

成果与方法

* 东营市中心城区地热田地热回灌可行性分析

张新文¹, 胡彩萍¹, 胡松涛², 张学斌²

(1. 山东省第一地质矿产勘查院, 山东 济南 250014; 2. 山东省地矿工程勘察院, 山东 济南 250014)

摘要:利用东营市中心城区鲁班公寓的地热生产井,对新近纪馆陶组和古近纪东营组热储层进行了自然压力条件下的异层和同层回灌试验。结果表明,回灌量与水头升高呈正相关关系,单位回灌量与水头升高呈负相关关系,馆陶组东热₂井回灌能力为东营组东热₃井的3倍左右。通过对该地热田热储地质条件、回灌能力及地热水开采潜力的分析,认为目前条件下东营城区还不适宜全面推行地热回灌。

关键词:地热回灌;回灌水源;热储;地下热水;山东东营

中图分类号:P641.5

文献标识码:A

为了解东营市热储层回灌能力,在鲁班公寓利用地热生产井进行了自然压力条件下的回灌试验,并分析了当前条件下在东营城区推行地热回灌的可行性,为鲁北、鲁西北同类型热储进行地热回灌提供借鉴。

1 地热回灌历史与现状

1.1 地热回灌的意义

地热回灌是人工将利用过的地热尾水或常温地下水、地表水灌回到热储中^[1-2]。通过地热回灌可以减少由于地热尾水直接排放对生态环境造成的热污染和化学污染;改善或恢复热储产热能力,延长地热田寿命;维持或恢复热储压力,预防地面沉降^[2]。同时为管理部门制定地热开发利用与保护专项规划提供技术支撑,从而有效促进地热资源的可持续开发利用。

1.2 国内外地热回灌现状

1969年美国加利福尼亚州 Geysers 地热田回灌项目揭开了全球地热回灌的序幕^[2],同年法国也在巴黎盆地的中低温地热田进行了地热回灌试验。目前,这项技术在许多国家得到不同程度的应用和发展,并在全球范围内得到广泛的认可^[3]。我国于1982年首次在北京城区地热田进行了地热回灌试

验,随后西藏、天津、山西、福建等省也进行了地热回灌方面的尝试。

山东省于2006年起先后在威海市、德州市和东营市开展了回灌试验。威海市宝泉汤采用地热尾水和自来水作为回灌水源^①,回灌层位为基岩裂隙热储,回灌量(Q_r)与回灌压力(P_r)关系式为: $Q_r = 15.437P_r^{0.507}$ 和 $Q_r = 11.219P_r^{0.6102}$;德州市德城区地热田以地热水作为回灌水源^①,回灌层位为馆陶组孔隙热储,采用同层对井加压方法,回灌量(Q_r)与回灌压力(P_r)关系式为: $Q_r = 12.322P_r^{0.255}$;东营城区地热田以地热水作为回灌水源^②,回灌层位为馆陶组和东营组孔隙-裂隙热储,采用同层和异层自然压力回灌,回灌水头(H_r)与回灌量(Q_r)关系式馆陶组为: $H_r = 5.7379e^{0.0724 Q_r}$;东营组为: $H_r = 7.2124e^{0.1766 Q_r}$ 。目前,全省尚未实施生产性地热回灌工程。

2 地热回灌试验

2.1 试验条件

回灌试验场地位于东营区鲁班公寓。回灌热储目的层分别为馆陶组(东热₂井)和东营组(东热₃井)层状孔隙-裂隙热储,前者井深-1 303 m,井口水

* 收稿日期:2008-05-26;修订日期:2009-05-19;编辑:游文澄

作者简介:张新文(1971—),男,山东禹城人,高级工程师,主要从事水文地质、工程地质、环境地质工作。

①山东省鲁北地质工程勘察院,山东省地热资源开发利用效应及模式调查研究,2006年。

②山东省地矿工程集团有限公司,山东省东营市东营区中部地热资源普查报告,2005年。

温 54℃;后者井深-1 595 m,井口水温 61℃。回灌水源为东营组(东热₁₂井,井深-1 657 m)地热水(图 1)。回灌方式为自然回灌,回灌模式为同层回灌和异层回灌。

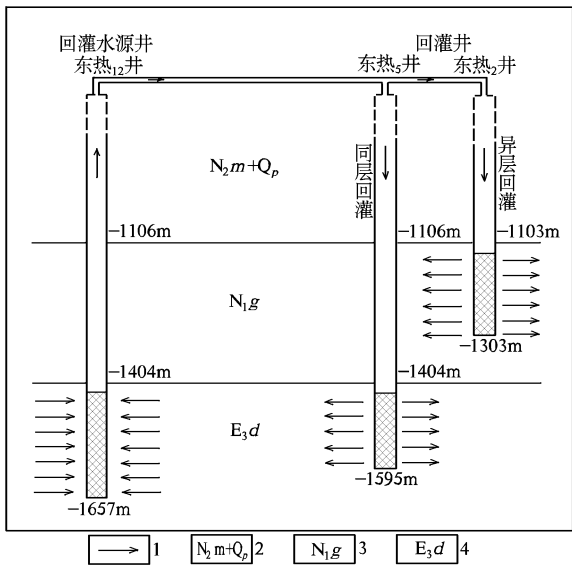


图 1 地下热水回灌井—水源井剖面示意图

1—水流方向;2—明化镇组和平原组;3—馆陶组;4—东营组

2.2 试验结果

2.2.1 回灌量和单位回灌量分析

回灌试验数据表明(表 1),单井回灌量与回灌水头升高呈正相关性,大致符合指数函数关系(图 2),回灌水头随回灌量的增大而升高,升高幅度大于回灌量增加幅度。据此推算,在东营组(东热₅井)和馆陶组(东热₂井)回灌水头最大升高空间分别为 30.1 m 和 22.12 m 的情况下,最大自然回灌量分别为 8.09 m³/h 和 18.64 m³/h。

表 1 地热回灌试验结果

回灌井	回灌热储层	单井回灌量 (m ³ /h)	回灌水头升高 (m)	单位回灌量 [m ³ /(h·m)]
东热 ₂	N _{1g}	9.06	10.4	0.871
		14.17	16.38	0.865
东热 ₅	E _{3d}	5.03	17.53	0.287
		7.21	25.76	0.280

单位回灌量与水头升高呈负相关关系(图 3),馆陶组地热井(东热₂井)单位回灌量为东营组地热井(东热₅井)单位回灌量的 3 倍左右,相对而言,前

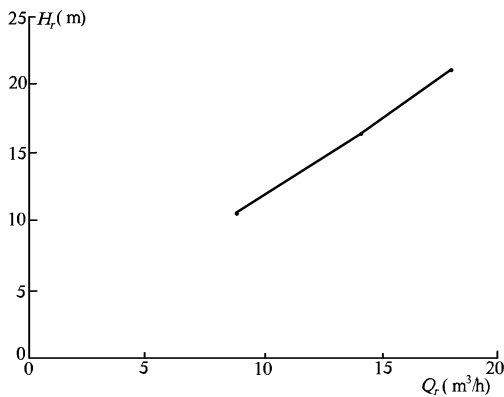


图 2 东热₂井单井回灌量(Q_r)与水头升高(H_r)关系曲线图

者热储回灌能力较后者强(表 1)。

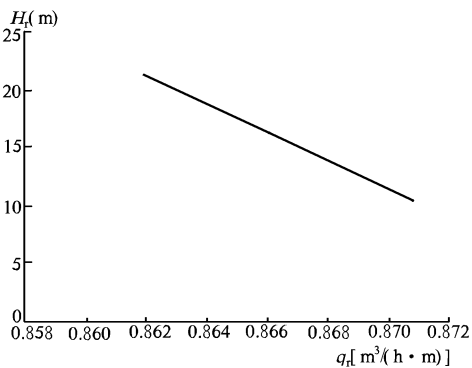


图 3 东热₂井单位回灌量(q_r)与水头升高(H_r)关系曲线图

2.2.2 回灌热储水化学场和温度场变化分析

回灌对热储水质的影响取决于回灌水与原热储层热水水质间的差别。东热₅和东热₂回灌井与东热₁₂水源井距离分别为 448 m 和 492 m,同层回灌时回扬水质基本与东热₅回灌井热储层水相同,异层回灌时回扬水质中常规离子含量介于两井原热储层水相应离子含量之间,但与东热₂回灌井热储层水相近,分析其原因是回灌量较小,对原热储水质影响也较小。

对原热储含水层热水温度的影响主要取决于回灌水与原热储层中热水之间的温度差,同时还与回灌量及回灌时间有关。温度差大,回灌量大,回灌时间短,回灌水对热储层水温度影响就大,影响时间也长;反之,影响就小,持续时间也短。

2.2.3 回灌影响范围分析

距回灌井最近的地热井有东营组东热₁₄井和馆陶组东热₁₄井,二者相距 2 200 m 左右,据本次回灌

监测结果,其水位、水质没受到影响(回灌期间两观测井均未生产)。

3 地热回灌可行性分析

回灌能否有效实施,与热储地质条件、回灌方式及回灌模式等诸多因素密切相关。

3.1 热储地质条件

实验场地馆陶组热储层厚度 140 ~ 160 m,岩性以砂岩-砂砾岩为主,孔隙度 30% ~ 36%;东营组热储层厚度 100 ~ 140 m,含水层岩性以细砂岩-含砾砂岩为主,孔隙度 28% ~ 30%。两热储均有一定的潜在储水空间。馆陶组和东营组热储层渗透率分别为 $800 \times 10^{-3} \sim 1\,400 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和 $900 \times 10^{-3} \sim 1\,200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,有较好的渗透条件。

3.2 水头压力条件

地热水承压水头和水位埋深是影响回灌量的重要因素。承压水头高,水位埋深浅,自然回灌压力小,回灌量就小;反之回灌量就大。据 2006 年资料,东营市馆陶组和东营组热储层承压水头分别为 1 260 ~ 1 470 m 和 1 520 ~ 1 750 m,水位埋深仅 22 ~ 28 m 和 26 ~ 38 m。在现状水文地质条件下,自然回灌水头(高差 20 ~ 40 m)远小于热储层所承受的水头压力(高差 1 000 余米),故在其作用下热储层所能提供的回灌空间有限。

3.3 回灌能力

3.3.1 自然回灌模式

根据回灌试验,馆陶组(东热₂井)单位回灌量为 $0.860 \sim 0.871 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m})$,其最大回灌能力为 $18.64 \text{ m}^3/\text{h}$;东营组(东热₅井)单位回灌量为 $0.280 \sim 0.287 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m})$,其最大回灌能力为 $8.09 \text{ m}^3/\text{h}$ 。随回灌时间的延长,回灌堵塞将逐渐严重,热储层渗透率将相应降低,单位回灌量将减少,回灌能力将大幅度降低。

3.3.2 加压回灌模式

以东热₂和东热₅井为例,在现状地质条件下加压单井回灌水量^[3]。5个大气压时,馆陶组热储层回灌量为 $34.9 \text{ m}^3/\text{h}$,相当于井孔出水量的 1/2 左右;东营组回灌量为 $13.6 \text{ m}^3/\text{h}$,相当于井孔出水量的 1/5 左右。连续回灌 1 ~ 2 年后,二者回灌量将锐减 1/3 ~ 1/2,即馆陶组热储层回灌量为 20 ~ 25

m^3/h ,东营组热储层回灌量为 8 ~ 10 m^3/h 。

可见,现状水文地质条件下,自然回灌和加压回灌能力有限。

3.4 地热水开采潜力及地热开发前景

地热田现有 13 眼地热生产井,年开采量约 $240 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。其中馆陶组 5 眼,年开采量约 $110 \times 10^4 \text{ m}^3$;东营组 7 眼,年开采量约 $110 \times 10^4 \text{ m}^3$;混合开采井 1 眼,年开采量约 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。地热田馆陶组热储层最多可以布置 39 眼地热井,允许开采量为 $2\,861.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$;东营组热储层最多可以布置 49 眼地热井,允许开采量为 $2\,562.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。从已开发的地热井数量和开采量分析,地热田尚有巨大的开发潜力。

若实施对井一采一灌或三井两采一灌方案,地热开发经济效益将大大降低,开发商投资的积极性将受到影响,这种方案将不利于地热市场的培育和健康发展。

就目前热储层水文地质条件及开采现状分析,现在还不适于全面推行地热回灌。

4 建议与措施

4.1 回灌井位的确定

回灌井位应优先选择地热生产井群分布密集、开采强度较大、地下热水径流的上游位置。生产井与回灌井距离要适中,距离太远会增加输水管道铺设的费用,且影响回灌效果;太近则会过早出现热突破,导致生产井水温降低。生产井与回灌井之间距离以 800 ~ 1 000 m 为宜。

4.2 回灌水源和时间的选择

回灌水源可选择浅层或深层地下水,尤其是可利用的地热尾水;回灌时间宜选在供暖期(当年的 11 月至次年的 3 月),以保障有充足的热尾水水源和较大的回灌空间。

4.3 定期回扬

回灌水通道堵塞会降低回灌能力。回灌初期以气泡、悬浮物堵塞等物理堵塞为主,中期以铁质、钙质类化学沉淀堵塞为主,后期以铁细菌、硫酸盐还原菌等产生生化堵塞为主^[1,3]。为此,回灌期间要定期回扬,减轻堵塞。

4.4 回灌地热田的监测

回灌期间,对回灌井附近地热生产井的水温、水

质、水头压力应进行密切监测,及时了解回灌的效果和发现问题,指导回灌方案调整。水头压力和水温每天观测2次,水质监测以2~3天1次为宜。对于回灌井,要严格控制回灌水质,防止污染热储层,以保护生态环境。

参考文献:

- [1] 何满潮,李春华,朱家玲,等. 中国中低焓地热工程技术[M]. 北京:科学出版社,2004:241-242.
- [2] 刘时彬. 地热资源及其开发利用和保护[M]. 北京:化学工业出版社,2005:237-244.
- [3] 周念沪. 地热资源开发利用实务全书[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2005:52-61.

Feasibility Analysis on Geothermal Recharge of Geothermal Field in Central District of Dongying City

ZHANG Xin-wen¹, HU Cai-ping¹, HU Song-tao², ZHANG Xue-bin²

(1. No. 1 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Jinan 250014, China; 2. Shandong Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Jinan 250014, China)

Abstract: By using geothermal production wells of Luban apartment in central district of Dongying city, recharge test of Neogene geothermal reservoirs in Guantao formation and Paleogene Dongying formation in different and the same layers under the natural pressure condition are carried out. As showed by the results, the recharge capacity and the increasing head have a positive correlation, while the unit recharge capacity and head have a negative correlation. The recharge capacity of No. 2 Dongre well in Guantao formation is 3 times of No. 5 Dongre well in Dongying formation. Through analysis on geological condition, recharge capability and exploitation potentiality of geothermal reservoir, it is regarded that it is not suitable for full implementation of geothermal recharge under present conditions in Dongying City.

Key words: Geothermal recharge; recharge water source; geothermal reservoir; underground geothermal water; Dongying in Shandong province