

宝坻王₄井水氡高值变化的原因探讨

唐仲兴 李一兵 王小鸿 王增春

(天津市地震局, 天津 300201)

摘 要 天津市宝坻王₄井从 1983 年 4 月开始观测水氡, 观测值相对稳定。1991 年 10 月 2 日该井水氡测值出现大于 27.0 Bq/L 的成丛高值突跳, 最高值达 57.0 Bq/L, 为正常值的两倍多, 水氡值由平稳型变为离散型, 至今已两年多时间, 高值出现后, 天津地震局分析预报中心、监测中心先后组织人员到现场落实达 20 多次, 做了大量的调查研究和实验工作, 排除了有关干扰, 认为王₄井的水氡高值变化主要是附近王₂井长期抽水影响的结果。

主题词: 水氡; 观测精度; 干扰识别

1 王₄井的基本情况

王₄井位于宝坻周良庄乡尹家铺村, 在构造上处在冀中拗陷王草庄凸起上, 北临宝坻凸起, 东靠潘庄凸起 (图 1)。该区又是天津主要地热异常区, 新构造活动激烈, 唐山地震后, 地震活动频繁, 1976 年 8 月 24 日、12 月 2 日和 1977 年 6 月 24 日离该井约 5km 的黑狼口相继发生 $M_s5.1$ 、 5.5 和 4.1 级地震, 在引滦入津开挖明渠工程中又发现了明显的古地震遗迹, 因此该处是古今地震活动比较强烈的地区, 有利于捕捉震兆信息。

王₄井深 2072.41m, 含水层深度为 1989.2—2015.4m, 为单一含水层, 含水层岩性为寒武系府君山组白云质灰岩, 水温 89.2°C , 压力 385kpa, 为岩溶裂隙承压水, 水质类型为重碳酸钠型水, 矿化度 938.24mg/L, 对开展地震地球化学项目观测十分有利。

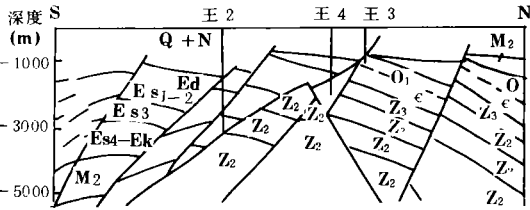
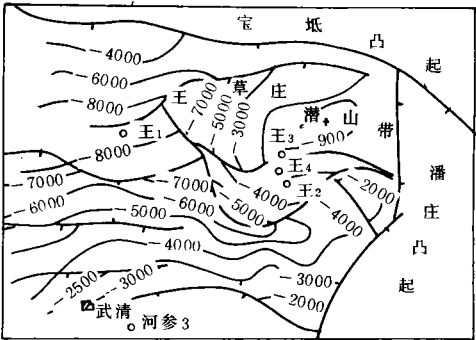


图 1 王₃、王₄井构造位置及地质剖面示意图

2 水氡的正常动态变化、高值变化以及与地震关系的判断

王₄井 1983 年 4 月开始观测水氡, 最初测值为 14.0Bq/L 左右, 1987 年 6 月 13 日启

用新水塔，总流量不变，仍保持在 14.0m³/h 左右，但取水口位置由地面 15cm 的横水管改到竖引水管，取水口离地面为 1.15m，并在横引水管中安放涡轮流量计的探头作流量自记之用（图 2），这些引水条件的改变一定程度上会影响地下水的脱气状态，使水氡值增高，1987 年 6 月中旬水氡值达到 18.0 至 22.0Bq/L，从 1988 年至 1991 年，该井多年的水氡平均值为 21.7Bq/L，年动态变化近似直线型，这与该井含水层较深，地下水稳定自流，受外界干扰影响较小有关。

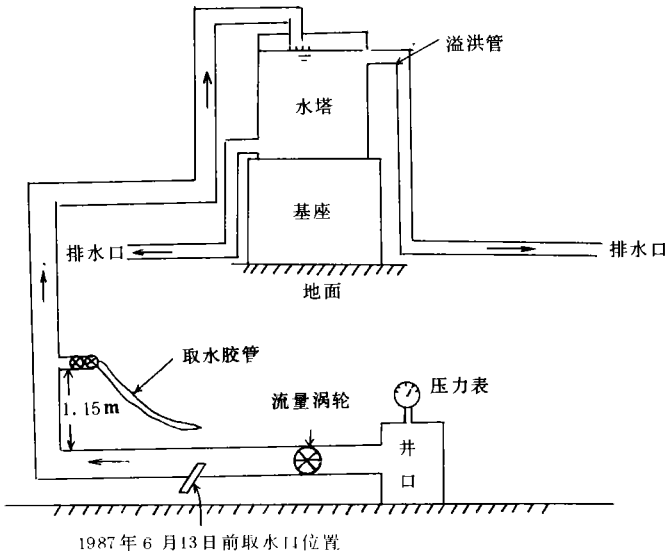


图 2 王₄井引水系统示意图

1991 年 7 月 20 日以后水氡值突然下降到 18.0Bq/L，经现场落实，与取样胶管连接

处漏气有关，9 月 29 日更换了取样胶管，9 月 30 日水氡测值恢复正常，10 月 2 日开始相继出现高达 30.0—40.0Bq/L 的成丛突跳，个别测值甚至高达 57.2Bq/L，大大超过该井的水氡背景值 16.0—27.0，Bq/L。观测值也由稳定型变成离散型，1992 年 11 月开始该井水氡值又有所上升达 30.0Bq/L 左右，但测值相对稳定（图 3）。

王₄井水氡高值变化幅度大，持续时间长，这种变化是强震的前兆还是干扰引起的变化，

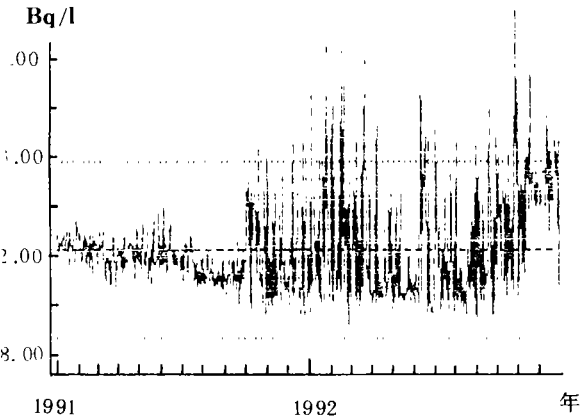


图 3 1991—1992 王₄井水氡日值曲线

大家都十分关心，我们采用具有较强排除干扰因素能力的模糊识别方法处理了该井 1991

年至1992的水氡资料,其结果除1992年5月26日至6月20日出现 $\mu_{\max}=0.79$ 的异常时段与7月22日宁河4.9级地震有所对应外,未发现有趋势异常变化(图4)。一次强震的孕育经历应变能的积累、集中、释放和调整的过程,多次强震前后都观测到水氡的阶段性变化和水氡异常点在一定范围内相对集中分布,水氡这种时空进程显然与强震有关,1991年10月至1992年,就首都圈而言,王₄井仅仅是一个孤立的水氡高值异常点,虽水氡值离散度较大,月均值变化不大,且水氡阶段性变化也不明显,该井其它水化学测项无明显变化,临近的观测井,如王₃井的水氡也无异常配合,因此,我们认为该井的水氡高值变化不是强震的前兆而是干扰因素造成的。

3 异常落实

3.1 取样合乎规范

经现场检查,取样时固定,操作符合规范,取样高度,运送样时间固定,并且与专业人员现场取样对比,测试结果相符。证明水氡突跳不是取样人员造成的。

3.2 新旧取样胶管以及取样高度对比

1991年9月29日前采样管分别由两节各长0.8m,内径为11mm和9mm的胶管套接而成,由于1991年7月20日

以后水氡测值下降,在落实异常过程中,发现套接胶管与水嘴之间有漏气现象。为了防止渗漏,9月29日更换了水嘴和换成一根1.85m,内径9mm的胶管做为取样管,其它条件不变,9月30日、10月1日水氡值正常,10月2日出现30.8Bq/L水氡高值突跳,为了验证新、旧胶管对测值的影响,1992年6月24日先用一节胶管取两个样,水氡值分别为14.1和14.9Bq/L,然后改用原先两节套接胶管取两个样,水氡值分别为15.2和15.3Bq/L,经多次试验,两种取样胶管水氡值接近,甚至新胶管还略低一些,这充分说明水氡高值突跳并非更换胶管所致。

由于王₄井水温高,为了取好样又不致于烫伤,一直在靠近地面(15mm)的排水池边取样,我们分别在离地面15、50、103和130mm四种不同高度取样经五次试验,水氡值变化较大,尚不能说明取样高度愈高测值愈大,况且,取样员一直固定在排水池边取样,不存在改变取样高度的问题。

3.3 井孔流量的变化

井孔流量的变化会引起氡值的变化,近几年来对该井流量进行多次测量,结果如表1,由此可以看出,王₄井的流量是缓慢正常衰减的。

经检查王₄井排水系统没有变更也无堵塞而是畅通的。总流量下降,一般水氡值也相应缓降,这与王₄井水氡增高是矛盾的。

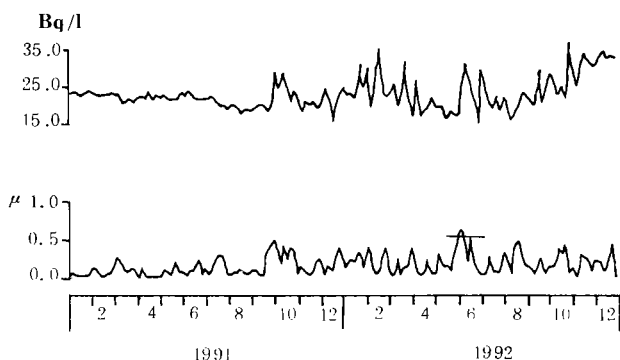


图4 王₄的水氡五日均值曲线与相应的异常从属函数 μ 值的对比图

3.4 观测仪器

王₄井水氡观测仪器固定，主副样分别由两台 FD-105K 测氡仪器观测，且长期固定不变，测氡仪的性能指标分别于 1991 年 12 月，1992 年 4、6、9 月进行检查、标定，各项指标符合规范要求，性能良好，观测结果可靠，近两年仪器 K 值见表 2。

表 1 王₄井逐年流量变化

测量日期	流量 (m ³ /h)	备注
1986.12.11	15.7	旧水塔，用 TDL 系列流量自记测量
1987.6.13	15.4	新水塔，用 TDL 系列流量自记测量
1987.7.17	15.8	新水塔，用 TDL 系列流量自记测量
1988	14.0	新水塔，用 TDL 系列流量自记测量
1990.10.21	13.91	新水塔，用 TDL 系列流量自记测量
1991.10.25	13.79	新水塔，用 TDL 系列流量自记测量
1992.9.25	13.50	新水塔，用 TDL 系列流量自记测量

表 2 测氡仪 K 值

使用日期	主样测氡仪 K 值 (Bq/格/分)	偏差 (%)	副样测氡仪 K 值 (Bq/格/分)	偏差 (%)
1991.1.1—1991.9.30	0.317		0.316	
1991.10.1—1992.9.30	0.298	—6.0	0.295	—6.6
1992.10.1—1993.9.30	0.327	9.7	0.321	8.8

由此表可见，1991 年 10 月 1 日启用新 K 值较原 K 值低，因而水氡测值应该偏低，而不应该偏高，出现的高值突跳与观测仪器无关。

3.5 区域水动态条件的影响问题

王₄井东北方向约 20km 处是天津化纤厂的大型抽水水源地，在构造上位于宝坻凸起下仓向斜薄覆盖基岩浅埋区，共有抽水井 12 口，井深 250m 左右，含水层为奥陶系岩溶水，矿化度 450mg/L 左右，日抽水量 6 万 m³，从 1982 年开始用直径 1.2m 管道向天津化纤厂送水，如此大量的地下水开采会不会对王₄井的水动力条件产生影响？经实地调查，抽水量固定，抽水井水质每年化验四次均无明显变化，抽水周围 450km 范围内 53 口井的水动态监测资料表明，水位稳定，说明地下水的补给充分，地下水动态保持平衡。

以上的现场调查和实验工作未发现对王₄井水氡有明显影响的干扰因素。

4 王₄井水氡高值变化原因分析

王₄井水氡值增高和波动主要受王₂井地下水开采的影响，王₂井位于王₄井南约 3km 的里直沽地热种鸡场内，井深 2968.27m，含水层深度为 2834—2968.27m，属中上元古界蓟县系铁岭组的岩溶水，水温 94.6℃，矿化度 667.89mg/L，自流量 15.6 吨/时，夏季自流、冬季用水量增加用泵抽水，每小时为 40 吨，抽水时间为当年 10 月底到次年 3 月底。王₂井冬季的地下水流量较夏季大一倍多，1991 年前，王₄井冬、夏两季水氡值几乎相等（夏季水氡值为 22.2Bq/L，冬季为 22.6Bq/L），而 1991 年后，王₄井冬季水氡值明显高于夏季测值（冬季水氡值为 24.5Bq/L，夏季为 22.0Bq/L）。

为了了解王₂ 井的抽水是否会引起王₄ 井水氡的变化,我们对这两口井曾多次做水质分析,结果见表 3。

表 3 王₂ 井和王₄ 井的硫酸根和矿化度测值 (单位: mg/L)

取样日期	王 ₂ 井		王 ₄ 井	
	SO ₄ ⁻²	矿化度	SO ₄ ⁻²	矿化度 (mg/L)
1986. 10. 22	0	667. 89	166. 35	938. 24
1992. 4. 30	180	931. 96	168	921. 84
1992. 9. 21	160	892. 93	172	930. 35
1992. 10. 26	153	881. 62	190	957. 67
1993. 9. 4	143	870. 97	156	896. 96

分析结果表明王₄ 井的矿化度和 SO₄⁻² 含量多年来基本保持稳定,而王₂ 井的矿化度有了明显的增加,特别是 SO₄⁻² 的含量由零增加到 150mg/L 左右,由于王₄ 井和王₂ 井同处在王草庄凸起,该地区断层纵横交错,构造极为复杂,新构造活动激烈,断层两侧岩石破碎带裂隙发育,透水性强,王₂ 井的长期大量的抽水 (960 吨/月),有可能使王₄ 井和王₂ 井含水层沟通,从而使两口井的水质组分及含量相近似,同时改变地下水的水力联系和水动力参数。

王₄ 井的含水层为白云质灰岩,地下水中的镭含量为 3.5×10^{-11} g/L。碳酸盐类地区地下水通常含有大量二氧化碳气体,由于碳酸水与围岩的物理化学作用,镭有可能从水溶液中沉淀出来,而使镭在粘土物质充填的构造带中裂隙中及碳酸盐及铁锰沉积中形成次生富集,王₄ 井的二氧化碳含量较高,约占气体总量的 70%,每升水中含 CO₂ 为 31 毫升,显然有助于镭的富集。

为了查明王₄ 井水氡高值变化原因,1992 年 9 月 21 日取王₄ 水样进行铀、钍、镭分析,并与 1988 年的分析结果对比 (表 4),地下水中铀、镭含量有了一定的增加,势必影响水氡含量的增加。

表 4 王₄ 井铀、钍、镭的含量

取样日期	U (g/L)	Th (g/L)	Ra (g/L)	分析单位
1988	3.5×10^{-7}	3.5×10^{-6}	3.5×10^{-11}	国家地震局地质所
1992. 9. 21	5.0×10^{-7}	痕	4.4×10^{-11}	国家地震局地质所

由于王₂ 井的大量开采,王₄ 井的地下水有可能沿断层面或断层破碎带窜到王₂ 井中,从而导致:①王₄ 井补给区地下水径流加快,使地下水中大量气体涌向王₄ 井,引起地下水中气体含量增多,在取样过程中明显地观测到这一现象,因此使王₄ 井逸出氡增高;②王₄ 井受地下水窜层的影响,一方面地下水流速加快,另一方面部分地下水窜到王₂ 井的过程中,形成负压,这些因素都可以使王₄ 井含水层附近地下水形成涡流,因此使地下水的对流作用、溶解作用、扩散作用加剧,势必使王₄ 井含水层围岩的吸附氡大量脱出,迁移到地下水中,同时使裂隙中粘土等沉淀物被水带出,而这些物质往往是次生富集镭的射气聚集体,这些地下水的动态变化会促使王₄ 井地下水中氡含量的明显增加。

而在地下水窜层过程中,由于断层泥、断层角砾等物质的疏通或阻塞,王₄ 井地下水

进入王₂井的流量大小，流速快慢往往是不均匀的，这可能是王₄井 1991 年 10 月以来水氡不稳定变化的原因。

1992 年 11 月王₂井抽水前，泵管由原来 19 节（每节 2.5m）加长到 21 节，泵头下到

井下 52.5m，从而提高了该井的抽水量，另外断层面或断层破碎带在王₄井地下水的长期冲刷下，会导致王₄井和王₂井地下水窜层区的扩大和畅通，使王₄井补给的地下水流速进一步加大，以及含水层围岩的吸附氡溶解在地下水中的数量增多，因此引起王₄井水氡 1992 年 11 月出现 30.0Bq/L 左右的相对高值，在月均值图和年均值图出现新的水氡阶跃值（图 5）。

抽水对井水中氡浓度的影响是明显的，已被我们在塘沽、唐山和宝坻、蓟县几次大型抽水试

验所证实，只要抽水井的降落漏斗能明显影响的井孔不论是否属同一含水层，水氡浓度都要受其影响而变化。

总之，宝坻王₄井两年多时间的水氡高值变化是受王₂井长期开采的影响，而不是地震前兆异常。

（1994 年 5 月 10 日收到初稿）

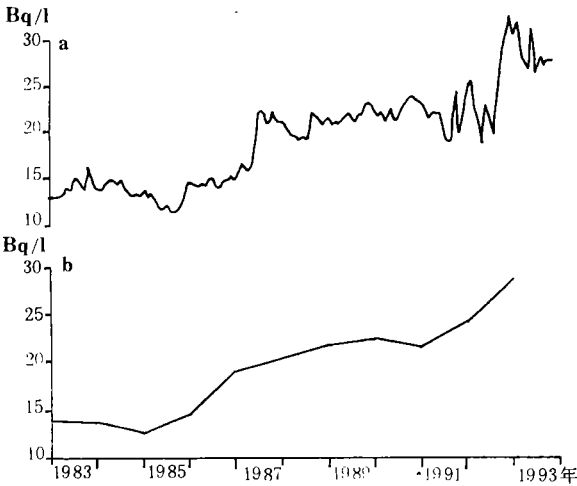


图 5 王₄井水氡 a. 月均值, b. 年均值图

A DISCUSSION OF REASONS FOR HIGH VALUE VARIATION OF WATER RADON IN WANG4 WELL IN BAODI

Tang Zhongxing Li Yibing Wang Xiaohong Wang Zengchun

(Seismological Bureau of Tianjin City , Tianjin 300201)

Abstract

The Wang4 well in Baodi of Tianjin City was began to be observed in April 1, 1983, its observational values were relatively stable. The observational values of water radon in the well showed a sudden jump of a cluster of high values of more than 27.0 Bq/l, the highest one reaching 57.0 Bq/l, more than two times the normal values, the water radon values became discrete from stable ones, it has been more than two years up to now. After the high value appeared, the personnel of the Analysis and Prediction Center and the Observation Center of the Seismological Bureau of Tianjin City did in-situ examinations for more than 20 times, made a lot of investigations and experimental work, and eliminated the relative interferences, we think that the high value variation of water radon is mainly the result of the influence of long term dewatering near Wang4 well.

Subjective words: Wang4 well; water radon; interference