

# 抽水对地下水位、汞、氡的影响

## ——以古城试验为例

高立新<sup>1</sup>, 车用太<sup>2</sup>, 纪建国<sup>1</sup>, 闫海滨<sup>1</sup>  
王海义<sup>2</sup>, 刘成龙<sup>3</sup>, 王翠萍<sup>3</sup>, 于红梅<sup>4</sup>

(1. 内蒙古自治区地震局, 内蒙古 呼和浩特 010051; 2. 中国地震局地质研究所, 北京 100029;  
3. 内蒙古自治区呼和浩特市地震局, 内蒙古 呼和浩特 010020;  
4. 内蒙古自治区赤峰市地震局, 内蒙古 赤峰 024000)

**摘要:**介绍了在内蒙古古城进行的同层抽水对水位、水温(地热)、气氡、气汞、水氡与水汞影响的观测试验及其结果。结果表明, 抽水对井水位影响最大, 影响距离可达近1 km; 对水温影响较为明显; 对气氡、气汞的影响不明显; 水氡与水汞的动态可能有一定影响, 但影响幅度不大。

**关键词:** 抽水; 地下流体; 试验; 古城

中图分类号: P332; P641.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2006)02-0144-05

## Effect of Pumping Water on Observation of Water Level, Hg and Rn According to Gucheng Test

GAO Li-xin<sup>1</sup>, CHE Yong-tai<sup>2</sup>, JI Jian-guo<sup>1</sup>, YAN Hai-bin<sup>1</sup>,  
WANG Hai-yi<sup>2</sup>, LIU Cheng-long<sup>3</sup>, WANG Cui-ping<sup>3</sup>, YU Hong-mei<sup>4</sup>

(1. Earthquake Administration of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010051, China; 2. Institute of Geology, CEA, Beijing 100029, China; 3. Earthquake Administration of Hohhot City, Hohhot 010020, China;  
4. Earthquake Administration of Chifeng City, Inner Mongolia, Chifeng 024000, China)

**Abstract:** The test for the influence of the same layer pumping water to observation of water level, water temperature, escaping radon, escaping Hg, water radon, and water Hg in Gucheng village, Inner Mongolia Autonomous Region, is introduced. The test result shows that the main influence is on the underground water level, the influence distance is about 1 km. The influence on water temperature is relatively evidence. The influence on escaping radon and Hg are not evidence. The influence on water radon and Hg are not important.

**Key words:** Pumping water; Underground fluids; Test; Gucheng

## 0 引言

地下水位的变化与应力场的动态变化具有某种联系, 使用地下水位的资料可以反演中强地震前后应力场的动态变化过程<sup>[1]</sup>, 唐山地震前的水氡异常的演化表明, 大地震前水化异常可能是最为显著的前兆异常<sup>[2]</sup>。

随着我国经济与社会的飞速发展, 地震地下流体台站的观测环境干扰问题越来越严重。为了查明

地下水开采对地下流体监测的影响, 2002年9-10月在内蒙古自治区呼和浩特市南郊古城组织进行了大型抽水试验研究。本文介绍试验区与试验井概况、试验过程与观测内容、实验结果及其分析, 为地震地下流体监测和观测资料应用提供科学依据。

## 1 古城试验区及试验用井

古城试验区位于内蒙古自治区呼和浩特市西南

收稿日期: 2005-08-11

基金项目: 地震科学联合基金资助

作者简介: 高立新(1965—), 男(汉族), 内蒙古丰镇人, 硕士, 高级工程师, 主要从事地震预报及相关研究工作。

约 50 km 处的托克托县古城乡古城村周围,东经 111°19.820' ~ 111°21.248', 北纬 40°32.570' ~ 40°31.488' 之间。试验区地势平坦,海拔高程为 1 000 m 左右,为耕作区。

区内发育的地层主要是上部晚更新世 - 全新世冲积 - 湖积层与早、中更新世湖积层。试验区主要发育有二个含水岩组,浅层含水岩组为晚更新世 - 全新世冲积 - 湖积细砂含水层 ( $Q_{3-4}^{al-1}$ ),埋深 20 ~ 40 m,厚度 2 ~ 20 m,水位埋深 1 ~ 2 m,单井单位涌水量为  $0.04 \sim 0.12 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ,地下水的矿化度为  $0.9 \sim 2.6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ,水化学类型以  $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} - \text{Na} \cdot \text{Mg}$  型为主。深层含水岩组为早、中更新世湖积细砂含水层 ( $Q_{1-2}^n$ ),常有二个主要含水层,其顶板埋深多在 50 m 以下,含水层为承压水层,水头原高出地面 5 ~ 25 m,但目前已降到地面以下 6 m 左右,单井涌水量为  $0.05 \sim 0.5 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ,地下水的矿化度为  $0.5 \sim 1.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ,水化学类型以  $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} - \text{Na} \cdot \text{Mg}$  型为主,水质较差,常有  $\text{CH}_4$  等气体。区内地下水主要为地下径流侧向补给,补给区主要在试验区东北部。对于浅层含水岩组大气降水的渗入补给也重要。地下水的排泄方式主要包括地下水渗流和人工开采。

试验区内有多口农灌井与一口地震地下水动态观测井。本次试验选用了三口农灌井与一口地震地下水动态观测井(图 1),其中 8 号井为抽水井,在古

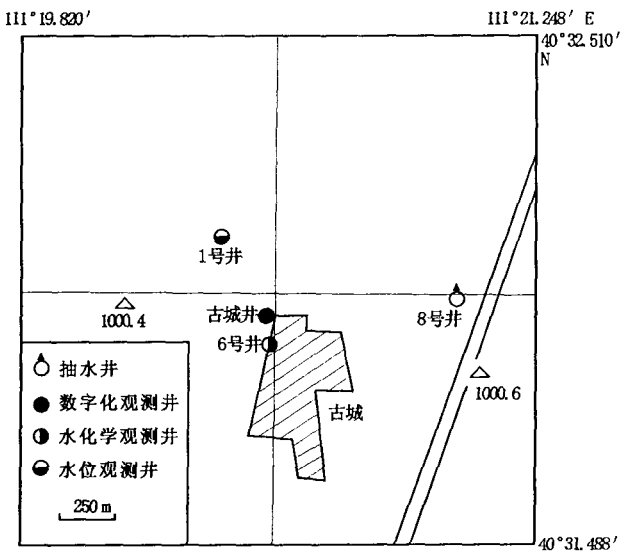


图 1 古城试验区试验用井孔分布图

Fig.1 Distribution of wells in Gucheng test region.

城井进行数字化水位、水温与气氡观测,在 6 号井进行模拟水氡与水汞、气氡与气汞观测,在 1 号井进行水位观测。8 号井到古城井的距离为 700 m,到 6 号

井的距离为 700 m,到 1 号井的距离为 925 m。各井的情况见表 1。

表 1 古城试验区试验用井及其经纬度

井名	经度	纬度	井深/m	原用途	本次试验用途
古城井	111°20.492'	40°31.985'	78.0	地震观测	数字化水位、水温与气氡观测
1 号井	111°20.370'	40°32.141'	70 ±	农灌	模拟水位观测
6 号井	111°20.520'	40°31.931'	70 ±	农灌	模拟水氡与气氡、水汞与气汞观测
8 号井	111°21.022'	40°32.019'	70 ±	农灌	抽水

农灌井井深多在 70 m 上下,开采层为深层 ( $Q_{1-2}^n$ ) 中细砂含水层,井管为水泥管,管的内径 40 cm。古城井为地震地下流体动态观测井,井深 78 m,水泥井管,井径 40 cm,观测层为 ( $Q_{1-2}^n$ ) 细砂层,其顶板埋深为 38 m,累计厚度为 20 m,井底为湖相粘土层,厚度大于 18 m(图 2)。该井自 2000 年 1 月开始观测水位动态,水位较为稳定,在日记录曲线上可见一定的潮汐效应,受当地地下水开采的影响强烈,一到开采期该井水位便大幅度下降(图 3)。

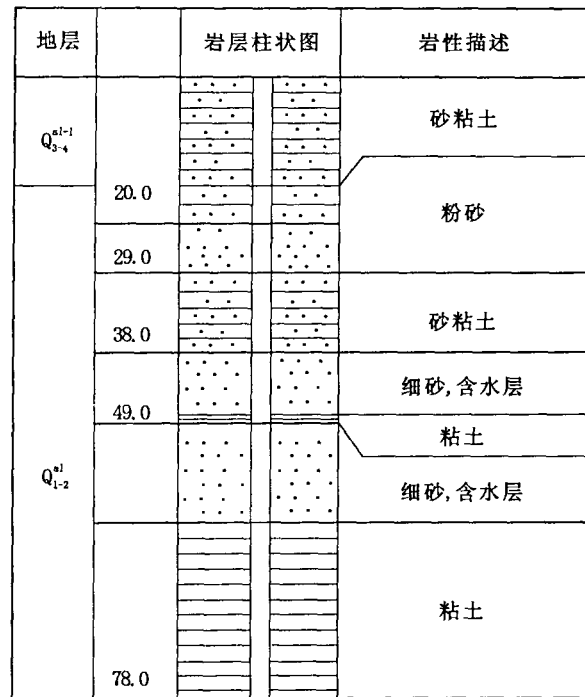


图 2 古城井井孔柱状图

Fig.2 Geologic column of Gucheng well.

在古城井进行水温梯度的测试,结果列于表 2 中。由此求得的水温梯度为  $0.534 \text{ } ^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ ,说明试验区为地热状态很弱的地区。

表 2 古城井水温梯度测试结果

水面以下深度/m	10	20	30	40	50
温度/ $^\circ\text{C}$	9.5370	9.1343	9.1463	9.2026	9.2945
说明	受大气温度影响段		受地温梯度影响段		

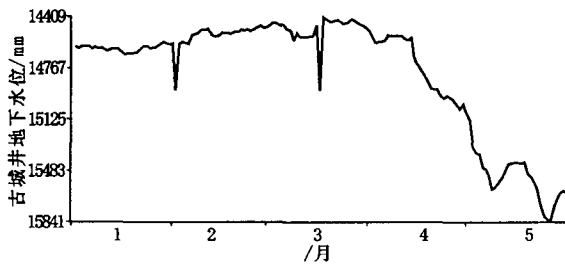


图3 古城井水位2000年1-5月日均值曲线  
Fig. 3 Water level curve from Jan. to May in Gucheng well.

## 2 抽水试验及地下流体动态观测

试验从2002年9月26日14时开始,可分为三个阶段:26日14时至27日7点30分为正常背景动态观测阶段;7时30分开始抽水到28日8时为干扰动态观测阶段,以后停止抽水,进行恢复过程的观测到12时30分。

试验中,抽水用内蒙古水利机械厂生产的QJ-200型潜水泵,抽水量为 $50 \text{ m}^3/\text{h}$ ,连续抽水。抽水井上安装SW40-1型水位仪,以井水位的变化 $\leq 1 \text{ cm/h}$ 为稳定的判据。为了确保水位观测结果的可靠性,在抽水前与停抽后及抽水过程中均进行水位校测。

在古城井上利用数字化仪器观测,其中水温观测采用SZW-1型高精度石英温度计;气氡观测采用SD-3型自动测氡仪;水位观测仍使用原有的SW40-1型机械式水位仪。水温传感器放置在水面以下50 m深度处。气氡观测将胶管伸入井筒内(水面以上),观测时先抽气1分钟。数字化观测采样周期为1小时。

6号井上利用FD-125型测氡仪和RG-1型测汞仪进行。水氡与水汞、气氡与气汞模拟观测。水氡与水汞样品的采集使用提水桶取样,分别转入取样瓶,水汞样品现场加高锰酸钾溶液与硫酸保护。气氡与气汞样品采集时把胶管伸入井筒后通过大气采样器抽气取样。定时采样后送临时实验室内测试。

## 3 试验结果及其分析

古城区试验结果共获得262个整点值观测数据,根据上述数据分项绘制各项动态曲线并对比列于图4中。

### 3.1 抽水对井水位动态影响的分析

8号井抽水对远在700 m处的古城井水位动态有明显影响。如图4(b)所示,抽水前的起伏变化在

7.044~7.059 m之间,日起伏为0.015 m,为潮汐效应。27日7:30开始抽水,2.5小时(11:00)后古城井水位表现出持续下降,到28日8:00停抽后古城井水位仍继续下降,4小时后(12:00)降到7.143 m,共下降0.093 m;停抽4小时后水位开始回升,到当日23:00升到7.130 m,升幅0.013 m,仅为降幅的14%,说明还需更长时间才可完全恢复。

远在925 m处的1号井水位动态(图4(i))也有一定影响。抽水之后1号井水位开始下降,过程中不排除仪器灵敏度不高引起的不均一,但下降的总趋势是明显的,共下降3 cm;停抽后下降过程还持续了3个小时,然后转平,未见水位恢复的迹象。

由此可见,8号井抽水对远在700 m与925 m处的二口同层井水位动态均产生明显影响,影响幅度为5~10 cm,随距离的增大而变小;这种影响在时间上可以滞后几个小时出现,停抽后还持续了几至十几个小时。

### 3.2 抽水对数字化水温与气氡动态影响的分析

8号井抽水对古城井水温动态有较为明显影响,参见图4(d)及表3。看出古城井的水温在开始抽水后有9小时的起伏,较背景值略高;从27日17:00开始,随着8号井抽水时间的延续井水温度持续上升,到28日8:00停抽时水温上升到平均 $9.3542 \text{ }^\circ\text{C}$ ,升幅达 $0.0333 \text{ }^\circ\text{C}$ ,最高值达 $9.3721 \text{ }^\circ\text{C}$ ;当8号井停抽后,古城井水温持续上升3个小时,然后才转为下降,最高升到 $9.3815 \text{ }^\circ\text{C}$ 。由此可见,高精度水温动态受临井抽水的影响,随着抽水时间的延续井水温度升高,但抽水初期有一时段的波动。其影响的机理,可能是随着井水位的下降含水层深部相对温度高的水流入井筒的结果。

8号井的抽水与古城井的气氡动态关系不明显(图4(c)及表4)。虽然27日7:30抽水前后古城井的气氡有 $13.0 \sim 14.8 \text{ Bq/L}$ 上升到 $15.0 \sim 15.3 \text{ Bq/L}$ 的变化,上升到观测期间的最高值,但是其变化幅度仅为 $0.5 \sim 2.0 \text{ Bq/L}$ ,不比正常起伏度大。古城井气氡动态平均值为 $13.7 \text{ Bq/L}$ ,抽水时虽略高,但基本上在观测精度内变化。气氡时值间的起伏度在抽水时虽略大,但基本上也与观测精度的量级相当。

### 3.3 抽水对6号井氡与汞动态影响的分析

8号井抽水对远在700 m的6号井水氡与气氡动态有一定影响。如图4(e)所示,对水氡动态影响是引起氡值逐渐降低,由抽水前的 $\pm 3.0 \text{ Bq/L}$ 降到 $\pm 2.0 \text{ Bq/L}$ ,但抽水9小时后又回升,升到 $\pm 3.0$

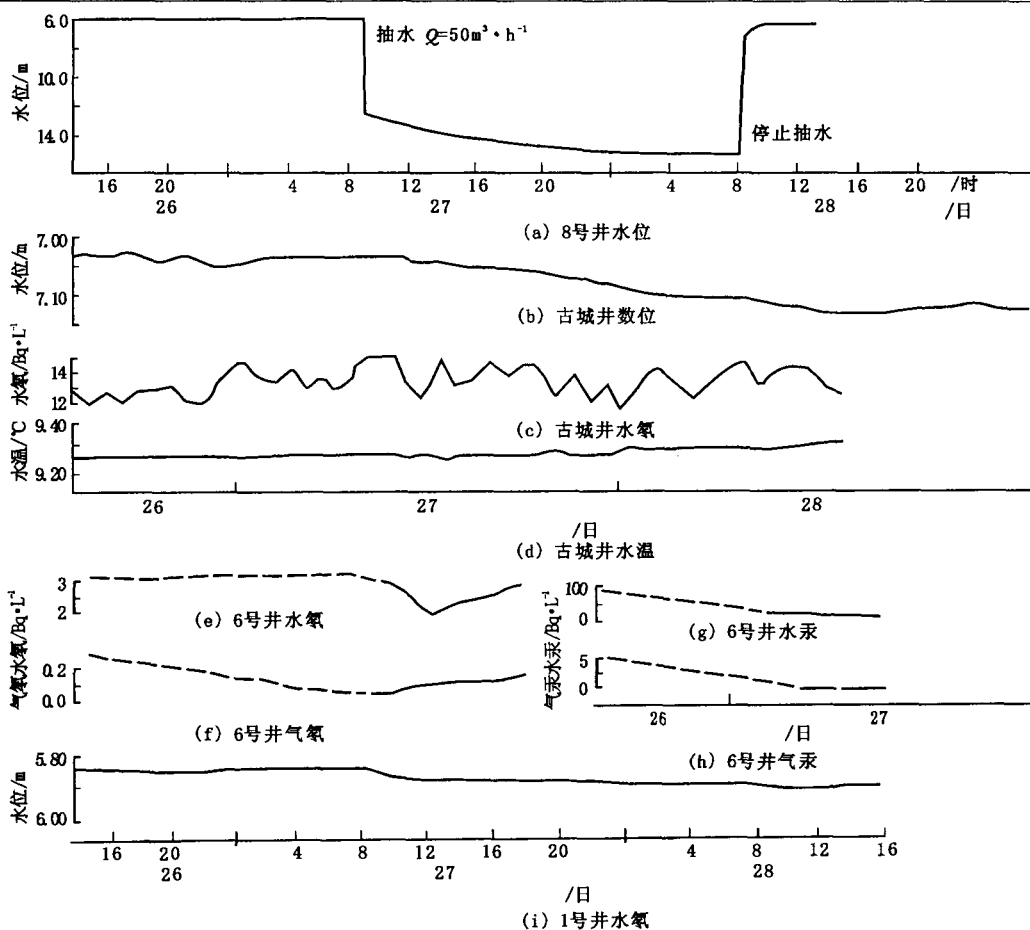


图4 古城抽水试验地下流体动态观测曲线图

Fig.4 Observations curves of underground liquid in Cucheng Pumping water test.

表3 抽水前后古城井水温变化

8号井抽水情况	抽水前	抽水时		抽水后
时间段	26日12:00-27日7:00	27日8:00-27日16:00	27日17:00-28日8:00	28日9:00-12:00
平均	9.312 1	9.320 9	9.354 2	9.374 8
古城井水温 /°C				
最高	9.327 1	9.324 0	9.372 1	9.381 5
最低	9.297 5	9.311 8	9.330 8	9.368 1

表4 抽水前后古城井氡气变化

8号井抽水情况	抽水前	抽水时	抽水后
时间段	26日12:00-27日7:00	27日8:00-28日8:00	28日9:00-12:00
平均	13.45	13.78	13.90
古城井气氡			
最高	14.8	15.3	14.6
最低	12.1	11.7	13.0
起伏度	2.7	3.6	1.6

Bq/L; 对气氡的影响是引起氡值逐渐升高,由抽水前的0.04 Bq/L升到0.16 Bq/L,如图4(f)所示。

如图4(g)与4(h)所示,抽水对水汞与气汞动态的影响也不明显。抽水前的水汞测值为17.6 ng/L,抽水后虽由17.6 ng/L逐渐降到14.8 ng/L,但其变化幅度小于观测精度。抽水前后气汞一直为零。

由上可见,抽水虽然引起水氡、气氡与水汞的趋

势变化,但变化的量级小,往往小到观测精度之下,因此可认为抽水对700 m外同层观测井模拟水氡与水汞、气氡与气汞动态的影响不明显。

## 4 抽水对同层邻井水位动态影响的定量计算

### 4.1 抽水影响距离的计算

抽水影响距离的计算利用下式进行<sup>[3]</sup>：

$$\lg R = \frac{S_1 \lg r_2 - S_2 \lg r_1}{S_1 - S_2} \quad (1)$$

式中  $R$  为影响距离； $S_1$  为抽水井中稳定水位降深，取 8.06 m； $r_1$  为抽水井的半径，取 0.2 m； $S_2$  为观测井中的水位降深； $r_2$  为抽水井到观测井间的距离。计算中的参数及其计算结果列于表 5 中，可见抽水对同层邻井水位动态的影响距离为 770 ~ 960 m。

表 5 古城试验中的影响距离

井名	$r_2/m$	$S_2/m$	$R/m$
古城井	700	0.09	768
1号井	925	0.03	955

#### 4.2 含水层渗透系数的计算

利用 8 号井与古城井、1 号井水位观测资料，含水层渗透系数

$$K = \frac{0.366 Q}{M(S_1 - S_2)} \lg \frac{r_2}{r_1} \quad (2)$$

式中  $Q$  为 8 号井抽水量，取 50 m<sup>3</sup>/h； $M$  为含水层厚度，为 20 m。由表 6 可见，试验区含水层的渗透系数为 0.41 ~ 0.42 m/h。

表 6 根据古城试验计算含水层渗透系数 ( $K$ ) 的参数及其结果

井名	$r_2/m$	$S_2/m$	$K/m \cdot h^{-1}$
古城井	700	0.09	0.407
1号井	925	0.03	0.418

#### 4.3 定量计算的结果

本次试验中，在深层第四系中细砂孔隙含水层 ( $Q_{1-2}^1$ ) 中，当渗透系数为 0.41 ~ 0.42 m/h (渗透性较差) 时，连续抽水对同层邻井井水位动态影响的最大距离为 960 m。

### 5 认识与讨论

本试验研究结果表明，在第四纪湖相沉积的细砂含水层中，在同层井抽水，其影响可波及到远在 960 m 远处的水位动态；对远在 700 m 处的水位、水温动态产生明显影响；对 700 m 处的水氦与水汞动态有一定影响，但影响幅度很小；对气氦与气汞动态的影响不明显。因此笔者认为抽水对地下流体动态的干扰主要是对水位与水温等物理动态的干扰，对氦、汞等化学量动态的干扰相对弱。

由于本次试验准备充分，试验区条件基本符合大型抽水试验的要求，因此本次试验的结果可信度

较高。由于区域水文条件的差异，试验结果可能具有一定的区域特征。为了更加精细地研究抽水对水物理、化学的影响，试验小组再次在位于本次试验区东北约 40 km 的呼和浩特市近郊西把栅乡东古楼村东古楼试验区进行了大型抽水试验，得到的结果与本次试验的结果基本吻合<sup>[4]</sup>，完全支持古城试验区的试验结果。古城和东古楼试验区水文地质条件类似，得到这样的结果是可以理解和解释的。

本次试验中连续抽水对同层邻井井水位动态影响的最大距离为 960 m。为了进一步判定抽水井的干扰距离，笔者收集了河北沧州地区三个水源地的抽水试验资料<sup>[5]</sup>，三组试验结果显示：在第四系平原区，含水层埋深为 100 ~ 400 m，岩性为粉砂、细砂与中细砂，含水层的渗透系数为 1 ~ 10 m · d<sup>-1</sup>。当有一口抽水井连续抽水约 1 天时间，且水位降深 ≤ 10 m，抽水量 ≤ 100 m<sup>3</sup> · h<sup>-1</sup> 时，其影响距离达 1 000 ~ 3 000 m。可见，该次试验抽水干扰的影响距离更大。

由于以上试验均受到井孔分布的客观条件限制，为了进一步研究抽水对地下流体各项动态的影响，使试验结果更具有普适性和代表性，还需要在不同水文地质条件和不同的井孔排列条件下的试验区进行类似的试验。

参加本项试验研究的还有中国地震局地质研究所张培仁与王基华、中国地震局分析中心孙天林与邢玉安、河北省沧州地震局于书泉、呼和浩特市地震局李占维、孙文平、贾成兵等同志。在此向上述单位与同志致谢。

#### [参考文献]

- [1] 张昭栋,刘庆国,刘涛,等.由井水位资料反演大同-阳高 6.1 级地震前后应力场的动态演化过程[J].西北地震学报,2001,23(1):66-68.
- [2] 邵永新,李君英,李一兵,等.唐山地震前水氦异常演化特征[J].西北地震学报,2000,22(3):284-287.
- [3] 地质矿产部水文地质工程地质技术方法研究队组主编.水文地质手册[M].北京:地震出版社,1976.543-545.
- [4] 高立新,车用太,纪建国,等.东古楼抽水试验对地下流体动态影响研究[J].地震研究,2005,28(2):172-177.
- [5] 车用太,鱼金子,等编著.地下流体典型异常的调查与研究[M].北京:气象出版社,2004.85-93.