

邱永平, 2015, P2000 型测氦仪在气氦连续观测中记录的潮汐现象, 中国地震, 31(1), 152 ~ 157。

# P2000 型测氦仪在气氦连续观测中记录的潮汐现象

邱永平

宁波地震台, 浙江省宁波市庄桥街道灵山村 315029

**摘要** 利用宁波地震台 ZK03 井的原气氦观测系统, 将 P2000 型测氦仪应用于气氦连续观测试验, 记录到较明显的潮汐现象且其波动幅度较大。功率谱估计结果显示, 观测数据存在显著的固体潮效应。同时, 与同井观测的动水位、同台观测的 VS 垂直摆 NS 向记录的潮汐波形进行对比, 发现曲线变化趋势基本一致, 每天都有两峰两谷, 但存在约 2h 的时间差。P2000 型测氦仪具有自动扣除本底污染的功能, 其记录到的波形能更真实地反应地下流体中气氦浓度的动态变化过程, 可应用于地震流体气氦的连续观测。

**关键词:** 气氦观测 P2000 型测氦仪 固体潮

[文章编号] 1001-4683 (2015) 01-0152-06 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

P2000 型测氦仪是中国地震局流体台网仪器优化改造项目组从国外引进的地震前兆观测仪器。该仪器由德国设计、法国制造, 它具有的极端的稳定性、领先的算法等优点, 经过数十年的验证已得到世界范围内同行的公认。该仪器作为 2 次计量传递的标准仪器, 被指定在国际各个氦室统一使用, 目前所有的国际实验室的测量结果都出自这套仪器<sup>①</sup>。宁波地震台为全国首批 8 个试测台站之一。该台在将该仪器应用于气氦连续观测的试验中, 记录到了明显的潮汐现象。

有学者认为, 到目前为止, 地球固体潮是正在起作用的唯一地球形变现象。如果氦异常是地壳岩石应力变化引起的, 那么地下水中氦浓度的变化是否反映地壳固体潮的变化特征, 便是证明“应力-氦浓度”之间因果关系的最好证据(史勇等, 1993)。而在气氦连续观测中如果能够记录到潮汐变化, 则说明由仪器、井口脱气-集气装置、观测井组成的观测系统的设计较为合理, 能够及时反映地下流体中气氦的连续变化信息。本次试验即为 P2000 型测氦仪的推广应用所作的基础性研究工作。

[收稿日期] 2014-06-04; [修定日期] 2014-07-12

[项目类别] 中国地震局流体台网仪器优化改造项目 (TC11R42G)

[作者简介] 邱永平, 男, 1959 年生, 高级工程师, 主要从事地震监测工作。E-mail: zjnbdtz@163.com

① 北京瑞恒联合科技有限公司, 2010, 德国 SAPHYMO GMBH 公司测氦仪 ALPHGUARD 系列中文操作手册

## 1 井孔及观测仪器

### 1.1 井孔概况

宁波地震台地处我国海岸线中部,杭州湾口的南侧,宁波平原北西丘陵的南麓,距东海海岸线约 16km,海拔标高 20m。流体观测 ZK03 井在该台院内,1979 年 4 月成井,井深 83.06m,井孔岩性为白垩纪紫灰色凝灰岩。该井的地下水类型为山前补给的基岩构造裂隙水,两个主要含水层在 16.5 ~ 25.0、44.5 ~ 48.5m 处,水质属低矿化度  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  型水,2014 年 1 月日均自流量小于 1t,井口水温约为 17℃。

### 1.2 P2000 型仪器特性简介

P2000 型测氡仪使用最先进的 3D $\alpha$  谱脉冲电离室技术,具有高精度、高稳定性的优点,仪器 5 年内不需标定,响应速度在同类仪器中最快,仅需 5min 就可对断层气体进行取气测量。对气氡浓度高低动态的波动程度,在同类仪器中响应最快,并具有自动扣除本底污染的功能。其可靠性在同类仪器中最高,能适应野外和矿山等任何恶劣环境。P2000 型测氡仪量程范围 2 ~ 200000Bq/m<sup>3</sup>,可每分钟或每 10min 记录 1 个数据,可以连续记录<sup>②</sup>。

## 2 测试方法及结果

### 2.1 测试方法

利用宁波台原有的气氡观测系统(邱永平,2014),将 SD-3A 型自动测氡仪的排气管接入 P2000 型测氡仪的进气口,再从其出气口排气,即 2 套仪器作串联并行观测(图 1)。P2000 型仪器设置为每 10min 记录 1 个数据。

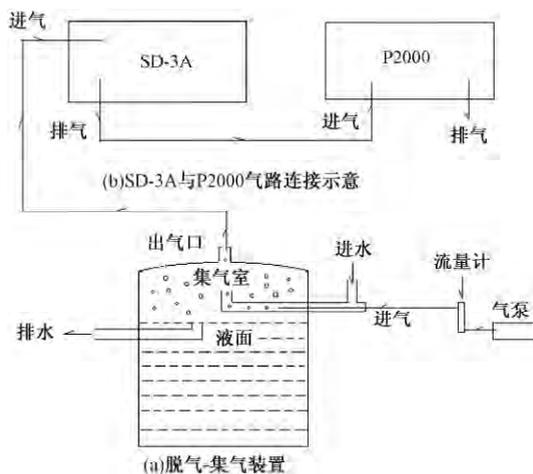


图 1 脱气-集气装置(a)、SD-3A 型与 P2000 型测氡仪气路连接(b)示意图

### 2.2 测试结果

#### 2.2.1 气氡浓度的月变化规律

图 2 是 2014 年 1 月 1 ~ 31 日 P2000 型测氡仪记录的 ZK03 井气氡 10min 值曲线。由图

<sup>②</sup> 北京瑞恒联合科技有限公司,2010,德国 SAPHYMO GMBH 公司测氡仪 ALPHGUARD 系列中文操作手册

2 可见,在正常情况下每天能记录到较清晰的半日周期固体潮,一日两峰两谷;月潮汐变化为两次大两次小(气氦变幅)的半月周期波。气氦浓度月平均值约为  $4.45\text{Bq/L}$ ,除突跳点外,最大值为  $6.14\text{Bq/L}$ ,最小值为  $3.04\text{Bq/L}$ ,最大波动幅度达  $3.10\text{Bq/L}$ ,为月平均值的  $69.7\%$ ,说明记录到的潮汐变化幅度较大。

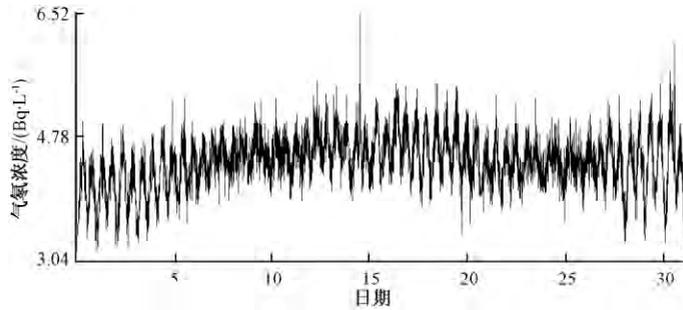


图2 2014年1月P2000型测氦仪记录的ZK03井气氦浓度10min采样曲线

对图3中的数据进行功率谱估计,结果表明,该数据中含有的  $[0.036 \quad 0.044](1/h)$  ( $27.78 \sim 22.73\text{h}$ ) 频率成分,对应于固体潮中的日变化,  $[0.076 \quad 0.085](1/h)$  ( $13.16 \sim 11.76\text{h}$ ) 频率成分对应于半日潮的变化、 $[0.121 \quad 0.128](1/h)$  ( $8.26 \sim 7.81\text{h}$ ) 频率成分对应于  $1/3$  潮的变化,该数据清晰地反映了固体潮的优势频率分量(图3)。

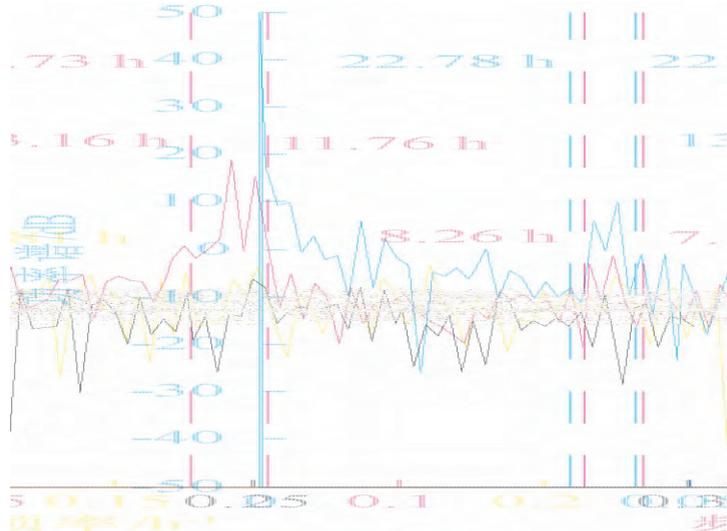


图3 气氦浓度2014年1月1~31日10min采样数据功率谱估计结果

### 2.2.2 气氦、动水位、垂直摆记录的潮汐曲线对比

图4是2014年1月4日00时~5日24时宁波地震台气氦、动水位、VS垂直摆记录的潮汐波形曲线。该台为综合台,前兆测项有形变、流体等。台内有人工开凿的进深约  $43\text{m}$  的专用山洞,洞室顶覆盖层厚大于  $30\text{m}$ ,山坡上有杂草、松树等植被,洞内有7道防护门,仪器室内日温差极小,年温差小于  $0.3^\circ\text{C}$ ,常年保持在  $18.0^\circ\text{C}$  左右,湿度大于  $95\%$ 。自2001年

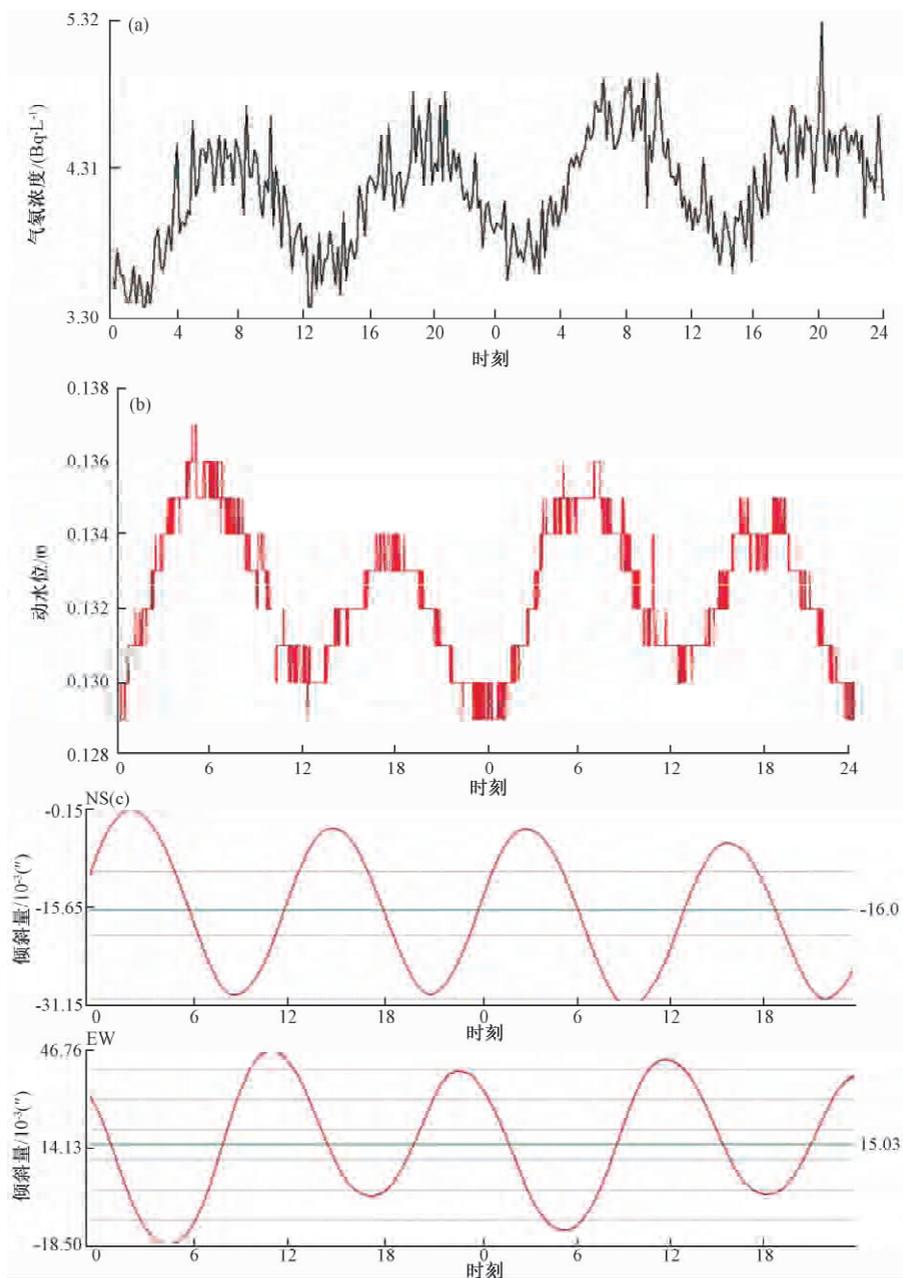


图4 2014年1月4日00时~5日24时宁波台气氦、动水位、垂直摆记录的潮汐波形曲线

(a) ZK03井气氦浓度10min值曲线;(b) ZK03井动水位分钟值曲线;(c) VS垂直摆分钟值曲线(水平直线为均值)

4月安装VS垂直摆观测仪器以来,10多年的观测数据表明仪器工作稳定,月平均零漂值约为NS: $26.1 \times 10^{-3}''$ ;EW: $51.9 \times 10^{-3}''$ 。正常情况下每天都能记录到清晰的半日周期固体潮,一日两峰两谷,分钟值曲线光滑,月潮汐变化为两次大两次小(变幅)的半月周期波(夏超德,2005)。动水位与气氦为同井观测。动水位在正常情况下每天也能记录到清晰的半

日周期固体潮,一日两峰两谷;月潮汐变化同样为两次大两次小(水位变幅)的半月周期波,但波动幅度不大(邱永平,2011)。

由图4可见,垂直摆NS向、动水位、气氦浓度的潮汐变化趋势基本一致,每天都有两峰两谷,但存在时间差。垂直摆NS向首先出现峰值和谷值,约2h后动水位出现峰值和谷值,再过约2h后气氦浓度出现峰值和谷值。

### 3 讨论

(1)地球固体潮是极其微小的地壳应变现象,只有极灵敏的应变仪器才能观测到地球固体潮现象。地下水中氦浓度的变化尤其是逸出气氦浓度的变化能反映出地壳岩石的潮汐变化,说明它们对于地壳岩石应力的变化具有相当高的灵敏度(张炜等,1992)。P2000型测氦仪在气氦连续观测中能记录到潮汐现象,说明该仪器对气氦浓度高低动态的波动程度响应速度很快;记录到的潮汐变化幅度较大,可能与其具有自动扣除本底污染的功能有关。因此,波形更能真实反应地下流体中气氦浓度的动态变化过程,可在地震流体气氦连续观测中应用。

(2)气氦潮汐现象的形成可能由于地壳的形变作用致使含水层岩石孔隙压力发生变化,改变了氦在水中的含量所致。

(3)宁波台使用P2000型测氦仪观测到的潮汐现象表明,该台井水中的氦浓度对于围岩应力变化的反映十分灵敏;同时也说明井口脱气-集气装置和气路的合理设计是获得地下流体化学组分含量正常动态变化波形的关键。

**致谢:**中国地震局地壳应力研究所刘耀炜研究员审核全文并提出宝贵意见;文中谱分析工作由中国地震台网中心马玉川完成,特此致谢。

### 参考文献

- 邱永平,2011,宁波ZK03井动水位观测中的干扰异常现象分析,内陆地震,25(1),36~42。  
邱永平,2014,气氦观测中的恒流鼓泡式脱气-集气装置研制与应用,内陆地震,28(4),335~340。  
史勇、张炜,1993,以氦报震的力学基础-氦与固体潮的关系,地震学报,15(1),103~108。  
夏超德,2005,宁波地震台地倾斜模拟与数字观测对比分析,华南地震,25(2),80~87。  
张炜、史勇、张平,1992,地下水中逸出气氦的研究——水化地震前兆新项目探索,中国地震,8(1),18~25。

## The tidal phenomenon recorded by P2000 radon measuring instrument in continuous gas radon observation

*Qiu Yongping*

Ningbo Seismic Station, Earthquake Administration of Zhejiang Province, Ningbo 315029, Zhejiang, China

**Abstract** Ningbo Seismic Station applied the P2000 radon measuring instrument to continuous gas radon observation experiment in Well ZK03 in its gas radon observation system, and recorded obvious tidal phenomenon and larger wave amplitude. The power spectrum estimate shows that there are significant tidal effects in the data observed. We also compared the dynamic water levels of the same well observation and VS vertical pendulum NS record to the tidal waveform and found the consistency in the curve variations: Both have two peaks and two valleys with about 2 hours in difference. The instrument has the function of the automatic deduction of background pollution, and can better reflect the dynamic change of radon process in underground fluid. The conclusion can be applied to the continuous earthquake fluid gas radon observation.

**Key words:** Gas radon observation P2000 instrument of measuring radon Solid tide