

李月强、王华、刘保华等 2011 聊古 1 井在不同取水模式下气体观测效果的对比分析,中国地震 27(2),192~198。

聊古 1 井在不同取水模式下气体观测效果的对比分析

李月强 王华 刘保华 连凯旋 崔娜
孙丕锋 冯恩国 赵杰锋

山东省地震局聊城地震水化试验站,山东省聊城开发区军王屯东首 252000

摘要 为解决聊古 1 井断流问题,聊城地震水化试验站先后引进、开发了人工激发引流观测技术和潜水泵变频稳流抽水技术。对天然自流观测系统、人工激发引流观测系统和潜水泵变频稳流抽水观测系统等 3 种不同取水模式下产出的气体观测数据进行一致性分析。结果表明,人工激发引流观测系统下气体观测动态特征年变比较明显,潜水泵变频稳流抽水观测系统下气体观测动态特征与天然自流状态下的动态特征基本一致。

关键词: 聊古 1 井 气体观测 一致性 天然自流 人工引流

[文章编号] 1001-4683(2011)02-0192-07 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

随着地方经济的飞速发展,聊古 1 井周围地热资源的开发利用也愈演愈烈。受地热资源过度开采的影响,聊古 1 井流量自 2003 年开始逐年下降,并最终导致 2007 年 2 月井水断流。面对这种局面,聊城地震水化试验站不断探索与研究对策,先后引进与开发了人工激发引流观测技术与潜水泵变频稳流抽水观测技术,成功地解决了聊古 1 井即将断流与断流后地下流体持续观测的问题。但新系统产出数据的质量是否可以达到天然自流状态下的数据质量,数据的分析处理、异常判定模式是否需要做适当调整,是现在亟待解决的问题。

在地震孕育、发生的过程中,在应力作用下,地下温度压力的改变、岩体变形破裂或伴随的化学反应均可导致地球放气规律的改变,从而引起气体的前兆异常,特别是 H_2 、 CO_2 等灵敏气体的异常(车用太等,1995)。因此,本文选取模拟气体测项作为研究对象,对 3 种不同取水模式下产出气体数据的一致性进行了研究分析。

[收稿日期] 2010-12-08

[项目类别] 中国地震局地震科技星火计划项目(编号:XH1018)、中国地震局“三结合”项目(编号: SJH201103)、山东省地震局合同制项目(编号:11Q27)资助

[作者简介] 李月强,男,1980 年生,助理工程师,主要从事地震地下流体观测与研究

[通讯作者] 王华,男,1953 年生,高级工程师,主要从事地震地下流体观测与研究。Email:sdlewh@163.com

1 聊古 1 井与气体观测

聊古 1 井位于分割辽冀台向斜和鲁西背向斜的聊(城)-(兰)考断裂带的北段东侧。井深 2337.72m, 套管深 785m, 年平均水温 52.0℃。井深 785~828m 是良好的隔水顶板。井深 828~928m 奥陶系厚层结晶次生灰岩古溶蚀带为观测含水层。聊古 1 井井水主要补给形式为深层水平迳流, 由平阴山区大气降水经长期深循环, 遇断裂带西侧新生界粘土阻水层上涌而形成。本井深层承压水与上部潜水、微承压水之间发育有多层厚度大、分布广的新生界粘土隔水层, 上部层间水无法混入, 故二者无水动力联系(王华等 2010b)。

聊城地震水化试验站自建站以来一直进行地下水溶解气观测, 观测使用的是 SP-2304A 型气相色谱仪, 每日产生一组 H_2 、 N_2 、 CO_2 和气体总量的数据, 积累了大量连续、可靠的观测资料。但是随着聊古 1 井周围地热井的逐年增多, 自 2003 年开始井水流量一直下降, 2007 年 2 月井水第 1 次断流, 2007 年当地冬季取暖期结束后, 部分地热井停止抽水, 5 月井水又恢复自流, 但同年 11 月随着冬季供暖期开采量的加大, 引起聊古 1 井的第 2 次断流, 使该井处于时断时流的不稳定状态(王华等 2010a)。2007 年 12 月聊城地震水化试验站进行了井口改造, 并引进、研发了人工激发引流观测技术系统。由于人工激发引流观测技术系统受地下水位的限制, 到 2009 年 12 月, 井水彻底断流, 2010 年 1 月至 2 月初, 聊城地震水化试验站又引进与研发了潜水泵变频稳流抽水观测技术系统。两次人工引流改造的技术系统如图 1、图 2 所示。

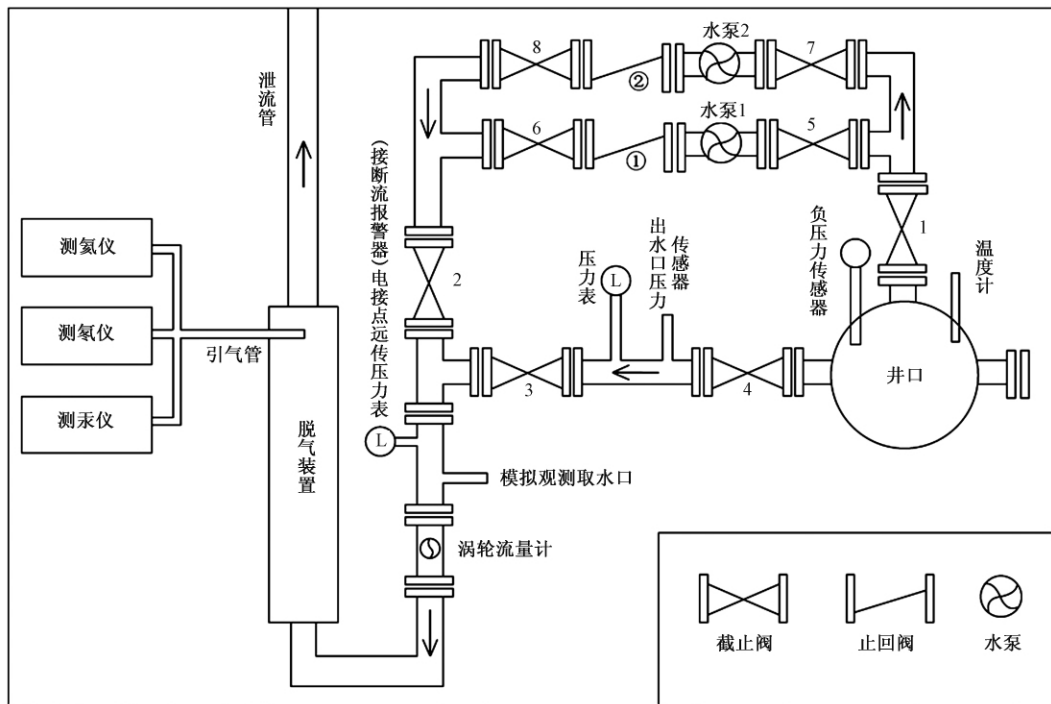


图 1 聊古 1 井人工激发引流观测技术系统示意图

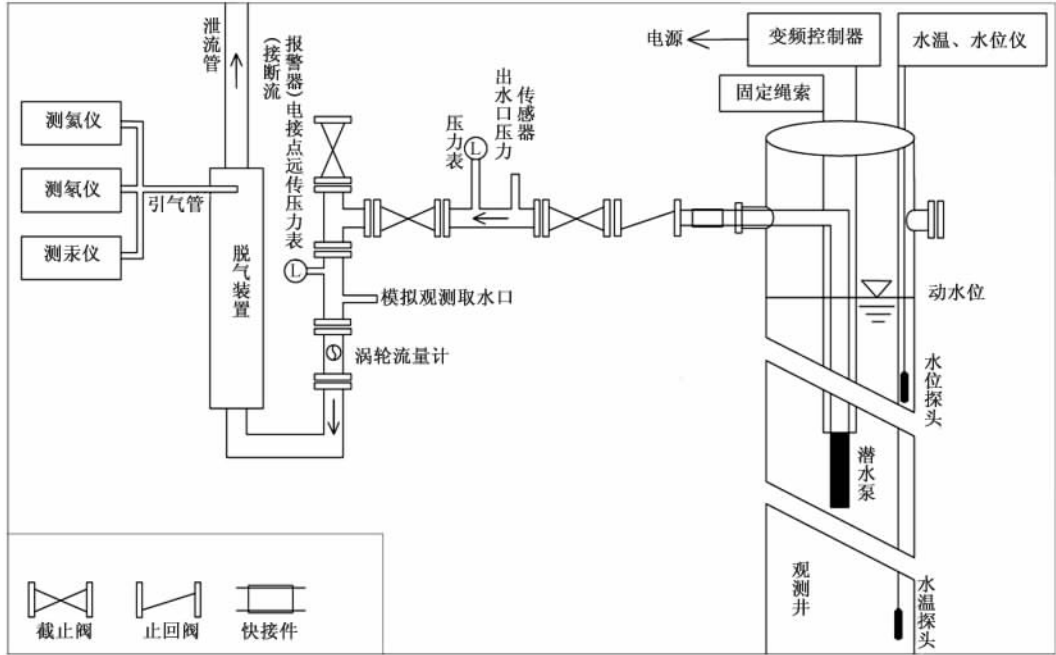


图2 聊古1井潜水泵变频稳流抽水观测技术系统示意图

由上可见,聊古1井地下水气体观测经历了长期自流观测与两次人工引流观测等3种不同模式的观测阶段。

聊古1井自数字化观测以来,流量一直控制在 $6 \sim 8 \text{ m}^3/\text{h}$,而人工激发引流系统与潜水泵变频稳流抽水系统同样是通过变频器调节流量,以与天然自流状态下保持一致;3套系统都是采用相同的脱气装置、管道和观测仪器。尽管在“恒流量”的前提下,流量这一物理量将不携带含水层应力变化的信息(蔡作馨等 2003),但经过水化站长达30多年的水化学观测,在“恒流量”条件下,水化学组分仍能表现出明显的变化,即水化学组分的变化也能反映含水层的应力变化。故3套系统产生的数据应具有一定的一致性。人工激发引流系统原理是在井口密封条件下通过负压提水观测。在负压环境中井水中气体组分更容易溢出,故溶解气与天然自流状态下有所不同。潜水泵变频稳流抽水系统是在井口开放条件下扬水观测,潜水泵下放到水面10m以下,尽管井口开放,深层水直接通过潜水泵送到脱气装置,减少了溢出气的损失,这与天然自流状态具有一定相似原理。所以3套系统产生的数据又各有特点。

2 聊古1井气体动态特征的宏观分析

为减少年变化周期带来的影响,本文气体数据研究时段选取天然自流的2006年、人工激发引流观测技术正式使用的2008年和潜水泵变频稳流抽水观测的2010年(图3)。2008年人工激发引流观测系统下年动态变化数据较其它2套系统大,尤其是2008年1~3月和11~12月,这是因为当地取暖期地热开采造成聊古1井水位明显下降,导致流量明显减小造成的。2008年3~5月,随着取暖期的结束,气体动态变化数据逐渐有所恢复。

人工激发引流观测技术系统核心就是真空负压连续不间断地提水观测,故停电、气压、

地下水位变化等因素对其有一定影响。而 2010 年潜水泵变频稳流抽水观测系统下的气体动态变化数据接近 2006 年天然自流观测系统下气体动态变化数据(王华等 2009)。天然自流状态下 He、N₂ 的背景值要比人工激发引流观测系统和潜水泵变频稳流抽水观测系统高,CO₂ 的背景值比人工激发引流观测系统和潜水泵变频稳流抽水观测系统低,气体总量背景值水平与潜水泵变频稳流抽水观测系统相当,较人工激发引流观测系统高;潜水泵变频稳流抽水状态下的气体动态变化幅度较人工激发引流观测系统小。综上所述,人工激发引流系统的气体数据与天然自流系统气体数据有一定差别;潜水泵变频稳流抽水系统的气体动态变化数据与天然自流状态相近。

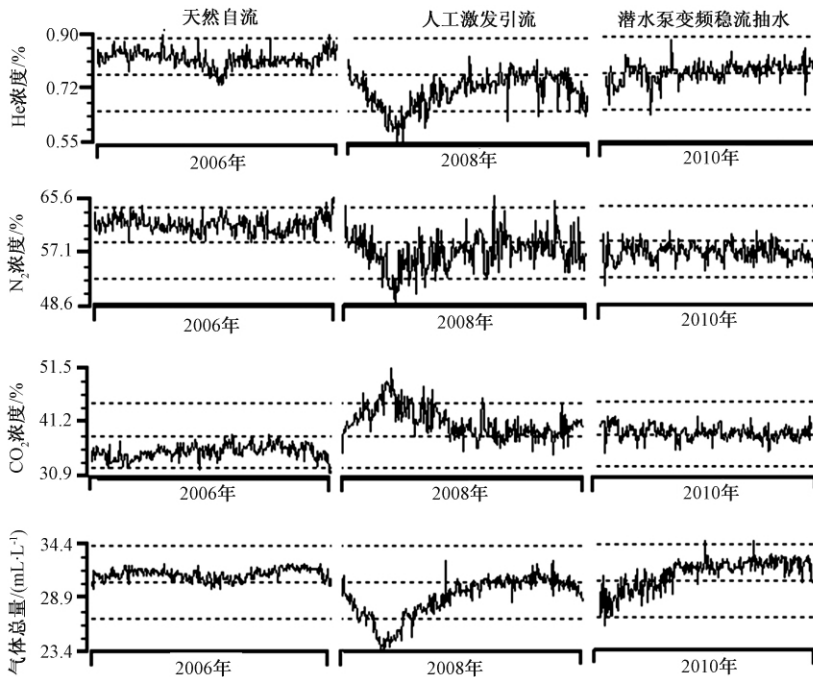


图 3 聊古 1 井 He 浓度、N₂ 浓度、CO₂ 浓度和气体总量的动态曲线图

3 聊古 1 井气体观测在不同取水模式下的一致性检验

从宏观分析我们得知,人工激发系统受当地地热取暖、停电、水泵维修等多种因素的影响。本文采用受相关因素干扰较少的 2008 年 6 月和 7 月进行分析。为了排除年变化带来的影响,天然自流观测系统和潜水泵抽水系统同样选用 6 月和 7 月的数据来分析。

3.1 变化趋势的一致性检验

变化趋势的一致性检验,采用 pearson 相关系数(r)检验方法,其计算公式如下

$$r = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sqrt{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \left(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}\right)}} \quad (1)$$

式中 X 和 Y 分别代表天然自流系统、人工激发系统或潜水泵抽水系统的数据, n 为数据个

数。理论上 r 值越接近 1, 即线性越好, 表明两组数据一致性较好。选定显著性水平 $\alpha = 0.01$ 或 $\alpha = 0.05$ 或 $\alpha = 0.1$, 自由度取 $f = n - 2$ 通过查 r 表可得响应一定显著性水平 α 及自由度 f 的最小相关系数 r_0 , 计算结果 r 与 r_0 比较, 如果 $r > r_0$, 则检验通过, 即一致性好, 反之不通过。

计算结果列于表 1 中, 天然自流系统与人工激发引流系统气体数据, 只有 CO_2 浓度和 6 月的 N_2 浓度通过了 r 值检验; 天然自流系统与潜水泵变频稳流抽水系统气体数据全部通过 r 值检验。正如宏观分析一样, 人工激发引流系统数据动态变化曲线与天然自流系统数据动态变化曲线有所差异, 潜水泵变频稳流抽水系统数据动态变化曲线与天然自流系统数据动态变化线性一致。

表 1 聊古 1 井气体数据 r 值检验结果

气体测项	天然自流与人工激发自流气体数据				天然自流与潜水泵变频稳流抽水气体数据			
	2006 年 6 月		2006 年 7 月		2006 年 6 月		2006 年 7 月	
	2008 年 6 月		2008 年 7 月		2010 年 6 月		2010 年 7 月	
	检验值 r	临界值 r_0	检验值 r	临界值 r_0	检验值 r	临界值 r_0	检验值 r	临界值 r_0
He 浓度	0.120	0.361	0.088	0.361	0.410	0.361	0.507	0.361
N_2 浓度	0.449	0.361	0.120	0.361	0.486	0.361	0.500	0.361
CO_2 浓度	0.506	0.361	0.445	0.361	0.519	0.361	0.454	0.361
气体总量	0.106	0.361	0.125	0.361	0.370	0.361	0.385	0.361

3.2 样本方差齐性检验

样本方差齐性检验采用 F 检验方法。 F 检验法是英国统计学家 Fisher 提出的, 主要通过比较两组数据的方差 S 的平方, 以确定它们的精密度是否有显著性差异。至于两组数据之间是否存在系统误差, 则在进行 F 检验并确定它们的精密度没有显著性差异之后, 再进行 T 检验。 F 值的计算公式为

$$F = \frac{S_X}{S_Y} \sim F(n_X - 1, n_Y - 1) \quad (2)$$

式中 S_X 和 S_Y 分别代表天然自流系统数据方差、人工激发引流系统数据方差或潜水泵变频稳流抽水系统数据方差, n_X 、 n_Y 分别代表各自数据的个数。选定显著性水平 $\alpha = 0.01$ 或 $\alpha = 0.05$ 或 $\alpha = 0.1$, 查 F 表, 可得与 α 、第一自由度 $f_{\text{天}}(n_X - 1)$ 、第二自由度 $f_{\text{地}}(n_Y - 1)$ 相应的 F_0 。计算的 F 值与查表得到的 F_0 比较(定义 $F \geq 1$, 反之取倒数), 如果 $F < F_0$ 表明两组数据没有显著差异; 如果 $F \geq F_0$ 表明两组数据方差存在显著差异。

由表 2 可以得出天然自流观测系统与人工激发引流观测系统气体数据只有 6 月的气体总量没有通过 F 检验, 表明两组数据方差存在显著差异; 天然自流观测系统与潜水泵变频稳流抽水观测系统的气体数据通过了方差一致性检验。

3.3 均值一致性检验

均值一致性检验又称 T 检验。均值的一致性检验统计量 T 定义为

$$T = \frac{(\bar{X} - \bar{Y})}{\left(\sqrt{\frac{\sum X^2 + \sum Y^2}{n_X + n_Y - 2}} \right) \left(\frac{n_X + n_Y}{n_X \cdot n_Y} \right)} \quad (3)$$

表 2 聊古 1 井气体数据 F 值检验结果

气体测项	天然自流与人工激发引流气体数据				天然自流与潜水泵变频稳流抽水气体数据			
	2006 年 6 月		2006 年 7 月		2006 年 6 月		2006 年 7 月	
	2008 年 6 月		2008 年 7 月		2010 年 6 月		2010 年 7 月	
	检验值 F	临界值 F_0	检验值 F	临界值 F_0	检验值 F	临界值 F_0	检验值 F	临界值 F_0
He 浓度	1.20	2.49	0.54	2.47	1.42	2.49	2.07	2.47
N ₂ 浓度	2.48	2.49	3.22	2.47	1.24	2.49	0.79	2.47
CO ₂ 浓度	1.93	2.49	1.54	2.47	1.74	2.49	1.53	2.47
气体总量	3.14	2.49	2.22	2.47	2.25	2.49	1.02	2.47

根据自由度 $f = n - 1$, 查 T 值表, 找出规定的 T 理论值并进行比较。选定显著水平为 $\alpha = 0.01$ 或 $\alpha = 0.05$ 或 $\alpha = 0.1$, 自由度 $F = n_x + n_y - 2$ 。不同自由度的显著水平理论值记为 $T(F)_{0.01}$, $T(F)_{0.05}$, $T(F)_{0.1}$ 。则: $T \geq T(F)_{0.01}$, $P \leq 0.01$, 差异非常显著; $T \geq T(F)_{0.05}$, $P \leq 0.05$, 差异显著; $T < T(F)_{0.05}$, $P > 0.05$, 差异不显著 (T 取绝对值; P 值统计学意义是结果真实程度的一种估计方法。统计学中 P 值为结果可信程度的一个递减指标, P 值越大, 我们越不能认为样本中变量的关联是总体中各变量关联的可靠指标)。 T 检验结果见表 3。

表 3 聊古 1 井气体数据 T 值检验结果

气体测项	天然自流与人工激发引流气体数据				天然自流与潜水泵变频稳流抽水气体数据			
	2006 年 6 月		2006 年 7 月		2006 年 6 月		2006 年 7 月	
	2008 年 6 月		2008 年 7 月		2010 年 6 月		2010 年 7 月	
	检验值	临界值	检验值	临界值	检验值	临界值	检验值	临界值
He 浓度	1.56	2.00	1.09	2.00	0.50	2.00	0.27	2.00
N ₂ 浓度	1.08	2.00	0.89	2.00	1.00	2.00	1.10	2.00
CO ₂ 浓度	1.75	2.00	1.30	2.00	1.23	2.00	1.09	2.00
气体总量	0.75	2.00	0.41	2.00	0.37	2.00	0.57	2.00

由表 3 可以看出, 人工激发引流观测系统和潜水泵变频稳流抽水观测系统下产出的气体观测数据与天然自流观测系统下产出的气体观测数据全部通过了均值一致性检验。

4 认识与讨论

(1) 人工激发引流观测系统产出的气体观测数据年变动态变化明显, 与井区冬季地热开采有关。消除年变动态变化, 其观测数据的变化趋势、变化幅度等与天然自流观测系统仍然具有一致性, 但其数据质量稍逊于天然自流观测状态下产出的观测数据。

(2) 潜水泵变频稳流抽水观测系统产出的气体观测数据与天然自流观测状态下产出的气体观测数据可以作无缝对接, 其观测数据质量与天然自流状态下观测产出的数据质量相当。

(3) 人工激发引流观测技术和潜水泵变频稳流抽水观测技术能够有效解决地热开采的干扰导致地下流体自流观测并断流停测的问题, 可以延长观测井的观测寿命, 为我国地热资源开采过程中强干扰背景下地震地下流体持续稳定观测开辟了新的技术途径, 是值得广泛推广应用的新技术。

参考文献

- 蔡作馨、程庆斌、杨顶红等 2003 地下水“横流式”单井综合观测方法,地震 23(1),109~113。
车用太、陈建民、李宣瑚等 1995 地震地下流体观测技术,167,北京:地震出版社。
王华、王伟、李月强等 2009 地热开采对聊古 1 井地下流体动态的影响及其对策,地震地质 31(3),515~525。
王华、王伟、陈其锋等 2010a 地震地下流体自流观测并断流应对技术开发,地震学报 32(5),601~609。
王华、王伟、李月强等 2010b 聊古 1 井地震水化观测环境保护问题的探讨,内陆地震 24(2),180~185。

Contrastive analysis of gas observation effect under different water in taking patterns in Liaogu-1 well

*Li Yueqiang Wang Hua Liu Baohua Lian Kaixuan Cui Na Sun Pifeng Feng Enguo
Zhao Jiefeng*

Liaocheng Seismic Hydrochemical Station, Liaocheng 252000, Shandong, China

Abstract To solve the problem of drying-up, the artificial excitation drainage observation and frequency conversion with steady flow pumping by submersible pump have been developed in the Liaogu-1 well. This paper analyzes the gas observation data from three kinds of water in taking patterns, including self-flow, artificial excitation drainage and frequency conversion with steady flow pumping by submersible pump. The results reveal that the gas observation dynamic characteristics by frequency conversion with steady flow pumping by submersible pump is basically consistent with by self-flow. But compared with self-flow, there were visible changes by artificial excitation drainage.

Key words: Liaogu-1 well Gas observation Consistency Natural self-flow
Artificial drainage