

KJD-2000R 测氦仪 (α 谱仪) 观测结果分析*

李朝明¹, 杨志坚¹, 朱培耀², 金明培¹, 褚金学³

(1. 中国地震局滇西地震预报实验场办公室, 云南 大理 671000; 2. 云南省地震局, 云南 昆明 650224;
3. 云南省地震局 弥渡地震台, 云南 弥渡 675600)

摘要: 通过分析 KJD-2000R 测氦仪 (α 谱仪) 记录的下关温泉水中氦含量的 4 组 α 粒子能量脉冲数、氦含量以及影响观测结果因素, 结合传统水氦观测仪器 FD-125 型室内氦钍分析器平行对比观测结果, 认为: KJD-2000R 测氦仪观测对象明确, 而且自动鼓泡和读数, 完全避免了人工鼓泡和读数引起的误差, 对提高氦及其子体变化规律的认识, 提高水氦观测资料质量及映震能力, 充分捕获水氦前兆异常信息都具有一定实际意义, 也为地震观测及台站水氦观测仪器选型提供参考。

关键词: 水氦仪; α 粒子; 观测结果; 下关温泉

中图分类号: P315.62

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2012)03-0399-07

0 引言

氦是天然放射性元素, 是铀 (^{238}U) 系、钍 (^{235}Ac) 系与钍 (^{232}Th) 系中镭的衰变产物 (张昱等, 2010)。氦气具有很多独特的物理化学性质, 表现出较强的映震效能 (崔勇等, 2008)。由铀系衰变产生的 ^{222}Rn 的半衰期为 3.825 d, 由钍系衰变产生的 ^{219}Rn 的半衰期为 3.92 s, 由钍系衰变产生的 ^{220}Rn 的半衰期为 54.4 s, 它们都是氦的同位素 (中国地震局监测预报司, 2007; 曹玲玲等, 2005)。

氦作为放射性气体元素, 是地球深层信息的指示剂, 它能从地下深部运移到地表, 可带来反映地下介质状态的信息 (刘菁华等, 2007)。水氦观测的目的是为了能及时、准确的在地质构造发生变化时, 通过氦的变化来反映其自然变化的动态 (刘学领等, 2008)。

水中氦气的观测普遍采用电离静电计法和闪烁脉冲计数法 (张炜等, 1988)。前者使用 FD-105K 型静电计, 后者使用 FD-125 型室内氦钍分析器。目前, 地震系统普遍使用 FD-105K 型静电计和 FD-125 型室内氦钍分析器观测水中氦含量,

KJD-2000R 测氦仪采用金硅面垒型半导体 α 粒子探测器, 3 种仪器都是对氦及其子体的 α 粒子 (射线) 进行观测, FD-105K 型静电计和 FD-125 型室内氦钍分析器观测对象为 ^{222}Rn 衰变过程中产生的 α 粒子; KJD-2000R 测氦仪观测对象为 ^{222}Rn 衰变子体 ^{218}Po 、 ^{214}Po 和 ^{220}Rn 衰变子体 ^{216}Po 、 ^{212}Po 衰变释放的 4 组 α 粒子, 观测对象更加明确。对水中氦含量观测, 提高对氦及其子体变化规律的认识, 提高水氦观测资料质量及映震能力, 充分捕获水氦前兆异常信息都具有一定实际意义, 也可为地震观测及台站水氦观测仪器选型提供参考。

1 KJD-2000R 测氦仪工作原理

KJD-2000R 测氦仪 (α 谱仪) 是一种新型的连续测氦仪器, 它利用静电收集氦衰变子体进行累积测量, 采用金硅面垒型半导体 α 粒子探测器, 直接把 α 粒子转换成电信号, 通过采用 α 能谱检测每个 α 粒子的能量鉴别出各个核素, 主要包括 ^{218}Po 、 ^{214}Po 、 ^{216}Po 、 ^{212}Po 释放的 α 粒子, 通过这 4 个能量的脉冲计数率显示射气 (或噪声) 大小。该技术即为 α 能谱测定法, 可用于室内、土壤、水溶液中测氦, 以及地质构造变化时的放射性气

体异常监测等。

KJD-2000R 测氡仪检测对象为 ^{222}Rn 和 ^{220}Rn , 实时监测并显示 ^{222}Rn 和 ^{220}Rn 的谱线, 可以储存 1 000 个氡浓度测量谱数据, 测量范围在 4 ~ 400 000 Bq/m³ 间, 灵敏度为 2.5 (脉冲/min) / (Bq/m³), 本底小于 10 脉冲/min, 气泵流量 1 L/min, 正常情况年漂移小于 2%。

2 观测条件与试验

2.1 下关温泉概况

下关温泉位于红河断裂以西的次一级张性构造——西洱河断裂上, 区内断裂发育, 主要分布有热力变质和动力变质叠加而形成的区域变质岩, 沿断裂带有岩浆侵入, 历史上构造运动剧烈, 新构造运动也十分强烈。西洱河断裂南盘巨厚的碎屑岩起隔水作用, 地下水沿构造带上涌, 形成温泉。水质成分分析结果表明, 可溶性 SiO₂ 含量高达 4.5 mg/L, F 为 2.80 mg/L, B 达 1% 以上, Li 高达 0.08% 以上, 这反映了该温泉水的深循环特征 (张炜等, 1988)。

下关温泉水氡于 1970 年 4 月开始观测, 观测人员固定, 熟悉水氡观测技术, 1996 年至今一直使用 FD-125 型室内氡钍分析器, 该仪器性能稳定, 并且工作人员按时对仪器进行检查、标定, 充分保证了水氡观测工作的顺利进行。

2.2 观测条件

KJD-2000R 测氡仪和 FD-125 型室内氡钍分析器在同一间观测室进行同步对比观测, 观测室条件严格按照地震水文地球化学观测技术规范要求 (国家地震局, 1985), 室温控制在 20 ℃ ~ 30 ℃, 湿度 ≤ 80%, 鼓泡水温与观测室温相差 ≤ ± 5 ℃, 并有空调控温; 取样方式都采用扩散瓶负压, 取样间隔不超过 3 min; 观测时间间隔不超过 5 min。

2.3 试验

由于 KJD-2000R 测氡仪是新型氡观测仪器, 测量水氡时把水样和仪器气路连接成气体循环回路, 水样鼓泡脱气和测数同时自动进行, 测数时间 20 min, 观测一段时间后, 测值低且不稳定。由于目前地震系统内还没有人使用, 无法得知测数多长时间得到的水氡氡含量测值较为合理。为此,

我们对水样在不同测量时间下的水氡测值和可能影响 KJD-2000R 测氡仪观测结果的干燥管进行了试验。

2.3.1 水样测量时间的选取

如图 1 所示, 通过 4 次试验分析认为, 虽然每天水样的氡含量衰变形态有差异, 但也出现了基本相同的衰变特征, 最初的 15 min 左右氡含量增加速度较快, 逐渐接近一个稳定的水平, 30 min 左右水样氡含量最高, 90 min 左右氡含量出现明显缓慢下降趋势。从 2011 年 3 月 1 日起测数时间由原来的 20 min 改为 30 min。

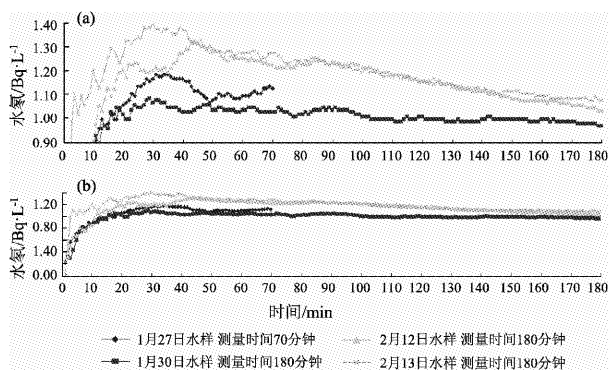


图 1 不同测量时间的水氡测值曲线

Fig. 1 Water radon concentration curve of different sampling time

2.3.2 使用不同容积干燥管的水氡测值比较

KJD-2000R 测氡仪干燥管容积为 0.226 L, 水氡常规观测使用的干燥管容积为 0.011 L, 测试前用相同的硅胶分别装满两种不同的干燥管。为了不影响常规对比观测, 每天固定对比观测仍使用 KJD-2000R 测氡仪配有的干燥管, 等本底降下来后使用水氡常规观测使用的干燥管作为试验比较 (表 1)。

从氡的衰变理论得出, 水氡观测中, 观测时间晚比观测时间早的氡含量测值会有不同程度的减小。表 1 中使用 0.011 L 干燥管的观测时间要比使用 0.226 L 干燥管的观测时间晚 110 min 左右, 但是氡含量测值不但没有减小, 反而高得多, 说明使用过大的干燥管会堵塞气路, 致使水中脱出气体的一部分无法循环到探测器中, 从而降低测值。从 2011 年 5 月 1 日起干燥管更换为水氡常规观测使用的干燥管。

表 1 使用不同容积干燥管的水氡测值比较

Tab. 1 Water radon data comparison of using drying tube in different volume

| 日期 年-月-日 | 取样 时间 | 观测 时间 | 干燥管 /L | KJD-2000R 测值/Bq·L ⁻¹ |
|-------------|----------|----------|-----------|------------------------------------|
| 2011-04-11 | 09:47 | 13:04 | 0.226 | 0.95 |
| | | 14:59 | 0.011 | 2.01 |
| 2011-04-12 | 09:44 | 13:03 | 0.226 | 1.01 |
| | | 14:56 | 0.011 | 1.78 |
| 2011-04-13 | 09:47 | 13:02 | 0.226 | 1.01 |
| | | 14:55 | 0.011 | 1.61 |
| 2011-04-14 | 09:37 | 13:06 | 0.226 | 1.15 |
| | | 14:56 | 0.011 | 1.85 |
| 2011-04-15 | 09:40 | 13:08 | 0.226 | 1.21 |
| | | 14:55 | 0.011 | 1.70 |

3 观测结果与分析

KJD-2000R 测氡仪全谱显示的 α 粒子能量范围为 0 ~ 10 MeV，而氡及其子体所产生的 α 粒子能量在 6 ~ 9 MeV 之间。KJD-2000R 测氡仪把 0 ~ 10 MeV 范围的能量谱线划分为 256 个数字道址。其中：²¹⁸Po 峰值的中心位置在 5.998 MeV 处；²¹⁴Po 峰值的中心位置在 7.687 MeV 处；²¹⁶Po 峰值的中心位置在 6.777 MeV 处；²¹²Po 峰值的中心位置在 8.780 MeV 处。

从 2010 年 12 月 11 日开始用 KJD-2000R 测氡仪对下关温泉水中氡含量进行观测，至 2011 年 7 月 31 日停止观测。

3.1 KJD-2000R 测氡仪观测结果

3.1.1 α 粒子观测数据

KJD-2000R 测氡仪把半衰期为 3.825 d 的²²²Rn 衰变子体²¹⁸Po 和²¹⁴Po 衰变释放的 α 粒子能量脉冲数记为 R_1 和 R_2 （图 2），半衰期为 54.4 s 的²²⁰Rn 衰变子体²¹⁶Po 和²¹²Po 衰变释放的 α 粒子能量脉冲数记为 T_1 和 T_2 。

3.1.2 氡含量观测数据

KJD-2000R 测氡仪与传统的水氡观测氡含量计算方法不同，取水样到鼓泡的衰变时间和水样体积都不参与氡含量计算，而且观测到的 4 组 α 粒子能量脉冲数只计算 R_1 作为水中氡含量观测结果

（图 3），KJD-2000R 测氡仪氡含量计算公式为

$$Rn = \frac{KR_1}{1000}$$

(1)

其中： K 为仪器标定 K 值，单位为 $Bq/m^3 \cdot (脉冲/min)$ ， R_1 为水样测值，单位为脉冲/min。

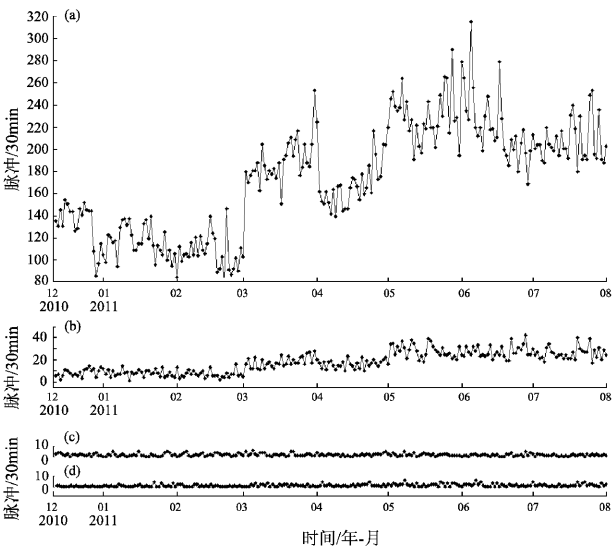


图 2 KJD-2000R 测氡仪下关温泉 α 粒子能量脉冲数曲线
(a) ²¹⁸Po 衰变释放的 α 粒子能量脉冲数曲线；(b) ²¹⁴Po 衰变释放的 α 粒子能量脉冲数曲线；(c) ²¹⁶Po 衰变释放的 α 粒子能量脉冲数曲线；(d) ²¹²Po 衰变释放的 α 粒子能量脉冲数曲线

Fig. 2 α-particle energy pulse number curves recorded by KJD-2000R in Xiaguan hot spring
(a) α-particle energy pulse number curve of decay and release from ²¹⁸Po; (b) α-particle energy pulse number curve of decay and release from ²¹⁴Po; (c) α-particle energy pulse number curve of decay and release from ²¹⁶Po; (d) α-particle energy pulse number curve of decay and release from ²¹²Po

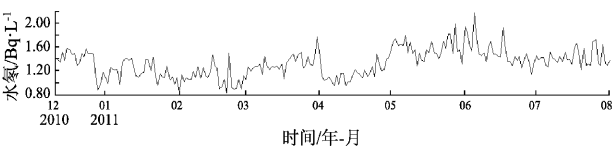


图 3 KJD-2000R 测氡仪下关温泉水氡曲线
Fig. 3 Water radon observation curve recorded by KJD-2000R in Xiaguan hot spring

3.2 观测结果分析

3.2.1 KJD-2000R 测氡仪 α 粒子观测结果分析

在进行天然放射性核素 α 能谱测量时, 主要是对氡及其 α 衰变体子体产生的 α 粒子进行测量, 由铀系产生的 ^{219}Rn 半衰期很短, 为 3.92 s, 一般情况下, 它对氡气测量的影响不予考虑, 只考虑铀系和钍系 α 衰变体产生的 α 粒子的测量 (贾文懿等, 2002; 谭延亮等, 2008)。由铀系衰变产生的 ^{222}Rn 的半衰期为 3.825 d, 氡衰变主要产生 ^{218}Po (RaA)、 ^{214}Pb (RaB)、 ^{214}Bi (RaC) 和 ^{214}Po (RaC') 4 种短寿命子体 (赵桂芝, 肖德涛, 2007), ^{218}Po 和 ^{214}Po 半衰期分别为 3.04 min 和 164 μs ; 由钍系衰变产生的 ^{220}Rn 的半衰期只有 54.4 s, ^{220}Rn 衰变子体 ^{216}Po 和 ^{212}Po 半衰期分别为 0.15 s 和 0.30 μs 。KJD-2000R 测氡仪是对 ^{222}Rn 衰变子体 ^{218}Po 、 ^{214}Po 和 ^{220}Rn 衰变子体 ^{216}Po 、 ^{212}Po 衰变产生的 α 粒子进行测量, 根据 α 粒子能量脉冲数计算出氡浓度。

由于 ^{220}Rn 的半衰期只有 54.4 s, ^{220}Rn 衰变子体 ^{216}Po 和 ^{212}Po 衰变释放的 α 粒子有些可能还来不及被收集产生电脉冲就消失了, 因而记录到的脉冲数 T_1 和 T_2 都很小 (图 2), 都在 10 个脉冲数 (0.07 Bq/L) 以内, 这与传统水氡观测认为 ^{220}Rn 和 ^{219}Rn 及其子体的半衰期太短, 在实验室测量氡气中只有 ^{222}Rn 的结论相近; 而 ^{222}Rn 的半衰期为 3.825 d, ^{222}Rn 衰变子体 ^{218}Po 和 ^{214}Po 衰变释放的 α 粒子能量脉冲数比 ^{216}Po 和 ^{212}Po 多得多, 虽然 ^{214}Po 半衰期很短, 但其母体 ^{214}Pb 的半衰期为 26.8 min, ^{214}Bi 的半衰期为 19.7 min, 因而能记录到一定的 α 粒子能量脉冲数, ^{218}Po 半衰期为 3.04 min, 记录到的 α 粒子能量脉冲数最多, 变化也最明显。因此, 把 ^{218}Po 作为计算氡含量的主要元素。

3.2.2 氡含量观测结果分析

KJD-2000R 测氡仪对下关温泉水中氡含量进行了 233 d 的观测 (2010 年 12 月 11 日至 2011 年 7 月 31 日), 与传统水氡观测仪器 FD-125 型室内氡钍分析器进行平行对比观测, 结果只有少数呈现同步变化。经过试验, KJD-2000R 测氡仪从 2011 年 3 月 1 日起测数时间由原来的 20 min 改为 30 min, 从 2011 年 5 月 1 日起原有的干燥管 (0.226 L) 更换为水氡常规观测使用的干燥管 (0.011 L), 所得测值明显增大。由于 KJD-2000R

测氡仪与传统的水氡观测氡含量计算方法有所不同, 取水样到鼓泡的衰变时间和水样体积都不参与氡含量计算, 而且观测到的 4 组 α 粒子能量脉冲数只计算 R_1 并作为水中氡含量观测结果, KJD-2000R 测氡仪氡含量观测结果比 FD-125 型室内氡钍分析器观测结果小很多。

氡含量计算方法不同, 氡含量观测结果就不同。参照水氡常规观测计算方法, 把衰变函数值和水样体积加入 KJD-2000R 测氡仪氡含量计算公式为

$$Rn = \frac{KR_1}{1000 \times V e^{-\lambda t}} \quad (2)$$

其中: K 为仪器标定值, 单位为 $\text{Bq}/\text{m}^3 \cdot (\text{脉冲}/\text{min})$, R_1 为水样测值, 单位为脉冲/min, V 为水样体积, 单位为 L, $e^{-\lambda t}$ 为氡衰变函数值。

由图 4 可知, 把 KJD-2000R 测氡仪观测到的 4 组 α 粒子能量脉冲数用不同方法计算: R_1 (^{218}Po)、 R_2 (^{214}Po)、 T_1 (^{216}Po)、 T_2 (^{212}Po) 4 组 α 粒子能量脉冲数总和按 KJD-2000R 测氡仪氡含量计算公式计算, 氡含量增大了一点; R_1 加入水氡常规观测中的衰变函数值和水样体积计算, 氡含量明显增大, 变化幅度更加明显; R_1 、 R_2 、 T_1 、 T_2 总和加入水氡常规观测中的衰变函数值和水样体积计算, 氡含量增大更加明显。通过不同方法计算, KJD-2000R 测氡仪观测结果总体变化趋势相同, 但用加入水氡常规观测中的衰变函数值和水样体积计算, 变化幅度更加明显, 异常更容易识别。

在对比观测期间, 震中距在 300 km 范围内, 发生 2 次 $M_s \geq 5.0$ 地震。2011 年 2 月 26 日 FD-125 测氡仪观测到水氡出现高值异常 (8.42 Bq/L), 12 d 后, 即 3 月 10 日云南盈江发生 $M_s 5.8$ 地震; 由于 2011 年 4 月 30 日前 KJD-2000R 观测数据受测量时间和干燥管的影响, 观测数据只能作为参考。6 月 20 日云南腾冲 $M_s 5.2$ 地震前, FD-125 测氡仪在 6 月 5 日观测到小幅度高值异常 (8.11 Bq/L), 而 KJD-2000R 测氡仪 (R_1) 分别在 5 月 27 日、6 月 4 日观测到水氡值为 1.99 Bq/L、2.18 Bq/L (加入水氡常规观测中的衰变函数值和水样体积计算为 8.16 Bq/L、8.90 Bq/L) 的高值异常, 就腾冲

$M_{\text{S}}5.2$ 地震而言，KJD-2000R 观测到的水氡异常更突出，变化更明显。

3.3 观测室影响因素分析

3.3.1 鼓泡水温

氡在水中的溶解度与温度关系密切，溶解度系数 α 与温度 t 的关系式为 $\alpha = 0.1057 + 0.405e^{-0.0502t}$ 。从表 2 看出，地下水中氡的溶解度系数随着水温的升高而变小（中国地震局监测预报司，2007）。水温上升，氡的溶解度下降，逸出气体增加；水温下降，氡的溶解度上升，逸出气体减小（王雪莹等，2002）。

对于鼓泡水温 和 氡值的关系，刘学领等（2008）进行过“不同的水温对氡值影响”的实验。结果证实，水温不同造成水氡观测最大误差达 17%，水温降低，其相对误差会加大。在 0℃ ~ 40℃ 水温范围内进行多次实验，然后取均值，分别计算其相对于 40℃ 测值的相对误差（表 3）。

从表 3 可看出，在对水氡进行观测时，为了降低水温对氡值的影响，必须找到一个相对合适的鼓泡温度，同时应考虑实验室的环境条件，并符合规范要求。在对高温热水进行水氡观测时，水样的鼓泡温度尤为重要。

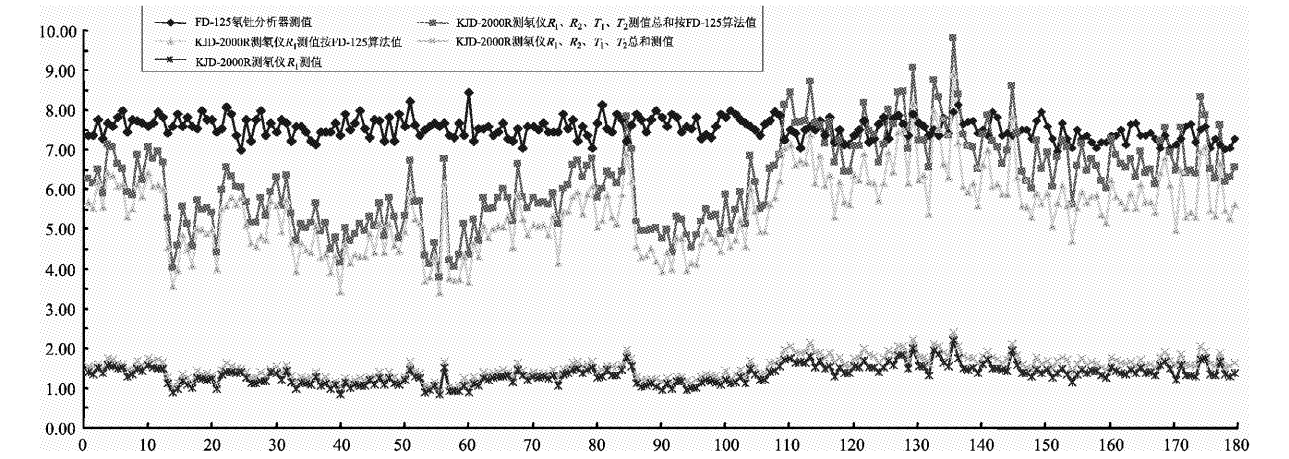


图 4 KJD-2000R 测氡仪与 FD-125 型室内氡钍分析器平行对比观测水氡曲线
Fig. 4 Comparison of water radon observation curves recorded by KJD-2000R and FD-125

表 2 不同温度下氡的溶解度系数 α
Tab. 2 Water radon solubility coefficient under different temperature

| $t/^\circ\text{C}$ | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| α 值 | 0.510 | 0.350 | 0.225 | 0.220 | 0.160 | 0.140 | 0.127 | 0.118 | 0.112 | 0.119 | 0.107 |

表 3 水温不同时氡值及相对误差
Tab. 3 Water radon observation data and their relative error under different water temperature

| 兰州地震研究所 | | | 新疆地震局 | | |
|----------------------|-----------|-------|----------------------|------------|-------|
| 水温/ $^\circ\text{C}$ | 氡值（6 次均值） | 相对误差 | 水温/ $^\circ\text{C}$ | 氡值（11 次均值） | 相对误差 |
| -1 | 7.6 | -9.5% | 15 | 7.8 | -17% |
| 14.5 | 8.0 | -4.8% | 25 | 8.5 | -9.6% |
| 20 | 7.7 | -8.3% | 30 | 9.2 | -2.1% |
| 30 | 8.1 | -3.6% | 40 | 9.4 | |
| 40 | 8.4 | | | | |

结合表 2、表 3 得出，鼓泡水温在 20℃ ~ 30℃ 时氡值相对稳定。下关温泉水氡对比观测期间，鼓泡水温在 21.9℃ ~ 27.6℃ 之间（图 5c），

由于鼓泡水温保持相对稳定，氡值不会有太大的变化，对 FD-125 型室内氡钍分析器与 KJD-2000R 测氡仪水氡观测基本不会产生影响（图 5a、b）。

3.3.2 室温、湿度

观测室环境条件主要指室温、湿度等。KJD-2000R 测氡仪工作环境要求：良好环境温度 (20 ± 5) $^{\circ}\text{C}$ ，极限温度 $0^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ ；湿度 $5\% \sim 99\%$ ；实际对比观测室温为 $20.3^{\circ}\text{C} \sim 26.8^{\circ}\text{C}$ (图 5d)，湿度为 $33\% \sim 72\%$ (图 5e)，鼓泡水温与观测室温相差 $\leq \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，且鼓泡水温保持在 $20^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ ；观测室条件完全符合规范要求，且满足 KJD-2000R 测氡仪工作环境要求。

在常温条件下，当使用 FD-125 型室内氡钍分析器观测时，氡测值与室温呈正相关，与湿度呈负相关，同时氡值与鼓泡水温、气压相关显著。但在恒温条件下即室温 $20^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ ，湿度 $< 80\%$ 时，氡的浓度与室温、湿度、鼓泡水温和气压等均无关 (张清秀，陈懿德，2007)。KJD-2000R 测

氡仪和 FD-125 型室内氡钍分析器平行对比水氡观测正是在这种恒温条件下，按规范和仪器要求严格进行的，可见水氡的浓度变化不受室温、湿度等因素的影响。

4 结论

(1) 长期以来我国的水氡观测一直采用定时人工取样、脱气、测试的方法，不可避免的存在一定的人为误差，影响对氡正常动态规律的认识和映震能力的提高，还可能漏失瞬态的异常信息 (中国地震局监测预报司，2007)。KJD-2000R 测氡仪 (α 谱仪) 自动鼓泡和读数，完全避免了人工鼓泡和读数引起的误差，对提高水氡观测资料质量及映震能力，具有一定实际意义。

(2) FD-105K 型静电计和 FD-125 型室内氡钍分析器观测对象为 ^{222}Rn 衰变产生的 α 粒子，KJD-2000R 测氡仪观测对象为 ^{222}Rn 衰变子体 ^{218}Po 、 ^{214}Po 和 ^{220}Rn 衰变子体 ^{216}Po 、 ^{212}Po 衰变释放的 4 组 α 粒子，观测对象更加明确。

(3) 观测对象、计算方法不同，观测结果就不同，这是 KJD-2000R 测氡仪相对于 FD-125 型室内氡钍分析器测值低的主要原因。KJD-2000R 测氡仪观测结果加入衰变时间和水样体积计算水中氡含量，氡含量明显增大。引入衰变时间和水样体积计算水中氡含量，在一定程度上可以校正这些因素给水中氡含量观测带来的影响。

(4) 通过试验分析认为，虽然每天水样的氡含量衰变形态不尽相同，但在测数时间 30 min 左右测到水样的最高氡含量，因此认为 KJD-2000R 测氡仪 (α 谱仪) 观测水中氡含量时的测数时间为 30 min 较合适。

(5) 通过使用不同容积干燥管的氡含量测值比较，认为 KJD-2000R 测氡仪配有的干燥管容积 (0.226 L) 过大，致使干燥管堵塞气路，水中脱出气体有一部分无法循环到探测器中，使测值降低，更换为水氡常规观测使用的干燥管 (0.011 L) 后，KJD-2000R 测氡仪测值明显增大。

(6) KJD-2000R 测氡仪和 FD-125 型室内氡钍分析器平行对比水氡观测严格按规范和仪器要求进行，在恒温条件下即室温 $20^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ ，湿度 $< 80\%$ 时，鼓泡水温与观测室温相差 $\leq \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，且鼓

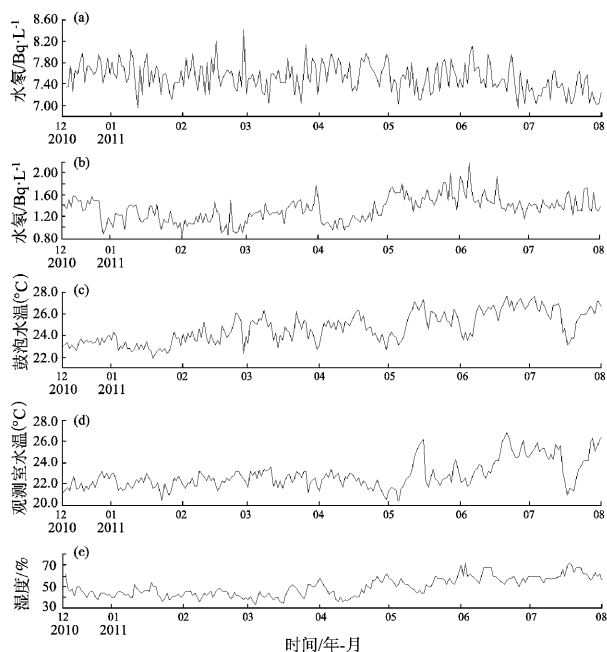


图 5 KJD-2000R 测氡仪与 FD-125 型室内氡钍分析器平行对比观测曲线

(a) FD-125 型室内氡钍分析器水氡曲线；(b) KJD-2000R 测氡仪 R_1 测值水氡曲线；(c) 鼓泡水温；(d) 观测室温度；(e) 湿度

Fig. 5 Paralled observation curves comparison of water radon reared by KJD-2000R and FD-125

(a) Water radon curve recorded by FD-125; (b) Water radon curve of R_1 recorded by KJD-2000R; (c) Water radon curve influenced by bubbling temperature; (d) Water radon curve influenced by temperature in library; (e) Water radon curve influenced by humidity

泡水温保持在 20 ℃ ~ 30 ℃, 因此水氡观测结果不受鼓泡水温、观测室室温、湿度等因素的影响。

(7) FD-125 型室内氡钍分析器水氡测值稳定, 但观测时间长, 异常变化幅度小, 闪烁室本底难降; KJD-2000R 测氡仪观测时间短, 易于清洗, 且异常变化幅度明显, 容易识别, 也可用于野外测量。建议在保留原有水氡观测仪器的基础上, 长期对²²²Rn 衰变子体²¹⁸Po 进行观测, 以期更好、更充分地捕获水氡前兆异常信息, 为地震监测预报服务。

参考文献:

曹玲玲, 王宗礼, 刘耀炜. 2005. 氡迁移机理研究进展概述[J]. 地震研究, 28(3): 302-306.
崔勇, 许秋龙, 张学敏, 等. 2008. CD-L1 型流气式固体氡源替换 RN-150 型氡源的研究[J]. 地震地磁观测与研究, 29(2): 80-85.
国家地震局. 1985. 地震水文地球化学观测技术规范[M]. 北京: 地震出版社.

贾文懿, 方方, 周蓉生, 等. 2002. 不同介质中氡运移的异常现象与 α 衰变[J]. 成都理工学院学报, 29(5): 561-566.
刘菁华, 王祝文, 田钢, 等. 2007. 均匀覆盖层中氡迁移的数值模拟[J]. 地球物理学报, 50(3): 921-925.
刘学领, 马建英, 程立康, 等. 2008. 水氡观测样品脱气温度及观测时间的选取[J]. 地震地磁观测与研究, 29(2): 55-58.
谭延亮, 肖德涛, 赵桂芝, 等. 2008. 理想条件下氡及其子体垂直运移实验数据分析[J]. 物理学报, 57(9): 5 452-5 457.
王雪莹, 陶月潮, 张朝明, 等. 2002. 庐江台人工测氡与数字化自动测氡对比分析研究[J]. 地震地磁观测与研究, 23(3): 26-32.
张清秀, 陈懿德. 2007. 乌鸦嘴泉水氡动态异常与恒春海域强震的关系[J]. 地震地磁观测与研究, 28(5): 162-167.
张伟, 王吉易, 鄂秀满, 等. 1988. 水文地球化学预报地震的原理与方法[M]. 北京: 教育科学出版社.
张昱, 刘小凤, 常千军, 等. 2010. 大震前水氡同步异常变化及其预测意义探讨[J]. 地震研究, 33(3): 253-258.
赵桂芝, 肖德涛. 2007. 土壤氡浓度的测量方法现状[J]. 核电子学与探测技术, 27(3): 583-587.
中国地震局监测预报司. 2007. 地震地下流体理论基础与观测技术[M]. 北京: 地震出版社.

Research on Observatory result of Water Radon recorded by KJD-2000R Emanometer

LI Chao-ming¹, YANG Zhi-jian², ZHU Pei-yao², JIN Ming-pei³, CHU Jin-xue³

(1. The Western Yunnan Earthquake Prediction Study Area, Earthquake Administration
of Yunnan Province, Dali 671000, Yunnan, China)

(2. Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

(3. Midu Seismic Station, Earthquake Administration of Yunnan Province, Midu 675600, Yunnan, China)

Abstract

Combining the parallel observation of radon content in Xiaguan hot spring recorded by the traditional FD-125 indoor Radon-Thorium emanometer and KJD-2000R emanometer (α ray spectrometer) which is a new-type instrument of monitoring water radon content, we compared and analyzed 4-set of α energy pulse number, radon content and influence factors during observation. The results show that the KJD-2000R emanometer have some advantages than FD-125 emanometer, such as it has clear objects observed, can bubbling and reading automatically, so it can efficiently reduce errors caused by bubbling and reading artificially. These comparisons and tests will be helpful for improving understanding of variation of the radon and its daughter's, and the qualities and earthquake reflecting ability of radon observation data. It has the certain practical significance for finding precursor abnormal information of water radon, and also provides the references for seismic observation and the type selection of water radon observation emanometers.

Key words: KJD-2000R emanometer; α particles; observation result; Xiaguan hot spring