

沉积盆地砂岩热储回灌试验研究

——以山东禹城市为例

王学鹏, 刘欢, 蒋书杰, 邓荣庆

山东省地质矿产勘查开发局第二水文地质工程地质大队, 山东德州, 253072

内容提要:禹城市为东营组热储地热资源开采利用集中区,因地热资源集中开采及地热尾水的直接外排,造成了水化学污染、热污染及热储层压力下降等一系列地质环境问题。本次在禹城市地热资源开发利用现状调查的基础上,在禹城市栖庭水岸开展地热回灌试验研究,回灌模式为自然同层对井回灌。根据本次回灌试验取得的数据,对回灌量与回灌压力关系、回灌对热储层水质影响、回灌对热储层温度影响规律进行了分析研究并根据拟合回灌量与水位升幅关系曲线计算了最大回灌量。分析结果表明:回灌量随压力的增大而增大,单位回灌量随回灌压力的增大呈减小趋势;回灌井因灌入了矿化度比其自身地热热水矿化度高的水源,所以回灌后采集的回灌井地热水矿化度比回灌试验之前高,但因采灌井开采热储层属于同层热储,故回灌对热储层水质影响小;本次试验采灌井间距较大,故回灌对热储层温度无影响;计算确定该回灌井最大回灌量为 $70 \text{ m}^3/\text{h}$ 。本次回灌试验研究为禹城市地热资源可持续开发利用提供了依据。

关键词:禹城市;东营组;地热回灌

地热流体具有埋藏深、补给慢等特点,属于相对不可再生资源。随着地热资源的大规模开发利用,地热流体补采失衡,造成了热储层压力下降、水化学污染及热污染等一系列地质环境问题(陶虹和丁佳, 2014)。地热回灌是解决上述问题,保证地热资源可持续开发利用的最有效途径。

20世纪,美国、法国及德国等多个国家均对回灌开展过不同程度的研究,研究表明热储特征、成井工艺、热储层水化学特征及过滤设备为影响回灌量的主要因素。目前,回灌技术在新西兰、冰岛、意大利、日本等国家得到不同程度的应用,无论是发电,还是直接利用都取得了一定的效果。但从地热回灌的广泛推广和长期应用看,还面临很多已有和未知的问题待解决。

国内最早的回灌试验研究为1982年初在北京城区地热田东南部进行的回灌试验;2003年回灌推广应用后,通过控制开采量,增大回灌量,本地区地下水位已有明显回升,地热回灌效果明显(何满潮等, 2003)。天津1992年在塘沽区开凿新近系砂岩孔隙型回灌井进行回灌试验,经过近20年的地热回

灌试验研究,认为热储层的岩性特征及胶结程度为影响回灌效果的主要因素(朱家玲等, 2012)。目前就孔隙型砂岩热储回灌而言已有长足进步,但存在回灌量较大而回灌持续时间较短的问题。

禹城市地处鲁西北平原,地热资源赋存于碎屑沉积岩中(刘元斌等, 2010;程秀明, 2013;徐军祥和康凤新, 2014;王浩等, 2014;王浩, 2015),属层状孔隙—裂隙型热储,地热资源类型属热传导型,地热流体为弱补给的消耗型资源(彭新明和张勇, 2006;王彦俊等, 2008;秦耀军和张平平, 2018),区内开发利用热储层多为新近纪馆陶组与古近纪东营组混采,地热资源开发利用初期地热尾水大多直接外排,造成了热储层压力下降(赵季初, 2013;尤伟静等, 2013;吴立进等, 2016;贺森等, 2018)、水化学污染、热污染、资源浪费等地质环境问题。本次在禹城市开展的回灌试验以前人经验为技术支撑,采用大口径填砾成井工艺施工回灌井并进行回灌研究,为禹城市地热资源可持续开发利用提供了理论依据。

注:本文为山东省自然资源厅地质勘查项目(编号:鲁勘字[2012]22号)的成果。

收稿日期:2019-03-13;改回日期:2020-03-03;责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2020.02.017

作者简介:王学鹏,男,1990年生,硕士研究生,工程师,主要从事水工环地质工作;Email:1029393006@qq.com;通讯地址:253072,山东省德州市德城区大学东路1499号。

1 地热地质条件

1.1 热储盖层

禹城市以齐河—广饶断裂为界,以北为济阳拗陷区,以南为鲁中隆起区。济阳拗陷区地层发育齐全,鲁中隆起区缺失古近系、侏罗系—白垩系、志留系、泥盆系(图1)。

区内地热为热传导型,第四纪平原组与新近纪明化镇组共同构成其热储盖层,济阳拗陷区盖层厚度为950~1236 m,鲁中隆起区盖层厚度为850~970 m;盖层岩性主要为泥岩、砂岩及黏土,其密度小,导热性能差,热阻大,构成了区内天然的良好热储保温层。另外,各热储含水层所夹的泥岩,厚度大小不等,其密度小,导热性能差,阻热大,也起到了很好的保温作用。

1.2 热储层

区内地热资源总体上是以热传导为主的大地热流作用机制下形成的,主要赋存于新生界碎屑沉积岩中,其形成与分布受地质构造及地层岩性控制,地表无热流显示,属热传导型。根据地热资源温度分级标准,区内埋深2000 m以内地热资源为低温地热资源中的温热水—热水型。按地质构造、地质时代、地层岩性热储埋藏条件等综合因素,可划分为碎屑岩孔隙—裂隙热储、岩溶—裂隙热储。

区内齐河—广饶断裂以北为碎屑岩孔隙—裂隙热储。馆陶组岩性以灰白色细砂岩、中细砂岩和砂砾岩为主,垂向具上细下粗的正旋回沉积特征,底砾

岩明显;热储含水层孔隙度大,一般25%~35%,具有良好的储水空间,单井涌水量500~1000 m³/d;地下热水水化学类型为Cl⁻—Na⁺型,矿化度6~12 g/L;热水温度在51~61℃;热水中含有丰富的锂、锶、偏硅酸、偏硼酸等对人体健康有益的微量元素成份。东营组岩性以细砂岩为主,热储含水层孔隙度较小,一般18%~25%,具有较好的储水空间;单井涌水量800~1500 m³/d;地下热水水化学类型为Cl⁻—Na⁺型,矿化度10~18 g/L;热水温度在58~67℃左右。

齐河—广饶断裂以南为岩溶—裂隙热储,岩性以厚层质纯灰岩、云斑灰岩为主,其中奥陶系顶部马家沟组灰岩主要有八陡段质纯灰岩、云斑灰岩;阁庄段泥灰岩、白云质灰岩;五阳山段的厚层灰岩、云斑灰岩。马家沟组的八陡段、五阳山段灰岩质纯硬脆,裂隙岩溶发育且连通性好,富水性较强,单位涌水量5.25~12.4 L/(s·m)。阁庄段泥灰岩、白云质灰岩较软,岩溶不发育。地热水矿化度3~4 g/L,水化学类型为SO₄²⁻—Ca²⁺型,受断裂构造性质及岩溶发育程度的控制,单井出水量变化幅度大,平均1500~2500 m³/h,推测水温69~75℃。

1.3 热源

本区的热源主要来自正常的地壳深部及上地幔传导热流和深部岩浆热。另外,区内的齐河—广饶断裂等,对地壳深部的热源也起着重要的沟通和传导作用,使其地热异常多集中在断裂附近。

2 地热资源开发利用现状

禹城市目前有东营组热储地热开采井15眼,为

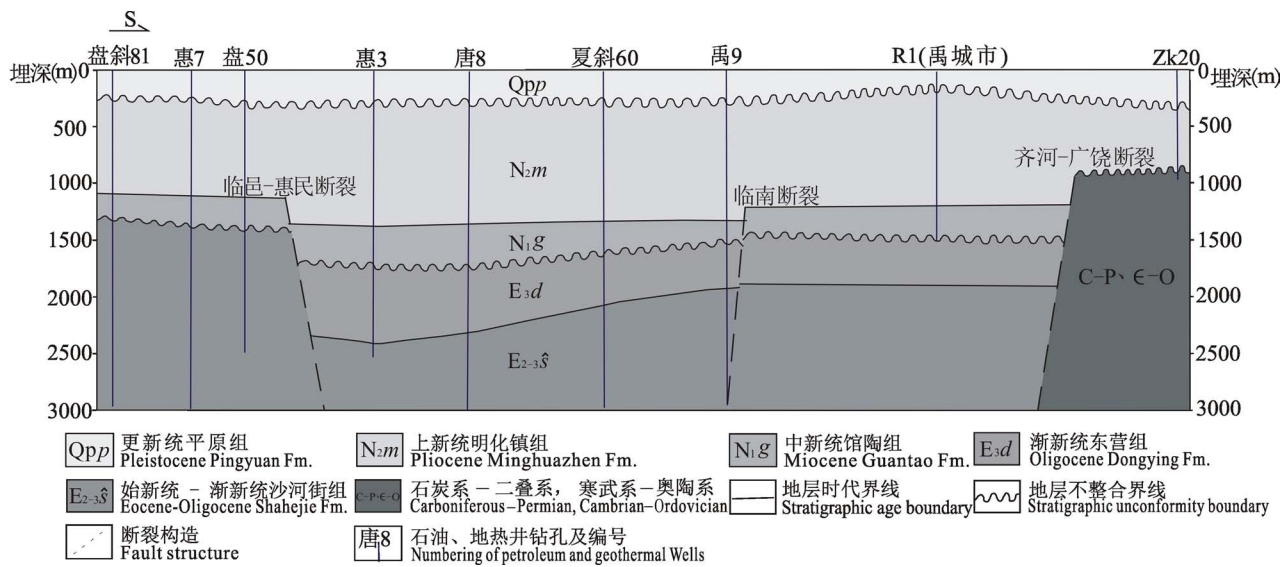


图1 禹城市地质剖面示意图
Fig. 1 Geological profile sketch map of Yucheng

东营组热储开采集中区,成井深度 1917.83~2246 m,井口水温 50~68℃,单位出水量 2.50~5.31 m³/(h·m)。东营组热储地热资源主要用于供暖,少数用于洗浴,在整个地热资源开发利用结构中,供暖用水占 94%,洗浴用水占 6%,年开采量约 2500000 m³。总体来看,虽然区内地热开发利用程度较高,但开发利用方式较单一,利用率较低(关铎, 2014; 张金华等, 2013; 詹麒, 2009; 马凤如等, 2006)。

根据地热资源开发利用调查结果,禹城市东营组地热流体开采量约 2500000 m³/a。禹城市地热井主要集中在市区及市区周边范围内,所以开采比较集中。由于集中开采,地热水位下降较快;各地热井自成井以来水温基本保持稳定;通过对比栖霞水岸地热开采井 2010 年成井时与 2017 年的水质分析结果(表 1)可知水质基本没有发生改变。

表 1 禹城市栖霞水岸地热开采井水质对比表
Table 1 Water quality comparison table of geothermal wells in Xitingshuian, Yucheng City

	2010 年 5 月	2017 年 11 月		2010 年 5 月	2017 年 11 月
K ⁺	65	65	SO ₄ ²⁻	547.54	540.34
Na ⁺	4900	4400	HCO ₃ ⁻	91.53	73.22
Ca ²⁺	1182.36	1106.21	CO ₃ ²⁻	/	/
Mg ²⁺	109.35	109.96	矿化度	16215.63	15015.07
Cl ⁻	9287.9	8649.86	总硬度	3402.72	3215.07

注:表中各离子浓度及矿化度、总硬度的单位均为 mg/L。

3 地热回灌

3.1 回灌井组

本次回灌试验场地位于禹城市栖霞水岸小区,采灌井直线距离 388 m。开采井井深为 2165.25 m,取水段为 1151.28~2140.08 m,开采热储为馆陶组与东营组混采,涌水量 100 m³/h;回灌井采用大口径填砾成井工艺(图 2),成井深度为 2162.50 m,取水段为 1319.20~2123.60 m,开采热储为馆陶组与东营组混采,涌水量 80.83 m³/h。

3.2 回灌井成井工艺

3.2.1 钻探

一开钻进:先采用 Φ311 mm 钻头钻探至 338.88 m,然后采用 Φ400 mm 钻头扩至 1195.88 m,最后采用 Φ600 mm 钻头扩至 319.68 m;二开钻进:采用 Φ400 mm 钻头钻进至 2183.40 m。

3.2.2 成井

成井结构为泵室管(-1.00~297.87 m)Φ339.7

mm×9.65 mm,变径(297.87~299.27 m)Φ339.7/Φ177.8 mm,井管(299.27~2162.50 m)Φ177.8 mm×8.05 mm,滤水管规格为 Φ177.8 mm×8.05 mm,成井管材均为 J55 级石油套管。本次成井所用滤水管筛孔孔径为 20 mm,孔间距为 4.65 cm,孔隙率为 18%,滤水管外层连续缠绕不锈钢丝,滤水管耐腐蚀性好,透水能力强,滤水管总长度 207.11 m,利用砂层总厚度达 211.60 m。

其中 Φ339.7 mm×9.65 mm 指井管直径为 339.7 mm,井管壁厚 9.65 mm。

3.2.3 填砾、止水

下管后进行填砾,采用人工慢投填砾,投砾位置为 1300.00 m~井底,共用砾料 89 m³;投砾完成后采用黏土球止水(王仁忠, 2017; 张勇, 2017; 周世海等, 2007),止水位置 1100.00~1300.00 m,共投入黏土球 20.0 m³;1100.00 m 以上采用黏土回填至井口。本次填砾所选砾料干净、圆滑,由直径 3~6 mm 和 4~8 mm 的石英砂按 1:1 进行调配,并且天然石英砂含量达到 80%以上(表 2)。

表 2 填砾、止水材料一览表
Table 2 List of gravel filling and water stopping materials

	项目	规格
填砾	粒径(mm)	3~8
	厚度(mm)	111.1
	高度(m)	883.40
	数量(m ³)	89
	天然石英砂含量	>80%
止水	粒径(cm)	7~8
	数量(m ³)	20

3.3 回灌工艺流程

本次回灌试验前测得回灌井水位 71.36 m,热储层压力较低,有较好的储水空间,故本次采用自然无压回灌模式;由表 3 可以看出栖霞水岸供暖尾水与原水水质基本没有发生变化,且本次回灌采用同层热储回灌,故直接采用供暖尾水作为回灌水源不会对回灌井热储层水质产生本质影响,所以供暖尾水适宜作为回灌水源。

为防止回灌试验过程中固体颗粒对热储层的堵塞,保证试验的顺利进行,供水水源在进入回灌井前进行了除砂、粗过滤及精过滤处理。具体工艺流程为:地热流体→除砂器→板式换热器→粗过滤器→精过滤器→回灌井(图 3)。

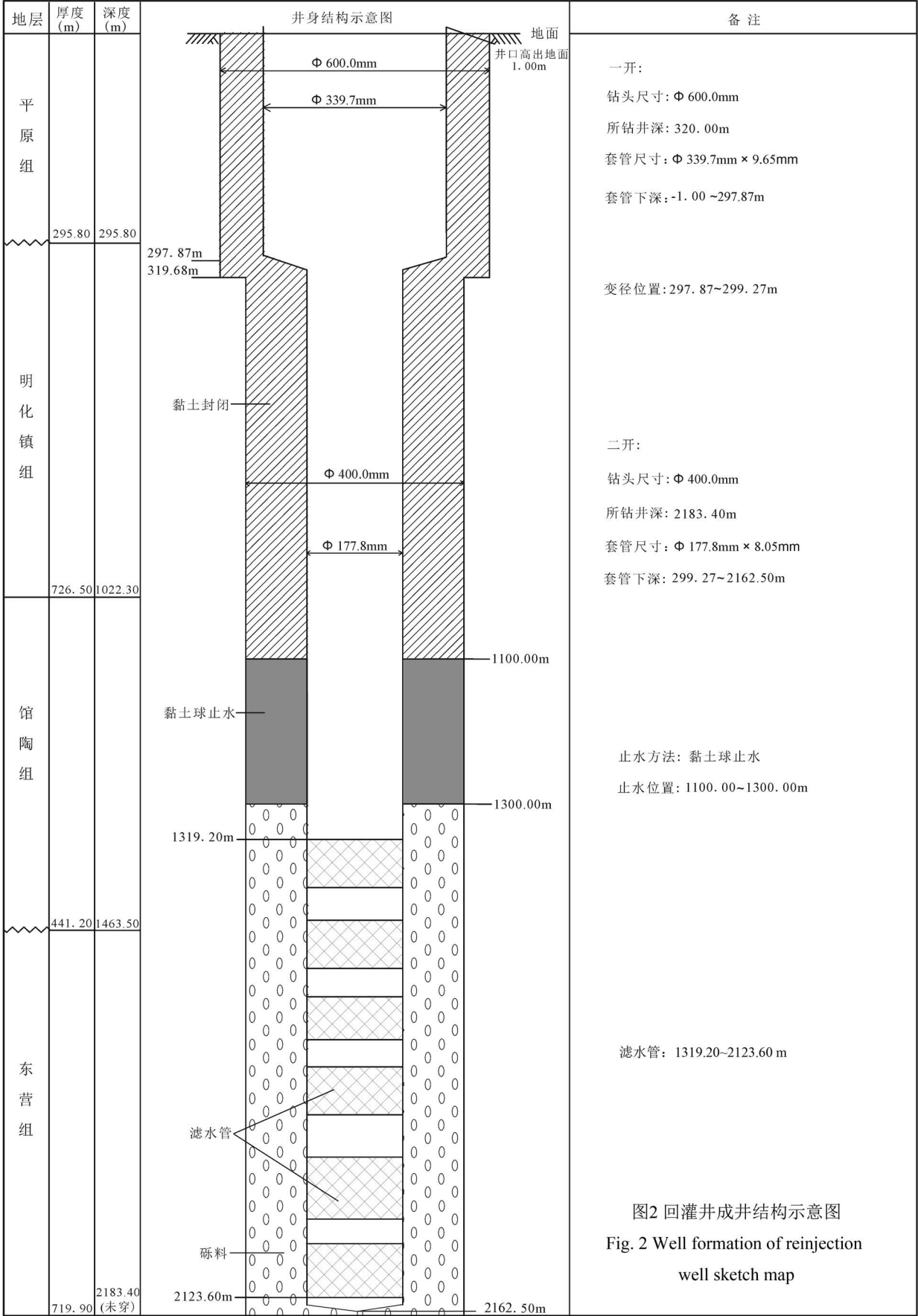


图2 回灌井成井结构示意图
Fig. 2 Well formation of reinjection
well sketch map

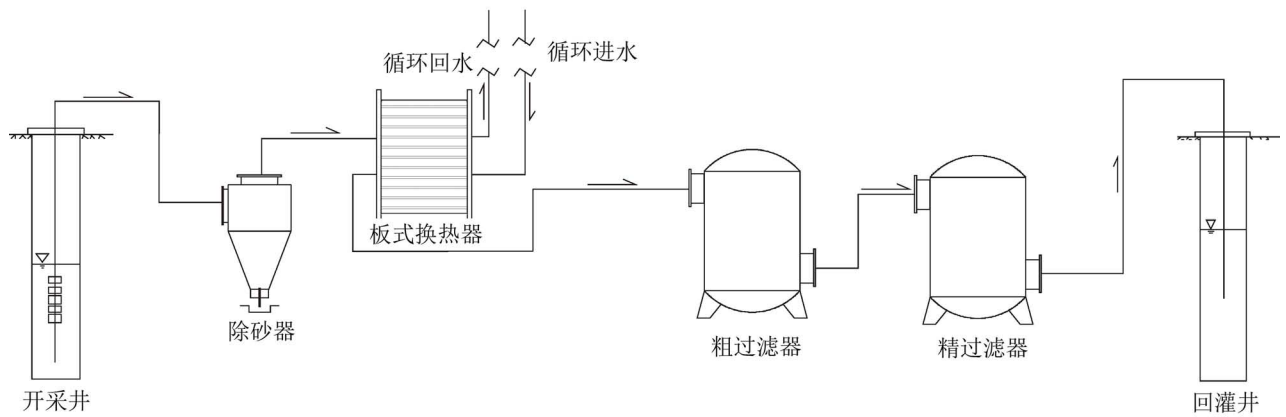


图 3 回灌试验工艺流程图
Fig. 3 Flowchart of reinjection test

表 3 禹城栖庭水岸供暖尾水与地热井原水水质对比表
Table 3 Water quality comparison between heating tail water and geothermal well water in Xitingshuian, Yucheng City

	原水	供暖尾水		原水	供暖尾水
K ⁺	65	65	HCO ₃ ⁻	91.53	73.22
Na ⁺	4900	4400	CO ₃ ²⁻	/	/
Ca ²⁺	1182.36	1106.21	矿化度	16215.63	15015.07
Mg ²⁺	109.35	109.96	总硬度	3402.72	3215.07
Cl ⁻	9287.90	8649.80	pH	7.2	7.8
SO ₄ ²⁻	547.54	540.34			

注:表中各离子浓度及矿化度、总硬度的单位均为 mg/L。

3.4 试验概况

栖庭水岸回灌井回灌试验于 2017 年 11 月 25 日开始,于 2018 年 3 月 21 日结束,历时 116 天 5 时(图 4)。试验开始前测得初始水位埋深为 71.36 m,然后进行抽水洗井;洗井完毕后采用开采井供暖尾水作为回灌水源进行回灌,共进行了 16 个不同流量的回灌;期间对水位、水温、水量等进行监测,并视

堵塞状况进行回扬。根据监测数据,回灌井水位升幅最高达到 9.7 m,最大回灌量 58.6 m³/h,累计回灌量 107226.7 m³。

4 结果分析

4.1 回灌能力

根据《砂岩热储地热尾水回灌技术规程》中的相关技术要求:“水位距井口小于 10 m 时,应停止回灌。”

根据回灌试验取得的回灌量与对应的回灌井水位升幅数据(表 4)可拟合一条回灌量与水位升幅关系曲线(图 5),拟合函数关系式为

$$Y = -0.0346X^2 + 5.8778X - 10.316$$

由拟合曲线可以看出回灌量随回灌压力的增大而增大(水头等效压力),单位回灌量随回灌压力的增大呈减小趋势;因本开采井开采量为 70 m³/h,根据拟合公式计算回灌量为 70 m³/h 时的水位升幅为 14.99 m,此升幅下水位距离井口还有 56.37 m,所

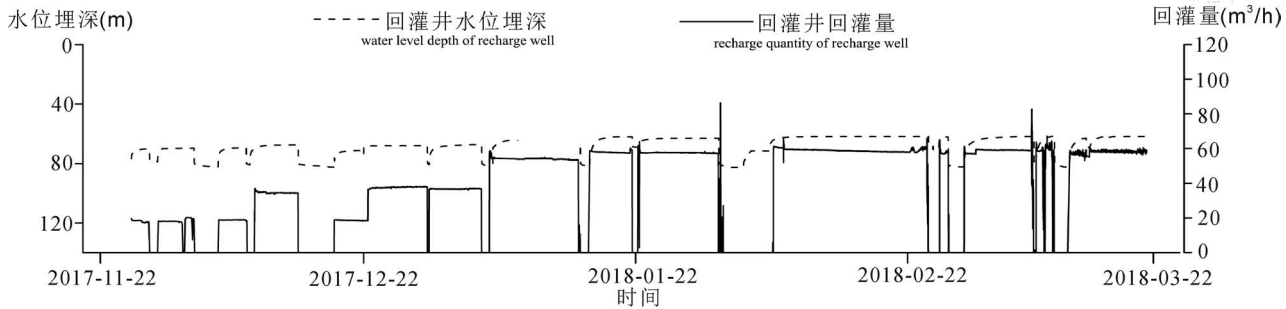


图 4 回灌量与水位埋深动态变化历时曲线
Fig. 4 Dynamic change duration curve of reinjection quantity and water level depth

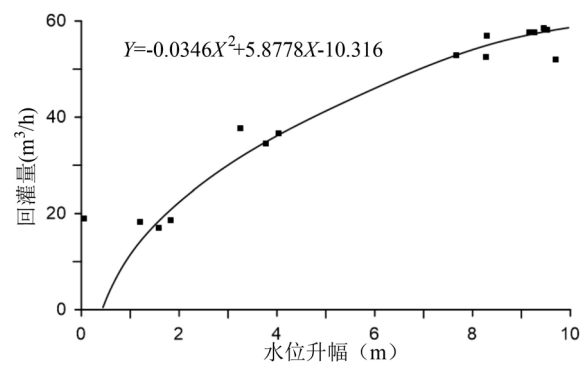


图 5 回灌量与回灌井水位升幅关系曲线

Fig. 5 Relationship curve betweenreinjection quantity and reinjection well water level increase

表 4 回灌量与回灌井水位升幅关系表

Table 4 Relationship table between reinjection quantity and reinjection well water level increase

回灌量 (m³/h)	水位升幅 (m)	回灌量 (m³/h)	水位升幅 (m)	回灌量 (m³/h)	水位升幅 (m)
18.20	1.20	36.70	4.04	57.70	9.16
17.10	1.59	52.80	7.66	58.10	9.47
18.60	1.82	57.60	9.26	52.00	9.7
34.50	3.78	52.60	8.27	56.90	8.29
18.90	0.05	58.60	9.46	58.20	9.53
37.70	3.26				

以确定该回灌井最大回灌量为 70 m³/h。

4.2 水化学场

为研究回灌对热储层水质的影响,本次工作于回灌前、回灌中及回灌后分别采集开采井及回灌井水样进行分析。根据水质矿化度变化曲线(图 6)看出,开采井矿化度大于回灌井,但因采灌井属于同层热储,水质矿化度相差不大。回灌井因灌入了矿化度比其自身地热水矿化度高的水源,所以回灌后采集的回灌井地热水矿化度比回灌试验之前高,但因采灌井开采热储层属于同层热储,故回灌对热储层水质影响较小。

4.3 温度场

本次回灌试验期间回灌尾水温度 34℃,开采井水温保持在 57℃左右。由回灌试验期间对开采井水温的监测数据(表 5),可知热储层中地热流体温度未受到回灌尾水温度影响。本次回灌试验井组距离为 388 m,可推断回灌尾水温度影响范围小于该距离(吴丽莉等, 2017)。

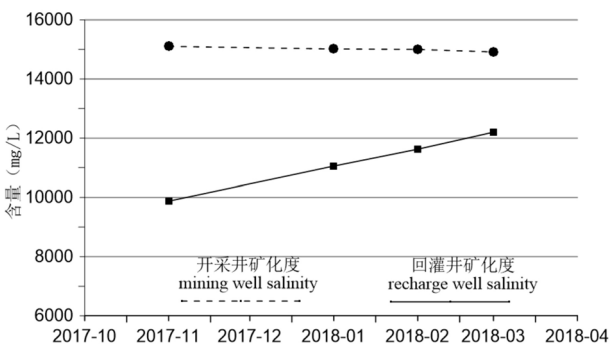


图 6 开采井井水与回灌井回灌水矿化度变化曲线

Fig. 6The variation curve of salinity of mining well water and reinjection water

表 5 禹城栖霞水岸开采井水温(℃)变化一览表

Table 5 List of water temperature (℃) of mining well in Xitingshuian, Yucheng City

开始前	2017 年 11 月	2017 年 12 月	2018 年 1 月	2018 年 2 月	2018 年 3 月	结束后
56.7	56.8	56.8	56.9	56.9	56.9	56.9

5 结论

- (1)禹城市为东营组热储集中开采区,其中 94%用于供暖,6%用于洗浴,年开采量约 $250\times 10^4\text{ m}^3$ 。
- (2)本试验井组回灌井采用大口径填砾成井工艺,开采井地热流体换热后经除砂及两级过滤后自然回灌至回灌井同层热储中。
- (3)回灌量随压力的增大而增大,单位回灌量随压力的增大呈减小趋势,综合确定本回灌井最大回灌量为 70 m³/h。
- (4)回灌井水质受回灌水源井水质影响明显,但采灌井水质本身相差不大,故回灌对热储层水质影响小。
- (5)回灌对热储层水温影响较小,温度场影响范围小于 388 m。
- (6)本次回灌试验模式及回灌井成井工艺对东营组与馆陶组混采热储具有借鉴意义,对层状孔隙—裂隙型热储回灌具有指导价值。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

程秀明. 2013. 地热形成条件探索与找热方法研究. 山东国土资源, 29(09): 31~33.

关铎. 2014. 地热资源经济评价方法与应用研究. 导师:成金华. 中国地质大学博士学位论文.

贺霖, 张乐, 袁一鸣, 等. 2018. 东营市南展区砂岩热储地热回灌量与温度的关系探讨. 山东国土资源, 34(1): 44~48.

何满潮, 刘斌, 姚磊华, 徐能雄. 2003. 地热单井回灌渗流场理论研究. 太阳能学报, (2): 197~201.

刘元斌, 孟令兴, 周亚醒. 2010. 鲁西平原地热水的化学特征及开发利用. 山东国土资源, 26(2): 25~29.

马凤如, 林黎, 王颖萍, 程万庆, 赵苏民. 2006. 天津地热资源现状与可持续性开发利用问题. 地质调查与研究, (3): 222~228.

彭新明, 张勇. 2006. 国内地热回灌模式浅议. 西部探矿工程, (2): 143~144.

秦耀军, 张平平. 2018. 山东省砂岩热储地热资源开发利用模式探讨. 山东国土资源, 34(10): 93~98.

陶虹, 丁佳. 2014. 关中城市群开采地下水有关环境地质问题及其防治对策建议. 地质论评, 60(1): 231~235.

王浩. 2015. 禹城市地热田地热资源赋存特征浅析. 甘肃科技, 31(2): 50~52.

王浩, 张震宇, 杨建华. 2014. 禹城市城区东营组热储地热资源赋存特征研究. 山东国土资源, 30(1): 33~36.

王仁忠. 2017. 成井工艺对砂岩热储地热尾水回灌的影响. 城市建设理论研究(电子版), (26): 173.

王彦俊, 刘桂仪, 胡松涛. 2008. 鲁北地区地热资源区划研究. 地质调查与研究, (3): 270~277.

吴立进, 赵季初, 李艾银, 邢生霞. 2016. 鲁北坳陷区地热资源开发利用关键性问题研究. 地质与勘探, 52(2): 300~306.

吴丽莉, 孟凡奇, 董玉龙, 刘强, 刘妍芬. 2017. 山东省郓城县岩溶热储回灌试验. 山东国土资源, 33(6): 38~42.

徐军祥, 康凤新. 2014. 山东省地热资源. 北京: 地质出版社.

尤伟静, 刘延锋, 郭明晶. 2013. 地热资源开发利用过程中的主要环境问题. 安全与环境工程, 20(2): 24~28+34.

詹麒. 2009. 国内外地热开发利用现状浅析. 理论月刊, 331(7): 71~75.

张金华, 魏伟, 杜东, 魏兴华, 王培. 2013. 地热资源的开发利用及可持续发展. 中外能源, 18(1): 30~35.

张勇. 2017. 地热井成井工艺技术的探讨与分析. 城市建设理论研究(电子版), (36): 81.

赵季初. 2013. 鲁北砂岩热储地热尾水回灌试验研究. 山东国土资源, 29(9): 23~30.

周世海, 杨询昌, 梁伟, 啜云香, 李志恒. 2007. 德州市城区地热水人工回灌试验研究. 山东国土资源, (9): 11~14.

朱家玲, 朱晓明, 雷海燕. 2012. 地热回灌井间压差补偿对回灌效率影响的分析. 太阳能学报, 33(1): 56~62.

Cheng Xiuming. 2013&. Study on seeking geothermal water. Shandong Land and Resources, 29(9): 31~33.

Guan Xin. 2014&. Study on method and application of economic evaluation of geothermal resources. Supervisor: Cheng Jinhua. Dissertation for Doctor degree of China University of Geosciences.

He Manchao, Liu Bin, Yao Leihua, Xu Nengxiong. 2003&. Study on the theory of seepage field for geothermal single well reinjection. Acta Energiae Solaris Sinica, (2): 197~201.

He Miao, Zhang Le, Yuan Yiming, etc. 2018&. Study on the relationship between re-injection volume and temperature of sandstone geothermal reservoir in nanzhan area of Dongying City. Shandong Land and Resources, 34(1): 44~48.

Liu Yuanbin, Meng Lingxin, Zhou Yaxing. 2010&. Chemical characteristics and utilization of geothermal water in Luxi plain. Shandong Land and Resources, 26(2): 25~29.

Ma Fengru, Lin Li, Wang Yingping, Cheng Wanqing, Zhao Sumin. 2006&. Discussion on the sustainable exploitation and utilization of geothermal resources in Tianjin. Geological Survey and Research, (3): 222~228.

Peng Xinming, Zhang Yong. 2006&. Discussion on geothermal reinjection model in China. West-China Exploration Engineering, (2): 143~144.

Qin Yaojun, Zhang Pingping. 2018&. Development and utilization of geothermal resources in the middle and deep layers of Shandong Province. Shandong Land and Resources, 34(10): 93~98.

Tao Hong, Ding Jia. 2014&. Groundwater environmental geological problems and preventive treatment in Guanzhong urban agglomeration. Geological Review, 60(1): 231~235.

Wang Hao. 2015#. A brief analysis on occurrence characteristics of geothermal resources in Yucheng geothermal field. Gansu Science and Technology, 31(2): 50~52.

Wang Hao, Zhang Zhenyu, Yang Jianhua. 2014&. Study on occurrence characteristics of geothermal resources in Dongying Formations in district areas of Yucheng. Shandong Land and Resources, 30(1): 33~36.

Wang Renzhong. 2017#. Effects of well formation technology on geothermal tailwater recharge for sandstone thermal reservoir. Theoretical Research in Urban Construction, (26): 173.

Wang Yanjun, Liu Guiyi, Hu Songtao. 2008&. Division of the geothermal resources in the northern Shandong Province. Geological Survey and Research, (3): 270~277.

Wu Lijin, Zhao Jichu, Li Aiyin, Xing Shengxia. 2016&. Key issues of geothermal resource exploitation and utilization in the depression area of northern Shandong Province. Geology and Exploration, 52(2): 300~306.

Wu Lili, Meng Fanqi, Dong Yulong, Liu Qiang, Liu Yanfen. 2017&. Experimental study on karst geothermal reservoir reinjection in Yuncheng County of Shandong Province. Shandong Land and Resources, 33(6): 38~42.

Xu Junxiang, Kang Fengxin. 2014#. Shandong Geothermal Resources. Beijing: Geological Publishing House.

You Weijing, Liu Yanfeng, Guo Mingjing. 2013&. Environmental issues in the development and utilization of geothermal resources. Safety and Environmental Engineering, 20(2): 24~28+34.

Zhan Qi. 2009#. Simple analysis of current situation of geothermal exploitation and utilization at home and abroad. Theory Monthly, 331(7): 71~75.

Zhang Jinhua, Wei Wei, Du Dong, Wei Xinghua, Wang Pei. 2013&. The development, utilization and sustainable development of geothermal resources. Sino—Global Energy, 18(1): 30~35.

Zhang Yong. 2017#. Discussion and analysis of geothermal well completion technology. Theoretical Research in Urban Construction, (36): 81.

Zhao Jichu. 2013&. Lubei geothermal tail water reinjection experiments in sandstone reservoir. Shandong Land and Resources, 29(9): 23~30.

Zhou Shihai, Yang Xunchang, Liang Wei, Chuai Yunxiang, Li Zhiheng. 2007&. Study on geothermal re-injection experiment in districts in Dezhou City. Shandong Land and Resources, (9): 11~14.

Zhu Jialing, Zhu Xiaoming, Lei Haiyan. 2012&. Analysis of impact of pressure compensation between geothermal wells on reinjection efficiency. Acta Energiae Solaris Sinica, 33(1): 56~62.

Reinjection experimental research on sedimentary basin sandstone reservoir
——A case study of Yucheng City, Shandong

WANG Xuepeng, LIU Huan, JIANG Shujie, DENG Rongqing

Shandong Lubei Geo-engineering Exploration Institute, Dezhou, Shandong, 253072

Abstract: Yucheng City is a concentrated area of Dongying Formation for the exploitation and utilization of thermal reservoir geothermal resources. Due to the concentrated exploitation of geothermal resources and the direct discharge of geothermal tailwater, a series of geological environmental problems, such as water chemical pollution, thermal pollution and pressure drop of thermal reservoir have been caused. Based on the investigation of the exploitation and utilization of geothermal resources in Yucheng City, the geothermal reinjection experiment was carried out in the Xitingshuian of Yucheng City. Based on the data obtained from the reinjection experiment, the relationship between the reinjection amount and the reinjection pressure, the influence of the reinjection on the water quality of the thermal reservoir, and the influence pattern of the reinjection on the temperature of the thermal reservoir were analyzed and studied, and the maximum reinjection amount was calculated based on the curve fitting the relationship between the reinjection amount and the water level rise. The results show that the amount of reinjection increases with the increase of pressure, and the unit reinjection decreases with the increase of pressure. Because the reinjection well is filled with water with a higher salinity than its own geothermal water, the salinity of the geothermal water collected after the reinjection is higher than that before the reinjection test. However, since the thermal reservoir mined by the reinjection well belongs to the same layer, the influence of the reinjection on the water quality of the thermal reservoir is small. In this test, the spacing between wells is large, so the reinjection has no influence on the temperature of the thermal reservoir. The calculation determined that the maximum reinjection amount of the reinjection well was 70m³/h. This study provides a basis for the sustainable development and utilization of the geothermal resources in Yucheng City.

Keywords: Yucheng City, Shandong; Dongying Formation; geothermal reinjection

Acknowledgements: This work is an achievement of geological exploration projects of the Department of Natural Resources of Shandong Province (No. LKZ201222)

First author: WANG Xuepeng, male, born in 1990, master, engineer, mainly working on hydrogeology and geothermal resources exploration; Email: 1029393006@qq.com

Manuscript received on: 2019-03-13; Accepted on: 2020-03-03; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10.16509/j.georeview.2020.02.017