

新近系热储层回灌井钻探工艺探索

曾梅香, 李会娟, 石建军, 赵娜, 扬永江, 田宗宝

(天津地热勘查开发设计院, 天津 300250)

[摘要] 文章通过对新近系热储层回灌井成井结构进行室内模拟试验, 探索了因回灌井自身结构特点不足而造成回灌不畅的原因, 初步探讨了适合天津地区孔隙型回灌井的施工工艺及井身结构。

[关键词] 模拟对比试验 双层笼状滤水管 充填砾料 可降解泥浆

[中图分类号] P634 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2007)02-0088-05

0 引言

天津是全国地热开采最早、集中开采量最大的地区之一, 大力开采已造成热储压力的急剧下降, 滨海地区地面沉降形势不容乐观, 历史原因加上采、灌比例严重失调, 使地热开发利用模式趋于单一、粗放, 这些问题在 20 世纪 70 年代末就初露端倪, 为此, 天津 1982 年就开始了回灌研究, 至 2006 年 8 月底, 已建或已批拟建的回灌系统有 38 处, 2005 年回灌量 $177.6 \times 10^4 \text{ m}^3$, 但不及当年地热资源采量 $2563.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的 1/14, 实施回灌开采的全部是基岩热储系统, 而新近系热储层 2005 年采量达 $1491.3 \times 10^4 \text{ m}^3$, 占当年总开采量的 58.2%^①, 回灌效果却不尽人意, 成为制约该热储层开发利用的瓶颈。笔者将从回灌井钻探工艺方面入手, 试图寻找孔隙型热储层回灌效果不佳的原因, 供学界同仁商讨。

1 地质背景

天津地区的地热资源主要分布在宝坻断裂以南的广大平原区(图 1), 自上而下主要有 5 个热储层: 新近系明化镇组(Nm)和馆陶组(Ng)孔隙型热储层; 古生界奥陶系(O)和寒武系(ε)、中元古界蓟县系雾迷山组(Jxw)基岩裂隙型热储层。受构造运动及沉积环境的影响, 坳陷区的基岩顶板埋深普遍大于 5000m, 所以全部的基岩地热井均位于沧县隆起区, 馆陶组在沧县隆起区只有小范围分布, 集中开采区位于冀中坳陷的武清城区和黄骅坳陷的塘沽

区、大港区, 明化镇组地热井在广大平原区均有分布。

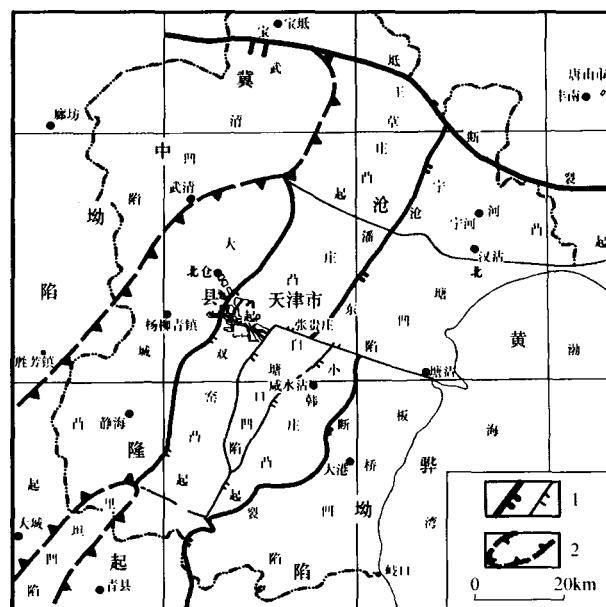


图 1 天津地区构造分区图

1—断裂; 2—古近系缺失线

天津地区 10 多年的地热回灌实践表明: 热储层的岩性特征及孔(裂)隙率、水化学成分是影响回灌效果的主要因素。总的来说, 基岩裂隙型热储层回灌易于孔隙型热储层, 渗透率大的热储层易于渗透率小的; 对于孔隙型热储层来说, 粒径粗的热储层易于粒径细的热储层^②。

[收稿日期] 2006-12-05; **[修订日期]** 2007-01-08; **[责任编辑]** 曲丽莉。

[基金项目] 天津市地质矿产勘查开发局矿产资源补偿费攻关项目(编号: [2005]003)资助。

① 李俊, 阮传侠. 2005 年度天津地下热水动态监测年报, 2005.

② 曾梅香, 张百鸣. 天津市基岩岩溶裂隙热储层回灌研究, 2001.

[第一作者简介] 曾梅香(1965 年—), 女, 1988 年毕业于成都地质学院, 获学士学位, 高级工程师, 现主要从事水工环及地热地质工作。

2 新近系热储层回灌工作概况

2.1 回灌研究工作历史与现状

天津地区的回灌研究工作始于1982年,实质性的回灌试验于1995年冬季供暖期间在塘沽区新近系馆陶组热储层进行,此后陆续在不同地区开始了不同热储类型、不同方式和目的的回灌研究(表1)。现在的38处回灌系统中,有孔隙型热储层回灌系统9处,已施工完井的有7对,但到目前为止,基本上没有1对能真正实现供暖期的正常回灌运行,回灌工作一直处于停滞状态。回灌连续时间较短、回灌率偏低、灌量衰减明显是因绕孔隙型热储层回灌工作快速发展的主要原因,近年来从行政管理机构到专业技术部门都投入了更多精力和时间进行专门研究,希望能找到突破点。

表1 天津地区回灌研究历程

试验时间	试验地点	热储层	热储层埋深/m	热储类型
1982—1986	市区	Nm	800	孔隙型
1987—1990	大港区	Nm	500~700	孔隙型
1992—1996	塘沽区	Ng	1700~2000	孔隙型
1996至今	市区	O、Jxw	2000~3500	裂隙型
2003至今	武清、东丽	Ng	1360~2350	孔隙型

2.2 孔隙型热储层回灌试验实例

2.2.1 天津武清县国环置业公司回灌试验

该回灌井2002年施工,目的层为Ng3,井深2346.8m,具体井身结构为:

一开:φ444.5mm钻头,钻至350m,下入φ339.7mm表层套管(泵室管);二开:φ311mm钻头钻至目的层,下入φ177.8mm双层滤水管和井管,由于填料砾径太小(φ0.8mm~φ1.2mm),致使过水通道阻塞,经试水后发现出水量只有20m³/h,后用电缆方式φ89mm枪/φ89mm弹射孔52m后水量增加至94m³/h,水温73℃。

该井于2005年1—3月进行了供暖期生产性回灌试验,回灌水温度为40℃~52℃,灌量从49m³/h降至20m³/h,存在明显衰减现象,且试验后期的加压回灌效果也不理想(压力到400kPa时,灌量只有40m³/h左右)^③,说明这种回灌井的成井方案有待进一步改进。

2.2.2 天津东丽区华泰农业科技园区回灌试验

该回灌井2002年施工,井深1360m,目的层为Ng,大井径一开成井,终孔口径为φ444.5mm(图2a),采用双层滤水管和外加砂工艺:内网缠丝间距1.5mm,外网缠丝间距1mm,中间充填φ2mm~

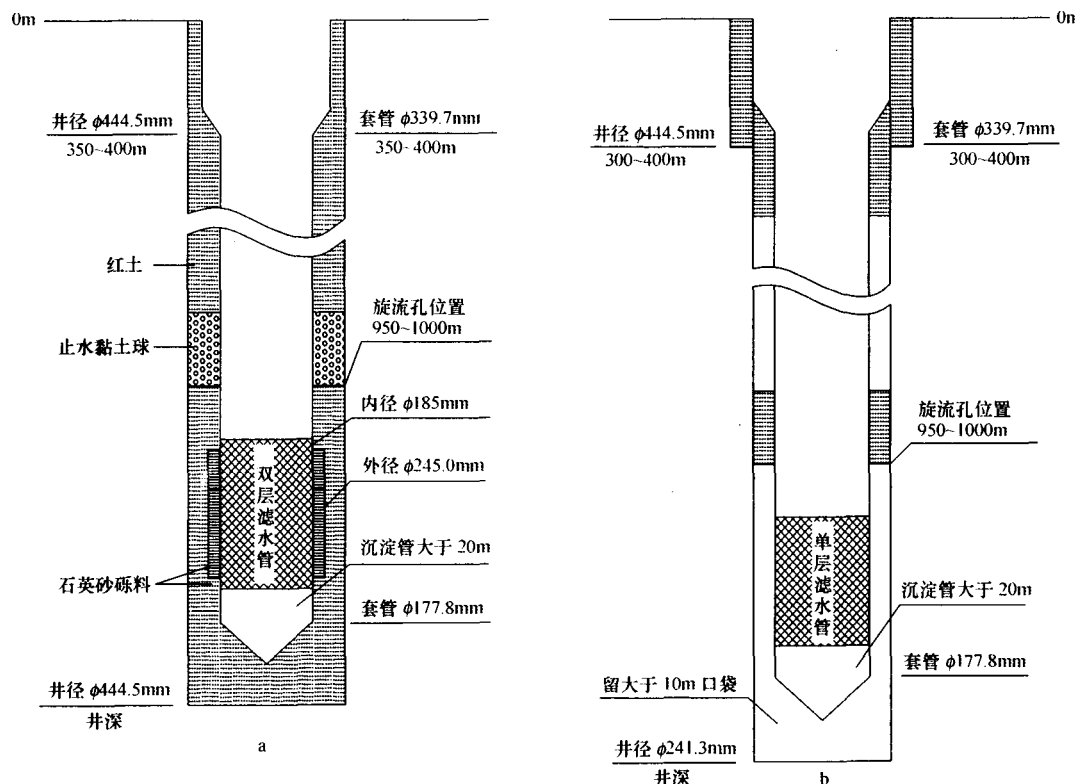


图2 孔隙型回灌井井身结构示意图

③ 程万庆,林建旺.天津市中低温地热水孔隙型热储回灌试验阶段总结报告,2005.

φ4mm 的砾料;外加砂的砾径也为 φ2mm ~ φ4mm 石英砂砾料。

该对井系统于 2003 年 8—9 月进行的科研性回灌试验中,灌水温度 44℃ 左右,灌量能维持在 41 ~ 49m³/h;在 2004 年 12 月—2005 年 3 月供暖期进行的生产性回灌时灌量只能达到 20m³/h 左右^③。从试验结果看,该井虽然采用了双层滤水管成井,但这种内外网缠丝间距和充填砾料的砾径大小级配方案仍没有达到理想效果。

3 新近系回灌井钻探工艺现状及改进方向

现在,国外对新近系地热井的成井采用了管外填砾以及桥式过滤器和笼状滤水管,在施工中采用了“瓜胶类”可降解泥浆,从而达到减少对含水层污染的目的^[1];而国内施工的新近系地热井,大部分采用了大井径一次成井(图 2a),在含水层部位进行外填料,增大人工过滤层的厚度,但这种方案只适应于深度不超过 1300m 的地热井^[2]。

天津市新近系热储层埋藏深度最深达到 2400m,由于回灌井与开采井用途不同、目的不一,如果仍采用与开采井相同的钻探工艺和成井方案,可能会致使回灌不畅,回灌率偏低。因为回灌井是接受流体而不是生产流体,这样就没有把细小碎屑从岩层中带出来的机会;另外,回灌可能是在加压状态下进行的,灌入流体可能有向套管外环状间隙移动的倾向,所以对回灌井井孔清洁和固井技术要求就更严格。

3.1 井身结构方面

天津地区目前施工的孔隙型地热井成井结构基本分为一开(图 2a)和二开(图 2b),无论是泵室管(表层套管)或井管直径都较大,最小的井管直径为 φ177.8mm^[3],而回灌井应选择满足回灌及洗井要求即可的井身结构,技术套管宜直达地面井口,来从根本上控制井权方把回灌井改作生产井进行开采的行为。

3.2 滤水管方面

以往孔隙型地热井的滤水管基本有两种:单层滤水管和双层滤水管,目前来看,这类地热井的回灌效果均不特别理想。如果能模拟地下地质环境进行室内模拟试验,找到最佳的滤水管形状、几何尺寸以及地层砂岩的砾径相匹配的缠丝间距、充填砾料砾径大小的合理级配,再把这种优化方案运用到实际的钻井工程中,就可在一定程度上减少施工风险和满足不同用途的地热井的成井质量。

3.3 成井工艺方面

成井工艺也是决定新近系地热井出水量和回灌量的主要因素。在回灌井施工中选择泥浆类型,既要满足钻井施工要求,又不能因泥浆堵塞含水层通道而人为增加回灌水进入地层的阻力,这也是回灌井施工中应注意的问题。

4 新近系回灌井钻探新工艺探索

4.1 双层滤水管的室内模拟试验

4.1.1 内外缠丝间距的对比试验

新近系地热井的滤水管有防止井壁坍塌、滤水挡砂等作用。为探索双层笼状滤水管的工作效果,笔者和同事们模拟新近系馆陶组井下成井结构,制作了室内模拟装置(图 3)。在进行此项试验时,装置内充满密度为 1.13 × 10³kg/cm³、黏度为 26S 的泥浆,从模拟试验装置上方加压,以外侧压力表数据来判别不同滤水管的性能,相关试验结果见表 2。

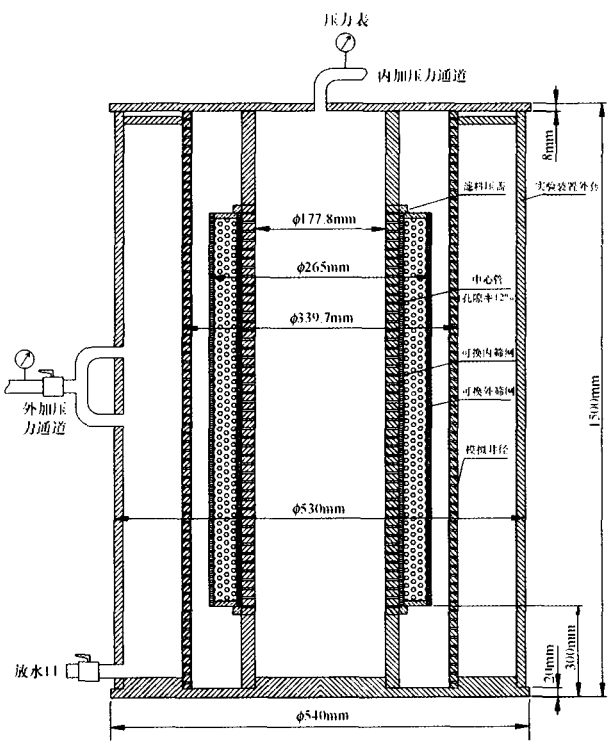


图 3 双层滤水管模拟试验装置图

表 2 双层滤水管内外缠丝间距对比试验数据

项 目	第一组	第二组	第三组
外网缠丝间距/mm	1	1.5	2
内网缠丝间距/mm	1.5	1	1.5
内外网间距/mm	40	40	40
填料砾径/mm	φ2 ~ φ4	φ2 ~ φ4	φ4 ~ φ6
压力值/MPa	0.15	0.14	0.12

从表中数据可看出:当两筛网间距、充填砾料相同时,泥浆通过滤水管的压力略有不同,滤水管外网缠丝间距大于内网缠丝间距的匹配方案中,滤水管过水断面承受压力相对要小,回灌井中使用这种“外大内小”的方案,回灌水进入地层的压力也要小些,回灌效果应好于前者;第三组数据则表明在内外网间距、充填砾料放大一级的情况下,滤水管承受压力更小,说明在这种级配的滤水管和充填砾料的井身结构中,回灌水通过滤水管进入地层的阻力要小。

4.1.2 充填砾料的对比试验

考虑到天津地区主要开采层为新近系馆陶组第三含水段(Ng3),针对其砾径较大($\phi 1$ mm左右)、胶结较好的特征,将滤水管参数放大一级进行内外网间充填不同砾径砾料的对比试验,采用人工灌入不加压的方式分别灌入清水和泥浆(密度 $1.13 \times 10^3 \text{ kg/cm}^3$ 、黏度26S),以内、外网液柱高度差来判别不同滤水管的性能,有关试验结果见表3。

表3 双层滤水管砾料对比试验数据

项 目	第一组	第二组	第三组
外网缠丝间距/mm	1	2	2
内网缠丝间距/mm	1.5	1.5	1.5
内外网间距/mm	40	40	40
填料砾径/mm	$\phi 2 \sim \phi 4$	$\phi 4 \sim \phi 6$	$\phi 4 \sim \phi 6$
清水液柱高度差/cm	0	0	0
泥浆液柱高度差/cm	29	17	1

砾料选用磨圆度较好的石英砂。通过两组试验数据对比说明,Ng3中当使用相同参数的双层滤水管时,内外网间充填砾料的砾径为 $\phi 4 \text{ mm} \sim \phi 6 \text{ mm}$ 时灌入泥浆进入滤水管所遇阻力要比砾径为 $\phi 2 \text{ mm} \sim \phi 4 \text{ mm}$ 时小得多,这种“外大内小”缠丝间距和砾料直径较大的匹配方案如果运用到回灌井中,可有效减少回灌水进入的阻力,其回灌效果应更理想。

当然,实际钻探中,由于目的层岩性特点不同,不同地段、不同深度的回灌井其滤水管、砾料参数不可能是一种参数,要根据目的热储层岩性特征来确定不同的方案。

4.2 钻井液方案

新近系地热井二开井段裸眼较长,为了井壁的稳定和井下安全,以往基本上均采用低固相泥浆^[4-5],但这种泥浆的泥皮较为坚固,容易将目的层(含水层)通道堵塞,这一矛盾如果采用二段制泥浆可以较好地予以解决。所谓二段制就是在含水层以上的部位继续沿用原泥浆类型,进入含水层后则采

用可降解泥浆(人工钠土+改性淀粉+防腐剂)。

室内试验中,可降解泥浆采用了改性淀粉作为在含水层段施工时采用的主要泥浆材料,改性淀粉既有抑制井壁的作用又具泥饼较松散、便于破壁的特点,且货源充足,价格也比较便宜,同时新近系热储层水温一般较低(小于 80°C),改性淀粉在此温度下也不会变质,因此应有推广的可能。

4.3 完井工艺

完井后,在下管之前要做好通井和换浆破壁工作,钻头钻至目的层后,要将井内的泥浆黏度和密度逐步降下来,破壁可采用偏心钻头或笼刷式钻头将泥皮破坏掉,尽量减少泥浆在井眼内的浸泡时间。双层滤水管顶部和尾部各加一段长 $2 \sim 4 \text{ m}$ 、缠丝间距 1.5 mm 的单层滤水管(图4),以降低洗井难度。

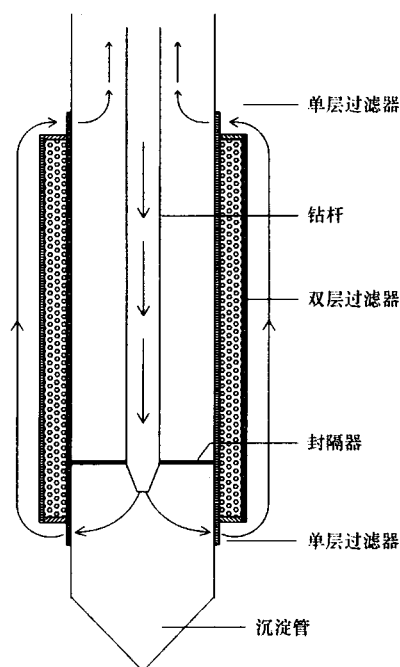


图4 双层滤水管洗井过程示意图

4.4 固井

在以往的新近系地热井施工时,井管均采用二级固井,第一级固井位置一般选择在 800 m 左右^[4-5],为了更好地解决止水问题,在回灌井施工中固井位置要尽量地下移($950 \sim 1000 \text{ m}$),最好选择距离滤水管顶部 $40 \sim 50 \text{ m}$ 的泥岩段进行第一级固井,将含水层上部尽量用水泥封固。

4.5 洗井作业

下管结束后应将管内水泥塞扫穿,下入封隔器至最低部滤水管,采用高压喷头冲洗滤水管、空压机气水混合和空压机气举洗井等方法进行冲孔换浆

(图4),将井内的泥浆全部用清水冲洗换出^[4-5]。

4.6 新近系回灌井建议井身结构

对于井深超过 1300m 的孔隙型回灌井,由于深度较大,传统的大口径和外投砾的施工工艺有诸多弊端,

如管外投砾较难达到目的层、大口径裸眼作业使施工工期加长、易出现如井壁坍塌等井下事故。通过多项室内模拟试验,笔者认为,目前在天津地区采用如图 5 所示井身结构是较为合适的。

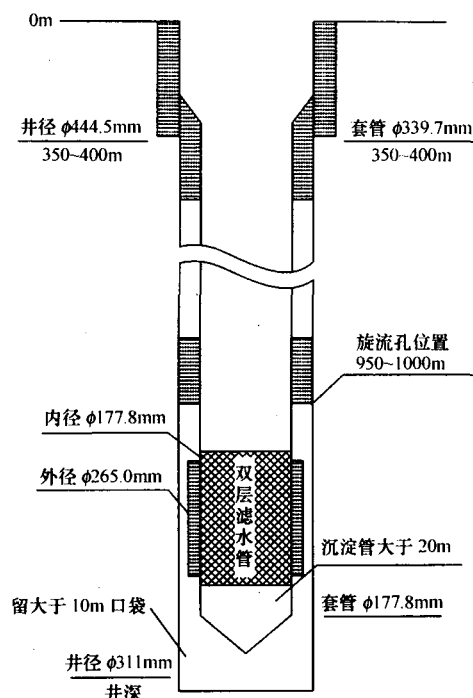


图 5 建议井身结构示意图

5 结 语

地热回灌是项系统工程,牵扯学科较多,而回灌井的钻探成井工艺则是其中一项最基础内容,也是决定回灌工作能否顺利进行的关键。新近系热储层回灌井的钻井工艺,需要在以后的不断实践中摸索出一套较为完善的方案,同时也应加强热储层水动力学方面的综合研究,来优化不同地层的回灌方式及回灌工艺,力求使孔隙型热储层的回灌工作有一个质的突破。

[参考文献]

- [1] 陆青云. 钻井工程施工新技术及标准规范手册[M]. 北京: 中国科技文化出版社, 2005: 207-216, 352-359.
- [2] 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: 242.
- [3] 刘国志, 刘新丽, 刘丕新, 等. 千米地热井施工技术[M]. 河南: 黄河水利出版社, 2004: 13, 33-35, 84-101, 113-140.
- [4] 李克相. 钻井手册[M]. 北京: 石油工业出版社, 1990: 120-130, 586-591.
- [5] 刘瑞琪. 供水管井设计施工指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1984: 143-177.

THE STUDY ON DRILLING TECHNIQUE OF TERTIARY RESERVOIR REINJECTION WELL

ZENG Mei-xiang, LI Hui-juan, SHI Jian-jun, ZHAO Na, YANG Yong-jiang, TIAN Zong-bao
(Tianjin Institute of Geothermal Exploration and Development Design, Tianjin 300250)

Abstract: Based on simulation contrast test on reinjection well structure in laboratory study, the article searches the reasons that reinjection is difficult due to the defects of well structure in tertiary reservoir. The paper also discuss a new construction technique and well structure which fit to the porous-type reservoir in Tianjin area.

Key words: simulation contrast test, bilayer filter pipe, gravel specimens, degradation mud