

黄河三角洲地区地热资源及其开发利用前景初析

武羽晓¹, 王珏¹, 尚宇宁¹, 高发祥²

(1. 山东省地矿工程勘察院, 山东 济南 250014; 2. 山东省化工地质勘察院, 山东 济南 250013)

摘要:黄河三角洲地区蕴含着丰富的中低温地热, 为 2000m 以浅经济型地热资源, 经计算, 全区地热资源总量折合标准煤相当于 125×10^8 t, 其中仅地下水总储量就达到 4570×10^8 m³, 可开采储量超过 750×10^8 m³, 至少可以开采 100a。如果形成以东营、河口、孤岛、广饶为中心的 4 个大面积系统的开发利用体系, 并注重地热资源的综合利用和梯级利用, 对于缓解能源紧张、促进经济的可持续发展等方面具有重要的意义。

关键词: 地热资源; 热水资源; 开发利用; 黄河三角洲

中图分类号: P314.1

文献标识码: A

黄河三角洲位于山东省北部, 濒临渤海, 区内除油气资源丰富外, 也蕴藏着丰富的地热资源, 而且开发潜力巨大。目前, 该区内开发利用的地热资源大都是集疗养、旅游为一体, 或者是以养殖为主, 初具规模。

1 区域地质条件

工作区在大地构造单元上属华北地台的一部分。齐河-广饶大断裂将其分为辽冀台向斜和鲁西台背斜 2 个二级构造单元, 本区主要位于辽冀台向斜的东部。辽冀台向斜又被陵县-渤海农场大断裂分割为埕宁隆起和济阳拗陷 2 个三级构造单元, 其中埕宁隆起由郭局子凹陷及义和庄凸起 2 个四级构造单元组成, 济阳拗陷由沾化凹陷、孤岛凸起、陈家庄-青坨子凸起、东营凹陷、广饶凸起等 5 个四级构造单元组成(图 1)。

辽冀台向斜以震荡式下降为主, 接受南部鲁中山区和西部太行山提供的物质, 在本区内堆积了巨厚的新生界。第四纪平原组为河湖相及海相沉积层, 岩性以砂质粘土及粘土质粉砂岩为主, 厚度 300 ~ 350 m。新近纪明化镇组及馆陶组属河湖相沉积层, 分布普遍, 岩性下部以砾状砂岩、砂砾岩、细砂岩为主, 上部以泥岩为主, 为较大的新生代盆地沉积层, 其中明化镇组底板埋深 675 ~ 1 270 m, 沉积厚度 412 ~ 825 m; 馆陶组在凸起区分布特点呈中间薄周

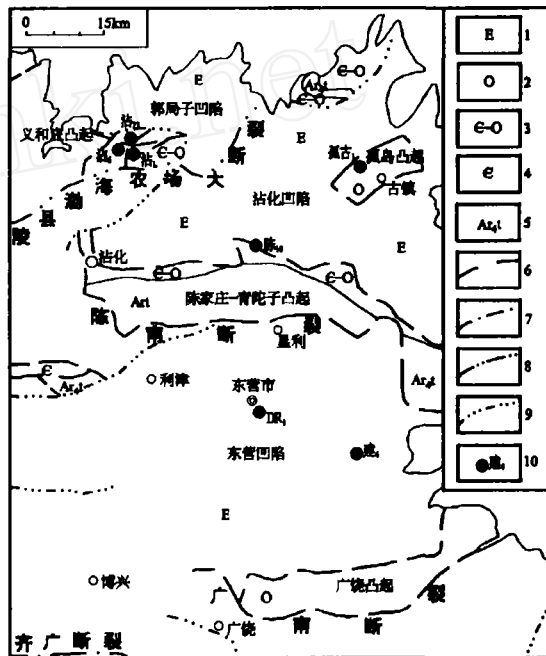


图 1 前新近纪基岩地质略图及主要地热井分布图
1—古近系; 2—奥陶系; 3—寒武—奥陶系; 4—寒武系;
5—泰山岩群; 6—断层; 7—二级单元边界; 8—三级单元边界;
9—四级单元边界; 10—地热井位置及编号

边厚, 凹陷区分布特点呈中间厚周边薄, 顶板埋深 850 ~ 1 250 m, 沉积厚度 400 m 左右, 在沾化凹陷东北部局部地段大于 400 m。古近纪东营组、沙河街组、孔店组属于干旱的温带—亚热带气候条件下的河

收稿日期: 2002-08-30; 修订日期: 2003-05-28; 编辑: 张天祯

作者简介: 武羽晓(1970-), 男, 内蒙古集宁人, 工程师, 主要从事水工环地质研究工作。

湖相及山麓冲积相沉积层。东营组主要发育于东营凹陷与沾化凹陷,在东营凹陷东西方向上地层厚度变化不大,一般厚 200~500 m,而南北方向上沉积厚度受基底构造格局影响呈中间厚两边薄分布规律,其中,王家庄—乔庄镇以东,十六户—胜采一村以西,民丰以南,陈官以北较发育,顶板埋深 1 300~1500m,厚度 300~500 m;五一农场附近及东营以北,钻井—辛安水库一带最发育,顶板埋深 1 350~1500m,厚度大于 500 m;在沾化凹陷地层呈西薄东厚的分布规律,顶板埋深 1 300~2 000 m,厚 200~400 m。沙河街组各凸起区缺失,与上覆东营组、下伏孔店组呈整合接触,厚度大于 2 000 m。孔店组各

凸起区缺失,总厚度一般在 1 500 m 左右。

2 (地热田)地热地质条件

2.1 热储层及埋藏条件

地热资源的储存与分布受地层岩性和基底构造格局的控制。区内主要热储有新近纪馆陶组孔隙热储、古近纪东营组孔隙热储、古近纪沙河街组孔隙热储及寒武—奥陶系裂隙热储。由于古近纪沙河街组为主力油气层,开发地下热水对油气影响较大,因此该组暂不作为主要热储层(表 1)。

表 1 黄河三角洲地区各热储层地热地质条件

热储层	新近纪馆陶组	古近纪东营组	寒武系+奥陶系	备 注
顶板埋深(m)	850~1 250	1200~1700	1000~1500	岩性类别:①馆陶组以砾状砂岩、砂砾岩、细砂岩为主,成岩性差,呈疏松状,底砾岩明显;②东营组以砂岩、细砾岩、细砂岩为主,较松散;③寒武系+奥陶系以灰岩为主,喀斯特裂隙发育
地层厚度(m)	200~650	200~500	0~2000	
热储厚度(m)	80~240	50~150	—	
单井涌水量(m ³ /h)	83.3	62.5	41.7~83.3	
孔隙度(%)	25~35	26~31	3.03	
矿化度(g/L)	5~10	18~20	3~10	
水化学类型	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	
地温梯度(°C/100m)	3.3~4.9	3.5~4.0	4.0~5.0	
热储温度(°C)	49~58	56~131	51~83	

2.2 热储盖层

黄河三角洲地区被第四纪平原组及古近纪明化镇组所覆盖,分布稳定,岩性类别以粘性土及泥岩为主,结构致密,富水性差,热导率低,阻热性能良好,是下伏热储层的较好保温盖层。

2.3 热源及补给来源

2.3.1 热源

本区地下热源主要来自地壳深部及上地幔^[1]。中生代燕山运动时期及新生代喜马拉雅运动时期,在区内产生了许多深大断裂,特别是古近纪孔店组及沙河街组的同生断裂极为发育,因为多期(4期)岩浆活动,使岩浆入侵并携带一些挥发性物质沿断裂向上喷涌,由于上覆巨厚松散沉积物,使深部喷出的热能在一定空间储存下来;另外在凹陷区,新生代

沉积层的重力压缩作用也是产生热能的原因之一,储存下来的热能将地热载体——地下水加热形成了热水资源。

2.3.2 补给来源

根据元素比例系数分析,本区地下热水的来源除部分为盆地沉积物形成时储存下来的沉积水和封存水之外,绝大部分来源于大气降水。同位素资料分析表明,区内地下热水中近代水补给量较少,说明其形成年代久远,径流缓慢,与近代水交替条件差。根据流动系统理论分析,本区地下热水的形成是大气降水在南部或西部山区汇集成地表径流后垂直入渗,在漫长的地质历史中,在水头差的驱动下,沿断裂带或岩层入渗,并发生水岩反应,溶解了围岩中大量的微量元素,形成地下热矿水,由于密度的差异其

自然对流,使地下水缓慢进行循环交替运动,将地下水在孔隙—裂隙中存储下来形成地热田。

2.4 热储上升通道

本区基底断裂均隐伏于新近纪地层之下,较大的断裂有:齐河—广饶大断裂、陵县—渤海农场大断裂、陈南断裂、广南断裂,上述断裂属区域性大断裂,张性为主,切割深度大,为本区地下热水上升的主要通道。

3 地热资源分布特征

黄河三角洲地区共划为以下几个四级构造单元:郭局子凹陷、义和庄凸起、沾化凹陷、孤岛凸起、陈家庄—青坨子凸起、东营凹陷、广饶凸起。区内数十年石油勘探过程中,打出了许多中低温热水井,埋深一般在1 000~1 500 m,水温一般在50.0~70.0℃,水质较好,富含多种对人体有益的微量元素。

3.1 义和庄凸起区

区内新近纪馆陶组直接覆盖于古生界寒武—奥陶系及石炭—二叠系之上,呈不整合接触关系。该区地温梯度4.0~5.0℃/100 m,热储以寒武—奥陶系裂隙热储为主,热储平均厚650 m,面积158 km²,平均温度51.0℃。

沾₂₃井为区内地热井,系奥陶系热储,现自流量为1.87 m³/h,水头高度3.70 m,井口温度48.0℃,矿化度8 000 mg/L,富含镉、铁、氟等微量元素。

3.2 沾化凹陷区

区内新生代地层覆于早前寒武纪变质岩系及古生界之上,该区地温梯度3.0~4.0℃/100 m。热储为馆陶组孔隙热储及东营组孔隙热储。馆陶组呈中间厚周边薄的分布规律,组内热储主要在其东北部,即河口—胜利油田孤岛指挥部一线以北较发育,平均厚250 m以上,面积1 040 km²,平均温度73.0℃;东营组孔隙热储平均厚170 m,面积456 km²,平均温度100℃。

3.3 孤岛凸起区

位于沾化凹陷的东部,该区地温梯度4.0~5.0℃/100 m,有馆陶组孔隙热储及寒武—奥陶系裂隙热储,其中馆陶组孔隙热储平均厚220 m,面积108 km²,平均温度75.0℃;寒武—奥陶系裂隙热储

平均厚300 m,面积108 km²,平均温度83.0℃。

孤古₁井为区内地热井,成并于1972年,成井时自流量为46.67 m³/h,水温86.0℃,取水段1 500~1 777 m,系奥陶系热储,现利用抽油机提水,井口水温38.0℃,矿化度3 141 mg/L,富含铁、镉、氟、锰等微量元素,其中偏硅酸含量为595 mg/L。

3.4 陈家庄—青坨子凸起区

区内新近纪馆陶组直接覆盖于寒武—奥陶系及早前寒武纪变质岩系之上,呈不整合接触关系。该区地温梯度4.0~5.0℃/100 m,热储以寒武—奥陶系裂隙热储为主,热储平均厚500 m,面积414 km²,平均温度75.0℃。

陈₁₀井及沾₁井为区内地热井,陈₁₀井成并于20世纪70年代,成井时自流量为37.58 m³/h,水温75.0℃,取水段1 471~1 490 m,系奥陶系热储,近两年已不自流,且没有配置相应的提水设备,已闲置;沾₁井成并于2000年,成井深度1 160 m,成井时静水位高出地面8.0 m,自流量300 m³/h,系馆陶组热储,现抽水51.60 m降深时流量为1 680 m³/h,井口温度63.5℃,矿化度9 700~9 900 mg/L(两次测试结果),富含镉、溴、碘、铁、氟等多种对人体健康有益的微量元素,其中偏硅酸含量为46.10 mg/L,偏硼酸含量为18.20 mg/L。

3.5 广饶凸起区

区内新近纪馆陶组直接覆盖于寒武—奥陶系之上,呈不整合接触关系。该区地温梯度4.0~5.0℃/100 m,热储以寒武—奥陶系裂隙热储为主,热储平均厚度800 m,面积288 km²,平均温度71.0℃,地热资源量3.30×10¹⁰ J,折合标准煤1.13×10⁹ t。

3.6 东营凹陷区

该区第四纪地层直接覆于早前寒武纪变质岩系及古生界之上,该区地温梯度3.1~4.0℃/100 m^[1]。热储为馆陶组孔隙热储及东营组孔隙热储。馆陶组呈中间厚周边薄的分布规律,组内热储主要在胜利油田—史口镇—盐垛—牛庄镇—六户镇—辛庄—五一农场二分场及坨庄—东营市西城区—钻井一带较发育,平均厚度180 m,面积258 km²,平均温度59.0℃;东营组孔隙热储平均厚度220 m,面积99 km²,平均温度72.0℃。

建₄井为区内地热井,成并于1988年,系馆陶组热储,44.60 m降深时的单井涌水量为1 339 m³/d,井

口温度 53.0℃,矿化度 20 631 mg/L,富含锶、溴、钡、锰、铁、锂等微量元素,其中偏硅酸含量为 35.60 mg/L。

4 地热资源量及热水资源量^①

4.1 地热资源量

经勘查证实,黄河三角洲地区蕴含着丰富的地热资源,根据热储法估算,本区地热资源总量及可利用地热资源量见表 2。

4.2 热水资源量

经勘查表明,黄河三角洲地区储存着丰富的热水资源,根据容积储存—弹性储存法估算,本区热水资源量及可采热水资源量见表 3。

表 2 黄河三角洲地区地热资源总量及可利用地热资源量

热储层	地热资源总量		采收率(%)	可利用地热资源量	
	热量(J)	折合标准煤(t)		热量(J)	折合标准煤(t)
馆陶组	1.40×10^{20}	4.79×10^9	25	3.51×10^{19}	1.20×10^9
东营组	1.09×10^{20}	3.73×10^9	25	2.73×10^{19}	9.31×10^8
寒武—奥陶系	1.16×10^{20}	3.96×10^9	15	1.74×10^{19}	5.94×10^8
合计	3.66×10^{20}	1.25×10^{10}	—	7.98×10^{19}	2.72×10^9

表 3 黄河三角洲地区热水资源量及可采热水资源量

热储层	热水资源量(m ³)	可采比例系数(%)	可采热量(m ³)	开采期限 100 年(m ³ /d)
馆陶组	2.73×10^{11}	12.8	3.50×10^{10}	9.58×10^5
东营组	1.63×10^{11}	12.8	2.08×10^{10}	5.70×10^5
寒武—奥陶系	2.41×10^{10}	80.0	1.93×10^{10}	5.28×10^5
合计	4.57×10^{11}	—	7.50×10^{10}	2.06×10^6

5 开发利用方向

5.1 开发利用概况

现在黄河三角洲地区地热资源还没有形成大面积系统的开发利用体系,开发利用尚处于初级阶段。目前,该区内开发利用的地热资源利用项目主要有孤岛温泉疗养院、天鹅湖温泉度假村、徒骇河农场温泉康乐宫等。主要用于洗浴、治疗皮肤病等。

5.2 开发利用方向

作为地热资源的载体——地下热水,只有向综合利用系列化方向发展,提高其利用率,才能做到合理利用的效果。根据国外和我国近年来开发利用地热田的经验,区内不同温度的地下热水可以在种植

养殖防冻、洗浴洗涤及空间采暖等多方面得到开发利用。

5.3 开发利用前景

①地热资源是热效率高无污染的清洁能源,除了有医疗、洗浴等功效外,还可以替代热电厂作为供水供热的能源。②本区内地热资源蕴藏量大(全区地热资源总量折合标准煤相当于 125×10^8 t,其中仅地下热水总储存量就达到 4570×10^8 m³,可开采储量超过 750×10^8 m³,至少可以开采 100a)。③区域内地热资源埋深一般在 1 000 ~ 1 500 m,为 2 000 m 以浅

① 山东省地矿工程勘察院,黄河三角洲地区地热资源调查, 2001。

经济型地热资源。④区域内热水温度一般在 50.0 ~ 70.0℃,多属低温地热资源的热水型和温热水型。⑤区域内热水的矿化度在 3 ~ 20 g/L,热水中富含铁、锶、氟、锰、溴、碘、钡、锂、偏硅酸、偏硼酸等多种对人体健康有益的微量元素(部分微量元素已达到命名矿水浓度),具有较高的医疗价值和保健作用。

黄河三角洲地区为一大型地热田,其在综合利用、梯级利用方面具有广阔的开发前景。如果形成以东营、河口、孤岛、广饶为中心的 4 个大面积系统的开发利用体系,那么它将会进一步推动该区域的经济的发展。东营地处城市中心,其地热开发可注重于工业(木材加工、轻纺印染、工业锅炉)、医辽、保健、休闲、洗浴和人民生活等方面,从而带动该区工业、旅游和医辽事业的发展。河口地区可注重于供热(软水直接供热,硬水先经过热交换,然后才能供热),也可以广泛用于蔬菜种植、花木繁育、禽畜孵

化、鱼虾养殖等方面,从而带动该区农业及其他新型产业的发展。孤岛地区可以建立大面积的地热温室,该区地热温度较高,若有效做好地热资源的综合利用、梯级利用,可以使该区形成较大规模的地热产业。广饶地区由于其地热温度不高,可以注重在休闲疗养等方面发展。

黄河三角洲地区蕴含着丰富的地热资源,且具有分布广、面积大、水质较好、温度适中等特点,开发潜力巨大,如果合理开发,能做到综合利用及梯级利用并重,合理排放,那么在能源紧缺的今天,大力开发利用该区域的地热资源,对于合理利用自然资源、缓解能源紧张、改善投资环境、减少环境污染、促进经济的可持续发展等方面具有重要的意义。

参考文献:

[1] 陈墨香. 华北地热[M]. 北京: 科学出版社, 1988, 24 - 57.

Primary Analysis on Geothermal Resource and Its Exploration and Utilization Future in Huanghe Delta Area

WU Yu-xiao¹, WANG Jue¹, SHANG Yu-ning¹, GAO Fa-xiang²

(1. Shandong Geo-engineering Institute, Shandong Jinan 250014, China; 2. Shandong Geological Exploration Institute of Chemical Industry, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: There is rich medium-low temperature geothermal resource in Huanghe delta area, which belongs to shallow economical geothermal resource under 2 000 m. Through measurement, total amount of geothermal resource is equal to 125×10^9 t standard coal. Among them, underground geothermal reserve is $4 570 \times 10^9$ m³, workable reserve is more than 750×10^9 m³, which can be explored more than 10 years. If an exploration and utilization system is formed, in which Dongying, Hekou, Gudao and Guangrao are its center, and more attention is paid on synthetic utilization of geothermal resource, it can lessen energy source urgency, promote investment environment, and improve continuous development of economy.

Key words: Huanghe delta area; geothermal resource; hot water resource; exploration and utilization