

示踪试验在淄博裂隙岩溶水 污染治理中的应用^{*}

朱学愚 徐绍辉 司进峰

(南京大学地球科学系)

摘 要 为了在山东省淄博市地下水遭受石油污染的地区合理地布置治理工程,我们进行了两次裂隙岩溶水的示踪试验。试验在深井中进行,示踪剂用¹³¹I同位素。第一次用来确定污染源附近(靠下游)的金岭断层的水力性质,为治理地下水污染的水力截获带的布置提供依据。试验结果表明,该断层是透水的,而且是污染最严重的地带,根据这一结果布置了水力截获带。第二次在水力截获带运行时进行示踪试验,以确定该带运行时的降落漏斗范围、地下水运动的方向和速度,为用曝气法、ClO₂氧化法和微生物法进行地下污染治理提供水文地质依据。两次试验求得的地下水实际平均流速(视速度)为 111.84m/d 和 187m/d,说明研究区裂隙岩溶地下水的运动速度也相当大,地下水污染问题是一个对流占绝对优势的问题。

关键词 裂隙岩溶水 示踪试验 石油污染治理 水力截获带

1 问题的提出

1.1 研究区概况

研究区位于山东省淄博市以东约 10km 处。研究区的南部为齐鲁石油化工公司新区乙烯工程,该工程座落在淄博市城市供水的主要水源地——大武水源地(包括东风水源、电厂水源和西夏水源)的上游的补给区(图 1)。工厂的地基有一半为石灰岩裸露区,化工生产中废水部分渗入地下污染了裂隙岩溶水,主要污染源在金岭断层以西(图 1)。

本区出露的地层为中奥陶统马家沟组上部的 6 段、5 段和 4 段(O_6^1 , O_5^1 , O_4^1),为一 NNE 向的断层——金岭断层切割,溶孔、溶蚀裂隙和小溶洞发育,为本区的主要含水层^[1],其 NW—SE 向的剖面见图 2。研究区东北部的东风水源、电厂水源和西夏水源都开采该层中的地下水,

^{*} 国家自然科学基金资助的研究成果,基金批准号为 A49372148

第一作者简介:朱学愚,男,1936 年生,教授,博士研究生导师,1954 年毕业于南京大学地质系水文地质工程地质专业(210093)南京市汉口路 22 号。

收稿日期:1996-09-08;改回日期:1997-02-06

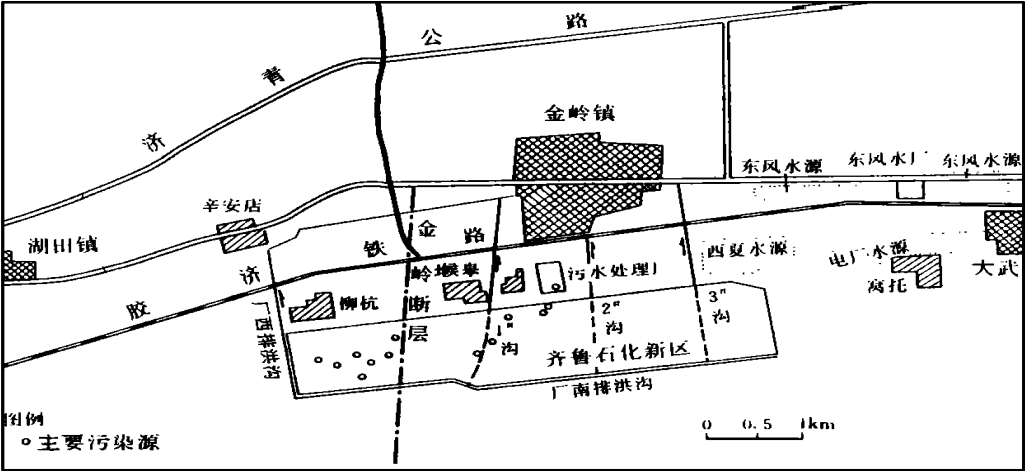


图 1 研究区位置及主要污染源

Fig. 1 Location of the research area and the distribution of the major pollution sources
资料来源: 齐鲁石化公司、淄博市水资源管理办公室和清华大学

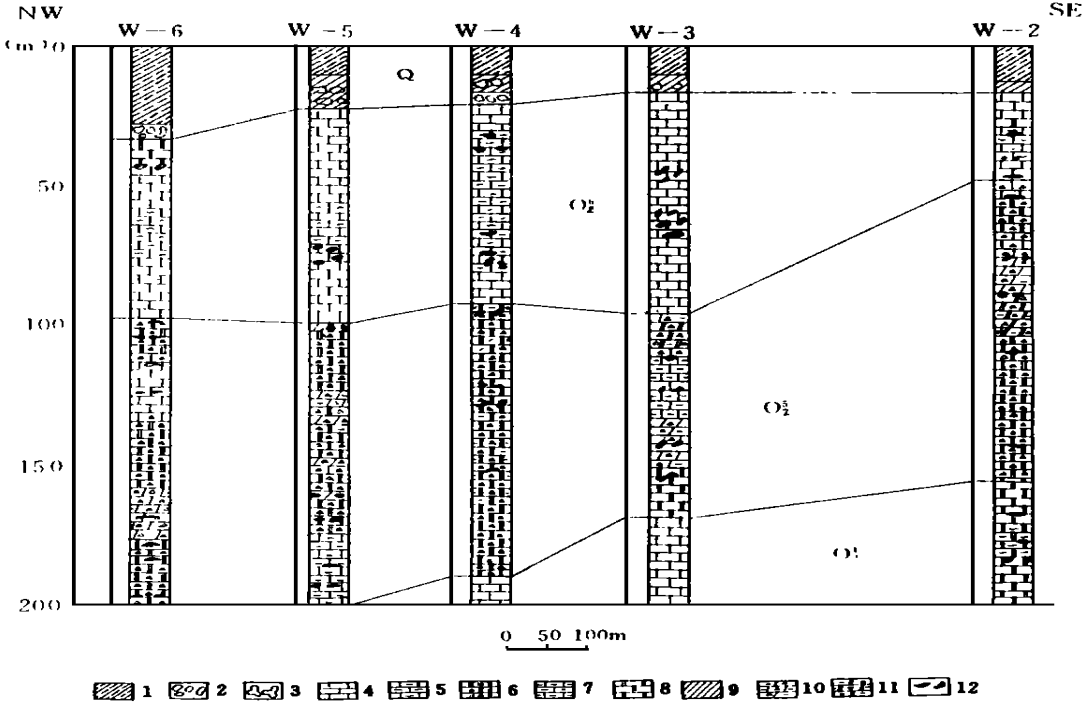


图 2 研究区地质剖面图

Fig. 2 Geological cross section

- 1.粉质粘土; 2.块石层; 3.粘土混姜石; 4.石灰岩; 5.豹皮状灰岩; 6.角砾状白云质灰岩; 7.泥灰岩;
8.白云质结晶灰岩; 9.粘土; 10.角砾状泥灰岩; 11.角砾状白云质泥质灰岩; 12.溶洞

开采量约 $20 \text{万 m}^3/\text{d}$, 担负着淄博市市区的城市供水, 和国家大型企业——齐鲁石化公司和辛店发电厂的生产和生活用水。

乙烯一期工程于 1987 年 5 月投产, 至 1988 年 11 月发现厂区以北位于地下水流向下游的 堽皋、湖田、西夏村三处地下水中有油味。堽皋地区 1989~1995 年 1~4 月份油类的平均含量 7.7mg/l (标准为 0.05mg/l , 超标 154 倍); 8~11 月份为 15.77mg/l , 超标 315 倍。为此, 不得不将整个堽皋村搬迁。根据几年来的监测, 污染物的含量有增加及污染羽状物有向下游扩展的趋势, 并危及大武水源地的安全。因此, “淄博市地下水饮用水源地石油污染防治技术研究”被列入国家“八五”攻关项目 85-908-02-05, 由清华大学和淄博市水资源管理办公室负责, 我们承担其中的示踪试验和水质模型部分。

1.2 示踪试验的目的

造成地下水污染的主要污染源, 是由于石化公司排放生产废水的管道泄漏引起的。石化公司新区某些厂和车间的生产废水为高温、高腐蚀性的废水, 极易腐蚀排水管道。而石化新区的地下, 管道纵横交错, 查清并截断污染源并非易事。况且由于长期的泄漏, 在几十米厚的包气带中也滞留有许多油, 成为二次污染源。而这些滞留在包气带中的油, 直接在工厂装置底下, 也很难处理。因此, 为了保护东风等水源地不受污染, 一种比较现实可行的治理方法是用水力截获法进行地下水污染的治理。从图 1 可知, 最主要的污染源 (即渗漏点土壤中的油含量达 $11\sim 94 \text{g/kg}$) 绝大多数分布在金岭断层以西。关于金岭断层的水力性质, 水文地质学家一直存在两种观点: 一种认为金岭断层是隔水的, 因此水力截获带只需按东西向布置在石化厂以北即可, 这样比较节省投资和工程量。另一种观点认为金岭断层是透水的, 金岭断层以西污染的地下水可向东流向大武水源地, 必须用水力截获带来截获。这样水力截获带必须全面布置, 投资较多。可见, 弄清金岭断层是否透水, 水力截获带在哪里布置便成了一个很关键的问题。此外, 由于水力截获带治理地下水污染是一种治标的方法而非治本方法, 它不能直接降低地下水中油类的含量。因此示范区的治理工程还包括在地下用化学法、微生物法和物理法进行治理。那么在治理过程中投入地下水中的微生物和化学物质会不会流到东风和西夏水源地, 影响饮用水的水质? 这也是在开展治理之前所必须要解决的一个问题。

2 金岭断层的示踪试验

该试验于 1994 年 6 月进行。为了查明金岭断层的透水性, 专门施工了 W-1 和 WG-1 二个钻孔 (图 3), 其地质剖面见图 4。以 W-1 孔为投源孔, 堽 5 孔为抽水孔和观测孔。堽 5 孔于 1994 年 6 月 10 日开始连续抽水 (抽水量为 $270 \text{m}^3/\text{h}$), 形成了稳定的流场^[2]。于 6 月 17 日 12 时 50 分在 W-1 孔投入示踪剂。示踪剂用 ^{131}I 放射源, 投源量为 300mCi , 投源深度为 $91.05\sim 92.52 \text{m}$ (第一岩溶发育带), 投源时间持续 40 分钟。投源后在堽 5 井中放入 FDS-138 测试仪, 测量 γ 射线的强度。在投源前已测得地下水中 γ 射线强度的背景值读数为 $2\sim 3$ 。堽 5 孔测得的 γ 射线强度的读数和时间的关系曲线见图 5。6 月 18 日 16 时 45 分 γ 射线强度开始陡升, 表示投源后经过 27 小时 45 分示踪剂前缘到达堽 5 井。6 月 19 日凌晨 3 时 40 分 γ 射线强度的读数达到峰值 $17\sim 18$, 为背景值的 $6\sim 9$ 倍。半峰值出现的时间为投源后 29 小时。W-1 和堽 5 井相距 135m , 按半峰值计算视速度为 4.66m/h , 即 111.84m/d 。

示踪试验结果表明, 金岭断层两侧的堽 5 井和 W-1 孔是连通的, 该断层不能隔水、隔污,

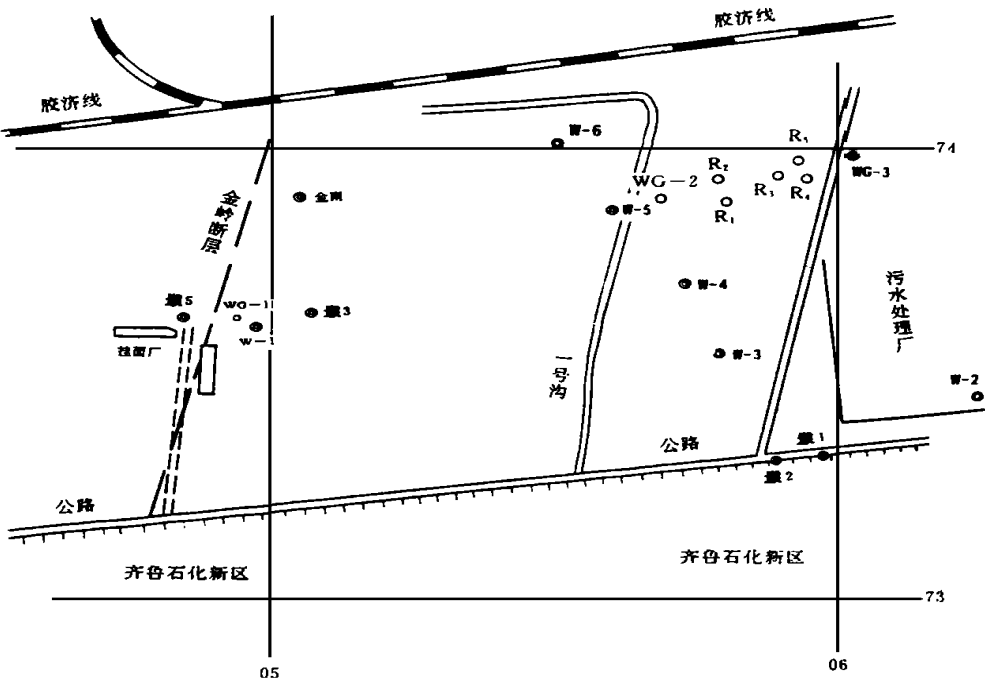


图 3 示踪试验和治理工程布置图

Fig. 3 Location map of tracing tests and remedial engineering

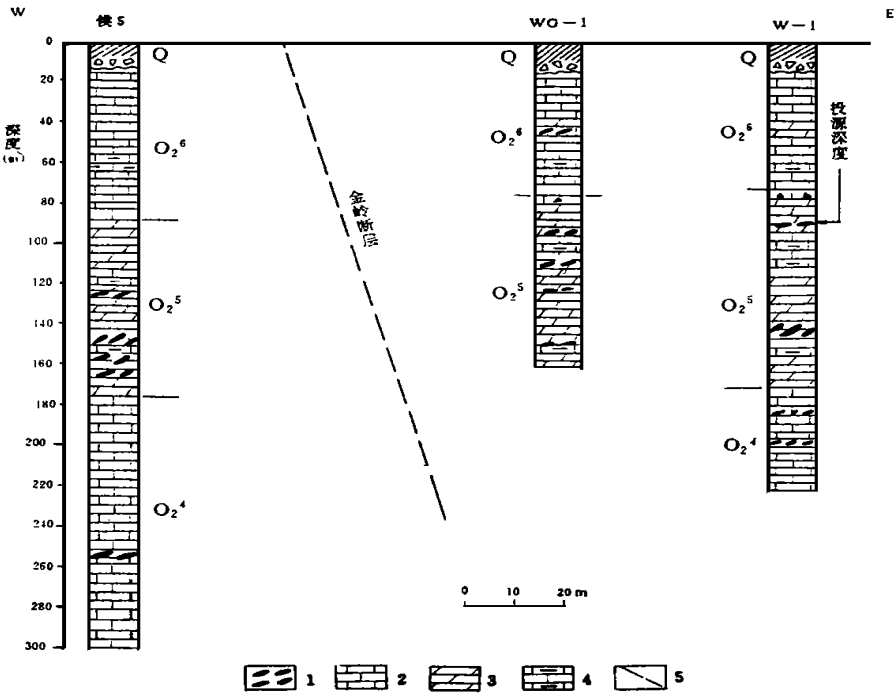


图 4 金岭断层示踪试验的地质剖面图

Fig. 4 Geological cross section of the tracing test near Jinling Fault

1. 岩溶发育带; 2. 石灰岩; 3. 白云质灰岩; 4. 泥灰岩; 5. 断层

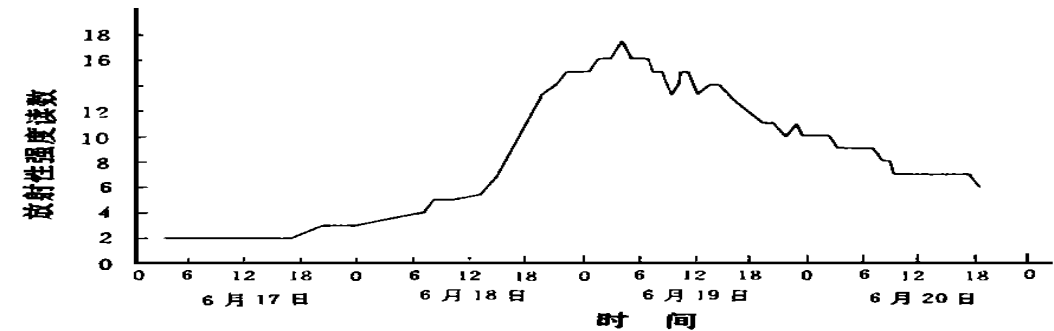


图 5 堽 5井 γ 射线强度读数随时间变化曲线

Fig. 5 Curve of γ ray intensity versus time in No. 5 well

水力截获带应按第二方案布置

3 水力截获带示踪试验

为了建立水力截获带,施工了 W- 2 W- 3 W- 4 W- 5 W- 6 共 5 个抽水孔及 1 个观测孔 W G- 3(参见图 3)。1995 年 9 月 21 日 14 时,水力截获带开始抽水。5 个抽水孔加上堽 2 井的总抽水量为 $1065\text{m}^3/\text{h}=25560\text{m}^3/\text{d}$ 由于电力超负荷,9 月 22 日 12 时停止抽水。9 月 24 日 12 时抽水重新开始,仅 W- 2 W- 4 W- 6 和堽 2 抽水,抽水量为 $880\text{m}^3/\text{h}=21100\text{m}^3/\text{d}$ 各井的抽水量和水位降深见图 6 9 月 25 日 19 时的地下水位等值线图见图 7 由图 7 可知, W G- 3 的地下水应当流向水力截获带。但对于裂隙岩溶水来说,仅仅这一点证据还不充分,故必须进行示踪试验

示踪试验于 9 月 24 日开始,示踪剂仍用 ^{131}I 24 日 16 时开始投源。投源孔为 W G- 3,所有治理孔都在该孔和截获带之间。投源深度经测井确定为 125~ 126m,投源量为 600mCi 投源后在水力截获带所有水井检测 γ 射线的强度。本底值的读数为 2~ 3 到 9 月 27 日 10 时 25 分 W- 6 孔的 γ 射线强度的读数开始陡升,于 12 时达到峰值 44,为本底值的 15~ 22 倍。以后开始陡降(见图 8)。投源至半峰值历时 68 小时, W G- 3 和 W- 6 的直线距离为 530m,据此求得地下水的视流速为 $7.794\text{m}/\text{h}=187\text{m}/\text{d}$ 也表明投入 W G- 3 的示踪剂是随地下水流到了 W- 6 井。治理孔 $\text{R}_1, \text{R}_2, \text{R}_3, \text{R}_4$ 和 R_5 位于 W G- 3 和水力截获带之间,则投入治理孔的

ClO_2 和微生物等是流向水力截获带,不可能流向东风、西夏和辛店电厂等水源地 因此地下治

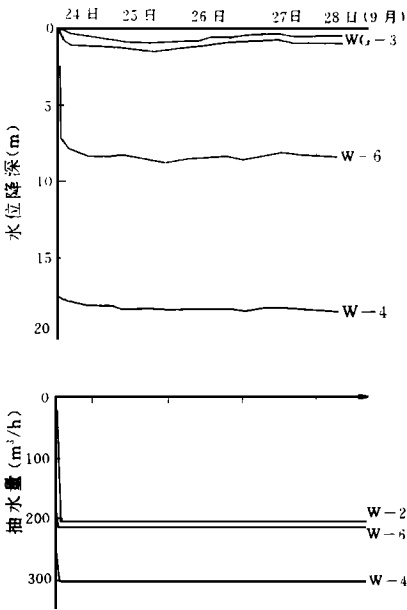


图 6 示踪试验期间水力截获带各井的抽水量和水位降深

Fig. 6 Pumping rates and draw downs in the wells of capture zone during tracing test

理对于下游各饮用水源地来说是安全的,可以在水力截获带运行的情况下进行地下水污染的地下治理

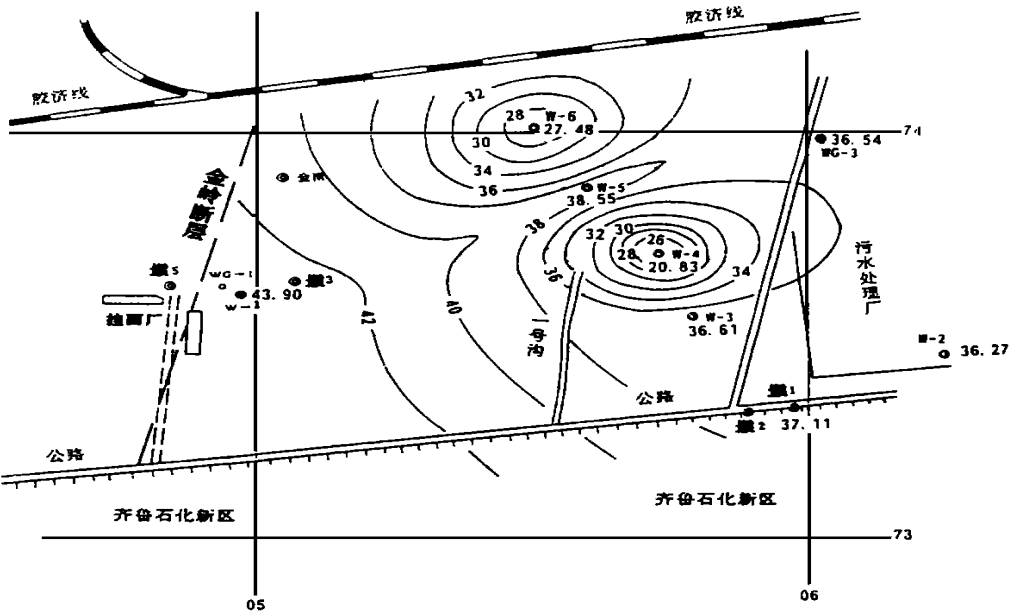


图 7 示踪试验期间 (1995年 9月 25日 19时) 的地下水位等值线图

Fig. 7 Contour map of groundwater level during tracing test (at 19 o'clock, Sept. 25, 1995)

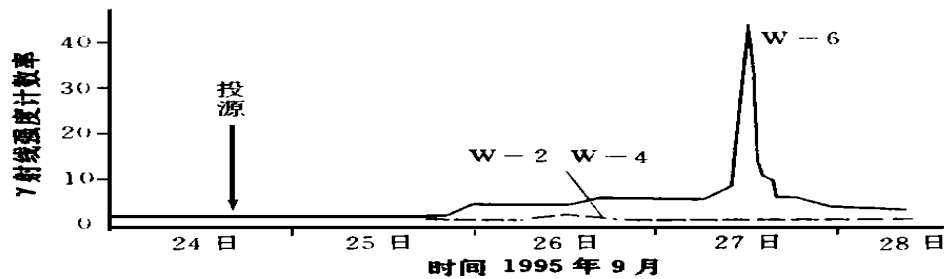


图 8 W- 6,W- 4,W- 2各井 γ 射线强度的读数随时间变化曲线

Fig. 8 Curves of γ ray intensity versus time in W- 6,W- 4 and W- 2 wells

4 结 论

通过试验工作,可以得到如下结论:

(1)地下水示踪试验是一项重要的水文地质技术,它不仅在查明水文地质条件,评价地下水资源中能发挥重要作用,在地下水污染的治理工程中也大有用武之地,对于裂隙岩溶水尤其如此。

(2) 用 ^{131}I 放射性同位素作为示踪剂, 试验时可以投源到任意深度, 可以把检测仪器放入井中进行连续观测, 比野外取样室内分析要便捷得多, 且不易漏掉历时很短的尖峰。如图 8 示踪剂的峰, 历时不到 2 小时, 如果采用野外定时取样再送室内分析的方法, 此峰很易漏掉, 会得出不正确的结论。在裂隙岩溶水地区, 这种情况比较常见, 如采用的示踪剂不当, 会使结论不正确。

(3) ^{131}I 的半衰期为 8.07 天, 衰变较快。适用于试验的范围较小、试验的时间较短的示踪试验。如果试验的范围过大, 示踪剂在地下要移动几十天或几个月, 在到达检测点之前就已衰变得含量很小, 不易测出, 则效果不好。

(4) 本次试验求得的裂隙岩溶水运动的实际平均流速 (视速度) 为 111.84m/d 和 187m/d 表明我国北方的裂隙岩溶水也有相当大的运动速度。在其中的污染物运移问题是一个对流占绝对优势的问题, 在进行数值计算时必须考虑这一特点。

示踪试验工作是和冶金部勘察研究总院的唐金荣高级工程师、杨永琪高级工程师、范海波工程师等共同完成的, 并得到淄博市水资源管理办公室曹修笏总工程师、清华大学刘翔副教授、李广贺副教授的大力支持, 谨致谢意。

参 考 文 献

- 1 朱学愚, 朱国荣, 吴春寅等. 山东临淄地区喀斯特—裂隙水管理模型研究. 地理学报, 1994, 49(3): 247~257
- 2 唐金荣等. 径向收敛的辐射流水质模型弥散试验. 勘察科学技术, 1988(4): 8~12

APPLICATION OF TRACING TEST TO THE REMEDATION OF CONTAMINATED FRACTURE-KARST WATER IN ZIBO CITY

Zhu Xueyu Xu Shaohui Si Jinfeng
(Department of Earth Sciences, Nanjing University)

Abstract

Two tracing tests were done in fracture-karst aquifer contaminated by petroleum in order to make a thorough investigation of hydrogeological condition for remediation. The one was for determination of the hydraulic property of Jinling Fault. It provided geological basis for the suitable location of capture zone to remedy the contaminated fracture-karst water.

(下转 144 页)

参 考 文 献

1 王桂增. 陕西渭北岩溶热水赋存及开发利用研究. 陕西地质, 1993年 1期
2 供水水文地质手册编写组. 供水水文地质手册 (第二册). 地质出版社, 1977 661~ 676

CALCULATION AND COMMENT ON THEORETICAL
FREQUENCY OF DISCHARGE RATE FROM TWO
SPRINGS AT YUAN JIAPO AND SHAIZHUDONG
IN THE NORTHERN AREA OF WEIHE, SHAANXI

Tao Shuhua

(No. 1 Hydrogeological and Geological Engineering Team, Shaanxi Bureau of
Geology and Mineral Exploration and Development)

Abstract

Based on the records of the water discharge from two karst springs at Yuanjiapo and Shaizhudong in the northern area of Weihe, Shaanxi Province, some comments on the water resources of the two springs are made by use of the method of theoretical frequency . For the value or the average value of the discharge rate from springs, a value, 50% of the rates guaranteed, is considered to be more reasonable and for exploitable resources, the highest discharge rate guaranteed more reliable.

Key words Karst spring Discharge rate Exploitable resources Method of theoretical frequency Northern Weihe

(上承 137页)

The other was to determine the limits of the cone of influence of the hydraulic capture zone in order to offer hydrogeological basis for underground remediation with physical, chemical and microbial methods. The tracer applied was radioisotope I. The results of the tests weresatisfying.

Key words Fracture-karst water Tracing test Remediation of petroleum contamination Hydraulic capture zone