

## 汤参1井地震地下流体综合观测新技术\*

王 伟<sup>1,2</sup>, 陈其锋<sup>2</sup>, 王 华<sup>2</sup>, 倪 娜<sup>3</sup>, 贾 治<sup>3</sup>, 孔祥平<sup>3</sup>, 冯恩国<sup>2</sup>, 温丽媛<sup>2</sup>

(1. 泰安基准地震台, 山东 泰安 271000; 2. 聊城地震水化试验站, 山东 聊城 252000;  
3. 安阳市地震局, 河南 安阳 455000)

**摘要:**介绍了潜水泵变频稳流抽水观测新技术系统的构成和工作原理,并结合汤参1井的实际应用情况进行分析,发现这一新技术的引进不仅恢复了原有的各测项观测,而且消除了邻近热水开采井对各测项动态的干扰,使井水位动态对地壳应力应变的响应能力得到显著提升,实现了地下流体物理化学多测项的综合观测。这一新技术不仅适用于已经断流或面临断流的地震观测井中,也适用于把静水位观测井改造成人工稳流抽水观测条件下的地下流体物理化学综合观测井,从而提高地震地下流体观测台网的地震监测能力。

**关键词:**地下流体观测;潜水泵变频稳流抽水观测技术;汤参1井

**中图分类号:** P315.6

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2013)04-0462-05

### 0 引言

汤参1井原为自流井,自1985年11月开始进行地震地下水观测。1996年开始,随着区域地下热水资源的开发,井水流量逐年减少,2011年6月后时断时流,2012年5月彻底断流,被迫停止观测。面对这种观测环境恶化引起的严重结果,山东聊城地震水化站与河南安阳市地震局合作研发了潜水泵变频稳流抽水观测新技术,不仅恢复了汤参1井的地震地下流体观测,还使观测质量得到明显的提高。

### 1 汤参1井及地下流体观测概况

汤参1井位于河南省安阳市高庄乡大市庄村北1 km处,井点海拔高程为68 m。在地质构造上,位于太行山山前断裂带上的汤阴地堑北端安阳次凹中;井区以东发育有汤东断裂,以西发育有磁县断裂,以南发育有安阳南断裂,以北发育有安阳北断裂,且均为新生代活动断裂,井点位于上述断裂的交汇区内。井区主要发育有第三系半胶结的碎屑岩系。井区外围150 km范围内历史上曾

发生过 $M_s \geq 5.0$ 破坏性地震10次,其中最大地震为1830年6月12日河北磁县7.5级地震,井震距仅为39.6 km(安阳市地震志编纂委员会,1998)。

汤参1井原为1985年8月由中原油田勘探局施工的石油勘探井,井深4 000 m,套管深度1 165.96 m,套管直径34 cm。主要含水层为位于1 090~1 300 m井段的新近系沙河街组第二、三段灰白色砾岩、砂岩与紫红色泥岩、棕红色粘土岩的互层,其中含水的砾岩、砂岩共有9层;观测含水层为其中1 090~1 160 m井段的沙河街组第二段砾岩与砂岩孔隙承压含水层;观测含水层与井孔间连接方式为射孔(胡凤英等,2004)。

井水自流,自流量在1989年为 $3.98 \text{ m}^3/\text{h}$ ,逐年缓慢下降,到1996年后加速下降,到2011年6月降到 $0.06 \text{ m}^3/\text{h}$ 。水化学类型为Cl-Na型,矿化度 $1.9 \text{ g/L}$ ,pH值为8.38。

汤参1井1985年11月开始进行地震地下水观测,1989年被列入全国水文地球化学观测台网基本Ⅱ类台(王唯俊等,2009),地下水测项主要为水氡观测,同时观测 $\text{Cl}^-$ 与硬度等水质及水温、流量等。“九五”期间进行数字化改造,2001年开始进行气氡观测,观测资料质量达到全国优秀以上水平,曾2次获全国地下流体学科观测资料统评第

\* 收稿日期: 2013-01-27.

基金项目: 地震科技星火计划项目(XH1018)资助.

三名。该井为晋冀鲁豫交界地区(大华北南四省交界区)内重要的地下流体观测井,在区域某些破坏性地震前曾捕捉到明显的异常信息。

随着区域地下热水资源的开发,特别是1996年距离本井约600 m处钻了深1300 m的热水开采井以来,该井自流量急剧下降。流量的年均降幅1987~1995年为1.35%,1996~1998年为3.66%,1999~2008年为6.28%,2008~2011年为36.53%,2011年6月基本断流,2012年5月彻底断流。流量的逐年变小,对各项地下水动态观测的影响逐年显著,使各测项测值由2008年初到2012年初急剧下降,尤其是气氡测值由110 Bq/L降到仅7 Bq/L,水氡测值由17.4 Bq/L降到0.6 Bq/L,Cl<sup>-</sup>浓度由790 mg/L降到720 mg/L以下(图1)。2012年5月之后,上述各测项被迫全部停止观测。

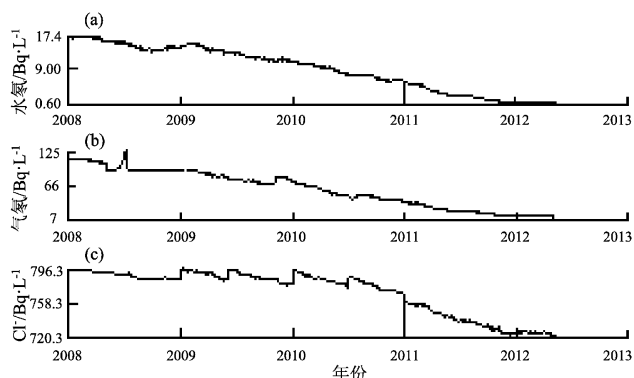


图1 2008年1月~2012年5月汤参1井地下水动态曲线图

(a) 水氡; (b) 气氡; (c) Cl<sup>-</sup>

Fig. 1 Groundwater dynamic curve of Tangcan-1 well from Jan. , 2008 to May, 2012

(a) water radon; (b) gas radon; (c) Cl<sup>-</sup>

## 2 汤参1井地下流体观测新技术

面着邻井热水开采、观测井井水断流、各测项停测的严重局面,在河南省地震局与中国地震局地下流体台网管理组的支持下,由山东聊城地震水化站引进并合作开发了适用于汤参1井的潜水泵变频稳流抽水观测新技术。

潜水泵变频稳流抽水观测新技术系统由潜水

泵抽水子系统、电源变频稳流控制子系统与观测子系统构成(王华等,2010a;王伟等,2012)(图2)。汤参1井潜水泵抽水子系统由ZL100QJ4-60-1.5 KW型不锈钢潜水泵与提水管道组成。电源变频稳流控制子系统由电源频率控制器、电接点压力表、电源控制设备组成。观测子系统由井口观测仪器设备和井口观测装置(井口引水、取水、脱气—集气装置等)组成。该系统的工作原理是利用潜水泵抽水,实现井水人工自流;通过变频器控制水泵的供电频率,调节水泵的转速,进而调节水泵的出水量,实现连续、稳定出水的目标。在稳流状态下实现井水位观测,对抽出的水经脱气—集气装置后进行气氡观测,经人工取样后恢复水氡、离子等观测。水位观测仪器为LN-3型压力式水位仪,气氡观测仪器为SD-3A型测氡仪,水氡观测仪器为FD-105K型测氡仪,离子观测仍用常规的水质分析方法,实现了地下流体物理化学多测项动态的综合观测。观测系统中还保留了流量观测,但流量为人工控制的流量(流量的控制原则是:确保各测项测值基本恢复到邻井抽水干扰前的水平),不能客观地反映地壳应变状态的变化,不宜作为地震观测测项。井水温度与气汞、水汞等观测,因缺少相关的观测仪器而尚未实现。

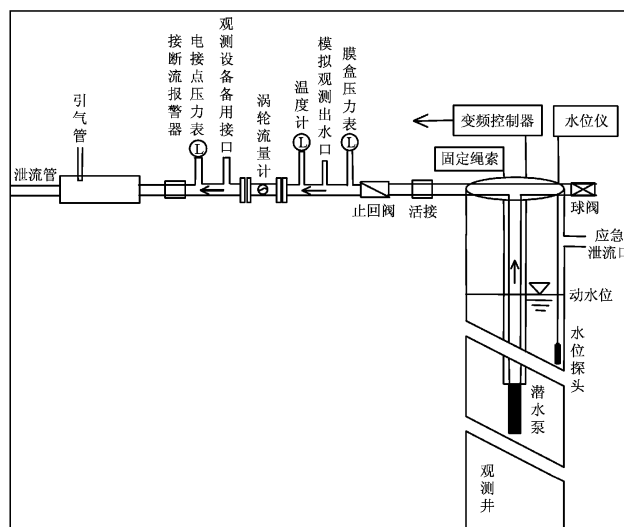


图2 汤参1井地下流体新观测系统构成图

Fig. 2 Sturcture diagram of new underground fluid observation system in Tangcan-1 well

### 3 汤参 1 井新技术观测效果

2012 年 5 月底, 汤参 1 井引进与开发了潜水泵变频稳流抽水条件下的地下流体综合观测新技术, 2012 年 6 月 1 日起试运行观测, 已经历 7 个多月。试运行结果表明, 新技术系统运行正常, 观测效果颇佳。图 3 为 2012 年度该井流量、水温、水位、气氡、水氡、 $\text{Cl}^-$  与硬度动态曲线, 其中 1~4 月为新技术应用前的动态, 6~12 月份为新技术应用后的动态, 5 月为井水断流被迫停测无动态资料。

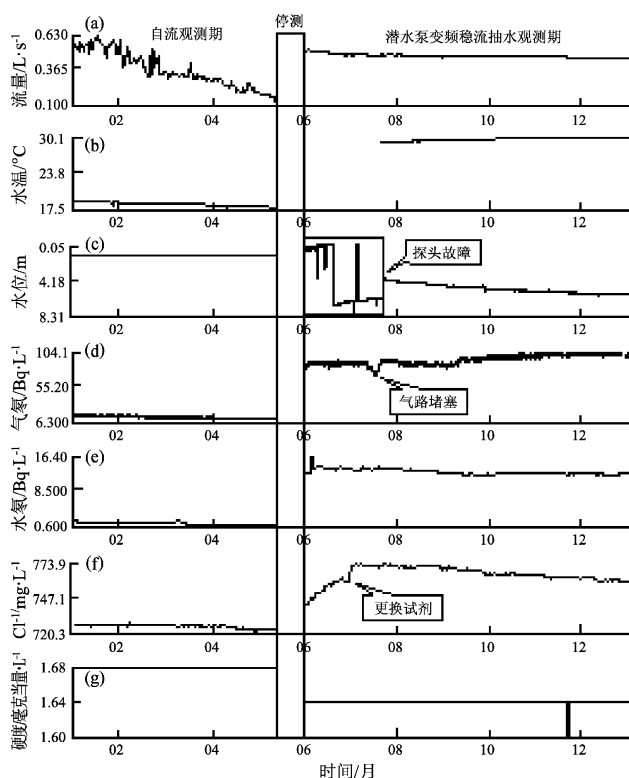


图 3 汤参 1 井地下流体新技术应用前后的各测项动态曲线图

(a) 流量; (b) 水温; (c) 水位; (d) 气氡;  
(e) 水氡; (f)  $\text{Cl}^-$ ; (g) 硬度

Fig. 3 Dynamic curve of each observation items before and after the application of new technology of underground fluid observation in Tangcan-1 well

(a) flow; (b) water temperature; (c) water level;  
(d) gas radon; (e) water radon; (f)  $\text{Cl}^-$ ;  
(g) water hardness

由图 3a 可见, 应用新技术后该井流量 (非地震地下流体观测项目) 由趋势下降的无规律起伏,

变成稳定流量。例如: 2012 年 8 月份的平均流量为  $1.6599 \text{ m}^3/\text{h}$ , 最大值为  $1.6776 \text{ m}^3/\text{h}$ , 最小值为  $1.6344 \text{ m}^3/\text{h}$ , 最大起伏度为  $0.0432 \text{ m}^3/\text{h}$ , 为平均流量的 2.6%, 实现了井水稳流。

应用新技术前, 该井水温呈趋势下降, 由 2008 年 1 月 1 日的  $31.8^\circ\text{C}$ , 降到 2012 年 4 月 30 日的  $17.6^\circ\text{C}$ 。应用新技术后, 水温动态变得平稳, 2012 年第四季度的平均水温为  $30.1^\circ\text{C}$ , 最大起伏度为  $0.1^\circ\text{C}$ , 观测质量得到明显改善 (图 3b)。

应用新技术之前, 由于该井泄流口没有采取限流措施, 井水为自然溢出, 所以水位观测的是泄流口与水位传感器的自然高差, 长年无变化, 不能客观地反映地壳应变状态的变化。应用新技术后, 观测的是稳定抽水流量下的井水位变化, 观测结果表明有清晰的潮汐效应 (图 4), 最大日潮差为 3 cm, 达到一般水位观测井对地壳应力应变的灵敏度。2012 年 6~7 月间该井水位传感器故障, 期间井水位观测失真, 7 月 24 日更换水位传感器恢复正常 (图 3c)。

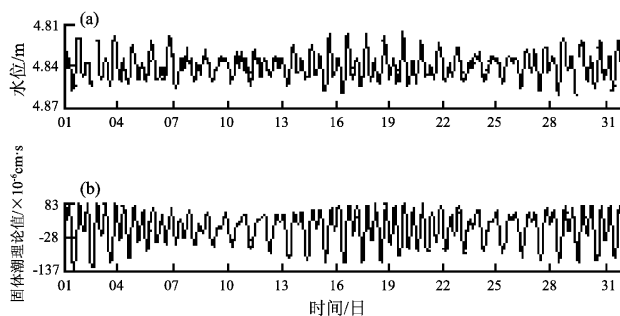


图 4 2012 年 8 月汤参 1 井水位固体潮显示曲线 (a) (去除年变后) 与固体潮理论值曲线图 (b)

Fig. 4 The display graph of water level tide curve (a) (remove the years change) and the theoretical value curve of earth tide (b) in Tangcan-1 well, on Aug., 2012

应用新技术之前, 该井的气氡测值由  $110 \text{ Bq/L}$  下降到  $7 \text{ Bq/L}$ 。应用新技术之后, 气氡测值逐渐恢复到了原来的水平 (图 3d), 接近无邻井抽水干扰时的测值, 期间 7 月 12~18 日因气路堵塞, 曾出现观测值的非正常变化。

该井最高水氡测值达到  $17.4 \text{ Bq/L}$ , 但邻井抽水干扰后降到  $0.6 \text{ Bq/L}$ , 降到仪器的检出限以下, 失去观测意义。应用新技术之后, 水氡测值达到

13 Bq/L左右,恢复到邻井抽水干扰前的水平(图3e)。

该井的 $\text{Cl}^-$ 浓度可达790 mg/L以上,但邻井抽水干扰后降到720 Bq/L以下。应用新技术后, $\text{Cl}^-$ 浓度恢复到760 mg/L以上,接近无邻井抽水干扰前的水平(图3f)。

应用新技术后,该井水硬度测值由1.68 mgN/L变为1.64 mgN/L,微量的降低(图3g)。

## 4 讨论与结论

(1) 我国地震地下流体观测台网中曾拥有自流热水井63口,其中约有20口井为地下流体物理化学综合观测井(张炜,1992;车用太,鱼金子,2004;冯恩国等,2012),这些井在地震监测中有着举足轻重的作用(车用太,鱼金子,2006)。随着社会经济的迅速发展,低碳经济成为经济发展新趋势,在这种背景下,地热资源的开采、利用规模越来越大,导致地下水位不断下降,对地震地下流体正常观测造成巨大干扰,多口观测井甚至被迫停测或改测水位、水温。面对这种局面,研发了适应这一形势的新观测技术——潜水泵变频稳流观测技术(王华等,2010b),这一技术在汤参1井得到了成功的应用。

(2) 恢复了汤参1井地震地下流体物理化学多测项综合观测。汤参1井在邻近热水井开采影响下断流之后,引进与开发潜水泵变频稳流抽水观测新技术,不仅恢复了正常的地震地下流体观测,而且实现了地下流体物理化学多测项综合观测。7个月的观测结果表明,井水位可有效地观测到地球固体潮效应,井水温度动态变化变得稳定,水氡与气氡及 $\text{Cl}^-$ 浓度观测基本消除了邻井开采的强干扰,其测值基本恢复到邻井抽水干扰前的水平。由此可见,使汤参1井的地震地下流体观测效能明显优于新技术应用前的效能。

(3) 使静水位观测井改造成地震地下流体物理化学多测项综合观测井变为可能。这种新技术不仅适用于自流井断流之后的应急对策,也可能适用于原有的静水位观测井改造成地下流体物理化学多测项综合观测井,从而提高观测井的观测效能,提升地震地下流体学科的地震前兆监测能

力。因此,今后有待进行这一方面的开发与探索。

(4) 这种新技术的缺陷是牺牲了流量观测。国内外学者认为流量观测可能是映震效能不错的流体测项,但应用潜水泵变频稳流抽水观测新技术之后,流量成为人工控制的流量,不能客观地反映地壳应变状态的变化。另外,本次引进与开发新技术中,因缺少观测仪器,未能实现数字化水温、气汞等观测,影响了全面评估新技术应用的效能,有待以后进一步补充观测与效能检验。

(5) 该技术系统对供电要求较高。该技术系统是利用潜水泵抽水,实现井水人工稳流输出,一旦停电,这种由人工所建立的动态平衡必将被打破,从而影响观测。从实际试验结果来看,潜水泵变频稳流抽水观测技术在汤参1井的应用是成功的,为确保该技术系统长期稳定的运行,应配备合适的UPS不间断电源,以确保系统的连续不间断供电需求。

新技术引进与开发过程中,得到中国地震局监测预报司、地下流体学科技术协调组与台网管理组、河南省地震局及安阳市地震局的大力支持与协助,致以衷心感谢。

## 参考文献:

- 安阳市地震志编纂委员会. 1998. 安阳市地震志[M]. 广州: 中国文艺出版社.
- 车用太, 鱼金子. 2004. 地下流体典型异常的调查与研究[M]. 北京: 气象出版社.
- 车用太, 鱼金子. 2006. 地震地下流体学[M]. 北京: 气象出版社.
- 冯恩国, 王华, 车用太, 等. 2012. 地震地下流体观测现状[J]. 地震地磁观测与研究, 33(5/6): 202-207.
- 胡凤英, 王志敏, 谢健健, 等. 2004. 河南安阳汤参1井数字化氡与模拟水氡观测资料的对比研究[J]. 西北地震学报, 26(4): 377-379.
- 王华, 陈其锋, 王伟, 等. 2010a. 华北北部地热田区地下流体观测中出现的問題及应对方法[J]. 地震地磁观测与研究, 31(4): 72-78.
- 王华, 王伟, 陈其锋, 等. 2010b. 地震地下流体自流观测并断流应对技术开发[J]. 地震学报, 32(5): 601-609.
- 王唯俊, 韩昭, 黄卫东. 2009. 汤参一井水氡异常特征研究[J]. 防灾科技学院学报, 11(2): 58-61.
- 王伟, 王华, 陈其锋, 等. 2012. 潜水泵变频稳流抽水观测技术系统[J]. 地震地磁观测与研究, 33(3/4): 141-147.
- 张炜. 1992. 水文地球化学地震前兆观测与预报[M]. 北京: 地震出版社.

## New Comprehensive Observation Technology of Seismic Underground Fluid in Tangcan-1 Well

WANG Wei<sup>1,2</sup>, CHEN Qi-feng<sup>2</sup>, WANG Hua<sup>2</sup>, NI Na<sup>3</sup>, JIA Zhi<sup>3</sup>,  
KONG Xiang-ping<sup>3</sup>, FENG EN-guo<sup>2</sup>, WEN Li-yuan<sup>2</sup>

(1. *Taian Reference Seismic Station, Tai'an 271000, Shandong, China*)

(2. *Liaocheng Hydration Seismic Station, Liaocheng 252000, Shandong, China*)

(3. *Earthquake Administration of Anyang Municipality, Anyang 455000, Henan, China*)

### Abstract

The construction and working principle of the new technique pumping observation system of submersible pump frequency conversation steady flow is introduced. Combing with the actual application condition of the new system on Tangcan-1 Well, we found that the introduction of the new technique not only retrieved the observation of each item, but also eliminated dynamic interference of the adjacent hot water mining well on each item, and obviously improved the response ability of well water level to crustal stress and strain to realize subsurface fluid comprehensive observation of physical and chemical multi-items. The new technique applies to seismic observation wells of zero flow and facing zero flow, and transformation of hydrostatic level observation well to underground fluid physical and chemical comprehensive observation well in the observational condition of artificial steady flow water dumping, in order to improve the seismic monitoring ability of underground fluid observation network.

**Key words:** underground fluid observation; submersible pump frequency conversion and steady flow pumping observation technology; Tangcan-1 well