



# 日照市管帅地区地热资源特征分析

白平,杨崇敬

(山东省第八地质矿产勘查院,山东日照 276826)

**摘要:**日照市管帅地区位于沂沭断裂带之昌邑-大店断裂两侧,莒县地堑东缘。通过对管帅地区地质构造、水文地质条件、热储层、反演电阻率及水化学的分析研究,探讨其地热资源特征,为管帅地区的地热资源规划开发提供参考依据。

**关键词:**地热资源;特征;分析;管帅地区;山东日照

**中图分类号:**P641.5

**文献标识码:**A

地热资源作为一种清洁能源,在热量采取速率小于补给速率的情况下,具有可再生、节能环保、利用方便等特点,现已广泛利用于医疗保健、洗浴、供暖、养殖等领域。合理开发利用地热资源对改善能源结构、促进地方招商引资具有重要意义。山东省日照市管帅地区属沂沭断裂带裂隙型地热区<sup>[1]</sup>,蕴含丰富的地热资源,2011年5月成功钻探出一口地热井,该井的钻探成功不仅填补了日照市地热资源的空白,同时对利用沂沭断裂带寻找地热资源具有示范作用。因此,探讨其地热资源特征,对类似地区利用深大构造勘查地热资源具有一定指导意义。

## 1 区域地质特征

管帅地区大地构造上位于华北陆块(I)鲁东隆起区(III)胶莱拗陷区(III<sub>b</sub>)之诸城凹陷(III<sub>b</sub><sup>0</sup>)。研究区以管帅镇驻地为中心,西至安丘-莒县断裂以东,东至七宝山断裂,北临汪湖镇,南到郭家店子附近,面积约150 km<sup>2</sup>。

### 1.1 地层岩性

研究区内出露地层主要以中生代青山群、大盛群,新生代王氏群为主,局部上覆第四纪沂河组。以昌邑-大店断裂为界,地层呈现一定差异性,断裂以东主要为较老的方戈庄组粗安岩、凝灰岩等;以西为一套较新的白垩纪大盛群、王氏群地层,岩性以黄绿色砂砾岩、紫红色粉砂岩为主,偶夹砾岩、页岩;西北

角出露少量寒武纪灰岩。受多期断裂构造影响,局部地层出现反复、缺失现象。

### 1.2 地质构造

管帅地区地质构造主要受沂沭断裂带活动控制。沂沭断裂带是一条长期活动的深大断裂带,由4条主干断裂组成,自东向西依次为:昌邑-大店断裂、安丘-莒县断裂、沂水-汤头断裂、郯部-葛沟断裂,4条主干断裂构成了二堑一垒的格局。其中昌邑-大店断裂和安丘-莒县断裂自研究区中西部穿过。由于中生代太平洋板块的向西俯冲,该2条断裂近代活动剧烈。据日照市地震局资料,1999年1月—2006年1月,昌邑-大店断裂和莒县-安丘断裂周围共发生2级以上地震48余次。研究区内地震动峰值加速度为0.15~0.20 g。

受昌邑-大店和安丘-莒县断裂运动控制,管帅地区断裂构造可分为NE及NW两组。①NE向以昌邑-大店断裂为代表。昌邑-大店断裂走向NE 10°~30°,倾向NW,倾角65°左右,东盘上升,西盘下降。影响宽度达数百米以上,性质以压扭性为主。带内挤压片理、挤压扁豆体发育,主断面呈舒缓波状,断面上擦痕、阶步明显,牵引小褶皱发育,受NW向构造活动切割,呈断续状。区内NE向断裂性质基本与其相同。②NW向断裂总体走向NW 40°~70°,倾向NE,出露长度不一,以张扭性为主,多为昌邑-大店和莒县-安丘断裂派生的次生断裂,发育年

收稿日期:2013-06-25;修订日期:2014-01-09;编辑:王秀元

作者简介:白平(1987—),男,四川广元人,助理工程师,主要从事水工环地质工作;E-mail:390466447@qq.com。

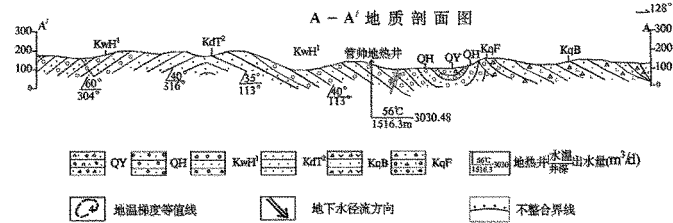
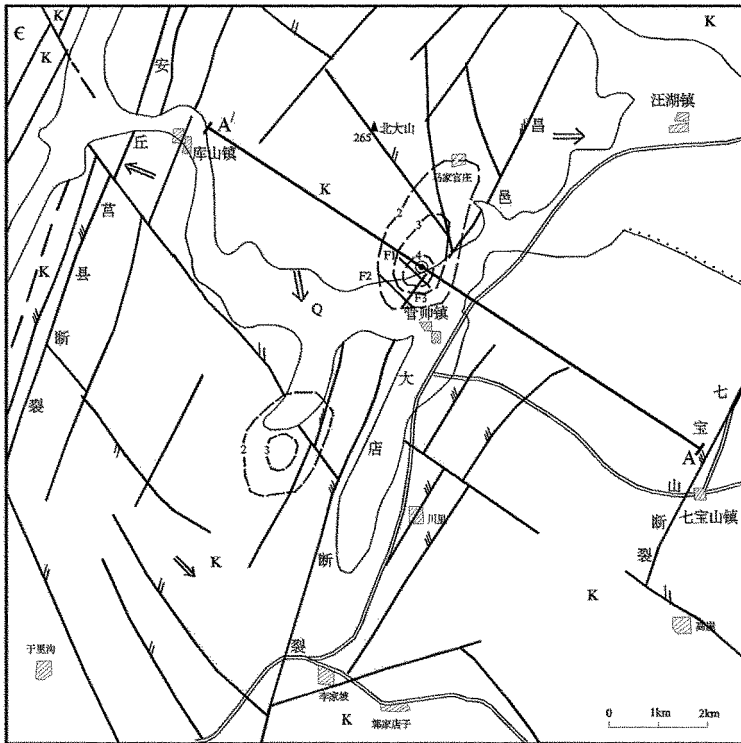


图1 研究区地热地质略图

代较晚,为良好的地下水运移通道。受多期构造运动影响,两组构造常呈折线状相交,断裂之间互相切割、错断,地质构造十分复杂(图1)。

F1, F2, F3 断裂为物探推断隐伏断层, F1 断裂走向 NW, -800 m 以上倾角较陡, 下部倾向 NE, 发育深度大于 2 000 m, 破碎带宽度 100 m 左右; F2 走向 NW, 倾向 SW, 发育深度大于 1 500 m; F3 断裂走向 NE, 倾向 NW, 倾角较陡, 发育深度大于 2 000 m, 推测为昌邑-大店主断裂(图 1)。

### 1.3 水文地质

研究区位于汞丹山-沂水隆起东缘, 整体地势西高东低, 地表水体多为人工修筑水库和季节性河流。根据含水介质类型可分为松散岩类孔隙水、碎屑岩类孔隙裂隙水和构造裂隙水 3 种类型。

①松散岩类孔隙水: 一般分布于河流两侧第四纪地层中。水位埋深 0.5 ~ 2.5 m, 年变幅 2 ~ 3 m,

单位涌水量小于  $3 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$ , 矿化度小于  $0.5 \text{ g/L}$ 。②碎屑岩类孔隙裂隙水: 含水层主要为白垩系, 是该地区的主要含水层, 富水性较差。水位埋深 2 ~ 7 m, 年变幅 3 m 左右, 单位涌水量小于  $2 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$ , 水质一般较好, 矿化度小于  $0.5 \text{ g/L}$ 。③构造裂隙水: 研究区断裂构造极为发育, 其中 NW 向断裂多数为张性、张扭性断裂, 宽度大切割深, 导水、富水性强, 形成脉状构造水, 单井涌水量大于  $50 \text{ m}^3/\text{d}$ , 矿化度小于  $1 \text{ g/L}$ 。

管帅地区地下水的补给来源以大气降水为主, 同时由于地表水体较发育, 可接受其沿构造有利部位的长距离补给。受构造切割影响区域内地势相对高差较大, 下切性沟谷发育。地下水径流方向与地表水基本一致, 在重力及水力坡降的作用下, 自西向东径流补给地表水或以季节性泉水排泄。

研究区 3 种地下水涌水量、水质的不同, 表明其循环途径各不相同。其中构造裂隙水径流途径长、水量来源充足、排泄条件较单一, 地下水易凝滞加热并富集矿物质。

## 2 成热地质特征

研究区地热田属深循环对流型水热系统, 按照山东省地热地质条件分区, 研究区属于沂沭断裂带热储区<sup>[2]</sup>; 根据管帅地热井钻探资料, 该区热储层主要为含砾砂岩, 埋藏深度大, 孔隙裂隙发育, 综合判断属断控型带状兼层状热储。区内地下水通过一系列 NW 向张性断裂向 SE 径流, 遇昌邑-大店等 NE 向阻水构造或岩体后, 浅部位以泉水形式出露地表排泄, 深部则沿深大构造、地层倾向向地下深处运移, 逐渐形成地下水蓄积区, 凝滞不前。受地温加热和断裂活动影响, 地壳中来自下部的传导热流分量增大, 使水温升高, 同时地热流体与围岩发生水蚀、交代作用, 使地下热水中富集多种矿物质。地热流体蓄积至一定程度后, 受静水压力的影响, 沿构造有利部位, 向地表浅部运移, 从而导致断裂带地热异常的出现。

### 2.1 地温场特征

通过对研究区内 40 眼机民井、测温孔的地温测量资料统计分析, 研究区内地温场特征大致相同, 恒

温带埋藏深度 15 ~ 25 m 左右,平均温度 14.6 °C。根据地区构造发育情况的差异及距离构造的远近程度,变温带、恒温带、增温带的温度呈 2 种趋势:构造发育,地质结构复杂的地区,温度较高;距离构造较远的地区反之。以 134 号民井和 123 号民井为例,134 号民井位紧邻昌邑-大店断裂以西,并受到 NW 向构造影响,25 m 测温 15.9 °C;123 号民井距离构造断裂较远,25 m 时测温为 15.1 °C<sup>[3]</sup>。两者地温曲线变化关系见图 2。

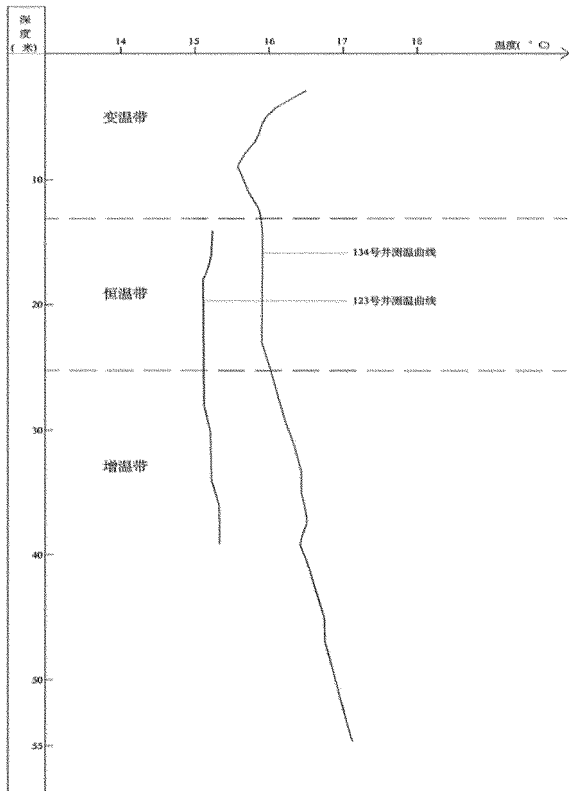


图2 134号、123号民井测温曲线对比图

构造形态对地温分布的影响是区域性的,对地壳浅部地温分布起着主导作用<sup>[4]</sup>。研究区内地温梯度根据受断裂构造发育的不同情况,呈明显差异性。构造分布密集、发育深度大的地区,地温梯度较高,一般大于 2.5 °C/100m,构造发育简单的地区地温梯度则较低,仅 1 ~ 2 °C/100 m。根据管帅地热井测温资料,1 516 m 时温度为 56.0 °C,按公式  $\Delta t/\Delta h = (T - t)/(H - h)$  计算,地温梯度达 2.78 °C/100 m,验证了区域地热异常的特征。

## 2.2 热源及水源

研究区热源主要为正常地温梯度增温热、放射

性物质衰变热以及压性断裂的摩擦热。受昌邑-大店及其次级断裂构造的影响,地壳深部热能通过深大断裂对地下水进行热传导,使水温增高。大气降水为研究区内地热流体的主要补给来源,另外研究区西部人工修筑水库较多,地表水体也可通过构造通道经过地下深循环富集加热,形成地热流体的重要水源。

## 2.3 盖层

根据机民井钻孔资料揭露,研究区内上部岩层主要为王氏群、大盛群,其中夹杂的薄层状紫红色粉细砂岩、粉砂岩,岩石致密不透水,热导率低,既可有效阻止浅部地下水入渗稀释地热流体,又能避免深部地热流体垂向热对流造成的能量损耗,为良好的保温隔水盖层。

## 2.4 热储层

研究区内不同走向断裂纵横交错,破碎带发育,为地下水的储存、运移和深循环加热提供了空间。热储层为受断裂构造断裂影响的王氏群黄绿色砂砾岩破碎部位。根据管帅地热井钻探资料,热储层埋藏深度 821 ~ 1 502 m,厚度 217 m。通过化验结果,取钾、镁温标计算,热储温度 108 °C,属中温地热田。

## 2.5 通道

研究区位于昌邑-大店断裂附近,NW 向断裂构造以张性为主,其中隐伏断裂 F1, F2 发育深度均大于 1 500 m,是地热流体的主要导水和重要导热通道。NE 向的昌邑-大店断裂主要为压扭性,在此处为阻水性质,但沟通了地壳深部热源,是区内重要导热通道,为地热流体的深循环,水温的增加和矿物质富集提供了条件。

## 2.6 热储概念模型

研究区热储概念模型见图 3。

## 3 反演电阻率特征

研究区内地层主要有第四纪沂河组、王氏群、大盛群及青山群地层,根据管帅地热井 CSAMT 测量资料,可对各地层不同岩性反演电阻率特征归纳如下:由图 4 看出,纵向上可分为 4 个电性层,高程 +100 ~ -100 m 之间,视电阻率表现整体低阻特性,推测上部可能为岩石风化、裂隙发育所致,赋存松散岩类孔隙水;第二层高程 -100 ~ -300 m 左右,除受

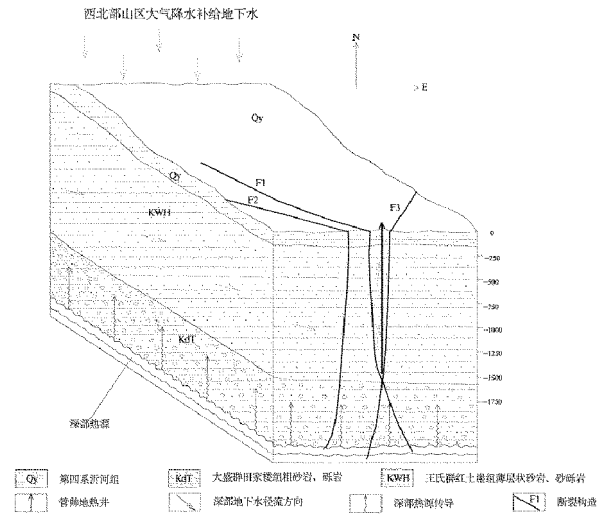


图3 管帅地热田热储概念模型

F1断裂影响部位,视电阻率平均为  $100 \Omega \cdot m$ ,为薄层状粉砂岩、完整砂砾岩、凝灰岩等的综合反映,该段岩石较致密不透水;第三层为高程-300 ~ -1 000 m左右,反演电阻率均小于  $30 \Omega \cdot m$ ,该段由于受断裂构造的影响,岩石破碎,裂隙发育,富水性好;第四层为高程-1 000 m以下,该段岩层视电阻率逐渐增高至  $50 \Omega \cdot m$  以上,且出现凸起状相对高阻体,推测为受构造活动影响,深部岩浆活动入侵形成岩脉,岩石相对致密不透水。

由图4可以看出,研究区内整体岩层视电阻率一般介于  $50 \sim 250 \Omega \cdot m$  之间,岩石致密完整。当有断裂构造通过时,反演电阻率等值线发生突变,形成明显分界面,若断层附近岩性为含砾砂岩等较松散岩性,且构造活动形成良好的导水通道时,岩石破碎富水,呈相对低阻区,阻值一般小于  $50 \Omega \cdot m$ 。

对比管帅地热井钻井过程中穿过的含水段(表1),基本印证了该地区反演电阻率特征。

### 4 地热流体化学特征

表1 钻进穿过含水层情况

深度/m	55 ~ 786.4	821 ~ 840	1040 ~ 1045	1160 ~ 1318	1435 ~ 1465	1497 ~ 1502
钻进情况描述	岩性为含砾砂岩,裂隙发育,掉块严重,涌水量达 $65m^3/h$ ,水温 $18^\circ C$	岩性为含砾砂岩,掉块漏浆严重,泥浆温度 $30^\circ C$ 左右	岩性为含砾砂岩,裂隙发育,基本不返浆	岩性为含砾砂岩,裂隙发育,漏浆严重,泥浆温度 $36.3^\circ C$	含砾砂岩,裂隙发育,漏浆严重	含砾砂岩,裂隙发育,漏浆严重,泥浆温度 $41.5^\circ C$

注:786.4 m以上进行固井止水处理

地热井地热流体井口温度  $56^\circ C$ ,腐蚀系数  $K_k = -4.89, K_k + 0.0503Ca^{2+} = -2.637 < 0$ ,为非腐蚀性水。地热流体中 F 含量  $3.30 mg/L$ ,达到命名矿水浓度和有医疗价值浓度,可命名为氟水;Li 含量

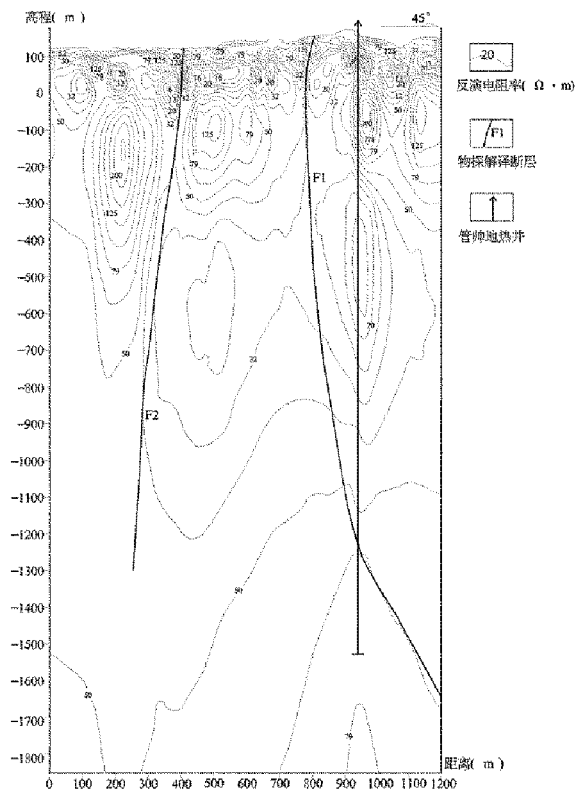


图4 管帅地热井反演电阻率断面图

地热流体的化学特征,反应了地下热水与围岩之间的溶滤、交代作用,同时也是受岩浆活动的影响、大气降水入渗及含水层之间补给的综合体现。

管帅地热井地热流体化验资料(表2)显示,管帅地区地热流体矿化度  $4999.32 mg/L$ ,为半咸水;pH值  $8.25$ ,属弱碱性水,总硬度  $162.92 mg/L$ ,属硬度较低水。化学成分主要有  $SO_4^{2-}, HCO_3^-, Cl^-, Na^+, Ca^{2+}$  等。阳离子为  $Na^+$  和  $Ca^{2+}$ ,其中  $Na^+$  含量为  $1568 mg/L, Ca^{2+}$  含量为  $44.79 mg/L$ ;阴离子主要为  $SO_4^{2-}$  和  $Cl^-$ ,含量分别为  $2553.59 mg/L$  和  $389.94 mg/L$ ,属  $SO_4 - Na$  型水。

$2.27 mg/L, H_2SiO_3$  含量  $26.10 mg/L, HBO_2$   $19.54 mg/L$ ,达到矿水浓度和有医疗价值浓度,为 Li- $H_2SiO_3, HBO_2$  型医疗热矿水;Sr含量  $7.92 mg/L$ ,接近有医疗价值浓度。同时地热水中各种有害元素(As, Hg, Pb,  $Cr^{6+}, Cd$ )等,均远低于国家标准。

表2 管帅地热井水质成分含量

分析项目		含量 mg/L	分析项目		含量 mg/L
阳离子	K <sup>+</sup>	14.42	总硬度	162.92	
	Na <sup>+</sup>	1568	暂时硬度	162.92	
	Ca <sup>2+</sup>	44.79	矿化度	4999.32	
	Mg <sup>2+</sup>	12.4	COD	0.05	
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.52	pH值	8.25	
阴离子	Cl <sup>-</sup>	389.94	游离CO <sub>2</sub>	无	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2553.59	侵蚀CO <sub>2</sub>		
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	358.29	可溶SiO <sub>2</sub>	26.1	
	F <sup>-</sup>	3.3	Cu	<0.05	
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<0.046	Pb	<0.00005	
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.002	Fe	0.24	
	HNP <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.04	Mn	<0.0034	
	库尔洛夫式	$\text{H}^2\text{SiO}_3^{0.033}\text{HB}_3^{0.02}\text{M}_5 \frac{\text{SO}_4^{74.48}\text{Cl}_{15.44}\text{f}^{56}}{\text{Na}_{94.89}}$			

注:由国土资源部济南矿产资源监督检测中心检测

综合评价管帅地区地热流体属温热水<sup>[4]</sup>,富含F, Li, H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, HBO<sub>2</sub>, Sr等多种对人体有益组分,不宜作为生活饮用水、饮用天然矿泉水、渔业用水和农田灌溉使用,可作为具有较高医疗价值的理疗热矿水开发使用。

### 5 研究区地热资源量评价

管帅地热井共进行了3次降深产能测试,最大稳定时间超过48h,通过表3分析,地热流体短时间即达到稳定水位(S1为2h, S2为2h, S3为3h),且停抽后能快速恢复至静止水位,说明地下水具有较强的承压性。利用降压试验数据内插 $Q=f(s)$ 曲线,并作出单位涌水量 $q=f(s)$ 曲线可见(图5),管帅地热井满足直线方程 $Q=q \cdot s$ 要求,带入承压完整井稳定流公式 $k = \frac{0.366Q(\lg R - \lg r)}{M \cdot S}$ ,通过试算法得出 $k=0.52\text{ m/d}$ ,  $R=1\ 275.59\text{ m}$ 。按0.4MPa允许压力降低值计算,管帅地热井的可采资源量为 $3\ 030.48\text{ m}^3/\text{d}$ 。

管帅地热井揭露热储层厚度217m,岩性为砂砾岩,空隙度0.15。采用热储体积<sup>[5]</sup>法计算该区地热资源量为 $7.30 \times 10^{18}\text{ J}$ 。地热回收率取0.15,研究区可利用地热资源量为 $1.10 \times 10^{18}\text{ J}$ ,折合标准煤 $3.75 \times 10^3$ 万t(表3)。

### 6 结语

日照市管帅地区位于沂沭断裂带之昌邑-大店断裂附近,区域地层以白垩纪含砾砂岩、粉砂岩、粉

细砂岩为主。构造主要发育NE向和NW向2组。

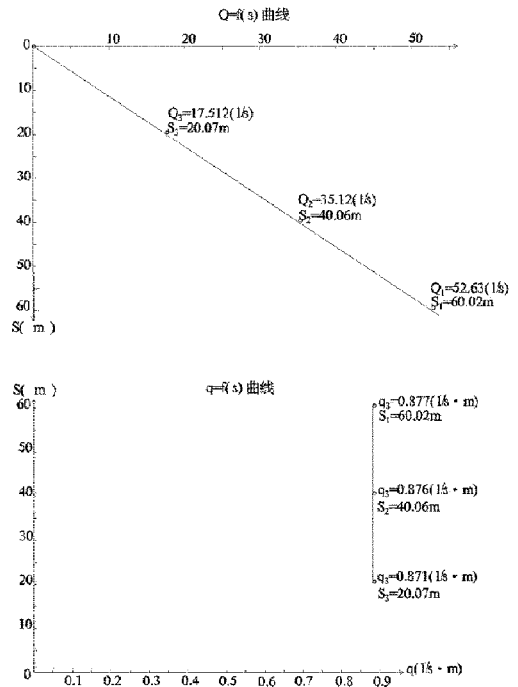


图5 管帅地热井 $Q=f(s)$ 曲线

表3 管帅地热井产能测试统计

静止水位埋深 /m	降深次序	降深 /m	涌水量 L/S	单位涌水量 /L/s·m	抽水延续时间 /h	稳定时间 /h	恢复时间 /h	水温 /℃
41.81	S3	60.02	52.63	0.877	51	48	2.0	56
	S2	40.06	35.12	0.876	26	24		56
	S1	20.1	17.51	0.871	14	12	1.0	56

注:压风机LGAC-26套管为出水管84m,测水管136m。区内地下水分为松散岩类孔隙水、碎屑岩类裂隙水和构造裂隙水3种。管帅地热田盖层为薄层状紫红色粉细砂岩,NW和NE向构造为导水导热通道,热储层为大盛群含砾砂岩,主要接受大气降水补给,地下水随地形坡度自西向东径流,沿NW向构造深循环加热、富集矿物质,遇NE向阻水断裂后凝滞不前,形成地热异常。管帅地区反演电阻率一般介于 $50 \sim 250\ \Omega \cdot \text{m}$ 之间,遇构造断裂通过时,反演电阻率等值线突变形成明显分界面,破碎富水地段呈相对低阻区,阻值一般小于 $30\ \Omega \cdot \text{m}$ 。地热流体为弱碱性半咸水,井口温度 $56\text{ }^\circ\text{C}$ ,富含F, Li, HBO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>等微量元素。研究区可利用资源量 $1.10 \times 10^{18}\text{ J}$ ,折合标准煤 $3.75 \times 10^3$ 万t。

### 参考文献:

- [1] 徐军祥,康凤新. 山东省地热资源[J]. 中国地质,1999,(9):30-31.
- [2] 杨启俭,杨明,李宁. 沂沭断裂带成热地质条件研究[J]. 地质调查与研究,2008,31(3):278-284.
- [3] 相其科,韩建江,李春林,等. 淄博张店地区地热资源形成条件研究[J]. 山东国土资源,2009,25(9):33-36.
- [4] GB/T11615-2010. 地热资源地质勘查规范[S].
- [5] 朱昶,费若强,宋帅良,等. 山东省曹县城区地热资源评价[J]. 山东国土资源,2013,29(7):42-47.

## Analysis on Characteristics of Geothermal Resources in Guanshuai Region of Rizhao City

BAI Ping, YANG Chongjing

(No. 8 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Rizhao 276826, China)

**Abstract:** Guanshuai region in Rizhao city locates on both sides of Changyi - Dadian fault which belongs to Yishu fault zones. It is in the eastern margin of Juxian graben. Through analysis on geological structures, hydrogeological conditions, heat reservoir layers, inverse electrical resistivity and hydrochemistry in Guanshuai region, its geothermal characteristics has been studied. It can provide some references for the planning and utilization of geothermal resources in Guanshuai region.

**Key words:** Geothermal resources; characteristics; Guanshuai region