

# 山东地下热水资源的形成与开发前景

刘善军

(山东省地质环境监测总站)

**摘要** 山东省天然温泉有 18 处,自 70 年代至今,又相继发现地下热水出露点 20 处。地下热水的赋存形式为层状和带、脉状,其中基岩山区及沂沭断裂带的热储多为带、脉状;鲁西、鲁北平原区的热储多为微倾斜的连续层状或不连续层状,且具多层叠加特征。地下热水的形成和分布与断裂构造及中生代花岗质岩浆活动具有密切关系。

## 1 山东省地热资源概况

山东省位于太平洋西岸的高热流值地带,中、低温热水资源丰富,分布广泛。到目前,全省共发现地下热水露头 38 处,其中地下热水天然露头(温泉)18 处,人工揭露(钻孔)20 处。温泉主要分布于胶东地区(占 14 处),是山东省浅层地热异常显示明显的地区;热水钻孔主要分布于鲁北平原(占 14 处)。由于地下热水的出露条件和所处的地质条件的差异,各相邻地下热水的水温及水化学成分亦不尽相同。山东省地下热水最高水温为 100.5℃(招 5 号孔,孔深 340m 处),最低水温 27.3℃(平邑县王家坡温泉)<sup>①</sup>。

## 2 地下热水的形成与分布规律

热储、热源与热水隔水层是形成地下热水资源的三大必备条件,而区域断裂构造的形成与展布往往对地下热水的分布(导流、赋存)起着控制作用。

### 2.1 热储特征

依据钻探资料和地下热水的赋存方式,山东省的热储可分为层状热储、脉状热储两种类型。

#### 2.1.1 层状热储

按热储层岩性特征及孔隙、裂隙、岩溶发育程度,又可分为岩溶-裂隙型热水储层、孔隙-裂隙型热水储层两个类型。

(1)寒武-奥陶系碳酸盐岩岩溶裂隙热储 热水赋存于古生界灰岩中,以溶蚀裂隙、溶孔、溶洞为主,构造裂隙次之。热储层埋藏一般较深,主要分布于齐河-广饶断裂以北的鲁北平原和鲁西平原的基底凸起部位,在山前倾斜平原的中部亦有少量分布。其中鲁北平原和鲁西平原区热储厚度为 100~150m,岩溶发育,水量丰富,水温 49.5~98℃,水

此文 1996—11 收到,1997—09 改回。

① 山东省地质环境监测总站刘善军、曹永凯等,1994,山东省地热资源调查报告。

化学类型为  $\text{Cl}^- - \text{Na}^+$  型,矿化度  $14.37 \sim 16.52 \text{g/L}$ ,热矿水类型多为氟·锶型。山前倾斜平原区热储厚度  $180 \sim 200 \text{m}$ ,主要分布于济南—淄博一线以北地段。水温  $38.0 \sim 39.3^\circ\text{C}$ ,水化学类型为  $\text{Cl}^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+ \cdot \text{Ca}^{2+}$  型,矿化度  $4.62 \sim 6.89 \text{g/L}$ ,热矿水类型为氟·锶·硅·硫化氢型(济南鸭旺口地热水)和氟·锶·硅型(淄博市地热水)。

(2)第三系砂岩类孔隙-裂隙热储 热水赋存于第三系砂岩中,以原生和次生孔隙为主,裂隙次之。热储层顶板埋深  $500 \sim 1000 \text{m}$ ,在鲁北平原有着广泛分布。热储层厚度  $80 \sim 200 \text{m}$ ,由于第三系是一套泥质岩类与砂岩类交互沉积建造,所以热储层具多层叠加特征,且下层热储温度高于上层热储温度。水温  $38 \sim 56.8^\circ\text{C}$ ,水化学类型多为  $\text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+$  型,矿化度  $2.24 \sim 20.67 \text{g/L}$ ,热矿水类型以氟·锶型为主。

### 2.1.2 带、脉状热储

热储层具有埋藏浅,热能存储量大、易于开采等特点,热水主要赋存于中生代花岗岩和早前寒武纪变质岩中,以构造裂隙、风化裂隙为主,地下热水大都以温泉形式出露地表。该类型热储多分布于鲁东和沂沭断裂带内,在鲁西隆起的断陷盆地内亦有分布。各热储多为独立的热水构造系统,相互之间无明显的水力联系,故相邻地下热储中的水温、水化学成分变化较大。

(1)沂沭断裂带热储带 沂沭断裂带展布范围内是一条以地壳薄、上地幔高、电导层浅为背景的高温地热带。断裂带上自南至北分布着许多温度较高的温泉,在山东境内,沿断裂带已发现 3 处地热点,热储岩性主要为岩浆岩,热储层厚度  $150 \sim 250 \text{m}$ ,水温  $50 \sim 74^\circ\text{C}$ ,水化学类型为  $\text{Cl}^- - \text{Na}^+ \cdot \text{Cl}^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+ \cdot \text{Ca}^{2+}$  型,矿化度  $1.29 \sim 2.49 \text{g/L}$ ,热矿水类型为氟·硅型。

(2)鲁东基岩山区带、脉状热储 地下热水均以温泉的形式出露于断裂构造密集部位以及中生代侵入岩周围。热储岩性以早前寒武纪变质岩和中生代花岗岩类为主,热储厚度  $180 \sim 280 \text{m}$ ,水温  $50.1 \sim 90^\circ\text{C}$ ,水化学类型多为  $\text{Cl} - \text{Na} \cdot \text{Ca}$  型,与第四系潜水混合时为  $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+$  型,矿化度  $0.50 \sim 16.91 \text{g/L}$ ,热矿水类型以氟·硅型为主。

## 2.2 热源与地下热水的形成

### 2.1.1 地下热水的热源

地热的热源包括:岩浆余热,即中生代、新生代岩浆侵入体凝结后的残余热;放射性物质蜕变而发出的热;地壳运动产生的热,即断裂构造活动的机械能转化的热,由此形成的地热带与地震带分布一致;由地球表面向核心正常地温增高的热。

在平原区,地壳浅层的致热条件除了来自正常的地壳深部及上地幔传导热流外,局部也直接受控于岩浆活动。如鲁北东部的车镇凹陷、沾化凹陷东部的地温特别高,2000m 深度内地温可达  $114^\circ\text{C}$ ,地温梯度值达  $6.2^\circ\text{C}/100 \text{m}$ ,这显然与附近新生代岩浆活动有关。在基岩山区,尤其是鲁东地区浅层地热异常的热源,有认为是来自中生代花岗岩余热的观点,然而,令人质疑的是:中生代形成的花岗岩距今大都在  $100 \text{Ma}$  土,地壳的隆升作用将其抬升到地表后的长期风化剥蚀时期里,这种残余热量(毕竟是有限的)或由其形成的局部相对高地温场,在不具备拗陷平原所具有的广泛隔水隔热层的条件下,何以影响至今的呢?再者,从鲁东地区出露的 14 处温泉的水温显示情况来看,在钻孔深度  $100 \text{m}$  范围内揭露的地下热水水温大都在  $60^\circ\text{C}$  以上,也就是说,其深部现今的地温场是

至少 $>60^{\circ}\text{C}$ 的高地温场。鲁东地区各类花岗岩的形成温度( $650\sim 850^{\circ}\text{C}$ )表明,在100Ma的漫长地质时期中,在来自花岗岩自身和大气降水参与循环散热的背景下,花岗岩形成后的残余热量仍能维持现今的高地温场显然是不可能的。笔者认为,鲁东地区地热异常的致热条件和沂沭断裂带地区地热异常的导热条件一样,热源来自上地幔的传导热流,它是沂沭断裂带、鲁东地区NNE、NE及NEE向断裂构造活动的产物(图1)。

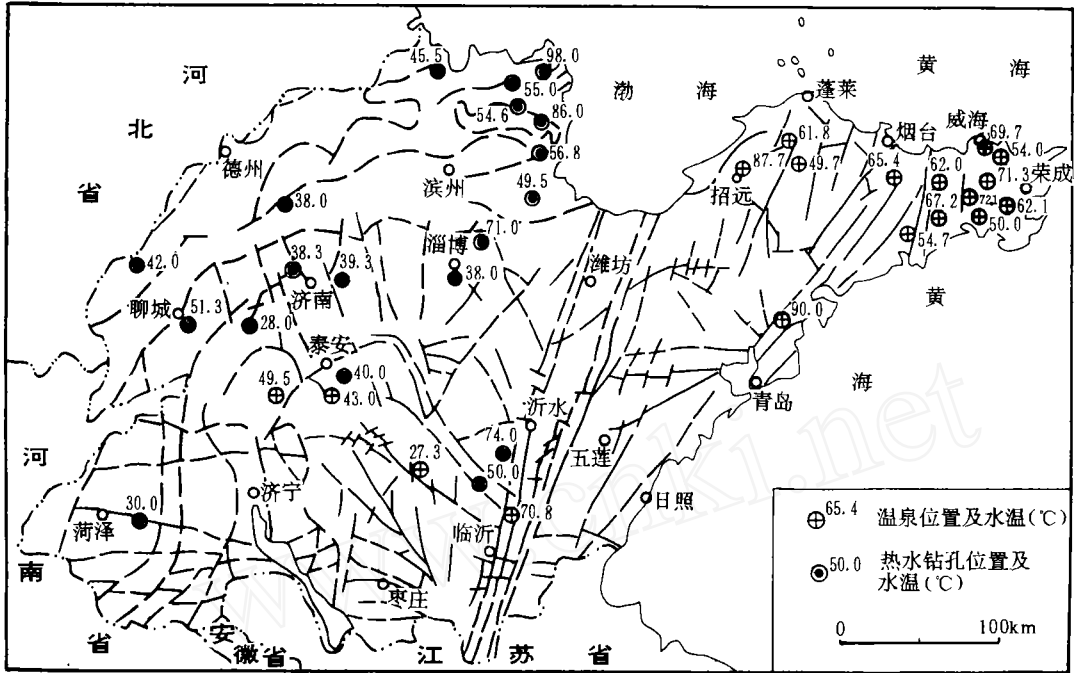


图1 山东省地热分布简图

Fig.1 Sketch of the geothermal distribution spots of Shandong

地下热水的水源主要是来自大气降水的下渗循环,部分为盆地沉积物形成时保存下来的沉积水和封存水。盆地内部深层地下水,一部分为封存水和沉积水,而大部分为沉积物形成后在漫长的地质时期中,由远、近山区的侧向径流补给。

### 2.2.2 地下热水的形成条件

地下水具有较高的热容量,是良好的载热体,借助于地下水的运动和热对流传热方式,热量便在地下储集层中得以迅速传递。因此,地下水的侧向径流或垂直渗透均可带走或带来热量,使地温场发生明显变化。在冷热水交替强烈的地带,浅层地温场常表现为低温区,而远离补给区冷热交替条件较弱地带,则为相对高温区。如济南鸭旺口地热水,位于山前倾斜平原前缘地带,其南部为奥陶系石灰岩组成的单斜构造,地下水交替循环强烈,水温较低;而在北部沉积了巨厚的上第三系和石炭-二叠系泥质岩类和砂、页岩隔水隔热层,其下伏奥陶系石灰岩含水层因受闪长岩体阻隔,使得闪长岩体北部含水层与南部含水层之间的水循环条件变弱,在深大断裂发育的部位,通过地下水的深循环形成了地下热储层。

在基岩山区,不论是层状热储,还是带、脉状热储,其地下热水的形成与导流、储存

主要受断裂构造制约。这是因为发育于山东境内的新华夏系压性、压扭性主干断裂,除自身的活动产生一定能量外,主要是沟通深部热源和地下热水进行循环的主要通道,与其相伴生的 NE, NEE 向断裂自中更新世以来,在以 NEE 向的最大主压应力为特征的现代构造应力场作用下,山东地区 NEE 向及近 EW 向断裂普遍呈拉张状态(霍光辉等, 1993),因而它常常形成张性破碎带,这又是地下热水汇集和排泄的主要通道。当其与主干断裂沟通时,便从深切的主干断裂中获得热量和一定水源,使地下热水沿断裂带运移并储存于其间,形成带、脉状热储,或在适当地带出露形成温泉。在其与主干断裂的交接复合部位,由于岩石破碎程度加剧,裂隙发育,更有利于深部热水的循环与运移,故而热储温度一般较高,且水量丰富。如招远汤东泉受 NNE 向新华夏系断裂控制,在其与 EW 向断裂交接复合部位,地下热水水温较高,招 5 号孔在孔深 340m 处水温 100.5℃,招 3 号孔水温 92℃,整个温泉区的地下热水自流量达 200m<sup>3</sup>/h。

鲁北平原区地下热水的形成分布与地质构造、地层岩性关系密切。该区在构造上属冀鲁帚状构造体系的一部分,分布于沧东-聊考断裂以东,宝坻-乐亭断裂以南,齐河-广饶断裂以北的广大地区。它是在郯庐断裂活动的控制下,以鲁西隆起为砥柱,以齐河-广饶断裂、阳信-埕南断裂和埕西断裂为旋回面,以济阳拗陷、埕宁隆起和黄骅拗陷为旋回层,组成向 SW 方向收敛、向 NE 方向撒开的大型帚状构造。济阳拗陷自燕山运动以来被 NE, NW 及近 EW 向的 3 组基底断裂切割成一些断块,形成一些凸起和凹陷。在凸起区内缺失下第三系,而在凹陷区内沉积了巨厚的下第三系。由于下第三系泥岩、砂质泥岩含水导水性能差,热导率低,因此在不同地区、不同构造部位和不同深度上起着隔水、隔热作用,是鲁北地区某些地段形成地温梯度异常的主要原因。鲁北平原 2000m 深度地温等值线在平面上的展布规律表明,凹陷区中部地温较高,而向边缘地温存在着降低的趋势。在凹陷区内,含油气背斜构造顶部及凹陷中古潜山隆起部位地温梯度比较高。鲁北各地热钻孔一般都分布在奥陶系石灰岩断块凸起的部位,这是由于来自地壳深部的热流沿热导率高、热阻小的基底致密坚硬岩层,经侧向和垂向向背斜和凸起顶部运移,并在基岩凸起处相对集中,使基岩凸起部位的地温明显高于相同深度其他岩层的温度。同时形成了基岩面以上浅层地温场与基岩起伏相一致的地温变化规律(图 2)。特别是在凸起内部开启性较好的基岩断裂,是热水运移的良好通道,与地热异常的形成有着直接的关系。

鲁西平原区,晚第三纪以来逐渐下降,EW 向断裂及新华夏系断裂活动,将本区分割成一系列凹凸相间排列的棋盘格状断块。这些断块,除少数外,其上均沉积了热导性差的较厚的上第三系,这是下伏地层产生地温梯度异常的一个重要条件。与该区地热异常形成有直接关系的构造——新华夏系断裂构造,在区内自西向东主要为聊考断裂、“S”型曹县断裂及巨野断裂,并伴生了一系列区域 EW 向断裂构造。聊考断裂在侏罗纪、早第三纪活动强烈,晚第三纪以来仍有活动,据史料记载,1502~1948 年间仅 5 级以上的地震就发生过 5 次,这些说明聊考断裂是一个新构造活动带,它的形成与发展对地温场的变化及其西侧的寿张凹陷和东明凹陷有明显的控制作用。沿聊考断裂带东侧的菏泽凸起内发育有 3 组 NW 向展布的侵入岩体,它们在 1:50 万垂直磁力异常图上反映为 3 条轴向为 NW 向的长条状磁力高带。由于断裂的深切性和活动性以及一系列

NW、EW 向张性断裂的相互沟通,为深部的石灰岩层内岩溶发育提供了有利条件。当地下热水通过断裂带沿含水层运移时,便形成了层状热储。因此,沿聊考断裂及其两侧的东明凹陷和菏泽凸起内均具有形成地热异常的地质条件。如菏泽沙土集热水孔,位于聊考断裂东侧的 EW 向的菏泽断裂带上,钻孔之西侧的深部为 NW 向展布的侵入岩体。该温水孔深 502m,热储岩性为奥陶系石灰岩,水温 30℃。

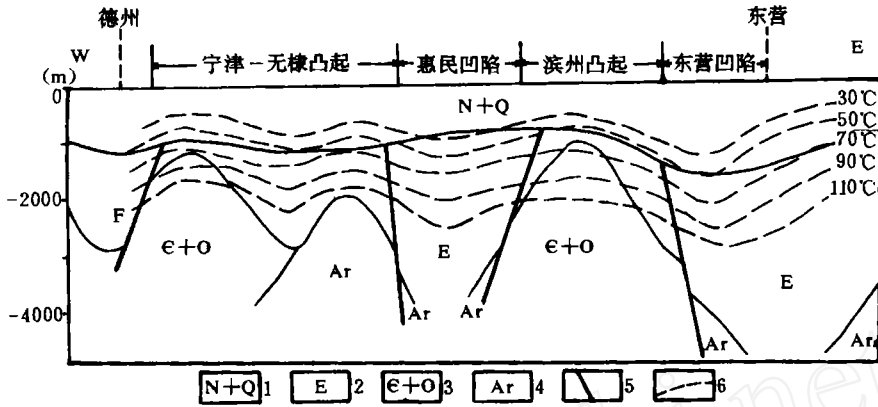


图 2 德州—东营地热地质剖面简图

Fig. 2 Geological profile of geothermal in Dezhou—Dongying area

1—上第三系及第四系;2—下第三系;3—寒武系及奥陶系;4—太古宙变质岩系;5—断层;6—温度曲线

聊考断裂以东的巨野断裂和曹县断裂是迁就原有构造的同时,交接其它构造体系形成的新华夏系断裂构造。它的北段向 NE 向偏转,中段向近 SN 向偏转,南段向 SW 向偏转,沿断裂带呈弧形凸出侧往往张性裂隙发育,因此在其与区域 EW 向断裂复合部位及 SN 向弧形断裂凸出部位,亦具备有地下热水形成与储存的条件。如聊城聊古<sub>-1</sub>热水孔,位于曹县断裂北段的弧形凸出侧与聊考断裂之间,孔深 2337.72m,自流水头高出地面 1.0m±,水温 51.3℃。

### 3 地热资源开发前景

地下热水资源是地热资源的一部分,由于它的显著经济效益和商业价值,国际上许多国家争相开发这一资源,开发历史已近 60 余年。山东省有组织的进行地热开发始于 50 年代。在全省目前已知的 38 处地热点中,已开发的有 27 处,开发情况因地而异,差别较大。其中开发利用较好的仅有临沂、即墨、威海、招远、济南等 5 处。目前,全省地热资源的利用方式仅限浴疗和水产养殖等方面。据 1994 年山东省地热资源调查资料,省内已打出热水井 67 口,年开采地下热水总量  $311 \times 10^4 \text{m}^3$ ,总热流量  $56.8908 \times 10^{13} \text{J/a}$ ,相当于节煤  $1.94 \times 10^4 \text{t}$ 。其中医疗卫生用水量占 34%,水产养殖用水量占 22.3%,采暖用水占 4.1%;生活饮用水占 23.1%;工业用水占 16.5%。

地下热水资源对工业、农业、养殖、城镇集中供热及旅游业等均具有显著的社会效

益和经济效益,地下热水的利用是解决能源匮乏及减少因燃烧煤炭而造成环境污染的有效措施之一。山东省地热资源丰富,分布广泛,因此,开展地热资源的进一步勘探和综合利用有着广阔的前景。

### 参 考 文 献

- 1 蔡新平. 试论郯庐断裂带对胶东金矿集中区形成的巨大作用. 山东地质,1993,9(2)
- 2 霍光辉,罗卫. 应用地球物理场资料对胶南地体构造特征的探讨. 山东地质,1993,9(2)
- 3 万天丰. 山东构造演化与应力场研究. 山东地质,1992,8(2)
- 4 山东省地质矿产局. 山东省区域地质志. 北京:地质出版社,1991

## FORMING AND DEVELOPING FUTURE OF UNDERGROUND THERMAL WATER IN SHANDONG

Liu Shanjun

*(Shandong Monitoring Center of Geological Environment)*

### Abstract

There are 18 natural thermal springs in Shandong. Accompanying with wild development of the geological exploration job, 20 more spots have been found. The occurrence form of underground thermal water are layer, band and belt types. In the basement mountainous areas and the Yishu fault, the forms are belt and band types, while in the western and northern plate of Shandong, they are continuous and uncontinuous layers and has the characteristic of stacked layers. The formation, distribution and fault structure of underground thermal water has a close relationship with the Mesozoic granitic magmatic activity.