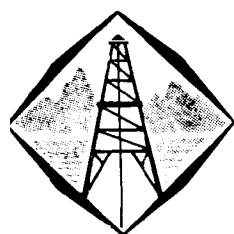


水文地质技术方法

第 八 辑

国家地质总局水文地质工程地质技术方法研究队 主编

(限国内发行)



地 质 出 版 社

水文地质技术方法

第八辑

国家地质总局水文地质工程地质技术方法研究队 主编

(限国内发行)

地质出版社

水文地质技术方法

第八辑

国家地质总局水文地质工程地质技术方法研究队 主编

(限国内发行)

*

国家地质总局书刊编辑室编辑

地质出版社出版

地质印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1979年1月北京第一版·1979年1月北京第一次印刷

印数1—9,420册·定价0.40元

统一书号: 15038·新373

目 录

地下水污染监测方法简介.....	北京市地质局水文地质一大队 (1)
用氚水作示踪剂的初步尝试.....	煤炭工业部地质勘探研究所水文地质室 (9)
试论新构造运动对河西走廊地下水多年动态的控制	甘肃省地质局水文地质工程地质二队 谭增任 (15)
介绍泰斯公式的一种解法.....	武汉地质学院水文地质教研室 陈崇希 (19)
应用物探寻找岩溶水的初步认识	湖南省地质局 418 队 符之德、孙余华、王在琳、朱之华 (22)
电流法测定给水度总结.....	水电部东北电力设计院 (29)

科技动态

空气泡沫洗井钻进.....	(33)
---------------	------

译文

用于圈定地下水污染带的电测深法.....	(41)
热红外技术在现代调查中的应用.....	(46)
松散岩层的渗透系数与单位涌水量的相关关系.....	(53)
白云岩含水层中扩井前后的降深变化.....	(56)
划定对废水进行三级处理的含水层带.....	(59)
研究环境地质的方法.....	(65)

启事

地下水污染监测方法简介

北京市地质局水文地质一大队

随着科学技术的发展,饮水中各种物质的含量与人体健康的关系逐渐为人们所认识。天然水中存在某些物质的过量和不足,引起了地方病的产生;工业“三废”中的有害物质污染水源,导致公害病的出现,影响人体健康。由于工业“三废”大量排入自然环境,在污染源分布的地区,地下水源常常受到污染,引起供水质量下降,威胁人体健康。因此,开展地下水污染监测工作,掌握水源污染的动态,进行地下水污染预报,保护群众的饮水安全,是一项重要的工作。

一个以地下水作为主要供水水源的城市,地下水开采强度大,出现了多种有害物质对地下水的污染。为了掌握城市供水的水质动态,进行了地下水的采样分析,积累了一定的资料。为了配合城市的“三废”治理和环境保护,协同有关单位开展地下水污染监测工作。在城市人口集中、工业集中的冲洪积扇建立了监测点,每年丰枯水期坚持对地下水中酚、氰、汞、砷、铬等有害物质进行监测。对其它的有害物质逐年安排力量进行普查,发现问题即列为长期的监测项目。初步查明了酚、氰、汞、砷、铬、铅、氟、硝酸根、硬度等在监测区的污染范围和污染程度,掌握了重点污染区水质的变化趋势,为改善城市环境,保护水源提供了大量资料。现将我们对这一工作的粗浅认识介绍如下。

一、地下水污染监测工作的分类

地下水污染监测工作根据环境条件的不同可分为三类:

1. 天然水质不良地区的水质监测 这类地区的主要任务是查明自然地质条件引起的水质问题和地方病的控制。在这类地区,当地下水的开采量小于淡水的补给量时,地下水中的物质成分稳定,多年变化幅度小。通过专门的调查分析,对饮水质量作出评价,提出改良水质的措施,即可满足要求,不设固定的监测网。但是,当地下水开采量大于补给量时,地下水中有毒物质的含量可能升高。在北方一些断层裂隙水中常常可以见到含氟高的基岩裂隙水补给第四系含水层的淡水,在这种地段大量开采浅部含水层时,则需要在重点开采区设长期监测点,了解水质的变化。在一山前地带甲状腺肿发病区,我们进行了地下水含碘情况的调查,查明了地下水中碘含量的分布与甲状腺肿发病率之间的关系,作出了调查区的水质评价,提出了改良水质的措施,控制了发病率的生长。对浅层水开采量大,深层水含氟高的地段我们坚持采样分析掌握水质的变化。

2. 广大农村分散给水地区的水质监测 这类地区存在有农药化肥的污染和工业有害物质的扩散,又普遍缺乏卫生监督,饮水质量情况不明,工作面积很大。水质监测的主要任务是开展水质卫生状况的普查,进行水质评价,提出改良水质的措施。在居民集中的地

区布置少量控制点作长期监测，对广大的地区进行定期检查。

3. 工业集中、人口稠密地区的地下水监测 这类地区污染源多，有害物质复杂，人类活动强度大，地下水开采程度高，污染途径广，地下水受污染的情况比较严重，有些地区污染还在不断发展，这是地下水污染监测的重点。在这类地区，除进行一般的水质普查外，应设置长期的地下水污染监测网，以便任何时候都能掌握地下水的污染情况，并为控制地下水污染提供科学依据。

二、监测网的布置原则

地下水污染监测网，应根据有害物质在地下水中的运动形式、扩散规律来布置。地下水中有害物质的污染和扩散与天然地下水化学成分的形成和分布不同。天然地下水的化学成分是受气候、岩石、土壤、生物、地下水动力条件等多种因素控制，在漫长的地质历史时期中形成的。它具有区域的特点和自然的分带规律。在一个自然地质单元内反映地下水一般特征的总矿化度，沿着地下水的流向总是由低到高。各个含水层之间的化学特征明显。由人类活动引起的地下水污染，它的物质成分和扩散规律决定于污染源的性质、污染途径和地下水的水动力条件。人类活动对环境的影响，在强度上比自然作用大，规模和范围上比自然作用小。污染物质的运动规律服从于地下水动力条件，一般流速缓慢；由于人类工业化的历史有限，迁移距离一般都不远，也不可能形成区域性的污染，污染物质的分布范围相对较小。再加上自然净化作用的影响，有害物质的浓度通常是由高到低，逐渐减少。因此，地下水污染监测的布置，应考虑污染源的分布和扩散形式、水文地质条件、地下水的开采状况、区域水化学特征等因素。监测网的设置采取点面结合的方法，抓住重点。对区域情况作适当控制；监测的对象主要是有害物质排放量大、危害性大的污染源，重污染区，重要的供水水源地。污染区监测点的布置方法，主要应根据污染物在地下水中的扩散形式来确定。污染物在地下水中的扩散形式可按污染途径和水动力条件的不同分为五类：

1. 渗坑渗井形成的条带状污染扩散 是有害物质在含水层渗透系数大的地区的一种扩散形式。这类地区，渗坑、渗井里的有害物质渗入含水层中即沿地下水流动方向迅速扩散。由于渗漏快、扩散快、稀释快，重污染的范围小，轻度污染的范围大。监测点沿地下

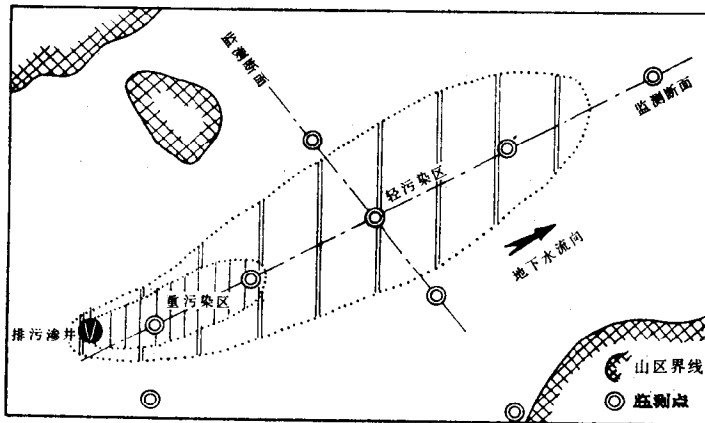


图 1 渗坑、渗井形成的条带状污染扩散监测断面布置示意图

水流向用平行和垂直的监断面控制，控制范围包括重污染区、轻度污染区及其有害物质的扩散边界（如图 1）。

2. 点状污染扩散 是渗坑、渗井在含水层渗透系数弱的地区的扩散形式。由于含水层的径流条件差，有害物质的迁移以离子扩散为主，迁移缓慢，污染范围小，污染区有害物质浓度高，有害物质主要集中在渗井附近，监测点应在渗井最近距离内布置。

3. 带状污染扩散 是有害物质沿河渠渗漏污染的扩散形式。这类地区监测点应根据河渠的污染程度、河渠的地质结构，设置垂直河渠的监测断面。有害物质浓度高、污染严重，河渠渗漏性强的地段，是河渠的监测重点，应设置 2—3 个监测断面；在河渠水中有害物质超标不大或渗漏性较弱的地区，设置 1—2 个监测断面；在有害物质含量基本符合标准的河段或河渠渗透性弱的地段设置一个监测断面。每个监测断面的组成从河渠岸边起由密到疏控制污染扩散的边界。对于那些污染轻、渗漏性很弱的河渠设少量监测点观测一般理化指标的变化（如图 2）。

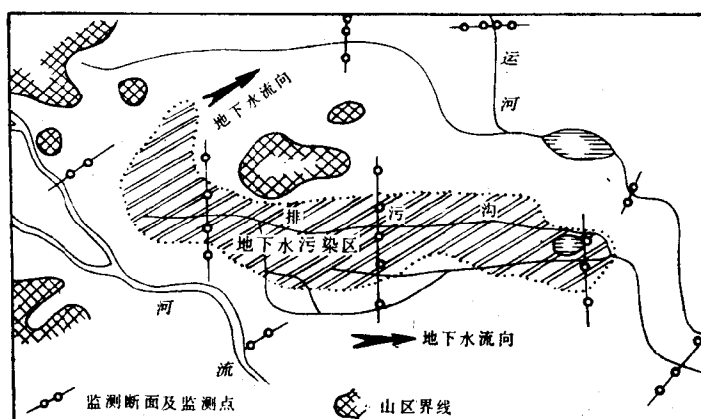


图 2 沿河渠渗漏形成的带状污染扩散监测断面布置示意图

4. 片状污染扩散 是污灌区或缺乏卫生设施的居民区大面积垂直污染的一种扩散形式。污染的范围和程度，随污灌面积的大小、有害物质的迁移能力、土壤的性质和厚度而定。污灌面积大、有害物质迁移能力强、土壤渗透性好，就容易造成污染；相反就不容易

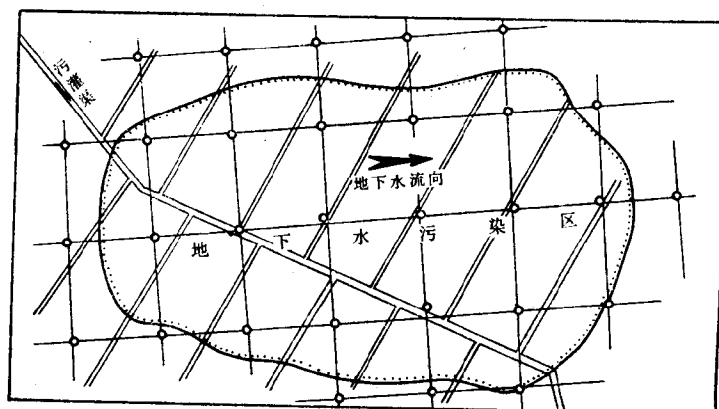


图 3 污灌农田形成的地下水片状污染区监测网布置示意图

造成污染。在通常情况下，有害物质先是在耕土中积累，然后再通过一定的污染途径，对地下水造成污染。污染物质主要是易溶的无机盐类。在居民稠密，公共卫生设施缺乏，采用渗井排污的地区，易出现氨氮、硝酸盐对地下水的污染，这类地区的监测点采取平行和垂直地下水流向布置（如图3）。

5. 侧向污染扩散 是地下水开采漏斗附近污染源的一种扩散形式。有害物质在地下水中的扩散，受开采漏斗的水动力条件和污染源的分布位置所控制。污染源在开采漏斗区所处的位置不同，污染物质的扩散方向也不同。但有一个共同的特点。就是污染物质由污染源分布地段向漏斗中心扩散，形成侧向污染。由单一的开采因素引起的水化学成分的变化规律与开采漏斗的形状基本一致。在这种扩散形式下，监测点采取平行环境条件变化最大方向和平行于地下水流向布置，在接近污染源分布的一侧和开采漏斗的上游进行重点监测。整个开采漏斗也布点作适当控制，以便预报水源地的水质变化趋势（如图4）。

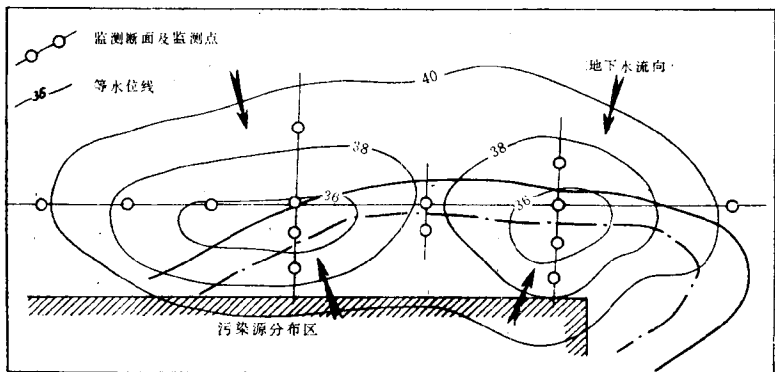


图4 侧向扩散污染监测网布置示意图

三、监测井的选择

作长期监测用的井最好选择那些常年使用的生产井，以确保水样能代表含水层真实的化学成分。井筒结构、开采层位也应符合观测要求。在农业区、污灌区还应考虑监测井附近的交通条件。在符合监测要求的原则下，选择条件比较好的井作监测井，以利于长期监测和采样方便。在无生产井的地区，可打少量专门的水质监测孔或分层监测孔，以保证监测工作的需要。废井、长期不用、管理不良的井，不宜作监测井。每个监测井均应查明基本情况，登记所在位置、所属单位、井的深度、地层结构、开采层位、井孔附近的水文地质概况，并建立每个监测井的档案。

四、监测内容和项目的确定

地下水污染监测，不言而喻，应以地下水监测为主，但是要了解地下水污染的过程，还应根据水文地质特点和环境条件适当地进行一些地表水和土壤的监测。地下水的监测项目，根据饮用水卫生规定可分为毒物指标、一般卫生指标和细菌指标三类。毒物指标的分

析项目，应针对区域的环境特点，抓住主要的有害物质。如有害物质是什么还不清楚，应先进行水质普查。根据普查结果，把那些在环境中和地下水中都存在的污染物作为长期的监测项目；对那些污染不明显的物质适当减少分析工作量；经过多次分析都未检出的物质可不作为长期的监测项目。一般理化指标，包括氯根、硫酸根、重碳酸根、钾、钠、钙、镁、pH 值、硬度等项目，它们的含量对工业和生活用水都有一定的影响，其中有些物质还是地下水污染的间接指标，在各个地段均应作适当控制。地下水中的细菌含量，一般较少，可不作或只作代表性的控制。

五、采 样 要 求

由于地下水流速慢，水质变化小，只要从经常开采的井中采样即可满足要求。在监测井中采样时必须先进行排水，待水清砂净，积水排出后再行采样。对那些易分解的物质，要在现场立即加入稳定剂。

采样时间和次数，每年枯水期在五月份采样，丰水期在 9 月份采样，每个时期采样1—2 批。为了便于化验资料的分析对比，每批样品的采样和分析要争取在最短的时间内完成，尽量作到当天采样当天分析；对 pH 值，CO₂ 等易变化的物质最好在现场测定。当天不能分析的样品要放在冰箱内妥善保存。

六、监测资料的整理

1. 编制地下水污染监测年鉴 年鉴分枯水期、丰水期年鉴、当年年鉴和多年年鉴。每年先编出枯、丰水期年鉴，然后再编当年年鉴和多年年鉴。在进行原始资料编录时，应将每个点的各种分析数据汇总编在一起，按行政区划进行编制。在年鉴中除编录分析结果外，还应注明点的位置、编号、水力性质、井深和采样时间。

表 1 地下水中汞含量检出情况表

地下水类型	类别	检 验 样 品			监 测 井						检出含量 (毫克/升)
		总 数 (件)	检 出 样 品		数 量 (眼)	检 出 超 标 井		检 出 未 超 标 井			
			数 量 (件)	占总数 %		数 量 (眼)	占总数 %	数 量 (眼)	占总数 %		
深 层 地 下 水	枯 水 期	1025	153	14.9	501	17	3.4	104	20.7	痕—0.030	
	丰 水 期	1062	84	7.9	503	9	1.8	47	9.3		
	全 年	2087	237	11.4							
浅 层 地 下 水	枯 水 期	196	26	13.3	126	2	1.6	21	16.7		
	丰 水 期	206	23	11.2	124	1	9.8	15	12.1		
	全 年	402	49	12.2							
深 浅 层 地 下 水	枯 水 期	1221	179	14.7	627	19	3.0	125	20.0		
	丰 水 期	1268	107	8.5	627	10	1.6	62	9.9		
总 计	全 年	2489	286	11.5							

2. 进行监测数据的处理

地下水污染监测结果统计：是表示地下水污染程度的一种方法，分为井中单项有害物质的检出统计、件数检出情况统计、有害物质检出的综合统计和一般卫生指标检出统计四类。

井中单项有害物质检出统计：以井为单位，统计该区有害物质的检测井数、检出井数和超标井数，并计算其百分率。统计结果按有害物质种类分别列表表示（如表1）。

件数检出情况统计：与井中单项有害物质检出的统计和表示方法相同。

井中有害物质的综合统计：按每眼井中检出有害物质的种数计算，用以表示地下水的污染特征，表示方法如表2。

表2 地下水中有有害物质检出种数统计表

类 别		地下水类型		深层地下水		浅层地下水		深浅层地下水合计		备 注
		时 间		枯水期	丰水期	枯水期	丰水期	枯水期	丰水期	
监测井总数（眼）				524	526	142	138	666	664	本表所谓“有害物质”指酚、氰、汞、砷、铬五种
检出一种有害物质的井	井数（眼）			86	112	43	40	129	152	
	占总数的%			16.1	21.3	30.2	29.0	19.4	22.9	
检出两种有害物质的井	井数（眼）			124	133	42	45	166	178	
	占总数的%			23.7	25.3	29.6	32.6	24.9	26.8	
检出三种有害物质的井	井数（眼）			120	130	23	21	143	151	
	占总数的%			22.9	24.8	16.2	15.2	21.5	22.7	
检出四种有害物质的井	井数（眼）			91	99	10	7	101	106	
	占总数的%			17.4	18.8	7.0	5.1	15.2	16.0	
检出五种有害物质的井	井数（眼）			48	13	1	1	49	14	
	占总数的%			9.2	2.5	0.7	0.7	7.4	2.1	
检出有害物质的井的总和（全部检出井）	井数（眼）			469	487	119	114	588	601	
	占总数的%			89.3	92.7	83.8	82.6	88.5	90.5	
检出井中有有害物质含量超标的井	井数（眼）			235	195	71	73	306	268	
	占全部检出%			50.2	40.0	59.6	64.1	52.0	44.6	

一般卫生指标统计：按饮用水卫生规定标准，分超标和未超标两类统计，统计结果列成表格（如表3）。

编制有害物质的检出分布图（污染现状图） 有害物质分布图应根据检出情况分别用污染范围或检出实际材料点表示。有害物质检出成片分布时，用污染范围和污染程度表示（如图5）。

有害物质的检出呈零星分布时，用实际资料点表示。编制方法是以检测资料为依据，并考虑污染源分布和环境特点。由于地下水中有有害物质含量低，检出数据常常差异很大，因此，在利用数据时要参考是否有污染源存在，附近地区历史的检出情况和地下水中的本底含量等情况进行对比分析，去伪存真，合理选用数据。对于那些偶然出现的检出数据，

表 3 地下水硬度检测情况表

类 别 时 间 地下 水 类 型		检 验 样 品			监 测 井			硬 度 值 (德国度)
		总 数 (件)	硬度大于25德国度		总 数 (眼)	硬度大于25德国度		
			数量(件)	占总数%		数量(眼)	占总数%	
深 层 地下水	枯 水 期	942	187	19.8	492	117	23.8	7.45—68.7
	丰 水 期	1039	245	23.6	499	129	20.8	4.9—70.0
	全 年	1981	432	21.8				4.9—70.0
浅 层 地下水	枯 水 期	162	74	45.7	125	61	48.8	7.74—154.2
	丰 水 期	191	103	54.0	119	71	59.6	6.7—206.09
	全 年	353	177	50.1				6.7—206.09
深浅层地 下水总计	枯 水 期	1104	261	23.6	617	176	28.9	7.45—154.2
	丰 水 期	1230	348	28.3	618	200	32.3	4.9—206.09
	全 年	2334	609	26.1				4.9—206.09

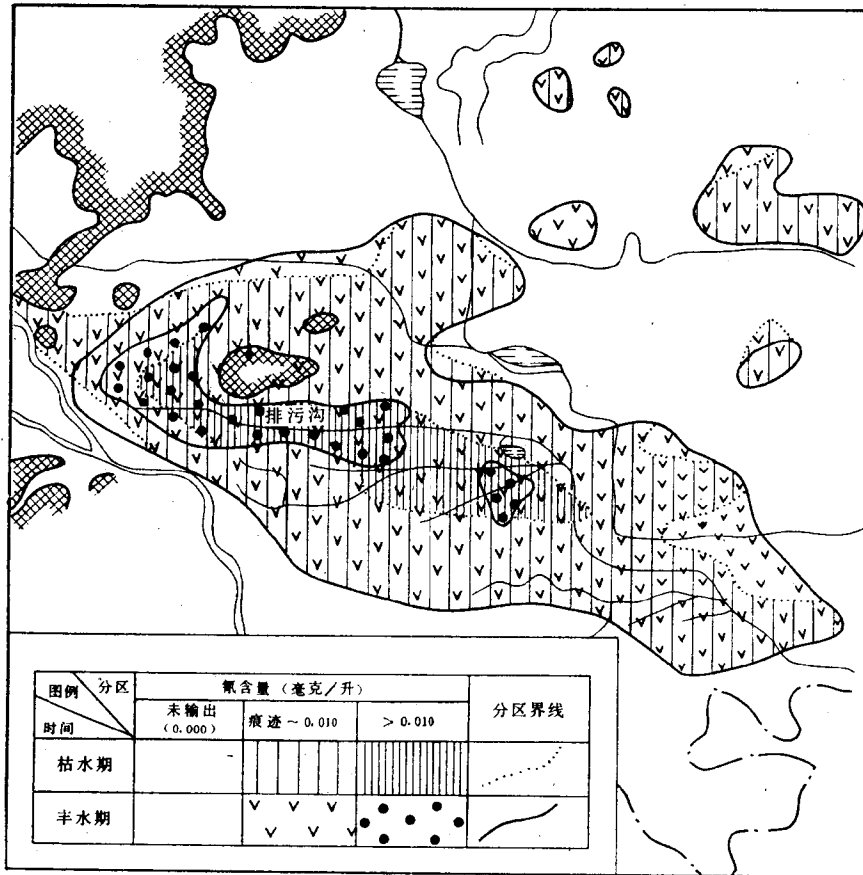


图 5 地下水氮污染图

应放在进一步监测中解决。

编制各类物质的年动态曲线和多年动态曲线，表示水质的变化趋势（如图6）。

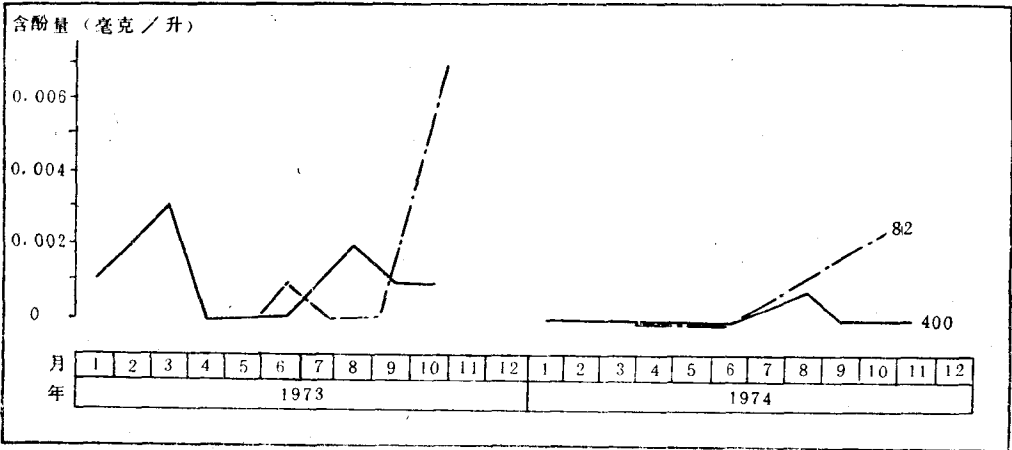


图 6 一个水点 1973—1974 年地下水含酚量对比曲线图

七、地下水污染监测年报的编写

地下水监测年报的重点是水质预报。地下水流动很慢，自净能力比地表水弱得多，一旦受到污染，就很难消除，所以地下水源保护要坚持预防为主方针。预报是预防的重要措施，也是地下水污染监测的主要目的。地下水污染预报按目的和要求分为污染趋势预报、污染控制预报和临界预报三种：

1. 趋势预报 主要根据当年和多年的监测资料推算今后的水质变化，阐明未来水质是变好，还是变坏，变化的主要物质是什么，变化速度多大。为领导机关、规划部门制定长期的水源保护政策提供依据。

2. 污染控制预报 目的是对正在进行污染控制的地段，提出治理效果的预报，为根治污染指出方向。预测的依据主要是根据地下水中有毒物质污染程度、范围的变化，污染区检出有毒物质平均含量的变化与多年的监测结果进行比较。对当前水源污染的控制程度作出评价，对该区的“三废”治理提出建议。

3. 临界预报 目的是保证群众的饮水安全。就是对那些有毒物质污染严重、水质很差的井，把监测结果告诉用水单位，采取措施控制污染，在水质未得到改善前不作为生活水源。

在监测工作程度高的地区，除进行上述预报外，地下水监测工作应根据有害物质的渗入情况、水文地质条件和有害物质的扩散形式建立数学预报模式，更准确地预报水源污染情况，使地下水污染监测工作更好地为群众的健康服务。

用氚水作示踪剂的初步尝试

煤炭工业部地质勘探研究所水文地质室

为查明不同含水层之间的水力联系和地表水与地下水之间的补给关系，有时要进行一些示踪试验。一般选用的示踪剂都有一定的缺点，仅适合于特定的水文地质条件。例如，强电解质盐类，灵敏度较低，用量大，会破坏地下水的天然动态；有机染料，虽然检出方便，但吸附性强，所适用的含水层受到局限；其它化学试剂和放射性同位素，灵敏度较高，用量少，但大多有毒性，一般不采用。

国内外实践表明，氚水是一种较理想的示踪剂，能克服上述缺点。据此，我们在南方煤田灰岩含水层中用氚水作示踪剂进行了试验，初步尝试结果说明，这种示踪剂不受水质、环境等因素的影响，灵敏度高，反映明晰。在矿井总涌水量达 3500 吨/时，示踪水平距离达 2000 米，垂距 300 米，水质非常混浊的情况下，使用剂量为 50 居里的氚水，能满意地达到示踪目的。

在工作中得到了湖南煤炭局第一工程处防水队和恩口煤矿等单位大力支持与协助，这次现场试验是这些单位和我们共同进行的。

一、氚水是一种较理想的示踪剂

氚是氢的天然同位素。天然的地下水中不含氚或含量极低，通常仅能达到几个到几十个氚单位〔一个氚单位 T. U. = $\frac{T}{H} = 10^{-18}$ (原子数之比)，相应的放射性比度为 3.2×10^{-12} 居里/升〕。在这一背景值下，氚水作为示踪剂具有如下特点：

1. 灵敏度高。在示踪条件下，氚水即使在低浓度时（如 10^{-7} — 10^{-8} 居里/升），应用液体闪烁计数法亦能很容易地定量测定；

2. 不被吸附，不受干扰。氚水的物理化学性质和普通水十分相似，与地下水流具有完全同一的形态，不会被多孔介质吸附，在随同地下水流动过程中，不易受环境中各种物质的干扰（如发生化合、沉淀、离子交换等），也不受水质的影响，从而能真实地反映地下水的运动情况。

3. 半衰期适宜。氚的半衰期为 12.3 年，使用方便。另外，它的生物半衰期却很短，一般小于 10 天，以致没有长期贮留在人体内的危险。

4. 能量低、毒性小。氚水的放射性能量很低，在水中的穿透能力只有 0.006 毫米，在试验时容易防护。因此，在水源中允许的最大浓度可达 3×10^{-7} 居里/升；每日在食物中（食物加水）的限制摄入量可达 6.6×10^{-7} 居里。

5. 放射性比度高。氚水的放射性比度高达 0.5—5 居里/毫升，在试验中就可大大减

少示踪剂的用量，避免因投放量过大，以致破坏地下水的天然动态。

二、氡水的示踪试验

（一）试验矿区的水文地质概况及试验点布置

恩口矿区为四周高中间低的向斜汇水盆地，试验区一号井和二号井均属位于向斜东翼的 I 井田。

茅口灰岩出露于井田东部，是该井田可采煤层的直接底板，厚达 400 米左右，质纯，构造裂隙发育，为矿区主要含水层，含水丰富，对煤层开采威胁很大，是矿井突水的主要水源。东部露头区的地下水位年变化幅度大，泉流量变化也很大。

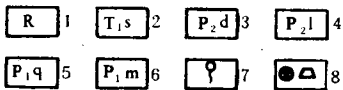
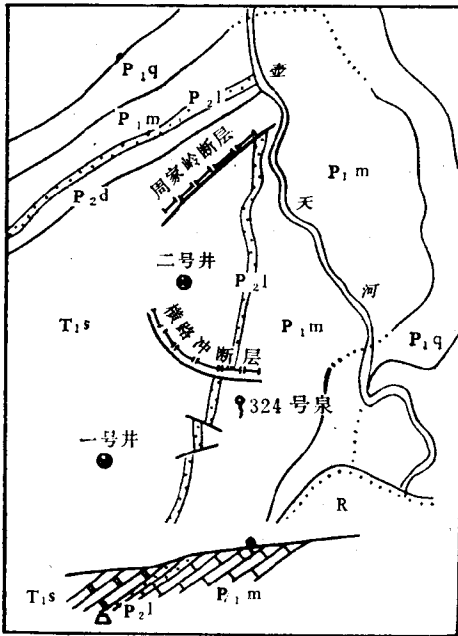


图 1 氡水示踪试验位置示意图

1—第三系；2—大冶组；3—长兴组；4—龙潭煤系；5—栖霞组；6—茅口组；7—氡水投放点；8—井下观测点

井田北部边界是导水的周家岭断层。天然条件下，地下水由矿区北部补给，向南部排泄。目前由于矿井排水已引起南部地下水倒灌，矿区北部的进水和南部倒灌的地下水流速，已用一般的示踪剂测定，但对矿区东部横路冲地段 324 号泉附近（煤系地层与茅口灰岩接触带）地下水或地表水与矿井排水之间的水力联系及其流速，尚未确定。因此，这次选择该地段用氡水作示踪试验。以 324 号泉为示踪剂的投放点，根据水文地质条件，在两个矿井中布置了五个取样点，即一号井的北巷挡头和北巷水沟，二号井的北巷和南、北下山等出水点，其中一号井北巷水沟是该巷几个出水点的混合水样，也包括挡头出水点的水在内（图 1）。

投放点的 324 号泉，目前已不出水，附近已形成地面塌陷，地下水位已有较大下降。它距一号井北巷挡头出水点和北巷水沟取样点的水平直线距离约为 1900 米，距二号井北巷取样点约为 1500 米；井下取样点离地表的深度，一号井约为 300 米，二号井约 210 米。矿井总出水量，一号井约为 3000 吨/时，二号井则在 500 吨/时左右，二者在正常情况下共达 3500 吨/

时。水质为重碳酸-钙型，矿化度为 0.5 克/升左右。矿井排出水中含有大量黄土，如以水中含干燥的黄土计算，则一号井北巷水沟水样约含 1—4.6 克/升，北巷挡头的水样约含 0.7—3.2 克/升，二号井北巷的水样约含 0.9—1.4 克/升。因此试验是在地下水的出水点多，水量大，距离远，矿井较深，水质非常混浊（类似黄泥水）等情况下进行的，但试验还是获得了较满意的结果。

（二）试验结果

根据二个矿井五个取样点所取水样的分析，其中一号井的二个取样点有明显的异常，

其它取样点则无异常现象。

(1) 图2中曲线①、②充分说明,在一号井北巷挡头出水点和在该巷水沟中的水,有明显的氡水异常,反映出东部投放点附近的地下水与该处的地下水有着明显的水力联系;投放点地段的地表水也可以直接补给到矿井。从曲线③同样也看出,二号井北巷出水点中没有发现异常,说明在目前条件下,该巷的出水点与东部投放点附近的地下水还没有明显的水力联系。

(2) 从图2曲线②可以看出,除北巷挡头的异常外,在北巷其它出水点也同样出现异常。这反映在水沟流出水的第二个异常值上,其最高异常时间比挡头慢六小时左右。因此在矿区东部横路冲324号泉附近的地下水、地表水流入一号井北巷可能同时有几条径流通道。

(3) 为了进一步验证氡水示踪试验,我们在同样的条件下并在井下没有爆破干扰时(排除爆破过程中硝烟气体的干扰)用亚硝酸钠作了对比试验。两次试验的对比曲线如图3,图4。它们出现异常值情况完全一致,仅异常值出现时间相差2—3小时。

(4) 氡水示踪结果揭示了投放地段与一号井、二号井的水力联系情况。同时从异常值出现时间及到达该出水点的直线距离粗略地计算该地段地下水的流速,约为120米/时。用亚硝酸钠作对比试验时,由于不在同一时间,当时正值雨季,因此受气候条件的变化和降雨量的影响,流速稍大一些。

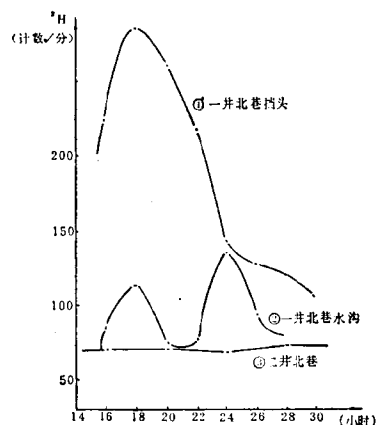


图2 三个取样点的氡浓度变化曲线

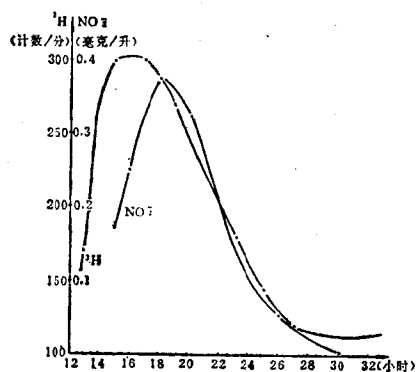


图3 一号井北巷挡头氡与亚硝酸根浓度对比曲线

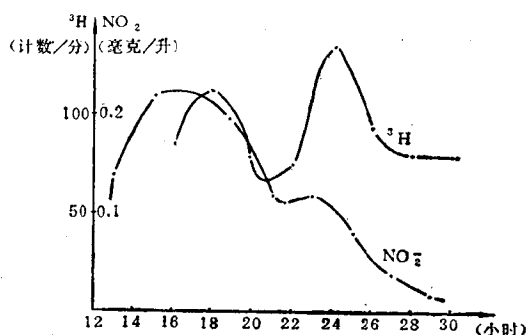


图4 一号井北巷水沟氡与亚硝酸根浓度对比曲线

三、试验与测定方法

(一) 示踪剂的投放和试样的采取

根据井下总的出水量(二个矿井总共约在3500吨/时左右)、投放点与取样点之间的

距离及水质特点,并结合我们的测试条件,共投入氚水 (HTO) 50 居里(1974 年 12 月 29 日标定)。

氚水是用密封的安瓿瓶包装,放射性比度为 5 居里/毫升,每瓶原包装为 10 居里/2 毫升,共 5 瓶。将安瓿瓶在投放点的水面以下轻轻地破碎,使氚水随着水流进入含水层,然后在投放点再适当的注水,使氚水充分地进入岩层。投放时应注意沾污问题。

氚水虽然放射性能量低,毒性小,生物半衰期短,但对防护和污染问题也不能忽视,尤其对直接作为供水的水源,不能随意投放。

在示踪剂投放前先分别采取一批水样,以便测定地下水中氚水的背景值,作为校正试样的本底。示踪剂投放后二小时,在各取样点分别开始取样。根据投放点与出水点的距离,一般每隔 2—4 小时定时定点取样一次。取样点最好就在出水点,使水样具有充分的代表性。取样后用其他的水源水冲洗容器外壁和双手,以防异常时造成沾染。

(二) 氚水的液体闪烁计数测量

对氚的测定,目前广泛采用液体闪烁计数法。国产 FJ-353 双道液体闪烁计数器,具有足够可测灵敏度。它由探测器、分析器和定标器三部分组成。

探测器:水样与闪烁液按比例混合后置于探测器内, β -射线作用于闪烁液所产生的光信号被光电倍增管接收,并转换为放大的电脉冲信号,经前置放大器放大后输出到脉冲幅度分析器中进行分析。探测器内有半自动换样装置,每次可连续测样 25 个,同时采用快符合线路,用以克服光电倍增管的热电子噪声影响。

分析器:除供给探测器工作所用高压、低压电源外,分析器主要用来对信号脉冲幅度进行分析。在确定出理想的工作点后,由上、中、下三个甄别阈组合成不同的四种测量选择状态,可方便地测出 β -能量微分、积分谱线及道宽、道比值。

定标器:经过分析后的信号脉冲输送到定标器进行数字显示。定标器由定标、定时、控制三部分组成,可做“时定数”、“数定时”的预选,亦可自动或手动控制仪器的计数、停止、复位的进行。

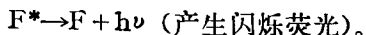
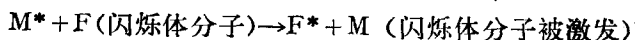
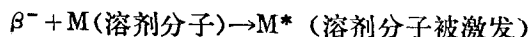
测定水样中氚含量常用的水溶性闪烁液是由溶剂(二氧六环)、闪烁体(称 PPO)、第二闪烁体(称 POPOP)和萘所配制,其组成是:PPO(6 克/升),POPOP(0.3 克/升),萘(100 克)。然后加二氧六环至一升。

配制后盛入密闭的棕色细口瓶内,置于暗处低温保存。这种闪烁液在 0℃ 时大约可溶 25% 的水。

当水样与闪烁液混合后,水样中的氚所辐射的 β -粒子能量首先被溶剂(二氧六环)分子接受,当受激发的溶剂分子回到基态时释放能量,又使闪烁体(PPO)分子受激,受激分子退激时产生荧光光子,光子产额与吸收 β -粒子能量成正比。此光子被一对高放大倍数的光电倍增管接受并放大成电脉冲信号输出而被电子仪器所记录。

第二闪烁体(POPOP)的作用是将闪烁体产生的光子频率转移到对光电倍增管反应灵敏的波长上。萘则用于提高能量传递效率,减少能量猝灭。

以上过程可简单记为:



(三) 水样的分析

水样的处理。由于在液体闪烁法测量中,水样是直接加入闪烁液中,要保证闪烁液的组成不被矿化度较高或不洁的水质所破坏(如发生混浊、沉淀、分层等现象),使其不影响闪烁荧光光子产生效率及光电转换过程,因此对水样需进行预先处理。

(1) 观察所取水样的色度、透明度。必要时进行沉淀,过滤;滤液应无色、透明。

(2) 测定水样的电导率,将被测水样 50 毫升置于干净的塑料杯中,用电导仪测定该水样电导率,对电导率 $\rho < 3 \times 10^{-3}$ 欧姆⁻¹厘米⁻¹水样,其矿化度较低,可直接测定;对电导率 $\rho > 3 \times 10^{-3}$ 欧姆⁻¹厘米⁻¹水样,因矿化度较高,应提纯处理。

(3) 水样蒸馏提纯处理。对需要蒸馏处理的水样,采用常压蒸馏方法提纯;置过滤后水样 100 毫升于蒸馏瓶内,放入几粒沸石,直接加热蒸馏,按 3:1 弃去头尾,收集中间馏份。重新测其电导率,此时电导率可达 $\rho \leq 10^{-5}$ 欧姆⁻¹厘米⁻¹,水样可直接测定。

样品的配制。将仪器上特制的测量杯,用水、酒精、乙醚顺序冲洗,待完全干燥后,用移液管分别注入 15 毫升闪烁液和 2 毫升处理过的水样,轻轻摇匀。混合液光亮透明,具有微弱的浅蓝色(闪烁液本身的颜色)。样品配制后,编写号码,依次放入探测器转盘内,盖好顶盖,经暗适应 3 小时以上测定。

仪器的调试。按仪器使用要求,选择适当的工作点(光电倍增管高压值,放大器衰减倍数,测量道宽等),以便获得最大计数效率和最低本底计数。本次试验我们应用的是 FJ-353 双道液体闪烁计数器,选用条件是:

高压值: $H_v = 1220$ 伏

放大器衰减值: $A: 1/8 \times 1; B: 1/4 \times 1$

甄别阈电压值: 上=5 伏, 中=0.5 伏, 下=0.5 伏

分析选择开关位置: “1” (A 道积分计数、B 道微分计数)。

在以上的操作条件下,氚的 β 能谱在测量道内有较对称的分布,并包括了氚的绝大部分计数,而且在微分计数中有效地排除掉本底主峰计数,保证了微分计数效率。

样品的测定。仪器按以上要求调试好后,即可测定,此时选用“时定数”档为 6×10^2 秒,先测定本底微分-积分计数,重复测量七次,求出微分计数率以每分的计数表示,此值即为氚测量道内微分本底计数率;然后用同样方法测定样品的计数,并求出各样品平均微分计数率。

按下式计算样品的含氚浓度:

$$K = \frac{N-B}{E} \times \frac{1}{60} \times \frac{1}{3.7 \times 10^{10}} \times \frac{1}{3.2 \times 10^{-12}} \times \frac{1000}{M}$$

式中: K ——样品含氚浓度(氚单位 T. U.);

N ——样品微分计数率(计数/分);

B ——本底微分计数率(计数/分);

E ——仪器微分测量效率;

M ——样品体积(毫升)。

单纯作水力联系示踪试验时,由于根据计数率相对变化,就可以判断出氚水的异常,因此不一定换算出氚单位。