

# 一种值得重视的地热资源概念模式 ——构造圈闭型地热资源

张保健<sup>1</sup> 文冬光<sup>2</sup> 沈照理<sup>1</sup> 亓 麟<sup>3</sup>

(1.中国地质大学,北京 100083;2.中国地质调查局,北京 100037;3.中国水利水电科学研究院,北京 100044)

**摘要:**笔者根据主干断裂一带出现的地下水化学组分异常现象,提出了一种新的地热资源概念模式——构造圈闭型地热资源。构造圈闭型热储处于一个相对封闭的水文地质环境,赋存于其中的地下水径流非常滞缓,变质程度较高,发生的水-岩反应较充分,溶解的围岩化学元素成分更多,有可能形成良好的医疗热矿水。因此,在地热资源勘查利用中具有特殊意义,应充分重视构造圈闭型热储中地下热水的医疗保健功能。

**关键词:**构造圈闭型;概念模式;医疗热矿水;地热资源

**中图分类号:**P641.5+2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2009)04-0927-05

笔者在聊城市区一带开展地热资源勘查研究时发现,在临清坳陷区东部靠近聊考断裂一带,出现了地下水矿化度、微量元素等组分异常现象,为优良的医疗热矿水。通过进一步研究,发现在华北平原大型断裂带附近,这种现象比较常见。因而提出了一种新的地热资源概念模式。

## 1 构造圈闭型地热资源概念模式

本文所提构造圈闭型地热资源概念模式见图 1。

构造圈闭型热储一般位于凸起和凹陷的边界断裂附近靠近凹陷的一侧,类似于构造圈闭型油气藏。在凹陷区内部合适的构造组合部位,由于阻水岩性配合,也可能形成构造圈闭型热储。

由图 1 看出,构造圈闭型热储所处理想地质构造环境为:热储盖层、热储底部岩层、构造凸起均为隔水或弱透水层,主干断裂和次级断裂亦为阻水或弱透水,使构造圈闭型热储处于一个相对封闭的水文地质环境,赋存于其中的地下水变质程度较高,发生的水-岩反应更加充分,溶解的围岩化学元素

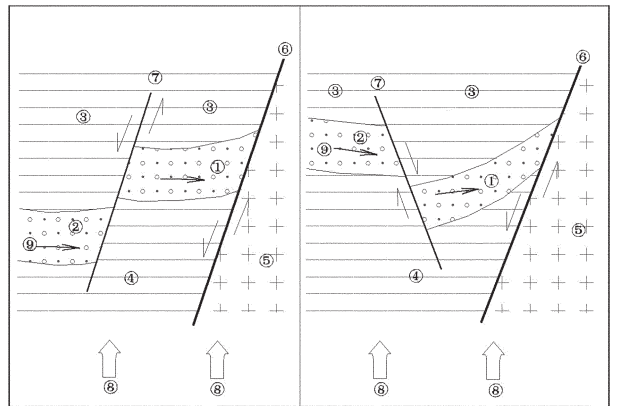


图 1 构造圈闭型地热资源概念模式图

- ①—构造圈闭型热储;②—非构造圈闭型热储;③—热储盖层;
- ④—热储底部岩层;⑤—构造凸起;⑥—主干断裂;
- ⑦—次级断裂;⑧—热源;⑨—水源

Fig.1 Geothermal resource conception model of structural trap type

- ①— structural trap type thermal energy storage; ②— non-structural trap type thermal energy storage; ③— cap rock of hot reservoir;
- ④— bottom strata of hot reservoir; ⑤— tectonic uplift; ⑥— principal fault; ⑦— secondary fault; ⑧— heat source;
- ⑨— water source

成分更多,有可能形成良好的医疗热矿水。

## 2 典型地区地热概念模式剖析

### 2.1 聊城地区地热资源特征

聊城市城区位于临清拗陷区和鲁中隆起区的接合部位,以聊考断裂为界,以西为临清拗陷区,以东为鲁中隆起区(图2)。

临清拗陷区地层由老至新有新太古代变质岩系、寒武系、奥陶系、三叠系、侏罗-白垩系、古近系、新近系和第四系,其中新生界厚度巨大,可达数千米。鲁中隆起区由老至新发育有新太古代变质岩系、寒武-奥陶系、石炭-二叠系、新近系和第四系,其中新生界厚度一般不足千米,且缺失古近系。

聊考断裂带为本区主干断裂,断裂两侧地壳块体断差达4~6 km,为规模宏大的深大断裂。断裂自中生代开始强烈活动,对西侧拗陷和东侧隆起的发育起控制作用。古近纪活动强烈,断距达3000~4000

m;新近纪继续活动,断距达600~1200 m;第四纪仍有活动显示,表明该断裂是现今仍在活动的新构造活动带。

F1、F2断裂为聊考断裂的次级断裂。对第四系和新近系上部地层沉积影响不大,对新近系下部和古近系错动比较明显,因而对热储层有一定程度的错动。

临清拗陷区可被利用的热储层主要有2个,分别为新近纪馆陶组和古近纪东营组砂岩类裂隙-孔隙型热储。馆陶组热储主要分布在聊考断裂以西,热储层顶板埋深950~1000 m,底板埋深1250~1400 m。岩性为中细、中粗砂岩,含砾中粗砂岩,粉细砂岩与泥岩互层。东营组热储仅在聊考断裂以西有分布,热储层顶板埋深1250~1400 m,底板埋深预测为1700~1800 m。岩性为中细、中粗、粗砂岩,粉细砂岩与泥岩互层。

### 2.2 聊城地区构造圈闭型地热资源概念模式

由于F2断裂构造活动,热储层位被错断,含水砂岩层与阻水泥岩层对接,减弱了热储含水层的整体渗透性能。在F1断裂附近(小陈庄东北约400 m)曾有一眼地热孔因出水量小而报废,也进一步可以佐证次级断裂活动所导致的阻水(或弱透水)作用。

次级断裂和聊考断裂的构造组合,使F2断裂和聊考断裂之间的馆陶组和东营组热储成为构造圈闭型热储。使得F2断裂以东地下热水处于一个相对封闭的环境(图3),地下热水径流非常滞缓,水-岩反应更加充分,因而地下热水溶解的化学成分更多,主要离子、微量元素等组分更加富集。

由表1和图4看出,F2断裂以东的构造圈闭型热储地下热水 $Na^+、K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、Cl^-、SO_4^{2-}$ 、矿化度、总硬度、 $I^-、Li^-、Sr^{2+}$ 含量和强酸根与弱酸根的比例系数(K)、离子强度(I)明显高于F2断裂以西的非构造圈闭型热储。而 $HCO_3^-$ 、pH值和地下热水的特征系数 $rNa/rCl、(rSO_4^{2-} \times 10^3)/rCl$ 比值前者明显低于后者。

$rNa/rCl$ 比值反映地层水浓缩变质程度和储层水文地球化学环境。 $rNa/rCl$ 比值越小,则地层水封闭越好、越浓缩,变质越深。通常认为 $(rSO_4^{2-} \times 10^3)/rCl$ 比值越小,反映地层水封闭性越好。而比例系数(K)、离子强度(I)越高,则地层水封闭越好、变质程度越高。因此,F2断裂以东的构造圈闭型热储地下热水的封闭性好、变质程度较高,地下热水中的 $Na^+、K^+$

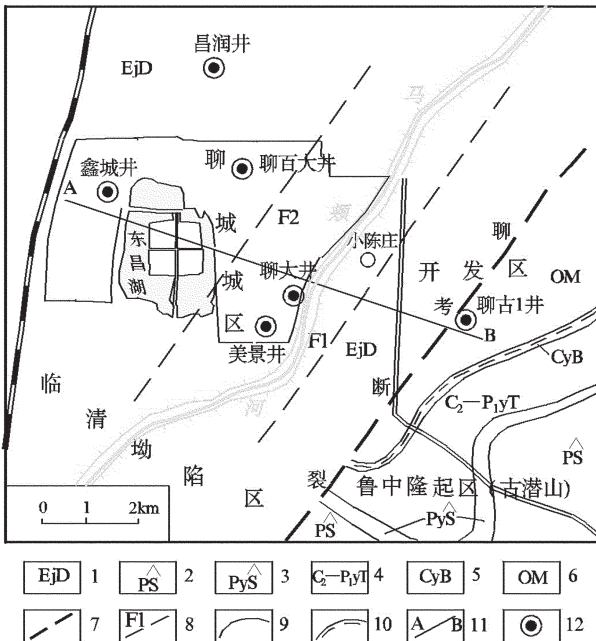


图2 聊城市城区前新近纪基岩地质略图  
1—古近纪东营组;2—二叠纪石盒子组;3—二叠纪山西组;  
4—石炭-二叠纪太原组;5—石炭纪本溪组;6—奥陶纪马家沟组;  
7—主干断裂;8—次级断裂;9—地层界线;10—平行不整合界线;11—地热地质剖面线;12—已有地热井

Fig.2 Geological sketch map of the pre-Neogene bedrock in Liaocheng City  
1- Paleogene Dongying Formation; 2- Permian Shihezi Formation; 3- Permian Shanxi Formation; 4- Carboniferous - Permian Taiyuan Formation; 5- Carboniferous Benxi Formation; 6- Ordovician Majiagou Formation; 7- principal fault; 8- secondary fault; 9- stratigraphic boundary; 10-parallel unconformity; 11- geothermal-geological section line; 12-known geothermal wells

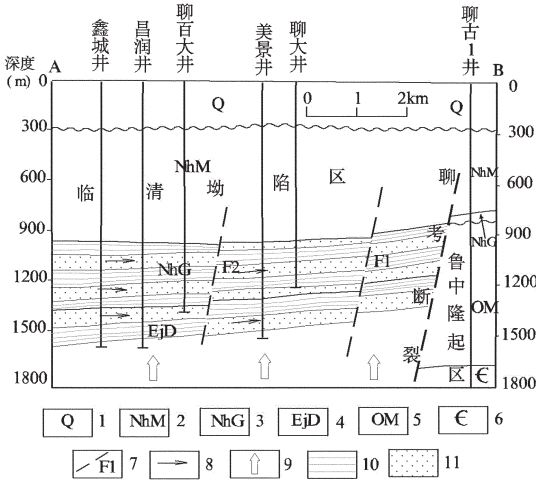


图 3 聊城市城区地热资源概念模式

1—第四系;2—新近纪明化镇组;3—新近纪馆陶组;4—古近纪东营组;5—奥陶纪马家沟组;6—寒武系;7—断层及编号;8—水源;9—热源;10—盖层或热储夹层(隔水或弱透水);11—热储含水层

Fig.3 Geothermal resource conception model of Liao Cheng City

1-Quaternary; 2-Neogene Minghuazhen Formation; 3- Neogene Guantao Formation; 4-Paleogene Dongying Formation; 5-Ordovician Majiagou Formation; 6- Cambrian; 7-fault and its serial number; 8-water source; 9-heat source; 10-cap layer or hot reservoir interlayer (impermeable or weakly permeable layer); 11-aquifer thermal energy storage

Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>以及 I<sup>-</sup>、Li<sup>-</sup>、Sr<sup>2+</sup>等含量相对 F2 断裂以西的非构造圈闭型热储越浓缩,因而矿化度、总硬度相对较高。而 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、pH 值相对较小,也同样指示了 F2 断裂以东的构造圈闭型热储所处水文地质环境的相对封闭。

2.3 其他地区的印证

鲁雪松等<sup>[1]</sup>在研究聊城以南的东濮凹陷聊考断裂带的流体活动时发现,靠近聊考断裂的白庙地区沙河街组地层水矿化度明显比距离聊考断裂较远的同层位地层水高。于翠玲等<sup>[2]</sup>在研究东营凹陷胜北断裂带的流体活动时发现,靠近胜北断裂的古近纪地层水矿化度明显比距离胜北断裂较远的同层位地层水高;水化学类型也表现为较封闭环境的 CaCl<sub>2</sub>型水(按苏林分类)。

另外滨州市劳动局地热井和商河县贾庄镇的商热 3 号地热井的矿化度分别为 21023 mg/L 和 9023 mg/L,rNa/rCl 比值分别为 0.84 和 1.05。矿化度分别比附近地区的地热水高了 5000~10000 mg/L 和 2000~4000 mg/L;rNa/rCl 比值分别比附近地区的地热水低了 0.2 左右和 0.1 左右。这也是因为这两个

表 1 构造圈闭型热储与非构造圈闭型热储水质对比

Table 1 Water quality comparison between structural trap type thermal energy storage and non-structural trap type thermal energy storage

| 块 段                         |  | F2 断裂以西块段<br>(非构造圈闭型热储) |                        |                        | F2 断裂以东块段<br>(构造圈闭型热储) |                   |
|-----------------------------|--|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|
|                             |  | 聊百大井                    | 鑫城井                    | 昌润井                    | 聊大井                    | 美景井               |
| 主要<br>组分 (mg/L)             | Na <sup>+</sup>                          | 1225.0                  | 1443.0                 | 1658.0                 | 2442.0                 | 3161.0            |
|                             | K <sup>+</sup>                           | 6.65                    | 13.1                   | 13.43                  | 28.4                   | 29.85             |
|                             | Ca <sup>2+</sup>                         | 127.72                  | 213.8                  | 211.9                  | 388.1                  | 432.3             |
|                             | Mg <sup>2+</sup>                         | 19.36                   | 55.56                  | 42.83                  | 95.3                   | 98.31             |
|                             | Cl <sup>-</sup>                          | 782.67                  | 1362.0                 | 1858.0                 | 3337.0                 | 4405.0            |
|                             | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>            | 1550.01                 | 1718.0                 | 1463.0                 | 1790.0                 | 1790.0            |
|                             | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>            | 227.22                  | 192.9                  | 199.7                  | 160.7                  | 155.0             |
| 微量<br>组分 (mg/L)             | F <sup>-</sup>                           | 1.20                    | 1.80                   | 1.40                   | 1.5                    | 0.90              |
|                             | Br <sup>-</sup>                          | 1.18                    | 1.80                   | 3.00                   | 1.8                    | 7.00              |
|                             | I <sup>-</sup>                           | 0.40                    | 1.40                   | 1.45                   | 3.95                   | 5.50              |
|                             | Li <sup>-</sup>                          | 0.10                    | 0.176                  | 0.15                   | 0.438                  | 0.392             |
|                             | Sr <sup>2+</sup>                         | 3.50                    | 6.497                  | 7.52                   | 13.74                  | 22.31             |
|                             | HSiO <sub>3</sub> <sup>-</sup>           | 33.8                    | 33.85                  | 34.27                  | 34.87                  | 34.94             |
| 特征<br>系数                    | rNa/rCl                                  | 2.28                    | 1.61                   | 1.37                   | 1.13                   | 1.08              |
|                             | (rSO <sub>4</sub> ×10 <sup>2</sup> )/rCl | 146                     | 93                     | 58                     | 40                     | 30                |
| 其他 (mg/L)                   | TDS                                      | 3969.60                 | 5035.87                | 5487.54                | 8283.42                | 10120.76          |
|                             | 总硬度                                      | 398.66                  | 772.78                 | 718.06                 | 1349.4                 | 1496.61           |
|                             | pH                                       | 7.9                     | 7.5                    | 7.45                   | 7.3                    | 7.2               |
| 水化学类型<br>比例系数(K)<br>离子强度(I) | SO <sub>4</sub> -Cl-Na                   |                         | Cl-SO <sub>4</sub> -Na | Cl-SO <sub>4</sub> -Na | Cl-SO <sub>4</sub> -Na | Cl-Na             |
|                             |  | 8.94                    | 13.58                  | 14.19                  | 26.22                  | 32.62             |
|                             |  | 0.12                    | 0.15                   | 0.15                   | 0.23                   | 0.27              |
| 取水深度 (m)                    |  | 1104~1420               | 1080.1~<br>1577.7      | 1104.8~<br>1595.8      | 954.5~<br>1201.2       | 1145.7~<br>1529.8 |

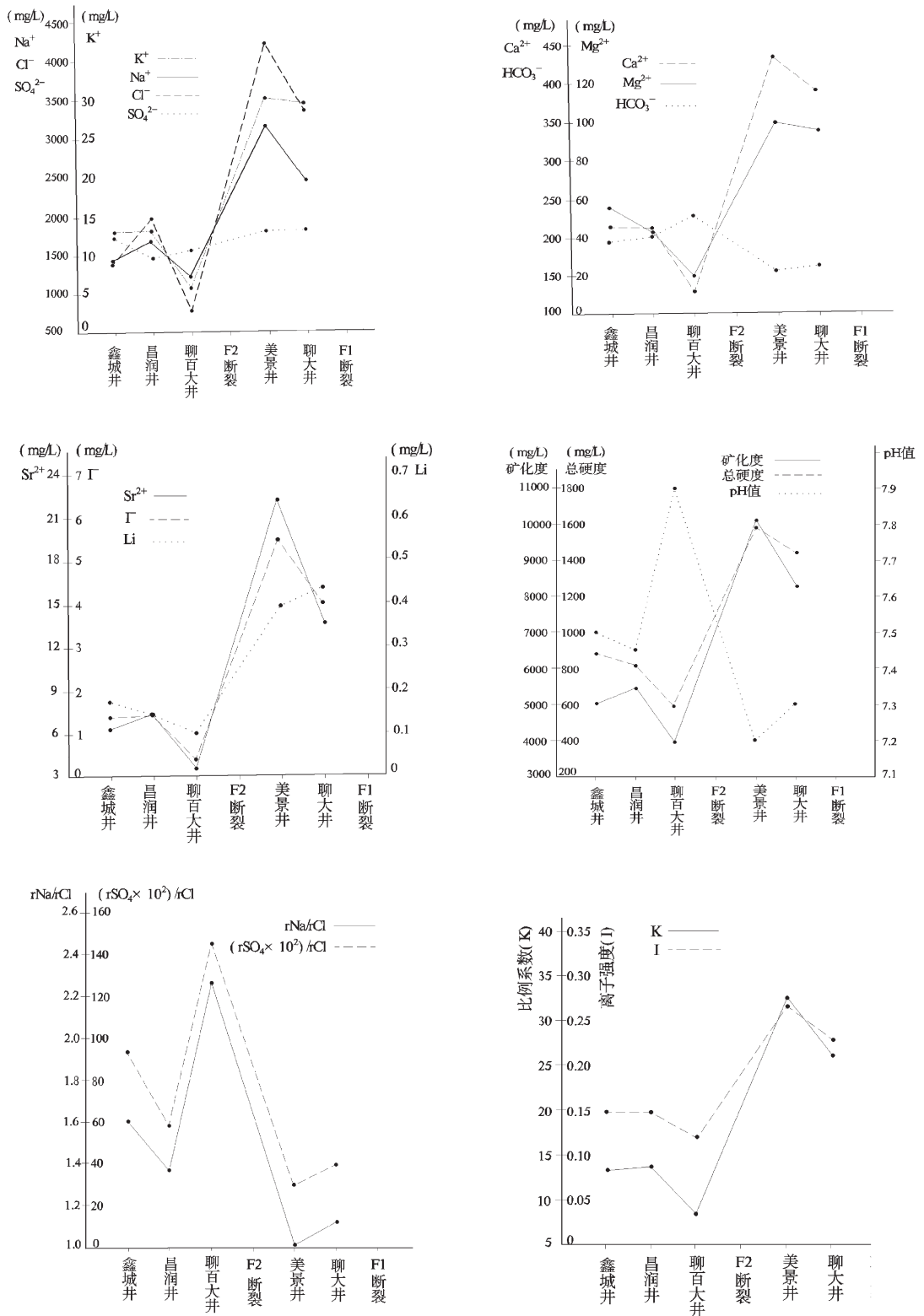


图 4 构造圈闭型热储与非构造圈闭型热储水质对比

Fig.4 Water quality comparison between structural trap type thermal energy storage and non-structural trap type thermal energy storage

地热井均位于凸起和凹陷的边界断裂附近。

上述地热井所处地质构造环境均有可能为构造圈闭型热储。

### 3 结 论

笔者提出了一种新的地热资源概念模式——构造圈闭型地热资源,构造圈闭型热储一般位于凸起和凹陷的边界断裂附近靠近凹陷的一侧,类似于构造圈闭型油气藏。在凹陷区内部合适的构造组合部位,由于阻水岩性配合,也可能形成构造圈闭型热储。

构造圈闭型热储处于一个相对封闭的水文地质环境,赋存于其中的地下热水径流非常滞缓,变质程度较高,发生的水-岩反应更加充分,溶解的围岩化学元素成分更多,有可能形成良好的医疗热矿水。但是由于补给能力较弱,构造圈闭型热储地热资源主

要为消耗型资源。因此,在地热资源勘查中应充分重视这一地热资源概念模式,做好地热资源勘查开发规划,保护好构造圈闭型热储中的地热资源,充分发挥地下热水的医疗保健功能。

### 参考文献 (References):

- [1] 鲁雪松, 鲁红利, 蒋有录, 等. 东濮凹陷兰聊断裂带流体活动的证据[J]. 断块油气田, 2007, 14(2): 12-13.  
Lu Xuesong, Lu Hongli, Jiang Youlu, et al. Evidence on fluid activity of Dongpu hollow Lanliao fracture [J]. Block Oil and Gas Field, 2007, 14(2): 12-13(in Chinese with English abstract).
- [2] 于翠玲, 曾溅辉, 林承焰, 等. 断裂带流体活动证据的确定[J]. 石油学报, 2005, 26(4): 36-37.  
Yu Cuiling, Ceng Jianhui, Lin Chengyan, et al. Evidence identification of fracture fluid activity [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(4): 36-37(in Chinese with English abstract).

## Geothermal resource of structural trap type: an important geothermal resource conceptual model

ZHANG Bao-jian<sup>1</sup>, WEN Dong-guang<sup>2</sup>, SHEN Zhao-li<sup>1</sup>, QI Lin<sup>3</sup>

(1. China University of Geoscience, Beijing 100083, China; 2. China Geological Survey, Beijing 100037, China;  
3. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China)

**Abstract:** Based on the abnormal chemical composition phenomena of underground hot water along the principal fault, this paper has advanced a new conceptual model for geothermal resource, i.e., structural trap type of geothermal resource. The structural trap type energy is stored in a relatively closed hydrogeological environment characterized by slow underground water runoff, high degree of metamorphism, complete water-rock interaction, and abundant chemical elements in dissolved rocks, thus likely to form a kind of good medical hot mineral water. The structural trap type energy has a special significance in geothermal resource exploration, and hence researchers should pay full attention to the medical treatment and health care function of underground hot water in the structural trap type energy storage.

**Key words:** structural trap type; conceptual model; medical hot mineral water; geothermal resource

**About the first author:** ZHANG Bao-jian, male, born in 1973, Ph.D candidate, mainly engages in hydrogeological and environmental geological research and exploration; E-mail: baojianzh@sohu.com.