

德州市城区地热水人工回灌试验研究

周世海,杨询昌,梁伟,啜云香,李志恒

(山东省鲁北地质工程勘察院,山东 德州 253015)

摘要:以德州市城区地热回灌为例,分析了地热回灌对水质、水量、水温的影响,证实了回灌井结构、热储特征、回灌压力、回灌工艺等是影响回灌效果的主要因素,明确了地热回灌量与出水量、回灌压力之间的关系,提出回灌可以有效解决地热开发利用带来的诸多问题。

关键词:地热;回扬;回灌量;回灌压力;德州城区

中图分类号:P314.1 文献标识码:A

0 引言

德州市城区中低温地热资源丰富,截至 2005 年,德州市城区建成并已开发利用的地热井有 20 余眼,井深 1 300 ~ 1 600 m,开采层位主要集中在新近纪馆陶组热储层,开采量达到 $470 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,占地热水可采资源量的 56%。地热资源开发多用于冬季供暖和洗浴,部分用于游泳和医疗等领域,取得了一定的经济、社会和环境效益。但是,区内地热资源的不合理开发利用,只采不灌等原因,已引发了区内地热水位的不断下降(德城区地下热水静止水位埋深约 8 m,水位下降速率达 0.8 m/a)、水土污染、热污染等一系列环境地质问题^[1]。

目前认为回灌可以有效地解决地热开发利用所带来的诸多问题。但是地热回灌技术复杂,回灌过程中可能引起回灌井井管及其周围热储的物理、化学阻塞,使得回灌效率降低,并有可能导致回灌井损坏等^[2]。为进行地热回灌技术研究,为地热资源的可持续开发提供依据,鲁北地质工程勘察院 2005 年开展了德州市城区地热水人工回灌试验,分析了地热回灌对水质、水量、水温的影响及回灌效果影响因素,明确了地热回灌量与出水量、回灌压力之间的关系。

1 地热井回灌试验

1.1 试验场地概况

地热井回灌试验场地位于德城区鲁北地质工程勘察院院内,场区地热地质条件较好,地热资源主要赋存于新近纪和古近纪碎屑沉积岩中(埋深 2 000 m 以内),为温热水型低温地热资源,属层状孔隙—裂隙型热储。开采热储层主要为馆陶组热储层,热储顶板埋深 1 050 ~ 1 160 m,底板埋深 1 300 ~ 1 650 m,地层厚度 300 ~ 475 m,含水层厚度 160 ~ 180 m,含水层岩性为浅灰色细—中砂岩和灰白色含砾粗砂岩及砂砾岩,水温 52 ~ 58 ℃,静止水位埋深约 8 m,水化学类型为 Cl-Na 型,矿化度 4 000 ~ 5 000 mg/L。

1.2 试验工程设施

回灌试验工程设施主要包括回灌井、开采井、回灌管路及机械设备等,回灌井(热 2)与开采井(热 1)相距 65 m,取水层位与灌水层位均为新近纪馆陶组热储。回灌井成井深度为 1 558.87 m,取水段 1 408.00 ~ 1 548.00 m,开采井成井深度为 1 491.37 m,取水段 1 332.00 ~ 1 467.56 m。成井结构见图 1,图 2。

1.3 试验方法及过程

回灌试验前首先对回灌井进行了稳定流抽水试验,然后进行试灌,最后正式进行地热水人工回灌试验。该次回灌试验采用同层加压方式进行,即在回灌过程中将回灌井密封,使回灌井处于真空状态,避

* 收稿日期:2007-07-05;修订日期:2007-08-20;编辑:曹丽丽

作者简介:周世海(1963-),男,山东龙口人,助理工程师,主要从事水文地质、环境地质工作。

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,2006年。

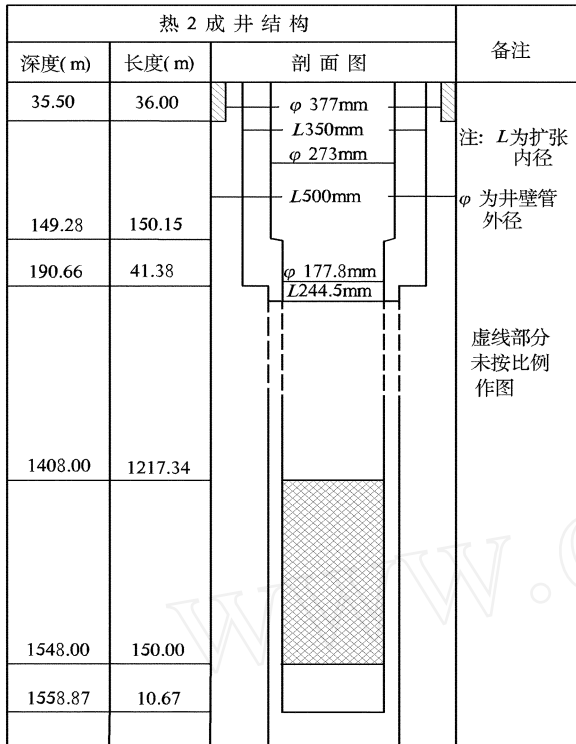


图 1 回灌井结构示意图

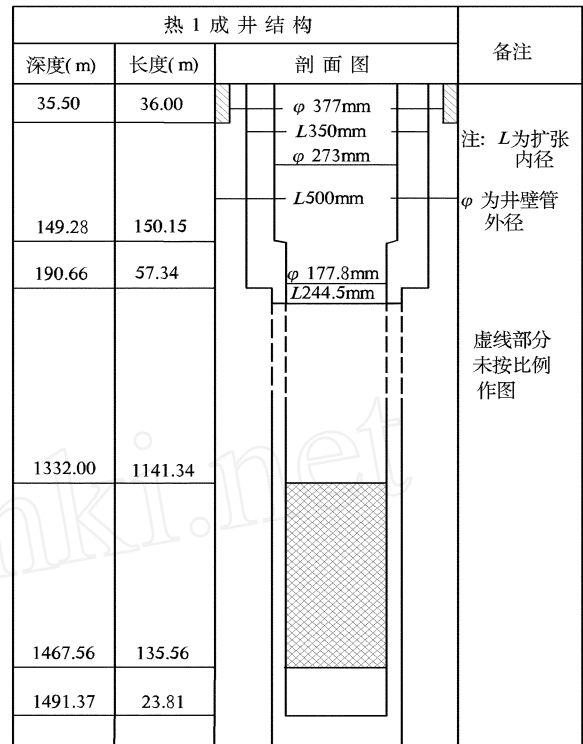


图 2 开采井结构示意图

免空气进入,通过加压向回灌井进行注水。回灌水源为开采井地热尾水,温度为 51~53。回灌过程中对水温(包括开采井)、水量、水压、水位、气温等进行观测,并间歇性对回灌井进行回扬,回扬间隔时间为 10 h 左右,每次回扬时间在 30 min 左右。试验于 2006 年 10 月 20 日开始,至 10 月 28 日结束。按由小到大的顺序采用 4 个压力进行回灌,累计回灌时间 2 176 min,累计回灌量 426.4 m³,平均稳定回灌量 11.4 m³/h。

1.4 试验结果分析

1.4.1 水质变化

从回灌试验水质分析结果(表 1)可以看出,试验前后回灌井水质除 Fe³⁺含量有所升高外,其他回

灌井(热储层)水质基本上无明显变化。分析 Fe³⁺含量升高可能是试验密封不严,有空气进入,导致部分 Fe(OH)₃沉淀,从而使 Fe²⁺变成 Fe³⁺的缘故。

1.4.2 水温变化

该次回灌水源温度为 51,试验前回灌井井口水温为 52(降深为 80.95 m),开采井水温为 57,试验结束后,在相同降深抽水情况下,回灌井与开采井水温都无变化,说明回灌对热储水温无明显影响。由于热储层流体(地热水)储量巨大,回灌水只是极小部分,因此,即使回灌水源温度远低于回灌热储层流体(地热水)温度,也不可能使热储层流体(地热水)温度有较大降低,对地热井井口出水温度也不会有较大影响。

表 1 试验水质对比 (mg/L)

项目	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Fe ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	总碱度	矿化度	pH值
回灌水源	13.0	1640	107.21	23.08	0.55	1.10	2162.45	621.41	237.98	无	未检出	0.5	1.50	195.16	478.38	8.1
回灌井(试验前)	12.5	1650	98.20	25.52	1.10	0.48	2134.08	605.18	231.88	无	未检出	0.9	1.25	190.15	4789.86	8.2
回灌井(试验后)	12.5	1660	104.21	20.66	1.10	1.20	2142.95	596.77	219.67	无	未检出	0.7	1.12	180.14	4788.38	8.1

1.4.3 回灌量与回灌压力关系

回灌初期,由于回灌井内尚有部分空间,地下水也未形成稳定的渗流场,加上压力也未稳定,从而导致回灌初期回灌量及波动范围较大,而当回灌井内部分空间被水全部填满后,孔内压力就会明显增加,回灌量相应的会减少,这时回灌压力也渐趋于稳定。而当回灌压力稳定后,地下水稳定渗流场也就逐渐形成,因此,回灌中后期回灌量也就慢慢趋于相对稳定。随着回灌时间的延长,回灌能力会降低,通过回扬后,其回灌能力又有所增加(图 3)。

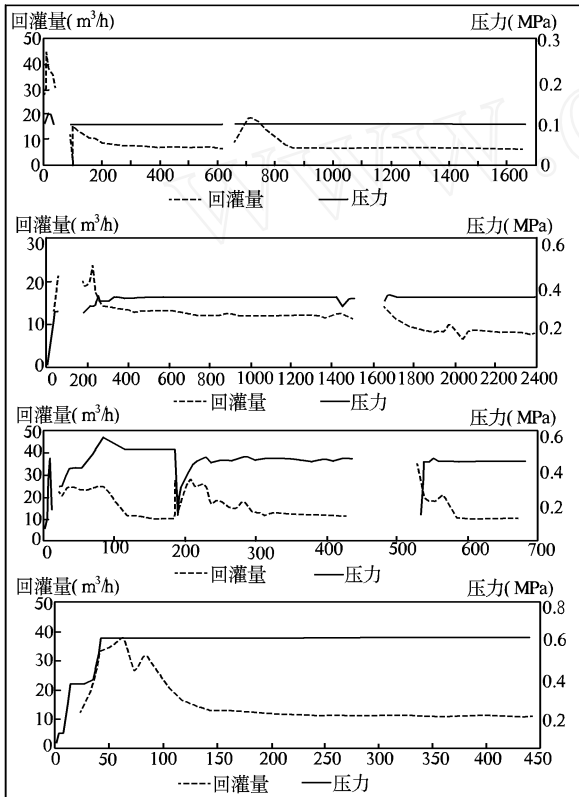


图 3 回灌压力与回灌量变化历时曲线

回灌量与回灌压力的关系是:回灌量 (Q) 随着回灌压力 (P) 的增大而增大(图 4),单位压力回灌量随着压力的增大而快速减小(图 5),它们均呈幂函数关系,其关系式为:回灌量 $Q = 12.322 \times P^{0.255}$, 相关系数 $R^2 = 0.8535$; 单位回灌量 $q = 12.322 P^{-0.745}$, 相关系数 $R^2 = 0.9803$ 。

1.4.4 回灌量与出水量相关分析

从图 4,图 5 可以看出,回灌量与回灌压力关系同常规稳定流抽水中流量与降深关系是一致的,回灌量相当于流量 (Q),回灌压力相当于降深 (s),单位回灌压力回灌量相当于单位降深流量 (q)。如果

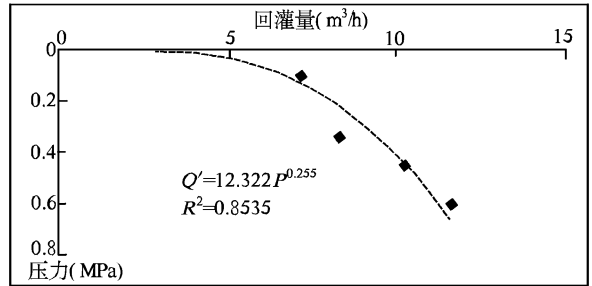


图 4 回灌量与回灌压力关系曲线图

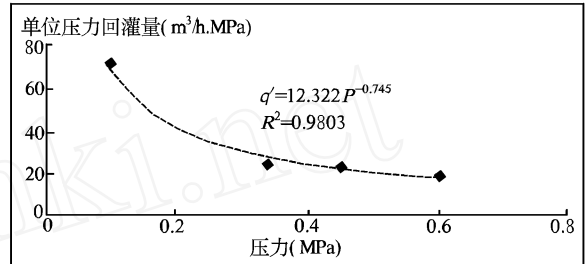


图 5 单位压力回灌量与回灌压力关系曲线图

将压力换算成降深,0.1 MPa 相当于 10 m 降深。因此,在相同“降深”情况下,回灌量小于抽水流量,回灌量为抽水量的 25% ~ 42% (表 2)。

表 2 地热回灌试验回灌量与抽水量对比

抽水			回灌			q / q (%)
降深 s (m)	流量 Q (m³/h)	单位降深流量 q (m³/h.m)	降深 s (m)	回灌量 Q (m³/h)	单位降深回灌量 q (m³/h.m)	
10 *	17 *	1.700 *	10	7.1	0.710	41.8
34.72	34	0.979	34	8.3	0.244	24.9
45 *	39 *	0.875 *	45	10.2	0.227	25.9
60 *	45 *	0.750 *	60	11.6	0.193	25.7
80.95	52	0.642				

备注: 1. 带 * 数据为根据回灌前两次降深抽水试验数据得出的相关性公式 $q = 4.9659s^{-0.4612}$ 计算得出; 2. 回灌降深 $s = 100 \times P$ (P 为回灌压力,单位 MPa)

1.4.5 影响回灌效果因素分析

单位回灌量大小是衡量地热水人工回灌效果及其技术、经济可行性的重要指标。影响回灌效果的因素很多,包括回灌井结构、热储特征、回灌压力、回灌工艺等。最终导致回灌量减小,并使得地热水人工回灌效果降低的直接原因,是由于部分空气的进入及地下水温度、水质变化的影响,导致回灌井管及周围热储产生物理、化学阻塞。物理阻塞主要是由于水的运动促使周围岩石碎屑不停地运动,岩石碎屑很容易堆积在回灌井滤水管孔处堵塞滤水管;同时,当大量的岩石碎屑在热储层中运动时,也会引起

热储层的物理吸附阻塞。化学阻塞主要是由于温度、水质的改变及部分空气的进入使水中的化学成分发生变化,并生成一些新的物质,导致井管及其周围热储的化学阻塞,如铁质、钙质盐类沉淀及铁细菌、硫酸盐还原菌、排硫杆菌、脱氮硫杆菌等生化作用而产生阻塞;同时回灌水中的某些溶解物质,也能使含水介质发生水岩作用,产生阻塞^[3]。

2 结论

(1)地热回灌过程中,由于回灌井管及其周围热储物理、化学阻塞,回灌量会降低。采用同层密封加压回灌方式,进行间歇回扬洗井措施,可减少回灌井管及周围热储物理化学阻塞,提高回灌能力。

(2)回灌井的位置选择应综合考虑开采井位、热储性质、地热水运移特点及补给方向等。回灌井

的钻探与成井应与开采井相仿,并应注意确保井孔的清洁和固井的稳定。

(3)为防止回灌井管及周围热储阻塞,地热水人工回灌应采用同层密封加压回灌方式,回灌过程中实施间歇性回扬(回扬时间一般在 30 min 左右,回扬间隔在 10 h 左右),回灌水源尽量采用地热尾水。

参考文献:

- [1] 申建梅,陈宗宇. 地热开发利用过程中的环境效应及环境保护[J]. 地球学报, 1998, 19(4): 403 - 408.
- [2] 何满潮,刘斌. 地热水对井回灌渗流场理论研究[J]. 中国矿业大学学报, 2004, 33(3): 245 - 248.
- [3] Bakke S, Vik E A, Gruener H, et al. Produced water reinjection (pwri): experiences from the ula field[J]. Environmental Science Research, 1995, 52: 447 - 458.

Study on Geothermal Re - injection Experiment in Districts in Dezhou City

ZHOU Shi - hai, YANG Xun - chang, LIANG Wei, CHUA I Yun - xiang, LI Zhi - heng

(Lubei Geo - engineering Exploration Institute, Shandong Dezhou 253015, China)

Abstract: Setting geothermal rejection in Dezhou districts as an example, effects of geothermal rejection to water quality, pumping rate and water temperature and elements which will effect re - injection efficiency are analysed. It is proved that the structure of re - injection well, geothermal reservoir characteristics, re - injection pressure and re - injection are major elements which will effect re - injection effect. Relationship between re - injection rate and re - injection pressure are determined as well in this paper. Through this experiment, it is proved that re - injection is an effective method in solving problems caused by geothermal resource exploration.

Key words: Geothermal, back - washing, re - injection rate, re - injection pressure; Dezhou city

山东省国土资源厅举办全省矿产资源规划编制培训班

为作好山东省市、县级第 2 轮矿产资源规划编制工作,7 月 24 日—28 日,山东省国土资源厅在龙口举办了全省矿产资源规划编制培训班。各设区市国土资源局负责矿产资源规划编制工作的科长,88 个县(市、区)国土资源局具体负责规划编制的业务骨干和具体承担规划编制的事业单位技术人员共 216 人参加了培训,培训班由规划处宁廷河处长主持,宇向东副巡视员亲临指导。国土资源部规划司、山东省国土资源厅、中国国土资源经济研究院、中国矿业大学、山东省地质科学研究所、山东省地调院、山东省地质环境总站的领导和专家进行了授课。培训班系统学习了第 2 轮矿产资源规划编制的有关政策、基本理论、基本方法、基本思路及有关要求。

为作好这次培训,厅规划处作了精心准备,用 2 个多月的时间编制了 3 本培训教材,汇编了与矿产资源规划编制有关的文件、规划、技术标准—规范,印制了矿产资源规划名词术语解释(346 个),专门组织人员编写了规划编制培训教材,内容包括矿产资源规划基本理论、首轮矿产资源规划回顾、第 2 轮矿产资源总体规划基本思路、矿产资源调查评价与勘查、矿产资源规划总量调控、矿产资源规划分区与结构调整、矿产资源节约与综合利用、矿山环境保护与恢复治理、矿产资源规划实施保障体系建设等。

部规划司副司长鞠建华系统讲解了第二轮矿产资源规划编制的基本思路和具体要求。同时强调,第 2 轮矿产资源规划编制要合理确定规划范围,把握好规划深度,强化规划的基础工作,做好规划间衔接与协调,加强规划编制的组织工作。重点编制好现状与形势,指导思想、基本原则与规划目标,矿产资源勘查,矿产资源开发利用与保护,矿山环境保护与恢复治理,规划实施保障措施 6 部分内容。(厅规划处)