

地热回灌防腐过滤器及配套技术试验

冯红喜, 阴文行

(邯郸市伟业地热开发有限公司, 河北 邯郸 057650)

摘要:利用专题立项开凿的地热生产井和地热回灌井,对第三纪孔隙型热储层进行了加压条件下的对井同层回灌试验。通过研发地热回灌防腐过滤器及配套技术,解决了先前在回灌过程中由各种物理、化学和生物因素引起的堵塞,导致回灌量减小、回灌井早期丧失回灌能力这一技术难题。

关键词:孔隙型热储层;地热回灌;回灌井;加压回灌;对井同层回灌;防腐过滤器

中图分类号:TE249 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2012)02-0018-04

Anticorrosion Filter for Geothermal Reinjection and the Matching Technology Test/FENG Hong-xi, YIN Wen-hang
(Handan Weiye Geothermal Development Co., Ltd., Handan Hebei 057650, China)

Abstract: With the geothermal reinjection well and geothermal production well, the double well same floor reinjection test was made in Tertiary geothermal reservoir of porous type with pressure. By the development of anticorrosion filter for geothermal reinjection and the matching technology, all kinds of blocking in the process of reinjection were solved, no matter they were caused by physical, chemical or biological factors, and further decrease of reinjection and loss of reinjection ability at early stage were avoided.

Key words: geothermal reservoir of porous type; geothermal reinjection; reinjection well; reinjection with pressure; double well same floor reinjection; anticorrosion filter

0 引言

河北省邯郸东部低温(25~90℃)地热资源丰富,截至2010年,邯郸东部十县已开发利用地热井100余眼,成井深度在1400~1800 m,开采层位主要集中在第三纪明化镇组下部砂岩热储层、馆陶组中部砂岩热储层和馆陶组底砾岩热储层,部分地区开采了老第三纪东营组砂岩热储层。开采量超过了1150万m³/a。地热资源开发多用于冬季供暖和洗浴,部分用于养殖和医疗等领域,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持续下降(例如广平县在2000年时地热井静水位只有5 m,到2010年时地热井静水位下降到70 m)、水土污染和热污染等一系列环境地质问题。

目前业内人士一致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^[1]。像冰岛、美国、新西兰等国家已经进行了大量地热回灌试验,并取得了一定成效。我国的北京小汤山和天津也正在积极开展地热回灌试验,但目前回灌量仅占开采量的25%~30%,这是因为地热回灌技术复杂,回灌过程

中常发生回灌过滤器堵塞,导致回灌量迅速减小,回灌井丧失回灌能力、提前报废。研究发现,各种物理、化学和生物因素形成结晶、结垢和微生物孳生是造成地热回灌过滤器堵塞的主要原因。

为解决地热尾水在回灌过程中引起的回灌过滤器堵塞,导致回灌量减小的问题。我们专题立项开凿地热生产井和地热回灌井,从研发地热回灌防腐过滤器及其相配套技术入手,避免地热尾水回灌过程中在过滤器处形成结晶、结垢和微生物孳生堵塞,以及通过加大回灌过渡层表面积、加压等技术措施,以增加和延长地热井回灌量及回灌时间,达到一次投资多年受益,实现邯郸东部地热资源开发的可持续性。1150万m³地热水若全部实施回灌,相当于每年为子孙后代储存了96000 t标准煤。地热回灌防腐过滤器及配套技术的成功应用和推广,一定能为打造低碳经济和节能减排做出应有贡献。

1 试验区概况

试验井位于邯郸市广平县境内。邯郸地处华北平原南部,区内主要有邢台-安阳大断裂、沧州-大

收稿日期:2011-07-14

作者简介:冯红喜(1972-),男(汉族),河北广平人,邯郸市伟业地热开发有限公司董事长兼总经理、高级工程师,水文地质专业,从事地热资源开发、综合利用和地热尾水回灌领域的技术研发及管理工作,河北省邯郸市广平县人民路东段路南;阴文行(1976-),男(汉族),河北广平人,邯郸市伟业地热开发有限公司工程师,钻井工程专业,从事钻探工程、地热资源综合利用和地热资源回灌领域的新技术研发和实施工作, yinhang006@163.com。

名断裂、临漳-魏县断裂等断裂带,均形成于晚侏罗世末期。断裂对流体起通道的作用,流体沿断裂向上排泄,往往能形成高温带,有利于形成热源。另外,新生界基底形态向东倾斜,反映本区是冀南坳陷的西冀抬起端,有利于地下热流的聚集。[2]

根据已有资料及地热井显示[3],本区地热资源主要赋存于新第三纪的沉积岩中,少部分地热资源来源于老第三纪的沉积岩中(埋深 1800 m 以内),为温热性低温地热资源,属层状孔隙型热储。开采热储层主要为明化镇组、馆陶组和东营组热储层,热储顶板埋深 1000~1100 m,底板埋深 1500~1780 m,地层厚度 400~700 m,含水层厚度 120~260 m。含水层岩性以浅灰、灰白、白色的细、中、粗砂岩及杂色含砾粗砂岩为主,全区稳定发育,富水性好、水温较高,可达 45~65℃,单井水量为 30~80 t/h,水化学类型为 Cl-Na 型,矿化度 2000~4000 mg/L, pH 值 7.4~8.7。

2 回灌系统设计

2.1 回灌防腐过滤器设计

选用 $\Phi 177.8 \text{ mm} \times 8.05 \text{ mm}$ 的 J55 石油套管为基础管,根据地层压力情况,设计滤水管开孔大小、孔距,在满足地层压力的前提下,确定滤水管最大孔隙率,以增加回灌水通道面积。在开孔的石油套管外侧,螺旋形等距离缠绕覆塑丝,作为滤水管的透水、阻砂层。覆塑丝是由铅丝外覆聚氯乙烯加工成的。聚氯乙烯具有耐酸碱、抗微生物、耐磨性能,能有效防止地热尾水的腐蚀,并能有效防止铁细菌(FB)、腐生菌(TGB)、硫酸盐还原菌(SRB)等微生物的孳生蔓延,从而起到避免结晶、结垢和微生物孳生造成的滤水管堵塞。

2.2 回灌井设计

井身结构如图 1 所示。0~350 m 孔径 445 mm;350~1800 m 孔径 394 mm。

0~300 m 下入 $\Phi 339.7 \text{ mm} \times 9.05 \text{ mm}$ 的石油套管;300~1100 m(封井位置)下入 $\Phi 177.8 \text{ mm} \times 8.05 \text{ mm}$ 的石油套管;1100~1790 m 孔段,与热储层相对应处安放 $\Phi 177.8 \text{ mm} \times 8.05 \text{ mm}$ 的防腐过滤器,非热储层孔段安放 $\Phi 177.8 \text{ mm} \times 8.05 \text{ mm}$ 石油套管。

注意防腐滤水管长度应不小于回灌热储层厚度,最低端安放不小于 10 m 的沉砂管。地热开采井井孔、井身设计与回灌井均相似,如图 2 所示。开采井也可与回灌井设计相同,便于开采与回灌功能互换使用。

2.3 井距设计[4]

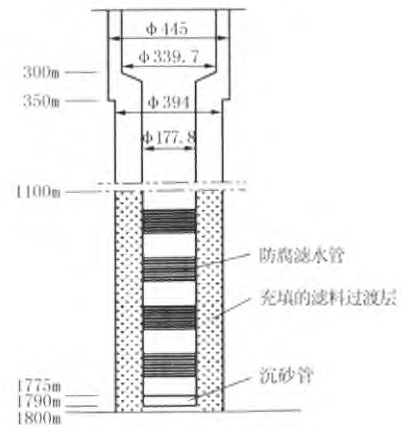


图 1 回灌井结构示意图

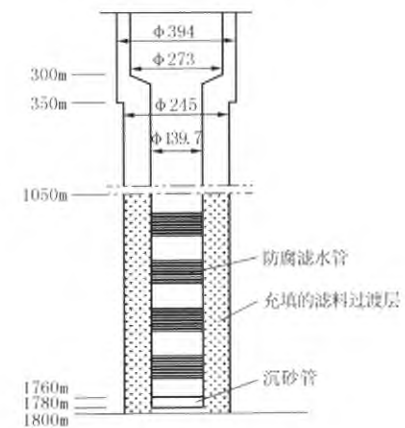


图 2 开采井结构示意图

回灌井距开采井距离应大于 2 倍的开采井开采影响半径。

开采影响半径按单井允许开采量开采 100 年、消耗 15% 左右地热储量计算:

$$R = [36500Qf / (0.15H\pi)]^{-2}$$

式中: R ——地热井开采 100 年排出热量对热储的影响半径, m; Q ——地热井开采稳定产量, m^3/d ; f ——水比热/热储岩石比热的比值, 介于 3~5 之间; H ——热储层厚度, m。

确定地热开采稳定产量,以抽水实验确定,计算使用的压力降低值一般不大于 0.3 MPa(降深约为 30.6 m),最大不大于 0.5 MPa(降深约为 51 m),年压力下降速率不大于 0.02 MPa。

2.4 回灌设施[5]

回灌试验工程主要设施包括:悬浮物剔除过滤器、除砂器、5 μm 精细过滤器、除气罐、增压泵、流量计、井口密封装置、回灌井。

3 回灌试验方法及过程

回灌试验前首先分别对开采井和回灌井进行稳

定流抽水试验,检测静水位、降深、最大出水量、稳定出水量(许可开采量)、单位涌水量、水温、水质等参数。抽水试验同时对另一口井进行静水位观察及分析。然后进行试灌,最后正式进行地热水人工回灌试验。该次回灌试验采用对井同层加压方式进行。即一眼地热井开采,另一眼地热井进行回灌,回灌热储层与开采热储层属于同一层位,在回灌过程中将回灌井密封,使回灌井处于真空状态,避免空气进入,同时通过加压泵向回灌井进行注水。回灌井口密封装置安装自动放气阀。加压泵连接的回灌管道直接插入回灌井静水位下 5~10 m,回灌水源为开采井换热后的地热尾水,水温 25~30℃。回灌过程中对水温、水量、水压(降深)、气温等进行观测(包括开采井),结果见表 1 和表 2。试验于 2011 年 1 月 6 日开始,至 3 月 15 日结束。按由小到大的顺序采用 3 个流量进行回灌,累计回灌时间 1480 h,累计回灌量 67202.4 m³,最大稳定回灌量 50.25 m³/h。

表 1 回灌试验情况记录表

序号	回灌水量 /(m ³ ·h ⁻¹)	回灌压 力/MPa	换算为 降深/m	单位降深回灌量 /[m ³ ·(h·m) ⁻¹]	回灌水 温度/℃	气温 /℃
1	39.6	0.11	11.22	3.5294	21	-8~3
2	50.2	0.52	53.06	0.9461	21.4	-9~5
3	55.1	1.08	110.20	0.5000	21.5	4

注:回灌水量 55.1 m³/h,持续 138 min 后回灌压力逐渐上升到 4.9 MPa,回灌量下降到 30 m³/h,调整回灌进水量后 46 min,回灌压力下降到 0.53 MPa,回灌量又增至 50 m³/h。

表 2 抽水情况记录表

序号	出水量 /(m ³ ·h ⁻¹)	降深 /m	单位降深涌水量 /[m ³ ·(h·m) ⁻¹]	出水温度 /℃	气温 /℃
1	45.2	20.74	2.1794	57.4	-8~3
2	53.9	25.07	2.1500	58	-9~5
3	60.3	28.34	2.1277	58	4

4 试验结果分析

4.1 回灌量与出水量及实际需要回灌量相关分析

本次试验选用的地热生产井稳定出水量是 60 m³/h,经过供暖和供应生活用水后实际回收的尾水量平均为 55 m³/h,也就是说实际需要回灌量是 55 m³/h。经过试验,该地热回灌井的实际稳定回灌能力在 49.5~51 m³/h 之间。实际回灌量占稳定出水量的 82.5%~85%,实际回灌量占实际需要回灌量的 90%~92.73%。还需要通过大量实验和在长期应用过程中查找原因,寻求解决方案,通过技术改进和工艺革新使回灌量达到实际需要回灌量 100%,确实实现地热资源的持续循环利用这一运行模式。

4.2 回灌量与回灌压力分析

回灌量与回灌压力的关系和稳定流抽水中的流量与降深的关系是一致的,回灌量相当于流量,回灌压力相当于降深。回灌初期和抽水初期的水量、压力和降深也都是浮动较大的,这是因为热储层未形成稳定的渗流场和地热水未形成稳定的人井流速所致。随着回灌压力的上升到稳定,热储层就形成了相对稳定的渗流场,此时回灌量也趋于稳定。但随着回灌量的增加,回灌压力也持续上升,达到 3.5 MPa 时,回灌量出现下降,压力升到 4.9 MPa 时下降到 30 m³/h 以下,并出现压力上下波动现象,分析认为:较大的回灌压力形成较高的人层流速,较高的人层流速打破了原热储层相对稳定的渗流场,于是造成了回灌量和回灌压力波动与下降现象,如图 3 所示。超过 4.9 MPa 有可能出现较稳定、较大的回灌量,考虑到安全和经济情况,未作进一步实验。

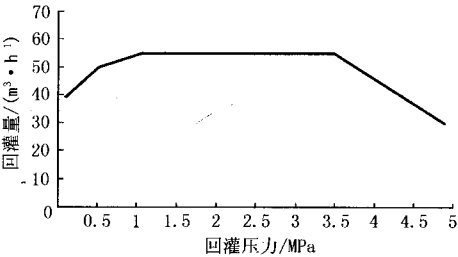


图 3 回灌压力与回灌量变化曲线图

4.3 水温变化

回灌前开采井恒定出水温度为 58℃。回灌水源温度在 25~30℃ 之间,回灌试验进行 7 天后,开采井出水温度依然是 58℃。说明回灌的低温水未影响开采井的热储层和地热水温度。回扬洗井时,回灌井出水温度随时间推移逐渐上升,回扬到 5 h 时出水温度达到 57.8℃,基本达到原出水温度,如图 4 所示。这是因为热储层温度高、流体储量大,回灌水只是极小部分,进入热储层后被高温流体包围,并被热储层升温所致。这说明回灌的低温水未影响到热储层的温度,再加上回灌井距开采井距离大于 2 倍的开采影响半径,证实回灌的低温水不会影响开采井出水温度。

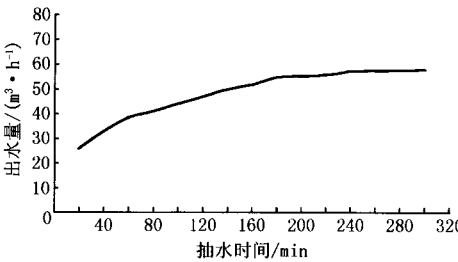


图 4 回扬洗井出水温度变化历时曲线图

4.4 水量、水位变化

回灌前生产井的静水位、动水位、稳定出水量、单位涌水量和回灌进行时未发现较大不同,如表 3 所示。

表 3 回灌过程中出水量和单位涌水量记录表

序号	检测期	静水位/m	动水位/m	出水量 /(m ³ ·h ⁻¹)	单位涌水量 /[m ³ ·(h·m) ⁻¹]
1	回灌前	70.26	98.61~98.63	60.3	2.1263
2	回灌中		98.58~98.61	60.3	
3	试验结束后	70.26			2.1281

4.5 水质变化

从回灌试验水质分析结果(表 4)可以看出,试验前后回灌井水质除 Fe³⁺ 含量有所升高外,水质基本上无明显变化。分析 Fe³⁺ 含量升高可能是实验密封不严,有空气进入,导致部分 Fe(OH)₃ 沉淀,从而使 Fe²⁺ 变成 Fe³⁺ 的缘故。通过分析回灌量和回灌压力自始至终均较稳定,回扬时水中未发现异样物质,证明回灌过滤器未发生堵塞现象,说明聚氯乙烯作为过滤层的防腐方案是可行的。

表 4 开采井、回灌井试验前后水质和回灌水源水质对比表

检测项目	回灌水源 /(mg·L ⁻¹)	回灌井/(mg·L ⁻¹)		开采井/(mg·L ⁻¹)	
		试验前	试验后	试验前	试验后
K ⁺	5.70	5.70	5.65	5.72	5.71
Na ⁺	824.00	825.60	825.68	825.68	825.66
Ca ²⁺	70.00	70.90	70.93	70.93	70.90
Mg ²⁺	15.00	15.60	15.58	15.61	15.60
Fe ²⁺ +Fe ³⁺	0.99	0.79	0.85	0.79	0.77
NH ₄ ⁺	0.13	0.15	0.16	0.16	0.15
Cl ⁻	1015.00	1015.20	1015.20	1015.29	1015.28
SO ₄ ²⁻	245.00	245.90	245.91	245.91	245.90
HCO ₃ ⁻	489.00	490.00	490.00	489.99	489.98
CO ₃ ²⁻	0.005	0.01	0.01	0.01	0.005
NO ₃ ⁻	0.75	0.75	0.75	0.75	0.74
F ⁻	2.60	2.65	2.70	2.70	2.69
总硬度	239.00	240.80	241.00	241.00	241.00
溶解总固体	2700.00	2705.20	2705.30	2705.37	2705.00
pH 值	7.90	7.90	7.90	7.90	7.90

5 结论及建议

本次地热回灌试验,为邯郸东部地热资源持续开发利用,探索了一条确实可行之路,地热回灌对于

保护地热资源、减少水资源浪费、延长生产井寿命和减少环境污染起到了至关重要的作用,使这一绿色能源能够长期造福社会。

(1)地热回灌过程中,由于回灌过滤器上结晶、结垢和微生物孳生形成的堵塞,导致回灌量降低的问题,采用回灌防腐过滤器和入口除气、井口密封、加压回灌方式,以及定期进行回扬洗井措施,可减少回灌过滤器因物理、化学、微生物因素造成堵塞,提高了地热井回灌能力。

(2)回扬洗井间隔时间不要超过 10 天,回扬时间不少于 4 h,评定回扬质量的依据是回扬水质达到或者接近回灌水质。

(3)回灌井的位置选择除满足大于 2 倍开采井的开采影响半径外,还应建在开采井补给源的下游,避免长期回灌可能引起的热储层温度下降。若开采井与回灌井交替使用,其井位连线与补给源流向夹角应为 90°。

(4)回灌井的回灌过滤器与井壁的环孔必须填充滤料,形成较理想的回灌过渡层。回灌过渡层表面积应大于正常开采面积 3 倍,以降低回灌水的入层流速,从而达到增加回灌量的目的。填充滤料还可以起到稳定井壁的作用,使回灌渗流场长期稳定。

(5)回灌水质要达到或接近原热储层水质,不得具有悬浮物和大于 5 μm 的颗粒。供热使用防腐管道和换热装置,减少地热水在地面的循环时间,减少发生各种物理、化学、生物反应。

(6)进一步检测开采井动、静水位变化情况,通过水位变化判断回灌所起的作用,加强回灌工程全面监测工作。

参考文献:

[1] 刘久荣. 地热回灌发展现状[J]. 水文地质工程地质, 2003, (3).

[2] 陈望和. 河北地下水[M]. 北京:地震出版社, 1999. 339-344.

[3] 陈晋德, 武铁山, 等. 华北区区域地层[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社, 1997. 107-134.

[4] GB/T 11615-2010, 地热资源地质勘查规范[S].

[5] 蔡义汉. 地热直接利用[M]. 天津:天津大学出版社, 2004. 140-143.

地质技术装备总体优化方案项目研究通过验收

中国地质调查局门户网站消息(2012-02-01) 近日,由中国地质调查局发展研究中心承担的地质技术装备总体优化方案项目通过评审,获优秀评价。

据了解,本项目从基础理论入手,分析了中国地质调查局地质技术装备现状,开展国外地质技术装备发展趋势分析、中国地质调查局

地质技术装备需求分析等理论和实证研究,提出了中国地质调查局地质技术装备中长期建设优化方案、装备保障重点及保障政策措施建议;注重转化应用,部分研究成果已在中国地质调查局中长期发展规划纲要及装备专项规划的编制等工作中得到应用,为局装备规划管理工作提供了有效支撑。