

# Application of Sodium Chloride in Groundwater Tracer Test in Karst Area

Hongxue Fu

The Third Hydrogeological Team of China National Administration of Coal Geology, Handan Hebei  
Email: s\_glin@126.com

Received: Mar. 21<sup>st</sup>, 2020; accepted: Apr. 14<sup>th</sup>, 2020; published: Apr. 21<sup>st</sup>, 2020

---

## Abstract

In order to find out the connectivity of groundwater between Karst area and nearby coal mine goaf in Guizhou, considering the particularity of underground leaching environment in karst area, stable and highly soluble sodium chloride was selected as tracer test. The conductivity meter is used to monitor the changes of tracers in water, the atomic absorption method is used to detect the content of sodium ions in water, and the estimation methods of sodium chloride dosage and sampling frequency are summarized. The results show that the sodium chloride tracing effect is good, and the sodium chloride used as groundwater connectivity is feasible. The method is simple to operate, economical and environment-friendly, and the results are stable and reliable.

## Keywords

Sodium Chloride, Karst, Groundwater, Tracer Test

---

# 氯化钠用于喀斯特地区地下水示踪试验的应用研究

付宏学

中国煤炭地质总局第三水文地质队, 河北 邯郸  
Email: s\_glin@126.com

收稿日期: 2020年3月21日; 录用日期: 2020年4月14日; 发布日期: 2020年4月21日

## 摘要

为查明贵州喀斯特地区某地下水与附近煤矿采空区地下水的连通性,综合考虑喀斯特地区地下溶浸环境的特殊性,选用稳定和溶解性高的氯化钠作为示踪试验。采用电导率仪监测水中示踪剂的变化,原子吸收法检测水中钠离子的含量,总结出氯化钠的用量和取样频率的估算方法。结果表明,氯化钠示踪效果良好,采用的氯化钠作为地下水的连通性可行,该方法操作简单,经济环保,结果稳定可靠。

## 关键词

氯化钠, 喀斯特, 地下水, 示踪试验

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

示踪剂连通试验技术是在注水井或地下水通道中投入示踪剂,对投放点周围的地下涌出水进行示踪剂浓度随时间变化的监测,通过浓度随时间变化的关系曲线,判断地下水的连通情况。常用的示踪剂有放射性同位素示踪剂[1]、微量物质示踪剂[2][3]、化学示踪剂[4]等。放射性同位素示踪剂主要采用氚水,氟化醇等,性质稳定,可以通过液相闪烁计数器来检测,但物质本身具有放射性,所以会对人员和环境产生一定的危害,使用中必须由专业人员操作完成。微量物质示踪剂是目前最先进的一种示踪剂,它主要是由多种稀土化学元素组成,该示踪剂使用时,要求水中稀土元素的含量很低,不影响检测结果的判定,一般采用电感耦合等离子体质谱仪测定,仪器要求较高,操作人员的专业性要求也较高。化学示踪剂主要采用氯化钠、荧光素钠、胭脂红、亮蓝、三氯乙烯、二氯甲烷及乙醇等。荧光素钠可采用荧光分光光度法或高效液相色谱法定量测定,仪器要求较高。胭脂红和亮蓝采用高效液相色谱法定量分析,当水中含量达到一定量后,通常在5 mg/L时,可以直接观察水颜色的变化判断是否含有胭脂红或亮蓝。三氯乙烯、二氯甲烷及乙醇可以采用气相色谱法进行测定,仪器要求较高,操作复杂,透过土壤层等环境可能会被吸附,导致水中含量降低。氯化钠溶于水后,形成钠离子和氯离子,会使水的电导率参数发生变化,可以采用电导率法观察水中氯化钠含量的变化,也可采用硝酸银沉淀法观察氯离子含量变化,其中钠离子还可以采用原子吸收分光光度计进行定量分析,氯离子可以采用紫外分光光度计进行定量分析,分析仪器相对简单,操作也简单,而且氯化钠较稳定,在水中溶解度大,土壤及有机物质对其吸附较小,渗透性也较好[5],用作喀斯特地下水的连通试验示踪剂,具有廉价,操作简单,对环境无污染等优势[6][7],国内外常用于地下环境资源的调查中[8][9][10]。本论文结合喀斯特地区地下水连通试验采用的示踪剂取得的成功经验,得出氯化钠作为喀斯特岩溶地区地下水连通示踪剂较适合,现将该方法介绍如下:

## 2. 问题的提出

贵州东部某地下涌出水(目标监测点)水质突然变差,水质浑浊,含大量红色悬浮物,导致周边河流污染,一段时间后在河床上留下红褐色沉淀物,疑似为某煤矿开采所致。根据现场踏勘,煤矿采空区内钻探井中,疏排井距离目标监测点最近,且疏排井水中硫酸盐、铁、锰含量高,煤矿采空区疏排井处的水

位高度为 907.0 米，目标监测点的水位高度为 863.4 米，水位高差 43.6 米，直线距离 1.2 km。采空区矿井水具备自流汇入目标监测点的条件。因此，选择在疏排井投放示踪剂。

### 3. 氯化钠示踪剂的优点

#### 3.1. 干扰小

NaCl 在水中的溶解度高，离子稳定，迁移能力强，地下水通道对其吸附性小，对氯化钠检测干扰小。

#### 3.2. 背景值低

喀斯特地区中的钠离子和氯离子的背景值低，其离子的含量一般不超过 3 mg/L，对其示踪试验的影响较小。

#### 3.3. 经济环保

食品级氯化钠的价格便宜，而且在使用中对环境的影响较小，具经济又环保。

#### 3.4. 监测方便

可采用电导率仪监测法，也可以采用硝酸银沉淀指示法现场定性氯化钠含量的变化。钠离子的定量可采用原子吸收法，氯离子的定量可采用硝酸银容量法。

#### 3.5. 稳定性好

氯化钠化学性质稳定，不易被生物降解，长时间保存也不会产生损失，在水中保持稳定，不发生化学变化，不沉淀、不分解、不挥发、不腐蚀、不被水中悬浮物吸附。在环境中后存放数天也可以检测，方便灵活。

## 4. 实验部分

### 4.1. 监测原理

氯化钠溶于水后，形成钠离子和氯离子，会使水的电导率参数发生变化，可以采用电导率法观察水中氯化钠含量的变化，当被调查的地下涌出水电导率发生明显变化，或者向被调查的少量水中滴入硝酸银时，白色沉淀明显加重，证明地下水中氯化钠含量发生变化，可以采样进行下一步的定量分析，准确可靠。

### 4.2. 投放点和目标监测点的选择

在选择投放点的时候，要充分了解投放点的地下水量，流量，地下水位，流动状态，储存状态，有条件时应结合地下水文图分析投放点和目标监测点是否有连通的关系，条件成熟尽量选择距离目标监测点就近的位置作为投放点。目标监测点应该选择便于取样和观测的地点。

### 4.3. 投放点和目标监测点的背景值监测

在投放示踪剂时，需要对投放点及目标监测点取样分析，充分了解投放点和目标监测点的背景值，为示踪剂的和投放量的选择提供背景资料，通过水质监测数据初步判断投放点与目标监测点是否存在连通关系，为示踪试验提供数据支撑。背景监测值在投放示踪剂前进行。

### 4.4. 示踪剂投放量的估算

示踪试验期间，目标监测点流量约 200 m<sup>3</sup>/h，钠离子浓度约为 2.3 mg/L，氯离子浓度约为 2.0 mg/L，

按检出限为钠离子背景浓度 10 倍考虑,以 3 天扩散示踪时间水量计,投放食盐量为  $2.3 \times 10 \times 200 \times 24 \times 3 \times (23 + 35.5)/(23 \times 1000)$ , 投放量为 842.4 kg。

#### 4.5. 示踪剂的投放

选择 3~15 天内没有明显降水变化时间段投放。本次示踪试验选择 2019 年 10 月 29~30 日作为目标监测点水中钠的背景值调查时段,共计 2 天。2019 年 10 月 30 日 11 点~14 点,将充分溶解的氯化钠溶液注入投放点中,3 小时内全部投放完示踪剂。为保证项目正常进行,安排两组人员,一组在投放点投放示踪剂,并在投放后监测投放点水质,一组在目标监测点同时监测水质并采集水样。

#### 4.6. 目标监测点的取样频率的确定

根据投放点与目标监测点的距离,以及水的流速初步估算流出时间,有时投放点的地下水处于相对静止的状态,示踪剂出现时间可能会延长。当发现目标监测点水质电导率发生变化时,立即进行采样。并按照每天 3 次的等间隔时间进行采样。没有现场监测的条件下,投放示踪剂后,每 2 小时采样一次。

#### 4.7. 数据分析

示踪试验结果显示,2019 年 10 月 30 日 14 点投放完氯化钠示踪剂后,于 2019 年 10 月 31 日上午 10 点监测到目标监测点水中电导率发生明显变化,通过采样分析,得出示踪试验期间水质浓度监测结果见表 1。

**Table 1.** Concentration monitoring results during the tracer test

**表 1.** 示踪试验期间水质浓度监测结果

编号/监测类型	采样时间	检测项目/实测结果	
		钠(mg/L)	氯化物(mg/L)
101 (背景监测)	2019.10.29~15:50	2.27	2.4
102 (背景监测)	2019.10.29~20:50	2.42	2.5
103 (背景监测)	2019.10.30~10:30	2.65	2.8
201 (示踪监测)	2019.10.30~16:33	3.48	2.9
202 (示踪监测)	2019.10.30~22:40	3.54	3.2
203 (示踪监测)	2019.10.31~10:23	7.91	7.2
204 (示踪监测)	2019.10.31~14:44	8.91	7.9
205 (示踪监测)	2019.10.31~23:17	9.63	7.4
206 (示踪监测)	2019.11.01~09:59	9.15	8.2
207 (示踪监测)	2019.11.01~11:36	9.22	8.9
208 (示踪监测)	2019.11.01~15:50	9.71	8.4
301 (跟踪监测)	2019.11.10~10:52	1.82	2.1
301 (跟踪监测)	2019.11.10~15:29	1.78	2.4
301 (跟踪监测)	2019.11.10~18:30	1.78	2.5
401 (投放点监测)	2019.10.29~18:10	20.5	19.7
401 (投放点监测)	2019.10.30~10:10	21.4	20.6
401 (投放点监测)	2019.10.30~16:05	328	314
401 (投放点监测)	2019.11.12~10:10	23.9	22.6

以监测时间为横坐标,水质中钠离子和离子浓度为纵坐标,绘制氯化钠随时间的变化关系图,见图1,图中以2019年10月29日15:50对目标监测点水质监测时间定为0时,则1~19h为背景监测值,19~22h为示踪剂投放时间,22~72h为示踪剂监测时间,250~274h为示踪剂后续监测时间。从检测结果显示,随着示踪剂的投放,目标监测点中氯化钠含量逐渐升高,投放24h后氯化钠含量明显升高,随着时间的推移,目标监测点及投放点恢复至以前的水平,见图1。说明目标监测点与投放点(某煤矿采空区疏排井)地下水有连通性。

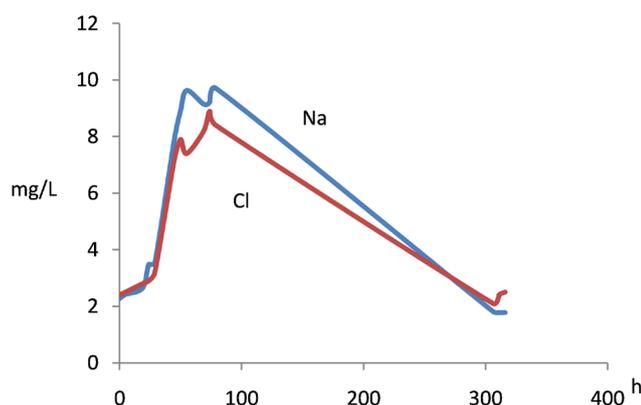


Figure 1. Relationship between concentration and time  
图1. 氯化钠浓度随时间的变化关系图

## 5. 注意事项

- 1) 示踪试验应该选择在水流量稳定的时间段进行,即没有暴雨,外来引入水汇入等干扰;
- 2) 氯化钠作为示踪剂,水流通道对钠离子的吸附效应较小,对氯离子的吸附效应较大,因此选择钠离子作为定量分析较适合;
- 3) 对投放点的地下水存在形式不确定的情况下,尽量注入较多的示踪剂溶解水,充分让示踪剂在地下水中扩散,提高示踪效果。

## 6. 结论

通过对某地下涌出水(目标监测点)水样中的示踪离子( $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$ )浓度的现场测试结果,结合投放点情况,经综合分析,得到以下结论:

- 1) 本次实验中  $\text{Cl}^-$ 含量的检测没有达到预期效果, $\text{Cl}^-$ 损失比  $\text{Na}^+$ 大,但成功检测到  $\text{Na}^+$ 浓度变化,整体上不影响示踪试验结果。 $\text{Cl}^-$ 的损失可能与水流通道中泥土和煤矸石吸附,及水中离子反应有关。
- 2) 喀斯特地形地貌复杂,在做连通性试验过程中,示踪剂选择溶解性强的  $\text{NaCl}$  比较适合,这样有利于避免减少地下泥土和煤矸石对示踪剂的吸附,有利于连通试验的成功。
- 3) 在投放点处要保证水利畅通,在不能确定地下水水利畅通的情况下,应加大注入水量,充分让示踪剂扩散至地下矿井储存水中,保证示踪剂能进入水流通道。
- 4) 水中都会含有一定量的钠离子,投放时需要根据水中的钠离子含量计算示踪剂的投放量,投放的量要能引起地下水中钠离子含量高出背景中的含量。

## 参考文献

- [1] 武波. 示踪剂技术在油田开发中的应用研究[J]. 化工工程师, 2018, 278(11): 62-64.

- [2] 马国锐, 李丹丹, 高仰刚, 等. 荧光聚合物微球示踪剂的合成与性能[J]. 石油化工, 2018, 47(5): 468-473.
- [3] 孟科全, 温守国, 王跃宽, 等. 对氟苯甲酸乙酯油溶性示踪剂的制备与溶解性能研究[J]. 油田化学, 2018, 35(1): 161-164.
- [4] 刘俊, 倪海波. 投盐法示踪试验的研究与应用[J]. 资源环境与工程, 2013, 27(5): 711-713.
- [5] 刘岩磊, 王庆来. 不同情况下地下水弥散试验方法分析[J]. 地下水, 2014, 36(2): 10-21.
- [6] 邢晓东, 刘金辉, 樊振丽. 地下水示踪试验在煤矿地质的作用[J]. 化工设计通讯, 2016, 42(2): 186-187
- [7] 李旭, 魏丹丹, 许光泉, 等. 示踪试验在矿山岩溶通道探查中应用[J]. 煤矿安全, 2016, 47(3): 56-59.
- [8] 常世明. 井间示踪剂监测技术在注水开发中的应用[J]. 辽宁化工, 2014, 43(8): 1059-1062.
- [9] 张煜, 周燕, 陈续琴, 等. 现有示踪剂解释方法存在的问题与分析方法的评价[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2012, 32(2): 258.
- [10] 耿宇迪, 宋志峰, 鄢宇杰, 等. 新型示踪剂产能监测技术研究及应用[J]. 2017, 14(23): 83-86.