

中国东部主要沉积盆地型热储产出特征与地热开发利用建议

李朋威,何治亮,冯建赞,张英,陈新军,武晓玲

中国石化石油勘探开发研究院,北京 100083

摘要 通过对188口地热井的井口温度和单井产水量的统计分析,初步查明了中国东部主要沉积盆地热储的产能特征。结果表明,中国东部沉积盆地型热储总体上以温热水和热水为产出特征,单井产水量以中、高产为主,总体上热储产能以蓟县系雾迷山组和寒武系-奥陶系最大,其次为新近系明化镇组和馆陶组,其中,岩溶裂隙型热储产能变化较大,表明其具有较强的非均质性。建议东部地区积极开展多元化、梯级化地热利用;在地热开发利用过程中,如果基岩地层埋藏较浅可优先选择蓟县系雾迷山组和寒武系-奥陶系岩溶裂隙型热储作为目的层,同时应加强岩溶裂隙型热储非均质性及其与产能关系的研究;而当基岩地层埋藏较深可考虑新近系馆陶组与明化镇组砂岩孔隙型热储。

关键词 地热产能;沉积盆地型热储;沉积盆地;中国东部地区

在传统能源,如煤炭、石油等化石类非可再生矿产资源使用过程中,会产生大量的污染物,这些能源长期大量地使用不仅会导致全球能源紧缺,同时也会给环境造成极大破坏,并严重影响和威胁人类的生存环境。因此,节能减排,寻找并利用环境友好、可再生能源已成为全球当务之急。

地热资源是一种洁净的可再生能源,具有储量大,使用方便、稳定,成本低廉等优点,在供暖、供热、制冷、医疗、洗浴、康乐、水产、温室等行业有广泛的利用前景。因此,规模化合理开发地热资源,可以改善能源结构,提高可再生能源利用比例,对实现节能、减排目标具有重大意义。

近几年来,随着中国东部地区空气污染形势的不断加剧,东部地区地热资源的开发利用也提上日程,目前该区已经成为中国地热资源开发利用的主要战区,但是随着地热资源勘探开发不断推进,发现不同地区地热井的井口温度和产水量差异较大,因部分地热井的井口温度或产水量较低而严重影响了地热资源的开发利用。因此,为了摸清中国东部沉积盆地型热储产出特征,本文收集并统计分析了东部曾经及目前正在开发利用的188口地热井的产出特征,包括井口温度和地热产水量,旨在探讨中国东部沉积盆地热储产能特征及其产出规律,从而为指导中国东部沉积盆地地热资源的开发利用提供依据。所收集的地热井资料覆盖了河北、天津、北京及山东、河南部分地区(目前中国东部地区主要地热开

发利用区),其中,河北82口、天津32口、北京33、山东33口、河南8口。涉及的热储层包括中元古界长城系高于庄组、蓟县系雾迷山组、下古生界寒武系-奥陶系,新生界新近系馆陶组和明化镇组等中国东部沉积盆地主要热储层系,所收集的地热井资料既涵盖了许多已发表的数据^[1-10]。所统计的数据覆盖面较全,且具有一定代表性,能反映中国东部沉积盆地主要热储层的产出特征。

1 地热开发利用概况

研究表明,中国地热资源丰富、且类型多样,既有广泛分布的浅层地热能和水热型地热资源,同时很多地区具备形成干热岩资源的地质条件。其中,水热型地热资源是当前中国地热开发利用的主体。根据近期全国31个省市地热资源调查结果,中低温水热型地热资源总量为 4.01×10^{22} J,其中,沉积盆地型地热资源量为 3.66×10^{22} J,约占中低温地热资源总量91.3%,折合标准煤 1.68×10^{10} t,地热流体可采量达 4.37×10^{15} m³/a,折合 1.49×10^8 t/a标准煤^[11],可见中国中低温水热型地热资源主要由沉积盆地型地热资源构成,且开发利用潜力巨大。

据统计,截至2015年底,中国共有地热钻井5818口^[12],其中位于东部具有相对较高热背景的沉积盆地及部分山地区的就有3181口,涵盖北京、天津、河北、山东、河南、山西等6

收稿日期:2016-11-27;修回日期:2017-02-07

基金项目:中石化科技部项目(G5800-13-ZS-KJB008,G5800-14-ZS-YK003-1)

作者简介:李朋威,高级工程师,研究方向为非常规资源勘查与评价,电子邮箱:lpwei@126.com

引用格式:李朋威,何治亮,冯建赞,等.中国东部主要沉积盆地型热储产出特征与地热开发利用建议[J].科技导报,2017,35(14):75-79;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2017.14.009

个地区,约占总井数的54.7%,并以河南、北京、天津、河北居多。所开采的热储层系主要有蓟县系雾迷山组(J_{xw})、寒武系-奥陶系(O+ ϵ)、新近系明化镇组(N_m)和馆陶组(N_g),部分地区则兼采长城系高于庄组(Ch_g)、古近系东营组(Ed)等。其中,天津地区以开发蓟县系雾迷山组、新近系明化镇组和馆陶组热储层为主^[12];河南地区以开采新生界热储层为主,部分为寒武系-奥陶系热储层^[13];北京地区以开采蓟县系雾迷山组热储层为主,兼顾寒武系-奥陶系热储层^[14]。所开采的地热资源主要用于地热供暖、洗浴和养殖等三大产业,少量的地热水用于生活用水、农副食品加工、纺织印染、皮革加工、干燥等产业,另外,部分地区实现了地热梯级利用,如北京良乡的南宫地热博览园^[12,14-17]。

2 热储产出总体特征

2.1 井口温度

根据目前已开发的井温数据,中国东部沉积盆地型热储井口温度为32~118℃,主要介于40~80℃之间,平均约64.7℃,总体呈正偏态分布(图1)。其中,温水井(25~40℃)约占总井数的3.89%,温热水井(40~60℃)占42.22%,热水井(60~90℃)占47.78%,大于90℃的井仅占6.11%。因此,中国东部沉积盆地型热储产出的地热水以温热水和热水为主,仅部分地热水温度超过了90℃,总体上为温度偏低的中低温地热资源。

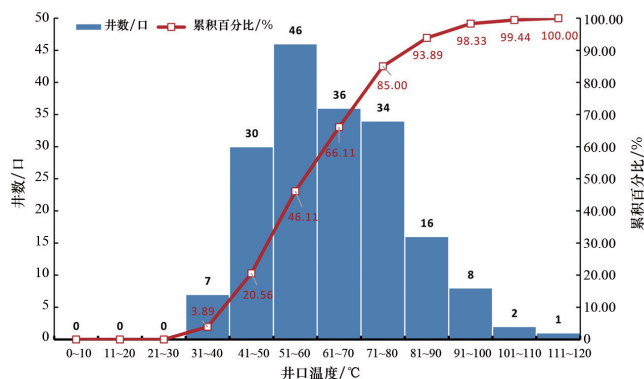


图1 中国东部沉积盆地型热储井口温度频数直方图
Fig. 1 Frequency histogram of the wellhead temperature of the sedimentary geothermal reservoirs in the eastern part of China

2.2 单井产水量

根据单井产水量统计结果,中国东部沉积盆地型热储单井产水量变化范围较大,产量最小值仅为2.00 m³/h,最大值达166.67 m³/h,在2.0~120 m³/h范围内均有较大分布,平均63.18 m³/h,总体呈负偏态分布(图2)。根据这一分布特征,依据地热资源地质勘查规范(GB/T 11615—2010),可将热储单井产量划分为低产(0~45 m³/h)、中产(45~90 m³/h)、高产(90~135 m³/h)、极高产(>135 m³/h)4个等级,则该低产井、

中产井、高产井、极高产井分别为63口、59口、40口、4口,分别占总井数的37.95%、35.54%、24.10%、2.41%,其中,大于45 m³/h的井数约占总数的62.05%。因此,就热储单井产水量来说,有5%以上的井表现为中高产,甚至极高产特征。

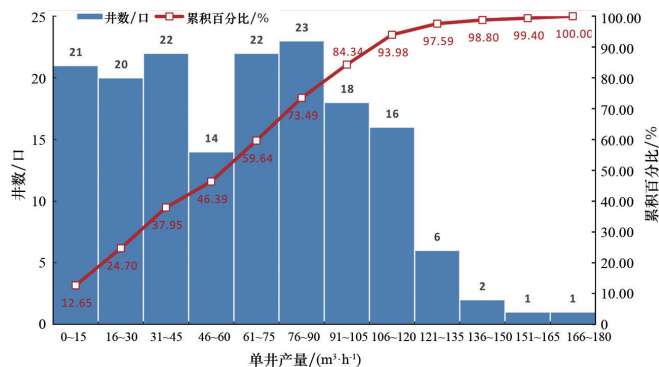


图2 中国东部沉积盆地型热储单井产量频数直方图
Fig. 2 Frequency histogram of the single well yield of the sedimentary geothermal reservoirs in the eastern part of China

2.3 井口温度与单井产水量关系

沉积盆地型地热资源为典型的传导型地热资源,即地热的形成以热传导为主。一般情况下,热储温度随着深度的增加而增加,而井口温度则在一定程度上能够很好地反映地下热储的热状况,因此,对于同一口井来说,井口温度的高低能够间接反映热储的埋藏深度,即井口温度越高则表明热储埋深越深,反之亦然。根据储层形成的成岩演化理论,一般而言,随着埋深增加,碎屑岩储层由于压实、胶结作用的增强,其孔隙度和渗透率会逐渐变差,而碳酸盐岩储层由于叠加了成岩流体的溶蚀、白云石化等作用而表现为较复杂的孔隙度和渗透率特征,从而表现为较为复杂的产出特征。根据中国东部沉积盆地型热储单井产水量与井口温度关系图(图3),可以看出井口温度与单井产水量之间没有明显的相关性,即当井口温度很高时,热储单井产水量仍然可以很高,当井口

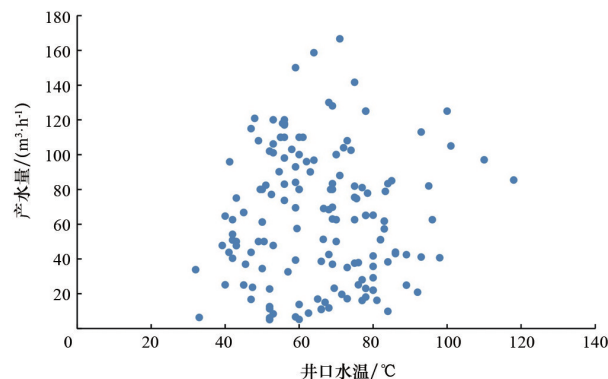


图3 中国东部沉积盆地型热储单井产水量与井口温度关系
Fig. 3 Relationship between the single well yield and wellhead temperature of the sedimentary

温度大于100℃,热储单井产水量仍可达到100 m³/h以上。按照浅层恒温层温度为15℃,平均地温梯度3.5℃/(100 m)计算,当热储温度达到115℃时,热储埋深将大于3000 m,说明当热储埋藏较深时仍然能够形成物性很好的热储。

3 热储层系产出特征

3.1 井口温度

通过对比分析不同热储层系的井口温度可以看出,随着热储层系由老变新,热储井口温度总体上逐渐变低,这种现象可能与热储层系的埋深总体变浅有关(图4)。但不同热储层系井口温度变化幅度不同,其中长城系高于庄组热储井口温度,介于52~86℃之间,主要为56.25~81.25℃,变化幅度为34℃;蓟县系雾迷山组热储井口温度分布范围最广,为47~118℃之间,主要介于68~83.3℃之间,变化幅度为71℃,变化幅度最大,同时拥有该区最高的井口温度;寒武系-奥陶系热储井口温度介于49~98℃之间,主要介于56~73℃之间,变化幅度为49℃;新近系馆陶组热储井口温度为49~84℃,主要介于52~71.25℃之间,变化幅度为35℃;新近系明化镇组热储井口温度为33~65℃,主要分布于42~49℃之间,变化幅度为32℃,为所有热储层中井口温度变化幅度最小的热储层,同时又是井口温度相对最低的热储层。

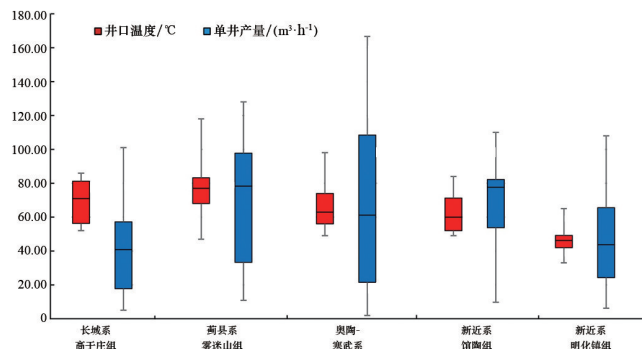


图4 中国东部地区不同层系热储井口温度与单井产水量箱线图

Fig. 4 Box figure of the single well yield and the wellhead temperature of the sedimentary geothermal reservoirs in the eastern part of China

3.2 单井产水量

就单井产水量来说,长城系高于庄组热储单井产量为5.04~101.00 m³/h,主要介于17.78~52.21 m³/h,变化幅度为95.96 m³/h;蓟县系雾迷山组热储单井产量为10.88~128 m³/h,主要介于33.31~97.75 m³/h,变化幅度为117.12 m³/h;寒武系-奥陶系热储单井产量为2.0~166.67 m³/h,主要介于21.53~105.50 m³/h,变化幅度为164.67 m³/h,拥有该区最大单井产量和变化幅度;新近系馆陶组热储单井产量为9.79~110.00 m³/h,主要分布于53.76~82.25 m³/h,变化幅度为100.21 m³/h;新近系明化镇组热储单井产量为6.25~108.00 m³/h,主要为24.29~65.63 m³/h,变化幅度为101.75 m³/h。综合以上分析,5套热

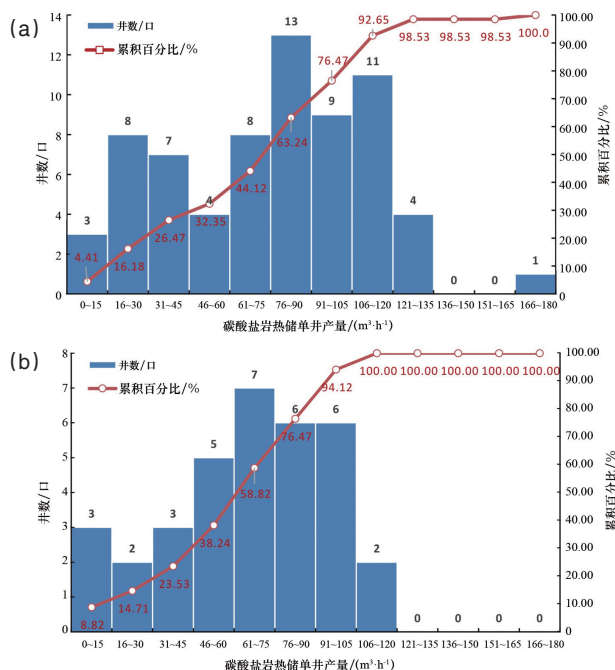
储层系单井产水量既有共同点又有不同点。共同点就是单井产量变化幅度均较大,其中岩溶裂隙型热储单井产量变化幅度介于95.96~164.67 m³/h之间,并以寒武系-奥陶系热储层单井产量变化幅度最大,砂岩孔隙型热储单井产量变化幅度为100.21~101.75 m³/h。因此,岩溶裂隙型热储单井产量变化幅度大于砂岩孔隙型热储,间接反映了岩溶裂隙型热储具有相对更强的非均质性。就单井产量而言,蓟县系雾迷山组和寒武系-奥陶系热储层单井产量相对最大,而长城系高于庄组热储层单井产量最小,新近系馆陶组和明化镇组热储层单井产量介于中间。

综合5套热储井口温度和单井产水量,蓟县系雾迷山组和寒武系-奥陶系热储既具备相对较高的井口温度,同时又具备相对较高的单井产量,因此是该区5套热储层中最具开发利用潜力的热储层系。

4 不同岩性热储产出特征

根据中国东部热储分布特征,岩溶裂隙型热储总体上要比砂岩孔隙型热储埋藏深,甚至很多,岩溶裂隙型热储的温度总体上要高于砂岩孔隙型热储。因此,这里不再分析岩溶裂隙型热储与砂岩孔隙型热储温度的差异,重点探讨两者单井产水量的差异。

对中国东部地区碳酸盐岩与砂岩孔隙型热储单井产水量进行对比分析,分析结果表明,碳酸盐岩热储表现出更大的产出潜能(图5)。碳酸盐岩热储单井产水量分布范围较



注:部分热储由于岩性未知,不在统计范围内

图5 中国东部地区碳酸盐岩与砂岩孔隙型热储单井产水量频数直方图

Fig.5 Frequency histogram of the single well yield of the sandstone and carbonate geothermal reservoirs in the eastern part of China

大,介于 $5.04 \sim 166.67 \text{ m}^3/\text{h}$ 之间,主要为 $43.5 \sim 104.25 \text{ m}^3/\text{h}$,平均值为 $75.25 \text{ m}^3/\text{h}$,其中单井产水量大于 $45 \text{ m}^3/\text{h}$ 的井约占碳酸盐岩热储井总数的73.53%。砂岩孔隙型热储单井产水量为 $9.79 \sim 110 \text{ m}^3/\text{h}$,主要为 $50 \sim 82.25 \text{ m}^3/\text{h}$,平均值为 $65.78 \text{ m}^3/\text{h}$,其中单井产量大于 $45 \text{ m}^3/\text{h}$ 的井占砂岩孔隙型热储井总数的76.47%。从以上对比分析可以看出,碳酸盐岩热储单井产量比砂岩孔隙型热储分布范围广,反映了碳酸盐岩热储具有相对较强的非均质性,但其单井产量总体上明显要比砂岩孔隙型热储高。

5 结论与建议

1) 中国东部地热总体上为温度偏低的中低温地热资源,热储单井产量以高产为主,适宜于规模化地热供暖、洗浴和养殖等为主的地热直接利用,不适宜于地热发电。目前中国东部地区地热开发利用以供暖项目为主,但由于地热供暖受季节和水量、水温的影响,无法全面提高地热利用率,并由此影响地热设备的正常运行和成本回收,因此建议在东部地区积极开展多元化、梯级化地热利用。

2) 不同层系热储产出特征不同,其中蓟县系雾迷山组和寒武系-奥陶系热储既具备相对较高的井口温度,同时又具备相对较高的单井产量,因此是该区5套热储中最具开发利用潜力的层系。在东部地热开发利用过程中,如果基岩埋藏较浅,可优先选择中深层蓟县系雾迷山组和寒武系-奥陶系岩溶裂隙型热储作为目的层,而在基岩埋藏较深的情况下可考虑新近系馆陶组和明化镇组砂岩孔隙型热储层。

3) 相比砂岩孔隙型热储,岩溶裂隙型热储非均质性较强,表现在热储单井产水量变化范围较大。因此,为了进一步优化地热项目选址,应加强岩溶裂隙型热储非均质性及其与地热产能关系研究。

参考文献(References)

- [1] 陈墨香, 邓孝, 王钧, 等. 华北平原地下热水形成条件与赋存特征[J]. 地球科学, 1985, 10(1): 83-90.
Chen Moxiang, Deng Xiao, Wang Jun, et al. On the formation and accumulation of thermal water in North China Plain[J]. Earth Science, 1985, 10(1): 83-90.
- [2] 陈墨香, 汪集旻, 邓孝. 中国地热系统类型图及其简要说明[J]. 地质科学, 1996, 31(2): 114-121.
Chen Moxiang, Wang Jiyang, Deng Xiao. The map of geothermal system types in China and its brief explanation[J]. Scientific Geologica Sinica, 1985, 10(1): 83-90.
- [3] 陈墨香, 汪集旻, 汪缉安, 等. 华北断陷盆地地热场特征及其形成机制[J]. 地质学报, 1990(1): 80-91.
Chen Moxiang, Wang Jiyang, Wang Ji'an, et al. The characteristics of the mechanism in the geothermal field and its formation mechanism in the North China down-faulted basin[J]. Acta Geologica Sinica, 1990(1): 80-91.
- [4] 陈墨香. 华北地热[M]. 北京: 科学出版社, 1988.
Chen Moxiang. Geothermics of North China[M]. Beijing: Science Press, 1988.
- [5] 陈墨香, 黄歌山, 张文仁, 等. 冀中牛驼镇凸起地温场的特点及地下热水的开发利用[J]. 地质科学, 1982(3): 239-252.
Chen Moxiang, Huang Geshan, Zhang Wenren, et al. The temperature distribution pattern and the utilization of geothermal water at Niutuo-zhen basement protrusion of central Hebei province[J]. Acta Geologica Sinica, 1982(3): 239-252.
- [6] 周瑞良, 刘琦胜, 张晶, 等. 华北断陷盆地牛驼镇基岩高凸起型热田地质特征及其开发前景[C]//中国地质科学院 562 综合大队文集. 北京: 中国地质科学院, 1989.
Zhou Ruiliang, Liu Qisheng, Zhang Jing, et al. The geological characteristics of high uplift type geothermal field basin niutuozen bedrock and its development prospect in North China rift[C]//Proceedings of the 562 Comprehensive Brigade of Chinese Academy of Geological Sciences. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 1989.
- [7] 阎敦实, 于英太. 京津冀油区地热资源评价与利用[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2000.
Yan Dunshi, Yu Yingtai. Geothermal resources assessment and utilization of Beijing, Tianjing and Hebei province[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2000.
- [8] 吕金波, 车用太, 王继明, 等. 京北地区热水水文地球化学特征与地热系统的成因模式[J]. 地震地质, 2006, 28(3): 419-429.
Lü Jinbo, Che yongtai, Wang Jiming, et al. Hydrogeochemical characteristics of thermal water and genetic model of geothermal system in North Beijing[J]. Seismology and Geology, 2006, 28(3): 419-429.
- [9] 王泽龙. 北京市小汤山地区地温场特征及地下水成因模式分析[D]. 北京: 中国地质大学, 2007.
Wang Zelong. Characteristics of the geothermal field and formation of the thermal groundwater in the Xiaotangshan area of Beijing[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2007.
- [10] 刘金侠. 中国地热产业进展及国家“十三五”地热规划解读[R]. 北京: 中商经济研究院, 2016.
Liu Jinxia. Progress of Chinese geothermal industry and interpretation of the national 13th Five-Year Geothermal Plan[R]. Beijing: Zhongshang Institute of Economic Research, 2016.
- [11] 王贵玲. 我国水热型地热资源勘查评价(第三部分)[R]. 2015.
Wang Guiling. Prospecting and assessment of the hydrothermal resources in China(The third part)[R]. 2015.
- [12] 刘杰, 宋美钰, 田光辉. 天津地热资源开发利用现状及可持续发展利用建议[J]. 地质调查与研究, 2012, 35(2): 67-73.
Liu Jie, Song Meiyu, Tian Guanghui. Development situation of the geothermal resources and suggestion on sustainable development utilization in Tianjin[J]. Geological Survey and Research, 2012, 35(2): 67-73.
- [13] 王心义, 黄丹. 河南省地热资源开发利用现状评价[J]. 地下水, 2010, 32(1): 54-70.
Wang Xinyi, Huang Dan. Evaluation of the present situation of exploitation and utilization of the geothermal resources in Henan province[J]. Ground Water, 2010, 32(1): 54-70.
- [14] 孙颖, 刘久荣, 韩征, 等. 北京市地热资源开发利用状况[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(16): 7564-7566.
Sun Ying, Liu Jiurong, Han Zheng, et al. Exploration and utilization status of geothermal resources in Beijing city[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(16): 7564-7566.
- [15] 李金鹿, 陈安国. 河北省地热开发利用模式分析[J]. 中国国土资源经济, 2013(8): 28-31.
Li Jinlu, Chen An'guo. Analysis on geothermal exploitation and utilization

- tion pattern in Hebei province[J]. National Resource Economics of China, 2013(8): 28-31.
- [16] 王秀芹, 张平平, 杨亚宾. 山东半岛蓝色经济区地热资源与开发利用区划[J]. 山东国土资源, 2015, 31(7): 40-44.
- Wang Xiuqin, Zhang Pingping, Yang Yabin. Geothermal resources and development and utilization of regionalization of Shandong Peninsula Blue Economic Zone[J]. Shandong Land and Resources, 2015, 31(7): 40-44.
- [17] 孙文. 山西地热资源开发利用状况分析. 地下水, 2011, 33(6): 34-36.
- Sunwen. Analysis on the geothermal resource exploitation and utilization status in Shanxi province[J]. Ground Water, 2011, 33(6): 34-36.

Output characteristics of the main sedimentary geothermal reservoirs in the eastern part of China and suggestions on geothermal exploitation and utilization

LI Pengwei, HE Zhiliang, FENG Jianyun, ZHANG Ying, Chen Xinjun, WU Xiaoling

SINOPEC Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China

Abstract In recent years, with the situation of air pollution in the eastern part of China becoming a more and more serious concern, the development and the utilization of geothermal resources in this area has been put on the agenda. It is recognized that the wellhead temperatures and the water productions of geothermal wells in different areas are different, and some geothermal wells are characterized by a low temperature or water production, which seriously affects the development of geothermal industry. In order to find out the output characteristics of sedimentary geothermal reservoirs in the eastern part of China, the main sedimentary geothermal reservoirs in this area are initially investigated based on the analysis of the wellhead temperature and the single-well yields of 188 wells, which have been and are being exploited in this area. The results show that the sedimentary geothermal reservoirs in the eastern part of China are characterized by the warm-hot water and the hot water, and dominated by the mediate and high yields, with the Jixian system Wumishan formation and the Cambrian-Ordovician system Karstic and fractured reservoirs having the highest yields, and Neogene system Guantao and Minghuazhen formation sandstone reservoirs having lower yields. Among the reservoirs, the Karstic and fractured reservoirs see a wider variation in yields, suggesting a more heterogeneity. According to the results, several suggestions are made as follows: (1) diversified and stepwise utilization should be actively considered, to make a full use of the efficiency of the geothermal resources; (2) Jixian system Wumishan formation and Cambrian-Ordovician system Karstic fractured reservoirs should be preferentially considered in the geothermal exploitation and utilization, especially in the areas where the basement rocks are shallowly buried; (3) heterogeneity of the Karstic and fractured reservoirs and its relationship with the yields should be studied, in order to find reservoirs with high water production.

Keywords geothermal output; sedimentary geothermal reservoir; sedimentary basin; the eastern part of China

(责任编辑 刘志远)