

引用格式:赵艳婷,沈健,赵苏民,等.中深层砂岩回灌井成井工艺优化及效果分析[J].油气藏评价与开发,2023,13(6):765-772.

ZHAO Yanting, SHEN Jian, ZHAO Sumin, et al. Well completion technology optimization and application effect analysis of medium-deep sandstone reinjection wells: A case study of Minghuazhen Formation in Tianjin[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2023, 13(6): 765-772.

DOI: 10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2023.06.007

中深层砂岩回灌井成井工艺优化及效果分析

——以天津市明化镇组为例

赵艳婷,沈健,赵苏民,闻爽,张森
(天津地热勘查开发设计院,天津 300250)

摘要:天津市沧县隆起内的明化镇组砂岩储层具有泥质含量高、成岩性差、胶结疏松、易出砂的特点,回灌困难的情况普遍存在,制约了地热资源的可持续开发。现有滤水管填砾成井工艺利于保持地层的稳定性和过水效果,但其回灌效果有待提升。从钻井口径、钻井液、钻具组合和洗井等方面对现有滤水管填砾成井工艺进行了优化,优化后的大口径填砾成井工艺,在保证原有的挡砂和支撑效果的同时,扩大了成井口径,增加了地热井取水段的过流面积,通过优化钻井液配方和钻具组合,减少了钻井液对储层的污染,钻井施工后的联合洗井将部分堵塞成分带出地层,起到了疏通地层的作用,减小了对渗流通道的堵塞。应用该工艺施工的2眼明化镇组热储回灌井分别进行了3组回灌试验,试验中最大回灌量分别为32.0 m³/h和58.0 m³/h。与周边同层明化镇组回灌井相比,回灌量分别增加了3.48倍和2.00倍以上,证明优化后的大口径滤水管填砾成井工艺有效提升了明化镇组储层的回灌效果。

关键词:明化镇组;砂岩储层;地热回灌;大口径填砾;成井工艺

中图分类号:TE24

文献标识码:A

Well completion technology optimization and application effect analysis of medium-deep sandstone reinjection wells: A case study of Minghuazhen Formation in Tianjin

ZHAO Yanting, SHEN Jian, ZHAO Sumin, WEN Shuang, ZHANG Sen

(Tianjin Geothermal Exploration and Development Design Institute, Tianjin 300250, China)

Abstract: The Minghuazhen Formation in the Cangxian Uplift of Tianjin presents a unique challenge for geothermal resource development due to its sandstone reservoirs. These reservoirs are characterized by high shale content, suboptimal lithology, loosely cemented structures, and a tendency for sand flow, all of which complicate the process of reinjecting water back into the reservoir. This difficulty in reinjection poses a significant obstacle to the sustainable development of geothermal resources in the area. The existing well completion technology, which involves filter pipe gravel filling, is beneficial in maintaining the stability of the formation and facilitating water flow. However, improvements are needed in several aspects, including drilling diameter, drilling fluid composition, drilling assembly, and well washing processes, to enhance the effectiveness of reinjection. An optimized large-diameter gravel filling well completion technology has been developed to address these issues. This technology not only preserves the original sand retention and support functions but also increases the well completion diameter, thereby enlarging the flow area of the geothermal wells. Further, by optimizing the drilling fluid formula and drilling assembly, the contamination of the reservoir is minimized. Additionally, a combined well washing technique implemented after drilling operations helps remove plugging components from the formation, aiding in unclogging the permeation channels. Three groups of reinjection tests were carried out on two reinjection wells in Minghuazhen Formation, which were constructed by the new well completion technology. The maximum reinjection rates in the tests were 32.0 m³/h and 58.0 m³/h. Compared with the reinjection wells in the same layer, the reinjection volume increased by 3.48 times and more than 2.00 times respectively, which proved that the optimized gravel filling well completion technology of large-diameter filter pipe improved the reinjection effect effectively.

Keywords: Minghuazhen Formation; sandstone reservoir; geothermal reinjection; large diameter gravel; well completion technology

收稿日期:2023-01-31。

第一作者简介:赵艳婷(1988—),女,硕士,工程师,从事地热回灌方面研究。地址:天津市河东区卫国道189号地热院,邮政编码:300250。
E-mail:707663695@qq.com

基金项目:天津市规划和自然资源局项目“明化镇自热储层回灌与成井工艺研究项目”(JCDGP-2019-B-059)。

地热资源是一种无污染、可再生清洁能源,其开发利用是调整能源结构^[1-2]、完成“双碳目标”的有效手段。然而,砂岩储层普遍存在回灌困难的情况^[3-4],这是制约其可持续开发的关键问题^[5-6]。天津地区地处华北盆地中北部,砂岩储层地热资源丰富,其主力开采层为新近系明化镇组和馆陶组。与馆陶组相比,明化镇组热储可开发潜力巨大,但其回灌能力与出水能力不相适应。馆陶组的回灌能力介于60~80 m³/h,单位回灌量普遍介于1.0~1.5 m³/(h·m),明化镇组回灌能力普遍低于30 m³/h,单位回灌量一般在0.4 m³/(h·m)以下,回灌效果差异较大。迄今为止,前人对天津孔隙型砂岩热储,尤其是馆陶组热储回灌方面进行了大量研究,并逐渐总结出回灌流体运移机理^[7-8]、成井工艺^[9-10]、回灌堵塞^[11]以及回灌量衰减的影响因素^[12-13],提出了回灌评价体系^[14],并对不同完井工艺的回灌效果进行了研究^[15]。但有关明化镇组回灌研究,特别是不同成井工艺之间的对比分析鲜见报道。将滤水管和大口径填砾成井工艺在明化镇组热储回灌井的应用效果进行了对比分析,提出了明化镇组热储回灌的改进方向。

1 地热地质条件

天津市地区明化镇组广泛分布于宁河—宝坻断裂以南区域^[16](图1),沧县隆起区内底板埋深介于700~1 200 m,南浅北深,沉积厚度介于230~1 100 m。按岩性组合特征分为上、下2段:上段为砂岩、含砾砂岩与泥岩不等厚互层^[17];下段以砂岩、泥岩、砂质泥岩为主,钙质团块较多。富水段岩性为半胶结的中、细砂岩、粉砂岩^[18],属典型的弱—中等水流强度下的曲流河沉积。

单井涌水量为40~80 m³/h,单位涌水量为0.76~5.45 m³/(h·m),井口稳定流温为34~78℃,地热流体化学类型以HCO₃—Na型、HCO₃Cl—Na型和SO₄·Cl—Na型为主,总矿化度介于400~3 600 mg/L。孔隙度介于21.6%~39.1%,渗透系数介于0.48~3.50 m/d,渗透率介于(140~2 410)×10⁻³ μm²。

2 滤水管填砾成井工艺应用情况

滤水管填砾成井是指在滤水管与含水层孔壁间,填入比含水层砾石直径更大的砾石材料而形成人工的过滤层^[19],增大出水量,有效预防松散粉砂岩地

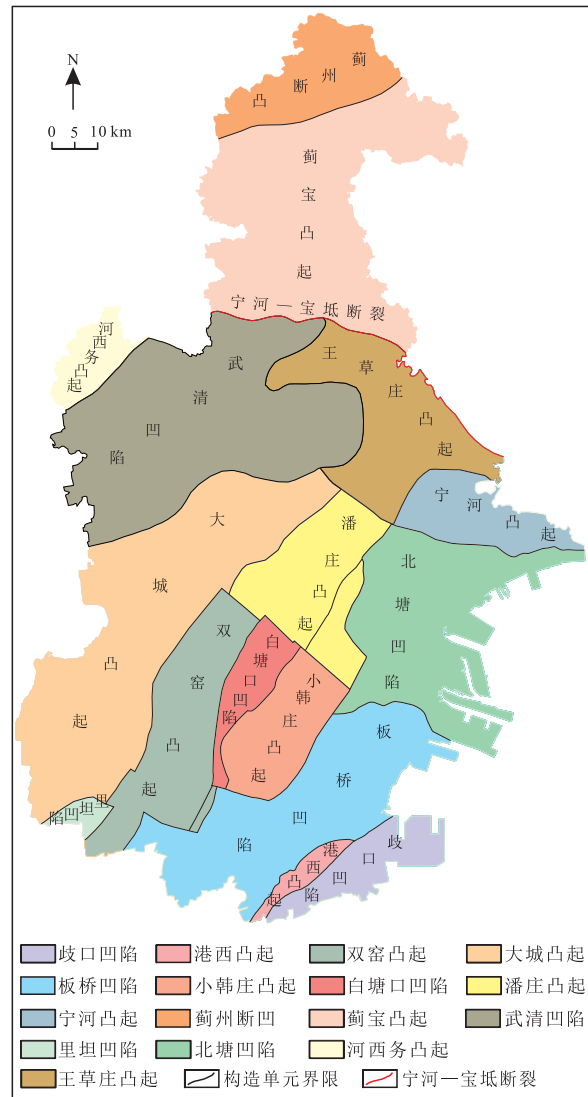


图1 天津市地区构造分区(据参考文献[16]修改)

Fig. 1 Tectonic division map of Tianjin area (modified according to reference[16])

层出砂,阻止含水层中的砂砾进入滤水管内^[20],井筒和地层之间有砾料的支撑,可以保持地层的稳定性和过水效果,提高回灌效果,但其回灌效果还有待改善。

2.1 滤水管填砾井NM-01井回灌能力

NM-01井采用了一开滤水管填砾成井方式,滤水管段对应井径400.05 mm,滤水管管径177.8 mm,滤水管下入长度63.77 m,对应取水层有效厚度53.54 m,单位涌水量为1.96 m³/(h·m),热储温度为59℃,取水段中点埋深为1 045.3 m。因动水位埋深最终稳定到井口附近,故试验仅进行了1组,回灌量为9.2 m³/h,对应动水位埋深12.55 m,回灌流体温度46℃(回灌流体为地热流体,未经换热器),持续时间

24 h,稳定时间9 h(图2),校正到25 °C后,静水位埋深为11.275 m,动水位为20.21 m,水位回开值为92.54 m。

2.2 NM-02井回灌试验

NM-02井采用一开滤水管填砾成井方式,滤水管段对应井径550 mm,滤水管管径177.8 mm,滤水管下入长度118.49 m,对应取水层有效厚度为67 m。NM-02井回灌试验中最小回灌量只能控制在30 m³/h,但动水位埋深最终涨至井口,未获取稳定动水位埋深(回灌试验回灌流体为地热流体,未经换热器)持续时间15 h(图3),校正到25 °C后,静水位埋深为93.61 m,动水位为7.19 m,水位回升值为86.42 m。

综上所述,两眼井滤水管填砾回灌井的回灌能力在30 m³/h以下,NM-1井的回灌量更小,仅为9.2 m³/h。

3 大口径填砾成井工艺回灌效果分析

3.1 大口径填砾成井工艺原理

明化镇组热储层的总厚度大,孔隙度较高,渗透率较大,为回灌流体在储层中的运移提供了基础条件^[21],但相对于馆陶组热储层,其砂层单层厚度薄,泥质含量高,成岩性差、胶结疏松、易出砂,储层敏感性高,需要成井工艺在减少钻井液污染的前提下,具

备良好的挡砂和支撑效果。尽管采用滤水管填砾成井对明化镇组回灌效果有一定的提升,但是可以通过扩大成井口径或增加地热井取水段的渗流通道等措施进一步改善回灌效果。钻井过程中对钻井组合和钻井液进行优化,避免污染储层,并采用联合洗井方式防止成井过程中热储的孔隙通道被堵塞。

3.1.1 成井直径

成井直径能直接影响成井后的过流面积。目前填砾成井一般采用 $\phi 177.8$ mm的井径,当地质及工程条件允许时,可以选用 $\phi 244.5$ mm的井径。

3.1.2 钻具组合

选择钻具组合需要考虑在确保安全的前提下,尽可能快地提高钻进速度,减小钻井液对地层的影响时间。采用螺杆和PDC钻头(图4)复合钻进,能有效加快钻进速度,缩短钻井液对地层的影响时间,减小影响程度。

3.1.3 钻井液

地热井常用的钻井液类型有细分散钻井液、聚合物钻井液、堵漏钻井液、泡沫钻井液和清水等。其中堵漏钻井液与泡沫钻井液是在易发生严重漏失的地层钻井中所用的,清水一般用于地层稳定的基岩层,均不适用于明化镇组地热井所钻遇的地层。聚合物钻井液中需大量添加高分子聚合物,形成的滤饼破壁后容易堵塞地层中的过水通道,且不易通过洗井的方式疏通排除,从而影响回灌效果。因此,以细分散钻井液为主,同时降低黏土含量,少使用或不使用聚合物。选用的钻井液密度介于1.05 ~ 1.10 g/m³,马氏黏度介于30 ~ 40 s,失水量小于10 mL/30 min, pH值为9,含砂量小于0.5 %。

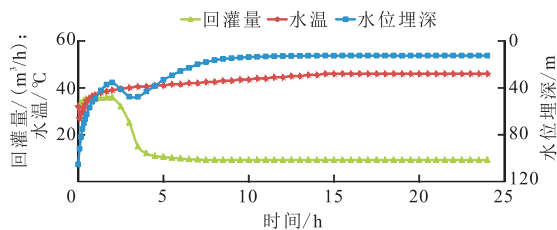


图2 天津市明化镇组NM-01井回灌试验历时曲线
Fig. 2 Reinjection test curve of well NM-01 in Minghuazhen Formation, Tianjin

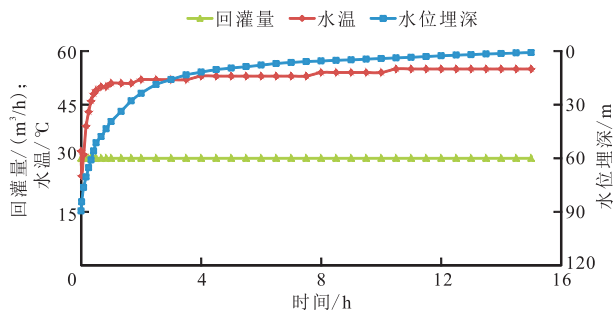


图3 天津市明化镇组NM-02井回灌试验历时曲线
Fig. 3 Reinjection test curve of well NM-02 in Minghuazhen Formation, Tianjin

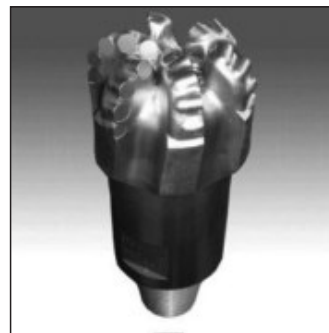


图4 PDC钻头
Fig. 4 PDC drilling bit

3.1.4 洗井方式

洗井是解决成井工艺中钻井液残留影响的唯一途径,其效果能直接影响明化镇组回灌井的成井效果。多种洗井方式均有其独特的作用。因此,明化镇组回灌井宜采用多种洗井方式并举的洗井组合方案。先进行磷酸盐洗井,破坏钻井液残留滤饼。再进行高压喷射洗井,对近套管段进行彻底清理。然后通过拉活塞洗井,逐段疏通含水层。最后通过气举洗井,全面疏通全井。各洗井方式相辅相成,联合洗井才能达到最佳效果。

3.2 NM-01B井回灌井

NM-01B井井深1 201.48 m,为一开直井,采用大口径填砾成井工艺,揭露明化镇组热储厚度为871.48 m,发育砂岩段(水层)共有17层103.7 m,滤水管段对应井径为590 mm,滤水管管径为244.5 mm,滤水管下入长度为123.38 m,对应取水层有效厚度81.56 m,孔隙度介于26.98%~34.08%,渗透率介于(425.73~1 211.10)×10⁻³ μm²,泥质含量介于3.33%~9.54%,单位涌水量为4.40 m³/(h·m)。

3.2.1 NM-01B井回灌试验

NM-01B井进行了3组回灌试验,各组持续时间分别为26、43、72 h,稳定时间分别达11、27、54 h,回灌流体为地热流体,供暖初期未换热至较低温度(图5)。

3.2.2 回灌能力对比

最接近NM-01B井的同构造单元同层位地热井是NM-01井。两眼井的地质条件几乎相同,井底距离为360 m。图6为两眼井的井身结构对比,分别采用滤水管填砾和大口径填砾2种工艺。从现场回

灌试验可以看出,NM-01B井的试验最大回灌量为32 m³/h,对应动水位埋深为17.35 m,回灌流体温度37 °C。表1列出了两眼井的回灌试验计算结果,从实际回灌的最大值来看,NM-01B井回灌能力远高于NM-01井。但由于NM-01B井成井井径和取水段有效厚度均大于NM-01井,因此两眼井在最大稳定回灌量下所对应的回灌流体温度、动水位埋深也存在差异,为了便于对比分析,利用水位校正等相关推算公式将回灌流体温度统一校正至25 °C、动水位埋深统一按10 m,对最大回灌量进行了重新计算,引入注水面积 $A_{\text{注}}$ 、单位注水面积回灌量 $q_{\text{注}}$ 物理量:

$$A_{\text{注}}=2\pi rh \quad (1)$$

式中: $A_{\text{注}}$ 为注水面积,单位m²;r为井半径,单位m;h为取水段有效厚度,单位m。

$$q_{\text{注}}=\frac{Q_{\text{注}}}{A_{\text{注}}} \quad (2)$$

式中: $q_{\text{注}}$ 为单位注水面积回灌量,单位m³/h;A_注为注水面积,单位m²;Q_注为回灌量,单位m³/h。

根据对比结果可知,消除滤水管对应井径、取水段有效厚度差异的影响,NM-01B井回灌能力是NM-01井的1.5倍;在此之上,消除回灌水温和动水位埋深差异的影响,NM-01B井回灌能力是NM-01井的1.87倍。

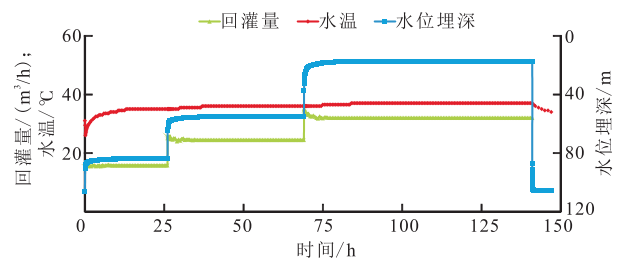


图5 天津市明化镇组NM-01B井回灌试验历时曲线
Fig. 5 Reinjection test curves of well NM-01B in Minghuazhen Formation, Tianjin

表1 天津市明化镇组NM-01井、NM-01B井回灌试验计算结果对比

Table 1 Comparison between calculation results of re-injection tests between well NM-01 and well NM-01B in Minghuazhen Formation, Tianjin

参数	实际最大回灌量/ (m ³ /h)	校正水位 埋深/m	计算最大回灌量/ (m ³ /h)	滤水段对应 井径/m	取水段有效 厚度/m	注水面积/ m ²	实际单位注水 面积回灌量/ [m ³ /(h·m ²)]	计算单位注水 面积回灌量/ [m ³ /(h·m ²)]
NM-01	9.2	20.21	10.2	0.200	53.54	67.28	0.14	0.15
NM-01B	32.0	21.06	42.9	0.295	81.56	151.17	0.21	0.28
倍数关系 (NM-01B/NM-01)	3.48	1.04	4.21	1.48	1.52	2.25	1.50	1.87

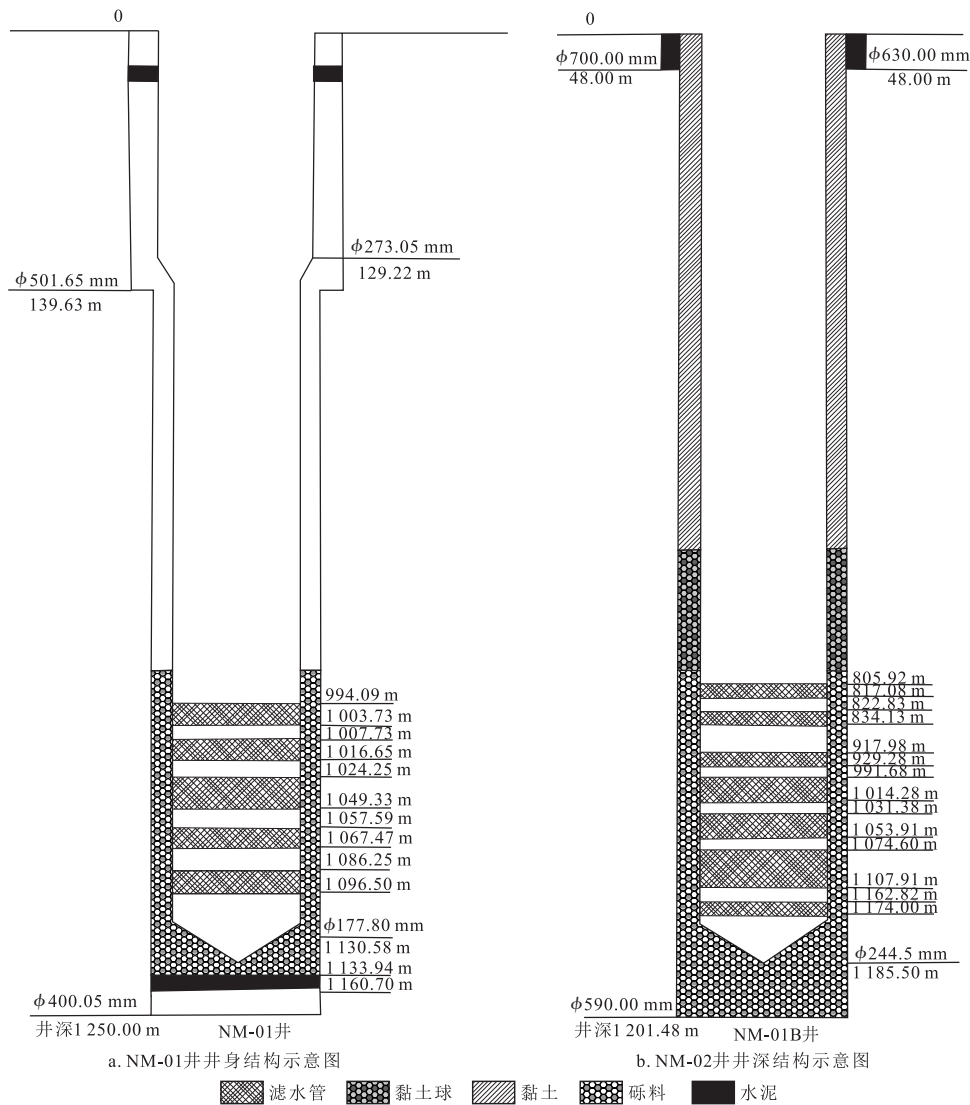


图6 天津市明化镇组NM-01井、NM-01B井井身结构对比示意图

Fig. 6 Schematic diagram comparing the well structure of Well-NM-01 and Well-NM-01B in Minghuazhen Formation, Tianjin in Minghuazhen Formation, Tianjin

3.3 NM-02B回灌井

回灌井NM-02B和开采井NM-02组成采灌系统,两眼井的井底距离大于656 m。NM-02B井井深955 m,为一开直井,采用大口径填砾成井工艺。揭露明化镇组热储厚度673 m,发育砂岩段(水层)25层145.7 m。滤水管段对应井径444.5 mm,滤水管管径244.5 mm,滤水管下入长度114.09 m,对应取水层有效厚度为65.74 m。孔隙度介于23.11%~39.12%,渗透率介于 $(342 \sim 2\,413) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,泥质含量4.41%~14.96%。

3.3.1 NM-02B回灌试验

NM-02B井进行了3组回灌试验,各组持续时间

分别为23、47、73 h,稳定时间分别达到22、20、48 h,回灌流体为地热流体,供暖初期未换热至较低温度。历时曲线见图7。

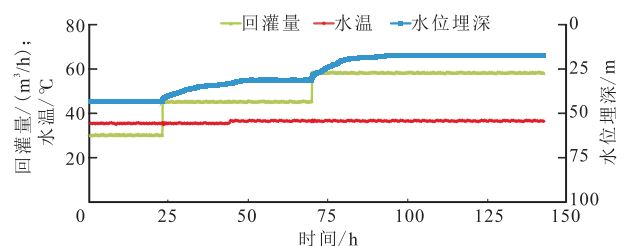


图7 天津市明化镇组NM-02B井回灌试验历时曲线
Fig. 7 Re-injection test curves of well NM-02B in Minghuazhen Formation, Tianjin

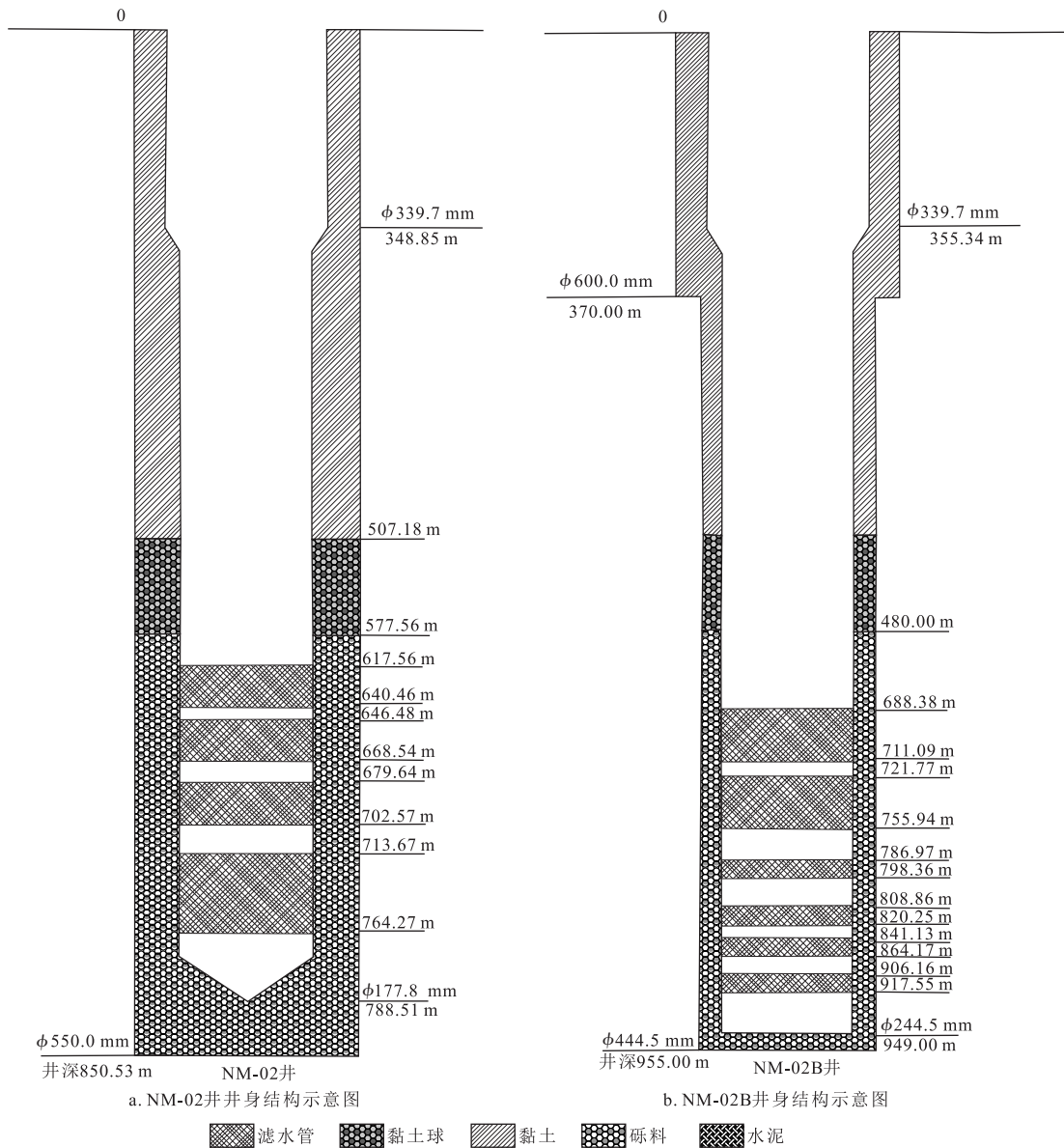


图8 天津市明化镇组NM-02、NM-02B井井身结构对比示意图

Fig. 8 Schematic diagram comparing the structure of wells NM-02 and NM-02B in Minghuazhen Formation, Tianjin

3.3.2 回灌能力对比

距NM-02B井距离最近的同一构造单元同层地热井为NM-02井。图8为两眼井的井身结构比较,可见两眼井分别采用滤水管填砾和大口径滤水管填砾工艺,从表2可以看出,NM-02B井最大稳定回灌量是 $58.0 \text{ m}^3/\text{h}$,对应动水位埋深 17.63 m ,回灌流体温度 $36.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 。从实际回灌的最大值来看,NM-02B井回灌能力远好于NM-02井。

根据对比结果可知,消除滤水管对应井径、取水段有效厚度差异的影响,NM-02B井回灌能力是NM-02井的2倍以上。

表2 天津市明化镇组NM-02井、NM-02B井参数对比
Table 2 Comparison Comparison of parameters for Well-NM-02 and Well-NM-02B in Minghuazhen Formation, Tianjin

参数	实际最大回灌量/ (m^3/h)	滤水段 对应井径/ m	取水段 有效厚度/ m	注水 面积/ m^2
NM-02	< 30	0.275	67.00	115.77
NM-02B	58	0.222	65.74	91.70
倍数关系 (NM-02B/NM-10B)	> 1.93	0.81	0.98	0.79

4 原因分析

明化镇组具有砂岩粒径小、砂岩胶结差、砂层薄和泥质含量高的特点。滤水管填砾成井工艺具有良好的挡砂效果,阻止了地层中游离砂进入井筒,避免在井筒内沉积,淤埋过水通道,减小过流面积,从而造成回灌能力下降。大口径填砾工艺在具备滤水管填砾成井工艺挡砂优点的基础上,扩大成井直径,增大了地热井成井后的过流面积。此外,钻井施工过程中,钻井液会在井壁形成滤饼,破壁后不能将滤饼完全清除出井内,对地层造成堵塞,降低渗透系数,钻井液配方优化和钻具组合优化减小了施工时钻井液的影响,减小堵塞,在钻井施工结束后,通过联合洗井的方式,将部分堵塞成分从地层中带出,疏通地层。这些共同作用下,实现了明化镇组储层回灌能力的提升。

5 结论

1) 天津明化镇组储层成岩性差、胶结疏松、易出砂,采用滤水管填砾成井工艺,可有效保持地层稳定性并预防出砂,但回灌能力有待提升。

2) 相比滤水管填砾成井工艺,大口径填砾成井工艺中成井套管直径增至244.5 mm,优化了钻具组合、钻井液和洗井方式,在预防出砂和保持储层稳定性的同时,降低了储层污染,增加了渗流通道。

3) 两眼井应用了大口径填砾成井工艺,回灌能力分别提升了1.5倍、2倍以上,效果明显。

参考文献

- [1] 王贵玲,刘彦广,朱喜,等.中国地热资源现状及发展趋势[J].地学前缘,2020,27(1):1-9.
WANG Guiling, LIU Yanguang, ZHU Xi, et al. The status and development trend of geothermal resources in China[J]. Earth Science Frontiers, 2020, 27(1): 1-9.
- [2] 赵斌,吕玥,温柔,等.西藏地热能开发利用现状及发展前景[J].热力发电,2023,52(1):1-6.
ZHAO Bin, LYU Yue, WEN Rou, et al. Utilization situation and development prospect of geothermal energy in Tibet[J]. Thermal Power Generation, 2023, 52(1): 1-6.
- [3] 李惠莉,康晶,佟娟,等.地热尾水回灌堵塞机制研究进展[C]//中国环境科学学会2021年科学技术年会——环境工程技术创新与应用分会场论文集(三).北京:《环境工程》编辑部,2021:789-797.
LI Huili, KANG Jin, TONG Juan, et al. State of art on clogging mechanism of geothermal tail-water reinjection[C]// 2021 Annual Conference of Science and Technology of Chinese Society of Environmental Sciences—Environmental Engineering Technology Innovation and Application Sub-conference (III). Beijing: Environmental Engineering' Editorial Department, 2021: 789-797.
- [4] 王光辉,赵娜,唐永香,等.孔隙型地热资源回灌模式研究——以天津市滨海新区为例[J].地质调查与研究,2014,37(2):155-160.
WANG Guanghui, ZHAO Na, TANG Yongxiang, et al. Research on geothermal reinjection mode of Neogene in the Binhai New Area, Tianjin[J]. Geological Survey and Research, 2014, 37(2): 155-160.
- [5] 周鑫.沉积盆地孔隙型地下水回灌堵塞机理研究——以西安三桥地热尾水回灌井为例[D].西安:长安大学,2013.
ZHOU Xin. Reinjection Plugging mechanism researching of sedimentary basin type porous geothermal water: As the reinjection well in Sanqiao of Xi'an for an example[D]. Xi'an: Chang'an University, 2013.
- [6] 刘雪玲,朱家玲.新近系砂岩地热回灌堵塞问题的探讨[J].水文地质工程地质,2009,36(5):138-141.
LIU Xueling, Zhu Jialing. A study of clogging in geothermal reinjection wells in the Neogene sandstone aquifer[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2009, 36(5): 138-141.
- [7] 林黎,王连成,赵苏民,等.天津地区孔隙型热储层地热流体回灌影响因素探讨[J].水文地质工程地质,2008,35(6):125-128.
LIN Li, WANG Liancheng, ZHAO Sumin, et al. A discussion of the factors affecting geothermal recirculation in the geothermal reservoirs of porous type in Tianjin[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2008, 35(6): 125-128.
- [8] 高宝珠,曾梅香.地热对井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,2007,34(2):75-80.
GAO Baozhu, ZENG Meixiang. Causes and prevention measures of the clogging in the geothermal reinjection well of a geothermal double-well system[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2007, 34(2): 75-80.
- [9] 马忠平,王艳宏,沈健,等.天津馆陶组地热回灌井钻井和射孔工艺探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程).2014,41(8):36-39.
MA Zhongping, WANG Yanhong, SHEN Jian, et al. Discussion on drilling and perforating technologies for geothermal recirculation well in Guantao formation of Tianjin[J]. Exploration Engineering(Rock & soil Drilling and Tunneling). 2014, 41(8): 36-39.
- [10] 王连成,林黎,沈健,等.天津市滨海新区馆陶组热储回灌技术集成与示范研究报告(2011)[R].天津:天津地热勘查开发设计院,2011.
WANG Liancheng, LIN Li, SHEN Jian, et al. Tianjin Binhai New Area Guantao Formation thermal reservoir recharge technology integration and demonstration research report(2011) [R]. Tianjin: Tianjin Geothermal Exploration and Development Design Institute, 2011.
- [11] 赵苏民.沉积盆地型地热田勘查开发与利用[M].北京:地质出版社,2013.
ZHAO Sumin. Development and utilization of geothermal field in sedimentary basin[M]. Beijing: Geology Press, 2013.
- [12] 阮传侠,冯树友,沈健,等.天津滨海新区地热资源循环利用

- 研究——馆陶组热储回灌技术研究与示范[J]. 地质力学学报, 2017, 23(3): 498-506.
- RUAN Chuanxia, FENG Shuyou, SHEN Jian, et al. A study on the recycling utilization of geothermal resources in Binhai New Area: A case study of Tianjin demonstration of thermal storage and reinjection technology of Guantao reservoir[J]. Journal of Geomechanics, 2017, 23(3): 498-506.
- [13] 林建旺, 赵苏民. 天津地区馆陶组热储回灌量衰减原因探讨[J]. 水文地质工程地质, 2010, 37(5): 133-136.
- LIN Jianwang, ZHAO Sumin. An analysis of the reinjection attenuation of the Guantao Group geothermal reservoir in the Tianjin Area[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2010, 37(5): 133-136.
- [14] 高新智. 天津市孔隙型砂岩热储回灌能力评价模型研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2018.
- GAO Xinzhi. The Model of thermal storage recharge capacity for sandstone pore in Tianjin[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2018.
- [15] 王光辉, 赵娜, 赵苏民, 等. 天津地区新近系地热回灌井不同完井工艺应用效果对比[J]. 地质找矿论丛, 2013, 28(3): 481-485.
- WANG Guanghui, ZHAO Na, ZHAO Sumin, et al. Reinjection effect study of different geothermal well completion in Neogene System [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2013, 28(3): 481-485.
- [16] 阮传侠. 天津地区雾迷山组热储地热回灌研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2018.
- RUAN Chuanxia. A study of reinjection of geothermal resources in the geothermal reservoir of the Wumishan Group in Tianjin [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2018.
- [17] 陈明涛. 天津潘庄凸起构造区砂岩型热储层水—热—力学耦合数值模拟研究[D]. 长春: 吉林大学, 2020.
- CHEN Mingtao. Study on hydro-thermo-mechanical coupling numerical simulation of sandstone thermal reservoir in Panzhuang Uplift Area, Tianjin City[D]. Changchun: Jilin University, 2020.
- [18] 贾志, 张芬娜, 杨忠彦, 等. 射孔技术在孔隙型地热回灌井中的应用[J]. 地下水, 2015, 37(2): 106-109.
- JIA Zhi, ZHANG Fenna, YANG Zhongyan, et al. Application of perforation technology in the porous geothermal reinjection well [J]. Ground Water, 2015, 37(2): 106-109.
- [19] 曾梅香, 李会娟, 石建军, 等. 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.
- ZENG Meixiang, LI Huijuan, SHI Jianjun, et al. The study on drilling technique of tertiary reservoir reinjection well[J]. Geology and Prospecting, 2007, 43(2): 88-92.
- [20] 江国胜, 王光辉, 赵娜, 等. 滨海新区西部馆陶组回灌井填砾成井工艺的应用分析[J]. 地质调查与研究, 2014, 37(2): 149-154.
- JIANG Guosheng, WANG Guanghui, ZHAO Na, et al. Application of gravel-packed completion technology of Guantao geothermal reinjection well in the Western Binhai New Area[J]. Geological Survey and Research, 2014, 37(2): 149-154.
- [21] 高新智. 天津市孔隙型砂岩热储垂直向对比回灌参数研究(2018)[R]. 天津: 天津地热勘查开发设计院, 2018.
- GAO Xinzhi. Study on vertical comparative recharge parameters of porous sandstone thermal storage in Tianjin (2018) [R]. Tianjin: Tianjin Geothermal Exploration and Development Design Institute, 2018.

(编辑 郭群)

热烈祝贺《油气藏评价与开发》入选北大中文核心

2023年12月,《油气藏评价与开发》入编《中文核心期刊要目总览》2023年版(第10版)之石油、天然气工业类的核心期刊。

《中文核心期刊要目总览》2023年版由北京大学图书馆主持,32个单位的148位专家和工作人员参加研究,全国9473位学科专家参加核心期刊表评审工作。经过定量筛选和专家定性评审,从我国正在出版的中文期刊中评选出1987种核心期刊。

《油气藏评价与开发》成功入选2023年版“北大中文核心”,是继入选CSCD和中国科技核心之后又上了一个新的台阶!这些成绩的取得,得益于各级领导的关心和指导,得益于各位编委、青年编委、审稿专家、作者和读者的支持和关注,同时也是对编辑部辛勤耕耘的最好回馈。《油气藏评价与开发》编辑部将不忘初心,再接再厉,在建设高质量科技期刊的道路上不懈努力,为祖国的油气事业贡献智慧和力量!

