



辽宁省锦州市地热资源赋存特征及潜力评价

郭常来¹, 崔健¹, 代雅建¹, 李广辉², 杨宏斌³

1. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110032; 2. 辽宁工程勘察设计院有限公司, 辽宁 锦州 121000; 3. 千寻位置网络(北京)有限公司, 北京 100080

摘要: 根据锦州市地热资源的成因, 在野外调研的基础上, 详细介绍研究区两种类型地热资源的地质、水化学和热储等地热田赋存特征, 并对其潜力进行评价。结果表明: 对流型地热资源由断裂构造控制, 均处于中生代断陷盆地的盆缘外侧, 热储主要为构造裂隙和岩溶热储, 岩性主要为碎裂的白云岩、白云质灰岩; 传导型地热资源由新生代盆地内所形成的地幔柱控制, 热储主要为孔隙热储, 岩性为泥岩与砂岩。地下热水中氟、偏硼酸及偏硅酸含量偏高。预测锦州地区地热资源总量为 10.156×10^{15} kJ, 开采系数为 0.01~0.43。地热资源开发、利用潜力巨大。

关键词: 地热资源; 热储; 潜力评价; 锦州市; 辽宁省

Occurrence and potential evaluation of geothermal resources in Jinzhou City, Liaoning Province

GUO Chang-lai¹, CUI Jian¹, DAI Ya-jian¹, LI Guang-hui², YANG Hong-bin³

1. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China; 2. Liaoning Engineering Survey and Design Institute Co., Ltd., Jinzhou 121000, Liaoning Province, China; 3. Qianxun Location Network Co., Ltd., Beijing 100080, China

Abstract: Based on the genesis of geothermal resources and field investigation in Jinzhou City, this study discusses the geological, hydrochemical and thermal reservoir characteristics of two different types of geothermal fields in the area, and evaluates their resource potential. The results show that the convective type is controlled by fault structures, all located at the outer margins of Mesozoic fault basins, mainly with structural fracture and karst thermal reservoirs, lithologically composed of cataclastic dolomite and dolomitic limestone; while the conductive type is controlled by mantle plume formed within the Cenozoic basins, dominated by porous medium thermal reservoir with mudstone and sandstone. The contents of fluorine, metaboric acid and metasilicic acid in geothermal water are slightly high. The total geothermal resource potential in Jinzhou City is estimated at 10.156×10^{15} kJ, with the extraction coefficient of 0.01–0.43, indicating tremendous potential for development and utilization of geothermal resources.

Key words: geothermal resource; thermal reservoir; potential evaluation; Jinzhou City; Liaoning Province

收稿日期: 2023-04-26; 修回日期: 2023-06-09. 编辑: 黄欣.

基金项目: 中国地质调查局项目“辽西凌河地区综合地质调查”(DD20180977), “东北地区自然资源综合调查”(DD20211383), “东北地区自然资源动态监测与风险评估”(DD20230102).

作者简介: 郭常来(1980—), 男, 硕士, 正高级工程师, 从事水工环地质调查与研究, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail//guochanglai@126.com

通信作者: 代雅建(1980—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事水工环地质调查与研究, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail//731059585@qq.com

引用格式: 郭常来, 崔健, 代雅建, 李广辉, 杨宏斌. 辽宁省锦州市地热资源赋存特征及潜力评价[J]. 地质与资源, 2025, 34(3): 330-338.

Guo C L, Cui J, Dai Y J, Li G H, Yang H B. Occurrence and potential evaluation of geothermal resources in Jinzhou City, Liaoning Province [J]. Geology and Resources, 2025, 34(3): 330-338.

地热资源不仅是一种十分宝贵的清洁能源,还是提取碘、钾盐等工业原料的热卤水资源、天然肥水资源和矿泉水资源^[1-8]。多年来的实践表明,地热资源的综合开发利用,对社会经济发展和环境保护起着越来越重要的作用。近些年,随着我国对地热能等清洁能源勘查开发需求的不断增加^[9-13],多部门先后在锦州地区开展了多个地热资源普查工作,相继发现并确定了下辽河新生代地热田、锦州-义县盆地地热田、锦州市太和区汤河子地热田、锦州市汤池子地热田等主要地热水资源地,取得了丰富的成果和关键性的突破^[14-19]。然而,对该地区地热资源的赋存特征、资源潜力评价方面的研究还远远不够。因此,基于“辽西凌河地区综合地质调查”项目的研究成果,探讨锦州市地热水资源赋存特征和开采潜力,可以为今后锦州市地热资源的勘查、开发及综合利用提供参考依据。

1 地热资源现状

辽宁省锦州市位于辽西走廊的东端,处于辽西丘陵与辽河平原过渡区,包括阜新-锦州盆地南半部、闾山脉大部、辽河裂谷盆地西斜坡带大部及西部凹陷的一部分。前中生代属于华北板块(陆块)燕辽台褶带内,而中生代受到强烈的挤压和伸展作用,新生代发育地幔柱引起的地堑或地垒构造,形成了一系列的断(拗)陷盆地^[20]。火山作用所形成的断裂构造、岩浆热液(高地温场区)等,是控制该区域地热田分布和热能来源的主要因素^[15]。

研究区的地热资源勘查工作始于20世纪90年代,已发现的地热田(点)资源共7处(1处以泉的形式出露,其余均为钻孔揭露),属低温地热资源,其中温热水(40~60℃)4处,温水(20~40℃)3处。研究表明,已知的地热资源主要分布于锦州-义县盆地和下辽河新生代裂谷盆地内(图1)。

根据地理位置、地质条件和勘查程度,将7处地热田(点)分为重点地热田(点)和一般地热田(点)。其中重点地热田(点)4处,分别为锦州市太和区汤河子地热田(I)、凌海市汤池子地热田(II)、义县聚粮屯-七里河地热田(III)和凌海市大有-西八千地热田(IV);一般地热田(点)3处,分别为锦州市城区地热田(V)、锦州市笔架山-世博园地热田(VI)和北镇正安-黑山白厂门地热田(VII)(图1)。本次研究以上述地热

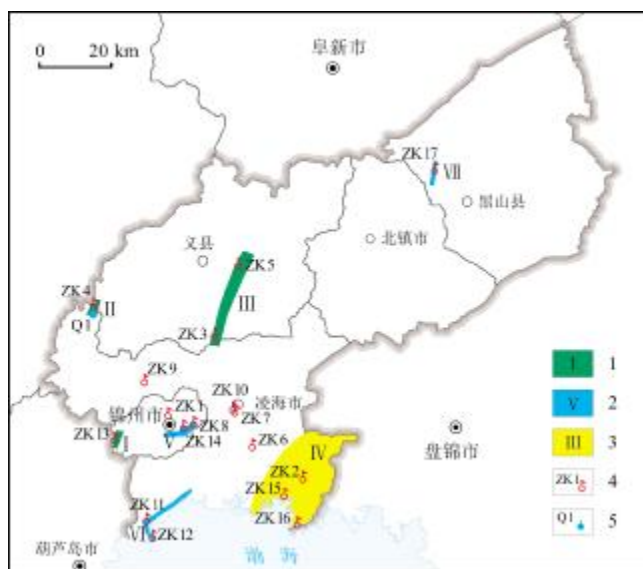


图1 锦州市地热田分布图

Fig. 1 Distribution map of geothermal fields in Jinzhou City

1—对流型重点地热田(key geothermal field of convective type); 2—对流型一般地热田(general geothermal field of convective type); 3—传导型重点地热田(key geothermal field of conductive type); 4—钻孔(borehole); 5—温泉(hot spring)

田18处地热井为研究对象,阐述锦州地区地热赋存特征及资源潜力。

2 地热资源赋存特征

锦州地区地热资源分布广泛,依据其成因和热储层(或带)的储存状态,可划分为构造裂隙带状热储和孔隙层状热储两种类型。前者储热岩性主要为中元古代的碳酸盐岩、中生代白垩纪的安山岩及新太古代片麻杂岩所形成的破碎带或裂隙,热储分布一般呈带状,水温、水量变化较大,水质中—微碱性;后者储热岩为新近系馆陶组的砂岩、泥岩互层,东营组和胶结较好的沙河街组砂岩、砂砾岩、泥页岩等,热储层埋深较大、水温较高、水量偏小、水质偏碱。根据热传输方式,将该区地热资源划分为对流型(构造控制)和传导型(新生代盆地)两种类型(图1、表1)。

2.1 构造裂隙带状对流型地热田

该型地热田资源丰富,分布广,除凌海市大有-西八千地热田(IV)外,其他地热田均属于该类型,代表地热井有ZK1、ZK3—ZK14和ZK17。以锦州市太和区汤河子地热田(I)(ZK13)和锦州市笔架山-世博园地热田(VI)(ZK11—ZK12)为代表,介绍其赋存特征。

表 1 锦州市地热资源开发利用现状调查统计表

Table 1 Statistics of geothermal resource development and utilization in Jinzhou City

编号	井位	井深/m	出口水温/℃	涌水量/(m³/d)	开发利用情况
ZK1	锦州市北郊	2602.48	16	2	未利用
ZK2	凌海西八千	1483.26	53	1054	未利用
ZK3	义县七里河	2300	42	295.92	未利用
ZK4	凌海汤池子	155	27.5	/	未利用
ZK5	义县聚粮屯乡大平房村	2500	33	10	灌溉
ZK6	凌海新庄子北马道	2930	57	518	未利用
ZK7	凌海市九华山	1704.81	21	50	洗浴
ZK8	锦州百股紫荆村	1688	37	519.12	未利用
ZK9	凌海大胜村	2018	35.5	299	未利用
ZK10	凌海市九华山	2100.37	26	50	酒店
ZK11	锦州经济开发区崔庄子	2289.3	43	271.92	未利用
ZK12	锦州经济开发区笔架山庄	2670	35	840	在建
ZK13	太和区汤水东鱼温泉乡村旅游试验园	97	35	299	渔业
ZK14	锦州凌河区江南水乡	2000	33	50	洗浴
ZK15	凌海大有农场锦州海水苗种繁育中心	710	31	50	渔业
ZK16	凌海大有西八千南横沟	1100	41	10	生活
ZK17	北镇正安	2800	43	1500	未利用
Q1	凌海汤池子温泉	/	28.5	1200	洗浴

2.1.1 锦州市太和区汤河子地热田(I)

1)地质特征

该地热田属阜新-义县-锦州盆地地热成矿区,处于该盆地西缘隆起带. 区内出露的地层为蓟县系雾迷山组(J_{xw})和寒武系,基底为新太古界变质深成岩(肉红色片麻状中粗粒花岗岩),盖层为第四系坡洪积的亚黏土、亚砂土及义县组的安山岩和凝灰质砂岩. 断层多属北北东向的哈尔套-锦州构造带,少数属于歪桃山-大田家屯近东西向构造带(图 2).

2)地温场特征

地温梯度大于 3 ℃/hm,从以往施工的钻井测地温来看,均大于 25 ℃,虽然井深较浅(小于 250 m),但均显示存在明显的地热异常区,热区面积约 1.2 km².

3)热储特征

热水区内 F1、F2 断裂为控水、储能断裂,断裂带宽 10~100 m. 断裂 F19 为导热断裂,宽 30~200 m. 在

该构造体系内,由于地下水长期溶蚀碳酸盐岩,并随着深度增加和压力增大,地温亦随之升高,最终形成了良好的热储富集带. 热储岩性为蓟县系雾迷山组(碎裂)白云岩.

从区域构造上看,这些近东西向的断裂应属切割较深的壳断裂,具有导深部热水之功能,为控热断裂;而中燕山晚期形成的北东向断裂有富水储热之功能,为储热断裂. 两组断裂交汇部位是地下热水的最有利赋存的部位. 中、新生代地质体对热水具有较好的封闭作用. 热储岩性为长城系高于庄组和蓟县系雾迷山组(碎裂)白云岩、白云质灰岩,为岩溶裂隙与构造裂隙混合型热储.

4)水化学特征

出露温泉点多处,泉水最高温度 37 ℃,最大流量 60 m³/d. 研究区内主要地热田水化学成分测试结果见表 2.

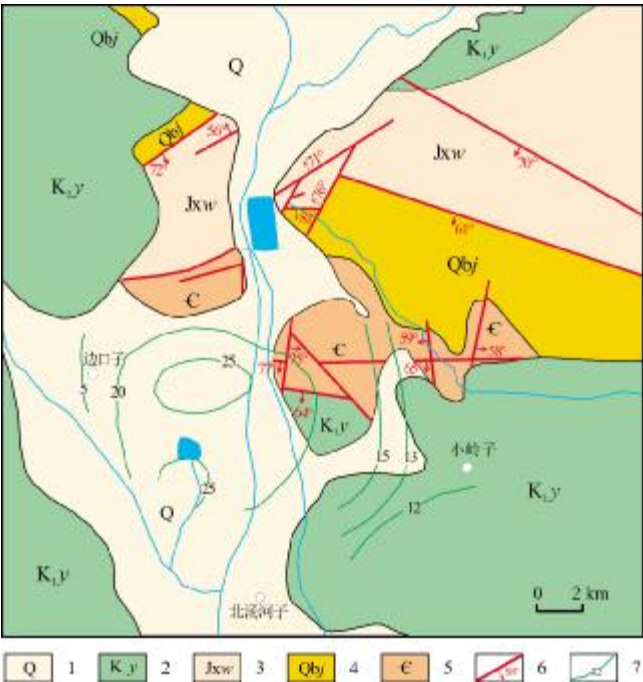


图 2 锦州市汤河子地热田地质图

Fig. 2 Geological map of Tanghezi geothermal field in Jinzhou City

1—第四系坡洪积亚黏土、亚砂土 (Quaternary slope proluvial loam and sandy loam); 2—义县组安山岩和凝灰质砂岩 (andesite and tuffaceous sandstone of Yixian fm.); 3—雾迷山组 (碎裂) 白云岩、白云质灰岩 (dolomite and dolomitic limestone of Wumishan fm.); 4—景儿峪组白云质、泥质灰岩夹页岩、粉砂岩 (dolomitic, argillaceous limestone with shale and siltstone of Jingeryu fm.); 5—寒武系变质深成岩 (Cambrian metapluvial rock); 6—断裂 (fault); 7—等温线 (isotherm)

地下水矿化度值在 253~2 728 mg/L 之间,但多小于 800 mg/L, pH 值为 7.02~8.13. 而水温较高者的矿化度值一般稳定在 300~400 mg/L, pH 值为 8 左右,呈

微碱性, 显示随着水温度的增加矿化度变小、pH 值变化不大的趋势. 地下水类型为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$ 型,溶解性总固体(TDS)含量为 272 mg/L, pH 值为 7.72,总硬度(CaCO_3)为 231 mg/L.

在常规水阳离子组分中, K^+ 、 Na^+ 含量分别为 0.27~13.5 mg/L 和 7.2~135 mg/L,而水温较高者的 K^+ 、 Na^+ 含量均较低, 分别小于 1.0 mg/L 和 10 mg/L. Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量分别为 44.01~685 mg/L 和 14.2~155mg/L,水温较高者的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量均较低, 其含量分别小于 50 mg/L 和 30 mg/L. 阳离子组分含量与水温显示明显的负相关.

在常规水阴离子组分中, HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 组分含量分别为 119~401 mg/L、7.07~1 220 mg/L、0~432 mg/L、2.6~439 mg/L. 其中水温较高者 HCO_3^- 含量较高,平均含量 242.5 mg/L, Cl^- 、 SO_4^{2-} 含量较低,一般均小于 10 mg/L.

从同位素测试结果可知, 无论是对流型还是传导性地热田, 其 $\delta^{18}\text{O}$ 、 δD 三期 (2019 年 8 月、2019 年 12 月和 2020 年 3 月)值变化较小, $\delta^{18}\text{O}$ 介于 -10.9‰ ~ -8.8‰ , δD 值介于 -82‰ ~ -65‰ 之间,均处在大气降水 ($\delta^{18}\text{O}$ 值介于 -60‰ ~ 0, δD 值介于 -400‰ ~ $+10\text{‰}$) 区间之内 (图 3),说明本区地下热水主要来自大气降水. 而对于埋深大于 1 000 m、盖层岩石透水性很弱的地下热水, 应主要为沉积水和径流补给水. 通过与 2019 年 8 月锦州丘陵地区义县白台子雨水站 (δD 值为 -53‰ , $\delta^{18}\text{O}$ 值为 -7.9‰) 和义县南上沟雨水站 (δD 值为 -53‰ , $\delta^{18}\text{O}$ 值为 -7.3‰) 对比来看, δD 、 $\delta^{18}\text{O}$ 值相近, 亦说明热储层中一部分地下水来自大气降水. 采

表 2 锦州市地热流体水化学成分表

Table 2 Hydrochemical compositions of geothermal fluid in Jinzhou City

热储类型	地热田	TDS/ (mg/L)	pH	氟离子/ (mg/L)	偏硅酸/ (mg/L)	水化学 类型	氟含量/ TU	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$			$\delta\text{D}/\text{‰}$		
								一期	二期	三期	一期	二期	三期
对流型	凌海市汤池子 (Ⅱ)	485	7.57	3.8	43.2	$\text{HCO}_3\text{-Na}\cdot\text{Ca}$	<1.0	-10.0	-10.1	-10.1	-72	-73	-73
		272	7.72	<0.05	19.3	$\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$	<1.0	-8.8	-9.1	-9.2	-65	-66	-67
	义县聚粮屯-七里河 (Ⅲ)	368	8.46	1.5	12.6	$\text{HCO}_3\text{-Mg}\cdot\text{Na}\cdot\text{Ca}$	<1.0	-10.5	-10.9	-10.9	-76	-77	-77
	锦州市城区 (Ⅴ)	3724	7.69	3.4	1.1	$\text{SO}_4\cdot\text{Cl}\text{-Na}$	<1.0	-10.7	-10.8	-10.8	-75	-75	-76
传导型	凌海市大有-西八千	477	7.81	<0.05	45.4	$\text{HCO}_3\text{-Ca}$	<1.0	-10.6	-10.8	-10.8	-81	-82	-82
		528	7.58	<0.05	52.1	$\text{HCO}_3\text{-Ca}$	<1.0	-10.2	/	/	-77	/	/

用定性方法估计地下水的年龄,地热流体检测结果氡含量均小于 1.0 TU,说明地热流体为亚现代(1952 年以前)与近代补给的混合水。

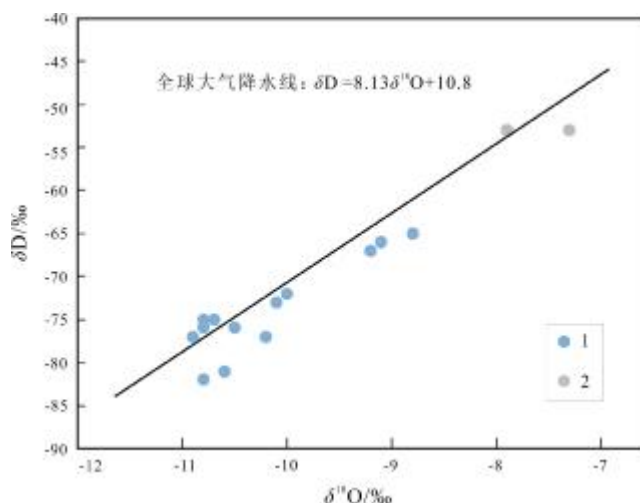


图 3 地热水样与区域大气降水线关系图

Fig. 3 Relationship between geothermal water samples and regional atmospheric precipitation line

1—地热水(geothermal water); 2—雨水(atmospheric precipitation)

区域上,与此相同的地热田还有凌海市汤池子地热田(Ⅱ)(ZK4),只是热储岩性为长城系高于庄组白云岩。

2.1.2 义县聚粮屯—七里河地段地热田(Ⅲ)

1)地质特征

该地热田属阜新—义县—锦州盆地地热成矿区,处于该盆地东缘隆起带。区内出露的地层为中元古界长城系团山子组,中生界白垩系义县组、九佛堂组、阜新组、孙家湾组,第四纪地层主要为上更新统坡洪积层和全新统冲洪积层、冲积层。

区内构造主要为哈尔套—锦州断裂带,它不仅构成了义县—锦州盆地的东缘断裂,也是导水、控热断裂。据已有资料可知,该断裂走向北东,倾向北西,倾角 55°~87°,显示先压扭后张的特点。断裂带较宽,次生断裂较多,呈雁型排列。断裂带由断层角砾岩、碎裂岩和糜棱岩组成。

2)地温场特征

地表无地温异常,常温带深度为 30 m,背景值 9.5℃。地温总体趋势随深度增加逐渐递增。根据 ZK3 和 ZK5 测井数据,地温梯度处于 1.48~3.10℃/hm。

3)热储特征

由于该地热田受控于哈尔套—锦州断裂带,根据

ZK3、ZK5 钻孔确定的中生代深度(>2 300 m, 699.46 m),说明热储埋藏较深。热储层岩性为蓟县系雾迷山组白云质灰岩、白云岩,揭露热储温度为 33~43℃。

4)水化学特征

区内 2 口地热井(ZK3、ZK5),出口水温分别为 42℃和 33℃,涌水量分别为 295.92 m³/d 和 10 m³/d。

ZK3 地热井地下热水水化学类型为 Cl·SO₄-Na 型,溶解性总固体含量为 1 300 mg/L,属微咸水。其中 F⁻、偏硅酸、偏硼酸浓度分别为 3.4 mg/L、28.5 mg/L、26.1 mg/L。F⁻浓度和偏硼酸浓度达到矿水浓度,偏硅酸浓度达到医疗价值浓度。ZK5 地热井地下热水类型为 HCO₃-Mg·Na·Ca 型,溶解性总固体含量为 368 mg/L, pH 值为 8.46,总硬度(CaCO₃)为 215 mg/L。其中 F⁻含量偏高,为 1.5 mg/L,大于 1.0 mg/L,达到医疗价值浓度。

2.1.3 锦州市笔架山—世博园地热田(Ⅵ)

1)地质特征

区内出露的地质体简单,主要为新太古界片麻杂岩、中元古界高于庄组及第四系松散层。前第四纪地质体岩性为碎裂的片麻状花岗闪长岩、白云岩、灰岩、含锰砂岩。第四系具二元结构,上部为亚黏土层,厚度 3.0 m,下部为砂砾石层,厚度为 7~8 m。

区内构造以北东向和近东西向断裂构造为主(图 4),形成于印支期和燕山期。由于世博园东部多被第四系覆盖,为了查明其构造情况,通过可控源音频大地电磁测深进行了物探解译。共解译出断裂构造 6 条,具体如下: F1 断裂位于于屯村,走向北西,倾向北东,倾角 80°,延伸大于 2 800 m; F2 断裂位于拾拉嘴北—世博园北一带,走向北东,倾向南南东,倾角 80°,断裂带宽度 200~300 m,切割深度大于 3 000 m; F3 断裂位于拾拉嘴北—世博园北一带,与 F2 断裂近平行,走向北东,倾向北北西,倾角 70°,断裂带宽度 300~500 m,切割深度大于 3 000 m,该断裂带内视电阻率值普遍低于 600 Ωm,断裂带内岩石破碎,为地下热水的储存和运移提供了充足的空间,为本区较好的储热构造; F4 断裂位于龙栖湾大道西侧,走向北东,倾向西,倾角 70°,断裂带宽度 200 m 左右; F5 断裂位于龙栖湾大道东侧,与 F4 断裂近平行,走向北东,倾向东,倾角 80°,断裂带宽度 200 m 左右; F6 断裂位于安子山村—朴屯西部一带,走向北东,倾向东,倾角 73°,断裂带宽约 30 m,破碎带内由辉绿岩填充。上述构造破碎带

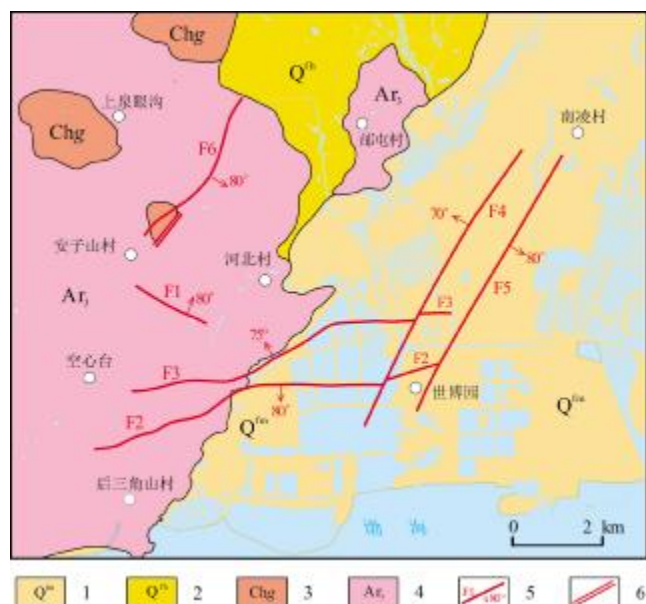


图4 锦州市世博园地区地热田构造解译图

Fig. 4 Structural interpretation map of geothermal field in Jinzhou Expo Park area

1—第四系冲海积、海积砂土、黏土(Quaternary alluvial-marine deposit, marine deposit sand, clay); 2—第四系冲洪积砂土、黏质砂土(Quaternary alluvial-proluvial sand, clayey sand); 3—中元古界高于庄组白云岩、灰岩、含锰砂岩(dolomite, limestone, Mn-bearing sandstone of Gaoyuzhuang fm., Mesoproterozoic); 4—新太古界花岗闪长质片麻岩(Neoarchean granodioritic gneiss); 5—物探解译断裂(geophysical interpreted fault); 6—断裂(fault)

及围岩均为新太古代片麻杂岩。

2) 地温场特征

区内地表无地温异常,常温带深度为30 m,背景值9.5℃。地温总体趋势随深度增加逐渐递增。

3) 热储特征

该地热田内断裂构造较复杂,热储沿断裂破碎带展布,热储岩性为破碎的花岗片麻岩,钻孔揭露埋藏深度大于2 200 m,钻孔揭露储热温度35~43℃。

4) 水化学特征

区内2口地热井(ZK11、ZK12),出口水温分别为43℃和35℃,涌水量分别为271.92 m³/d和840 m³/d。

根据ZK11水质分析结果,地热水中偏硅酸含量43.24 mg/L,氟含量3.44 mg/L,总硬度为328.4 mg/L,总碱度为74.04 mg/L,溶解性总固体含量1 053 mg/L, pH值7.26,为中性、微咸硬水。

从区域上看,该型地热田还有锦州市城区地热田(V, ZK1、ZK6-8、ZK10、ZK14)和北镇正安-黑山白厂门地热田(VII, ZK17)。它们除了热储层位不同外(前者为新太古代片麻杂岩,后者为义县组安山岩),成因和构造位置完全相同。

2.2 孔隙层状传导型地热田

锦州市目前发现的重要地热田中,仅有凌海市大有-西八千地热田属于该类型地热田(IV),地热田内地热井较多,代表性地热井有ZK2、ZK15、ZK16,其赋存特征如下。

1) 地质特征

该地热田处于二级构造带辽河断陷的西部凹陷与中央凸起之间,呈北东向展布。地热田内地层主要为始新统一上新统的一套湖相碎屑沉积,从老到新分为沙河街组、东营组、馆陶组和明化镇组,岩性为砂岩、泥岩,偶夹有火山岩,顶板埋深一般1 600~1 800 m,它们对地下热能的分配起到了重要的控制作用。其下(基底)为中新元古代、早古生代地层,而盖层为第四系冲积、冲海积的砂和黏土。区内经历了强烈的火山活动,为地热田提供了主要的热源。

2) 地温场特征

大有-西八千地热田的地温来源于地幔热流和地壳热流,但主要热源为地幔热源(地幔柱)。地温在平面上基本一致,根据已有资料,其常温带深度为50 m,常温带基准温度11.5℃,地温总体趋势随深度增加而增加,地温梯度基本处于3.27~3.39℃/hm,大地热流值约为64 W/m²。

3) 热储特征

热储层为沙河街组三段,岩性为泥岩与砂岩互层,埋深1 130 m,热储层的渗透系数为1.2 m/d,热储基底为白垩系义县组火山岩。

4) 水化学特征

区内3口地热井(ZK2、ZK15、ZK16)的井口温度分别为31℃、41℃、53℃,后两者涌水量分别为50 m³/d和10 m³/d。

ZK15、ZK16井水化学分析表明,地下热水类型为HCO₃-Ca型,溶解性总固体含量为477~528 mg/L, pH值为7.58~7.81,总硬度为76.9~89.7 mg/L。其中偏硅酸浓度为45.4~52.1 mg/L,达到医疗价值浓度。

3 地热资源储量及潜力评价

3.1 地热资源量

锦州市现发现的 7 个地热田中仅大有-西八千新生代地热田属已探明小型传导型中低温地热田,其余均为未探明,需要进一步勘查确定其资源储量.本次研究依据《地热资源评价方法及估算规程》(DZ/T0331—2020),采用已有数据对锦州市地热资源进行初步估算.地热资源量采用热储法计算(公式 1),地热资源可开采量采用回收率法计算(公式 2),地热流体可开采热量采用公式(3)进行计算.

$$Q=C_r\rho_r(1-\Phi)V(T_1-T_0)+C_w\rho_wq_w(T_1-T_0)$$

$$Q_k=RE\cdot Q$$

$$Q_w=Q_kC_w\rho_w(T_1-T_0)$$

式中: Q 为地热资源量 (kJ); C_r 、 C_w 为分别为热储岩石和水的比热 [kJ/(kg·℃)]; ρ_r 、 ρ_w 为分别为热储岩石和水的密度(kg/m³); Φ 为热储岩石孔隙率(或裂隙率); q_w 为流体储量,包括静储量和弹性储量(m³); T_1 为热储层温度(℃); T_0 为恒温层温度(℃); V 为热储体积(m³); Q_k 为地热资源可开采量(kJ); RE 为回

收率; Q_w 为地热流体可开采热量 (kJ/a); Q_k 为地热流体可开采量(m³/a).

计算结果(表 3)表明,锦州市地热资源总量(Q)为 10.156×10^{15} kJ,可开采热资源量(Q_k)为 10.156×10^{14} kJ,折合标准煤为 34.65×10^6 t/a, 地热流体可开采热量(Q_w)为 2.013×10^9 kJ/a,资源潜力较大.

3.2 地热资源开采潜力

本次采取地热流体热量开采系数(公式 4),并结合最大水位降速来确定地热资源开采潜力.

$$C_E=E_k/E_y\times100\%$$

式中: C_E 为地热流体热量开采系数; E_k 为地热流体开采热量(kJ/a); E_y 为地热流体允许开采热量(kJ/a).

计算结果(表 4)表明,锦州市 4 个重要地热田地热流体允许开采热量(E_y)介于 $1\ 271.9\times10^7\sim47\ 400\times10^7$ kJ/a, 地热流体开采热量 (E_k) 介于 $0.96\times10^7\sim15.048\times10^7$ kJ/a,热量开采系数(C_E)介于 0.01~0.43,表明锦州市 4 个重点地热田均为极具开采潜力区.

3.3 地热资源开发利用

锦州市现有的地热资源,除凌海市大有-西八千

表 3 锦州市地热资源估算表

Table 3 Estimation of geothermal resources in Jinzhou City

地热田	面积/ km ²	岩石密度/ (kg/m ³)	岩石比热/ [kJ/(kg·℃)]	岩石 孔隙率	热储层温度/ ℃	恒温层温度/ ℃	热储资源量/ 10 ⁸ kJ	可采资源量/ 10 ⁸ kJ	节煤量/ (t/a)
太和区汤河子	10	2700	920	0.30	35	9.5	1271.936	127.1936	434
凌海市汤池子	0.44	2700	794	0.10	27	9.5	3484.905	348.4905	1189
义县聚粮屯-七里河	1.25	2650	836	0.05	36	9.5	76379.64	7637.964	26061
大有-西八千	380	2600	878	0.27	53	9.5	101460000	4740	346.19×10 ⁵
锦州市城区	16.82				35	9.5	7276	727.6	2483
笔架山-世博园	27.50				39	9.5	6129	612.9	2091
北镇正安	8.12				43	9.5	7335	735.5	2510

表 4 锦州市地热流体热量开采系数计算

Table 4 Calculation results of heat extraction coefficients of geothermal fluid in Jinzhou City

地热田	热储温度/ ℃	面积/ km ²	地热流体允许开采热量/ (10 ⁷ kJ/a)	地热流体开采热量/ (10 ⁷ kJ/a)	热量开采系数/ %	最大水位降速/ (m/a)	开采潜力 分区
太和区汤河子	35	10	1271.9	2.09	0.16	X<0.2	极具
凌海市汤池子	27	0.44	3484.9	15.048	0.43	X<0.2	极具
义县聚粮屯-七里河地段	36	1.25	76379	0.96	0.01	X<0.2	极具
大有-西八千地段	53	380	101460000	15.048	0.03	X<0.2	极具

一带地热井开发利用程度较高外,其他地热田(井)多未开发,利用程度极低。

从成井深度来看,锦州太和区汤河子地热田及凌海市汤池子地热田勘查深度小于2 000 m,属于开采经济型地热田;其他地段为传导兼对流型地热田,勘查深度2 000~2 800 m,属于开采亚经济型地热田。水温一般在30~60℃之间,根据邻区钻孔推测本区地下热水单井涌水量为300~500 m³/d,预计井深达到3 000 m时,地温可达45℃以上。3个重点对流型地热田推测地热资源总量为81.14×10¹¹ kJ,可采资源量为81.14×10¹⁰ kJ,节煤量为27 684 t/a;传导型地热资源总量为10.14×10¹⁵ kJ,可采资源量47.4×10¹¹ kJ,可开采热量20 627 m³/d。地热田面积达588.34 km²,资源开发潜力巨大。从其地下流体质量来看,溶解性总固体含量在272~1 300 mg/L之间,多可作为生活饮用水及矿(药)泉水利用;其腐蚀系数(K_k)在-2.51~+6.69之间,为非腐蚀性水。

4 结论

1)辽宁省锦州市地热资源存在对流型和传导型两种类型。对流型由断裂构造控制,均处于中生代断陷盆地的盆缘外侧,热储主要为构造裂隙热储和岩溶热储,岩性主要为长城系高于庄组、蓟县系雾迷山组碎裂的白云岩、白云质灰岩,地温梯度1.48~3.10℃/hm。传导型由新生代盆地内所形成的地幔柱控制,热储主要为孔隙热储,岩性为沙河街组的泥岩与砂岩,埋深1 130 m以下,渗透系数为1.2 m/d,地温梯度3.27~3.39℃/hm,大地热流值约为64 W/m²。热储层中的地下水来自丘陵区大气降水入渗地下径流补给,热水温度在30~60℃之间,已发现的7处地热田均为低温地热资源。

2)地下热水pH值为7~8.5,均为中—弱碱性水。阳离子以Ca⁺、Mg⁺和Na⁺为主,但随着温度的增加,显示Ca⁺、Mg⁺增加,Na⁺减少的趋势,阴离子以HCO₃⁻为主。氟、偏硼酸和偏硅酸含量分别为1.5~3.44 mg/L、25 mg/L和28.5~52.1 mg/L。地下水类型主要为HCO₃-Na·Ca型、HCO₃-Ca·Mg型和HCO₃-Ca型。

3)预测地热资源总量为10.156×10¹⁵ kJ,可开采热资源量为10.156×10¹⁴ kJ,折合标准煤为34.65×10⁶ t/a;热量开采系数为0.01~0.43;溶解性总固体含量在272~

1 300 mg/L之间;地热田面积达588.34 km²。地热资源开发、利用潜力巨大。

4)锦州市目前的地热勘查工作程度较低,相似成矿地质背景条件下的找矿力度还远远不够。

致谢:在研究工作及成文过程中得到了邢德和正高级工程师的指导,野外工作得到了项目研究团队的大力支持,在此表示衷心的感谢。

参考文献(References):

- [1]马冰,贾凌霄,于洋,等.世界地热能开发利用现状与展望[J].中国地质,2021,48(6):1734-1747.
Ma B, Jia L X, Yu Y, et al. The development and utilization of geothermal energy in the world[J]. Geology in China, 2021, 48(6): 1734-1747.
- [2]张薇,王贵玲,刘峰,等.中国沉积盆地型地热资源特征[J].中国地质,2019,46(2):255-268.
Zhang W, Wang G L, Liu F, et al. Characteristics of geothermal resources in sedimentary basins[J]. Geology in China, 2019, 46(2): 255-268.
- [3]汪集暘.地热学及其应用[M].北京:科学出版社,2015:8-10.
Wang J Y. Geothermics and its applications [M]. Beijing: Science Press, 2015: 8-10.
- [4]崔健,倪金,马宏伟,等.东北地区城市地质调查成果[J].地质与资源,2020,29(4):402.
Cui J, Ni J, Ma H W, et al. Progress of urban geological survey in Northeast China[J]. Geology and Resources, 2020, 29(4): 402.
- [5]蔺文静,刘志明,王婉丽,等.中国地热资源及其潜力评估[J].中国地质,2013,40(1):312-321.
Lin W J, Liu Z M, Wang W L, et al. The assessment of geothermal resources potential of China [J]. Geology in China, 2013, 40(1): 312-321.
- [6]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.
Wang G L, Zhang W, Liang J Y, et al. Evaluation of geothermal resources potential in China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2017, 38(4): 449-459.
- [7]王贵玲,刘彦广,朱喜,等.中国地热资源现状及发展趋势[J].地学前缘,2020,27(1):1-9.
Wang G L, Liu Y G, Zhu X, et al. The status and development trend of geothermal resources in China [J]. Earth Science Frontiers, 2020, 27(1): 1-9.
- [8]王贵玲,陆川.碳中和目标驱动下地热资源开采利用技术进展[J].地质与资源,2022,31(3):412-425,341.
Wang G L, Lu C. Progress of geothermal resources exploitation and

- utilization technology driven by carbon neutralization target[J]. *Geology and Resources*, 2022, 31(3): 412–425, 341.
- [9]孙明行,王瑞湖,梁礼革,等.广西地热资源特征与潜力评价[J]. *中国地质*, 2023, 50(5): 1387–1398.
- Sun M H, Wang R H, Liang L G, et al. Characteristics and potential evaluation of geothermal resources in Guangxi[J]. *Geology in China*, 2023, 50(5): 1387–1398.
- [10]王贵玲,陆川.碳中和目标驱动下干热岩和增强型地热系统增产技术发展[J]. *地质与资源*, 2023, 32(1): 85–95, 126.
- Wang G L, Lu C. Stimulation technology development of hot dry rock and enhanced geothermal system driven by carbon neutrality target [J]. *Geology and Resources*, 2023, 32(1): 85–95, 126.
- [11]王安东,孙占学,蔺文静,等.江西省地热资源赋存特征及潜力评价[J]. *中国地质*, 2023, 50(6): 1646–1654.
- Wang A D, Sun Z X, Lin W J, et al. Occurrence features of geothermal resources and geothermal potential assessment of Jiangxi Province[J]. *Geology in China*, 2023, 50(6): 1646–1654.
- [12]赵艳婷,沈健,徐欣欣,等.京津合作示范区地热资源评价与综合利用分析[J]. *华北地质*, 2023, 46(02): 24–30.
- Zhao Y T, Shen J, Xu X X, et al. Evaluation and comprehensive utilization analysis of geothermal resources in Beijing-Tianjin cooperation demonstration zone[J]. *North China Geology*, 2023, 46 (2): 24–30.
- [13]张萌,杨豪,黄雯,等.杭嘉湖平原水热型地热资源综合评价与开发利用建议[J]. *地质与资源*, 2023, 32(04): 445–452.
- Zhang M, Yang H, Huang W, et al. Comprehensive evaluation and suggestions for development and utilization of hydrothermal resources in Hangzhou-Jiaxing-Huzhou Plain [J]. *Geology and Resources*, 2020, 29(1): 91–100.
- [14]李红岩,高小荣,任小庆,等.雄安新区三维地热地质模型方法研究[J]. *地质与资源*, 2024, 33(2): 222–229, 236.
- Li H Y, Gao X R, Ren X Q, et al. 3D geothermal geological modeling method of Xiong'an New Area[J]. *Geology and Resources*, 2024, 33(2): 222–229, 236.
- [15]孙洪德,孙延征,刘士秀,等.锦州辖区寻找地热水资源的探讨[J]. *化工矿产地质*, 2010, 32(3): 154–159.
- Sun H D, Sun Y Z, Liu S X, et al. Discussion on prospecting for geothermal water resources in Jinzhou area[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 2010, 32(3): 154–159.
- [16]王贵玲,蔺文静.我国主要水热型地热系统形成机制与成因模式[J]. *地质学报*, 2020, 94(7): 1923–1937.
- Wang G L, Lin W J. Main hydro-geothermal systems and their genetic models in China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2020, 94(7): 1923–1937.
- [17]张戈,姜玉成,邵景力,等.辽宁地热资源与开采潜力研究[J]. *地质与资源*, 2004, 13(1): 22–25, 42.
- Zhang G, Jiang Y C, Shao J L, et al. Study on the situation and exploitation potential of geothermal resources in Liaoning Province[J]. *Geology and Resources*, 2004, 13(1): 22–25, 42.
- [18]吴红梅.地球化学温标法评价锦州市地热资源[D].锦州:辽宁工业大学,2006: 11–15.
- Wu H M. Geochemical temperature scale method for evaluating geothermal resources in Jinzhou city[D]. Jinzhou: Liaoning University of Technology, 2006: 11–15.
- [19]王莹,周训,于媛,等.应用地热温标估算地下热储温度[J]. *现代地质*, 2007, 21(4): 605–612.
- Wang Y, Zhou X, Yu Y, et al. Application of geothermometers to calculation of temperature of geothermal reservoirs[J]. *Geoscience*, 2007, 21(4): 605–612.
- [20]辽宁省地质勘查院.中国区域地质志·辽宁志[M].北京:地质出版社,2017.
- Liaoning Institute of Geological Exploration. Regional geology of China: Liaoning Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017. (in Chinese)