用上述参数判断岩溶地下水的流态、岩溶水的相关性,取得了满意的效果。说明采用野外荧光光度计进行地下水示踪试验,在查明岩溶地区地下水水力联系、正确评价场区水文地质条件工作中具有较大的推广和应用价值。

**关键词:** 渗漏; 荧光光度计; 示踪试验; 岩溶; 地下水

中图分类号: P642.25 文献标志码: A

地下水示踪试验在岩溶水文地质研究中已有相当长的应用历史,是一种非常有效的勘查手段。但过去进行地下水示踪试验时,常采用人工蹲点,定时取样,然后集中进行室内分析,仪器检测所需示踪剂浓度较高(通常大于20 ppb才能检测得到),精度不够,造成投放量大且经济成本高,同时因浓度过大,导致水变颜色而引起当地居民恐慌不敢饮用。因此,对示踪试验的技术进行创新和引进,对提高我国水文地质研究水平具有重要意义。本次示踪试验使用的仪器为瑞士Albillia公司生产的野外用荧光光度计,型号分别为GGUN FL30、FL24,该仪器具有反应灵敏、检测限低、可连续自动监测(自动监测时间可设,更换电池可监测2个月)等优点,可减少人工取样劳动强度,精确地捕捉示踪剂浓度变化曲线。同时,所需示踪剂投放量少,无需人工取样监测,降低了试验成本。该仪器在使用过程中性能稳定、数据可靠、精确度高,可以满足岩溶地下水示踪试验的需要。

## 1 研究区水文地质背景

塞海湖水库位于湖南省涟源市湄江风景区内,是一个由岩溶形成的天然小型湖泊。每逢枯水季节,湖内干涸见底,湄塘河在塞海湖处转为地下河,雨后偶尔能见湖底涌水现象。近几十年来,由于上游的生态破

坏,水土流失严重,河水携带大量的泥沙、杂草、树木等淤积于此,湖水渗漏相对变慢,基本能保持常年有水的状态。

库首岩性为石炭系上统船山组( $C_{3c}$ )、中统黄龙组( $C_{2h}$ )的灰岩、白云质灰岩、白云岩等,岩组中无相对隔水层分布,跨岩组的大型岩溶通道极发育,岩溶规模大、发育深、连通性好,水文地质条件复杂。库首部位有一消水洞,据实测,自该消水洞及其周边漏失的水量达 $0.7 \text{ m}^3/\text{s}$ 。与库首消水洞相距约2300 m远的左下游有观音崖岩溶大泉分布,流量为 $1.39 \text{ m}^3/\text{s}$ ,距库首消水洞下游460 m处有湄塘口岩溶泉分布,流量 $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$ 。库首消水洞、湄塘口泉及观音崖泉的相对位置如图1。为了查明库首消水洞与下游观音崖泉、湄塘口泉的水力联系,进行了本次地下水示踪试验。

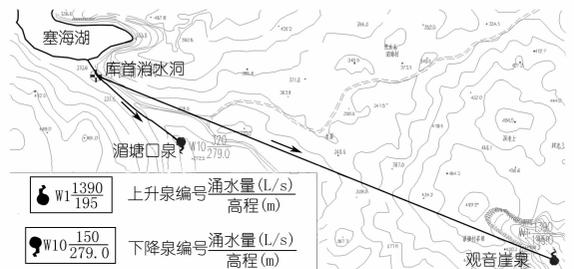


图1 库首消水洞、湄塘口泉、观音崖泉位置示意

收稿日期:2013-01-10

作者简介:李择卫,男,高级工程师,主要从事水文地质、工程地质勘查工作。E-mail: lzww@sina.com

## 2 示踪试验

### 2.1 示踪试验过程

本次地下水示踪试验示踪剂选用罗丹明 B, 库首消水洞作为示踪剂投放点, 下游观音崖大泉及涓塘口泉作为示踪剂接收点。

在观音崖泉监测点, 将 FL30 荧光光度计探头通过钢丝绳悬挂在出水口水面以下 20 cm 处, 使出水口朝向下流, 钢丝绳另一端固定在路边的树干上。数据记录盒放置于塑料箱中, 中间连接的数据电缆通过木板加以保护, 以免损坏。于 2011 年 6 月 1 日下午安装好仪器, 时间间隔设置为 1 min。

在涓塘口泉监测点, 于 6 月 1 日下午, 将 FL24 荧光光度计安装于涓塘口泉的渠道边, 探头固定于 PVC 水管下, 以防止水流冲走探头, 时间间隔设置为 1 min。

2011 年 6 月 1 日下午, 先对库首消水洞洞口周边进行了清理, 然后将 1 kg 分析纯级别的罗丹明 B 在水桶中充分溶解, 于 19:03 投放到消水洞中, 向消水洞中持续注水 27 min, 于 19:30 结束, 总注水量约 1 000 L。

### 2.2 示踪试验结果

涓塘口监测点的背景值浓度为 0.30 ppb, 2011 年 6 月 1 日 19:03 在渠道边消水洞投放罗丹明 B 后, 监测点于当天 21:02 开始检出 (浓度 0.32 ppb), 随后浓度开始快速上升, 到 22:12 时出现峰值 (264.37 ppb)。从投放 (19:03) 到检出 (21:02) 历时约 2 h, 从投放 (19:03) 到出现浓度峰值 (22:12) 历时 3 h 9 min。随后浓度开始降低, 于 2011 年 6 月 3 日 05:00 降到 0.5 ppb, 随后浓度略有回升, 6 月 3 日 10:49 时浓度为 2.46 ppb。涓塘口泉观测点罗丹明 B 的浓度变化曲线见图 2。

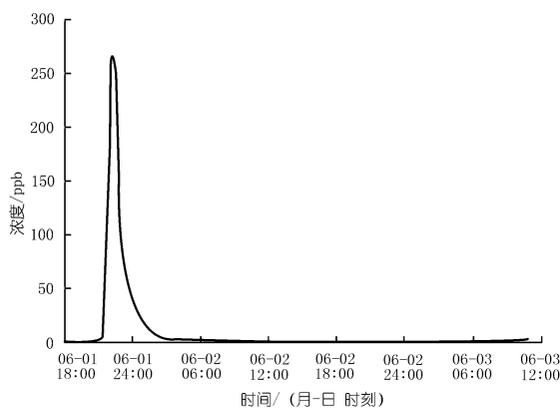


图 2 涓塘口泉监测点罗丹明 B 浓度时间变化曲线 (2011 年)

观音崖泉背景值亦为 0.30 ppb。监测点于 2011 年 6 月 2 日 05:58 开始监测到罗丹明 B, 浓度为 0.32 ppb, 随后浓度开始上升, 到 10:45 时达到峰值 (21.06

ppb), 随后浓度开始降低, 到 6 月 3 日 11:22 时, 浓度降低到 0.58 ppb。从投放 (6 月 1 日 19:03) 到检测出 (6 月 2 日 05:58), 历时约 11 h; 从投放到出现浓度峰值 (6 月 2 日 10:45), 历时 15 h 42 min。观音崖泉观测点罗丹明 B 的浓度变化曲线见图 3。通过本次试验, 证实了库首消水洞与下游观音崖泉、涓塘口泉均存在水力联系。

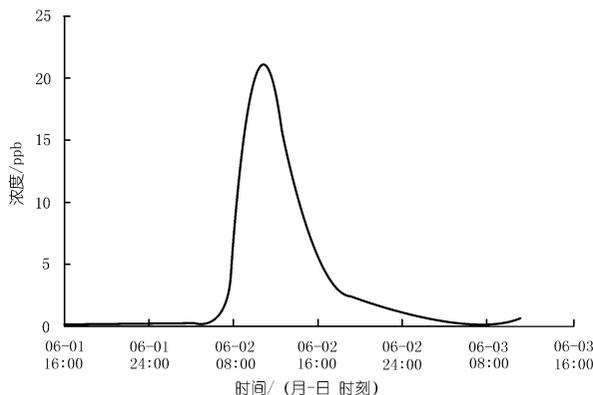


图 3 观音崖泉监测点罗丹明 B 浓度时间变化曲线 (2011 年)

### 2.3 示踪试验资料判析

#### 2.3.1 地下水流平均流速

岩溶管道形态多变, 地下水运动过程中流态也发生变化, 各空间点水流速度互不相同, 一般常用峰值的运移速度来表征地下管道中水流平均速度, 即

$$V_{\text{平均}} = L/t_{\text{峰}} \quad (1)$$

式中,  $L$  为长度;  $t$  为到达峰值时的时间。

从库首消水洞到观音崖泉的直线距离为 2 300 m, 从消水洞投放到观音崖观测到罗丹明 B 峰值历时 15.7 h。从库首消水洞到涓塘口泉的直线距离为 460 m, 从消水洞投放到涓塘口观测到罗丹明 B 峰值历时 3.15 h。依次可计算出地下水流的速度: 库首至观音崖泉为 146.50 m/h, 库首至涓塘口泉为 146.03 m/h。

地下水平均流速远大于 1 000 m/d, 表明消水洞至涓塘口泉、观音崖泉之间的岩溶相当发育, 地下水运移路径非常畅通, 为典型的紊流流态。

#### 2.3.2 示踪剂回收率计算

回收量按以下公式计算

$$M = \int_0^t Q C dt \quad (2)$$

式中,  $M$  为回收量;  $Q$  为流量;  $C$  为浓度;  $t$  为时间。由于在试验阶段, 流量  $Q$  变化不大, 因此, 上式可以简化为

## 参考文献:

- [1] Kou S C, Poon C S. Enhancing the durability properties of concrete prepared with coarse recycled aggregates[J]. *Construction and Building Materials*, 2012, (35): 69 - 76.
- [2] 雷斌,肖建庄. 再生混凝土耐久性能研究[J]. *混凝土*, 2008, (5): 83 - 89.
- [3] 雷斌,肖建庄. 再生混凝土抗碳化性能的研究[J]. *建筑材料学报*, 2008, 11(5): 605 - 611.
- [4] Evangelista L, DE Brito J. Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates[J]. *Cement and Concrete Composites*, 2010, 30(1): 9 - 14.
- [5] Zega C J, DI Maio A. Use of recycled fine aggregate in concretes with durable requirements[J]. *Waste Management*, 2011, 31(11): 2336 - 2340.
- [6] Otsiki N, Miyazato S, Yodsudjai W. Influence of recycled aggregate on interfacial transition zone, strength, chloride, penetration and carbonation[J]. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2003, 15(5): 443 - 451.
- [7] Tian F, Hu W, Cheng H, Sun Y. Carbonation depth of recycled aggregate concrete incorporating fly ash[J]. *Advanced Materials Research*, 2011, (10): 261 - 263.
- [8] 孙浩,王培铭,孙家瑛. 再生混凝土抗气渗性及抗碳化性能研究[J]. *建筑材料学报*, 2006, 9(1): 86 - 91.
- [9] Tangchirapat W, Khamklai S, Jaturapitakkul C. Use of ground palm oil fuel ash to improve strength, sulfate resistance, and water permeability of concrete containing high amount of recycled concrete aggregates[J]. *Materials and Design*, 2012, (41): 150 - 157.
- [10] Medina C, Frías M, Sánchez DE ROJAS M. I, etc. Gas permeability in concrete containing recycled ceramic sanitary ware aggregate[J]. *Construction and Building Materials*, 2012, (37): 597 - 605.
- [11] Zaharieva R, Buyle - BODIN F, Wirquin E. Frost resistance of recycled aggregate concrete[J]. *Cement and Concrete Research*, 2004, 34(10): 1927 - 1932.
- [12] Gokce A, Nagataki S, etc. Identification of frost - susceptible recycled concrete aggregates for durability of concrete[J]. *Construction and Building Materials*, 2011, 25(5): 2426 - 2431.
- [13] Nishibayashi S, Yamura K. Mechanical properties and durability of concrete from recycled coarse aggregate by crushing concrete [C]// *Proceedings of the Second International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonary*. Tokyo: [s. n.]: 1988.
- [14] Gokce A, Nagataki S, Saeki T, etc. Freezing and thawing resistance of air - entrained concrete incorporating recycled coarse aggregate: The role of air content in demolished concrete[J]. *Cement and Concrete Research*, 2004, 34(5): 799 - 806.
- [15] 张雷顺,王娟等. 再生混凝土抗冻耐久性试验研究[J]. *工业建筑*, 2005, 35(9): 45, 64 - 66.
- [16] Kawamura M, Torii K. Reuse of recycled concrete aggregate for pavement[C]// *Proceedings of the second international Symposium (RILEM) on demolition and Reuse of Concrete and Masonary*. Tokyo: [s. n.], 1988, (2): 726 - 735.
- [17] Fathifazl G, Ghani Razaqpur A, et al. Creep and drying shrinkage characteristics of concrete produced with coarse recycled concrete aggregate[J]. *Cement and Concrete Composites*, 2011, 33(10): 1026 - 1037.
- [18] 曾力,赵伟. 高强再生混凝土干缩特性[J]. *土木建筑与环境工程*, 2010, 32(4): 125 - 130.
- [19] Domingo - Cabo A, LÁzaro C, etc. Creep and shrinkage of recycled aggregate concrete[J]. *Construction and Building Materials*, 2009, 23(7): 2545 - 2553.
- [20] 邹超英,王勇,胡琼. 再生混凝土徐变度试验研究及模型预测[J]. *武汉理工大学学报*, 2009, 31(12): 94 - 98.
- [21] 陈建良. 再生混凝土耐磨性能试验[J]. *低温建筑技术*, 2011, (1): 24 - 25.
- [22] Fonseca N, DE Brito J, Evangelista L. The influence of curing conditions on the mechanical performance of concrete made with recycled concrete waste[J]. *Cement and Concrete Composites*, 2011, 33(6): 637 - 643.
- [23] Pereira P, Evangelista L, DE Brito J. The effect of superplasticizers on the mechanical performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates[J]. *Cement and Concrete Composites*, 2012, 34(9): 1044 - 1052.

(编辑:郑毅)

(上接第 116 页)

$$M = Q \int_0^t C dt \quad (3)$$

将浓度变化曲线随时间积分即可得到浓度  $C$  的积分值,乘以流量  $Q$  后即可获得回收量  $M$  值。将浓度的积分曲线除以总回收量  $M$  值得回收量随时间的百分比值。

观音崖泉的流量为  $1.39 \text{ m}^3/\text{s}$ ,涪塘口泉流量为  $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$ ,计算得出本次示踪试验,观音崖泉监测点回收的罗丹明 B 的量为  $668.9 \text{ g}$ ,涪塘口泉观测点回收

的罗丹明 B 的量为  $154.87 \text{ g}$ ,此次试验总的回收量为  $823.77 \text{ g}$ 。回收效率为  $82.38\%$ 。

两处监测点的示踪剂总回收率高达  $82.38\%$ ,说明最多只有  $17.62\%$  的示踪剂没有得到回收,其中还没扣除可能残留在岩溶裂隙里和被光线分解的部分,自库首消水洞漏失的水量最少有  $82.38\%$  自观音崖泉及涪塘口泉流出,由此证明,观音崖泉及涪塘口泉无疑是库首消水洞漏失水量的主要出口。

(编辑:郑毅)