

天津王 3 井逸出氦气浓度变化特征分析¹

龚永俭 陈嵩 程立康 李旭东

(天津市地震局, 天津 300201)

摘要 对天津王 3 井逸出氦气浓度日变化和年变化特征进行了分析, 结果表明: ①王 3 井逸出氦气浓度日变幅背景值在 0.0012%—0.0036% 之间, 日变幅在冬季偏高; ②在大多数观测日的 10—18 时左右, 王 3 井逸出氦气浓度日变化曲线有“波谷”, 但没有明显的“波峰”, 但在部分观测日逸出氦气浓度日变化曲线的“波谷”却不明显, 王 3 井逸出氦气浓度日变化形态不属于“固体潮”型; ③王 3 井逸出氦气浓度年变化曲线呈上升的“双峰双谷”似“潮汐”形态, 一般在 6 月、12 月左右出现“波峰”, 3 月、9 月左右出现“波谷”, 相比较而言, “波峰”更显著。通过对井孔所在地的地质构造、大气温度、降水、同井孔水位、周边地热资源开采等因素的分析, 笔者认为王 3 井逸出氦气浓度的变化基本不受大气温度、降水和同井孔水位变化的影响, 主要与井孔所在地的断层活动性和周边地热资源的开采有关。

关键词: 氦气 日变化 年变化 王 3 井 天津

引言

氦气质量轻、粒径小、粘度小、渗透与扩散力极强、迁移速度快(孔令昌等, 2007; 曲同磊等, 1993)。地壳中的氦气, 主要分布在矿物晶体的晶格中或岩石的孔隙中。地壳应力作用使矿物晶体的晶格被破坏或岩石的孔隙增大, 促使了氦气的释放与迁移。氦气是惰性气体, 在扩散与迁移的过程中不参与化学反应, 氦气的异常变化只能是地壳应力场的作用所致(孔令昌等, 2007)。氦气的震前异常信噪比高, 具有较强的映震灵敏性, 特别是在预测地震的短临阶段其映震能力明显优于其他测项(武晓东等, 2012; 杨晓芳等, 2013)。在活动断裂带或火山附近常能观测到氦气含量异常升高(高玲等, 2012), 这对研究地壳中的氦气变化具有重要意义。在国外, 日本、前苏联和美国均曾开展过地壳氦气动态观测及其在地震预测中的应用研究, 取得了大量宝贵的异常资料和研究成果(孔令昌等, 1995)。在国内, 范树全等(1993)、孔令昌等(1995; 2007)、魏汝庆(2000a)、魏汝庆等(2000b; 2001)、高小其等(2002)、李桂清等(2003)、崔勇等(2008)、高玲等(2012)、武晓东等(2012)、杨晓芳等(2013)分别根据资料、震兆异常识别及映震效能等方面, 对特定井(泉)的氦气浓度进行了分析研

1 基金项目 中国地震局地震科技星火计划攻关项目“天津前兆台网数据跟踪分析质量监控与产出应用研究”(XH15003)、天津市地震局局内科研项目“王 3 井数字化氦变化特征的初步研究”(121006)

[收稿日期] 2015-02-12

[作者简介] 龚永俭, 男, 生于 1972 年。高级工程师。1992 年 6 月毕业于防灾技术高等专科学校应用地球物理专业, 2009 年 7 月毕业于西南大学计算机科学与技术专业, 工学学士。主要从事地震台站流体、电磁观测技术和信息节点管理技术的研究。E-mail: gong_123@126.com

究，其相关成果为氦气浓度观测资料更好地应用于地震预测以及后续的研究工作提供了重要的参考依据。但是，由于地质构造条件和环境等因素的差异，每一口井（泉）的逸出氦气浓度变化特征又与其它井（泉）逸出氦气浓度变化特征不尽相同，甚至有较大的差异，因而影响逸出氦气变化特征的因素也不尽相同。因此，全面开展对特定井（泉）的逸出氦气浓度的正常日变化和年变化特征及其影响因素的研究，是目前地震预测研究工作中所亟需的。它不但有助于从逸出氦气浓度观测资料中识别和提取震前异常，还有助于了解井（泉）所在地周边断层的活动性（倪明康，1994），为震害防御未雨绸缪。为此，笔者以2012—2014年天津王3井（以下简称“王3井”）逸出氦气浓度观测资料为依据，研究了该井逸出氦气浓度的日变化和年变化特征，结合井孔所在地的地质构造、井孔周边地热开采等环境因素的调查结果，以及大气温度、降水、同井孔水位观测资料，对王3井逸出氦气浓度变化的影响因素做了初步研究。

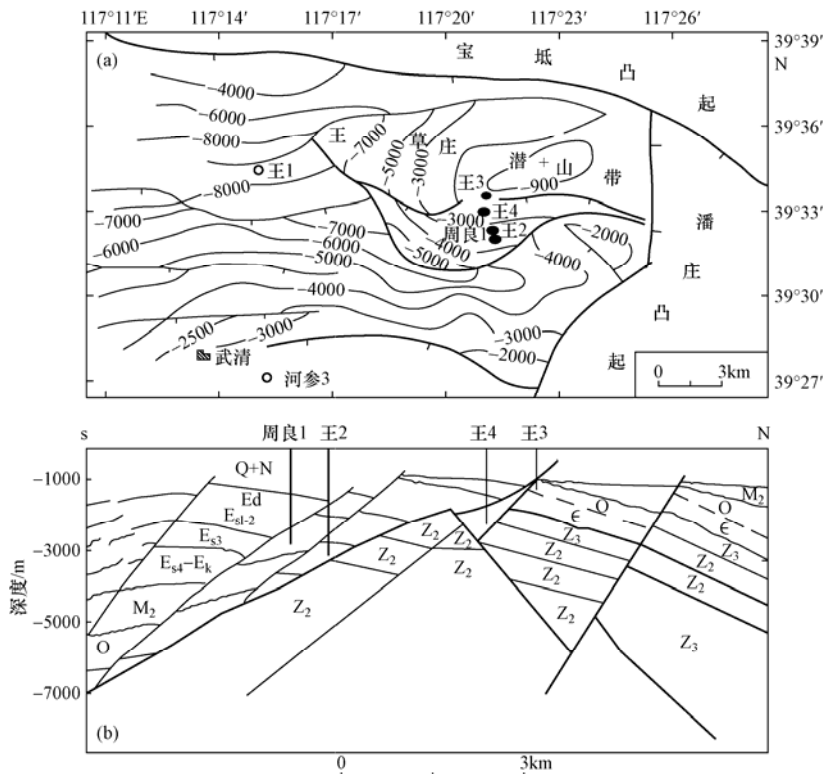
1 井孔及观测概况

1.1 井孔概况及地质构造

王3井位于天津市宝坻区周良庄镇尹家铺村北，距宝坻城区约25km，井孔封闭性较好，属承压井。井孔所在地经度为E117°21′、纬度为N39°33′。1978年3月3日成井，井深1077m，裸眼段为882—1077m，含水层岩性为奥陶系灰岩，属岩溶裂隙承压水，热储层为下古生界奥陶系马家沟组和亮甲山组灰岩及白云岩。在地质构造上位于冀中凹陷东北端的王草庄凸起潜山带上，其北临宝坻凸起，东靠潘庄凸起，恰好处于这两个凸起夹持的拐角处，属于应力易于集中点。凸起内部断层纵横交错，构造复杂。该地区系现今小震活动频繁地带，同时距新生代古地震活动遗址较近。从水动力分带特征看，该井位于水动力循环的弱交替带内，具体如图1所示。

1.2 观测概况

王3井位于宝坻区周良地热异常区，原是一口地热自流井，用于水化学模拟观测（图2）。由于宝坻区人民政府与珠江合生公司联合在该井所在地开发京津新城，加之当地里自沽农场又建设了热带植物园和采摘园，导致持续和大量地开采地热资源，致使王3井井压降低，于2007年8月断流，最终被迫停止水化学模拟观测。为了使该井继续在地震预测中发挥作用，经充分论证后在该井增加了逸出氦气浓度、水位和水温3个数字化流体测项。其中，逸出氦气浓度使用GWK-1型数字化自动测氦仪进行观测，其测量方式为：地下水中的逸出气和部分溶解气经集气装置集气后，通过气路进入缓冲器后，再进入仪器的传感器，一部分氦气进入渗透膜被检测出来，而另一部分氦气和其它气体流出传感器的集气容器自然扩散，检测结果以电压信号形式输出，经格式转换后成百分含量。GWK-1型数字化自动测氦仪的工作原理是：根据氦气的特殊物理化学特性及氦气对石英的高渗透性原理，借助真空学和电学方法将测得的逸出氦气浓度的变化转换成电信号输出（中国地震局监测预报司，2007）。GWK-1型数字化自动测氦仪的技术指标为：①测量灵敏度：氦含量 $\leq 0.1000\%$ 时，灵敏度 $\leq 0.0015\%$ ；氦含量 $\geq 0.100\%$ 时，灵敏度 $\leq 0.0010\%$ ；②测试精度：相对标准误差 $\leq 5\%$ ；③信号输出范围：电压值为0—2V；④测量范围：0.0015—1.5000%；⑤采样率：采集周期可自由设定；⑥测量方法：相对渗透法；⑦仪器稳定性：在温度、湿度一致的情况下 $\leq \pm 15\%$ 。



图中“○”和“●”为井口位置

图 1 王 3 井构造位置及地质剖面示意

Fig.1 Tectonic map and geological profile showing the location of Wang 3 well

地质时间		井深/m	层厚/m	柱状图 1:5000	岩性描述	井身结构
新生界	第四系 平原组	339.0	339.0			0.1275m 127.09m
	上第三系 明化镇组				下都以泥岩为主夹粉砂岩、泥质粉砂岩及砂泥岩	0.07m 271.5m 水 泥
下古生界	马家沟组 亮甲山组 奥陶系	882.0	543.0			0.06m 884.3m
		991.0	109.0		以灰岩为主，夹含泥质灰岩及白云质灰岩，上都裂隙较发育	
		1077.0	86.0		灰岩与白云质灰岩及灰质白云岩五层，裂隙发育千井深1046.8-1049.06m，放空2.26m	1077m

图 2 王 3 井柱状剖面图

Fig.2 Stratigraphy surrounding Wang 3 well

2 资料选取

笔者选取了2012年1月1日—2014年12月31日王3井逸出氦气浓度观测数据。之所以选取3个年度的逸出氦气浓度观测数据，目的是为了更准确地把握逸出氦气浓度日变化和年变化的特征，消除年变化中的偶然性因素，使分析结果更客观、真实和可信。分析王3井逸出氦气浓度日变化特征时，选用的是分钟值数据；分析王3井逸出氦气浓度年变化特征时，选用的是日均值数据。为分析王3井逸出氦气浓度变化的影响因素，笔者还使用了大气温度日均值数据、宝坻地区降水量数据、王3井水位分钟值和日均值数据，以及周边主要地热资源开采井的开采情况调查结果。

3 逸出氦气浓度变化特征分析

3.1 日变化特征分析

王3井逸出氦气浓度相互邻近的分钟值之间往往存在着较大的差异，相邻的高值与低值之间可相差到1%，逸出氦气浓度的高值与低值反复相间出现，因此逸出氦气浓度分钟值曲线表现为密集的高频型竖线汇聚，曲线整体显得粗壮、不光滑（图3）。在大多数观测日，每日的10—18时左右，在逸出氦气浓度分钟值曲线上会出现一个“波谷”，其他时段的逸出氦气浓度分钟值变化较平稳，全天基本没有“波峰”。在部分观测日，王3井逸出氦气浓度分钟值曲线却没有“波谷”，趋势线近似为一条直线。图3为2012年12月2日和12月3日王3井逸出氦气浓度分钟值曲线对比图，从图中可以看出：12月2日王3井逸出氦气浓度分钟值动态曲线基本没有“波谷”；但在相邻的12月3日，王3井逸出氦气浓度分钟值动态曲线的“波谷”却非常明显。根据高玲等（2012）和武晓东等（2012）的分析，许多井孔（例如北京大灰厂井与五里营井）的逸出氦气浓度日动态曲线表现为“一峰一谷”，8—10时出现最高值，15—16时出现最低值，“波峰”和“波谷”均清晰可见。而与这些变化形态相比较，王3井逸出氦气浓度日变化曲线显得很独特。

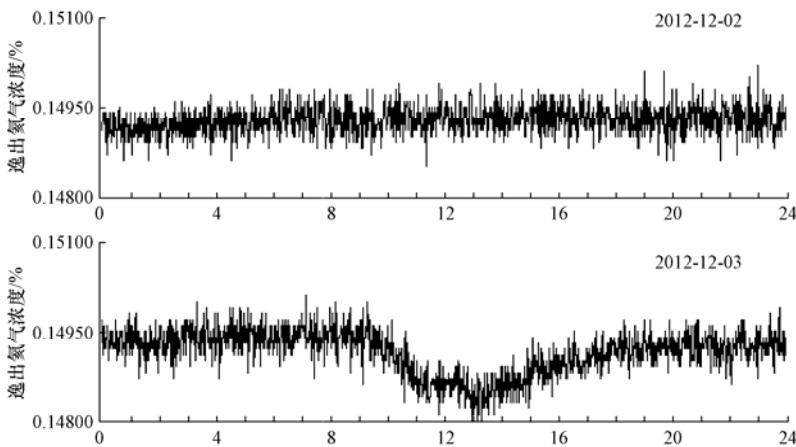


图3 王3井逸出氦气浓度分钟曲线对比图

Fig.3 Plot of minute value of helium concentration in Wang 3 well

王3井逸出氦气浓度日分钟值曲线是否出现“波峰”或“波谷”及其整体变幅的大小，均与固体潮的大潮日和小潮日无关。笔者随机选取了2012年12月2日和12月3日王3井逸出氦气

浓度与同井孔同日的水位分钟值进行相关性分析,得到的相关系数分别为 -0.233 和 0.135 。图4为2012年12月2日—12月3日王3井的水位分钟值曲线和同日王3井逸出氦气浓度分钟值曲线对比图,从图中可以看到:这两日的水位分钟值曲线潮汐效应均较明显,但12月2日的逸出氦气浓度日动态曲线并无“波谷”。而在逸出氦气浓度呈明显“波谷”的12月3日,王3井逸出氦气浓度和同一井孔的水位分钟值的相关系数反而较低。王3井水位分钟值日动态曲线表现为典型的“双峰双谷”的固体潮型。显然,王3井逸出氦气浓度日变化形态不属于固体潮型,这是因为在地下流体数字化观测中,绝大多数的深井孔水位以及部分井孔的水温日变化能够显示出固体潮的特征,因此习惯上有“固体潮型”或“潮汐型”的动态类型分类造成的。

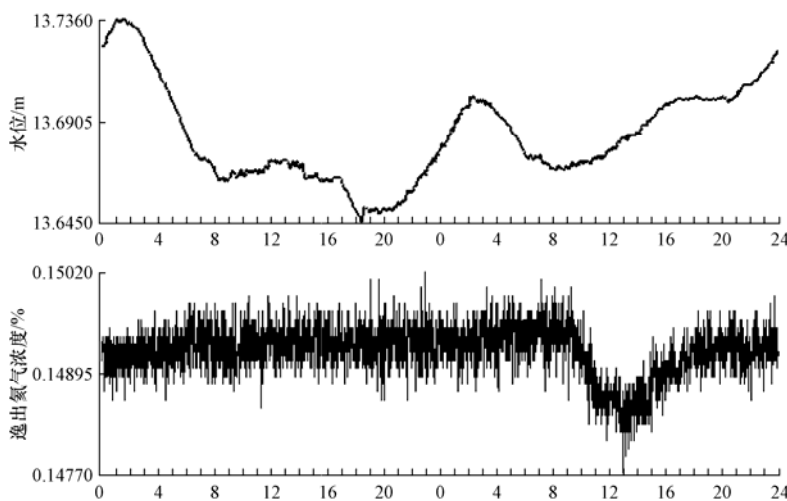


图4 王3井水位分钟值与逸出氦气浓度分钟曲线对比图(2012年12月2日—12月3日)

Fig.4 Comparison between minute value of water level and helium concentration in Wang 3 well

(From Dec. 2nd to Dec. 3rd, 2012)

同时对2012年1月1日—2014年12月31日王3井逸出氦气浓度每日的分钟值进行极值(最大值、最小值)分析,结果表明该井逸出氦气浓度日变幅背景值在 0.0012% — 0.0036% 之间,日变幅在冬季偏高,其它季节则稍低,大多数观测日的逸出氦气浓度日变幅集中在 0.0015% — 0.0020% 之间(如图5)。

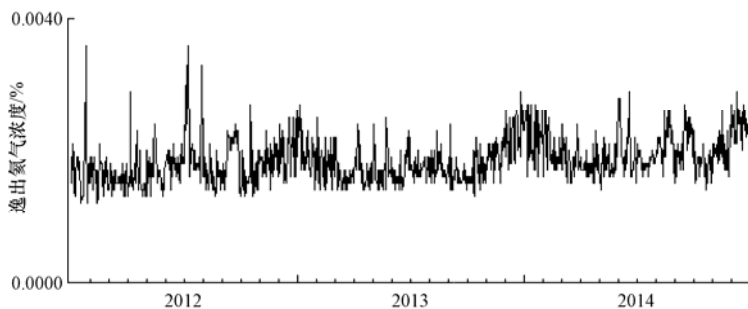


图5 王3井逸出氦气浓度日变幅曲线

Fig.5 Diurnal range curve of helium concentration in Wang 3 well

3.2 年变化特征分析

为了分析王3井逸出氦气浓度的年变化特征，笔者分别绘制了2012、2013和2014年该井逸出氦气浓度的日均值曲线（如图6）。通过对比分析发现，王3井逸出氦气浓度年变化曲线均呈波动型上升，一般在6月、12月左右各出现一次“波峰”，3月、9月左右各出现一次“波谷”，上半年逸出氦气浓度变化平稳，9月后逸出氦气浓度上升速率明显增大。虽然是“双峰双谷”型的年变化动态，但年变化曲线整体呈上升趋势，“波峰”与“波谷”的整体变幅相差较大，“波峰”（特别是冬季“波峰”）相对较明显，“波谷”则不太明显。6月中旬至8月王3井逸出氦气浓度日均值数据经常会出现突跳，其它时段的日均值数据则较稳定。对于井孔逸出氦气浓度年变化属于哪种类型，目前学界尚无具体的分类。但据高玲等（2012）和武晓东等（2012）的研究，逸出氦气浓度年变形态有“单峰单谷”型，例如北京大灰厂井和五里营井逸出氦气浓度年变形态均呈现有规律的“夏低冬高”型，每年的1月左右数值最高，7、8月最低。同时据魏汝庆（2000a）的研究，逸出氦气浓度年变形态也有近乎“直线”型，例如聊古一井逸出氦气浓度日均值变化范围最小，全年日均值曲线近乎一条直线。王3井逸出氦气浓度年变化类型与北京大灰厂井、五里营井、山东聊古一井等井孔的逸出氦气浓度年变化特征相去甚远，有其独特性，可自成一类，因此笔者称之为“类潮汐”型。另据孔令昌等（1995；2007）的研究，氦气变化特征中的“类潮汐”性变化，往往是观测井直接位于断裂带上，而且其氦气主要来自断裂带的岩体裂隙。王3井逸出氦气浓度年变化有“双峰双谷”的似“潮汐”性特征，这在一定程度上表明其对附近断层活动也有良好的监测能力。

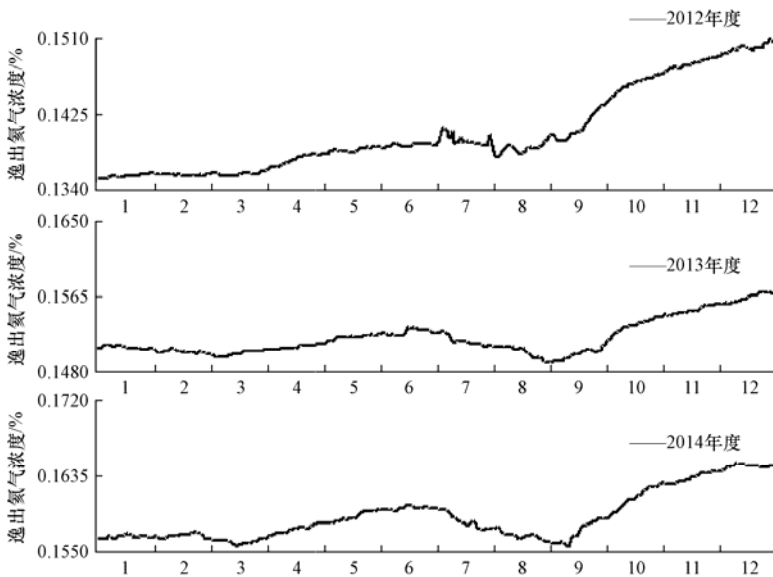


图6 王3井逸出氦气浓度日均值曲线

Fig.6 Diurnal mean value curve of helium concentration in Wang 3 well

2012、2013和2014年王3井逸出氦气浓度日均值曲线变化形态很相似。为了进一步量化这种相似性，笔者对3个年的王3井逸出氦气浓度的日均值进行了相关性分析，得到了2012年与2013年、2013年与2014年、2012年与2014年的相关系数分别为0.88、0.98和0.92，

这表明 3 个年的逸出氦气浓度观测数据在统计上的相关性非常高。在这 3 个年内宝坻及邻近地区没有发生中强地震,用这 3 个年度的数据进行王 3 井逸出氦气浓度的年变化特征分析是可行的,得到的结果具有典型、客观和真实性,是可借鉴的。

3.3 影响因素分析

王 3 井逸出氦气浓度变化特征与其他学者对多口井逸出氦气浓度变化特征的研究结果存在很大差异,为此笔者从以下几个方面对王 3 井逸出氦气浓度变化的影响因素进行了分析。

(1) 井孔所在地断层活动性的影响。地下水中的化学成分是在一定水文地球化学环境中形成的,受到许多因素的制约。在众多的因素中,对地下水化学成分动态变化影响最大的是地质构造、地下水地球化学环境、水动力条件、热动力条件等(张炜等,1988;李圣强等,1998)。地壳中氦气的释放与迁移,是地壳应力场的反映。在地壳应力作用下,矿物晶体的晶格被破坏,岩石的孔隙增大,形成“贯通”或“开放”的环境,引起氦气的释放与迁移(孔令昌等,2007)。王 3 井位于宝坻凸起和潘庄凸起夹持的拐角处——王草庄凸起(见图 1a),是应力易于集中的地点,因此有利于地壳中氦气的释放和迁移。在王草庄凸起处主要分布有北西西向的大口屯-汉沽断裂以及近东西向的牛蹄河断裂和王草庄断裂,这些断层均属于张性正断层,它们把王草庄凸起切割成了若干块体,在纵向上起到了将不同深度的含水层“沟通”的作用,造成了地下通道较为顺畅(刘学领等,2009),气体易于迁移,因此氦气被源源不断地释放出来,并迅速地进入到地热系统。同时王 3 井又位于水动力循环的弱交替带,这为氦气的集聚提供了条件,促进了氦气的稳定释放。因此笔者认为王 3 井所在地的断层是影响该井逸出氦气浓度变化特征的基本因素。倪明康(1994)对武山温泉地区地下水中氦的测量与断层关系的研究也表明,进行地下水及土壤中氦的测定,使我们完全有可能判定断层的存在和寻找隐伏断层,并确定其活动性。王 3 井逸出氦气浓度变化特征恰好映证了其所在地周边断层的活动性。

(2) 大气温度的影响。高玲等(2012)在分析了北京大灰厂井氦气释放特征后认为,当温度升高时,大量滞留在裂隙中的氦气随着孔隙压力减弱,被源源不断地释放出来并进入地热系统,由于通道相对顺畅,滞留时间相对较短,因此迁移速度也相对较快。当温度降低时,通道内空隙压力逐渐增强,裂隙中的气体滞留时间相对较长,迁移速度也相对较慢,因此观测到的氦气浓度较高。大气温度对逸出氦气浓度的变化有很大的影响,以致形成了逸出氦气浓度的“冬高夏低”、“单峰单谷”的年变化特征。王 3 井逸出氦气年变化特征表现为“双峰双谷”形态,与“冬低夏高”的“单峰单谷”变化不存在良好的对应关系。笔者选取了 2012、2013 和 2014 年 3 个年的大气温度日均值和同期王 3 井逸出氦气浓度日均值做相关性分析,3 个年的王 3 井逸出氦气浓度与大气温度的相关系数分别为-0.132、-0.227 和-0.293,相关系数相对较低。这 3 个年的大气温度的相关系数分别为 0.95(2012 与 2013 年相关系数)、0.93(2013 与 2014 年相关系数)、0.95(2012 与 2014 年相关系数);而这 3 个年的逸出氦气浓度的相关系数分别为 0.88(2012 与 2013 年相关系数)、0.98(2013 与 2014 年相关系数)、0.92(2012 与 2014 年相关系数)。同种物理量在 2 个年的变化具有较强的相似性。相关性分析结果表明,大气温度和王 3 井逸出氦气浓度在统计上的相关性并不高。而且,王 3 井逸出氦气浓度的年变化特征是“双峰双谷”型,与单纯的“冬高夏低”的“单峰单谷”型有着严格的区别(图 7),这也说明逸出氦气浓度与大气温度变化的相关性不高。因此笔者认为,氦气的释放与迁移是由高压场向低压场的,而大气温度的影响往往在地表,对地壳内部的影响应当是比较微

弱的，因而造成大气温度对氦气的释放与迁移的影响并不显著。

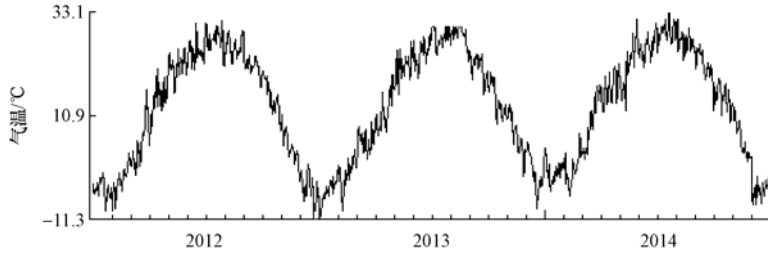


图7 2012—2014年大气温度日均值曲线

Fig.7 Diurnal mean value curve of atmospheric temperature (from 2012 to 2014)

(3) 降水的影响。王3井所在的宝坻地区，雨季一般是每年的6—9月。笔者对降雨日王3井逸出氦气浓度日动态变化分析后发现，在降雨时段或其后，王3井逸出氦气浓度无明显变化。高玲等(2012)对降水与氦气释放的关系分析后认为，大气降水循环过程中微量的氦元素成分对原有井水中大量的放射性 ^4He 释放几乎没有影响。笔者也非常认同这一观点。

(4) 同井孔水位的影响。王志惠等(2011)对延庆地震台五里营井动水位异常对逸出氦气的影响分析结果表明，从2010年7月3日起五里营井动水位因井管内憋气造成周期性急速大幅下降和缓慢回升，严重影响到该井逸出氦气浓度观测数据的变化。而王3井断流后，水位属于静水位类型，在研究时间段内该井水位并没有明显的异常变化，那么，王3井氦气变化是否受到同井水位的影响呢？为此笔者选择了多日的王3井逸出氦气浓度分钟值曲线与同井孔水位分钟值曲线做对比分析后发现，两者在变化形态上并没有明显的对应关系：逸出氦气浓度的日变化特征表现为单一“波谷”，没有“波峰”，属非固体潮型；同井孔水位的日变化特征表现为“双峰双谷”型，属典型的固体潮型。从图4可以清晰地看到，以上2个测项的分钟值变化的区别为：2012年12月2日和12月3日水位曲线的固体潮特征均较显著；2012年12月2日逸出氦气浓度曲线较平直，而12月3日逸出氦气浓度曲线有明显“波谷”。尽管观测逸出氦气的集气装置在水面以下，水位的波动使得逸出氦气进入集气装置前所受压力不同，但同井孔水位对逸出氦气浓度变化特征的影响甚微。

(5) 地热资源开采的影响。地下水是一种复杂的天然水溶液，其中溶解有各种离子、分子以及多种气体。各种元素在地下水中的含量受其溶解度和地下水温度、压力的制约(马建英等, 2008)。当温度、压力改变后，会引起地下水物理及化学动态平衡状态的改变，从而改变地下水的物态和水气(汽)之间的平衡，引起水化学成分的明显变化(刘学领等, 2009)。王3井原本是地热类型的井孔，与周边地热开采井所开采的地热水同出一源。京津新城和里自沽农场对地热资源的大量开采，导致王3井的井压降低，以致断流。近年来，京津新城和里自沽农场对地热资源的开采一直未减，且未实施回灌。据调查京津新城对地热资源的开采，其主要用途是冬季的供暖和全年的温泉洗浴；里自沽农场对地热资源的开采，其主要用途是热带植物园的作物养殖和供暖。这两个单位对地热资源的开采主要集中的在冬季和夏季(尤其是冬季)，而春季和秋季伊始对地热资源的开采较少，这与王3井逸出氦气浓度年动态变化曲线的“波峰”和“波谷”出现的时间比较吻合。京津新城主要开采井周良1井(ZL-1井，位置见图1)开采的地热水季节差别比较悬殊，开采量少时约 $700\text{—}800\text{m}^3$ ，开采量多时可达 2000m^3 。由于开采

单位无详细的地热流量数据,故无法对王3井逸出氦气浓度观测数据与地热资源开采的相关性进行对比。但地热资源的开采,使得相应层位的水体压力降低,无疑给氦气的释放和迁移创造了条件。因此,在开采量大的时间段,王3井逸出氦气浓度观测值会升高。因此笔者认为,王3井逸出氦气浓度变化特征受周边地热资源开采的影响是不容置疑的。

4 结论

(1) 王3井逸出氦气浓度日变幅背景值在0.0012%—0.0036%之间,逸出氦气浓度日变幅集中在0.0015%—0.0020%之间波动,相比较而言,在冬日王3井逸出氦气浓度的日变幅偏高。

(2) 大多观测日的10—18时左右,王3井逸出氦气浓度日观测曲线出现“波谷”,但没有明显的“波峰”;在部分观测日王3井逸出氦气浓度日观测曲线的“波谷”不明显。王3井逸出氦气浓度日变化曲线呈“非固体潮”型,这与同井孔水位日变化形态曲线有较大差别。

(3) 王3井逸出氦气浓度年变化曲线呈上升的“双峰双谷”波动型,一般在6月、12月左右出现“波峰”;在3月、9月左右出现“波谷”;相比较而言,“波峰”更显著。在上半年王3井逸出氦气浓度变化曲线平稳,而9月后逸出氦气浓度上升速率增大。

(4) 王3井逸出氦气浓度基本不受大气温度、降水和同井孔水位变化的影响,主要与井孔所在地断层的活动性和周边地热资源开采有关。

参考文献

- 崔勇, 杨晓芳, 陈玲等, 2008. 哈萨克斯坦卡帕尔-阿拉善4号井氦气(He)含量映震特征. 内陆地震, **22**(3): 243—251.
- 范树全, 苏盛虎, 李霓等, 1993. 京棉二厂井氦、氢气体的地震前兆异常特征及其与地震关系的研究. 地震学报, **15**(4): 490—497.
- 孔令昌, 李秋珍, 1995. 塔院断层土壤气异常及其映震能力与机制初探. 地震地质, **17**(1): 59—62.
- 孔令昌, 王桂清, 王志敏等, 2007. 观测井中氦含量异常与地震关系的研究. 地震地磁观测与研究, **28**(6): 32—36.
- 高玲, 孔令昌, 白常清等, 2012. 北京丰台大灰厂井氦气释放特征探讨. 大地测量与地球动力学, **32**(supp): 81—83.
- 高小其, 蓝陵, 许秋龙等, 2002. 乌鲁木齐10号泉He含量变化的映震特征. 四川地震, (3): 27—31.
- 李桂清, 胡凤英, 岳红霞等, 2003. 濮阳2次 $M_L 4.0$ 级地震前兆异常研究. 华北地震科学, **21**(4): 46—49.
- 李圣强, 杜建国, 1998. 氦氩等气体地球化学在地震科学研究中的进展. 地球物理学进展, **13**(3): 238—245.
- 刘学领, 马建英, 李一兵等, 2009. 地热开发对王3、王4井水化学动态的影响及其原因分析. 地震地质, **31**(3): 526—534.
- 马建英, 刘学领, 邵永新等, 2008. 天津王3井开采引起的水化学测项变化机理的探讨. 地震, **28**(2): 131—138.
- 倪明康, 1994. 武山温泉地区地下水中氦的测量与断层关系的初步探讨. 西北地震学报, **16**(1): 87—89.
- 曲同磊, 张昭栋, 靖继财等, 1993. 氮氦比对地震的反映. 地震, (3): 7—10.
- 王志惠, 武晓东, 朱石军等, 2011. 五里营氦气受水位影响分析. 地震地磁观测与研究, **32**(5): 90—93.
- 魏汝庆, 2000a. GWK-201型测氦仪及其观测资料分析. 地震地质, **22**(4): 445—448.
- 魏汝庆, 王华, 陈其锋, 2000b. 氦的年动态异常与地震的关系. 地震地磁观测与研究, **21**(2): 63—66.

- 魏汝庆, 陈其锋, 2001. 聊古一井逸出气氦数字化观测资料分析及其映震能力的初步研究. 地震研究, **24** (2): 121—124.
- 武晓东, 王志惠, 朱石军等, 2012. 北京地区大灰厂井与五里营井氦气观测资料的对比分析. 山西地震, (1): 28—30.
- 杨晓芳, 崔勇, 高小其等, 2013. 新疆及哈萨克斯坦地下流体氦气震兆特征. 地震地磁观测与研究, **34** (1/2): 217—224.
- 张炜, 王吉易, 鄂秀满等, 1988. 水文地球化学预报地震的原理与方法. 北京: 教育科学出版社.
- 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. 北京: 地震出版社.

Characteristics of Helium Concentration Variation Released from Wang 3 Well in Tianjin

Gong Yongjian, Chen Song, Cheng Likang and Li Xudong

(Earthquake Administration of Tianjin Municipality, Tianjin 300201, China)

Abstract Through analysis of the diurnal variation characteristics and annual variation characteristics of the helium concentration released from Wang 3 well in Tianjin, we found that: (1) The diurnal variation ranges of the helium concentration of Wang 3 well are from 0.0012% to 0.0036%, and the diurnal variation ranges are higher in winter than in other seasons; (2) During period of 10:00 am to 18:00 pm, the diurnal variation curve of helium concentration of Wang 3 well is with a “valley type” without obvious peak change. Sometimes the “valley” in diurnal variation curve of the helium concentration does not change significantly, and the diurnal variation of is not a tidal type; (3) The annual variation curve of helium concentration of Wang 3 well appears “double peak-valley” type, in which peaks happens in June and December, and valleys happens in March and September. By analysis of the geological structure, the atmospheric temperature, the water level in the same well, the geothermal resources exploitation surrounding the well, and instrument zero drift factors, we concluded that, the helium concentration of Wang 3 well is not affected by the atmospheric temperature, rainfall, and the same well water level, but is affected mainly by the geological structure and the geothermal resources exploitation surrounding the well.

Key words: Helium; Diurnal variation; Annual variation; Wang 3 well; Tianjin