

doi: 10.12029/gc20170607

刘凯, 王珊珊, 孙颖, 崔文君, 朱德莉. 2017. 北京地区地热资源特征与区划研究[J]. 中国地质, 44(6): 1128–1139.

Liu Kai, Wang Shanshan, Sun Ying, Cui Wenjun, Zhu Deli. 2017. Characteristics and regionalization of geothermal resources in Beijing[J]. *Geology in China*, 44(6): 1128–1139(in Chinese with English abstract).

## 北京地区地热资源特征与区划研究

刘凯<sup>1,2</sup> 王珊珊<sup>3</sup> 孙颖<sup>1</sup> 崔文君<sup>1</sup> 朱德莉<sup>4</sup>

(1.北京市水文地质工程地质大队,北京 100195;2.中国地质科学院地球深部探测中心,北京 100037;3.北京市地质研究所,北京 100120;4.北京市地勘局信息中心,北京 100195)

**摘要:**北京市地热资源属于沉积盆地型中低温地热资源,目前已有50年集中开发利用历史。经过多年开发利用,已突显出一系列问题。为合理确定北京市地热资源开发利用方向,服务首都城市功能,建设宜居城市,本文通过资料收集分析、野外地质补充调查及水化学取样,分析了北京地区地温场分布特征、水化学特征、同位素特征,其中研究表明热储顶板温度高于80℃的地区主要分布在北京凹陷中心和大兴迭隆起南部的凤河营附近;北京地区地热化学类型主要为HCO<sub>3</sub>-Na型水。并开展了地热资源温度区划、地热资源开发利用方案区划及开发利用潜力区划。综合考虑地热田划分、地热资源特征、地热资源潜力区划,结合开采程度、资源条件及地区经济发展的需要,进行了地热资源保护区划,将其划分为限制开采区、控制开采区、鼓励开采区和其他地区,其面积分别为378.65 km<sup>2</sup>、562.88 km<sup>2</sup>、1612.07 km<sup>2</sup>、3722.31 km<sup>2</sup>。本文分析研究,对掌握北京市地热资源总体特征、了解地热流体补给来源、制定地热资源保护区划、合理开发利用地热资源具有重要指导意义。

**关键词:**地热;特征;区划;保护

中图分类号:P314.3 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2017)06-1128-12

## Characteristics and regionalization of geothermal resources in Beijing

LIU Kai<sup>1,2</sup>, WANG Shanshan<sup>3</sup>, SUN Ying<sup>1</sup>, Cui Wenjun<sup>1</sup>, ZHU Deli<sup>4</sup>

(1. Beijing Institute of Geological Environment Monitoring, Beijing 100195, China; 2. China Deep Exploration Center – SinoProbe Center, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3. Beijing Institute of Geology, Beijing 100120, China; 4. China Information Center of Beijing Geological Prospecting & Developing Bureau, Beijing 100195, China)

**Abstract:** Geothermal resources in Beijing belong to middle–low temperature geothermal resources, which have experienced more than 50 years of concentrated development and utilization. After years of development and utilization, there have occurred some highlighted environmental geological problems in Beijing. In order to reasonably determine the direction of the development and utilization of geothermal resources in Beijing and to build a livable city, this paper summarizes the distributive characteristics of these resources by analyzing the features of geotemperature, hydrogeochemical and stable isotope characteristics. It is found that the geothermal reservoir with the roof temperature higher than 80℃ is mainly located in the center of Beijing depression and near the

收稿日期:2017-02-01; 改回日期:2017-11-09

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(水[2013]01-029-006)、DD20179611).

作者简介:刘凯,男,1983年生,高级工程师,主要从事水工环地质及地热相关工作; E-mail: acancer@163.com。

Fengheying in the southern part of Daxing superimposed uplift, and the water chemistry type in Beijing is mainly  $\text{HCO}_3\text{--Na}$  type. The authors also put up zonation for geotemperature regionalization, geothermal resources exploitation and utilization as well as potential regionalization. The geothermal resources protection regionalization is based on the division of the geothermal fields, the characteristics of geothermal resources in combination with the exploitation degree, resource conditions and regional economic development requirements. The region can be divided into restricted mining area, control mining area, mining area and other areas, with the respective area being 378.65 km<sup>2</sup>, 562.88 km<sup>2</sup>, 1612.07 km<sup>2</sup>, and 3722.31 km<sup>2</sup>. The results obtained by the authors are of great significance for understanding the overall characteristics of the geothermal resources and the sources of geothermal water supply and for formulating the geothermal utilization planning. The results also has a guiding significance for protection and exploitation of geothermal resources.

**Key words:** geothermal resources; characteristics; regionalization; conservation

**About the first author:** LIU Kai, male, born in 1983, senior engineer, mainly engages in the study of hydrogeology and geothermic geology; E-mail: acancer@163.com.

**Fund support:** Supported by China Geological Survey Program (No. 水[2013]01-029-006, DD20179611).

## 1 引言

能源与环境问题是一直困扰世界各国可持续发展的重大问题,进入21世纪,节能减排、开发新能源和走可持续发展道路受到越来越多的关注。地热资源具有清洁、可再生、储量巨大、可就近利用、不受地域限制等特点,是理想的“绿色环保能源”,在替代常规化石燃料能源中发挥重要作用(匡耀求等,2002;韩再生等,2007;张保健等,2009;吴孔军等,2010;王奎峰,2009;胡宁等2011;田光辉等,2011;赵璐等,2011;尚宇宁等2012;蔺文静等,2013;王卫星等,2013;李攻科等,2014;赵振等,2015)。北京地区蕴藏有丰富的地热资源,北京市地热资源勘查始于20世纪50年代中期,最先于勘查小汤山温泉周边地区,70年代初期,开始了平原区深部地热资源的勘查,陆续开展了东南城区、小汤山外围、良乡、李遂、首都机场、延庆等地的勘查。近年来,北京市政府相继出台了一系列优惠政策,在市场需求推动、国家和市政府的重视支持下,地热资源开发利用的领域越来越广泛,获得了良好的社会、经济和环境效益,社会认知程度越来越高(宾德智等,2002;陈建平,2002;杨亚军等,2002;孙颖等,2009)。但是,由于多年来,投入地热综合研究的资金很少,北京市尚未系统地开展过北京市地热资源的综合研究工作,且经过多年开发利用,北京市地热资源已突显出水位下降、集约化利用程度低、回灌滞后、利用方式不合理等问题。为合理确定北京市地热资源开发利用方向,服务首都

城市功能,建设宜居城市,本文开展北京市地热资源特征研究,并在其基础上开展地热资源开发利用区划及保护区划,从而为地热资源的科学统筹发展提供具有宏观性、方向性、指导性的决策依据,进而更好的推动北京市地热资源的可持续发展。

## 2 北京市地热资源概况

### 2.1 地热地质条件

北京市西北高、东南低,西部为太行山脉,北部为燕山山脉,山区多属中低山地形,整体而言北京位于华北陆块内,自西北向东南分别为华北北缘隆起带( $\text{Pz}_1$ )、燕山裂陷带( $\text{Pt}$ )、冀东微陆块( $\text{Ar}$ )、华北凹陷盆地( $\text{E—Q}$ )。其中华北凹陷盆地内覆盖巨厚沉积物,为地热资源的运移和聚集提供了条件,构成了北京地热资源的主体。经勘查北京市地热资源主要分布于相对独立又有一定联系的10个地热田,分别为延庆地热田、小汤山地热田、后沙峪地热田、西北城区地热田、天竺地热田、李遂地热田、东南城区地热田、双桥地热田、良乡地热田和凤河营地热田(北京市国土资源局,2006)(图1)。

北京地区主要有太古宇密云群,中元古界长城系( $\text{Pt}_1^1$ )、蓟县系( $\text{Pt}_2^2$ )、待建系( $\text{Pt}_3^3$ )青白口系( $\text{Pt}_4^4$ ),古生界寒武系( $\text{C}$ )、奥陶系( $\text{O}$ )、石炭系( $\text{C}$ )—二叠系( $\text{P}$ ),中生界三叠系( $\text{T}$ )、侏罗系( $\text{J}$ ),新生界古近系( $\text{E}$ )、新近系( $\text{N}$ )、第四系( $\text{Q}$ )。其中北京地区主要热储为蓟县系雾迷山组白云岩,寒武系和奥陶系灰岩在盖层条件具备的情况下也是较好的热储,个别地区高于庄组白云岩和裂隙发育的侏罗系安山岩热

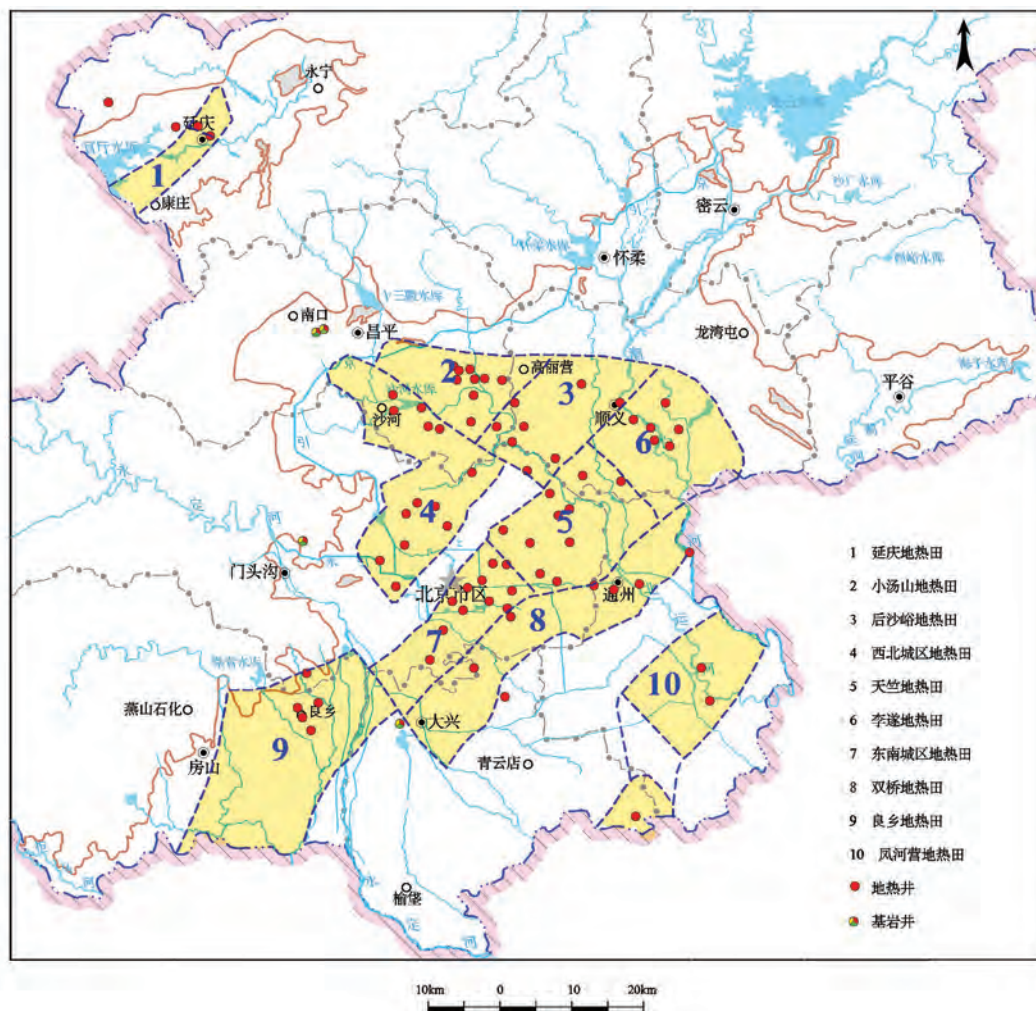


图1 北京市地热田分布及取样点位置示意图

Fig.1 Schematic map showing distribution of geothermal fields and location of sampling points

水也较为丰富;而岩性以泥岩、砂岩、砾岩、安山岩、凝灰岩及玄武岩为主的古近系、新近系、白垩系和侏罗系,岩性以页岩、粉砂岩及细砂岩为主的石炭系、二叠系,岩性以页岩为主的青白口系下马岭组和蓟县系洪水庄组等,其渗透性一般来说很差,可以限制地下水的对流,构成了北京地区的保温盖层;在一定的条件下,热储可以变成盖层,盖层具备一定的储存空间和渗透性,在局部地段也可以构成热储,如北京地区顺后热-2井即为侏罗系取水。

## 2.2 地热资源概况

地热资源作为一种清洁能源,在北京蕴藏丰富,主要分布于北京平原地区(含延庆盆地),属沉积盆地型中低温地热田。北京市地热资源勘察、开发、利用历史可追溯到20世纪50年代,至今已近60

多年的历史,目前已广泛应用于地热供暖、生活热水、医疗保健、温泉洗浴、农业温室、水产养殖等各个方面,取得了显著的社会经济效益(刘凯等, 2014, 2015)。

北京地热资源温度范围为25~118.5℃。地热水多为矿化度在500~700 mg/L的重碳酸-硫酸钠型水,氟、偏硅酸含量较高,多数为氟、偏硅酸医疗热矿水。

北京市自1971年进行地热资源开发以来,累积开采地下热水 $2.87 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。1971—1980年之间开采量曾逐渐增加趋势,自1971年的年开采量 $15.19 \times 10^4 \text{ m}^3$ 增加到1980年的 $550 \times 10^4 \text{ m}^3$ ;1981—2000年间,地热水开采量稳定在 $800 \times 10^4 \sim 1000 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。2000—2012年,全市地热水开采量变化在 $570 \times$



$10^4 \sim 970 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ , 近几年开采量维持在  $800 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$  左右, 回灌量在  $300 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$  左右(刘凯等, 2014)。

经过近40余年的开发利用, 北京市地热资源已突显出一系列问题, 如水位持续下降, 以东南城区地热田为例, 雾迷山组自1973年来, 累积水位下降达70.87 m, 平均水位降速1.86 m/a, 此外, 北京市地热资源还存在综合研究缺乏、集约化利用程度低、地热回灌滞后、地热资源利用方式不合理、地热水余热污染、水化学及有害元素污染、水温降低、水质变化等问题。为缓解地热资源开发利用带来的危害, 合理确定北京市地热资源开发利用方向, 从而服务首都城市功能, 实现宜居城市建设, 本文分析了北京市地热资源特征, 开展了地热资源开发利用区划及保护区划。

### 3 北京市地热资源特征

#### 3.1 地温场特征

北京市平原区地温场严格受大地构造控制, 据《北京市地热资源现状调查评价与规划》收集的近500组地热井测温资料整理分析, 雾迷山组热储顶板温度80℃的高温区主要为北京迭断陷中心部位及大兴迭隆起南部的凤河营附近; 延庆盆地腹地高温区为70℃; 小汤山热田的高温区位于小汤山热田南部地区, 温度在50~70℃。其中高温区以北京迭断陷及其两侧面积最大, 温度也比较高, 目前仍是北京市平原区地热开发最主要的地区。

北京市平原区埋深500 m深度主要地温分布为20~50℃, 普遍分布20~30℃, 除小汤山中心温度大于50℃以外, 其他地区均小于50℃。延庆、李遂、凤河营、东南城区地热田东部均为40~50℃地区, 其他高温中心为30~40℃, 只有后沙峪地热田为20~30℃(图2a)。

北京市平原区埋深1000 m深度主要地温分布为20~60℃, 普遍分布为30~40℃, 此外40~50℃地区主要分布在凹陷的北京东南城区地热田。除小汤山地热田主要分布有50~60℃外, 只有凤河营地热田高于50℃, 整体分布与500 m相同, 其平均温度均有小幅提高(图2b)。

北京市埋深2000 m深度的地温除双桥地热田、李遂地热田和良乡地热田东南部主要温度为40~50℃外, 其余各地热田温度主要分布在50~70℃, 其

中小汤山和东南城区地热田主要温度为60~70℃之间(图2c)。

北京市平原区埋深3000 m深度地温整体分布在50~109℃, 除李遂地热田和良乡地热田外, 其余地热田温度主要分布在60~90℃, 北京凹陷部分温度仍相对较高。此外, 凤河营地热田出现高温区, 温度达108.9℃(图2d)。

#### 3.2 水化学特征

地热水化学成分主要来自于围岩, 其含量受水~岩作用平衡状态的控制, 不同热储层其水岩作用平衡状态不同, 热水化学成分含量也就有差异(赵璐等, 2011)。本文采集了北京市平原区80组样品(图1), 通过测试分析, 北京市沉积盆地型热储地下水化学类型通常是 $\text{HCO}_3^-$ -Na型水, 自北部山区向南部平原水化学类型依次可划分为 $\text{SO}_4^-$ -Na型、 $\text{HCO}_3^-$ -Na型和 $\text{Cl}^-$ -Na型, 中间又有各种过渡带及混合带水化学类型(图3)。

北京市北部地区(延庆北部及怀柔北部)地热井及山区温泉水化学类型基本上为 $\text{SO}_4^-$ -Na型水(如佛峪口温泉、北碱厂温泉), 少量温泉及靠近山边的第四系冲积层中的地热水由于受到浅层地下水影响, 呈现出 $\text{HCO}_3^-$ · $\text{SO}_4^-$ -Na型(塘泉沟温泉)或 $\text{SO}_4^-$ · $\text{HCO}_3^-$ -Na型水。此类热水的pH值多为7.7~9.2, 呈弱碱性至碱性, 溶解性总固体多为0.23~0.67 g/L。

北京断陷及延庆断陷地热水化学类型整体上属于 $\text{HCO}_3^-$ -Na型水, 不同地热田地热水由于所处地质构造单元不同, 地热地质及水文地质条件不同, 其水化学类型出现了不同的亚型。在较封闭的条件下, 地下水处于还原环境, 地下水径流交替比较缓慢, 热水中氯离子含量较高, 出现了 $\text{Cl}^-$ · $\text{HCO}_3^-$ -Na和 $\text{HCO}_3^-$ · $\text{Cl}^-$ -Na型水, 如城区热田JR-38及天竺热田JR-155、JR-159和JR-169等地热井。当地下水向浅部运移时, 由于与冷水之间的混合作用, 以及热水中 $\text{H}_2\text{S}$ 在浅部的氧化作用, 使地热水中的氯离子得到稀释, 硫酸根离子浓度增加, 因而出现 $\text{HCO}_3^-$ · $\text{SO}_4^-$ · $\text{Cl}^-$ -Na(汤热-50等)、 $\text{HCO}_3^-$ · $\text{SO}_4^-$ -Na(JR-140、兴热-6等)、 $\text{HCO}_3^-$ · $\text{SO}_4^-$ -Na·Ca(良热-33、来热-2等)等亚型水, 如城区、小汤山、良乡及沙河地热田。这些亚型都属于 $\text{HCO}_3^-$ -Na型这一大类, 称为过度型或混合型。此类热水pH值多在7.1~8.2, 呈中性~弱碱性, 溶解性总固体0.3~0.7 g/L。

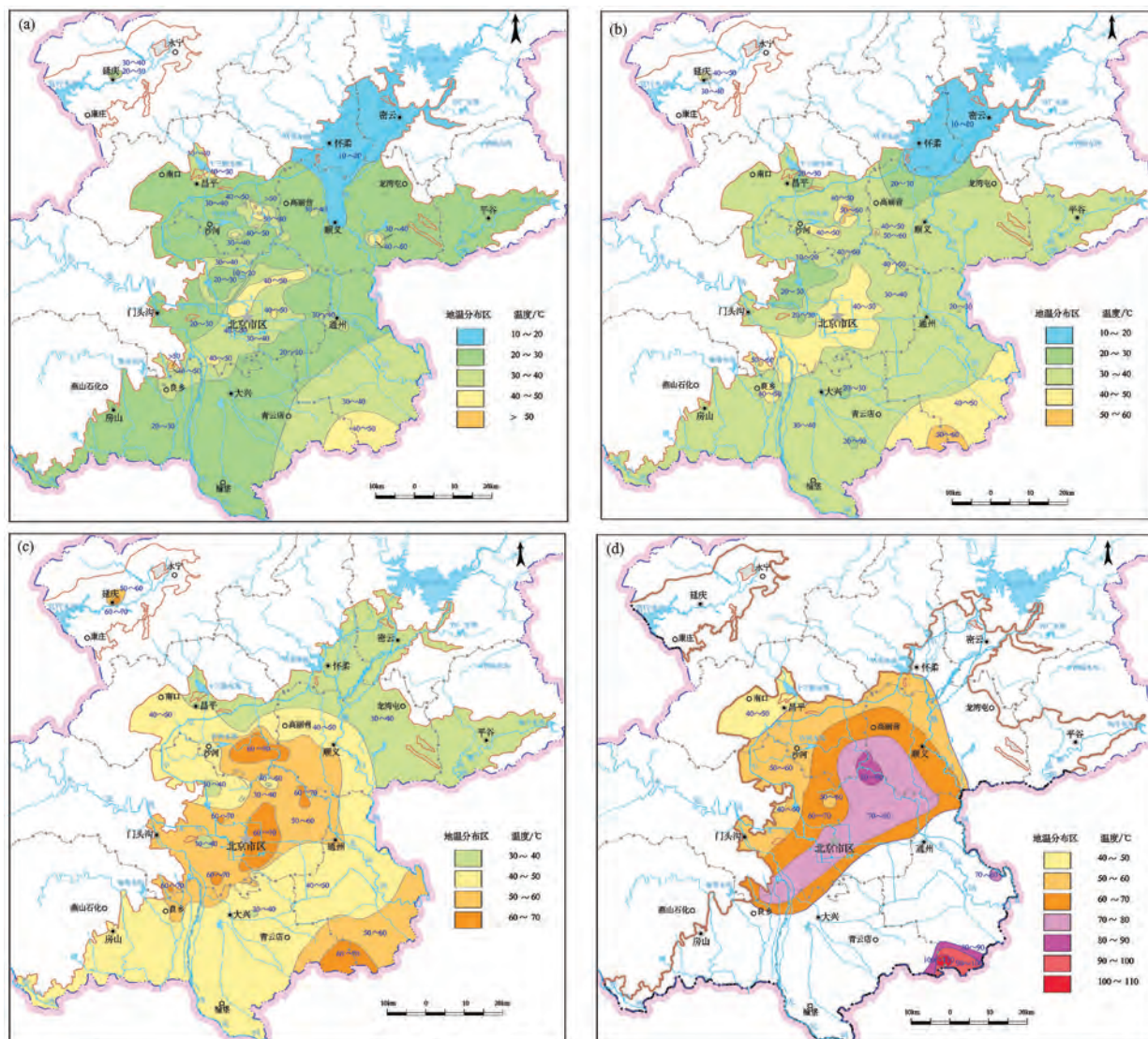


图2 北京市-500m(a)、-1000m(b)-2000m(c)和3000m(d)埋深热储地温分布示意图

Fig.2 Sketch map of geothermal temperature distribution at different buried depths

位于大兴隆起的风河营地热田处于北京市平原区边缘,整体上属于Cl-Na型水,地热田目前有桐热-7、兴热-9、兴热-12等地热井,与华北油田基岩热储中的地下热水属于同一类型,pH值在7.2~7.8,偏弱碱性,溶解性总固体浓度为在6.7~7.5 g/L,在风河营北部为HCO<sub>3</sub>·Cl-Na型水,如兴热-2(图4)。

### 3.3 同位素特征

氢和氧是自然界的两种主要元素,它们以单质和化合物的形式遍布全球,本文通过80组样品采集,分析了北京市地热水稳定环境同位素 $\delta D$ 和 $\delta^{18}O$ 的特征。Craig(Craig, 1961)在1961年提出全球大

气降水线为 $\delta D = 8 \delta^{18}O + 10$ ,国际原子能委员会(IAEA)1961—1978年在世界各地144个气象台站系统收集每月大气降水,得出全球大气降水线为 $\delta D = 8.17 \delta^{18}O + 10.56$ 。郑淑慧等研究得出我国大气降水线为 $\delta D = 7.9 \delta^{18}O + 8.2$ ,这些大气降水线与Craig线十分相近(刘存富, 1984; Mebus, et al., 1998; 王茜等, 2001; 杨波等, 2004; Horita J, 2005; 李娟, 2008; 顾慰祖等, 2011)。

北京市地热水中的 $\delta^{18}O$ 值分布于-12.14~-7.10‰,  $\delta D$ 值介于-86.5~-61.7‰;本次所取大气降水的 $\delta D$ 值为-7.82‰,  $\delta^{18}O$ 值为-58.9‰(图5)。北京地区地下热水、第四系地下水、基岩裂隙水、大气



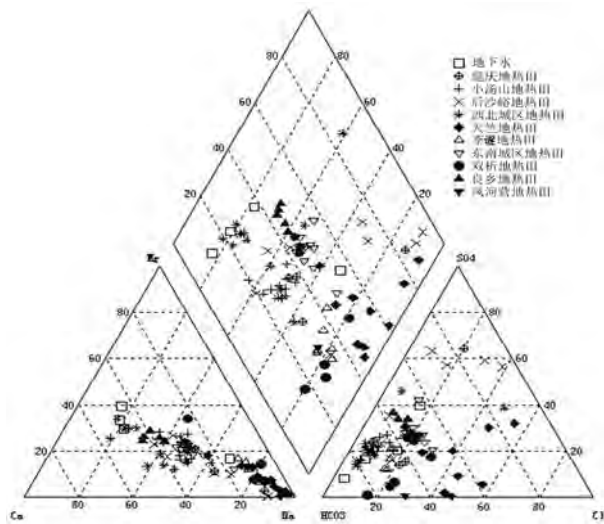


图3 北京市地热水化学Piper图

Fig. 3 Piper diagram of geothermal water, Beijing

降水的 $\delta D$ 和 $\delta^{18}O$ 同位素数据基本上都落在北京大气降水线附近,即北京地区地热水是大气起源,只是因降水补给的高程、径流途径不同而稍有差异。

北京市第四系水的 $\delta D$ 与 $\delta^{18}O$ 相关方程为 $y=7.1874x-1.0729$ ,相关系数为 $R=0.96$ ;而北京市地热水 $\delta D$ 与 $\delta^{18}O$ 的相关方程为 $y=5.3032x-22.62$ ,相关系数 $R=0.86$ ,斜率5.3032,在4~6,导致剩余水富集重同位素,即地热水补给是经过蒸发或补给过程中经过蒸发剩余水。绝大多数地热水的 $\delta D$ 、 $\delta^{18}O$ 比第四系偏低,同时第四系水的趋势线更接近全国大气降水线,这表明北京地区的地下热水、第四系水源于大气降水。

地热水 $\delta D$ 值平面上由北部山区向南部平原逐渐增高。其中延庆地热田为 $-86.5\text{‰}$ ,北京断陷中为 $-70\text{‰} \sim -80\text{‰}$ ,南部凤河营地热田 $\delta D$ 为 $-67\text{‰}$ ,这

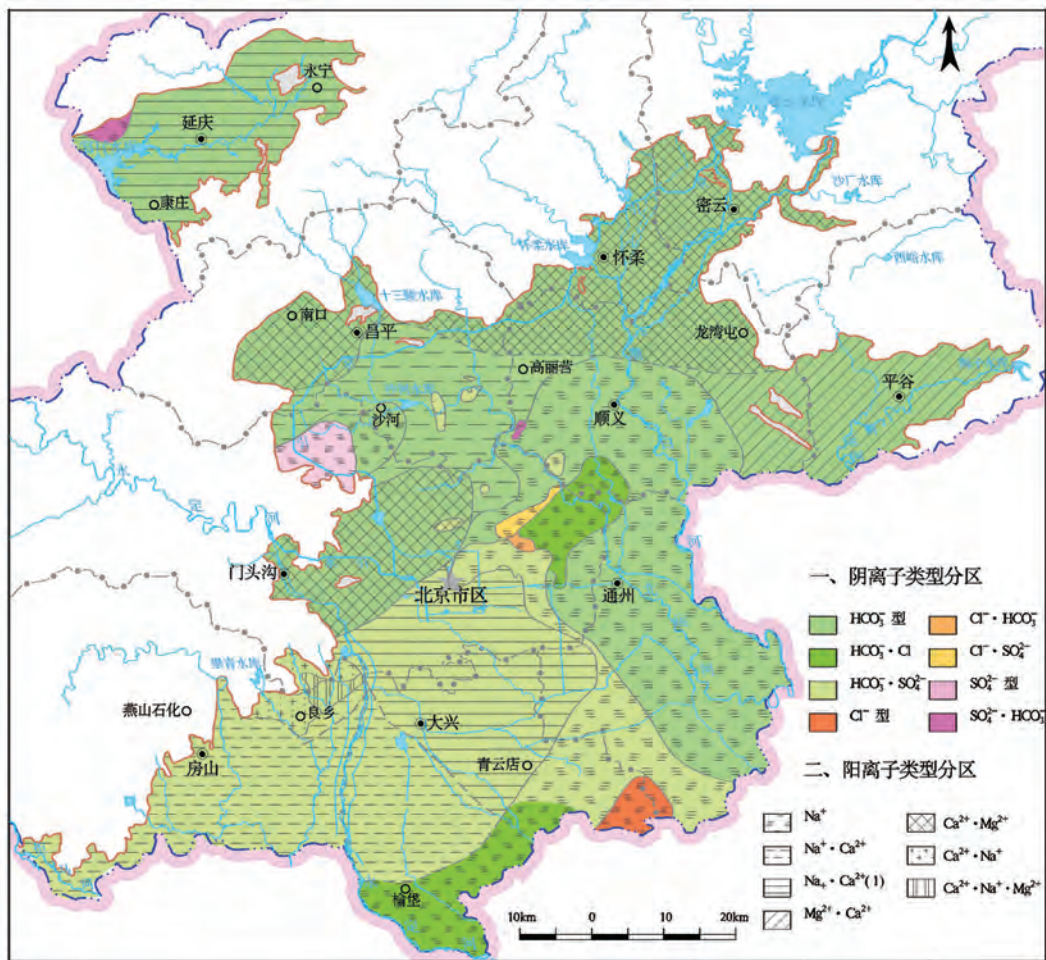


图4 北京市平原区地热水化学类型分区图

Fig. 4 Regionalization map for chemical types of geothermal water

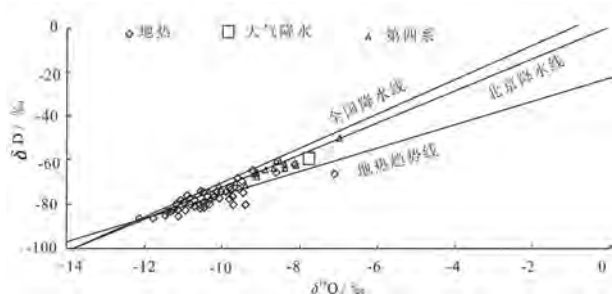


图5 北京地区地下热水 $\delta D-\delta^{18}O$ 关系图  
Fig.5 Scatter plot of  $\delta D-\delta^{18}O$  in geothermal water, Beijing

符合纬度效应和高程效应,纬度越低,高程越低, $\delta D$ 和 $\delta^{18}O$ 同位素越高。

## 4 地热资源开发利用区划

### 4.1 地热资源温度区划及开发利用方案区划

为确定北京市地热资源开发利用方向,结合北京地区地热资源分布及特征,按泉或地热井口的温度进行地热资源梯级开发利用温度区划,温度区划分五级(中国国家标准化管理委员会,2011;中国地质调查局,2014):I级:流体温度大于 $150^{\circ}\text{C}$ ,主要用于发电、烘干等工业利用和采暖。II级:温度在 $90\sim 150^{\circ}\text{C}$ ,主要用于烘干、发电等和采暖。III级:温度在 $60\sim 90^{\circ}\text{C}$ ,主要用于采暖、医疗、洗浴和温室种植。IV级:温度在 $40\sim 60^{\circ}\text{C}$ ,主要用于医疗、休闲洗浴、采暖、温室种植和养殖。V级:温度在 $25\sim 40^{\circ}\text{C}$ ,主要为洗浴、温室种植、养殖、农灌和采用热泵技术的制冷供热。

北京属于中低温地热资源,目前地热资源开发利用温度主要集中在 $40.0\sim 90.0^{\circ}\text{C}$ ,开发利用最高温度为 $118.5^{\circ}\text{C}$ ,故在温度区划中不存在I级,按照温度区划主要为III、IV、V级,仅凤河营地热田存在II级地区。北京市地热资源温度区划见图6a。

北京市地热资源的开发利用,应以服务首都城市功能、实现宜居城市建设为目标,结合地热资源条件及地区经济发展的需求,本着地热资源温度区划引导地热重点发展的方向,其开发利用方式主要为地热供暖、洗浴、娱乐、医疗、温室养殖、种植等(表1),在北京市南部边缘的凤河营地热田地热水温度相对较高,最高达 $118.5^{\circ}\text{C}$ ,可综合开发地热资源用于集中供热、供冷、供蒸汽、发电等四联供用途(图6b)。

结合温度区划,北京市地热资源开发利用方案区划中地热资源供暖区包括延庆地热供暖、北工大奥运项目地热供暖、昌平小汤山农业温室、丰台王佐地区住宅供暖、朝阳北苑地热供暖、大兴区南部的农业地热温室及其他适于供暖的区域(赵震等,2015)。温泉旅游康乐项目区为延庆地热生态区、小汤山休闲度假旅游区、郑各庄温泉休闲康乐区、南宫地热农业博览区及其他适于发展温泉旅游康乐的地区,积极发展现代农业、精品农业游览区域,创建地热(温泉)品牌,发展地热(温泉)产业。新农村建设区应结合旧村改造,对地热资源条件较好、适于地热开发且有发展地热需求的乡镇(村庄),作为新农村建设地热重点开发区,搞好地热开发示范,引导和发展农村地区的地热综合利用与循环利用项目,如王佐、凤河营、北七家、永乐店、宋庄、马池口等乡镇。

### 4.2 地热资源开发利用潜力区划

为掌握北京市地热资源开发利用潜力,为地热资源开发利用保护区划做准备,根据取样测试及《北京市地热资源现状调查及评价》相关调查成果,利用北京市各地热田主要热储层的地热流体开采程度、地热流体热量潜力模数和最大水位降速3个指标(中国国家标准化管理委员会,2011;中国地质调查局,2014)来确定北京市地热资源开发利用潜力,取3个指标中最不利者将其分为严重超采区、超采区、基本平衡区、具有一定开采潜力区、具有开采潜力区和极具开采潜力区6个区(图7)。

其中北京市严重超采区为后沙峪地热田的部分地区,超采区为良乡地热田中部及北部地区、小汤山地热田中部及西部地区,基本平衡区为东南城区地热田、李遂地热田、双桥地热田、天竺地热田、西北城区地热田北部、小汤山地热田东部、延庆地热田中部,具有一定开采潜力区为延庆地热田东部、凤河营地热田南部,具有开采潜力区为良乡地热田南部,极具开采潜力区为凤河营地热田东部地区。

## 5 地热资源开发利用保护区划

在北京市地热田划分的基础上,依据北京市地热资源特征分析及北京市地热资源潜力区划,结合开采程度、资源条件及地区经济发展的需要,开展北京地区地热资源开发利用保护区划,将其划分



表1 北京市地热田温度区划及开发利用方案区划一览表  
Table 1 Regionalization table of geothermal resources based on temperature and the development and utilization program, Beijing

名称	开发利用 温度/℃	温度区划(级)	开发利用方案区划
延庆地热田	33.7~71.0	III、IV、V	医疗、休闲洗浴、采暖、温室种植、养殖、农灌和采用热泵技术的制冷供热
小汤山地热田	30.5~70.0	III、IV、V	医疗、洗浴、种植、养殖、供暖、回灌、动态监测、农灌及采用热泵技术的制冷供热等
后沙峪地热田	32.0~85.0	III、IV、V	医疗、洗浴、种植、养殖、供暖等
西北城区地热田	30.0~84.0	III、IV、V	采暖、医疗、洗浴、温室种植、养殖、农灌和采用热泵技术的制冷供热
天竺地热田	40.8~89.0	III、IV	采暖、医疗、洗浴、温室种植、养殖
李遂地热田	27.5~55.0	IV、V	采暖、洗浴、温室种植、养殖、农灌和采用热泵技术的制冷供热
东南城区地热田	30.6~88.0	III、IV、V	采暖、洗浴、温室种植、养殖、农灌和采用热泵技术的制冷供热
双桥地热田	28.0~58.0	IV、V	采暖、洗浴、温室种植、养殖、农灌和采用热泵技术的制冷供热
良乡地热田	36.0~72.0	III、IV、V	采暖、洗浴、温室种植、养殖、农灌和采用热泵技术的制冷供热
凤河营地热田	54.0~118.5	II、III、IV、V	地热发电、采暖、洗浴、医疗、温室种植、养殖等

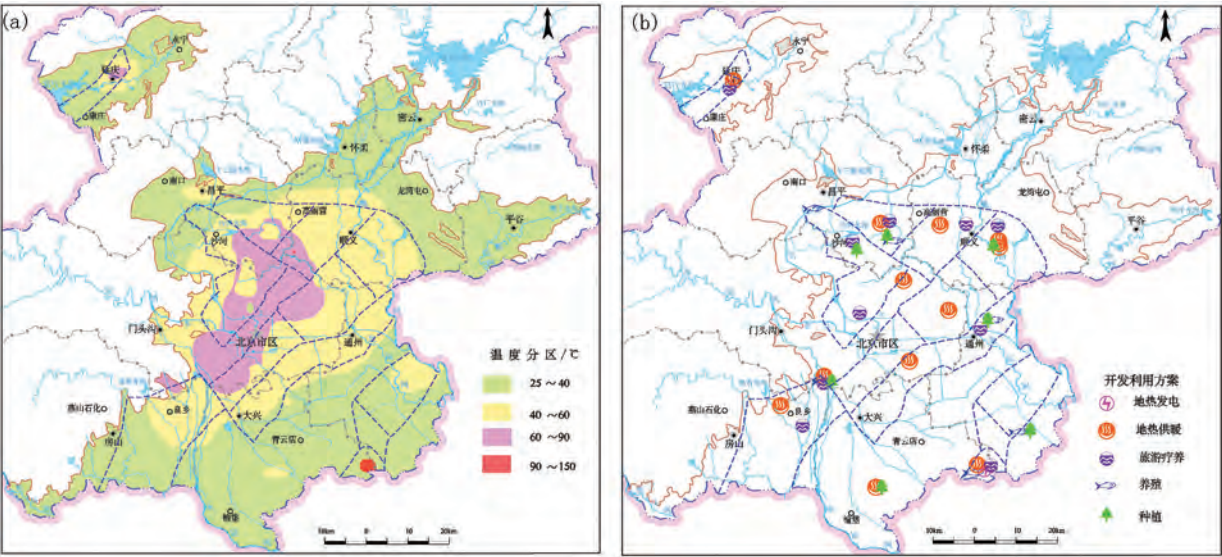


图6 北京市地热资源温度区划(a)及开发利用方案区划图(b)  
Fig. 6 Regionalization map of geothermal resources based on temperature and the development and utilization program, Beijing



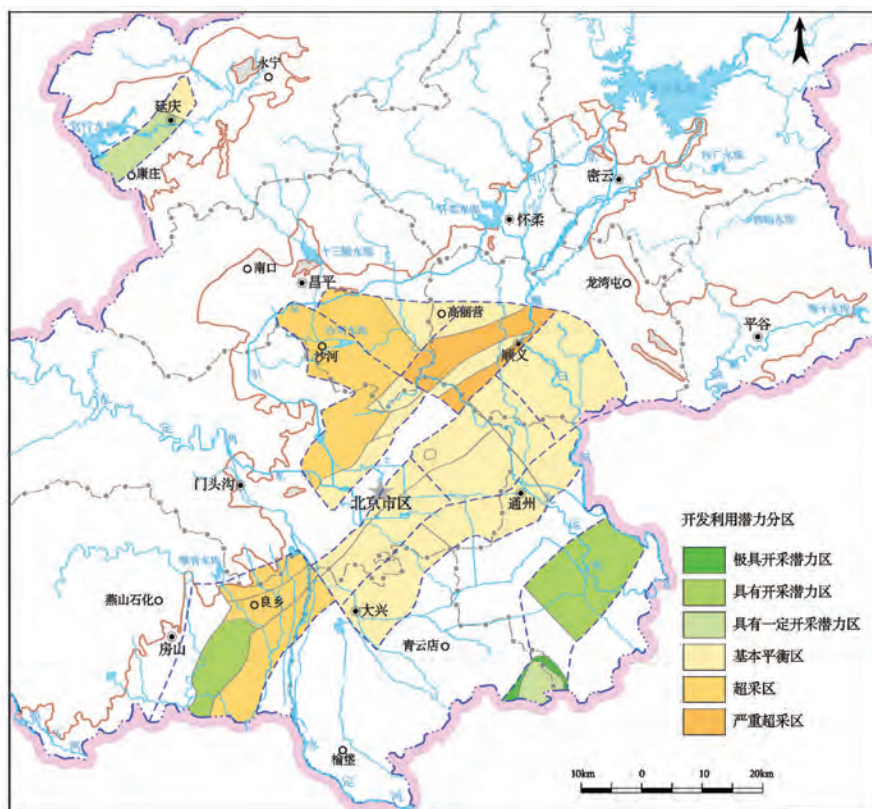


图7 北京市地热资源开发利用潜力区划图

Fig.7 Regionalization diagram of geothermal resources based on exploitation potential

为:限制开采区、控制开采区、鼓励开采区和其他地区(图8)。

**限制开采区:**目前地热开采较为集中的地区(包括地热井边界外侧2 km所控制的地区)。区内井群密度已大于 $1/10 \text{ km}^2$ ,地热水位下降明显,开采量较大,开采程度较高,主要包括东南城区热田、良乡地热田的良乡镇—南宫地区、小汤山地热田中心地区等地热集中开采的地区,面积共 $378.65 \text{ km}^2$ 。该区域为开发利用潜力基本平衡区,由于该区域为城市集中发展中心,经济发展程度较高,区内原则上不再增大开采量,只允许增加回灌井及允许调整的更新井,应逐步增大回灌量、减少开采量,以缓解地热水位下降速度。

**控制开采区:**目前地热资源开发已形成一定规模,开采井密度大于 $1/100 \text{ km}^2$ 而小于 $1/10 \text{ km}^2$ ,总面积 $562.88 \text{ km}^2$ ,主要包括延庆城区、天竺地热田西部、良乡城区外围、京西北地热田东南部、李遂各地热田中部及小汤山地热田外围地区,开采程度相对较

低,地热资源相对比较丰富,其开发利用潜力主要为基本平衡区,该区域城市密集度相对限制开采区较低,经济发展程度相对较低,为满足经济发展,提高地热资源开发利用效率,区内可适当增加开采井,但应限制开采规模,控制开采总量,新增地热井主要为采、灌结合的开采井或回灌井。

**鼓励开采区:**目前尚未开发或开采井密度小于 $1/100 \text{ km}^2$ 的地区,总面积 $1612.07 \text{ km}^2$ ,主要包括良乡热田南部、延庆热田西南康庄地区、凤河营地热田等。该区域地热资源赋存相对比较丰富,开发利用程度相对较低,开采量较小或尚未开发,其开发利用潜力主要为具有一定潜力区、具有潜力区或极具潜力区,为促进经济发展,合理开发地热资源,鼓励该地区地热资源开发利用,但由于区内目前基本为地热资源开发的空白区,地热资源开发有一定的风险,鼓励有一定的地质勘查投入,鼓励进行地热资源的勘查与开发。

**其他地区:**指10个地热田以外的地区,共

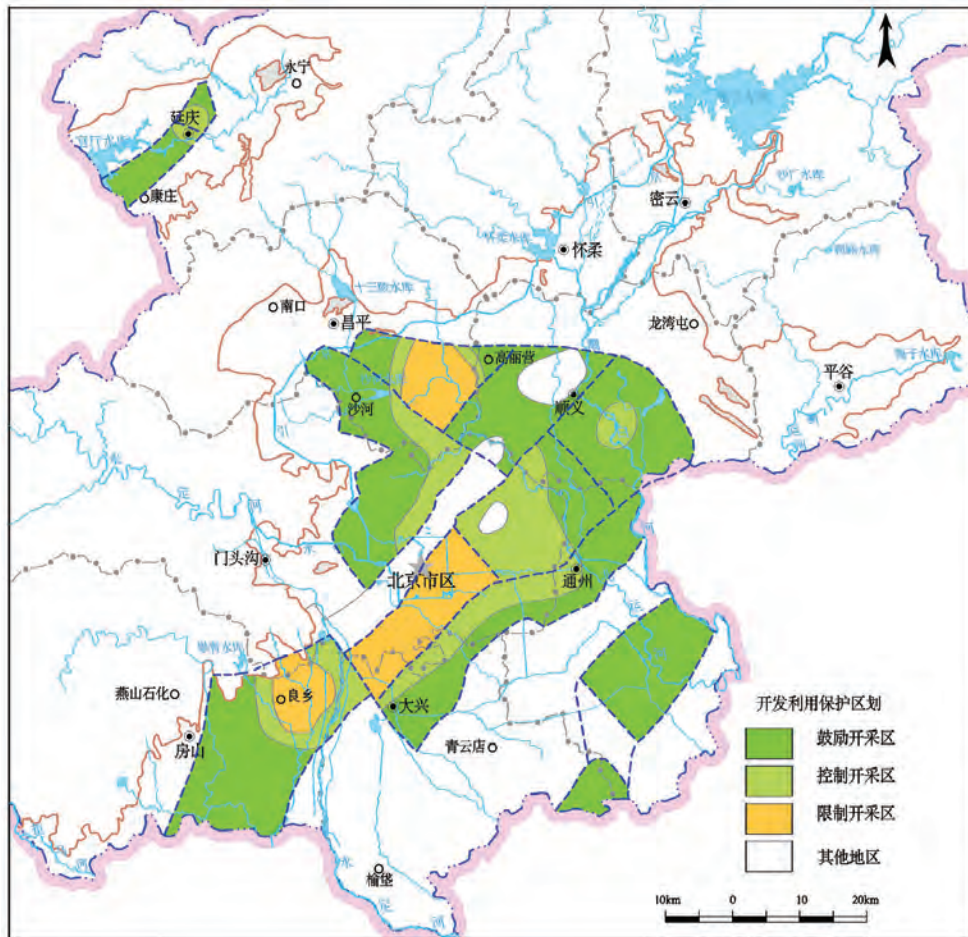


图8 北京市地热资源保护区划图

Fig.8 Regionalization diagram of geothermal resources for conservation

3722.31 km<sup>2</sup>,包括山前地带、丰台至来广营一带及永定河以东六环路以南的地区。这些地区热储层埋藏深度均大于3000 m或者水温小于50℃,有些地区已开展前期地热资源勘查,但地热勘查风险性较大,不列入近期地热开发利用规划的范围,允许进行地热资源方面的风险勘查与开发利用研究。此外,其他地区也包括了已经查明的开采高风险区,该区域南部边界为东南城区地热田及天竺地热田的北部边界,东部边界为后沙峪地热田的西部边界,北部边界为西北城区地热田的南部边界,还包括天竺地热田的西北部及后沙峪地热田的东南部地区,这些地区已进行地热资源勘探,其开采风险较高,建议审慎利用。

## 6 结 论

(1)北京市地热资源为沉积盆地型中低温地热

田,温度范围为25.0~118.5℃,主要热储为蓟县系雾迷山组硅质白云岩和寒武—奥陶系灰岩;北京市地热水化学类型自北部山区向南部平原依次可划分为SO<sub>4</sub>-Na型、HCO<sub>3</sub>-Na型、Cl-Na型,绝大多数为HCO<sub>3</sub>-Na型及其过度或混合类型,绝大部分地热水的溶解性总固体小于1.0 g/L。

(2)按泉或地热井口的温度进行地热资源梯级开发利用温度区划,在温度区划中不存在I级,多为III、IV、V级,仅凤河营地热田存在II级地区;北京市地热资源开发利用方式区划主要为地热供暖、洗浴、娱乐、医疗、温室养殖、种植等。

(3)采用地热流体开采程度、地热流体热量潜力模数和最大水位降速进行北京市地热资源潜力区划,其中后沙峪地热田多为严重超采区,良乡地热田及小汤山地热田西部为超采区,其他大部分地热田为基本平衡区,仅延庆地热田及凤河营地热田



部分地区为具有开采潜力区和极具开采潜力区。

(4)结合北京市地热资源特征及开发利用区划结果将北京市地热资源保护区划分为限制开采区、控制开采区、鼓励开采区和其他地区,其面积分别为 378.65 km<sup>2</sup>、562.88 km<sup>2</sup>、1612.07 km<sup>2</sup>、3722.31 km<sup>2</sup>。

**致谢:**感谢北京市水文地质工程地质大队水资源研究所提供的支持和帮助;感谢编辑部老师和专家给予的宝贵意见和建议!

## References

- Beijing Municipal Bureau of Land and Resources, 2006. Sustainable Utilization Planning of Geothermal Resources in Beijing during 2006–2020[S]. Beijing: Beijing Municipal Bureau of Land and Resources(in Chinese).
- Bin Dezhi, Liu Jiurong, Wang Xiaolong. 2002. Geothermal resources in the area of Beijing[C]/Proceedings of Beijing International Symposium. Beijing: Geological Publishing House, 169–177(in Chinese with English abstract).
- Chen Jianping. 2002. Geothermal management in the city of Beijing[C]/Proceedings of Beijing International Symposium. Beijing: Geological Publishing House, 273–276(in Chinese with English abstract).
- China Geologic Survey. 2014. Technical requirements of Investigation and Evaluation of Geothermal Resources[S]. Beijing: Beijing: China Geologic Survey(in Chinese).
- Craig H. 1961. Isotopic variations in meteoric waters[ J] . Science, 133: 1702–1703.
- Gu Weizu, Pang Zhonghe, Wang Quanjie, Song Xiangfang. 2011. Isotope Hydrology[M]. Bei Jing: Science Press(in Chinese with English abstract).
- Han Zaisheng, Ran Weiyan, Tong Hongbing, Liu Zhiming. 2007. Exploration and evaluation of shallow geothermal energy[J]. Geology in China, 34(6):1115–1121(in Chinese with English abstract).
- Horita J. 2005. Saline waters[C]/Aggarwal P K, Gat J R, Froehlich F (eds.). Isotopes in the Water Cycle. Vienna: IAEA:271–287.
- Hu Ning, Zhang Lianghong, Gao Haifa, Han Fang. 2011. Target delineation and drilling verification of geothermal resources exploration in Hangjiahu plain of Zhejiang Province[J]. Geology in China, 38(1): 138–144(in Chinese with English abstract).
- Kuang Yaoqiu, Huang Ningsheng, Zhu Zhaoyu, Hu Zhenyu. 2002. Influence of the terrestrial heat flow on the evolution of the surface ecosystem and environment[J]. Geology in China, 29(1): 86–95(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 Juan. 2008. A Study of the Stable Isotopes of Deuterium, Oxygen–18, sulfide–34 and Carbon–13 in Thermal Groundwater[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing).
- Lin Wenjing, Liu Zhiming, Wang Wanli, et al. 2013. The assessment of geothermal resources potential of China[J]. Geology in China, 40(1): 312–321(in Chinese with English abstract).
- Liu Chunfu. 1984. Environmental Isotope Hydrogeology[M] (in Chinese).
- 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, 42(6): 2029–2035(in Chinese with English abstract).
- Liu Kai, Zhang Yuan, Sun Ying, Liu Jiurong, Liu Yingchao, Wang Shufang. 2014. Application of Enviroment Isotopic on Studying Beijing Geothmermal[J]. Urban Geology Supplement: 79–84 (in Chinese with English abstract).
- Shang Yuning, Gao Mingzhi, Wu Lijin, Luo Fei, Zhang Hailin. 2012. Division of geothermal resources in northern Jinan[J]. Geology in China, 39(3): 778–783(in Chinese with English abstract).
- Sun Ying, Liu Jiurong, Han Zheng, He Zhengwei. 2009. Exploration and Utilization Status of Geothermal Resources in Beijing City[J]. Journal of Anhui Agri., 37(16): 7564–7566 (in Chinese with English abstract).
- The Standardization Administration of the People's Republic of China. 2011. Specification Geothermal Resource Exploration (GB/T 11615–2010) [S]. Bering: China Standards Press(in Chinese).
- Tian Guanghui, Lin Li, Cheng Wanqing, Ceng Meixiang, Liu Donglin, Song Meiyu, Cai Yun, Wang Ping, Zong Zhenhai. 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 Kuifeng. 2009. Geothermal resources in the eastern Liaocheng geothermal field of Shandong Province[J]. Geology in China, 36(1): 194–202(in Chinese with English abstract).
- Wang Qian, Yin Guan, Fan Xiao, Yang Junyi. 2001. Study of the Isotope Compositions and Deuterium Excess Parameter in the Zhenzhu Spring and Feicui Spring , Munigou , Sichuan[J]. Bulletin of Mineralogy , Petrology and Geochemistry, 20( 4):402–405(in Chinese with English abstract).
- Wang Weixing, Li Gongke, Li Hong, Hou Jiayu Fang Wanlin, Yang Fengtian. 2013. Hydrogeochemical characteristics and origin of the geothermal fluid in Tangquan area, Hebei Province[J]. Geology in China, 40(6): 1935–1941(in Chinese with English abstract).
- Wu Kongjun, Ma Chuanming. 2010. Geochemical Characteristics of geothermal Water in Zhengzhou City[J]. Geotechnical

- Investigation & Surveying, (5):45–49(in Chinese with English abstract).
- Yang Bo, Yin Guan. 2004. Isotope composition and deuterium excess parameter of water bodies as tracers in exploration of geothermal water—A case study on exploration of geothermal water in Sanjianshui, Sichuan[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 23(2):129–133(in Chinese with English abstract).
- Yang Yajun, Pan Xiaoping. 2002. A new pattern of Geothermal development and utilization in Beijing—the world Geothermal natural science park[C]/Liu Jiurong et al(eds.). Proceedings of Beijing 2002 International Symposium. Beijing: Geological Publishing House, 74–78(in Chinese with English abstract).
- Zhang Baojian, Wen Dongguang, Shen Zhaoli, Yuan Lin. 2009. An important geothermal resource conceptual model—Geothermal resource of structural trap-type[J]. Geology in China, 36(4): 927–931(in Chinese with English abstract).
- Zhao Lu, Wu Li, Luo Xianggan. 2011. An analysis of the genesis and water quality characteristics of the geothermal field in Wudang District, Guiyang[J]. Geology in China, 38(3): 724–730(in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhen, Yu Piaolu, Chen Huijuan, Luo Yinfei, Zhao Dongyang, Bian Jiang. 2015. Genetic analysis and resource evaluation of the Xining geothermal field in Qinghai Province[J]. Geology in China, 42(3): 803–810(in Chinese with English abstract).
- 田地温场分布及其控制因素研究[J]. 中国地质, 41(6): 2099–2109.
- 李娟. 2008. 地下热水中D、 $^{18}\text{O}$ 、 $^{34}\text{S}$ 和 $^{13}\text{C}$ 稳定同位素特征研究[D]. 北京:中国地质大学(北京).
- 蒯文静, 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):312–321.
- 刘存富. 1984. 环境同位素水文地质学基础(选修课教材) [M].
- 刘凯, 刘颖超, 孙颖, 刘久荣, 王树芳, 刘宗明. 2015. 北京地区地热水氡过量参数特征分析[J]. 中国地质, 42(6): 2029–2035.
- 刘凯, 张院, 孙颖, 刘久荣, 刘颖超, 王树芳. 2014. 环境同位素在北京市地热资源研究中的应用[J]. 城市地质, 9(增):79–84.
- 尚宇宁, 高明志, 吴立进, 罗斐, 张海林. 2012. 济南北部地热资源区划研究[J]. 中国地质, 39(3): 778–783.
- 孙颖, 刘久荣, 韩征, 王树芳, 何政伟. 2009. 北京市地热资源开发利用状况[J]. 安徽农业科学, 37 (16):7564–7566.
- 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.
- 王奎峰. 2009. 山东省聊城市东部地热田地热资源特征[J]. 中国地质, 36(1): 194–202.
- 王茜, 尹观, 范晓, 杨俊义. 2001. 四川牟尼沟珍珠泉和翡翠泉的同位素组成及氡过量参数研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 20( 4): 402–405.
- 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.
- 吴孔军, 马传明. 2010. 郑州市地下热水地球化学特征[J]. 工程勘察, (5): 45–49.
- 杨波, 尹观. 2004. 水体同位素组成及氡过量参数在地热勘探中的示踪作用—以四川绵竹三箭水温泉开发为例[J]. 矿物岩石地球化学通报, 23(2):129–133.
- 杨亚军, 潘小平. 2002. 北京地热开发利用新范例—世界地热博览园[C]/北京地热国际研讨会论文集, 北京:74–78.
- 张保建, 文冬光, 沈照理, 元麟. 2009. 一种值得重视的地热资源概念模式——构造圈闭型地热资源[J]. 中国地质, 36(4): 927–931.
- 赵璐, 鄢立, 罗湘赣. 2011. 贵阳市乌当区地热田成因及水质特征分析[J]. 中国地质, 38(3): 724–730.
- 赵振, 于漂罗, 陈惠娟, 罗银飞, 赵东阳, 边疆. 2015. 青海省西宁地热田成因分析及资源评价[J]. 中国地质, 42(3): 803–810.
- 中国地质调查局. 2014. 全国地热资源调查评价与区划技术要求[S]. 北京:中国地质调查局.
- 中国国家标准化管理委员会. 2011. 地热资源地质勘查规范(GB/T11615–2010) [S]. 北京: 中国标准出版社.

## 附中文参考文献

- Mebus A Geyh, 顾慰祖, 刘涌, 贺祥, 邓吉友, 乔茂云. 1998. 阿拉善高原地下水的稳定同位素异常[J]. 水科学进展, 9( 4): 333–337.
- 北京市国土资源局. 2006. 北京市地热资源 2006—2020 年可持续利用规划[S]. 北京:北京市国土资源局.
- 宾德智, 刘久荣, 王小龙. 2002. 北京地热资源[C]/北京地热国际研讨会论文集, 北京:169–177.
- 陈建平. 2002. 北京地热资源管理研究[C]/北京地热国际研讨会论文集, 北京:273–276.
- 顾慰祖, 庞忠和, 王全九, 宋献芳. 2011. 同位素水文地质学[M]. 北京:科学出版社.
- 韩再生, 冉伟彦, 佟红兵, 刘志明. 2007. 浅层地热能勘查评价[J]. 中国地质, 34(6): 1115–1121.
- 胡宁, 张良红, 高海发, 韩芳. 2011. 浙江省杭嘉湖平原地热资源勘查靶区圈定与钻探验证[J]. 中国地质, 38(1): 138–144.
- 匡耀求, 黄宁生, 朱照宇, 胡振宇. 2002. 试论大地热流对地表环境与生态演变的影响[J]. 中国地质, 29(1): 86–95.
- 李攻科, 王卫星, 李宏, 杨峰田, 王林海, 房万嶺. 2014. 河北汤泉地热