

水文地质环境地质

## 商河县馆陶组热储地热尾水回灌可行性研究

张平平,张东生,刘胜利,杨亚宾,王立东

(山东省鲁北地质工程勘察院,山东德州 253072)

**摘要:**从回灌热储层条件、动力场特征、水化学及库容条件等方面,研究了商河县地热回灌地质条件。结合区内地热资源开发利用现状与回灌工程技术条件,对商河县地热尾水回灌的可行性进行了研究,认为在现有条件下,可逐步推行地热尾水回灌。

**关键词:**地热尾水;砂岩热储;回灌可行性;商河县

**中图分类号:**P314.1 **文献标识码:**B

**引文格式:**张平平,张东生,刘胜利,等.商河县馆陶组热储地热尾水回灌可行性研究[J].山东国土资源,2015,31(8):50-53.ZHANG Pingping, ZHANG Dongshen, LIU Shengli, etc. Feasibility Study on Geothermal Tail Water Reinjection in Guantao Formation Shandong Province[J]. Shandong Land and Resources, 2015, 31(8): 50-53.

商河县地处鲁西北平原,地热资源属于碎屑岩类孔隙裂隙热储,补给及其微弱,地热流体的大量开采造成了热储压力的急剧下降<sup>[1]</sup>,同时,资源浪费、环境污染、利用率低等问题也相伴而生,回灌成为解决上述问题的最直接最有效的措施。为此,文章在商河县地热资源及开发利用技术现状基础上,对商河县地热回灌地质条件及工程技术条件进行可行性研究。

## 1 地热资源勘查开发利用现状及存在的问题

### 1.1 地热资源勘查现状

2001年5月,山东省鲁北地质工程勘察院在商河县贾庄胜利油田临盘社区施工了一眼探采结合地热井(商水探采1井)。近年来,随着人们生活水平提高,对资源的需求量急剧增大,地热资源作为一种新兴能源逐渐被认可并广泛使用,商河县也在逐年加大地热资源的勘查力度,先后完成商河县县城、县城北部地区以及整个商河县的调查工作,取得了丰厚的成果。商河县馆陶组热储地热资源量 $10.109 \times 10^{18} \text{J}$ ,折合标准煤34478万t;可利用地热资源量为 $25.273 \times 10^{17} \text{J}$ ,折合标准煤8620万t;地热静储量为 $22.4912 \times 10^9 \text{m}^3$ ;热水可采资源量为 $15.475 \times$

$10^4 \text{m}^3/\text{d}$ ,可开采热量为 $10.074 \times 10^{17} \text{J}^{\text{①}}$ 。

### 1.2 地热资源开发利用现状

商河县现已有地热井28眼,开采层位为新近纪馆陶组(其中1眼地热井为混合开采馆陶组与东营组热储),井深1279.07~1556.29m,水量40~120 $\text{m}^3/\text{h}$ ,水温54~60 $^{\circ}\text{C}$ 。区内全年地热开采用水量约 $266.56 \times 10^4 \text{万m}^3/\text{a}$ ,地热开发主要用于供暖(温室种植)、康乐、洗浴、供热水、养殖等。其中供暖(温室)用水占86.81%,康乐-洗浴用水占8.36%;养殖用水占0.43%;热水及其他利用占4.3%。地热水开采量全年分配不均,地热水资源的开采主要集中在供暖期,供暖期地热水开采量占全年开采量的91%左右;虽然区内地热开发利用取得一定效果,但总的看来,区内地热尚未形成梯级开发综合利用,利用率仍比较低。

### 1.3 地热资源开发利用存在的问题

#### 1.3.1 资源枯竭

区内馆陶组热储地热资源,再生能力差,属消耗型资源<sup>[2]</sup>。受人工开采影响,水位呈逐年下降趋势。2004年4月,商河县粮食局地热井成井时,自流水头高出地面7.8m(热水头),至2008年豪门投资置业有限公司的又一城小区地热井成井时,水位标高

收稿日期:2014-10-08;修订日期:2014-12-09;编辑:曹丽丽

作者简介:张平平(1984—),女,辽宁省辽中人,工程师,主要从事水工环及地热地质工作;E-mail:zpp840419@163.com

①商河县人民政府,商河县地热资源勘查开发利用与保护规划,2009年。

为 10.5 m, 水位年内降幅 2.5 m 左右。近年来, 随着区内地热井数量的增加, 水位更是急剧下降, 目前, 区内地热井成井时水位埋深约 24~34 m。根据目前的水位下降速度, 只采不灌, 不仅会使开采成本增加, 而且面临资源枯竭的风险。

### 1.3.2 环境污染

(1) 地热尾水热污染。区内地热开发主要用于冬季采暖, 供暖尾水直接排入城市下水管道内, 尾水排放温度一般在 25~35℃ 之间, 介于城市热排水允许温度临界值, 存在一定的热污染。

(2) 地热尾水水化学污染。从地热尾水的水质评价看, 供暖地热尾水水质变化不大, 水化学类型为 Cl-Na 型, 属咸水, 地热尾水中总硬度、锰、氯化物、硫酸盐溶解性总固体、总  $\beta$  放射性等超标, 不适宜饮用、农田灌溉用水<sup>①</sup>, 因此, 尾水的直接排放, 对地表水及土壤有一定的污染。

(3) 地面沉降。目前, 区内很多地热井间距远小于合理井距, 冬季的集中开采, 造成馆陶组地热水水位下降速度超过了 2 m/a, 存在地面沉降的隐患。

## 2 地热尾水回灌试验

### 2.1 井组配置

2014 年初, 商河县在旭润新城小区进行了一组回灌试验。其中开采井井深 1 430.00 m, 0~302.92 m 为  $\Phi 339.7$  mm 的泵室管, 302.92~1 430 m 为  $\Phi 177.8$  mm 的井壁管, 滤水管加工打眼, 孔径 17 mm, 有效长度 123.11 m, 降深 32.21 m 时, 水量 118.36 m<sup>3</sup>/h; 回灌井井深 1 514.00 m, 0~297.81 m 为  $\Phi 339.7$  mm 泵室管, 298.80~1 514.00 mm 为  $\Phi 177.8$  mm 井壁管, 滤水管加工打眼, 孔径 18 mm, 有效长度 187.54 m, 降深 43.4 m 时, 水量 110 m<sup>3</sup>/h。开采井与回灌井均为二开成井结构, 滤水管均未包网缠丝, 取水目的层为新近纪馆陶组, 地热水水化学类型为 Cl-Na 型, 两井地面直线距离 150.1 m。由于回灌井为斜井, 340 m 以深, 北东方向倾斜, 角度约 28°, 因此, 两井热储层中点间距约 500 m。

### 2.2 回灌工艺及流程

回灌采用自然无压对井回灌模式, 水源采用供暖尾水。由于小区采用换热设备与水源热泵机组进行配套组合的方式, 尾水不流经供暖管网, 有效防止

了水质污染。地热水经除砂处理后进入换热器, 换热后低温尾水输水至回灌泵房, 再经储水罐, 两级过滤装置, 最终通过井管与泵管形成的环状间隙灌入回灌井。

### 2.3 试验结果

试验系统是在借鉴了大量回灌研究成果的基础上建成的, 且为商河县首次回灌试验, 为更好研究区域回灌性能, 在现有水位埋深 (34 m) 条件下, 进行了自然无压最大回灌量试验, 试验结果表明, 34 m 水位升幅条件下, 最大尾水回灌量为 75 m<sup>3</sup>/h, 且可持续回灌约 28 d 左右, 对开采井水量、水温未产生影响。

## 3 地热回灌可行性分析

### 3.1 地热回灌地质条件

#### 3.1.1 热储层条件

区内馆陶组热储除在北部的宁津潜凸区缺失外, 均有分布。在陵县-老黄河口断裂以南的广大地区, 顶界埋深 950~1 250 m, 底界埋深 1 000~1 550 m, 热储厚度 0~350 m, 热储的含水砂层约占地层厚度的 17.63%~38.74%, 自该县北部、东南部往中部及西南部埋深及厚度逐渐增大, 热储层岩性为灰色、灰白色粗砂岩和砂砾岩, 泥质胶结, 砂砾岩成岩性差, 呈疏松状。孔隙度大, 一般为 20%~30%, 热储层渗透率一般  $(11.03~48.20) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。另据区内地热井完井时产能测试资料, 该区馆陶组地热水丰富, 热储渗透系数 0.60~1.38 m/d, 弹性释水系数  $2.54 \times 10^{-4}$ , 导水系数 468.5 m<sup>2</sup>/d, 具有良好的储水空间。

#### 3.1.2 回灌动力场条件

区内已形成了地热水降落漏斗, 并呈逐年扩大趋势。玉皇庙及商河县城地区地热水位较低, 商河县东北部水位较高 (图 1)。

#### 3.1.3 回灌库容条件

随着区内地热资源的开采, 馆陶组热储压力的大幅下降, 形成了利于回灌的储水空间。区内馆陶组热储埋藏较深, 热储回灌库容量主要为疏干的部分水量, 即热储的弹性储量。

<sup>①</sup> 山东省地矿集团有限公司, 山东省济南市商河县地热水资源水质评价报告, 2009 年。

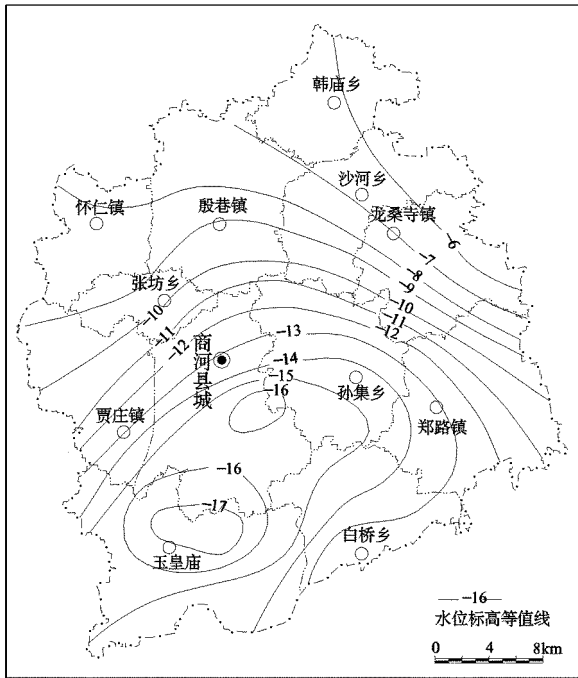


图 1 地热水位标高等值线图(2013 年 8 月)

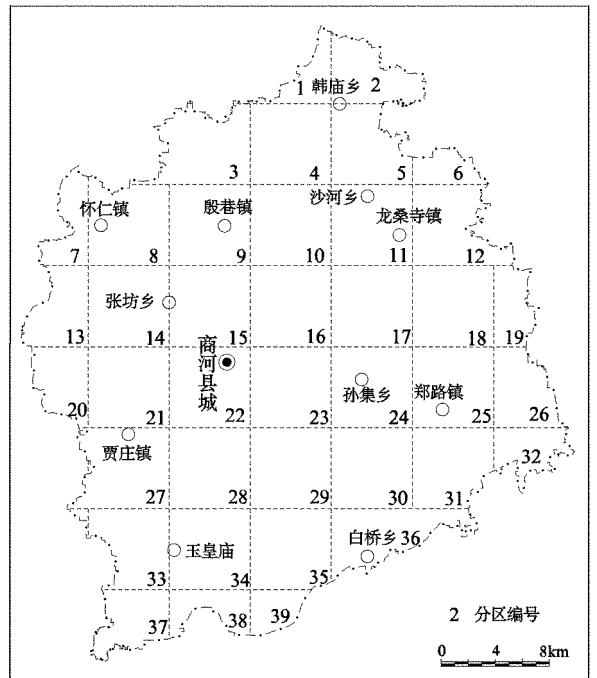


图 2 商河县馆陶组热储库容量计算分区图

(1)地热水回灌库容量计算方法。分别计算预期最大回灌库容量与现状回灌库容量,预期最大回灌库容量,取决于环境约束条件下的最大允许降深,现状回灌库容量大小主要取决于热储现状条件下水位埋藏深度,计算公式如下:

$$V = \mu e \cdot M \cdot F \quad (1)$$

式中: $V$ 为地热水回灌库容量( $m^3$ ); $\mu e$ 为热储平均弹性释水系数; $M$ 为热储水位平均埋藏深度( $m$ ); $F$ 为计算回灌区面积( $m^2$ )

(2)计算分区。考虑到热储参数的渐变性和连续性,采用栅格法对区内馆陶组进行计算分区,即以近似网格的形式,每个分区面积大致为  $6\text{ km} \times 6\text{ km}$  (图 2)。

(3)计算参数。弹性释水系数:采用不同砂层厚度对应弹性释水系数的近似加权平均值作为计算参数。水位埋藏深度:依据馆陶组热储水位埋深,将各网格水位与地表距离近似加权平均值作为回灌库容量计算的水位埋藏值。利用 MapGIS 自带的区属性计算回灌区面积。

(4)回灌库容计算结果。根据公式计算出区内馆陶组热储预期最大回灌库容量为  $2\ 360.72 \times 10^4\ m^3$ ,现状回灌库容量为  $413.4 \times 10^4\ m^3$ 。

### 3.2 回灌水源条件

在回灌水源的选择上,要考虑到水源的水质、可使用量、取水路程及经济可行性等。根据国际和国内地热回灌经验,回灌水源首选供暖后的地热弃水。前已述及,区内地热资源的开发利用主要用于冬季供暖,可占总开采量的 87%。地热尾水的水质与原水质几乎没有变化,因此,以供暖尾水作为地热回灌的水源,不会对热储的水质产生影响。采用供暖尾水作为回灌水源还具有运送途径短的特点,可以做到就地开采、就地利用、就地回灌,不但能有效地缓解热储压力的下降,而且能降低开发利用成本,减少或消除地热开发对环境的不良影响。

### 3.3 回灌工程技术条件

就砂岩孔隙热储回灌而言,目前尚没有达到持续 100%回灌效果。除热储层本身回灌条件外,回灌工程技术是影响回灌效果的主要因素。主要包括回灌井成井结构、地面辅助净化设备、回灌工艺流程等。

#### 3.3.1 回灌井成井结构

结合德国砂岩热储回灌研究成果及国内天津对砂岩孔隙型热储的回灌经验,改变回灌井成井结构可以增加回灌量<sup>[3-4]</sup>。大口径填砾成井工艺在天津

砂岩热储回灌井施工已得到研究应用,对缓解回灌中堵塞现象发生起到重要作用<sup>[5]</sup>。这一点在 2012 年由山东省鲁北地质工程勘察院在平原县施工的回灌井中已得到验证。而商河的回灌试验中采用斜井作为回灌井,不但能有效解决采灌井间距不足的问题,而且增大回灌井管与热储层接触面积,增大回灌量。综上所述在现阶段技术条件下,施工专属回灌井,技术上是可行的。

### 3.3.2 地面辅助净化设备

通过与周边地区回灌试验的对比,商河县回灌试验的地面设施中增设水质净化设施,排气罐等设备,回灌量最大可达 75 m<sup>3</sup>/h。平原回灌试验增设了排气、除砂设备,并采用精、粗二级过滤,在水质方面缓解了堵塞的发生,取得了良好的效果。因此,在工作区进行回灌就工程技术方面是可行的。

### 3.3.3 回灌方式

从目前区内水位埋深现状及经济条件看,采用自然无压回灌方式,完全可以满足现有尾水排放需求。在回灌中加强对水位的监测,一旦发现水位持续上升,采取回扬措施,防止堵塞发生<sup>[6-7]</sup>,可保证回灌的持续进行。

## 4 结语

(1)商河县馆陶组热储厚度大,渗透性好,开发

利用程度较高,地热水位下降明显,具有一定的储水空间。

(2)馆陶组地热尾水水质几乎没有变化,作为回灌水源不会对回灌热储层产生影响,且有效防止地热开发带来的环境污染。

(3)省内外无论是从回灌井成井结构、回灌工艺流程上都进行了大量研究工作,且商河县进行了回灌试验,取得了良好的效果,从现有工程技术角度,可逐步推行地热尾水回灌。

## 参考文献:

- [1] 赵季初.鲁北砂岩热储地热尾水回灌试验研究[J].山东国土资源,2013,29(9):24-31.
- [2] 郭振花,孙希华.山东省商河县地热资源开发利用前景分析[J].资源开发与市场,2007,(3):234-274.
- [3] 刘道远,孙启邦等译.德国砂岩热储层地热水回灌试验[J].地热能,2009,(5):3-11.
- [4] 高宝珠,曾梅香.地热对井运行系统中回灌井堵塞原因浅析及预防措施[J].水文地质工程地质,2007,(2):75-79.
- [5] 谭志容.东营市城区馆陶组热储回灌性能分析[J].山东国土资源,2010,26(8):13-17.
- [6] 曾梅香,李会娟.新近系热储层回灌井钻探工艺探索[J].地质与勘探,2007,43(2):88-92.
- [7] 张新文,胡彩萍,胡松涛,等.东营市中心城区地热田地热回灌可行性分析[J].山东国土资源,2009,25(8):18-21.

## Feasibility Study on Geothermal Tail Water ReInjection in Guantao Formation Shandong Province

ZHANG Pingping, ZHANG Dongshen, LIU Shengli, YANG Yabin, WANG Lidong  
(Lubei Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Dezhou 253072, China)

**Abstract:** In this paper, from the aspects of geothermal reservoir conditions, dynamic field, water chemistry and storage conditions, geological conditions of geothermal reinjection in Shanghe county have been studied. Combining with present condition of development and utilization of geothermal resources and technical conditions of the reinjection project, feasibility of geothermal tail water reinjection in Shanghe county has been studied. It is regarded that geothermal tail water reinjection can be gradually implemented under the existing conditions.

**Key words:** Geothermal tail water; thermal reservoir in sandstone; recharging feasibility; Shanghe county