

京津冀地热资源综合利用研究

田 勇¹, 王卫民², 赵 岩¹

(1. 河北省煤田地质局第二地质队, 河北 邢台 054001; 2. 河北省煤田地质局水文地质队, 河北 邯郸 056000)

摘 要: 京津冀地区资源环境问题, 需发挥地质工作基础先行作用—积极拓展清洁能源领域, 在大气治理行动中发挥作用。京津冀地区地热资源丰富, 地热资源主要为沉积盆地型地热资源, 占总量的 99%。沉积盆地型地热资源主要分布在新近系明化镇组、馆陶组, 古近系东营组, 寒武—奥陶系, 元古界。对京津冀地下热水进行科学合理的开发, 将资源优势转化为经济优势和生态优势, 是我省乃至京津冀发展低碳经济、绿色经济的迫切需要, 是实现节能减排目标的有效途径。

关键词: 地热资源; 分布特征; 综合利用; 河北省

中图分类号: P314

文献标识码: A

Study on Geothermal Resource Integrated Utilization in Beijing - Tianjin - Hebei Area

Tian Yong¹, Wang Weimin² and Zhao Yan¹

(1. The Second Exploration Team, Hebei Provincial Bureau of Coal Geology, Xingtai, Hebei 054001;

2. Hydrogeological Exploration Team, Hebei Provincial Bureau of Coal Geology, Handan, Hebei 056000)

Abstract: The resource and environment issues in the Beijing - Tianjin - Hebei region need to bring into play of geological work fundamental and beforehand actions, thus to actively expand the clean energy sphere in atmospheric control. The geothermal resources in the area are abundant, mainly the sedimentary basin type, accounts for 99% in total. This type geothermal resources have mainly distributed in reservoirs of Neogene Minghuazhen, Guantao formations, Paleogene Dongying Formation, Cambrian, Ordovician systems and Proterozoic Group. The scientific and reasonable exploitation of underground hot water in the area, transform resource superiority into economic and ecological superiorities are active demands of the Hebei Province and even Beijing - Tianjin - Hebei region development of low - carbon economy, green economy and the effective ways to realize energy - saving and emission - reduction target.

Keywords: geothermal resource; distribution features; integrated utilization; Hebei Province

引言

地热是一种可再生和清洁的能源, 它的开发和利用已在国家气候变化和烟雾预防议程中提到。2017 年 1 月, 国家发改委, 国家能源局和国土资源部联合发布《地热能开发利用“十三五”规划》, 明确表示京津冀地区地热能年利用量将达到 2 000 万 t 左右 2020 年的标准煤数量。

河北省地热资源丰富^[1-4], 主要是水热型地热系统, 初步估算河北平原地热区地热储量为 $176\,811.489 \times 10^{16} \text{ J}$, 相当于标准煤 $1\,005.49 \times 10^8 \text{ t}$, 折合热能 $560\,665.554 \text{ MW}$; 地热水储存为 $51\,375.489 \times 10^8 \text{ m}^3$, 地热水可开采量为 702.305

$\times 10^8 \text{ m}^3$, 地热水可开采热量为 $974.476 \times 10^{16} \text{ J}$, 相当于标准煤 $554.166 \times 10^6 \text{ t}$, 折合热能 $3\,090.042 \text{ MW}$; 河北省山区的地热资源大多以泉水的形式排出, 其中一些是通过地热井抽水的。地热水提取量为 $3\,655 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$, 总热量释放量(包括地热井)为 $5.45 \times 10^{15} \text{ J/a}$, 相当于标准煤 $30.7 \times 10^4 \text{ t/a}$ 。因此, 科学合理地发展河北省地下热水将把资源优势转化为经济优势和生态优势, 是我省乃至京津冀发展低碳经济、绿色经济的迫切需要, 是实现节能减排目标的有效途径, 是建设资源节约型, 环境友好型社会的唯一途径。

1 地下热水资源的赋存分布特征

根据区域地质结构和地形, 可将其分为冀北山地区、冀西山地区、冀西北山间盆地地区和河北平原地区四个主要的地下热水区(图 1)。现分述如下。

1.1 冀北山地区地下热水区(1)

该区域包括坝上高原, 及燕山断褶带的北部。该地区共发现 16 个温泉或地热异常(表 1), 温度为

第一作者简介: 田勇(1979—), 男, 河北邢台人, 工程师, 本科, 中国农业大学, 水利水电工程专业, 现从事从事钻探技术管理工作。

收稿日期: 2019 - 11 - 01

责任编辑: 宋博璋

19.7 ~ 98℃。根据《地热资源地质勘查规范》(GB11615-2010) 地热资源温度分级标准,它属于中温地热资源(90 ~ 150℃)的2个位置;属于低温地热资源(25 ~ 90℃)的14处。

水温高于60℃的热水温泉主要分布在尚义—赤城断裂带的北部,西至东有赤城城关汤泉60℃;东万口乡塘子庙温泉63℃;隆化县汤池子北汤泉90℃;二道河村开汤泉98℃;围场山湾子热水汤泉85℃等。

1.2 冀西山地区地下热水区(II)

地下热水区位于太行山断裂褶皱带中,该带是

板内块体的二级构造单元。该地区共发现7个温泉或地热异常(表2),温度为30 ~ 73℃。根据《地热资源地质勘查规范》(GB11615—2010) 地热资源温度分级标准,全部属于低温地热资源。

该地区的温泉大多暴露在古代花岗岩片麻岩与中元古代白云质灰岩和岩浆岩之间的接触带中。如阜平县吴王口乡温泉寺温泉62℃;城南庄乡温塘温泉49℃;平山县温塘温泉最高达73℃;邢台朱庄水库温泉51℃等。在阜平等地沿河流小溪断裂带附近,还有许多低水温20 ~ 25℃的温泉。

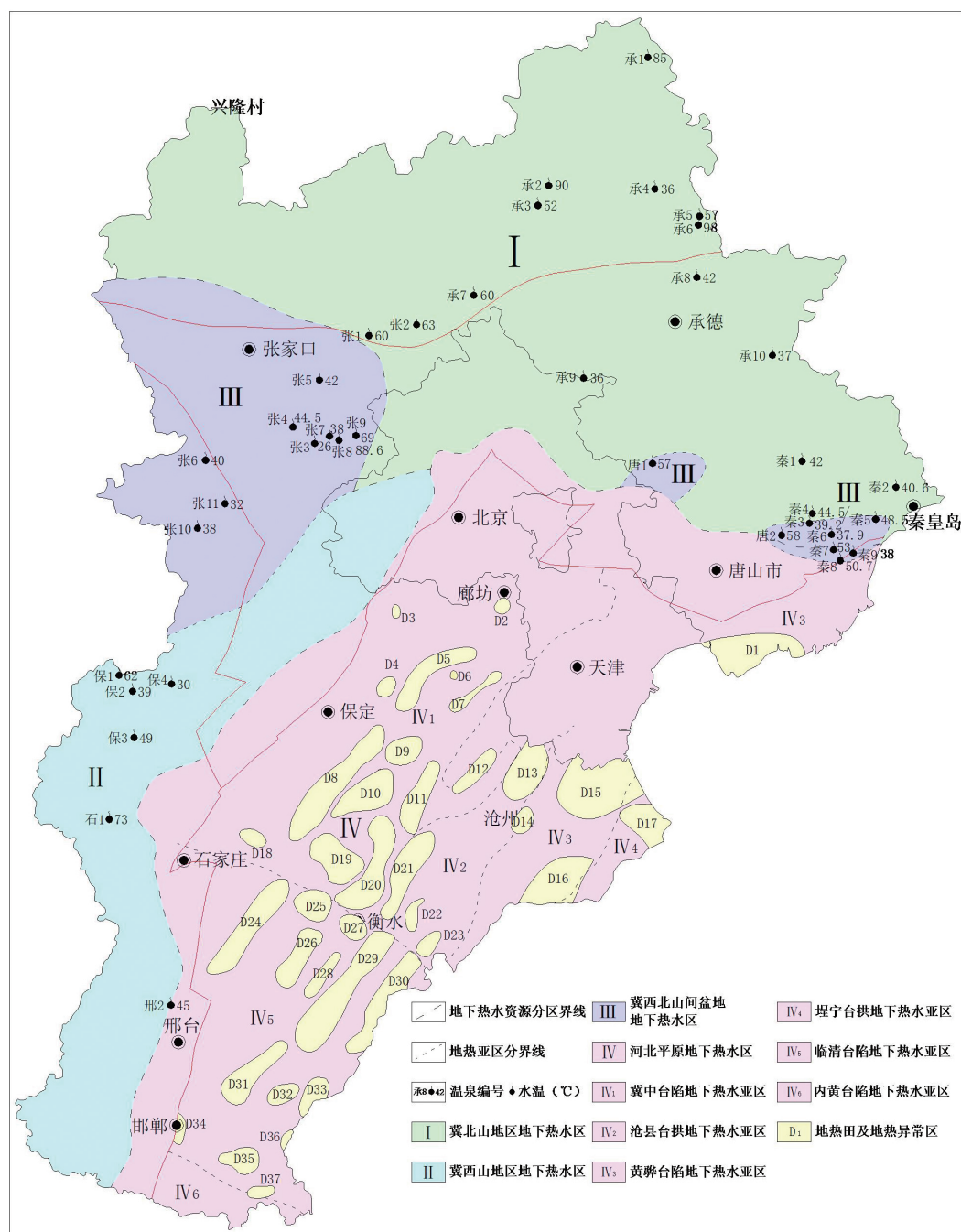


图1 河北省地下热水资源分区

Figure 1 Hebei Province underground hot water zoning

表 1 冀北山地区构造带温泉、地热异常区统计表

Table 1 Statistics of hot springs and geothermal anomalous areas in northern Hebei mountainous area structural belt

行政区	温泉名称及编号	地理位置	地热异常区 面积/km ²	最高水温或区 间值/℃	泉涌量或地热 井涌水量/m ³ ·h ⁻¹
张家口市	汤泉—张 1	赤城县城关周里	0.06	37.5~60.0	46.75
	塘子庙温泉—张 2	赤城县东万口乡	0.072	47.2~63.0	27.15
	山湾子热水汤泉—承 1	围场县山湾子乡热水汤村	0.057	85.0	25.12
	三道营汤泉—承 2	隆化县三道营乡汤池子村	点状	90.0	18.93
	漠河沟汤泉—承 3	隆化县漠河沟乡瓜地村	点状	52.0	9.00
承德市	西大坝暖水泉—承 4	隆化县西大坝乡西大坝村	点状	36.0	25.00
	小庙汤泉—承 5	隆化大庙乡大庙	点状	57.0	39.14
	开汤泉—承 6	隆化县七家乡二道河村	0.26	98.0	36.00
	洪汤寺汤泉—承 7	丰宁三道河乡洪汤寺村	点状	60.0	41.67
	头沟汤泉—承 8	承德县前庙乡汤泉村	点状	42.0	9.90
	太子矿泉水—承 9	滦平县古城川乡关门村	点状	36.0	24.50
	二泉地暖水泉—承 10	平泉县党坝镇南杖子村	点状	37.0	52.70
	汤杖子温泉—秦 1	青龙县白家店汤杖子村	0.24	29.5~42.0	泉: 7.70 井: 17.20
	温泉堡温泉—秦 2	抚宁县平山营乡黑山嘴村	0.43	21.0~40.6	泉群: 264.2~627.3 井: 12.30
	崔庄温泉—秦 3	卢龙县雷店子乡崔庄	0.84	泉: 9.7~39.2 井: 36.5	10.80
秦皇岛市	赵官庄地热田—秦 4	卢龙县刘台庄镇赵官庄村	0.76	44.5	32.90

表 2 冀西山地区构造带温泉、地热异常区统计表

Table 2 Statistics of hot springs and geothermal anomalous areas in western Hebei mountainous area structural belt

行政区	温泉名称 及编号	地理位置	最高水温或 区间值/℃	泉涌量或地热 井涌水量/m ³ ·h ⁻¹
保定市	温泉寺温泉—保 1	阜平县吴王口乡贝子村	62.0	10.80
	上堡温泉—保 2	阜平县上堡乡下堡东村	39.0	15.50
	温塘—保 3	阜平县城南庄乡后庄温塘村	49.0	4.50
	大台温泉—保 4	阜平县大台乡下店村	30.0	20.00
石家庄市	平山温塘—石 1	平山县温塘镇	45.0~73.0	45.00~65.00
邢台市	朱庄温泉—邢 1	沙河市孔店乡朱庄村	51.0	30.00
	永兴煤矿地热异常区—邢 2	内丘县永兴煤矿	45.0	50.00

1.3 冀西北山间盆地地下热水区(Ⅲ)

热水区主要是指冀西北地区的蔚县—阳原山间盆地、赵川山间盆地、怀来山盆地和遵化山盆地这四个地下热水区域。该地区共发现 16 个温泉或地热异常(表 3),温度为 26~88.6℃。根据《地热资源地质勘查规范》(GB11615—2010)地热资源温度分级标准,全部属于低温地热资源。

由于该地区复杂的地质结构,地层破裂,并且由于裂缝切割形成了一系列盆地。一些断层为地下热水的深层循环提供了良好的通道,并使其得以保

存^[6]。例如,北东方向与北北向东构造相交的阳源县三马坊乡的热水井只有 470m 深,水位为第四纪砾石层,但井口水温达到 40℃。赵川盆地东南缘的庞家堡白庙温泉,水温高达 42℃。怀来盆地有一个温泉(水温为 36~55℃),浅井分布在地下热水中。该井深 80m,水位为太古界的片麻岩。我们在 1996 年 5 月测得的井口水温为 83.5℃。遵化盆地地下热水资源仅分布在汤泉市^[6-8]。在乡镇附近,汤泉的水温为 56℃,热水浅井则在 150m 处。井口的水温可以达到 64℃。

表3 冀西北山间盆地构造带温泉、地热异常区统计表

Table 3 Statistics of hot springs and geothermal anomalous areas in northwestern Hebei intermountain basin structural belt

行政区	温泉名称及编号	地理位置	地热异常区面积/km ²	最高水温或区间值/℃	泉涌量或地热井涌水量/m ³ ·h ⁻¹
张家口市	窝铺地热异常区-张3	涿鹿县温泉屯乡		26.0	25.10
	汤应寺温泉-张4	涿鹿县河东镇	点状	44.5	11.80
	白庙矿泉-张5	庞家堡区白庙	2.12	30.0~42.0	17.00
	澡洗塘地热田-张6	阳原县三马坊乡	5.49	40.0	272.80
	暖泉-张7	怀来县桑园镇暖泉村	点状	38.0	11.60
	后郝窑地热田-张8	怀来县后郝窑村	3.70	88.6	20.20
	五营梁地热田-张9	怀来县五营梁村、奚家堡村	12.12	40.0~69.0	95.0
	卜南堡地热异常区-张10	蔚县韦州镇卜南堡村		38.0	327.10
唐山市	北洗冀地热异常区-张11	蔚县北洗冀	0.99	32.0	20.00~150.00
	遵化汤泉-唐1	遵化市马兰峪	0.62	泉: 55~57 井: 35~64	泉: 3.02~10.0 井: 12.5~23.6
	安各庄地热田-唐2	滦县安各庄镇	0.24	58.0	50.00
	大泥河地热田-秦5	抚宁县榆关镇大泥河村	8.63	26.5~48.5	43.90~86.20
秦皇岛市	桃园地热异常区-秦6	卢龙县卢王庄乡桃园村	8.35	37.9	3.40
	李埝地地热田-秦7	昌黎县龙家店镇李埝地村	2.48	35.0~53.0	1.40~31.90
	晒甲地地热田-秦8	昌黎县龙家店镇晒甲地村	4.38	50.7	61.60
	昌黎县城关地热异常区-秦9	昌黎县城关镇	10.36	32.0~38.0	4.50~30.70

1.4 河北平原地下热水区(Ⅳ)

河北省平原区可圈定出37个地热田和地热异常区^[9-12](图2),该地区有两层地下热水结构,包括新近系孔隙热储层(明华镇组和馆陶组的热储层)和基岩热储层(古生界和中新元古界热储),现分述如下。

(1) 明华镇组热储。明华镇组的蓄热量低于山前的温度(<25℃)不构成热存储外,在其他平原地区广泛分布,但厚度变化很大,底部边界的深度通常在1 200~1 400m,最深处可达1 800~2 000m,如深州、饶阳、霸州等地。

地热井的涌水量为1 000~1 500m³/d,热水温度为35~50℃,最高温度为60℃。高温地区主要分布在献县、肃宁、任丘、雄县、牛驼镇等地(图3)。

(2) 馆陶组热储。馆陶组热储一般分布在河北平原的断陷中。底部边界的深度在1 400~1 600m。最深的地区是饶阳、霸州、深州等地,可达2 200~2 400m。在平原区西部和沧州市附近的山前地区,单口井的地热水量不足1 000m³/d。中部和东部地区通常超过1 000m³/d。在某些地区,单井的水量超过2 000 m³/d,水量更大。主要分布在南宫、辛集、清河以东,故城和黄骅以北等^[13-17]。热水温度为56~85℃,主要分布在肃宁、安平、深州、任丘等

地(图4)。

(3) 古生界及中新元古界热储。主要包括奥陶系储层、寒武系储层、蓟县系雾迷山组储层和长城系高于庄组储层。蓟县系雾迷山组的储热能力是该地区最好的基岩热蓄(表4)。

表4 河北平原区基岩热储基本情况一览表

Table 4 Data sheet of basement geothermal reservoirs fundamental status in Hebei Plain

热储赋存层位	井口水温/℃	单井涌水量/m ³ ·h ⁻¹	分布情况
奥陶系	34~73	150~1 500	主要分布于沧县台拱部分地区、冀中台陷的牛驼镇、临清台陷的宁晋及黄骅台陷的黑龙村、孔店等地。
寒武系	70~78	216~2 760	主要分布于冀中台陷的霸州市、临清台陷的宁晋和黄骅台陷的马头营等地。
蓟县系雾迷山组	60~80,最高可达104。	400~1 500	主要分布在牛驼镇断凸、沧县断凸及宁县断凸一带。
长城系高于庄组	50~80	400~1 500	主要分布在牛驼镇、河间等地。

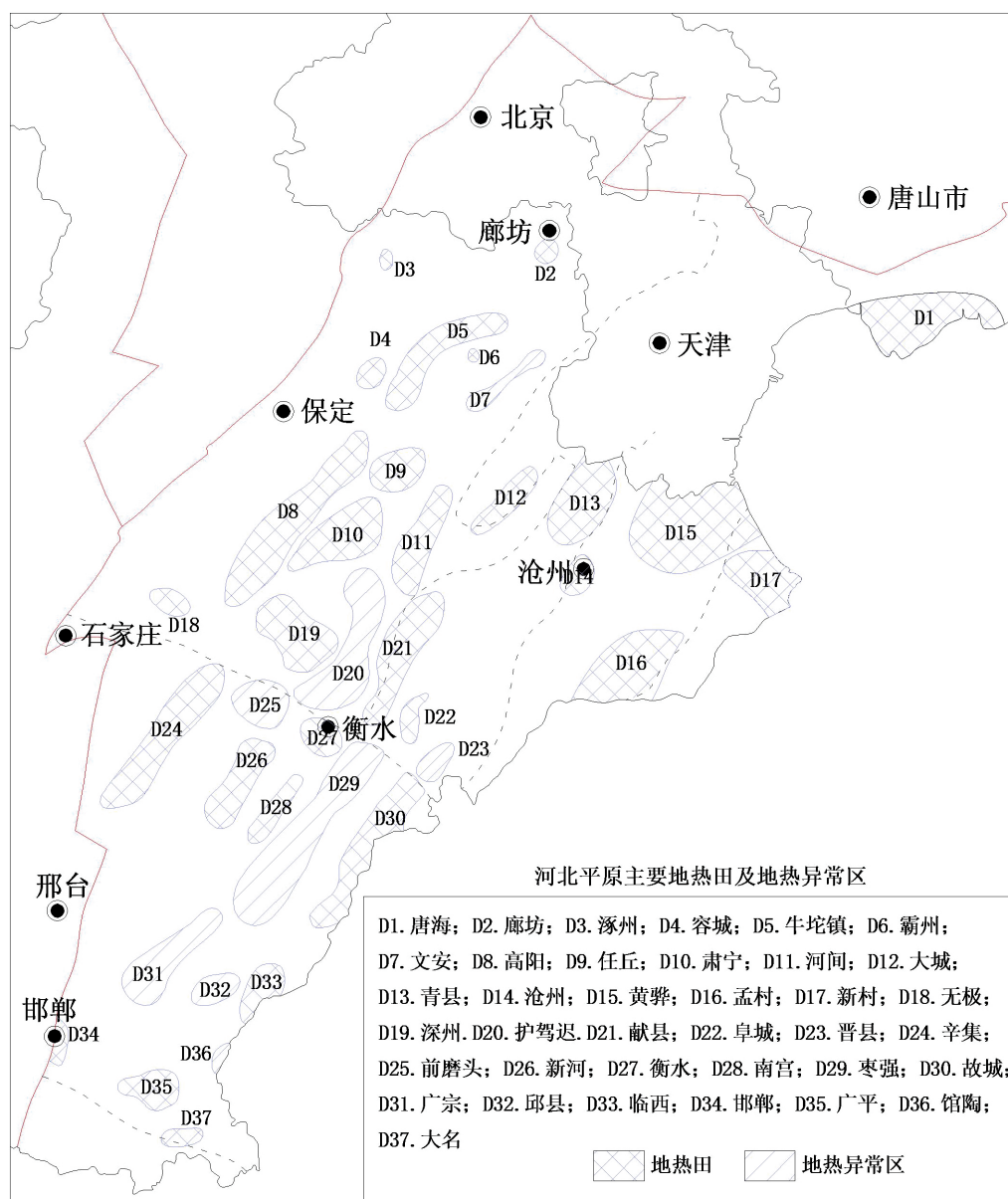


图2 河北平原地热田及地热异常分布图

Figure 2 Geothermal fields and geothermal anomalies distribution in Hebei Plain

2 地下热水资源的赋存分布规律

2.1 冀西及冀北山区

冀西及冀北山区仅存在着基岩热水储层,地下热水资源多赋存于断裂带或岩浆岩体附近,温泉成群呈线状出露,地下热水储层主要受断裂构造和岩浆岩体控制,不同方向的断裂构造交汇处是地下热源的良好通道,因此在这些部位更容易形成高温热泉。

2.2 河北平原区

河北平原区沉降带内,热水储层存在双层结构,既有深层基岩热水储层,又有新生界的孔隙热水储层,水平方向则总体表现为点多面广,其地下热水资源的分布与基底构造中的断隆或断陷中的低凸起一

致,它们全部沿北东-北北东方向分布。

3 地下热水资源开发利用现状

河北省地下热水资源的开发利用水平仍然很低。地热能的主要形式有地热加热、疗养老、种植育种、工业加工等(表5)。

3.1 地热供暖

用地热取暖代替燃煤取暖不仅可以产生更好的经济效益,而且可以减少废物残留,粉尘和二氧化硫等排放,有利于大气和生态环境保护。目前全省约有200口地热井进行地热供热,面积953万 m^3 ,主要集中在平原地区,如雄县、任丘、肃宁、黄骅、沧州、衡水、深州、故城等县市。衡水、深州、黄骅、雄县等市县已提出利用地热来建立无烟城市规划。

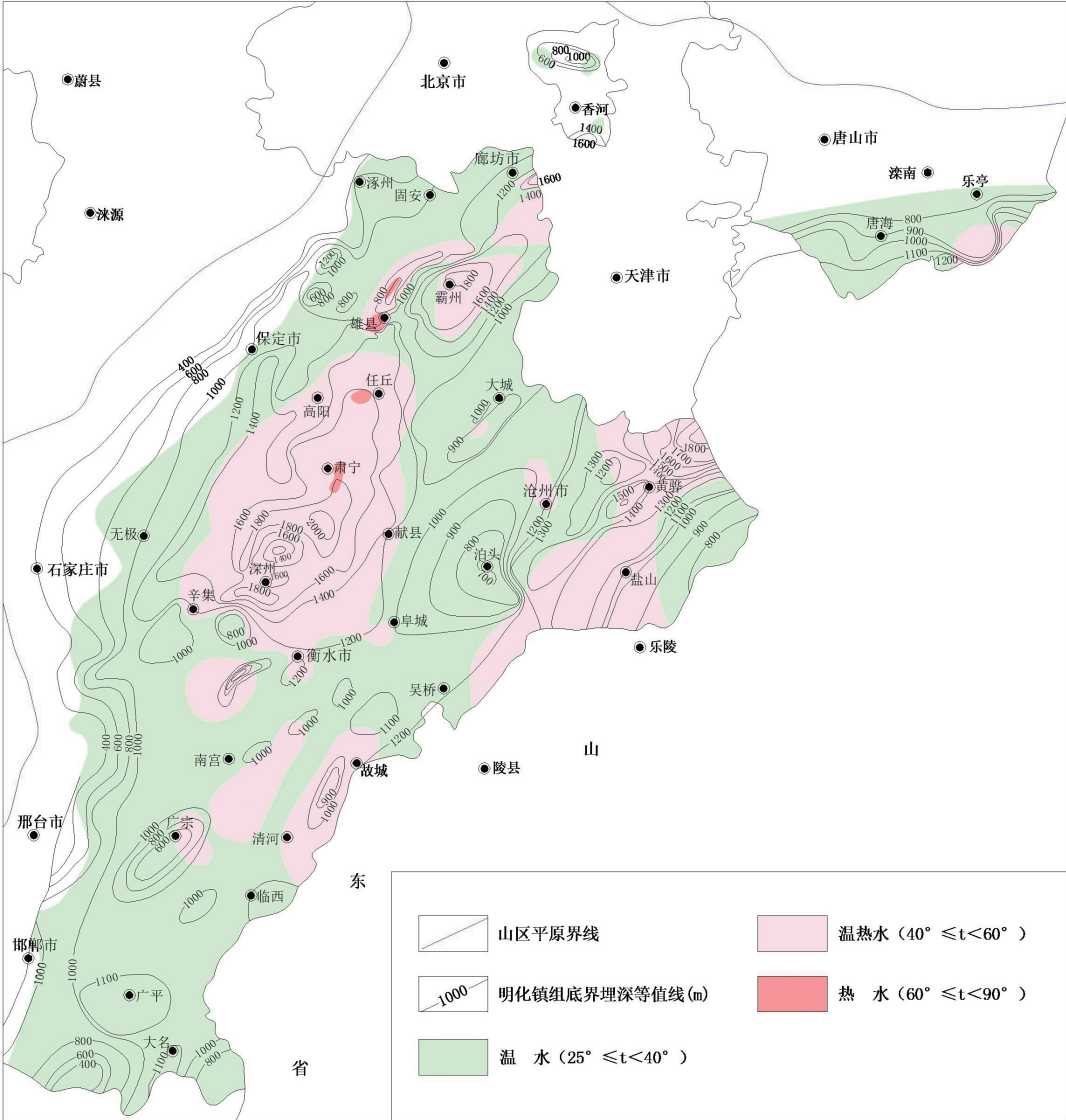


图 3 河北平原明化镇组底界埋深等值线及水温分布图

图 3 Minghuazhen Formation bottom boundary buried depths isogram and water temperatures distribution in Hebei Plain

表 5 河北省地下热水资源开发利用现状(截止 2010 年)

Table 5 Underground hot water resources exploitation and utilization status quo in Hebei Province (up to 2010)

分区	开发方式		年开采量 /10 ⁴ m ³	供暖 /万 m ²	洗浴 (万人次/a)	种植 /亩	养殖 /亩	经济效益	社会效益
	地热井(眼)	温泉(眼)							
平原区	369/277		5 059. 001	946. 399	639. 45	195	221. 7	地热产业 2010 年总 产值约 3. 3 亿元	热水年利用量相当于标准 煤 32. 7 万 t, 可减少二氧 化碳排放量约 78. 02 万 t, 二氧化硫约 0. 56 万 t, 悬 浮质粉尘 0. 26 万 t
山区	77/49	47/31	1284	6. 839	326. 72	5 730	157. 79		
合 计	446/326	47/31	6 343. 001	953. 238	966. 17	5 925	379. 49		

注: ①369/277——现有眼数/已开发利用眼数; ②开发利用程度较高的地热田有牛驼镇、辛集、任丘、唐海、河间、深州、献县、肃宁、衡水等。

3. 2 疗养洗浴

地热水中含有多种对人体有益的微量元素。可成为具有理疗价值的热矿泉水,尤其是在山区的天然温泉中。它富含各种对人体有益的微量元素和放射性元素,可以治疗关节炎、风湿病、痰等疾病。目

前,全省有近百处利用地热水疗养洗浴,山区主要分布在赤城汤泉、遵化汤泉、怀来后郝窑、隆化七家镇等,平原区主要分布在雄县、黄骅、献县、任丘、沧州、辛集、衡水等。全省年疗养洗浴人数近 966 万人次。温泉疗法改善了人们的生活质量,并产生了更好

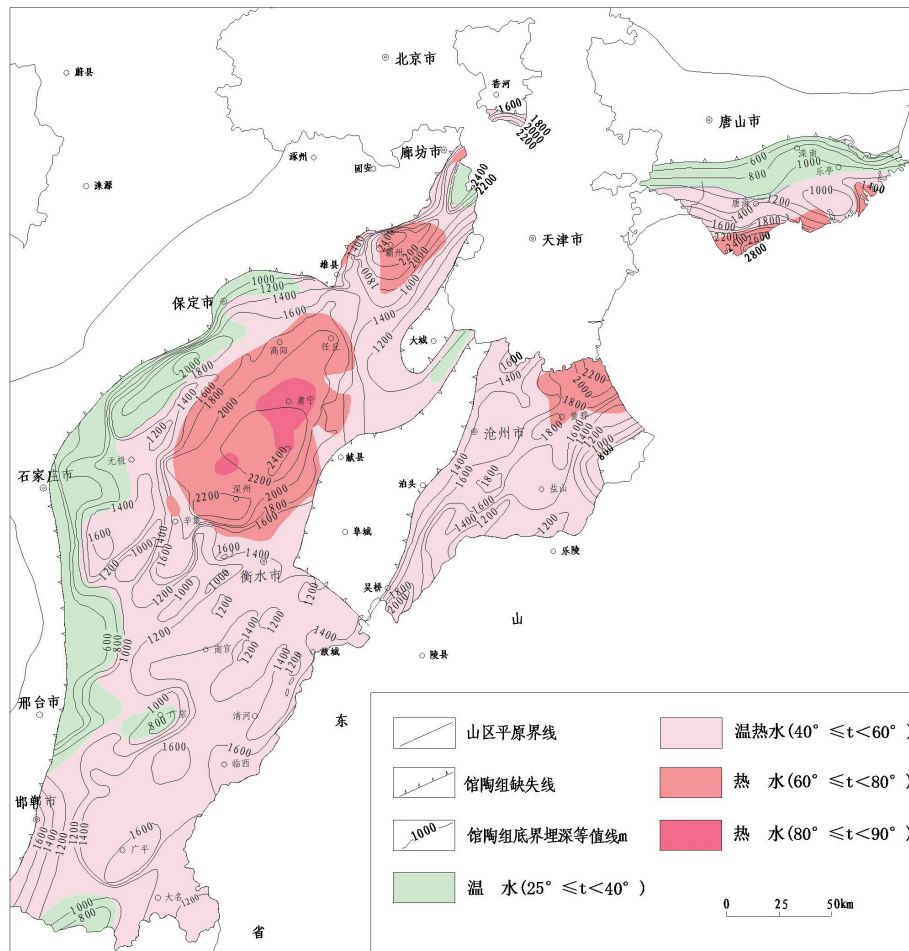


图4 河北平原馆陶组底界埋深等值线及水温分布图

Quantao Formation bottom boundary buried depths isogram and water temperatures distribution in Hebei Plain

的经济效益。

3.3 地热种植

用于建造温室,以解决北部地区的冬季蔬菜、水果和鲜花的供应,全省约30余处,山区主要分布在怀来后郝窑、五营梁、隆化七家镇等地,主要种植葡萄、苜蓿等;平原区主要分布在雄县文家营、古庄头、辛集市位伯镇、固安县独流乡、献县藏桥乡冯庄和河间南冬乡东方村、高阳佐庙等地。种植面积5925亩,主要包括蔬菜、果树、花卉苗圃和食用菌等。

3.4 地热养殖

利用地热育种和冬季生产的鱼苗和蜗牛进行安全越冬,为北部地区的鱼类、虾和蜗牛等水产养殖开辟了新途径。目前养殖点达20多处,养殖面积约380亩,主要养殖点有山区的围场山湾子、怀来暖泉、阳原三马坊等地,平原区有沧州中捷农场、黄华新村、雄县古庄头、高阳佐庄、河间南冬乡等地。

3.5 工业利用

山湾子乡山区利用地热资源进行淀粉干燥;在辛集,雄县和高阳的平原上,地热加工用于皮革加工,羊毛干燥和脱水薯片加工,安平县则使用地热水

生产。矿泉水等为当地带来了巨大的经济利益。

3.6 温泉旅游

凭借地下热水资源的优势,开拓性应用领域当属雄县温泉城。雄县温泉城位于雄县,围绕白洋淀而建。它占地1000余亩,总投资近亿元。配套设施包括学校、邮电、游乐场、购物中心、饭店和酒店等,主要功能是疗养胜地、商务和娱乐场所,已成为我省的另一个重要旅游胜地。

4 地下热水勘查开发利用中存在的问题及今后工作建议

4.1 地下水开采现状

京津冀地区有着系统的地下水开采规模,但过度开采导致地下水开采状况严重^[8](图5)。根据统计,天津、沧州和衡水的深层地下水开采量分别占当地地下水开采总量的83.6%、52.8%和47.7%。

平原区内,天津东部、唐山西南部、保定西北部、石家庄-邢台西部、沧州和衡水中部边界带等地的深层地下水开采量严重超标;唐山市区北部、保定容城县、石家庄宁晋、高邑及邯郸成安县地区的浅层地

下水开采量严重超采。

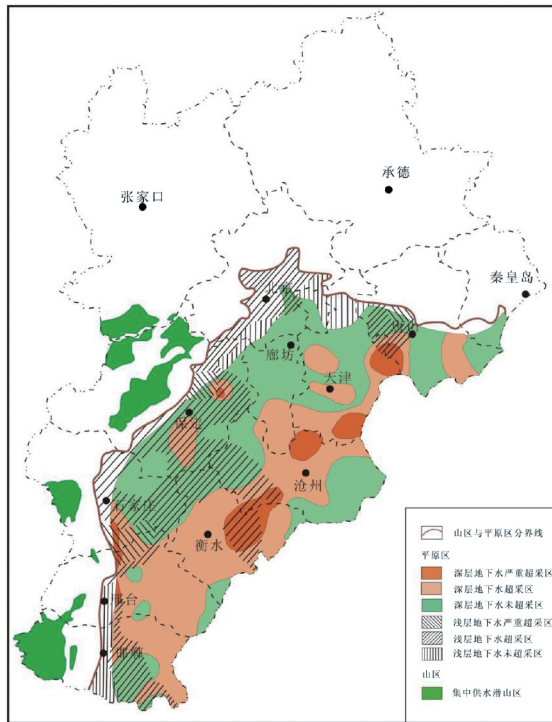


图5 京津冀地区地下水资源开采情况

Figure 5 Groundwater resources exploitation status in Beijing - Tianjin - Hebei region

4.2 地热勘查、开发利用中存在的问题

(1) 地热资源勘查评价程度低。河北省地热资源总体勘查程度较低,只有少部分地热田进行过普查、详查工作^[9](如平原区明化镇组热储只有阜城地热田达到普查程度;馆陶组热储仅有沧州地热田、衡水市区达到详查程度;基岩热储仅有涿州地热田、衡水市区、牛驼镇地热田达到普查程度,牛驼镇地热田轴部基岩埋深小于1 200m区域达到详查程度),地热勘探与评估工作滞后于开发利用,这使得地热开发管理工作缺乏依据,而且大多处于盲采状态。

(2) 地热资源开发利用水平低,资源浪费现象严重。河北省冀西、冀北山地区有许多天然温泉,但是大多数温泉没有得到充分利用^[20]。用于直接取暖的城市居民区直接从废弃的水中排干。这种低效的使用水平严重浪费了宝贵的地热资源。

(3) 地热资源勘查投入严重不足。在省辖区,国家很少进行地热勘探投资。对于基础和区域地热勘探工作以及地热田间资源勘探和评估工作,仅靠市场投资是不可能完全解决问题的。

5 结论

(1) 加强地热资源的勘探,评价和规划,加大全

国地热工作的力度,更好地引导地热资源开发利用市场的形成。

(2) 依靠科技进步与创新,促进先进技术和方法的应用,扩大地热资源的应用领域,发展地热资源的梯级利用,减少利用浪费地热资源。地热资源,提高地热利用效率。

(3) 推广地热开采补给技术,保护宝贵的地热资源,确保我省地热资源的可持续发展。

(4) 在地热利用中加强尾水排放管理,避免热化学污染;并加强各地地热井动态管理,建立水温,水量,水压和水质监测网络,掌握地下水动态变化,合理规划管理,为未来开发地热资源提供地质依据。

参考文献:

- [1] 张德忠,王蕴玉. 河北平原非地热异常区地热资源 [J]. 地球学报,2000,21(2):151-154.
- [2] 张国斌. 河北省地热资源分布特征、开发利用现状、存在问题与建议 [J]. 中国煤炭地质,2006(S1):25-27.
- [3] 陈墨香. 华北地热 [M]. 北京: 科学出版社,1988.
- [4] 陈墨香,汪集旸,邓孝. 中国地热资源 [M]. 北京: 科学出版社,1993.
- [5] 张德忠,刘志刚,卢红柳. 河北地热 [M]. 北京: 地质出版社,2013.
- [6] 李攻科,王卫星,李宏,等. 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,2014,41(6):2099-2109.
- [7] 翟延亮. 承德市汤河一带地热资源成因探讨 [J]. 内蒙古煤炭经济,2018(03):159-160.
- [8] 刘江涛,李郡. 山区地热资源勘查分析—以大段地—碾儿沟为例 [J]. 河北工业大学学报,2018,47(05):116-120.
- [9] 刘现川,刘仕娟,杨凤良. 高阳县地热资源评价 [J]. 煤炭技术,2018,37(04):44-46.
- [10] 刘现川. 辛集—宁晋地热田地热资源分布特征及资源评价 [J]. 中国井矿盐,2017(1):20-24.
- [11] 苏永强,李郡. 雄安新区地热资源评价与开发应用潜力分析 [J]. 河北工业大学学报,2018(4):62-67.
- [12] 朱树源,张国斌,李少虎. 雄安新区地热资源综合利用研究 [J]. 中国煤炭地质,2018(5):20-23.
- [13] 郭世炎,李小军. 河北保定容城凸起地热田储层属性与资源潜力 [J]. 地质科学,2013,48(3):922-931.
- [14] 王贵玲,李郡,吴爱民,等. 河北容城凸起区热储层新层系—高于庄组热储特征研究 [J]. 地球学报,2018,39(05):533-541.
- [15] 李卫卫,饶松,唐晓音,等. 河北雄县地热田钻井地温测量及地温场特征 [J]. 地质科学,2014,49(3):850-863.
- [16] 田兰兰,童健活. 牛驼镇凸起区干热岩地热资源赋存分布特征及开发利用前景 [J]. 能源与环保,2018,40(6):108-113.
- [17] 卢凤豪. 河北省柏乡县干热岩地热资源初探 [J]. 煤炭技术,2017,36(11):21-23.
- [18] 刘桂英,李继江,张扬. 地热资源勘查开发工作现状及对策研究 [J]. 中国国土资源经济,2010,23(10):17-20+54.
- [19] 卢予北,李艺,卢玮,等. 新时代地热资源勘查开发问题研究 [J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(03):1-8.
- [20] 郑克模. 中国地热勘查开发100例 [M]. 北京: 地质出版社,2005.