

东营黄河三角洲地热资源特征及其开发利用

曲万隆^{1,3)}, 邢同菊^{1,3)}, 张建伟²⁾, 葛育廷²⁾, 王帅^{1,3)}

1) 青岛地质工程勘察院, 山东青岛, 266100; 2) 青岛大学环境科学与工程学院, 山东青岛, 266071;

3) 山东省地矿局城市地质与地下空间资源重点实验室, 山东青岛, 266100

内容提要:东营黄河三角洲地热资源非常丰富, 在分析地热地质及地热水的常规离子、微量元素、有害物质、放射性等的基础上, 着重分析了地热资源开发利用, 目前主要以供暖、洗浴、养殖为主。同时, 关注了地热资源不合理开采及尾水排放对环境的负面影响问题。根据当前地热资源开发利用现状及存在的问题, 提出了利用梯级开发模式、改善尾水排放、地热井动态监测等资源保护与环境治理的建议。

关键词:地热资源; 特征; 开发利用; 黄河三角洲

地热资源是一种可再生的新型清洁能源, 其开发利用对完善能源结构、改善生态环境和促进社会的可持续发展等有十分重大的意义(Weideset al., 2014; Orkun et al., 2018)。东营市黄河三角洲地区的地热资源极为丰富, 开发前景十分广阔。随着黄河三角洲地区开发进程的加快和人民生活需求的增加, 对地热资源的利用量将会越来越大。

1 地热地质

东营黄河三角洲在地质构造上属太古界及古生界基底构造基础上发育起来的中、新生代断陷盆地。受差异性升降运动的影响, 一直缓慢下降, 沉积了巨厚的陆相碎屑岩沉积层。地热水富集在新近系和古近系层状砂岩的孔隙-裂隙和古生界石灰岩的岩溶-裂隙内, 热储类型为层状孔隙-裂隙和岩溶-裂隙型。地热资源类型属沉积盆地热传导型, 局部为深循环对流型。根据地热资源温度分级, 该区地热资源为中低温地热资源、温热水型(张建伟等, 2011)。

主要热储层有新近纪馆陶组、古近纪东营组碎屑岩和深部寒武-奥陶系灰岩, 其中新近系馆陶组细碎屑岩孔隙-裂隙热储为东营市主要热储层(Zhang Huixia et al., 2009; Wang Feng et al., 2012)。

馆陶组热储层在全区广泛分布, 只在陈家庄凸起中部缺失, 地层厚度变化较大, 与下伏东营组、寒武-奥陶系及太古宇呈不整合接触; 顶板埋深 500~1250m, 地层厚度一般为 70~650m, 个别地带缺失, 砂层厚度一般 80~240m, 砂岩百分比 20%~40%。东营组热储层在区内分布不连续, 在义和庄凸起、埕子口凸起、陈家庄-青坨子凸起、广饶凸起及工作区南部均有缺失, 顶板埋深一般为 1200~1700m, 地层厚度一般 200~500m。寒武-奥陶系热储含水层是隐伏于新生界之下, 主要分布于义和庄凸起、埕子口凸起南部与北部、孤岛凸起、陈家庄凸起的北部及广饶凸起, 受构造控制, 各凸起区寒武-奥陶系顶板埋深差别较大(Sun Jinfeng et al., 2010; Hu Caiping et al., 2017)。

2 地热水化学特征

2.1 常规离子

采集东营地区的东营、河口、孤岛、仙河、广饶等地区的地热水进行测试, 测试方法按照不同指标离子, 参考《地热资源评价方法》(DZ40-85)中建议的方法来测定。

东营地区常规离子中以 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 七种离子分布最为广泛,

注: 本文为青岛地质工程勘察院开放基金项目(编号 2019-QDDZYKF01)资助成果。

收稿日期: 2019-07-23; 改回日期: 2019-09-16; 责任编辑: 周健。

作者简介: 曲万隆, 男, 水工环工程师, Email: qkyqu@163.com。通讯作者: 张建伟, 男, 水工环高级工程师, Email: 93664399@qq.com。

引用本文:曲万隆, 邢同菊, 张建伟, 葛育廷, 王帅. 2019. 东营黄河三角洲地热资源特征及其开发利用. 地质学报, 93(s1): 212~216, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2019230.

Qu Wanlong, Xing Tongju, Zhang Jianwei, Ge Yuting, Wang Shuai. 2019. Characteristics and exploitation of geothermal resources in the Yellow River delta of Dongying. Acta Geologica Sinica, 93(s1): 212~216.

它们的含量占 95% 以上。

阳离子中 Na^+ 占绝对优势, 含量为 $2840.00 \sim 6825.00\text{mg/L}$, 平均 5389.9mg/L ; 其次为 Ca^{2+} , 含量为 $290.97 \sim 2207.15\text{mg/L}$, 平均 1081.6mg/L ; Mg^{2+} 含量 $32.1 \sim 518.03\text{mg/L}$; K^+ 含量较少, 一般 $2.3 \sim 161.05\text{mg/L}$, 不足 Na^+ 含量的 3%, 部分地热水未检出, 奥陶系 K^+ 含量高于馆陶组和东营组。阴离子中 Cl^- 占绝对优势, 含量 $4921.66 \sim 13848.19\text{mg/L}$, 平均 10597.35mg/L ; HCO_3^- 含量为 $74.31 \sim 515.7\text{mg/L}$, 平均 153.6mg/L ; SO_4^{2-} 含量一般为 $3 \sim 462.34\text{mg/L}$, 个别地热井 $< 3.0\text{mg/L}$ 。

地热水矿化度介于 $8715.31 \sim 23012.27\text{mg/L}$, 平均值 17346.27mg/L , 总硬度介于 $176.69 \sim 7184.26\text{mg/L}$, 平均值 3377.43mg/L , 东营组矿化度和总硬度一般高于馆陶组。地热水水化学类型大多属于 Cl-Na 型, 部分东营组热储地热水水化学类型为 $\text{Cl-Na} \cdot \text{Ca}$ 型。

从垂向上看, 随深度增加, 地热水中 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、矿化度、总硬度总体上呈增大的趋势, Na^+ 、 K^+ 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 保持稳定, 而 HCO_3^- 含量呈减小的趋势。

2.2 微量元素

地热水由于温度高和深层循环过程中的水-岩相互作用, 特别是受温度对溶滤作用的影响, 微量元素含量远比一般地下水高。东营地区采集的地热水中锂、锶、溴、硒、碘、锰、锌、氟、铁、偏硼酸、偏硅酸等微量元素均有不同程度富集。锶含量多为 $14.25 \sim 85.10\text{mg/L}$ 、溴含量为 $26.50 \sim 48.50\text{mg/L}$ 、偏硅酸为 $52.00 \sim 68.25\text{mg/L}$ (图 1), 达矿水浓度或命名矿水浓度。

2.3 有害组分

地热水有害组分主要是指重金属和污染离子, 包括镉、汞、铅、砷、铬、氰化物、酚类等。根据对地热水有害组分的化验分析, 东营市地热水中有害成分含量极微, 不超过《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006) 规定的指标限值, 也大大低于《地热资源评价方法》(DZ40-85) 中规定的地热水有害成分最高允许排放浓度(Zhang Jianwei, 2013)。

2.4 放射性物质特征

地热水中放射性物质皆高于常温地下水, 从图 2 可以看出, 放射性元素在各热储层中差别较大, 表现出寒武-奥陶系地下热水中放射性物质明显高于馆陶组和东营组的特点, 从地热水总 α 放射性看, 寒

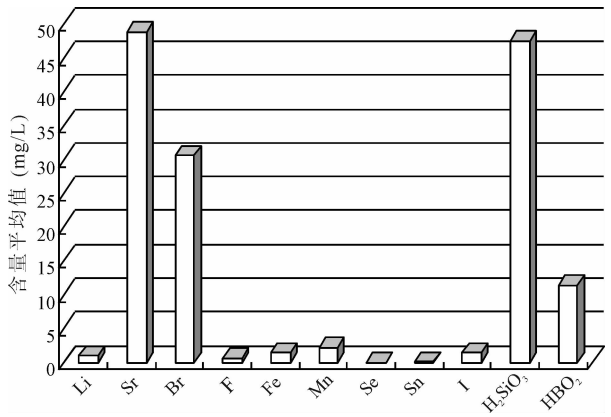


图 1 东营地区地热水微量元素含量平均值对比图
Fig. 1 Contrast grahns of trace elements in geothermal water of Dongying area

武-奥陶系地热水 > 东营组地热水 > 馆陶组地热水, 地热水总 β 放射性、 Ra^{226} 也表现出大致相同的升高趋势, 说明地下热水随深度的增加, 放射性物质含量增大。造成这种变化的主要原因是地下热水不断溶解围岩物质成分, 使围岩产生热蚀变, 放射性物质不断在热水中聚集的结果。

从医疗角度来看, 微量放射性元素对洗浴和浴疗是有好处的, 氡大于 37Bq/L 即为有医疗价值浓度。但过量氡在衰变释放产物中有伽玛放射线, 会对人体产生危害。

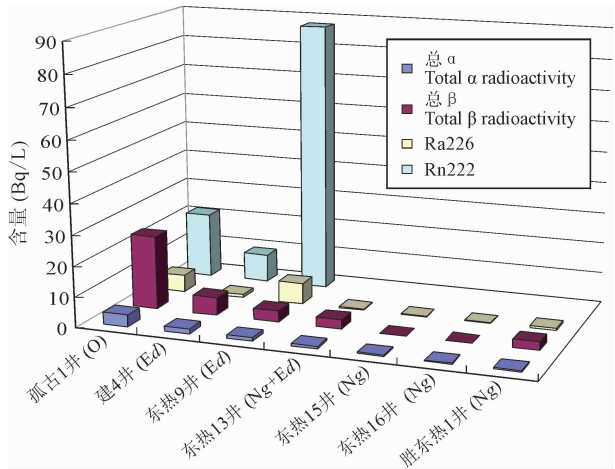


图 2 东营地区放射性元素含量对比图
Fig. 2 Contrast chart of radioactive element content in Dongying area

3 地热开发利用

3.1 利用现状

东营黄河三角洲地热资源的发现最早起源于 20 世纪 70 年代胜利油田的石油勘探, 在石油勘探

中,最先在东营地区曾打出十几口水温大于 50℃ 的地热井,其中五号桩 12 地热井,井口水温达 98℃,居全省之冠。进入 21 世纪以来,在东营市的东营区、河口、孤岛、仙河,陆续开展了地热资源的开发利用(Liu Guiyi et al.,2009)。

目前,东营区有 54 口开采地热井(表 1),其中,馆陶组地热井 34 眼,东营组地热井 8 眼,馆陶组与东营组混合井 10 眼,奥陶系地热井 2 眼;地热水以冬季供暖期(11 月至翌年 3 月)开采为主,总开采量 1034 万 m³/a,其中,馆陶组热储 760 万 m³/a、东营组热储 261 万 m³/a、奥陶系热储 13 万 m³/a。河口区城区有地热井 3 眼,开采馆陶组热水,井深一般

1960~1970m,出水量 80m³/h 左右,井口水温 71~73℃,地热水主要用于供暖,年开采利用量 14.0×10⁴m³/a。孤岛镇有地热井 6 眼,开采馆陶组热水,井深一般 1600~1770m,出水量 70~120m³/h,井口水温 75~82℃,地热水主要用于供暖、洗浴、养殖,年开采利用量 124×10⁴m³/a。仙河镇有地热井 6 眼,开采馆陶组热水,井深一般 1800~2050m,出水量 85~120m³/h,井口水温 78~89℃,地热水主要用于供暖、洗浴,年开采利用量 155×10⁴m³/a。广饶有地热井 3 眼,井深 1177m,出水量 5m³/h,井口水温 26~52℃,地热水主要用于洗浴,年开采利用量 18×10⁴m³/a。

表 1 东营地区地热开发利用现状一览表

Table 1 Current situation of geothermal development and utilization in Dongying area

行政区划	地热井(眼)					开采量(万 m ³ /a)			
	馆陶组	馆陶组+东营组	东营组	奥陶组	合计	馆陶组	东营组	奥陶系	合计
东营区	34	10	8	2	54	760	261	13	1034
河口	3				3	21			21
孤岛	6				6	124			124
仙河	6				6	155			155
广饶	1	1		1	3	6	6	6	18

3.2 利用领域

东营地热水大部用于小区集中供暖,少数用于宾馆洗浴、理疗、温水养殖(Wu Yuxiao et al.,2003)。

地热采暖是地热水最直接、最原始的利用方式之一,也是东营市最主要的地热资源开发利用方式,主要用于住宅小区、宾馆实施冬季集中供暖,多采用间接供暖的方式,一般利用钛合金换热器。

东营宾馆、胜利油田老年公寓、天鹅湖度假村、白云饭店、孤岛温泉疗养院等开展地热水洗浴、理疗,取得较好的经济效益。

广饶县码头乡、利津县汀河乡曾利用地热水进行罗非鱼越冬保种,经多年试验不仅能越冬保种,而且在冬季还能生长繁殖,由于井坏,上述两处地热井已停止使用。河口区孤岛镇芙蓉小区利用地热尾水进行虾、鱼类养殖。

4 地热资源开发的环境效益

地热资源的开发利用可带来直接经济效益,一般来说,地热供暖的成本是城市集中供暖所需费用的 50%~60%,地热的开发还可带动房地产、旅游、休闲娱乐等其他产业的发展,增加劳动就业,促进经济发展。

同时地热资源的开发可以节约常规能源,可在

一定程度上缓解能源紧张状况,减少有害物质的排放,改善生态环境,具有显著的经济效益和环境效益。

(1)地热开发利用总热量:地热放热量采用下式计算:

$$Q_R = C_P Q (t_g - t_h)$$

式中:Q_R 为地热资源放热量(J/a);C_P 为水的比热(J/Kg·℃);Q 为地热水实际开采量(m³/a);t_g 为地热供水温度(℃);t_h 为地热尾水排放温度(℃)。以地热水开采量 554.1 万 m³ 来计算,开发利用总热量 6.92×10¹⁴J,折合标准煤 5.29×10⁴t。

(2)地热开采经济效益、环境效益:地热资源具有绿色环保、污染小的特点,地热供热可以有效减少常规燃料(煤)需求和灰、渣、二氧化硫及氮氧化物排放量,并相应减少城市运输量。按照原煤中各污染物含量标准和各污染物节省治理费用标准值(表 2)。可以求出通过利用地热能,节约常规能源量、污染物减排量及节省的治理费用(表 3)。

5 地热开发与利用存在的问题

(1)地热开发利用模式单一,利用率低。对地热水采暖后,并没有进行深度开发,梯级开发、综合利用程度低。

(2)地热利用技术与设备较落后,设备使用寿命

表 2 原煤中各污染物含量和节省治理费用标准值

Table 2 Standard values of pollutants and cost savings in governance in raw coal

污染物	二氧化碳	二氧化硫	氮氧化物	悬浮质粉尘	煤灰渣
含量(%)	2.386	1.7	0.6	0.8	10
节省治理费用(元/kg)	2.0	1.1	2.4	0.8	运输费

表 3 地热开发利用经济效益环境效益

Table 3 Economic benefits and environmental benefits of geothermal development and utilization

项目	节约标准煤 ($\times 10^4$ t/年)	减少二氧化碳量 (t/年)	减少二氧化硫量 (t/年)	氮氧化物 (t/年)	悬浮质粉尘 (t/年)	节省污染治理费 (万元)
数值	5.29	1262.19	899.3	317.4	5290	850.74

注:煤的燃烧值为 20930kJ/kg,锅炉燃烧和供暖综合效率为 62.5%。

短影响了经济效益的提高,且地热开采同步回灌仍处于试验阶段。

(3)地热尾水具有高温、高盐度的特征,因此地热尾水排放至水体、土壤时,能够对水体、土壤造成一定影响,并进而影响地下水环境,可能导致地表水体、地下水体、土壤等温度和盐度的升高。

(4)地热水开采动态监测的井点偏少,监测网覆盖面窄;监测项目较少,多仅限于水位的监测,缺少对水温、水质、流量的监测,监测设备落后,远程自动化监测系统未得到应用,不能很好地满足地热资源保护的要求。

6 建议

(1)应遵循“梯级开发、综合利用”的策略,对地热资源开发合理布局、分步实施、科学开采、综合利用。

(2)推广自动化监控与热泵技术,加强地热尾水的排放技术研究以及地热回灌井的井口结构和套管等回灌技术研究,提高地热综合利用率。

References

Hu Caiping, Zhang Jingyan, Hao Mengyuan. 2017. Impact analysis of geothermal development on land subsidence in the Yellow River delta. Shandong Land and Resources, 33(2):42~45(in Chinese with English abstract).

Liu Guiyi, Zhang Xinwen, Wang Yanjun. 2009. Study on geothermal resources and its programming in Yellow River Delta area. International Geothermal Association Western Pacific Geothermal Seminar, 55~60(in Chinese with English abstract).

Orkun Teke, Ergül Yasar. 2018. Geothermal energy and integrated resource management in Turkey. Current Pollution Reports, 4(1):1~10.

Sun Jinfeng, Liu Qingzhi. 2010. Research on comprehensive development and utilization of geothermal resources in Dongying. Journal Hebei Agricultural Science, 14(2):91~93 (in Chinese with English abstract).

Wang Feng, Niu Quanli. 2012. Analysis on comprehensive development and utilization of geothermal resource in Dongying City. Shandong Land and Resources, 28(5):25~28 (in Chinese with English abstract).

Weides S N, Moeck I S, Schmitt D R. 2014. An integrative geothermal resource assessment study for the siliciclastic Granite Wash Unit, northwestern Alberta (Canada). Environmental Earth Sciences, 72(10):4141~4154.

Wu Yuxiao, Wang Yu, Shang Yuning. 2003. Primary analysis on geothermal resource and its exploration and utilization future in Huanghe delta area. Land and Resources in Shandong Province, 19(5):32~36(in Chinese with English abstract).

Zhang Huixia, Zhang Zhenghua. 2009. Status and consideration on the geothermal resource development and utilization in Dongying City. Renewable Energy, 27(4):118~120 (in Chinese with English abstract).

Zhang Jianwei. 2013. Numerical simulation about geothermal tail water solute pollution of river based on QUAL-Ⅱ model. Environmental Science & Technology, 36(3):176~180 (in Chinese with English abstract).

参考文献

胡彩萍, 张景燕, 郝梦圆. 2017. 黄河三角洲生态区孔隙热储地热开发对地面沉降的影响分析. 山东国土资源, 33(2):42~45.

刘桂仪, 张新文, 王彦俊. 2009. 黄河三角洲地区地热资源与规划研究. 国际地热协会西太平洋分会地热研讨会, 55~60.

孙金凤, 刘清志. 2010. 东营市地热资源综合开发与利用研究. 河北农业科学, 14(2):91~93.

王峰, 牛全丽. 2012. 东营市地热资源综合开发利用分析. 山东国土资源, 28(5):25~28.

武羽晓, 王珏, 尚宇宁. 2003. 黄河三角洲地区地热资源及其开发利用前景初析. 山东国土资源, 19(5):32~36.

张慧霞, 张正华. 2009. 东营市地热资源开发利用现状与思考. 可再生能源, 27(4):118~120.

张建伟. 2013. 基于 QUAL-Ⅱ模型的地热尾水溶质污染数值模拟. 环境科学与技术, 36(3):176~180.

张建伟, 袁西龙, 路忠诚, 等. 2011. 黄河三角洲地热尾水排放对地表水体的热污染数值模拟. 水资源研究, 32(4):18~20.

Characteristics and exploitation of geothermal resources in the Yellow River delta of Dongying

QU Wanlong^{1,3)}, XING Tongju^{1,3)}, ZHANG Jianwei^{* 2)}, GE Yuting²⁾, WANG Shuai^{1,3)}

1) *Geo-Engineering Investigation Institute of Qingdao, Qingdao, Shandong, 266100;*

2) *School of Environmental Sciences, Qingdao University, Qingdao, Shandong, 266071;*

3) *Key Laboratory of Urban Geology and Underground Space Resources Shandong*

Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Qingdao, Shandong, 266100

** Corresponding author: 93664399@qq.com*

Abstract

Yellow River delta of Dongying hosts abundant geothermal resources. Based on the analysis of geothermal geology and ions, trace elements, harmful substances and radioactivity of geothermal water, this study analyzed the development and utilization of geothermal resources. At present, geothermal resources are mainly used for heating, bathing and breeding. At the same time, society also attaches great concern over the problems of unreasonable exploitation of geothermal resources and the negative impact of tail water discharge on the environment. This study proposed some suggestion such as resources protection and environmental treatment using cascade development mode, improving tailrace discharge, dynamic monitoring of geothermal wells, etc.

Key words: geothermal resources; characteristics; development and utilization; Yellow River delta