



# 山东省地热资源及勘查开发对策

徐希强<sup>1</sup>, 刘善军<sup>2</sup>, 王伟德<sup>1</sup>, 夏立献<sup>1</sup>

(1. 山东省第七地质矿产勘查院, 山东 临沂 276004, 2. 山东省地质环境监测总站, 山东 济南 250014)

**摘要:**山东省山地丘陵区及平原区均有地热显示, 地热资源蕴藏量较丰富。长期以来, 由于全省地热资源缺乏统一规划, 造成地下水乱采现象普遍的不良局面, 且利用方式单一, 对资源造成严重浪费。有些地区还出现了诸如热储水位持续下降、水环境污染等地质环境问题。因此, 只有研究制定科学的地热资源勘查开发规划, 才能保证地热资源的可持续综合开发利用。

**关键词:**地热资源; 热储类型; 成因类型; 开发对策; 勘查开发; 山东省

**中图分类号:** P314.2

**文献标识码:** A

**引文格式:** 徐希强, 刘善军, 王伟德, 等. 山东省地热资源及勘查开发对策[J]. 山东国土资源, 2015, 31(5): 31-35. XU Xiqiang, LIU Shanjun, WANG Weide, etc. Countermeasures on Exploration and Development of Geothermal Resource in Shandong Province[J]. Shandong Land and Resources, 2015, 31(5): 31-35.

山东省处于华北板块与扬子板块碰撞结合带, 具有较高的大地热流值, 地热资源丰富。地热显示有人工钻孔揭露和温泉(天然露头)2种形式, 其中温泉19处, 地热钻孔超过200眼。地热资源以低温为主, 仅招远、东营等少数钻孔提露地下水温度超过90℃, 属中温地热资源。地热能资源总量为 $3\ 623.352 \times 10^{18}$  J, 折合标准煤1 236.638亿t。可利用总量 $393.765 \times 10^{18}$  J, 折合标准煤134.401亿t。地热水资源总存储量为 $76\ 511.75 \times 10^8$  m<sup>3</sup>, 允许开采总量为 $3\ 666.69 \times 10^8$  m<sup>3</sup>(按100年开采设计, 允许开采量为1 004.69万m<sup>3</sup>/d)。

## 1 热储类型

依据地下热水的赋存形式, 山东省热储可分为层状热储、带状热储2种类型<sup>[1]</sup>。

### 1.1 层状热储

按热储层岩性及孔隙、裂隙和岩溶发育程度, 可进一步分为层状裂隙-岩溶型热储和层状裂隙-孔隙型热储2个类型。前者以寒武-奥陶系裂隙-岩溶热储为主, 热储层埋藏一般较深。地下水赋存于古生代灰岩中, 以溶蚀裂隙、溶孔、溶洞为主, 构造裂隙

次之。主要分布于济阳拗陷和临清拗陷内的基底凸起区。此外, 在鲁西隆起山前倾斜平原的中部亦有少量分布。层状裂隙-孔隙型热储则主要为古近系-新近系碎屑岩类裂隙-孔隙热储, 地下水赋存于碎屑岩(以砂岩为主)裂隙内、孔隙内。热储层具有多层叠加特点, 且温度自上而下增高。

### 1.2 带状热储

多分布于鲁东隆起区和沂沭断裂带内, 在鲁西隆起区中生代断陷盆地内有少量分布。热储层岩性以中生代花岗岩和早前寒武纪变质岩为主。地下水主要赋存于岩石构造裂隙和风化裂隙内, 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。相邻热储中地下水温度、水化学成分变化较大。

## 2 地热资源分布特征

### 2.1 地热资源成因类型及分区

依据地质构造背景、热储类型、埋藏条件、盖层岩性组合特征以及能量传递方式, 山东省地热资源可分为隆起山地对流型和沉积盆地传导型等2个成因类型。其中, 前者分布于鲁东至鲁西山地区, 后者分布于鲁东至鲁西山地区。

收稿日期: 2014-07-31; 修订日期: 2014-10-31; 编辑: 曹丽丽

作者简介: 徐希强(1967—), 男, 山东郯城人, 高级工程师, 主要从事水文地质、工程地质、环境地质工作; E-mail: 527355720@qq.com

后者分布于鲁西北平原区。

根据地质构造单元不同可进一步分为 4 个地热大区:鲁东隆起地热区、沂沭断裂带地热区、鲁西隆起地热区、鲁西北拗陷地热区(图 1)。

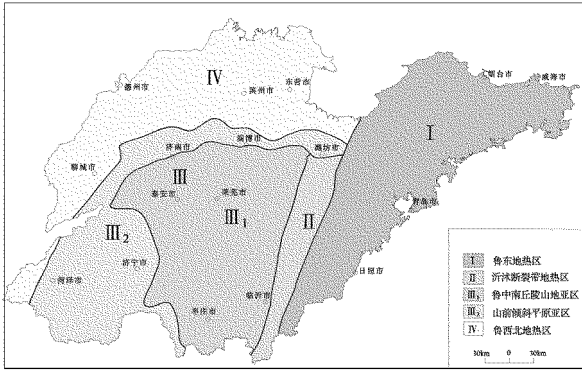


图 1 山东省地热资源分区图

### 2.2 地热资源分区特征

#### 2.2.1 鲁东隆起地热区

鲁东隆起区是山东陆块地壳演化最为复杂的地区,特别是中生代以来,地壳活动尤为频繁。新构造断裂较发育,其中有些规模较大的断裂,还表现出深切断裂特征<sup>[2]</sup>,为地下水进行深循环加热和浅部运移形成热储提供了有利条件。并在地质构造适宜部位出露地表形成温泉。全省 19 处温泉中,该区分布 15 处,水温 29.5~90℃。主要出露于不同时代的花岗岩等酸性岩体以及与围岩的侵入接触部位(图 2)。

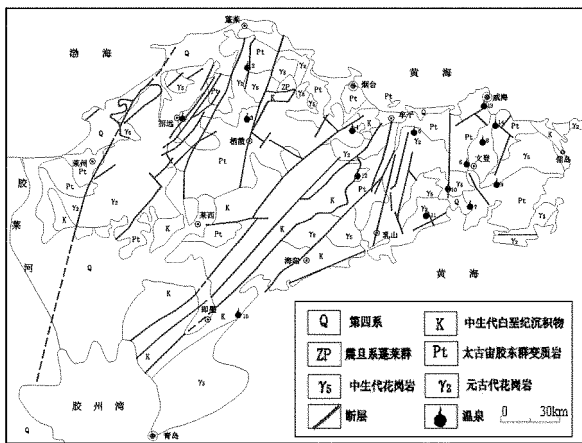


图 2 鲁东地区温泉出露条件图

鲁东地区广泛出露具高热导率的花岗岩,地热异常范围、地热水的赋存空间严格受 NE, NNE, NW 向断裂构造控制。大气降水沿深切断裂垂直入

渗,据计算,温泉地热水的循环深度达 1 503~3 084 m<sup>[3]</sup>。地下水经深部围岩加热后,在水头压力差的作用下沿各类通道向浅部运移,储集于花岗岩、片麻岩等岩石浅部构造裂隙带或风化裂隙带内而形成带状热储,地热异常和地下热水的赋存属“断控型”。因此,地热异常区范围小,具有零星分布的特点,面积一般在 0.2~0.5 km<sup>2</sup>。且热储埋藏大多较浅,底板埋深一般 0~250 m 以内<sup>[4]</sup>。地下热水化学类型在远海地带为 HCO<sub>3</sub>·SO<sub>4</sub>·(Cl)-Na·(Ca)型,矿化度大多小于 1 g/L。近海地带为 Cl-Na·(Ca)型,矿化度多大于 2 g/L。地下热水中阳离子以 Na<sup>+</sup>,Ca<sup>2+</sup>为主,阴离子组分含量变化很大。 $\delta^{18}O$ , $\delta D$ 测定结果表明(图 3),地下热水及附近地表及地下水均与大气降水有密切的亲缘性。

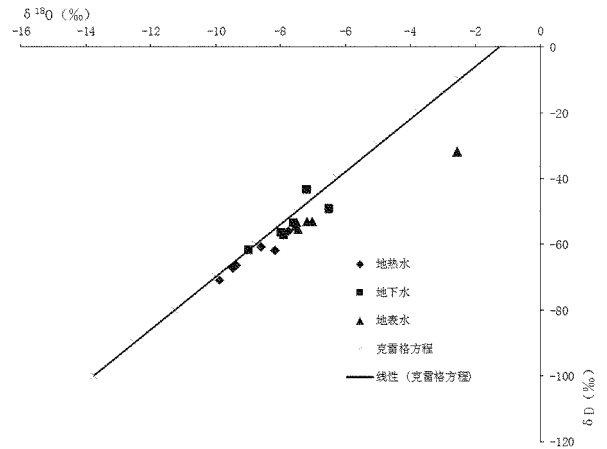


图 3 鲁东地区地热田  $\delta D$  和  $\delta^{18}O$  及与大气降水的关系

影响热水化学组成及含量的因素有补给来源水质、围岩组成、循环深度(水温)。除咸水补给因素外,水循环深度越深,温度越高。受化学溶滤作用影响,矿化度越高,且 SiO<sub>2</sub>,Sr,F,Li 等化学成分含量明显高于一般地下水。另外热水中还含有较强 Rn,Ra 等放射性元素,这既是水深循环的特征,也是构造活动的标志。

鲁东隆起区温泉的地热属性属于濒临板缘高温地热系统的板内中—低温地热系统。平均大地热流值 62.587 mW/m<sup>2</sup><sup>[5]</sup>,明显较华北大地热流值(47.155mW/m<sup>2</sup>)偏高,成为维系该区温泉形成的地热背景。

#### 2.2.2 沂沭断裂带地热区

沂沭断裂是郯庐断裂带的一部分,纵贯整个山东省中部。自西向东依次为郯郯-葛沟断裂、沂水-汤头断裂、安丘-莒县断裂、昌邑-大店断裂等 4 条断

裂组成,断裂间发育中生代凸起和凹陷。中生代以来断裂带活动剧烈,主干断裂部分深达上地幔。沂沭断裂带是一条“热带”,平均大地热流值  $67.67 \text{ mW/m}^2$ <sup>[6]</sup>,高于两侧地区。断裂带内地热显示良好,目前已发现汤头温泉和安丘温泉 2 处,水温  $27 \sim 55^\circ\text{C}$ (汤头温泉附近井深  $126 \text{ m}$ ,地热水温  $66^\circ\text{C}$ )。人工钻孔揭露 9 处,孔深  $620 \sim 2\,500 \text{ m}$ ,井口水温  $27 \sim 56^\circ\text{C}$ 。热储类型层状和带状均有分布。其中,层状热储主要为中生代砂砾岩及寒武-奥陶纪灰岩,热储顶板埋深一般大于  $600 \text{ m}$ 。带状热储分布于断裂带交会部位,特别是凹陷区边缘的 2 组以上断裂交会地带,热储岩性为中生代花岗岩、安山岩和太古宙变质岩等。

### 2.2.3 鲁西隆起地热区

根据热储特征进一步分为鲁中丘陵山地地热亚区和山前倾斜平原亚区。鲁西隆起区历经中太古代至新生代地质历史时期,地壳演化历程复杂。尤其是中生代以来,断裂构造活动频繁,NWW,NNE 及 NW 向断裂构造发育,将鲁西隆起切割成多个隆起与拗陷、凸起与凹陷等形态各异的断块。各断块之间发育的深大断裂往往成为区域控热构造,以至在地质和水文地质条件有利地带形成地热田。该区地表热显示较少,出露温泉 2 处,水温  $30 \sim 41.1^\circ\text{C}$ 。地热井 41 眼,孔口水温  $33 \sim 73.4^\circ\text{C}$ ,均为低温地热资源类型。

(1)鲁中南丘陵山地地热亚区。热储分为层状和脉(带)状 2 类。目前,泰安、徂徕、安驾庄、铜井、松山、柏林、平阴东等地均有地热显示,地下热水温度  $27 \sim 75^\circ\text{C}$ 。层状热储,一般分布在凹陷的中北部,以奥陶纪石灰岩岩溶裂隙型热储为主,上伏新生代、中生代和晚古生代地层作为热储的盖层。奥陶系顶板埋深一般  $200 \sim 600 \text{ m}$ ,热储温度受热储埋深控制,埋深愈大温度愈高;带状热储主要分布在凸起与凹陷的交结部位(桥沟温泉、安驾庄地热井等),由深大断裂沟通深部热源,大气降水沿基岩裂隙、控热断裂深循环与热能交换,在区域水头压力作用下上升至浅部,于构造裂隙中储存而形成热储。靠近沂沭断裂带的沂南地热异常区,由于受深大控热断裂带影响,近 EW 向次生断裂沟通了“热带”深部热源,在燕山期闪长岩体与寒武纪灰岩接触带构造裂隙较发育,构成了强富水、高水温的热储层(如沂南铜井地热田)。

(2)山前倾斜平原。热储呈层状分布,根据热水的赋存条件和水理性质,共分为两大层,即上部新近系孔隙热储含水层和下部寒武-奥陶系碳酸盐岩裂隙-岩溶热储含水层。

①新近系孔隙热储。主要分布于鲁西地区济宁、菏泽一带。热储含水层岩性以粉细砂岩为主,厚度  $30 \sim 305 \text{ m}$ ,横向连通性较好,平均埋深成井深度  $1\,000 \sim 2\,000 \text{ m}$ ,水温  $47 \sim 62^\circ\text{C}$ ,水化学类型为  $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl} - \text{Na}$  型,单井出水量一般(推测  $30 \text{ m}$  降深,统一井径  $152 \text{ mm}$ ) $1\,000 \sim 1\,200 \text{ m}^3/\text{d}$ 。在菏泽、曹县区段分别打出了水温  $47^\circ\text{C}$ , $48^\circ\text{C}$  的地热井,具有较高的开发利用价值。在菏泽凸起的广大地区,随古地理条件的变化由东往西渐厚,上覆盖层  $400 \sim 900 \text{ m}$ ,热储含水层厚度约  $34 \sim 200 \text{ m}$ ,下伏地层受古地理条件影响而变化,有石炭系、二叠系和侏罗系,岩性主要为泥岩夹杂色砾岩、泥砂岩等,这类岩石成岩程度较高,透水性能差,部分区段直接上覆于奥灰之上。

②寒武-奥陶系碳酸盐岩裂隙-岩溶热储。热储上覆石炭-二叠系、新近系和第四系盖层,受热储埋藏条件、构造发育程度不同,富水性差异较大。北部东阿县牛角店至临淄区金陵镇之间山区与平原交接地带,断续分布有条带状岩浆岩体。对南部山区岩溶地下冷水起到阻滞作用。在区域水头差的作用下,地下水沿岩体与灰岩接触带进行深循环,由深部地温加热后沿断裂上涌至浅部灰岩岩溶裂隙中形成地热异常。加之上覆较厚的新生界、上古生界作为热储盖层形成地热田(如济南北部地热田,图 4)。现已发现的地热田主要有临淄北部地热田、张店西部地热田、章丘白云湖地热田、济南北部地热田、聊东-阳谷凸起地热田等。水温  $28 \sim 59^\circ\text{C}$ 。西南段主要为奥陶系岩溶裂隙型层状热储,只在曹县断裂与单县断裂交会处的曹县县城附近有一处以新近系为热储的带状地热显示点。南段的菏泽凸起和青堌集凸起,下伏奥陶系热储分布面积较大,水温  $47 \sim 68^\circ\text{C}$ ,在新构造断裂附近水温、水量均较高。

该区岩溶热储地下热水矿化度含量变化较大,一般  $2 \sim 7 \text{ g/L}$ 。水化学类型以  $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl}$  型和  $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4$  型为主。地热水中含有对人体有益的丰富微量元素,有多种组分达到矿水浓度标准及有医疗价值浓度标准。另据鲁西南华及庄寨奥陶系热储地热水同位素测试, $\delta\text{D}$  为  $(-57.0 \sim -69.0) \times 10^{-3}$ , $\delta^{18}\text{O}$  为

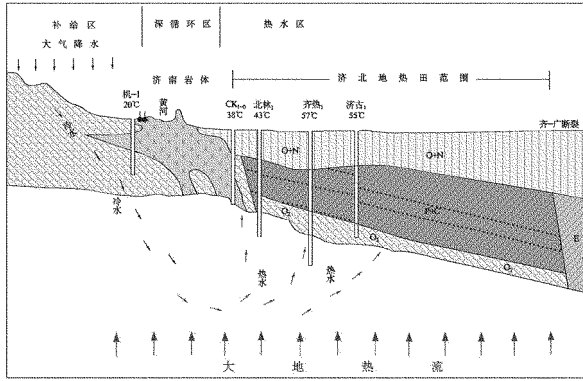


图 4 济南北部地热田热储概念模型

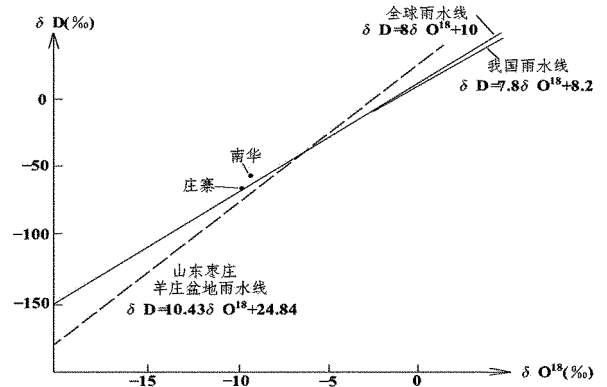


图 5  $\delta D, \delta^{18}O$  值与标准雨水线对比图

$(-9.2 \sim -9.6) \times 10^{-3}$ , 经研究对比  $\delta D$  和  $\delta^{18}O$  的值在克雷格标准降水直线  $\delta D = 8\delta^{18}O + 10$  附近(图 5), 说明地下热水由大气降水补给形成<sup>[7]</sup>。而  $T(U)$  根据南华地热水氡含量  $< 0.50$ , 反映地下热水循环时间在 50 年以上。

#### 2.2.4 鲁西北拗陷地热区

在构造单元上属华北拗陷带的一部分, 由济阳拗陷、埕宁隆起、临清拗陷组成, 各隆起和拗陷发育一系列次一级的凸起和凹陷。莫霍面埋藏较浅, 具有较高的热流值和富水性较强的含水层, 是山东省地热资源分布最广泛的地区, 在一定深度范围内均能探得地下热水资源, 开发潜力大。地下热水补给源为西部太行山和南部鲁中山区大气降水, 补给方式为侧向径流补给。地下热水径流滞缓, 新生界地温场变化受基岩面埋深控制, 基岩凸起部位, 岩石热导率相对较高, 有利于深部热集中传导, 因而热流密度增大。反之, 凹陷区相对减弱。

依据地质构造、地层岩性、热储埋藏条件、热储温度、地热流体的储集空间类型及开采技术条件, 结合目前区域研究程度综合分析, 将鲁西北地热区热储类型分为 2 大类: 新生界碎屑岩孔隙裂隙层状热储和古生界奥陶—寒武纪碳酸盐岩岩溶—裂隙层状热储。地热水主要富集在古、新近系层状砂岩的孔隙—裂隙和古生界石灰岩的岩溶—裂隙内。已有地热井的测温资料表明, 地热水的温度大多小于  $90^\circ\text{C}$ , 属于传导型低温地热资源。

(1) 新生界碎屑岩孔隙裂隙层状热储。以新近纪明化镇组下段和馆陶组以及古近纪东营组为主。明化镇组下段热储顶板埋深一般大于 500 m。热储含水层厚度一般为 30~120 m, 凸起区热储厚度小, 凹陷区热储厚度大。临邑、临清等地区热储平均厚

度可达 170 m。地下热水矿化度 1~2 g/L, 水化学类型主要为  $\text{HCO}_3 - \text{Na}$  和  $\text{HCO}_3 \cdot \text{C} - \text{Na}$ ,  $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$  型。井口水温 30~48 $^\circ\text{C}$ 。

馆陶组热储仅在潍坊北局部缺失。热储顶底板埋深自南向北由浅变深, 厚度由薄变厚。底板埋深一般为 1 000~1 700 m, 最深可达 2 300 m<sup>[8]</sup>。热储含水层由多层组成, 总厚度 100~200 m。富水性较强。地下热水矿化度为 4~20 g/L, 水化学类型以  $\text{Cl} - \text{Na}$  型为主, 井口水温 49~78 $^\circ\text{C}$ 。东营组热储主要分布在东营、惠民、沾化、车镇、德州、临清等凹陷区内, 齐—广断裂北侧和凸起区缺失。地层沉积厚度和层底埋深受基底起伏和区域构造控制, 在拗陷盆地的中心厚度最大, 边缘地带变薄, 且分布不稳定, 表现为自西向东、自南向北变厚的趋势。热储砂岩累计厚度 10~200 m, 富水性较弱。地下热水矿化度为 7~20 g/L, 热水的水化学类型以  $\text{Cl} - \text{Na} \cdot \text{Ca}$  型为主, 井口水温 50~70 $^\circ\text{C}$ 。

(2) 奥陶—寒武纪碳酸盐岩岩溶—裂隙热储层组。主要分布在宁津凸起、义和庄凸起、陈家庄凸起、埕东凸起、青坨子凸起、广饶凸起、寿光凸起及临清拗陷的馆陶凸起、高唐凸起区等地区。顶界面起伏大, 顶板埋深一般为 500~1 700 m。除宁津凸起的乐陵一带和馆陶凸起区热储顶板为石炭—二叠纪地层外, 其他地区绝大部为新生代地层。岩溶—裂隙发育程度和富水性均具不均匀性。地下热水矿化度为 7~15 g/L, 水化学类型为  $\text{HCO}_3 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ ,  $\text{Cl} - \text{Ca}$ ,  $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$  及  $\text{HCO}_3 - \text{Na}$  型。井口水温为 50~100 $^\circ\text{C}$ 。

### 3 地热资源勘查开发对策

根据全省不同地热区的地热地质研究程度、开

采潜力等因素,划分重点勘查开发区、优先勘查开发区和远景勘查开发区。

### 3.1 重点勘查开发区

包括济南北部、东部(济南-章丘),菏泽市,曲阜市,临清凹陷区,即墨东,泰安,沂南,汤头,滨州-东营凹陷区等区域。这些地区地热地质条件较好,地质工作研究程度较好,有些区域已经施工了一定数量的地热井。应当对已开发地热田(区)进一步开展详细的勘查和评价工作,指导地热资源的可持续综合利用。以上地区多为地级市附近,交通便利,经济较发达,有些地区如曲阜、泰安等,位于旅游景点周边,地热资源可与当地旅游资源联合开发,最大限度发挥地热的价值。

### 3.2 优先勘查开发区

包括淄博、潍坊南、济宁市、烟台、惠民-临邑凹陷区、埕子口-宁津隆起区等地。这些地区多有地热发现,成热条件较好,但对地热田的具体分布范围,热储资源量不清。需加大地热勘查、开发力度,带动当地经济的发展。

### 3.3 远景勘查开发区

包括临朐东,郯城东,沂源,平邑-费县,新泰-蒙阴,滕州西,泗水,汶上,金乡,东明,成武,曹县,庄寨,济阳-齐河-东阿,沙土集,郟城,鄆城,巨野,寿光,昌邑东,高密-胶州,平度东南,旧店-莱西,莱阳-栖霞等区域。除鲁西北区、庄寨等少数地区发现地热资源,其他区域并未发现地热资源,但理论上存在地热资源的可能性,因此这些区域是今后山东省地

热资源勘查的重点区域。

## 4 结语

山东省地热资源较为丰富,不同地热区热储类型、岩性、埋藏条件及水化学特征等均存在明显差异。从总体上看,全省地热资源开发条件均较适宜。目前,全省大部地区地下热水的开发利用缺乏应有的综合性技术经济论证和规划,致使宝贵的热矿水资源未能发挥最佳社会价值和经济效益。因此,要处理好开发利用与保护的关系,统筹安排地热资源的勘查规划工作,加强地热资源的勘查精度,查清全省地热资源家底。为制定地热资源的梯级开发、可持续开发方案提供资料依据。

### 参考文献:

- [1] 刘善军.山东省地下热水资源的形成与开发前景[J].山东地质,1997,13(2):48-49.
- [2] 刘善军.山东省温泉分布规律及地下热水资源预测[J].山东地质,1998,14(2):34-35.
- [3] 栾光忠,刘红军.山东半岛温泉的地热属性及其特征[J].地球学报,2002,23(1):84.
- [4] 徐军祥,刘桂仪,栾光忠,等.山东矿床[M].济南:山东科技出版社,2006:184.
- [5] 李学伦,刘保华,孙效功,等.山东半岛硅热流值与区域地质条件的关系[J].海洋大学学报,1997,27(1):75-83.
- [6] 白嘉启,王小凤,冯向阳.郯庐断裂带地温场研究[J].地质力学学报,1998,4(1):78-88.
- [7] 刘元斌,孟令兴,周亚醒.鲁西平原地热水的化学特征及开发利用[J].山东国土资源,2010,26(2):25-29.
- [8] 吴立进.山东省地热资源特征及其分区研究[D].山东科技大学硕士论文,2008:58.

## Countermeasures on Exploration and Development of Geothermal Resource in Shandong Province

XU Xiqiang<sup>1</sup>, LIU Shanjun<sup>2</sup>, WANG Weide<sup>1</sup>, XIA Lixia<sup>1</sup>

(1.No.7 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Linyi 276004, China; 2. Shandong Monitoring Center of Geological Environment, Shandong Jinan 250014, China)

**Abstract:** There are geothermal resources in hilly and plain areas in Shandong province. It indicates that geothermal resources are abundant. For a long time, geothermal water is exploited indiscriminately because of the lack of unified plan. Single use pattern has caused serious waste of geothermal resources. Some environment and geological problems happened, such as the continuous decrease of underground water level and water and environment pollution. Thus, scientific exploration and development plan should be made to ensure continuous and comprehensive development and utilization of geothermal resources.

**Key words:** Geothermal resource; geothermal types; genetic types; geothermal water; exploration and development