第 37 卷 第 3 期(728~736)	中 国 地 震	Vol. 37 No. 3
2021年9月	EARTHQUAKE RESEARCH IN CHINA	Sep. 2021

高玲,周永刚,吕毅夫,等,2021. 小流量、低水头观测泉脱-集气装置改造实验研究——以延庆松山泉气氡为例. 中国地震, 37(3):728~736.

小流量、低水头观测泉 脱-集气装置改造实验研究 ——以延庆松山泉气氡为例

高玲¹⁾ 周永刚²⁾ 吕毅夫²⁾ 乔永军¹⁾

1)北京市地震局,北京 100080
2)延庆区地震局,北京 102100

摘要 小流量、低水头观测泉使用常规脱-集气装置,达不到观测气量的要求,会直接影响化 学气体观测质量。本文以松山观测泉为研究对象,结合台站观测条件,通过技术改造和实验研 究,制作了恒流溅落式脱-集气装置,对气氡观测结果进行了连续观测分析,获得了完整的年动态 变化曲线。观测结果表明,该脱-集装置能够较好地解决小流量、低水头观测泉存在的流量、气 量、水量不稳定的问题,使气氡观测的稳定性得到明显提高,为全国其他小流量、低水头观测泉 脱-集气装置的技术改进提供了范例。

关键词: 小流量低水头泉 脱-集气装置 改造实验 观测基线 [文章编号] 1001-4683(2021)03-0728-09 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

"九五""十五"期间,中国地震局监测预报司对全国地震水化学泉、井进行数字化改造, 主要开展了对气氡等测项的观测。其中脱-集气装置是数字化水化学观测系统中不可或缺 的关键技术环节,其基本原理是将泉、井水引用固定容积的脱-集气装置,将其逸出气体或溶 解气体以定量的方式脱析收集起来并传入传感器,通过数据采集系统及转换信号识别出化 学量(刘耀炜,2006;中国地震局监测预报司,2007)。

一般来说,无论采用什么样的脱气装置,其根本目的是将液相气体尽可能地脱析出来, 并能真实地反映单位气体浓度变化。因此脱-集气装置关系到产出数据的稳定性和可靠性。 目前全国水化泉、井使用的脱-集气装置主要为常规滴溅式脱-集气装置,其基本原理是利用 水位落差,产生势能,使其能够脱析出气体。但是从观测效果看,其未达到脱气要求,主要表 现为该脱-集气装置系统稳定性差,难以获得对背景基线值实际动态变化的认知(夏伟奔等, 2013)。特别是对低水头、小流量泉而言,气体脱析率低,对观测泉脱-集气装置观测要求更

[[]收稿日期] 2020-04-30 [修定日期] 2020-06-17

[[]项目类别] 中国地震局"三结合"课题项目(2018SJH204)资助

[[]作者简介] 高玲,1973年生,女,副研究员,主要从事地震流体等监测研究工作。E-mail:gaolingh@163.com

高。

有关水化学脱-集气装置的研究已有报道(陈华静等,2002;孔令昌等,2011;李志鹏等, 2013;褚金学等,2015;李慧峰等,2019),但是其中适用于低流量、小水头泉脱-集气装置方面 鲜有研究。本研究以北京延庆松山泉气氡观测为例,针对该泉流量小、水头低的特点,结合 台站观测条件,利用流体溅落式气体脱析方法,对现有脱-集气装置进行更新改造与实验观 测,重点对装置系统流量容器、泄流系统进行了改进,恒定流量参数,以期达到解决脱-集气 装置脱气率不稳定的问题,并为全国低流量、小水头化学泉氡等测项数字化观测脱-集气装 置的改造提供范例。

1 延庆松山泉基本情况

松山泉位于北京市延庆县西北张山营镇松山国家级自然保护区内的大海坨山沟谷,海 拔高度 800m。构造上位于延怀盆地北缘,大海坨圹子庙-胡家营断裂带上(徐锡伟等, 2002)。该断裂带长 10 余千米,其中松山泉出露于大海坨山花岗岩体(图 1)。该岩体裂隙发 育,地下水深循环通道良好(吴璐苹等,1996)。松山泉历史悠久,目前水温 37℃,流量 0.07L/s。研究显示,利用相关地球化学温标等方法(汪集旸,1993)计算得到松山泉地下热 储循环深度为 1.77km 左右,温度为 112℃左右。松山泉为典型的高温热水循环系统,其热水



图 1 延庆松山泉观测点示意

730	中	玉	地	震	3	37 :	卷

连续不断地逸出,为深部信息的识别提供了条件(高玲等,2015)。

松山泉水化学离子测试显示,该泉近年来水化学性质稳定,人为影响因素不明显 (表1)。Rn是一种不与任何元素发生化学反应的惰性气体,半衰期为3.82d。松山泉水氡 背景值为30Bq/L左右(表1),研究显示该泉具备开展 Rn等化学测项观测的良好条件(任 宏微等,2010;高玲等,2015)。

表 1		水化学分析结果												
亚铁古	п	ß	日离子台	含量/(Mg·L	-1)	阴离子含量/(Mg·L ⁻¹)			Rn 水温		矿化度		
不住品	рн	Mg ²⁺	Na^+	Ca ²⁺	K^+	NH4 ⁺	HCO ₃	Cl-	SO_4^{2-}	CO_{3}^{2-}	NO_3^-	$/(\operatorname{Bq} \cdot \operatorname{L}^{-1})$	∕°C	$/(mg\!\cdot\!L^{-1})$
延庆松山泉	9.05	0.2	145	5.6	3.3	< 0.04	39.7	47.9	206.5	16.8	3.2	30	36	468.2
延庆松山井	8.7	1.2	182.2	5.7	6.8		24.3	79.8	197				50	527.6

注:松山井数据引自王广才等(2003)。

MYK

松山泉自开展水化学观测以来,积累了大量资料,至 2020 年的观测结果显示,其气体化 学观测可能具有前兆响应能力,如图 2 所示(杨明波等,2001)。



图 2 北京延庆松山泉水汞 1997—2000 年观测地震响应震中分布

2 延庆松山泉气氡测项观测现状与影响因素

延庆松山泉气氡观测始于 1986 年 9 月,2000 年后先后经历了数字化及升级改造。目前的数字化观测结果显示,该仪器观测状态极不稳定,观测效果较差。主要表现为其年动态背景观测基线极值变化差异过大,经常表现为在高值运行一段时间后,突然出现断崖式下降,偶尔出现断崖式上升;或者表现为高频振荡式曲线变化,导致其多年动态变化规律无法识别。以 2010 年观测曲线为例(图 3),2010 年 6 月 8 日对观测仪器进行标定后,依据标定结果,重新设置了参数,并对水路脱气装置进行了检查。结果显示,气氡观测值平均达到 200Bq/L 左右,在平稳运行 3 个月之后,观测值突然从 200Bq/L 左右降至 4Bq/L 左右(图 3),说明不稳定的气量是脱气率骤变的主因。其中,2010 年 10 月 29 日观测基线值突然出现急速上升,持续 10 多个小时之后,又急速下降,依次往复,最大值与最小值相差 325Bq/L 左右,这可能与脱-集气装置水流排速不均匀有关。当脱气装置流体容积过量,流体压力大于大气压时,装置内流体快速排出,并再次蓄积,当装置内流体压力超过临界值时,流体又迅速排出,依次往复。上述变化使得脱-集装置流体脱气率随着流量的变化而变化,动态曲线表现为高频式振荡,如图 3 所示。



图 3 延庆松山泉气氡 2010 年动态曲线

需要指出的是,2015年5月26日至6月30日对原有水路进行了改造,更换了泉引水管和与脱气装置相连的各类接头,2015年7月1日开始恢复正常观测,基线值达到90Bq/L左右,但从7月13开始基线值突然降至1Bq/L左右,之后出现短暂间歇性小幅上升,大部分时段低于5Bq/L左右,如图4所示。现场检查仪器,主机系统正常,周围观测环境无明显变化。 其基线动态变化曲线进一步反映了脱-集气装置系统不稳定是造成观测值忽高忽低的主因。

3 延庆松山泉气氡观测脱-集气装置改造与实验观测

3.1 松山泉气氡观测脱-集气装置系统不稳定成因与改进思路

如图 3、图 4 所示,松山泉脱-集气装置与观测泉条件不匹配是影响气氡观测的主要因素。这一方面是由于现有的脱-集气装置流量容器未对流量进行有效的约束,进而影响了气量的稳定集取;另一方面还与松山泉类型有关。松山泉流量小,其溶解气体脱析率低,抗干扰性低,易造成气量的脱失,且松山泉水头低,易造成该泉脱-集气装置内部流量的迅速改变,从而影响脱析气量。因此,对小流量、低水头化学泉而言,保证流量线性稳定是进行



图 4 延庆松山泉气氡 2015 年动态曲线

脱-集气装置改造的首要考虑因素。

СМҮК

3.2 松山泉气氡观测脱-集气装置改造实施

采用流体溅落式气体脱析方法,利用容量恒定原理,选取厚度≥0.3cm 不锈钢板材,制 作了脱-集气装置,如图 5 所示。其中固定容积脱-集气仓 A 部分被固定置于相对密闭的容器 B 中,基于容器 B 内流量线性稳定,将该套装置置于更大体积的容器 C 中。当泉水流量出现 骤然增加时,如果 B 容器流量满溢,泉水就会流入 C 容器,当超过固定容量,泉水就会迅速排 出,从而使得该脱-集气装置流量始终处于线性平衡状态。



图 5 延庆松山泉气氡恒流式脱-集气装置示意

脱-集气仓 A: 圆柱体部分 d=12cm, h=60cm; 容器 B:d=20cm, h=12cm; 容器 C:d=30cm, h=15cm; 进水口 d=2cm; 排水口 d=4cm; d 代表内径; h 代表高度; 气氡仪器型号: SD-3A

2016年4月13日安装了新制作的恒流溅散式脱-集气装置,观测原理如图5所示;并开始进行连续实验观测,观测结果如图6所示。其背景值由1Bq/L左右上升至35Bq/L左右。 2016年6月10日至8月23日,由于夏季降雨效应影响(图7),该装置出现水流溢出现象, 排水不畅,并多次出现较大幅度高频振荡曲线,雨季过后,恢复原有状态(图7)。针对第一 次改造实验观测中出现的极端流量溢水问题,判定为系泄流量限幅所致。因此我们对 B、C





容器泄流口参数重新进行了设定与改进,扩容了相应参数(图5)。2018年5月15日安装恒 流溅散式脱-集气装置并开始连续观测(图8),集气仓脱气量保持在0.45ml/m 左右。2次改 造脱-集气装置原理相同。其观测效果较改造前稳定性明显增强。

4 改造后观测结果与讨论

2016年4月13日制作安装了恒流溅散式脱-集气装置,并进行了连续观测。如图7所示,改造前后观测结果对比显示,基线背景值由1Bq/L左右升高至30Bq/L左右。持续运行近2个月,观测期间从2016年5月12日至17日出现明显的持续降低,之后又升高至42Bq/L左右。从2016年6月10日开始至8月25日观测数据出现连续的高频振荡,持续近2个月。最高值与最低值相差近48Bq/L左右。现场调查显示,该泉脱-集气装置观测室地面出现溢水,需人工排水,之后恢复至正常背景值40Bq/L左右。判断认为,该阶段高强度持续

CMYK

中国地震

37 卷



图 8 延庆松山泉气氡 2018 年动态曲线

降雨导致水流量增加,引起装置系统内部排水口流速产生压力差,且C容器排水流速低于B 容器排水流速,引起观测值出现高频振荡。之后恢复正常背景值。第一次改造连续观测期间,产出数据较完整。2017年观测数据显示(图7),气氡变化基本具有季节效应,总体上表 现出冬底夏高特征。冬季时段,观测值平均为30Bq/L左右。夏季观测值波动明显较冬季频 繁。观测值最高为184Bq/L,最低为10Bq/L,大部分时段为42Bq/L左右。上述变化推测可 能是由于夏季温度升高,土壤松动,压力降低,地壳氡沿裂隙迅速上升并强烈释放的响应。 该观测结果显示松山泉脱-集气装置系统在流量范围内,其气量变化能够反映地下通道气流 量的单位浓度变化。同时也说明,该脱-集气装置在应对极端环境变化时,有可能出现脱-集 气装置流量限幅现象。例如2017年3月24日至4月6日观测基线出现短暂明显的凹型阶 变,即与此有关。气氡观测值降低至0.9Bq/L左右,持续12天,之后恢复正常背景值。由于 该观测时间段内受春夏季节交替影响,气温快速回升,覆盖在山体的冰雪含水层加速融化, 流入地下水循环系统,使得地下水流量骤然增加,上述变化引起脱-集气装置内水流量急剧 增加,排水流速降低,导致该装置脱气率降低。

对发现的技术问题进行改进后,2018 年 5 月 15 日制作安装了改进后的恒流溅散式 脱-集气装置系统并开始进行连续观测(图 5、图 8)。改进前后观测结果显示,降雨等引起脱 气干扰现象未显现,数据产出完整。如图 8 所示,2018 年观测曲线动态变化特征与 2017 年 相类似,呈冬高夏低特征变化。观测值波动范围平均保持在 20~80Bq/L 之间。受季节效应 影响,夏季氡释放量增强,波动频繁,波动频率较 2017 年有所降低。2018 年度观测数据显 示,总体上该气氡基线背景值变化稳定,平均为 50Bq/L 左右,达 10 个月以上。需要特别指 出的是,2018 年 8 月 8 日至 8 月 18 日观测值出现明显的凸型阶变,最高值达到 113Bq/L,最 低值为 24Bq/L,平均为 103Bq/L 左右,异常高值持续 10 天,之后恢复至正常背景值 55Bq/L 左右。同样的变化出现在 10 月 9 日至 11 月 21 日,其凸型阶变幅度较前次明显增强。观测 值最高达到 186Bq/L,最低值 11Bq/L,平均变化幅度 111Bq/L 左右,持续 41 天,之后恢复正

734

常背景值 60Bq/L 左右。上述高值持续近 2 个月,之后全部恢复至正常基线值。现场调查显示,仪器观测系统运行正常,脱-集气装置水流速正常。上述时段背景值异常升高持续多日后又恢复至正常背景值,其背景基线高值变化反映了单位气量浓度变化。由于观测系统运行正常,受环境干扰不明显,未找到上述气氡高值变化原因,暂且将其判定为疑似真正的气氡浓度升高。同时由于该泉数字化记录可靠资料有限,还需要持续的资料积累与进一步的验证。

5 认识与结论

СМҮК

改造前后观测背景值结果显示,改造后该脱-集气装置水量、气量和流量线性稳定,观测 背景值稳定性明显增强,能够反映气量单位浓度变化,观测质量较改造前明显提高,保证了 产出数据的可靠性。在脱-集气装置改造过程中,也获得了如下认识:

(1)低水头、小流量泉,顾名思义,即水流量小,水位低,气体含量低。开展该类型泉化学 观测应当符合流体化学泉监测规范。该类型泉具有前兆响应效能和地震监测意义,值得开 展水化观测。松山泉位于延怀盆地,泉水自断层裂隙流出,同时该区域无工业、农业设施开 发,总体上,观测环境较理想,具有开展化学测项观测的条件。

(2)针对小流量、低水头泉开展数字化观测,依据笔者的观测经验,应当以保持观测系统 稳定性为首要关键环节,其次是观测精度,即首先要保证脱-集气装置脱气率的稳定,然后是 脱气强度。由于小流量泉气体含量低,任何气量的细微变化,都可能导致观测值出现1到几 个数量级的变化,影响背景值稳定性。如果面面俱到,既保持强脱气率,又保持脱气率稳定, 易使得产出观测数据曲线不稳定,观测质量未得到真正提高。前文所述松山泉改造前的气 氡观测量变化即与此有关。本次改造根据该类型泉的特点,制作了恒流溅散式脱-集气装 置,通过流速的控制,使得脱气率呈线性稳定的状态。其观测精度以高于背景噪声为基本要 求,该项要求一方面与氡的化学性质有关,另一方面与容量平衡有关。地壳活动活跃时,地 下深部氡源源不断向上迁移,释放入流体,随着溶解氡含量的增加,当超过集-脱气容积压 力,就会有大量溶解氡释放出来,以保持平衡,相应的观测值会出现变化。所采用的脱-集气 装置在稳定运行状态下,以能够反映这一变化即单位气量浓度变化为基本要求。

(3)研究通过利用恒流溅散式气体脱析方法开展了松山小流量、低水头化学泉气氡 脱-集气装置改造实验与观测研究,获得了完整、可靠性较高的年动态变化曲线。观测结果 显示,该脱-集气装置能够较好地解决小流量、低水头化学泉流量、气量、水量不稳定问题,使 气氡观测稳定性得到明显提高,并获得了对实际适用小流量、低水头化学泉脱-集气装置的 认知,为全国开展小流量、低水头化学泉脱-集气装置系统技术改进提供了范例。

致谢:北京市地震局武敏捷、高翔在文章成图方面提供了支持与帮助,在此表示感谢。

参考文献

陈华静,张朝明,朱方保,等,2002. 气体数字化观测气水分离装置研究. 地震,22(1):104~110. 褚金学,方伟,李正春,等,2015. 弥渡井脱气集气装置的研制. 华南地震,35(3):90~95. 高玲,吕毅夫,皮海燕,等,2015. 北京地区断层泉水文地球化学特征. 地震地磁观测与研究,36(6):53~59. 孔令昌,王桂清,王志敏,2011. 用于数字化气体观测的脱气-集气装置研制与应用. 地震地磁观测与研究,32(2):63~66.

李慧峰,李蒙,张义德,等,2019. 宁波 ZK03 井气氡、气汞脱气装置改造实验. 华北地震科学,37(2):52~55.
李志鹏,赵冬,张利岳,2013. 姑咱气氡测值稳定性研究. 四川地震,(3):19~23.
刘耀炜,2006. 我国地震地下流体科学 40 年探索历程回顾. 中国地震,22(3):222~235.
任宏微,刘耀炜,马玉川,2010. 汶川 8.0 级地震氡震后效应机理讨论. 中国地震,26(1):73~83.
王广才,张作辰,汪民,等,2003. 延怀盆地地下热水与稀有气体的地球化学特征. 地震地质,25(3):421~429.
汪集旸,1993. 中低温对流型地热系统. 北京:科学出版社,68.
吴璐苹,石昆法,1996. 松山地下热水勘探及成因模式探讨. 物探与化探,20(4):309~315.
夏伟奔,刘高川,王桂清,等,2013.不同脱气装置脱气效率对比分析.地震地磁观测与研究,34(5~6):229~233
徐锡伟,吴卫民,张先康,等,2002. 首都圈地区地壳最新构造变动与地震. 北京:科学出版社.
杨明波,吴培稚,王力,等,2001. 延庆松山泉水汞的映震特征研究. 西北地震学报,23(2):120~124.
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(试用本). 北京:地震出版社.

中 国

地 震

Experiment and Application of the Reforming Degassing Device for Small Flow and Low Water Head Spring—An Example of Yanqing Songshan Gas Radon

Gao Ling¹⁾ Zhou Yonggang²⁾ Lü Yifu²⁾ Qiao Yongjun¹⁾

1) Beijing Earthquake Agency, Beijing 100080, China

2) Seismological Bureau of Yanqing District, Beijing 102100, China

Abstract Because conventional degasser and gas collector can not meet the requirements of the observation for small flow and low water head of gas volume, the quality of the chemical gas observation is directly affected. Taking Songshan spring radon-gas an example, we combined with the observation conditions of the station, through technical transformation and experimental research, and made a constant current splash off gas gathering device. Then, we conducted continuous radon observation, and obtained a complete annual dynamic change curve. The result shows that this new device can solve the instability problems of flow, gas quantity and water quantity in small flow and low head observation springs, and improve the stability of gas radon observation significantly. Our results provide an example for the technical improvement of other small flow and low head observation springs in earthquake fluid observation stations.

Keywords: Small flow and low water head chemical spring; Degassing and collected device experimental; Reconstruction research; Baseline

736