

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2018.02.08

引用格式: 刘春华,王威,卫政润.山东省水热型地热资源及其开发利用前景[J].中国地质调查,2018,5(2):51-56.

山东省水热型地热资源及其开发利用前景

刘春华¹, 王威^{2,3}, 卫政润¹

(1. 山东省地质调查院, 济南 250013; 2. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 石家庄 050061;
3. 山东省第一地质矿产勘查院, 济南 250014)

摘要: 山东省地热资源分布广泛,资源储量丰富。从山东省大地构造特征和大地热流值分布规律入手,根据地热传导理论,对山东省水热型地热资源的分布规律和资源量进行了研究。研究表明,山东省地热资源的分布受区域地质构造严格控制,根据地热成因可分为隆起山地板内深循环对流型和沉积断陷盆地传导型。结合地热成因和热储类型,进一步将全省分为4个地热资源区:Ⅰ—鲁东地热区;Ⅱ—沂沭断裂带地热区;Ⅲ—鲁西隆起地热区;Ⅳ—鲁西北地热区。山东省地热资源量折合标准煤为143.73 $\times 10^9$ t,不考虑回灌条件,现状地热开发利用量不足已查明可采量的3%,具有较大开采潜力。根据地热资源分布特征合理有效地开发利用地热资源,是山东省压减化石能源消费、推动能源结构优化、改善大气环境质量的有效途径。

关键词: 山东省; 地热资源; 水热型; 资源量; 开发利用

中图分类号: P314 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-8706(2018)02-0051-06

0 引言

地热能作为绿色低碳、可循环利用的可再生能源,具有储量大、分布广、清洁环保和稳定可靠等特点,是一种现实可行且具有竞争力的清洁能源。山东省地热能类型多且分布广,资源量丰富,开采条件好,境内出露温泉19处,是我国名副其实的地热资源大省。但随着工业化和城镇化进程的不断加快,消费结构持续升级,能源需求刚性增长,资源环境约束趋紧。因此,合理有效地开发利用地热资源,是压减化石能源消费、推动能源结构优化以及改善大气环境质量的有效途径^[1-8]。

20世纪初—20世纪90年代间,山东省地热资源的勘查和开发利用都处于尝试性的探索阶段,主要围绕在鲁东已发现露头的天然温泉区域进行。在石油和煤炭等资源的开发过程中,鲁西北和鲁西南地区发现地热资源,最先在东营地区曾打出十几口水温大于50℃的地热井,其中五号桩的桩12地热井,井深为3243 m,井口水温达98℃,当时居全

省之冠。但这些地热井均是在石油开采过程中形成的,成井质量较差,地热资源开发利用程度很低,仅局部用于洗浴、水产养殖和地震观测研究等。

20世纪90年代以来是山东省地热开发的快速增长期,应用类型和范围不断拓展。省内已建立多家温泉度假村,开展对地热资源的综合利用开发,如艾山温泉度假村、天沐温泉度假村和临沂的汤头温泉等。鲁西北地区许多新建小区都打了地热井进行供暖,地热井数量迅速增加,地热水开采量占全省总开采量的80%以上。截至2016年底,全省共有地热井约1200眼,地热水开采量约 0.7×10^8 m³/a,地热供暖面积达到 3200×10^4 m²^[3]。

但山东省目前的地热勘查成果主要以单一地热井的勘查成果为主,因此所得到的地热资源储量大多是调查阶段的估算数据或者单个地热井数据,不能为地热资源开发、利用、规划以及相关政策的制定提供详实的数据支撑,也难以满足地热资源规模化开发利用的需求。本文在系统总结前人研究成果的基础上,对山东省地热资源量的分布特征及资源量进行了评述与计算。

收稿日期: 2017-12-29; 修订日期: 2018-03-12。

基金项目: 中国地质调查局“全国地热资源现状评价与区划(编号: 1212010784001)”和“全国地热资源评价与区划方法研究(编号: 12120113077300)”项目联合资助。

第一作者 刘春华(1981—),女,高级工程师,主要从事水文地质与环境地质研究工作。Email: chunhua_liu321@126.com。

1 山东省地热地质背景

山东省地热资源的分布受区域地质构造严格控制,不同区域地质环境所形成的地热资源分布特征也截然不同。主要影响因素有大地构造位置、岩性、孔隙特征、热储类型、热储埋藏和形态特征等。

1.1 大地构造特征

根据板块构造理论和构造演化史,山东省处于一级大地构造单元华北板块和秦岭—大别—苏鲁造山带内,二级大地构造单元自西向东划分为华北拗陷区、鲁西隆起区、胶辽隆起区、胶南—威海隆起区和苏北隆起区 5 个分区。山东省大地构造分区如图 1 所示。

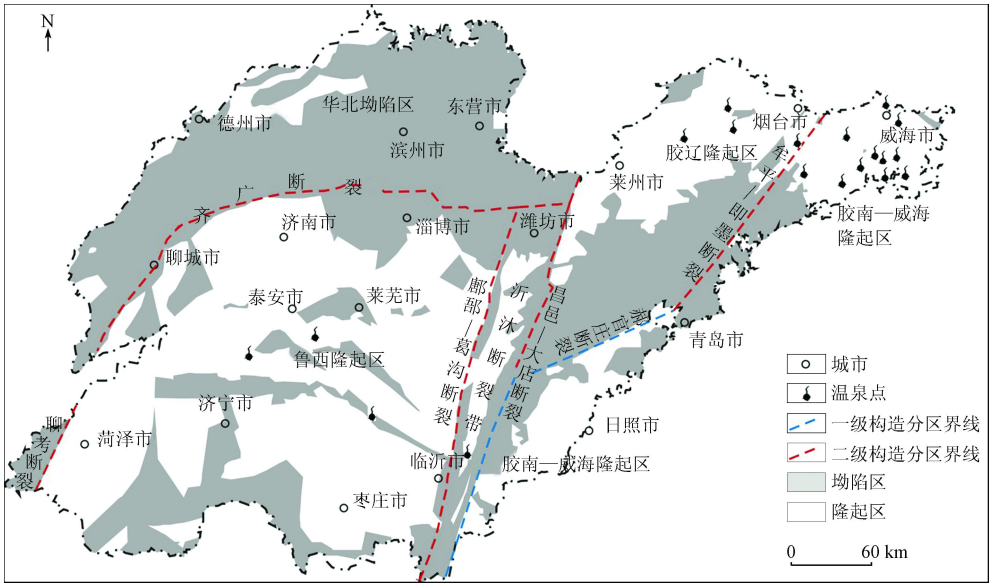


图 1 山东省大地构造分区

Fig. 1 Structure districts in Shandong Province

华北拗陷区二级构造单元包括齐广断裂以北和聊考断裂以西的地区,属于华北地台上发展起来的中生代和新生代断陷盆地的一部分,以太古宙变质岩系为基底,其上发育一套以海相碳酸盐岩为主的古生界及海陆交互相—陆相的古元古界。新近纪开始,全区进入统一的以沉陷为主的时期,并一直延续至第四纪,盆地普遍接受新近纪和第四纪沉积。

鲁西隆起区二级构造单元东侧以昌邑—大店断裂为界,北面和西面分别以齐广断裂和聊考断裂为界。该区构造单元内部,地层基底为太古宙泰山群。中生代侏罗纪以后,在燕山运动作用下,使原来统一的基底发生破裂,沿断裂形成鲁中隆起区、鲁西南潜隆起区和沂沭断裂带等三级构造单元。在三级构造单元基础上进一步破裂形成断垄和断陷构造单元,以及一系列的凸起和凹陷等五级构造单元,每一个凸起或凹陷均为独立的最小级别构造单元。凸起和凹陷呈相间排列格局,自南向北有规律地重复出现,凸起区域遭受剥蚀,凹陷区域接受

中生代和新生代沉积。

胶辽隆起区二级构造单元以沂沭断裂带的东界断裂(昌邑—大店断裂)与鲁西隆起区和华北拗陷区分界,其基底是元古宙—太古宙胶东群。古生代起长期出露海面,古生界缺失。全区较为明显地分为胶北隆起区和胶莱盆地(西部)2 个三级构造单元。胶北隆起区由元古宇—太古宇及元古宇变质岩构成;胶莱盆地中生代沉积一套巨厚的陆相碎屑岩地层,其间有强烈的陆相火山喷发。中生代印支期及燕山期岩浆活动强烈,大片分布于胶北隆起区,主要断裂为 NE 向及 NNE 向。

胶南—威海隆起区二级构造单元为郝官庄断裂及牟平—即墨断裂带以东区域,与胶辽隆起区毗邻。该区发育大量的变质表壳岩系,形态多为条带状或透镜状,长轴平行区域性片麻理,主要呈包体状赋存于晋宁期花岗质片麻岩中,该构造单元内温泉点分布广泛。

从区域构造特征看,山东省位于太平洋地热带

块碰撞结合带,又是华北拗陷与鲁中隆起的结合部,构造极为发育,为地热形成及导热、储热提供了良好的通道和场所。

1.2 大地热流值

山东省大地热流的空间特征与构造格局密切相关。大地热流值在莱芜市附近形成低值圈闭,热流值变化梯度大致沿 NE 方向,由莱芜低值圈闭区向 SW 和 NE 2 个方向逐渐升高(图 2)。山东半岛地区热流值大于 80 mW/m²,属高热流值区域,莱州—青岛一线到烟台以西区域大地热流值在 90~100 mW/m²之间,烟台以东地区大地热流值在 100~150 mW/m²之间。胶辽隆起区大地热流值在 70~90 mW/m²之间,与华北大地热流值(47.155 mW/m²)相比明显偏高,成为维系胶东温

泉形成的重要地热背景。该区温泉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。温泉形成原因在于温泉出露花岗岩等岩体的热导率较高,同时,温泉所处位置在构造形态上属于隆(凸)起中心或近中心部位(或背斜核部),有利于地壳深部热流侧向运移,发生折射和再分配,导致地热流向凸起中心部位(或背斜轴部)汇聚、集中,形成地热异常带。沂沭断裂带为莫霍面隆起带,大地热流值为 62 mW/m²,断裂带内部汤头附近及郯城附近热流值较邻区略高。鲁西隆起区中部的鲁中隆起区莫霍面埋深较大,大地热流值在 40~50 mW/m²之间,属热流值最低的地区。华北拗陷区大地热流值在 56~79 mW/m²之间,略高于地球表面平均热流值(59~63 mW/m²)。

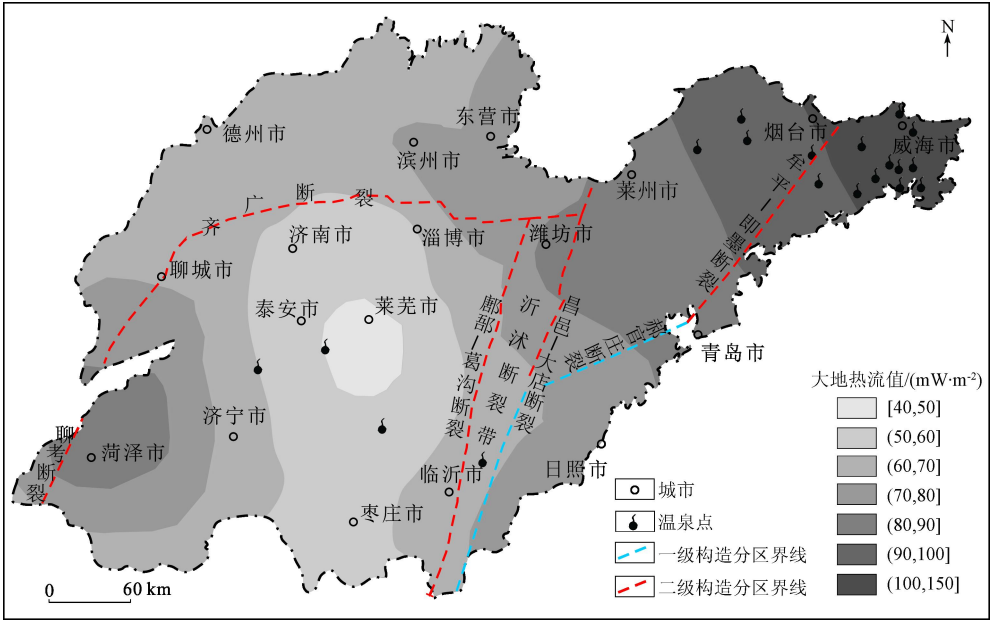


图 2 山东省大地热流分区
Fig. 2 Terrestrial heat flux districts in Shandong Province

1.3 热储层特征

根据地热资源形成因素及其与地质构造和地热背景的关系,山东省地热资源可以分为隆起山地板内深循环对流型和沉积断陷盆地传导型^[3]。根据地热资源的赋存形式,山东省热储可划分为裂隙型带状热储、裂隙孔隙层状热储和裂隙岩溶层状热储 3 大类。带状热储主要分布在山地对流型地热资源区域内;层状热储主要分布在盆地传导型地热资源区域内,局部构造隆起区亦分布有层状热储。

综合地热成因和热储类型,可进一步将全省分为 4 个地热资源区:Ⅰ—鲁东地热区;Ⅱ—沂沭断裂带地热区;Ⅲ—鲁西隆起地热区;Ⅳ—鲁西北地热区(图 3,表 1)。其中,鲁西隆起地热区进一步划分为鲁中隆起地热亚区和鲁西南潜隆起地热亚区。鲁东地热区、沂沭断裂带地热区和鲁中隆起地热亚区地热属于隆起山地对流型地热资源;鲁西北地热区和鲁西南潜隆起地热亚区属于沉积盆地传导型地热资源。

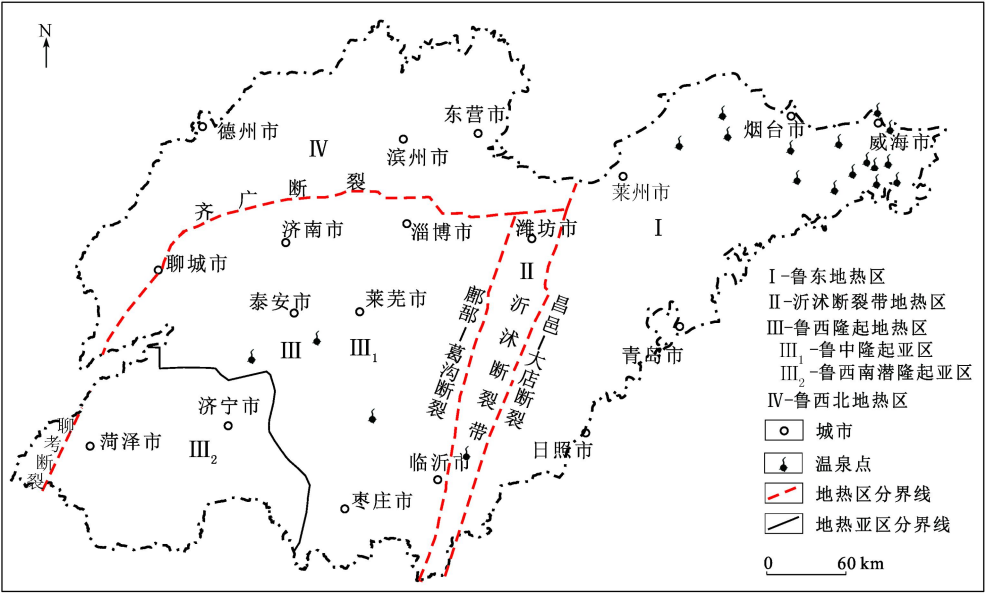


图3 山东省地热资源分区

Fig.3 Geothermal resource districts in Shandong Province

表 1 山东省地热资源分区及热储类型
Tab.1 Geothermal resource districts and thermal reservoir types in Shandong Province

地热资源类型	山东省地热资源分区	热储类型
隆起山地板内深循环对流型	鲁东地热区 (I)	裂隙型带状热储
	沂沭断裂带地热区 (II)	裂隙型带状热储
	鲁西 鲁中隆起 隆起 亚区 (III ₁)	裂隙型带状热储
	鲁西南潜隆起 区 (III ₂)	裂隙岩溶层状热储
沉积断陷盆地传导型	鲁西北地热区 (IV)	裂隙岩溶层状热储
		裂隙岩溶层状热储

(1) I—鲁东地热区。该区地热系统为深循环对流型,热储类型为裂隙型带状热储。热异常的分布受构造控制,多以温泉形式出露,均呈点状及带状出露于 2 组断裂交会处或不同岩体接触带^[3,6-7],埋深较浅,盖层厚度一般小于 50 m。鲁东地热区共出露温泉 15 处,露头或孔口实测水温一般在 60~89℃,溶解性总固体(total dissolved solids, TDS)值为 0.526~13.42 g/L,热储岩性以花岗岩和片麻岩为主(表 2)。

(2) II—沂沭断裂带地热区。该区中生代燕山期频繁的岩浆活动沟通了地壳深部的热源。在构造交会部位及其附近,深层构造裂隙发育,为深层热水循环提供了良好的通道和储存场所,地下深处的热水易沿断裂通道上升,形成地热异常。该区地热系统为深循环对流型,热储类型为裂隙型带状

热储,分布于凹陷内,凹陷两侧的凸起区为热水补给区。沂沭断裂带地热区出露温泉 1 处,控热断裂为沂沭断裂带的沂水—汤头断裂及其分支断裂,热储层岩性为新太古界胶东岩群、白垩系青山群安山岩及白垩系王氏群砂砾岩。1959 年温泉自流量 388 m³/d,水温 66~70℃;目前温泉附近共有地热井 6 眼,井深在 65~2 100 m 之间,水温 40~60℃,开采量为 500 m³/d 左右,TDS 值为 3.038 g/L。

表 2 鲁东地区温泉特征

Tab.2 Characteristics of hot springs in East Shandong

名称	热水温度/℃	TDS 值/(g L ⁻¹)	热储岩性
宝泉汤	41~82	13.420	片麻岩、大理岩
温泉汤	47.5~52.5	1.290	片麻岩
洪水岚汤	60~80	0.853	花岗岩
七里汤	61~64	0.739	花岗岩
呼雷汤	58~62	0.923	花岗岩、片麻岩
大英汤	58~69	1.963	花岗岩
汤村汤	53	6.627	片麻岩
小汤	40~60	2.523	花岗岩
兴村汤	29.5	0.606	花岗岩
龙泉汤	62	0.543	花岗岩
于家汤	37~66	0.526	花岗岩
艾山汤	47~49	0.844	片岩
温石汤	50	1.494	安山岩、花岗岩
汤东泉	80~89	3.970	花岗岩
东温汤	70~88	5.573	砂岩、正长斑岩

(3) III—鲁西隆起地热区。该区位于沂沭断裂带以西、齐广断裂以南和聊考断裂以东的广大区域,分为鲁中隆起亚区和鲁西南潜隆起亚区。

鲁中隆起亚区(Ⅲ₁)地热异常位于凸起和凹陷的交接带附近及控制凹陷的NW向、NE向和SE向新构造断裂交会处。该区热储类型为裂隙型带状热储和馆陶组及寒武系—奥陶系碳酸盐岩岩溶裂隙层状热储,尤其是深部热储层既受断裂构造所控制,又具有带状热储特征^[8]。区内出露3处温泉(表3),水温为40~60.2℃,热储层埋深一般在200~1500m之间。

表3 鲁中隆起亚区温泉特征

Tab. 3 Characteristics of hot springs in the sub-uplift district of Central Shandong			
名称	热水温度/℃	TDS 值/(g L ⁻¹)	热储岩性
汪家坡温泉	29~30	0.615	新太古代侵入岩
桥沟温泉	30~45.9	0.796	花岗岩闪长岩
安驾汤泉	60~60.2	2.543	朱砂洞组白云岩

鲁西南潜隆起亚区(Ⅲ₂)有2个较好的可开发利用的热储层,即新近系明化镇组孔隙热储层和寒武系—奥陶系碳酸盐岩岩溶热储层,属低温型层状热储,局部为上部孔隙及下部岩溶复合型层状热储。盖层厚度一般在700m左右,热水温度一般在40~68℃之间,热储岩性为细砂岩和砂砾岩。

(4)Ⅳ—鲁西北地热区。该区包括齐广断裂以北和聊考断裂以西的地区,属于中生代和新生代断陷盆地的一部分,以太古宙变质岩系为基底,热储类型主要为裂隙孔隙层状热储,局部为上部孔隙及下部岩溶复合型层状热储,由地温增温形成,是地热资源开发潜力最大的地区。热储层主要为新近系馆陶组热储层组和古近系东营组热储层组,其次为新近系明化镇组下段热储层组、古近系沙河街组热储层组和寒武系—奥陶系碳酸盐岩岩溶裂隙热储层组。盖层厚度一般在850~1200m之间,热储底板埋深一般小于2800m,最深超过3500m。热水温度一般在40~70℃之间,基底隆起处深部水温可达90~110℃^[3],热储岩性为细砂岩和砂砾岩。

2 山东省水热型地热资源量

2.1 地热资源量

采用热储法计算地热资源量^[1],即

$$Q = C_r \rho_r (1 - \varphi) V (T_1 - T_0) + C_w \rho_w q_w (T_1 - T_0), \quad (1)$$

式中:Q为地热资源量,kJ;C_r和C_w分别为热储岩

石和水的比热,KJ/(kg·℃);ρ_r和ρ_w分别为热储岩石密度和水的密度,kg/m³;φ为热储岩石孔隙率(或裂隙率);q_w为热储流体储量,包括静储量和弹性储量,m³;T₁为热储温度,℃;T₀为恒温层温度,℃;V为热储体积,m³。

通过计算,山东省隆起山地型地热资源储存总量为38326.47×10¹⁶J,折合标准煤130.99■10⁹t,可利用地热资源总量为5969.27×10¹⁶J,折合标准煤20.40■10⁹t;沉积盆地型地热资源总储量为171332.18×10¹⁶J,折合标准煤585.55■10⁹t,可利用地热资源总量为36085.93×10¹⁶J,折合标准煤123.33■10⁹t。

2.2 地热流体可开采量

隆起山地型地热流体可开采量计算采用泉(井)热量法,统计各温泉或自流井的流量,将温泉和自流井的总流量作为天然补给量和可开采量。

沉积盆地地热流体可开采量采用最大允许降深法计算,设定一定开采期限(一般为100a),计算区中心水位降深与单井开采附加水位降深之和不大于100m时,求得的最大开采量,作为该区地热流体的可开采量。表达式为

$$Q_{wk} = \frac{4\pi TS_1}{\ln\left(\frac{6.11T_l}{\mu^* R_1^2}\right)}, \quad (2)$$

$$Q_{wd} = \frac{2\pi TS_2}{\ln\left(\frac{0.473R_2}{r}\right)}。 \quad (3)$$

式中:Q_{wk}和Q_{wd}分别为地热流体和单井地热流体的可开采量,m³/a;S₁和S₂分别为开采区中心和单井附加水位降深,m;R₁和R₂分别为开采区和单井控制半径,m;μ^{*}为热储含水层弹性释放系数;t为开采时间,a;T为导水系数,m²/a;r为抽水井半径,m。

通过计算,山东省隆起山地型地热流体可开采量为12.68×10⁸m³/a,地热流体可开采热量为18.85×10¹⁶J/a,折合标准煤0.065■10⁹t/a;山东省沉积盆地型地热区地热流体可开采量为13.84×10⁸m³/a,地热流体可开采热量为20.62×10¹⁶J/a,折合标准煤0.07■10⁹t/a。以上地热流体可开采量计算结果均不考虑回灌条件。

3 结论与展望

(1)山东省地热资源成因包括隆起山地板内深循环对流型和沉积断陷盆地传导型 2 类。热储可划分为裂隙型带状热储、裂隙孔隙层状热储和裂隙岩溶层状热储 3 大类。总特点为热储分布广、类型多、埋藏深度适中,热流体温度以中低温为主,开发利用条件好。

(2)在不考虑回灌的条件下,山东省每年地热水可开采总量约 $26.52 \times 10^8 \text{ m}^3$,而目前地热水年开发利用量约 $0.7 \times 10^8 \text{ m}^3$,不足已查明可采量的 3%,开发利用量不足。若考虑回灌,地热流体可开采量将进一步增加,因此地热资源开发利用潜力巨大。

加快开发利用地热能不仅对调整能源结构、节能减排、减少冬季散煤燃烧量以及改善大气质量具有重要意义,而且对推动新旧动能转换、促进新型城镇化建设和增加就业等具有显著的社会效应,是

促进生态文明建设的重要举措。为保障地热资源的可持续利用,建议进一步规划地热资源开采,加强对地热水商业化管理的研究。

参考文献:

- [1] 国土资源部储量司,中国矿业联合会地热开发管理专业委员会,北京市地质工程勘察院,等. GB/T 11615—2010 地热资源地质勘查规范[S]. 北京: 中国标准出版社,2011.
- [2] 王贵玲,张薇,梁继运,等. 中国地热资源潜力评价[J]. 地球学报,2017,38(4):449-459.
- [3] 山东省地质调查院. 山东地热资源评价与区划示范研[R]. 济南:山东省地质调查院,2014:40-219.
- [4] 谭志荣,康凤新. 山东省临清凹陷区岩溶热储地热能潜力分析[J]. 中国地质调查,2018,5(1):10-15.
- [5] 冯超臣,黄文峰. 山东省菏泽市聊城—兰考断裂带西部地区地热资源评价[J]. 中国地质调查,2015,2(8):55-59.
- [6] 刘育平. 地热资源的低碳排放效益分析[J]. 水文地质工程地质,2013,40(6):134-138.
- [7] 徐军祥,康凤新. 山东省地热资源[J]. 中国地质,1999,26(9):30-31.
- [8] 栾光忠,刘红军,刘冬雁,等. 山东半岛温泉的地热属性及其特征[J]. 地球学报,2002,23(1):79-84.

Analysis of hydrothermal geothermal resources and its prospect of development and utilization in Shandong

LIU Chunhua¹, WANG Wei^{2,3}, WEI Zhengrun¹

(1. Shandong Institute of Geological Survey, Jinan 250013, China; 2. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, China; 3. No.1 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Jinan 250014, China)

Abstract: Shandong Province has a wide range of geothermal resources and abundant resource reserves. According to the theory of geothermal conduction as well as the geological structure and the earth heat flow in Shandong Province, the geothermal distribution and resource quantitate were discussed in this paper. The results show that the distribution of geothermal resources in Shandong Province is strictly controlled by regional geological structure. According to geothermal genesis, they can be divided into uplift mountain deep circulation type and sedimentary fault basin conduction type. Based on geothermal genesis and thermal storage types, the province is divided into four geothermal resource areas: I—East Shandong geothermal area; II—Yishu fault zone geothermal area; III—West Shandong uplift geothermal area; IV—Northwest Shandong geothermal area. The amount of geothermal resources is equivalent to 14.373 billion tons of standard coal. The current geothermal exploitation amount is less than 3% of the recoverable reserves without regard to artificial recharge, so the potential is still great. Reasonably developing and utilizing geothermal resources in accordance with the geothermal resources distribution characteristics, is an effective way to reduce fossil energy consumption, optimize energy structure, and improve the quality of atmospheric environment.

Key words: Shandong; geothermal resources; hydrothermal type; indicated resources; development and utilization