

doi: 10.12029/gc20170603

王贵玲, 张薇, 蔺文静, 刘峰, 朱喜, 刘彦广, 李郡. 2017. 京津冀地区地热资源成藏模式与潜力研究[J]. 中国地质, 44(6): 1074–1085.
Wang Guiling, Zhang Wei, Lin Wenjing, Liu Feng, Zhu Xi, Liu Yanguang, Li jun. 2017. Research on formation mode and development potential of geothermal resources in Beijing–Tianjin–Hebei region[J]. Geology in China, 44(6):1074–1085 (in Chinese with English abstract).

京津冀地区地热资源成藏模式与潜力研究

王贵玲¹ 张薇¹ 蔺文静¹ 刘峰¹ 朱喜¹ 刘彦广¹ 李郡²

(1. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 石家庄, 050000; 2. 河北省地矿局第三水文工程地质大队, 衡水, 053000)

摘要: 京津冀地区雾霾较为严重, 同时地热资源丰富, 因此, 充分利用地热资源是调整该地区能源结构, 减缓雾霾的重要途径之一。本文在分析京津冀地区构造、大地热流、地温梯度等地质背景的基础上, 分别总结了京津冀地区隆起山地对流型与沉积盆地传导型地热资源的成藏模式与赋存条件, 并对两种地热资源的资源量、开发利用现状与潜力进行了分析。京津冀地区地热资源储量折合标准煤约 1383 亿 t, 年地热流体可开采热量折合标准煤 1100 万 t, 但目前地热流体年开采热量仅相当于 114 万 t 标准煤, 约占总量的 10%, 开发利用潜力巨大。

关键词: 京津冀; 华北平原; 地热; 成藏模式

中图分类号: P314.3 文章标志码: A 文章编号: 1000-3657(2017)06-1074-12

Research on formation mode and development potential of geothermal resources in Beijing–Tianjin–Hebei region

WANG Guiling¹, ZHANG Wei¹, LIN Wenjing¹, LIU Feng¹, ZHU Xi¹, LIU Yanguang¹, LI jun²

Abstract: Haze in Beijing–Tianjin–Hebei region is relatively heavy; at the same time, this region is rich in geothermal resources. The development of geothermal resources can contribute to the energy structure adjustment and the control of haze in that region. In this paper, based on the analysis of the fracture, strata, terrestrial heat flow and geothermal gradient of Beijing–Tianjin–Hebei region, the authors summed up the formation mode and hosting conditions of convection geothermal and conductive geothermal resources respectively. The quantity, exploitation situation and the development potential of geothermal resources were also calculated. The result shows that geothermal resource reserves are equivalent to about 138.3 billion tons of standard coal, and heat in geothermal fluid of the local region amounts to about 11 million tons of standard coal. Nevertheless, the exploitation quantity is only equivalent to about 10% of the total resources, and hence the potential for geothermal resources development and utilization is huge.

Key words: Beijing–Tianjin–Hebei region; North China Plain; geothermal resources; formation mode

About the first author: WANG Guiling, male, born in 1962, senior researcher, majors in geothermal resources evaluation biomedical signal processing, utilization of geothermal water resources at deep crust; E-mail: guilingw@163.com.

Fund support: Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 41672249 and No. 41402231), Hydrogeological

收稿日期: 2017-10-27; 改回日期: 2017-11-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41672249、41402231); 中国地质科学院水文地质环境地质研究所基本科研业务费专项经费资助项目(SK201501); 中国地质调查局地质调查项目(DD20160190)

作者简介: 王贵玲, 男, 1962年生, 研究员, 主要从事地热资源评价、深部地热开发等方面的工作; E-mail: guilingw@163.com

Environment Geology Institute Foundation of Chinese Academy of Geological Sciences (No. SK201501) and China Geological Survey Program (No. DD20160190).

1 引言

地热资源是指能够经济地被人类所利用的地球内部的地热能、地热流体及其有用组分,按照热储赋存特征,可分为浅层地温能、水热型地热资源与干热岩资源(汪集旸等,2012)。其中,水热型地热资源是现在开发利用的主要地热资源(王贵玲等,2017),本文主要针对水热型地热资源进行论述。

地热是一种可再生的清洁能源,与风能、太阳能相比,不受季节、气候、昼夜变化等外界因素干扰(周国富等,2014),储量大,分布广,开发利用简便,是一种现实并具有竞争力的新能源(郑克棧等,2009)。开发利用地热能,实现采暖、供冷以及其他应用,已成为改善城市大气环境、减少温室气体排放的有效途径。中国地热资源分布具有明显的规律性和地带性,多分布于大型沉积盆地与地热显示较好的基岩山区(田廷山等,2006)。其中,京津冀地区地热分布广泛、资源量大、易于开发,是我国东部地热资源最丰富的地区(郑丽英,2015)。

长期以来,京津冀地区化石能源比重偏高,能源消费结构以煤炭为主,能源结构性矛盾与随之产生的环境污染、雾霾等问题十分突出,严重影响了当地人民的生产生活(郑晓霞等,2014;江玲,2015)。同时本地区地热资源赋存条件较好(张国斌,2006),勘查开发程度相对较高,技术成熟(李宁波等,2017);大力发展以地热为主的可再生能源是京津冀调整优化能源结构的主攻方向之一(江玲,2015)。大力开发利用地热资源,对于京津冀地区调整能源供应结构、保障能源供应安全、缓解雾霾、促进地区经济社会发展具有重要的作用(蔺文静等,2013)。

2 地质背景

2.1 基础地质条件

2.1.1 构造条件

京津冀地区位于我国华北,包括北京市、天津市与河北省3个省级行政区。构造上,本区大部分属于中朝准地台,其中固安—昌黎断裂以南、太行山东断裂以东为华北断坳,发育有华北平原,平原内由西向

东发育有冀中坳陷与临清坳陷、沧县隆起、黄骅凹陷、埕宁台拱等次一级构造单元。这两个断裂以西以北则为断裂广布的基岩山区,发育有深部构造变异带。总体而言,本区共有深断裂10条,大断裂9条,这些深大断裂有的切穿硅铝层,深入硅镁层或上地幔,空间延伸普遍达上百千米,对京津冀地区深部地热的向上传导与地热资源形成起到重要的控制作用(刘训等,2015)。深部构造方面,华北克拉通破坏所造成的岩石圈巨量减薄、地壳变形、地震及岩浆活动,也为本地区深部热能进入地层浅部,形成地热资源创造了良好的条件(朱日祥等,2012)。

2.1.2 地层条件

本区基本上都属于华北地层区,地层以太古宇—古元古界变质岩系为结晶基底,其上不整合地沉积了元古界至新生界的一系列地层。华北平原区沉积层较厚,高达几千米,基岩山区相对较薄。这些地层作为地热资源的储集层与沉积盖层,共同构成了本区地热资源的赋存环境(陈墨香,1988)。

2.2 地热地质条件

2.2.1 岩体热导率

热导率是岩体导热能力的量度,是区域地温场的重要控制因素之一。京津冀地区岩石热导率主要取决于地层时代与岩性。结合前人成果(陈墨香,1988;王良书等,2002;龚育龄等,2011)分别对京津冀地区不同构造单元、不同地层的岩石热导率进行了测试,分析表明随着地层由老到新,岩石热导率基本呈逐渐减小的趋势。其中,以泥岩、砂岩为主的新生界沉积层平均热导率仅为 $1.72 \text{ W}(\text{m} \cdot \text{K})$,古生代与元古宙地层以碳酸盐岩为主,热导率一般大于 $2.8 \text{ W}(\text{m} \cdot \text{K})$ 。最新在沧县隆起取样测试的结果显示中新元古界岩层热导率平均为 $2.78 \text{ W}(\text{m} \cdot \text{K})$,与前人结果相近。各岩层热导率的不同,以及不同区域各岩层厚度的差异,是造成各区域地温梯度与地温分布差异的主要因素之一。

2.2.2 地温梯度

京津冀地区地温梯度分布受凹凸相间的地质构造格局的控制,总体特点是地温梯度呈高低相间带状展布。相对高温区与构造隆起区一致,东南部

的沧县、献县、吴桥等地盖层地温梯度大于 $3.5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,许多凸起的高点,盖层地温梯度高达 $4.0\sim 5.0^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 或更大。相对低温区与凹陷区相对应,地温梯度 $3\sim 3.5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。沿燕山、太行山山前区域盖层地温梯度小于 $2.5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。

垂向上,地温梯度主要受地层岩性的控制,热导率大的岩层地温梯度较小,因此新生界的地温梯度一般大于底部基岩。调查表明各时代地层的地温梯度值分别是:第四系(深度小于 $500\sim 600\text{ m}$)一般为 $2\sim 3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$;新近系(深度 $600\sim 1000\text{ m}$)为 $3.0\sim 3.7^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$;基岩顶部(深度 $1000\sim 4000\text{ m}$)为 $3\sim 3.5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$;进入基岩内部后,地温梯度普遍降低为 $1.8\sim 2.4^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,在碳酸盐岩分布区多为 $2.0\sim 2.7^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。

2.2.3 大地热流

大地热流是地球内热在地球表面的直接反映,反映出一个地区的地热场特征。如图1所示,受拗陷、隆起间隔出现的构造格局控制,京津冀平原区大地热流也具有自西向东呈低-高-低-高的条带状分布特征,平均值接近 $62\text{ mW}/\text{m}^2$ (全球陆区大地热流平均值)(胡圣标等,2011);其中雄县、固安、霸州等地大地热流值在 $79.1\sim 90\text{ mW}/\text{m}^2$,相对较高;在河间、献县等地,大地热流值最高可达 $70.8\text{ mW}/\text{m}^2$;黄骅地区大地热流值约 $60.7\text{ mW}/\text{m}^2$,这些地区现存地热井中水温最高为 106°C ,利用地热井中水温几乎均高于 60°C ,可见,京津冀平原区地热资源是非常丰富的。山区大地热流值相对较低,平均值为 $42.5\text{ mW}/\text{m}^2$,变化范围为 $25.5\sim 61.0\text{ mW}/\text{m}^2$ 。

2.2.4 地温分布

据多年气象、地温监测资料确定,京津冀地区恒温带深度为 $25\sim 30\text{ m}$,恒温带温度 $13.5\sim 14^{\circ}\text{C}$ (王婉丽等,2016)。恒温带以下为增温带,地温由浅到深逐步增大。平面上,地温主要受地温梯度的影响,与其分布规律基本一致,在浅部新生界地层也呈隆起区较高、拗陷区较低的特征。深部由于地层热导率的差异,地温平面分布规律性较差。

垂向上,主要受地层岩性、基底起伏和深部构造控制。区内不同岩性的地层、地温梯度、热导率均不同,但总的规律是中、新生界的热导率较低,造成地温梯度较高,大于古生代和元古宙地层的地温梯度。因此,随着深度的增加,地层由新变老,地温

梯度也相应的由大变小,而地温的垂向增高也相应的由较快而趋于缓慢。如图2所示,位于沧县隆起的WR-73井新生界地层地温梯度较高, 1100 m 以上地温均大于黄骅拗陷构造区的DW-2井。而 1100 m 以下,WR-73井进入基岩,热导率变大、地温梯度变小,温度也逐渐与DW-2井拉开差距。

3 成藏模式

依据构造成因与热传递方式的不同,水热型地热资源可分为沉积盆地传导型和隆起山地对流型两种类型。沉积盆地传导型地热资源多发育于平原、山间盆地及海盆中,深部热源中的热量主要通过地层的传导不断向上传递,加热含水层,形成热储。隆起山地对流型地热资源则以对流为主要的导热方式,山区大量发育的断裂为热水对流创造了良好的条件。京津冀地区这两种资源均有分布,地热资源类型不同,其成藏模式与赋存条件也不同。

3.1 隆起山地对流型

本区隆起山地对流型地热资源主要赋存于断裂较多、基岩裂隙发育的山区及山前地区。调查结果显示,根据热储盖层的厚度,京津冀地区的隆起山地型地热资源可分为三类,分别为断裂带开放型热储、断裂带半圈闭型热储和碳酸盐岩圈闭型热储。断裂带开放型热储主要分布在基岩山区及沟谷地带,地下水主要通过深部断裂循环而上涌出地表,无沉积盖层。该类型热储是山区常见的热储类型,京津冀地区具有代表性的有赤城汤泉(李攻科等,2014;王卫星等,2013)、塘子庙温泉、遵化汤泉。断裂带半圈闭型热储主要分布在山间盆地及部分山前地带。基岩热储上部一定厚度的第四系构成基岩热储的盖层,由于热储盖层厚度较小,其保温隔热作用有限。本地区较为典型的主要有怀来后郝窑地热田、怀来五营梁地热田、昌黎晒甲坨地热田、滦县安各庄地热异常区等。碳酸盐岩圈闭型热储主要分布在山间盆地和邯郸—邢台山前丘陵地区。热储盖层较厚,储水空间较大,涌水量相对较大。该类热储具代表性的有蔚县卜南堡地热异常区、阳原三马坊乡澡洗塘地热田和内丘东庞新村地热异常区。

根据以上特征,京津冀地区隆起山地型地热资源成藏模式可归纳为(图3):在有深大断裂或浅部热源发育的地区,山区降水在入渗过程中不断受热

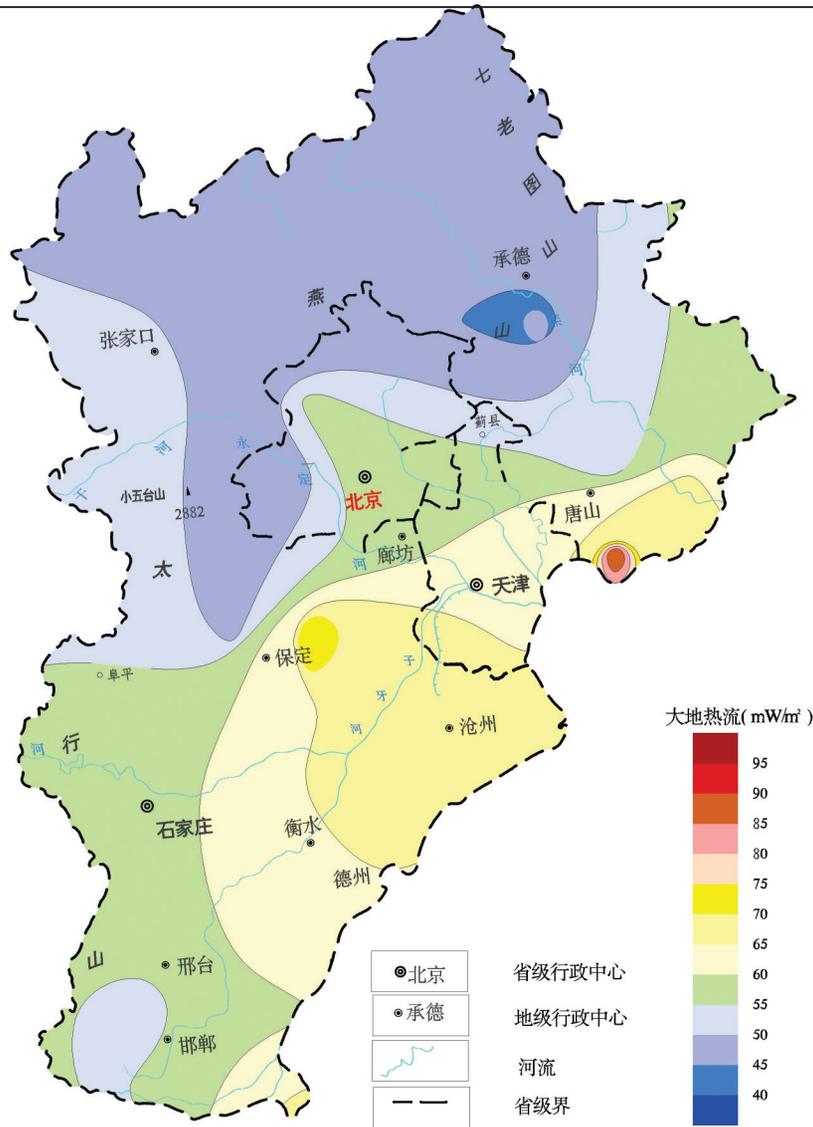


图1 京津冀地区大地热流等值线图

Fig.1 Contour map of terrestrial heat flow in Beijing-Tianjin-Hebei region

源加热,经深部加温后,沿导水断裂以较快的速度上涌,在地壳浅部形成地热异常区。整个过程中,断裂与基岩裂隙起着至关重要的作用。它们既是地下水与热量的循环通道,也是对流型地热资源的赋存空间(陈墨香等, 1994)。热源则主要来自于上地幔热量和基岩花岗岩壳中的放射性产热(汪洋等, 2001)。盖层的存在与否决定了隆起山地型地热资源在地表的表现形式。

3.2 沉积盆地传导型

沉积盆地型地热资源主要赋存于广阔的华北平原,赋存条件主要受热源、热储层、热储盖层与导

水导热通道的影响。

3.2.1 热源

与隆起山地型相同,热源均为上地幔热量和基岩花岗岩壳中的放射性产热(陈墨香等, 1994)。华北平原属上地幔隆起区,热源相对较浅,有利于地热资源的形成。沉积盆地型地热资源主要通过传导的形式积聚热量,热传导效率较低但分布范围较广,总体而言,京津冀地区的沉积盆地型地热资源温度较低,属中低温地热资源。

3.2.2 热储层

京津冀平原区沉积层较厚,平原区沉积层中发育

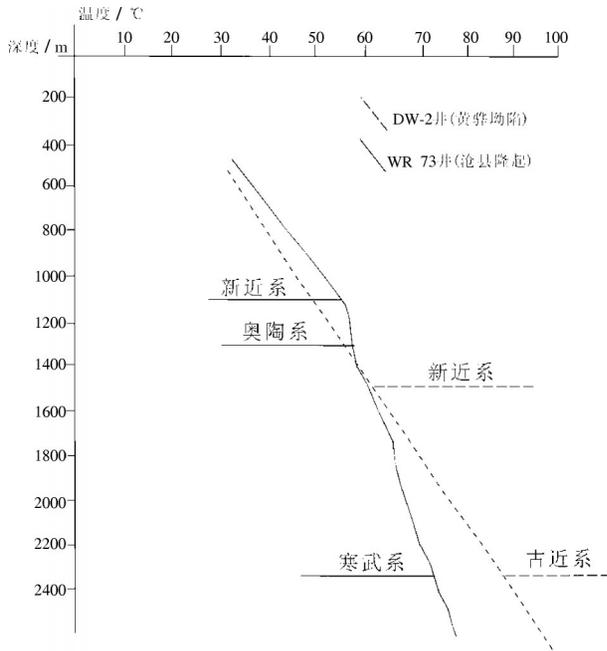


图2 不同构造区代表性地热井测温曲线对比图
Fig.2 Temperature logs of two representative wells in different tectonic areas of Beijing-Tianjin-Hebei region

有多层高孔隙度和高渗透性的热储层。大型盆地还具有利于热水聚存的水动力环境。地下水从山前地带向盆地内部长距离缓慢径流运移过程中可以充分吸取岩层的热量(邱楠生等, 2004)。因此, 京津冀平原区具有理想的储热储水环境(刘凯等, 2015)。

如图3所示, 由浅到深京津冀平原区主要赋存有5个热储层(方连育等, 2015; 林黎等, 2014; 孙颖

等, 2015), 分别为新近系明化镇组热储层(Nm)、新近系馆陶组热储层(Ng)、古近系东营组热储层(E)、中生界寒武-奥陶系热储层(O-Є)与中新元古界热储层(Ptz)。待技术成熟之后, 可利用深钻揭穿更深部热储, 进行干热岩的调查与研究工作。

新近系明化镇组热储层是平原区的第一层热储, 除在部分山前地区温度较低不构成热储外, 在平原区大面积分布。受基底构造影响, 该热储层厚度变化较大, 在100~1700 m。热储底界变化也较大, 为200~2400 m。水温度35~50℃, 最高可达60℃, 属于承压水, 地下热水水位埋深一般在30~50 m。

新近系馆陶组热储层一般分布在平原区的断陷部位, 厚度200~900 m, 而在断凸部位大多缺失或厚度较薄。馆陶组热储底界埋深大部分地区在1400~1600 m, 埋藏最深的地区为饶阳、霸州、深州等地, 埋深达到2200~2400 m。热水温度56~85℃。

新近系东营组热储层仅在天津有少量分布, 发育于构造沉降中心内, 热储岩性为砂岩, 砂砾岩。层底埋深为1200~2000 m, 厚度为100~600 m。井口水温为50~70℃, 多属温热水热水型低温地热资源。水化学类型主要为Cl-Ca、Cl-Na型, 矿化度20 g/L左右。

古生界寒武-奥陶系热储层由中生界沉积的碳酸盐岩地层构成, 厚度为600~800 m, 在构造高位因剥蚀而缺失。主要分布于沧县台拱部分地区和冀中台陷的天津市市区及牛驼镇以及黄骅台陷的

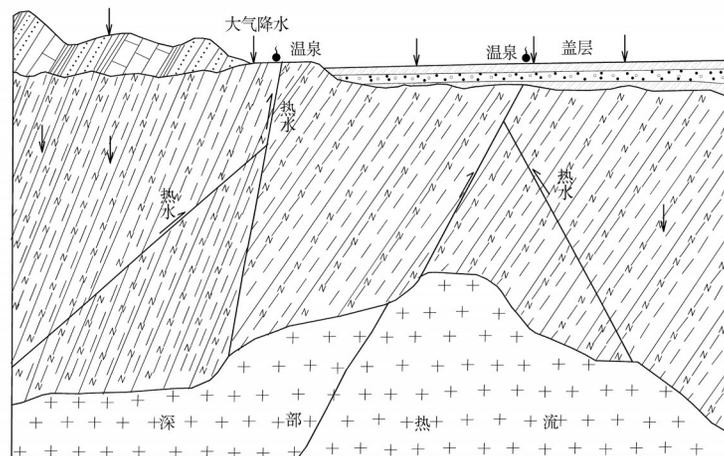


图3 京津冀隆起山地对流型地热资源成藏模式图
Fig.3 Formation mode of convection geothermal resources in Beijing-Tianjin-Hebei region

黑龙村孔店等地。单井涌水量 150~1500 m³/d, 水温可达 34~73℃。

中新元古界热储层岩性主要为白云岩、中部夹泥质白云岩, 主要地层为蓟县系雾迷山组与长城系高于庄组, 总厚度 300~1000 m 以上, 主要分布在北京、天津南部、牛驼镇断凸、沧县台拱、宁晋断凸一带, 埋深 800~2000 m, 高阳台凸埋深 3000 m 左右。单井涌水量 400~1500 m³/d, 井口水温达到 60~80℃, 最高可达 104℃, 是本地区温度最高的热储层。

3.2.3 导水导热通道

导水导热通道方面: 如图 4 所示, 华北平原由西向东依次发育有冀中拗陷(北部)与临清拗陷(南部)、沧县隆起、黄骅拗陷、埕宁台拱等构造单元, 凹凸相间的构造格局及多级断裂, 在热传导之外, 构成了地热流体良好的导水导热通道。

3.2.4 热储盖层

热储盖层方面: 本区地层最上部为热储盖层, 华北平原第四系厚度大, 结构较松散, 孔隙度大, 导热性差, 下部普遍有厚层粘土层, 具有良好的隔水隔热效果, 是京津冀平原区理想的热储盖层, 为本区沉积盆地型地热资源的赋存与保温起着至关重要的作用。

3.2.5 成藏模式

综上, 京津冀地区沉积盆地传导型地热资源成藏模式如图 4 所示, 上地幔生热与基岩的放射性衰变产

热主要通过传导加热浅部地层, 在高孔隙度和高渗透性含水层处形成热储层, 最上部的沉积盖层为热储层起到保温效果, 而平原区的热对流作为有益补充, 主要通过以断裂为主的导水导热通道传输。

4 资源潜力

4.1 评价原则

4.1.1 评价范围

对京津冀地区地热资源进行了调查评价, 对于有地热井控制的地区, 考虑热储开发的经济性, 以同时满足以下两个条件作为评价基准: (1) 热储埋深在 4000 m 以内, 热储层温度 25℃ 以上; (2) 单井出水量大于 20 m³/h。

对于没有井控制、资料较少的地区, 通过盖层平均地温梯度大于 2.5℃/100 m 来圈定热储评价面积, 地温梯度、热储层厚度、砂厚比根据以往成果资料获得, 热储层温度采用地温梯度推算确定。

4.1.2 评价内容与评价方法

评价的内容包括地热资源量、地热资源可开采量、地热流体储存量、地热流体可开采量、地热流体可开采热量, 回灌条件下地热流体可开采量及可开采热量。结合已有行业规范, 编制了相应的技术要求, 对本次工作的评价方法进行了统一。

根据技术要求, 隆起山地型地热资源评价其地热

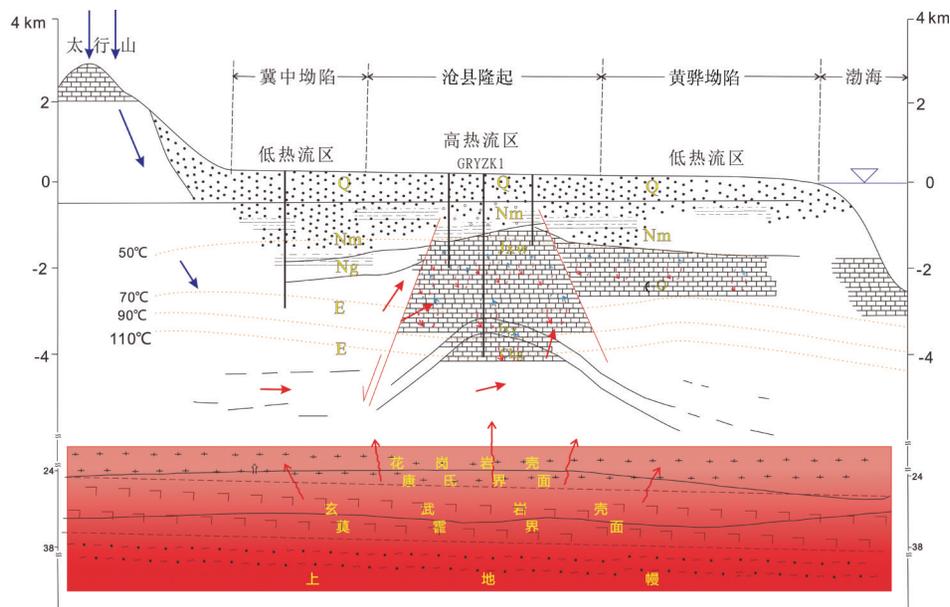


图 4 京津冀沉积盆地传导型型地热资源成藏模式图

Fig.4 Formation mode of conductive geothermal resources in Beijing-Tianjin-Hebei region

资源量、地热流体可开采量及地热流体可开采热量。其地热资源量采用热储法计算,地热流体可开采量采用泉(井)流量法、排泄量法及补给量法综合计算。

对沉积盆地型地热资源,表1中所有参数均评价。地热资源量采用热储法计算;地热资源可开采量采用回收率法计算;地热流体储存量为容积储存量与弹性储存量之和;地热流体可开采量采用最大允许降深法与开采系数法综合确定;回灌条件下按照开采100年,消耗15%的地热储量,根据热量平衡计算影响半径和允许开采量。

4.2 评价成果

4.2.1 总体特征

京津冀地区水热型地热资源丰富,根据《全国地热资源调查评价评价与区划》项目调查(邱楠生等,2004;方连育等,2015;林黎等,2014),该地区地热资源储量折合标准煤约1383亿t(表1),年地热流体可开采热量折合标准煤1100万t。

京津冀地区隆起山地型地热资源丰富,地热资源总量 2.04×10^{15} kJ,折合标准煤0.69亿t。地热流体可开采量约为1300万 m^3/a ,地热流体可开采热量为 2.15×10^{12} kJ/a,折合标准煤7.29万t/a。

隆起山地型地热资源主要分布于西部与北部共20个县级行政区中(河北省19个,天津市1个)。其中张家口市隆起山地型地热资源储量最大,约占本区资源总量的59%,赤城县、怀来县、阳原县是该市资源量最丰富的几个县。承德市的隆化县、石家庄市的平山县资源量也较大,分别占总资源量的12%、6%;其他县区资源量相对较少。沉积盆地型地热资源广泛分布于京津冀地区的平原区中,分布

面积广、资源量大。地热流体储存量6.75万亿 m^3 ,如加强回灌,回灌条件下地热流体年可开采热量折合标准煤2.51亿t。

4.2.2 区域分布特征

京津冀地区河北省面积最广,资源量也最多,约占总资源量的75%,天津市约占22%,北京市最少。县级行政区中,天津市静海县地热资源储量最大,达 1.6×10^{17} kJ,折合标准煤54.6亿t。滨海新区其次,折合标准煤49.5亿t。河北省的河间市为43亿t,位居第三。

按县级行政区划分,京津冀地区回灌条件下地热流体可开采热量折合标准煤大于30万t/a的有80个区县,为地热资源丰富的区县。其中天津市10个,包括除蓟州区之外的所有区县、北京市9个,主要分布于平原区。河北省61个,多分布于东部、南部的平原区。介于3~30万t/a之间的有29个,地热资源一般丰富,主要分布于本区的中部、西部地区。其他地区小于3万t/a,可地热资源开发潜力一般,主要分布于西部、北部的山区、山前地区。

如图5所示,根据不同计算分区地热资源量与分布范围的比值,划分出京津冀平原区的地热资源潜力模数分区,更清晰明了地显示了不同地区地热资源的赋存条件。评价结果显示天津市地热资源开发潜力在本地区最高,平原区基本为中等潜力区与高潜力区,潜力模数大于 4×10^{16} J/ km^2 。河北省中部、南部与山东接壤部分、曹妃甸地区及北京东部地区地热资源潜力也较高,其他地区相对较低小于 4×10^{16} J/ km^2 。山区地热资源多为点状分布,开发利用潜力的计算需根据当地情况具体分析。

表1 京津冀地区地热资源量评价结果一览

Table 1 Evaluation result of geothermal resources in Beijing-Tianjin-Hebei region

省份	地热资源量		地热资源可采量		地热流体储		地热流体可		考虑回灌条件下地热流体可		
	地热资源 储存量 /(10^{16} kJ)	折合标 准煤 /(10^9 t)	地热资源 可采量 /(10^{16} kJ)	折合标 准煤 /(10^8 t)	存量 /($10^{10}m^3$)	可采量 /($10^7m^3/a$)	地热流体可 开采热量 /($10^{13}kJ/a$)	折合标准 煤/($10^5t/a$)	考虑回灌条 件下地热流 体可开采量 /($10^9m^3/a$)	考虑回灌条 件下地热流 体可开采热 量/($10^{15}kJ/a$)	折合标准煤 /($10^7t/a$)
北京	9.94	3.39	1.49	5.09	2.57	7.38	1.31	4.46	7.43	1.23	4.21
天津	89.80	30.70	17.70	60.50	152.00	44.10	6.46	22.10	7.95	1.48	5.06
河北	305	104	62	211	558	174	24	83	26	5	16
合计	405	138	81	276	712	225	32	109	42	7	25

5 讨论

5.1 京津冀地热资源开发现状与利用潜力

综上,京津冀地区地热资源丰富,地热资源的开发利用程度较高,开发利用历史悠久,开发范围广、开发利用种类多样、技术先进,是我国地热资源开发利用较好的地区之一(卫万顺, 2010; 郑志忠, 2017; 周总瑛等, 2015)。天津市地热供暖面积全国排名第一(王祖伟, 2000)。河北省有牛驼镇、辛集、献县、等多处大型等地热田,多个县市被评为中国温泉之乡及地热技术开发利用示范区。北京也有小汤山地热田、东南城区地热田等大型地热田。根据调查结果,本区隆起型地热资源开发利用的开发利用主要集中在河北省的基岩山区,有小规模地热田或地热点42处,包括温泉52眼(目前利用46眼),水温 $28.0^{\circ}\text{C}\sim 98.0^{\circ}\text{C}$,地热井75眼(目前利用47眼),水温 $33.0^{\circ}\text{C}\sim 98.0^{\circ}\text{C}$ 。2013年地热流体年开采量为 $807\times 10^4\text{m}^3$,主要利用形式为疗养、洗浴、供暖、种植、养殖等。现疗养洗浴人数约326.72万人次/年,供暖面积为 68390m^2 ,养殖面积为 89.386hm^2 ,种植面积为 382hm^2 。

本区沉积盆地型地热资源的主要利用项目为供暖、洗浴、种植、养殖、旅游疗养等(王学工等, 2001)。其中绝大部分用于供暖,2013年北京、天津、河北的地热供暖面积分别为 $201.4\times 10^4\text{m}^2/\text{a}$ 、 $1953\times 10^4\text{m}^2/\text{a}$ 、 $2123.814\times 10^4\text{m}^2/\text{a}$ 。京津冀地区地热资源丰富回灌条件下地热流体年可开采热量折合标准煤约8400万t(表1),可支撑供暖面积约27.9亿 m^2 。相对而言,京津冀地区在地热供暖及其他开发利用方式上仍有很大的空间与潜力。

5.2 地热资源开发利用优势与存在的问题

京津冀地区地热资源的大量开发,形成了大量优质的地热产业,在地热资源开发、管理方面具有雄厚的技术优势。首先,开发利用技术成熟,形成了以地热供暖为主,多种方式并行,产业化、规模化发展的开发利用模式。数十年的开发利用为积累了大量先进的开发利用技术(地热井钻探、换热技术、防腐技术等)与成熟的开发管理方案(崔宝乐, 2010; 王志刚, 2016)。其次,地热回灌技术初见成效,为解决地热资源开发与地下水资源短缺的矛盾提供了切实可行的途径。天津市2013年总回灌量为 $1553\times 10^4\text{m}^3$,总体回灌率41.91%(林黎等, 2006);

北京市的地热回灌率也达到46%(宾德智等, 2002);保定市雄县通过地热回灌技术实现了“用热不取水”,采灌基本达到平衡(张国斌, 2006)。这些技术的广泛使用,以及地热资源梯级利用技术等新技术的优先推广,使得京津冀地区地热资源的开发具有其他地区无可比拟的优势。

同时,地热资源的开发利用也存在着一些问题。首先,地下水的短缺是制约京津冀地区地热资源开发的首要问题,部分地热井回灌效率较差,很多地热田水位呈持续下降的趋势(马凤如等, 2006)。其次,未建立有效的监测体系,长期、完整的动态监测资料是地热田管理的基础,而目前本区地热井的监测多为人工监测,且仅有极少数专门观测井,数据的质与量均有待提高(田光辉等, 2011)。同时,往往集中开采区地热资源的研究程度较高,其他地区较低,使得地热资源的开发也极不均衡(刘杰等, 2012)。这些问题影响了本地区地热资源地热的勘查与开发,急需解决。

6 结论与建议

6.1 结论

地热资源作为一种可再生能源,具有化石能源及其他可再生能源无法比拟的优势。京津冀地区雾霾现状较为严重,以燃煤为主的能源结构亟待转变。而当地地热资源丰富,开发利用潜力巨大,合理开发利用可带来较好的节能减排效果。京津冀西部与北部基岩山区多有断裂发育,导水导热断裂的存在为隆起山地型地热资源的分布提供了水热对流的通道,控制着隆起山地型地热资源的分布。平原区沉积层厚、面积广阔,形成了巨大的储水储热空间,由浅到深主要发育有明化镇组、馆陶组、东营组、寒武—奥陶系及中新元古界五大热储层,热储层受深部热源加热,浅部热储层分布面积较大,温度相对较低;深部基岩热储层温度较高。

总体而言,京津冀地区地热资源丰富回灌条件下地热流体年可开采热量折合标准煤约8400万t,可支撑供暖面积约27.9亿 m^2 ,全部开发可减排二氧化碳约2亿t。而截至2013年,京津冀全区地热供暖面积共约为4300万 m^2 ,节能减排潜力巨大。

6.2 建议

根据京津冀地区地热资源勘探与开发现状,建

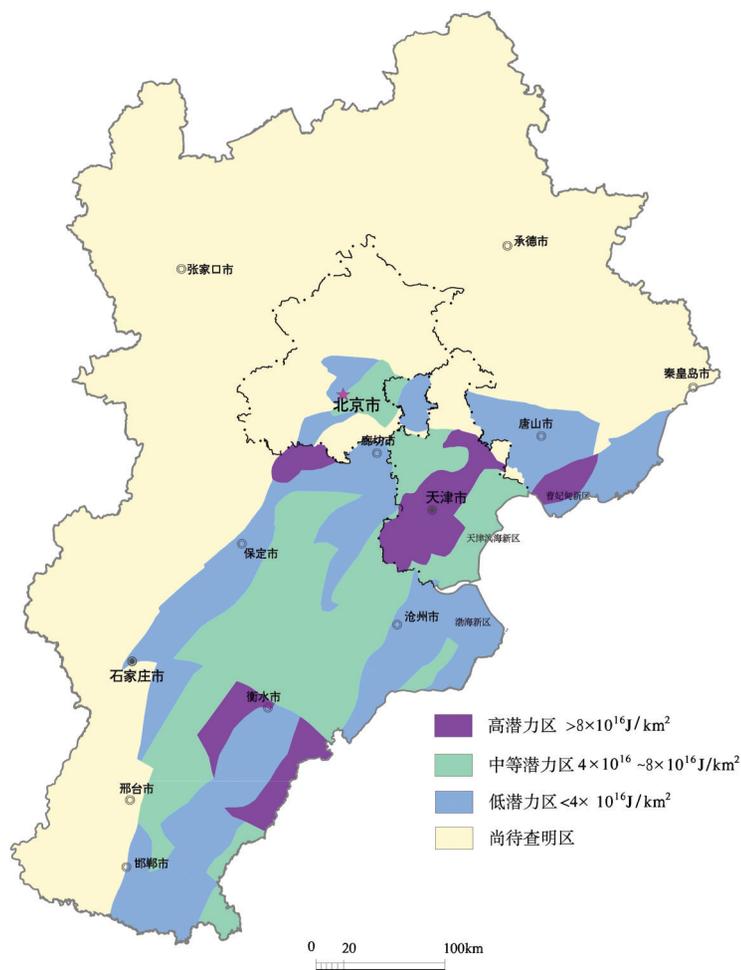


图5 京津冀地区地热资源潜力分区图

Fig.5 Partition map of geothermal resources development potential in Beijing-Tianjin-Hebei region

议从以下几个方面继续开展工作：

首先,应加强地热资源勘查评价。重点对太行山、燕山前平原地热资源勘察空白区、地热集中开采区、新农村和小城镇地区开展地热资源勘查评价,为地热资源合理开发利用提供科学依据。其次,要强化地热资源管理与保护。针对地热资源集中开采区单井产权分散、地热井布局不合理、无回灌等问题,整合规范矿权,合理优化布局,强化监测预警,实现梯级利用、综合利用和采补平衡。第三,要实施地热资源供暖利用。在“采灌平衡”“取热不取水”的原则下,重点在县域、乡镇、美丽乡村以及城市郊区开展地热替代燃煤供暖示范项目建设,逐步实现地热供暖规模化发展,结合区域经济特点,开展多元化利用。第四,加强关键技术研发。

开展地热能评价、钻井工艺和回灌等技术攻关;鼓励开展无干扰型地热利用、深层地热能发电技术研究和设备研发,积极开展地热资源梯级利用的研究与应用。

Reference

- Bin Dezhi, Liu Jiurong, Wang Xiaoling. 2002. Geothermal resources in Beijing [C]//Beijing Geothermal International Symposium (in Chinese with English abstract).
- Chen Moxiang, Wang Jiyang. 1994. Geothermal Resources in China: Formation Characteristics and Potential Assessment [M]. Beijing: Sciences Press, 1-39 (in Chinese with English abstract).
- Chen Moxiang. 1988. Geothermal Resources in North China [M]. Beijing: Science Press, 1988: 1-214 (in Chinese).
- Cui Baole. 2010. Study on the development of hot spring tourism in

- Bazhou in the the Beijing–Tianjin–Hebei economic integration process[C]//Comprehensive Docking in the Same City and the Beijing–Tianjin Corridor Economic Integration Academic Conference (in Chinese).
- Fang Lianyu, Li Jun, Kang Puqing. 2015. Report of geothermal resources evaluation and regionalization in Hebei Province[R]//Hengshui, The Third Party of Hydrogeology and Engineering Geology, Hebei Bureau of Geology and Mineral Investigation. 6.10. (in Chinese)
- Gong Yuling, Wang Liangshu, Liu Shaowen, Ye Tengfei. 2011. Thermal structure and thermal evolution of the Bohai Basin in Eastern China.25–42 (in Chinese).
- Hu Shengbiao, He Lijuan, Wang Jiyang. 2001. Compilation of heat flow data in the China continental area (3rd edition) [J]. Chinese Journal of Geophysics. 44 (5): 611–626 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Ling. 2015. Energy Consumption Structure and Carbon Footprint Analysis of Beijing–Tianjin–Hebei [D]. Tianjin: Tianjin University. (in Chinese with English abstract).
- Li Gongke, Wang Weixing, Li Hong, Yang Fengtian, Wang Linhai, Fang Wanling. 2014. Temperature distribution and controlling factors of the Tangquan geothermal field in Hebei Province[J]. Geology in China, 41(6): 2099–2109(in Chinese with English abstract).
- Li Ningbo, Yang Junwei, Yu yuan, Li Xiang, Ke bolin. 2017. Combination with development and innovation for efficient use of “Two Geothermal” in Beijing–Taijin–Hebei economic zones[J]. Urban Geology, 12(1):1–4 (in Chinese with English abstract).
- Lin Li, Gao Baozhu, Ruan Chuanxia. 2014. Report of geothermal resources evaluation and regionalization in Tianjin [R]//Tianjin, Tianjin Geothermal Exploration and Development–Designing Institute,10 (in Chinese).
- Lin Li, Zhao Sumin, Wang Xinyi. 2006. Utilization state and protection project in Tianjin Geothermal Area [J]. Editorial Board of Journal of HPU (Nature Science), 25(2):105–110(in Chinese with English abstract).
- Lin Wenjing, Liu Zhiming, Wang Wanli, Wang Wanli. 2013. The assessment of geothermal resources potential of China [J]. Geology in China, 40 (1): 312–320(in Chinese with English abstract).
- Liu Jie, Song Meiyu, Tian Guanghui. 2012. Discussion on the ore-bearing characters of the Jiaoyuan Fault in Songxian County, Henan Province [J]. Geological Survey and Research, 67–73 (in Chinese with English abstract).
- Liu Kai, Liu Yingchao, Sun Ying, Liu Jiurong, Wang Shufang, Liu Zongming. 2015. Characteristics of deuterium excess parameters of geothermal water in Beijing[J]. Geology in China, (6): 2029(in Chinese with English abstract).
- Liu Xun, You Guoqing. 2015. Tectonic regional subdivision of China in the light of plate theory[J].Geology in China, 42(1): 1–1(in Chinese with English abstract).
- Ma Fengru, Lin Li, Wang Yingping, Cheng Wanqing, Zhao Sumin. 2006. Discussion on the sustainable exploitation and utilization of geothermal resources in Tianjin [J]. Geological Survey and Research. 29(3):222–228 (in Chinese with English abstract).
- Qiu Nansheng, Hu Shengbiao, He Lijuan. 2004. Theory and Application of Study on Geothermal Regime of Sedimentary Basin[M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 26–29 (in Chinese).
- Sun Ying, Liu Kai, Liu Jiurong. 2015. Report of Geothermal Resources Evaluation and Regionalization in Beijing[R]. Beijing, Beijing Institute of Hydrogeology and Engineering Geology. 6(in Chinese).
- Tian Tingshan, Li Minglang, Bai Ye. 2006. Geothermal sources in China and its exploration [M]. Beijing: China Environmental Science Press. (in Chinese).
- Tian Guanghui, Lin Li, Cheng Wanqing, Zeng Meixiang, Liu Donglin, Song Meiyu, Cai Yun, Wang Ping, Zong Zenghai. 2011. The construction of dynamic monitoring network for the development and utilization of shallow geothermal energy in Tianjin [J]. Geology in China, 38(6):1660–1666. (in Chinese with English abstract).
- Wang Guiling, Zhang Wei, Liang Jiyun, Lin Wenjing, Liu Zhiming, Wang Wanli. 2017. Evaluation of geothermal resources potential in China [J]. Acta Geoscientica Sinica, 38(4):448–459. (in Chinese with English abstract).
- Wang Jiyang, Hu Shengbiao, Pang Zhonghe, He Lijuan, Zhao Ping, Zhu Chuanqing, Rao Song, Tang Xiao–yin, Kong Yanlong, Luo Lu, Li Weiwei. 2012. Estimate of geothermal resources potential for hot dry rock in the continental area of China [J]. Science and Technology Review,2012,30(32):25–31(in Chinese with English abstract).
- Wang liangshu, Liu Shaowen, Xiao Weiyong, Li Cheng, Li Hua, Guo Suiping, Liu Bo, Luo Yuhui, Cai Dongsheng. Distribution characteristics of terrestrial heat flow in Bohai Basin (in Chinese).
- Wang Wanli, Zhu Xi, Wang Guiling. Method of forecasting the temperature in constant temperature zone under warm temperate climates[J]. Renewable Energy Resources,2016,34(8):1112–1116 (in Chinese with English abstract).
- Wang Weixing, Li Gongke, Li Hong, Hou Jiayu, Fang Wanling, Yang Fengtian. Hydrogeochemical characteristics and origin of the geothermal fluid in Tangquan area, Hebei Province[J]. Geology in China, 2013, 40(6): 1935–1941(in Chinese with English abstract).
- Wang Xuegong, Li Yongzhuang. 2001. Characteristics and evaluation of geothermal resources in Beijing–Tianjin–Hebei Region[J]. Geothermal Energy, (6):1–7 (in Chinese).
- Wang Yang, Wang Jiyang, Deng Jinfu, Xiong Liangping. 2001. Heat flow constraint on the abundance of uranium, thorium and potassium in crust and lithosphere of the continental area of China[J]. Progress in Geophysics, 16(3): 21–30 (in Chinese with English abstract).

- English abstract).
- Wang Zhigang. 2016. Discussion on energy saving measures for atmospheric and vacuum distillation unit [J]. *Green Petroleum & Petrochemicals*, 1(6):1-5 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zuwei. 2000. The Development countermeasure of Tianjin terrestrial heat resources [J]. *Territory & Natural Resources Study*, (3): 50-51(in Chinese with English abstract).
- Wei Wanshun. 2010. Evaluation of Shallow Geothermal Energy Resources[M]. Beijing: China Earth Publishing House (in Chinese).
- Zheng Liying. 2015. The Characteristics and Evaluation of Geothermal Resources in Beijing-Tianjin-Hebei Region[D]. Beijing: China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).
- Zheng Xiaoxia, Li Lingjun, Zhao Wenji, Zhao Wenhui. 2014. Spatial and temporal characteristics of atmospheric NO₂ in the Beijing-Tianjin-Hebei Region [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, (12):1938-1945 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Rixiang, Xu Yigang, Zhu Guang, Zhang Hongfu, Xia Qunke, Zheng Tianyu. Destruction of the North China Craton. *Sci China Earth Sci*, 2012, doi: 10.1007/s11430-012-4516-y.
- Zhou Guofu, Gong Lili. 2014. Factor analysis of carbon footprint of Beijing Tianjin Hebei Province energy consumption and influence [J]. *On Economic Problems*, (8):27-31 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Keyan, Dong Ying. 2009. Bring superiority of geothermal resources into full paly and promote the renewable energy construction in China[C]//Geothermal Symposium of West Pacific branch of 2009 International Geothermal Association(in Chinese).
- Zheng Zhizhong. 2017. Study on the characteristics of hydrothermal geothermal resources[J]. *Energy & Environment*, (1):54-55(in Chinese).
- Zhou Zongying, Liu Shiliang, Liu Jinxia. 2015. Study on the characteristics and development strategies of geothermal resources in China[J]. *Journal of Natural Science*, (7):1210-1221. (in Chinese with English abstract).
- Zhang Guobin. 2006. Geothermal resource distribution and existing problems in exploitation and utilization [J]. *Coal Geology of China*, (s1):25-27(in Chinese with English abstract).
- 龚育龄,王良书,刘绍文,叶腾飞. 2011.中国东部渤海湾盆地热结构和热演化[M].北京:中国原子能出版社, 25-42.
- 胡圣标,何丽娟,汪集旸. 2001. 中国大陆地区大地热流数据汇编(第三版)[J]. *地球物理学报*, 44(5):611-626.
- 江玲. 2015. 京津冀地区能源消费结构与碳足迹分析 [D]. 天津:天津大学, 2015.
- 李攻科,王卫星,李宏,杨峰田,王林海,房万嶺. 2014. 河北汤泉地热田地温场分布及其控制因素研究[J]. *中国地质*, 41(6): 2099-2109.
- 李宁波,杨俊伟,于媛,李翔,何柏林. 2017. 开放与创新结合促进京津冀地热"两能"发展[J]. *城市地质*, 2017, 12(1):1-4.
- 林黎,高宝珠,阮传侠. 2014. 天津市地热资源现状调查评价与区划[R].天津,天津地热勘查开发设计院, 10.
- 林黎,赵苏民,王心义. 2006. 天津地热水开发利用现状及保护对策研究[J]. *河南理工大学学报(自然科学版)*, 25(2):105-110.
- 刘凯,刘颖超,孙颖,刘久荣,王树芳,刘宗明. 2015. 北京地区地热水气过量参数特征分析[J]. *中国地质*, (6): 2029.
- 蔺文静,刘志明,王婉丽,王贵玲. 2013. 中国地热资源及其潜力评估[J]. *中国地质*, 40(1): 312-320.
- 刘杰,宋美钰,田光辉. 2012. 天津地热资源开发利用现状及可持续发展利用建议[J]. *地质调查与研究*, 2012(1):67-73.
- 刘训,游国庆. 2015. 中国的板块构造区划[J]. *中国地质*, 42(1):1-17.
- 马凤如,林黎,王颖萍,程万庆,赵苏民. 2006. 天津地热资源现状与可持续性开发利用问题[J]. *地质调查与研究*, 29(3):222-228.
- 邱楠生,胡圣标,何丽娟. 2004. 沉积盆地热体制研究的理论与应用[M].北京:石油工业出版社, 2004:26-29.
- 孙颖,刘凯,刘久荣. 2015. 北京市地热资源现状调查评价与区划报告[R].北京,北京市水文工程地质大队, 6.
- 田光辉,林黎,程万庆,曾梅香,刘东林,宋美钰,蔡芸,王平,宗振海. 2011. 天津市浅层地热能开发利用动态监测网建设[J]. *中国地质*, 38(6):1660-1666.
- 田廷山,李明朗,白冶. 2006. 中国地热资源及开发利用[M].北京:中国环境科学出版社.
- 王贵玲,张薇,梁继运,蔺文静,刘志明,王婉丽. 2017. 中国地热资源潜力评价[J]. *地球学报*, 38(4): 448-459.
- 王良书,刘绍文,肖卫勇,李成,李华,郭随平,刘波,罗毓辉,蔡东升. 2002. 渤海盆地大地热流分布特征[J]. *科学通报*, 47(2):151-155.
- 王婉丽,朱喜,王贵玲. 暖温带地区恒温层温度的预测方法[J]. *可再生能源*, 2016, 34(8): 1112-1116.
- 王卫星,李攻科,李宏,侯佳渝,房万嶺,杨峰田. 2013. 河北汤泉地热水体水文地球化学特征及其成因[J]. *中国地质*, 40(6): 1935-1941.
- 汪集旸,胡圣标,庞忠和,何丽娟,赵平,朱传庆,饶松,唐晓音,孔彦龙,罗璐,李卫卫. 2012. 中国大陆干热岩地热资源潜力评估 [J]. *科技导报*.
- 汪洋,汪集旸,邓晋福,熊亮萍. 2001. 中国大陆地壳和岩石圈铀、钍、钾丰度的大地热流约束[J]. *地球物理学进展*, 16(3): 21-30.

参考文献

- 宾德智,刘久荣,王小玲. 2002.北京地热资源[C]//北京地热国际研讨会论文集.
- 陈墨香. 1988. 华北地热[M].北京:科学出版社, 1-214.
- 陈墨香,汪集旸. 1994. 中国地热资源--形成特点和潜力评估[M].北京:科学出版社, 1-39.
- 崔宝乐. 2010. 京津冀经济一体化过程中霸州市温泉旅游业发展研究[C].同城全面对接暨京津廊经济一体化学术会议.
- 方连育,李郡,康清普. 2015. 河北省地热资源现状调查评价与区划报告[R].衡水,河北省地矿局第三水文工程地质大队, 6.10.

