

实用地下水连通试验方法

孙恭顺 梅正星 编著

贵州人民出版社

内 容 提 要

本书是我国第一本关于地下水连通试验方法的专著，从实用的角度出发，广泛收集整理和新研究出数十种试验方法，其中也有笔者近年来的科研成果。书中系统地介绍了各种方法的试验原理、示踪检测和实例分析等，是一本有关人员必备的工具书。

本书可供水文地质、工程地质、水利、水电、矿山、环保、建筑施工、给水排水的生产、科技人员以及有关院校师生参考。

实用地下水连通试验方法

孙恭顺 梅正星 编著

贵州人民出版社出版发行

(贵阳市延安中路8号)

贵州新华印刷厂印刷 贵州省新华书店经销

787×1092毫米 32开本 7.625印张 120千字

印数1—1,000

1988年4月第1版 1988年4月第1次印刷

书号：15115·184 定价：2.20元

ISBN 7-221-00681-6/TB·02

前 言

目前，国际上有关地下水的生产和科研组织，对地下水连通试验方法的研究和立目都非常重视。近年来召开过多次地下水连通试验方法的国际讨论会。第一次讨论会于1966年在奥地利举行，第二次讨论会于1970年在民主德国举行，第三次讨论会于1976年在南斯拉夫举行，第四次讨论会于1981年在瑞士举行。

我国还未见系统地总结地下水连通试验方法的专著和文献，而生产和科研部门又迫切需要这方面的资料，如：水工建筑物的渗漏评价，地下水储量计算中边界条件的确定，地下河来龙去脉的判断，地下水分水岭的划分，矿床地下水的补给、径流、排泄条件的分析，城市给水排水的设计依据，地下水污染源的鉴别等。总之，无论各行各业所涉及的水文地质问题，或是工程地质问题的地下水边界和径流途径，均要应用地下水连通试验的方法。连通试验已越来越显示出它的重要性，并普遍受到各个有关部门的重视。

经过五年多时间，查阅了国内外有关的资料，调查了全国的一百多个单位，走访了出国考察的地质和水文地质专家，收集了国外专家访华时的这方面的学术报告，加上自己的一些研究成果，笔者在本书中对地下水连通试验方法分成7种类型进行了系统的研讨。

连通试验的成功与否，与以下两方面的关系很大：一、示踪剂能悬浮、易溶或分散于水中，不被吸收、吸附，均匀随水流动；检验程度高，无毒或毒性极微，不污染环境；价格低，来源丰富。二、处理样品得当，检验仪器精度高，能快速测定。

在介绍这些连通方法时，我们着重理论与实践两个方面的阐述，力争使读者既能弄清方法的理论实质，又能掌握方法的实际应用，以及对所获测试资料的分析评价。总之，希望使读者在理论、实践和提高方面有所裨益。

作 者

目 录

第一章 化学离子示踪法	(1)
第一节 氯离子 (Cl^-) 示踪	(1)
一、食盐的一般特征	(4)
二、仪器检测法	(4)
1. 电导率仪测定	(6)
2. 万用电表检测	(6)
3. 液体电阻计检测	(6)
三、化学检测法	(7)
1. 铬酸钾指示剂容量法 (摩尔法)	(7)
2. 硫氰酸盐法 (佛尔哈德法)	(9)
四、用示踪剂浓度-时间曲线分析地下水 通道的展布特征	(11)
1. 浓度-时间的变化关系及基本原理	(11)
2. 单峰曲线分析	(13)
3. 双峰曲线分析	(16)
4. 三峰曲线分析	(16)
5. 多峰曲线分析	(18)
6. 放射状通道分析	(18)
第二节 硝酸根离子 (NO_3^-) 和亚硝酸根离子	

(NO_2^-) 示踪	(20)
一、硝酸根离子 NO_3^- 示踪	(20)
1.示踪剂的性质	(20)
2. NO_3^- 的化学分析法	(21)
3. NO_3^- 的紫外分光光度测定法	(22)
二、亚硝酸根离子 (NO_2^-) 示踪	(27)
1.示踪剂的性质	(27)
2. NO_2^- 的化学分析法	(29)
三、亚硝酸钠与其他两种示踪剂的对比试验	(31)
四、几个实例	(34)
1.贵州六枝矿区暴雨前后的两次对比试验	(34)
2.湖南恩口矿区同时采用 NaNO_3 和 NaNO_2 示踪剂进行对比试验	(35)
3.河南焦作矿区用 NaNO_2 示踪剂的重现性两次试验	(37)
五、结论	(40)
第三节 碘离子 (I^-) 示踪	(41)
一、常用碘化物示踪剂的理化性质	(41)
二、化学分析检测	(43)
1.检测原理	(43)
2.试剂	(44)
3.检测步骤	(44)
4.计算	(45)
三、用离子选择电极法检测碘离子	(45)

1. 仪器设备	(45)
2. 试剂	(46)
3. 工作曲线的绘制	(46)
4. 测试过程	(46)
5. 注意事项	(46)
四、实例	(47)
第四节 铵离子(NH_4^+)示踪	(51)
一、常用铵盐示踪剂的理化性质	(51)
二、化学分析检测	(53)
1. 检测原理	(53)
2. 试剂	(53)
3. 标准系列的配制	(54)
4. 检测步骤	(55)
三、用离子选择电极法检测铵离子	(55)
1. 仪器设备	(56)
2. 试剂	(56)
3. 工作曲线的绘制	(56)
4. 测试过程	(57)
5. 注意事项	(57)
四、实例	(57)
五、对铵离子示踪剂的评价	(58)
第五节 乙醇($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)示踪	(60)
一、检测方法	(60)
二、实例	(61)

1. 试验目的	(61)
2. 投放点与观测点的布置	(61)
3. 结果	(62)
三、乙醇和碘离子(I^-)双示踪试验	(63)
1. 试验目的	(63)
2. 投放点与观测点的布置	(64)
3. 结果	(65)
四、乙醇和铵离子(NH_4^+)双示踪试验	(65)
第二章 染料示踪法	(66)
第一节 食用合成染料示踪	(66)
一、食用合成染料的性质	(66)
二、食用合成染料的主要种类	(67)
1. 食用色素柠檬黄 别名: 食用柠檬黄 $C_{16}H_8N_4O_9S_2Na_3$	(67)
2. 食用色素胭脂红 别名: 食用胭脂红 $C_{20}H_{11}N_2O_{10}S_3Na_3$	(67)
3. 食用色素苋菜红 别名: 食用苋菜红 $C_{20}H_{11}N_2O_{10}S_3Na_3$	(68)
4. 食用色素靛蓝 别名: 食用靛蓝 $C_{16}H_8N_2O_5S_2Na_2$	(70)
三、食用合成染料的使用方法	(71)
四、几个试验实例	(71)
第二节 荧光染料示踪	(72)
一、国外常用的荧光示踪剂	(73)
二、国外荧光示踪剂的检测方法	(75)

三、国外的几个实例·····	(80)
1.南斯拉夫特雷比什尼察河水系·····	(80)
2.英国使用概况·····	(83)
3.新西兰甫口泉·····	(83)
四、我国常用的荧光示踪剂·····	(84)
五、我国检测荧光示踪剂的方法·····	(85)
1.投放·····	(85)
2.接收·····	(85)
3.检测·····	(86)
4.资料整理与分析·····	(86)
六、河北王窑铁矿荧光黄示踪试验·····	(86)
1.原理·····	(86)
2.具体作法·····	(88)
3.体会·····	(89)
七、贵州独山、广西亮山、广西都阳—七百弄 地区的弱酸红 ¹⁴ A、荧光黄示踪试验·····	(91)
1.贵州独山试验点·····	(91)
2.广西亮山试验点·····	(92)
3.广西都阳—七百弄试验点·····	(94)
八、云南阿岗水库荧光素、高锰酸钾示踪试验·····	(95)
1.查明地下水出露范围·····	(95)
2.查明隔水构造和隔水层的可靠性·····	(96)
3.几点结论·····	(97)
第三章 一般物理方法示踪 ·····	(101)

第一节 水声法示踪	(101)
一、原理及检测仪器	(101)
二、尝试性试验	(103)
三、水声法在地下河连通试验中的应用	(104)
四、水声法示踪讨论	(105)
第二节 水文地质炸弹示踪	(107)
一、原理及方法	(107)
二、炸弹的制作	(108)
1. 南斯拉夫的炸弹制作方法	(108)
2. 我国的炸弹制作方法	(109)
三、爆炸点空间坐标位置的计算	(110)
1. 南斯拉夫的计算方法	(110)
2. 桂林岩溶地质研究所的计算方法	(115)
四、南斯拉夫野外落水洞中的试验实例	(121)
五、桂林岩溶地质研究所的野外试验实例	(125)
六、试验体会	(129)
七、对该法改进的设想	(130)
第三节 电导率法示踪	(131)
一、基本原理	(131)
二、操作方法	(132)
第四节 电阻率法示踪	(133)
一、基本原理	(134)
二、井液电阻器示踪	(134)
1. 连通试验的试剂和设备	(134)

2. 试验程序	(134)
3. 试验资料的整理和解释	(136)
4. 其它	(137)
三、高灵敏度电阻仪示踪	(138)
1. 连通试验的试剂和设备	(138)
2. 试验步骤	(138)
第四章 颗粒示踪法	(141)
第一节 石松孢子的基本特征	(141)
一、孢子的结构和形态	(142)
二、孢子的染色及贮存	(143)
第二节 孢子示踪步骤	(145)
一、孢子的投放	(145)
二、孢子的取样	(145)
三、孢子的检测	(148)
1. 制片	(148)
2. 镜下鉴定	(150)
第三节 连通试验设备及资料整理	(150)
一、连通试验设备	(150)
二、资料整理	(150)
三、曲线解释	(153)
第五章 微生物示踪法	(156)
第一节 酵母菌示踪剂的筛选和特征	(156)
一、酵母菌示踪剂的筛选经过	(157)
1. 使用酿酒酵母追踪地下水中的微生物移动	(157)

2. 使用噬菌体作为地下水示踪剂一例	(158)
二、酵母菌示踪剂的基本特征	(158)
第二节 酵母菌的实验室研究	(159)
一、酵母菌的计数方法	(160)
二、酵母死活细胞的鉴定	(161)
三、酵母菌渗透性能研究	(162)
四、酵母菌在不同水质环境中的生存能力研究	(162)
五、酵母菌的繁殖方式	(164)
六、酵母菌的室内培养	(166)
第三节 酵母菌野外示踪步骤	(167)
一、测定示踪剂的菌落数	(167)
二、制作染色酵母和标准样片	(168)
三、检测	(168)
四、细菌总数培养	(169)
五、求地下河流速	(169)
六、计算地下河流量	(170)
七、计算示踪剂回收率	(172)
第四节 实例分析	(172)
一、实例一	(172)
二、实例二	(174)
三、实例三	(175)
四、实例四	(175)
第六章 放射性同位素示踪法	(177)

第一节 利用天然水中的放射性同位素示踪	(179)
一、氡的特性	(179)
二、测定方法	(180)
1. 标定仪器	(180)
2. 测定水样中的氡	(181)
3. 测定中的注意问题	(182)
三、实例一	(183)
四、实例二	(184)
1. 水质情况	(184)
2. 涌水量与氡含量的关系	(185)
3. 评价	(185)
第二节 用 ^3H (氚)示踪	(185)
一、氚水示踪的基本特征	(186)
二、试验实例	(187)
1. 矿区试验点的布置	(188)
2. 示踪情况	(189)
三、示踪过程简述	(189)
1. 投放	(189)
2. 取样	(189)
3. 用液体闪烁计数测量	(190)
4. 分析水样	(191)
第三节 用 ^{131}I (碘)示踪	(193)
一、示踪试验的布置情况	(193)
二、 ^{131}I 的示踪性质	(194)

第一章 化学离子示踪法

化学离子示踪在我国应用得十分广泛，常采用的化学离子有 Cl^- 、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 I^- 和 NH_4^+ 。该法的基本原理是将某种化学物质投入地下水后，离解成化学离子，在接收点提取水样，再用化学方法进行离子分析。若被检测的水样中有投放的化学离子，即可证明投放点和接收点的地下水是连通的。并可根据不同时间若干个水样的离子浓度变化，作出示踪剂的时间过程曲线。从曲线的波峰波谷的变化，还能推测地下水管道的展布情况。由于这些化学离子的检测比较容易，绝大多数的检测试验均可在野外的条件下进行，所以，很适合野外工作单位采用。

第一节 氯离子(Cl^-)示踪

食盐作为氯离子(Cl^-)示踪剂，在我国使用得比较普遍，看来似乎比较熟悉。但是，要真正掌握试验的全过程，如试验的适用条件、原理、检测方法、浓度曲线分析等，就不是一件容易的事。而且，随着科学技术的发展，目前在检

表1-1

我国食盐示

序 号	试 点	试段长 (m)	流 量 (m^3/s)	投放量 (kg)
1	贵州长顺转拐龙潭	3000	0.639	2000
2	贵州长顺炸药库	2500	0.053	2000
3	贵州德江小龙阡	4000	约0.1	3000
4	贵州德江麻湾洞	2000	约0.1	3000
5	广西柳州市	900	0.22	3000
6	广西罗城煤硫矿	550	0.04	60
7	广西罗城龙潭沱	250	0.01	50
8	广西宜山独山拉友暗河	6000	0.3	1050
9	云南以礼河	16000	0.3	905
10	云南蒙自杨柳河	20000	/	13130
11	云南个旧牛坝荒尾矿水库	27250	/	10000
12	云南花山水库	93	钻孔投放	20
13	四川南桐黄泥河踏河	8000	2	100
14	贵州仁怀标水岩地下河	3910	0.6	1000
15	云南宾川盒子口地下河	6700	1.2	3200

(据成都地质学院水文系岩溶组、广西水文队、中科院地理所)

踪实例一览表

检测方法	Cl ⁻ .R. ρ , mA 的峰值或变幅	异常持续时间 (h)	流速 (m/d)
化学滴定	Cl ⁻ 达18mg/L	138	1896
化学滴定	Cl ⁻ 达19mg/L	134	1428
化学滴定及电导仪	Cl ⁻ 达130mg/L ρ 达700 μ u/cm	90	667
化学滴定及电导仪	Cl ⁻ 达152mg/L ρ 达843 μ u/cm	100	650
化学滴定	Cl ⁻ 变幅达+269.4mg/L	20	1270
化学滴定	Cl ⁻ 变幅达+24mg/L	24	3058
化学滴定	Cl ⁻ 变幅达+3.5mg/L	72	17
化学滴定	Cl ⁻ 变幅达+8.51mg/L	16	14400
化学滴定	Cl ⁻ 变幅达+6.4mg/L	/	1140
化学滴定	Cl ⁻ 浓度巨增	/	6037
化学滴定	Cl ⁻ 浓度巨增	48	5443
万用电表	mA由0.2毫安上升到2.5毫安	2	372
液体电阻计	R由300 Ω /m 降为100 Ω /m	10	2667
化学滴定及电导仪	Cl ⁻ 变幅达+81.46 mg/L ρ 变幅达 +0.14 Ω /m	6	14400
化学滴定	Cl ⁻ 变幅达+22.16mg/L	36	1560

岩溶组、贵州工学院地质系、00938部队等)

测方法上又有了新的进展。为了使读者更好地掌握这一技术方法，从野外试验的实际条件出发，将这几个方面作较详细的介绍。

一、食盐的一般特征

食盐是一种极易溶解的盐类，化学成分为 NaCl ，在水中易离解为 Na^+ 和 Cl^- 。食盐作为示踪剂，价廉，使用方便，检测简单易行，适宜野外现场操作。

Cl^- 在地下水中的天然背景值较高，一般可达 $10-20\text{mg/L}$ ，故 Cl^- 作示踪剂的浓度必须较高，否则难以划分和确定地下水的连通与否。根据我国情况，用量少的仅 20 公斤，多的可达 13 吨（如云南蒙自）。用量的多少取决于地下水的流量、矿化度、 Cl^- 的背景值、试段的距离，以及地下水通道的通畅程度等。

为了提高示踪效果，最好先将食盐磨细，待溶解后再注入投放点。一般每吨食盐要用 50m^3 的水体来溶解，也可用箩筐装食盐在投放点的水中淘洗溶解。后一种方法较为实用。食盐在我国地下水连通试验中的应用可见表 1-1。

二、仪器检测法

仪器检测是近年才发展起来的。由于食盐是一种强电解质，在水中极易离解，若天然水中增加了食盐的成分，其电阻率 (R) 下降，而电导率 (ρ) 增高（因 $\rho = \frac{1}{R}$ ），电流强度也会