

γ 油田嫩二底套损成因及防控措施研究

谭 畅

大庆油田有限责任公司第五采油厂, 黑龙江 大庆
Email: tanchang5c@petrochina.com.cn

收稿日期: 2021年1月20日; 录用日期: 2021年6月17日; 发布日期: 2021年6月24日

摘 要

针对嫩二底套损井数多、区域集中、对开发影响大、治理难的实际问题, 通过对嫩二底的岩心特征进行观察、电阻率峰值分析、井径测试分析及岩心水化试验, 确定嫩二底套损的地质因素; 通过对注入水浸入嫩二段几种方式的研究, 确定了水侵源头; 根据嫩二底成片套损取得认识, 制定对应防控对策。研究表明, 成片套损位置大多发生在嫩二化石层中化石带的第三个峰值(最大峰值)的附近, 富含生物碎屑, 页理发育, 为硬岩性薄弱面, 易启开, 是套损地质因素; 固井质量差, 注入水上窜到嫩二段、报废井附近注水井注水通过未报废井段窜流进入嫩二段、套损注水井发现不及时均导致注入水侵入, 使套损区域不断扩大; 提高防控能力、控制进水通道防止嫩二段进水和排出进入嫩二段注入水三项措施利于治理嫩二底套损, 效果较好。嫩二底的套损成因研究和防控措施实施有利于降低油田套损危害, 保障原油生产, 降低修井投资。

关键词

嫩二底, 套损, 机理, 防控

Study on the Causes and Control Measures of Casing Damage in Nen II Bottom of γ Oilfield

Chang Tan

No. 5 Oil Production Plant of Daqing Oilfield Ltd., Daqing Heilongjiang
Email: tanchang5c@petrochina.com.cn

Received: Jan. 20th, 2021; accepted: Jun. 17th, 2021; published: Jun. 24th, 2021

Abstract

In view of the practical problems such as the number of casing damage Wells, concentrated area, great influence on development and difficulty in treatment in the Nen II bottom, the geological factors of casing damage in the Nen II bottom were determined by observing the core characteristics of the standard layer of the Nen II Bottom, analyzing the peak resistivity, well diameter testing and core hydration test. The source of water invasion was determined by studying several ways of injecting water into the II section of Nen. According to the understanding of the sleeve damage of Nen II bottom, the corresponding prevention and control measures are made. The results show that the locus of casings damage mostly occurs near the third peak (the largest peak) of fossil zone in the Nen 2 fossil layer, which is rich in bioclasts, developed in foliation, and is the weak surface of hard lithology, which is easy to open, and is the geological factor of casings damage. The poor cementing quality, injected water flowed through the Nen II section, the injection well near the abandoned well entered the Nen II section through the channeling flow of the unabandoned section, and the casing loss injection well was not found in time, which all led to the intrusion of injected water and the continuous expansion of the casing loss area. The three measures of improving the prevention and control ability, controlling the inlet passage and preventing the inflow of water and discharging into the II section of Nen are beneficial to the treatment of the bottom casing damage of the II section of Nen and the effect is good. The research on the cause of casing damage and the implementation of prevention and control measures in the standard layer of the II bottom of Nen Oilfield are beneficial to reduce the damage of casing damage, guarantee the production of crude oil and reduce the investment of workover.

Keywords

Nen II Bottom, Casing Damage, The Mechanism, The Prevention and Control

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

套损井在油田生产中时有发生，套损后常常伴随油水井生产的长时间中断或者终止，后续各项油水

井措施施工也无法推进,对油田生产造成影响[1] [2]。随开发的深入,对油水井套损的预防、发现和及时治理成为工作焦点。

γ 油田嫩二段位于油层上部,易发生成片套损,潜在危害较大,套损多以错断为主,发生套损后各种增产增注措施不能顺利执行,对开发的后续影响较大。关于嫩二段的套损成因目前主要有两种论点:有学者将嫩二段的套损原因归结为嫩二段进水后,泥岩吸水膨胀和蠕变,从而导致套管被挤压、挤扁乃至错断[3] [4];也有论点认为嫩二段套损并非是泥岩作用,而是因其岩层存在化石薄弱面具有渗透性且易启开,进水后地层稳定性下降,地层滑移产生的作用力直接施加在套管上,从而造成套损[5] [6] [7] [8]。

为明确 γ 油田的嫩二底套损机理,本文通过对岩心特征进行观察,对嫩二底的岩性、黏土矿物含量进行分析,明确了真正影响其套损的地质因素;通过对注入水侵入嫩二段几种方式的研究,确定了影响套损的开发因素,从而对嫩二底套损机理取得了新认识,并制定了一系列具有针对性的套损防控措施。

2. γ 油田嫩二底套损基本概况

γ 油田位于松辽盆地西南边缘,含油面积 159.5 km²,地质储量 25,556 × 10⁴ t。主要发育储集层位于中生界白垩系下统姚家组—青山口组地层中,含包括 S2、S3、P1、P2 的多个油层组(如图 1),其上分布 N1、N2、N3~N5 组的非油层段[9] [10]。

据统计,γ 油田嫩二底发育深度约 590~1274 米,自 2004 年以来该段套损井数明显增加,嫩二底套损井近年呈集中爆发态势,平均年新发现套损井数由 3.4 口增加到 25 口,截至 2020 年底,γ 油田共发现嫩二段套损井 559 口,其中嫩二底套损井 462 口,占 82.65%,是主要套损层位,因此作为研究和解决嫩二段套损问题的重点研究对象。

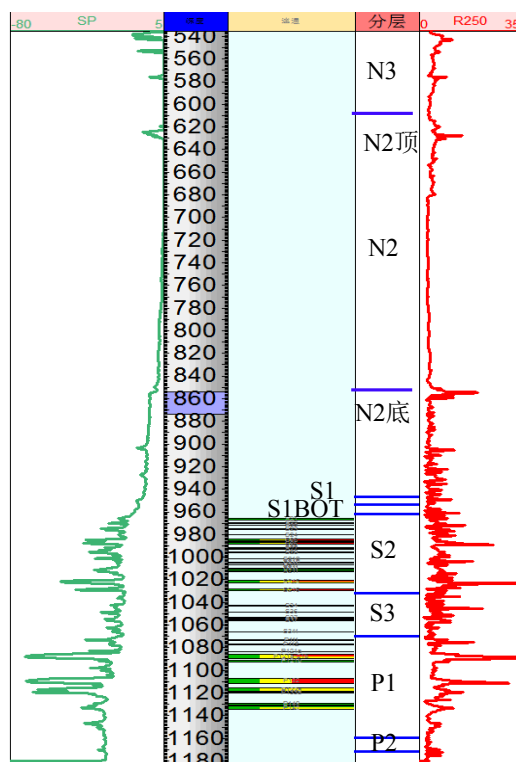


Figure 1. Distribution example of developed reservoir in γ oilfield

图 1. γ 油田发育储层分布图

3. 嫩二底的套损成因

3.1. 嫩二底套损的地质因素(内因)

3.1.1. 嫩二底部富含化石

γ 油田嫩二段厚 200 m 左右, 为大段的黑色、灰黑色泥岩和页岩, 底部夹油页岩, 在全区稳定分布, 为大庆长垣一级标准层, 全层含介形虫、叶肢介和蚌化石(如图 2), 属姚家—伏龙泉沉积旋回, 沉积环境为深湖—较深湖相[11] [12]。



Figure 2. Distribution characteristics of fossils in the bottom of Nen II member

图 2. 嫩二底化石分布特征图

嫩二底为嫩二段底部厚度约 10 米的钙质油页岩, 是指视电阻率具有六个特征峰值的特定地质层位, 电阻率峰值为六个特殊岩性带—即六个富集的化石层位。峰值幅度对应于化石的密集程度: 峰值越高, 含化石越多。通过对嫩二段套损位置的分析, 明确了 70%的底部套损集中于第三个电阻率峰值上, 即化石层最密集层(如图 3)。

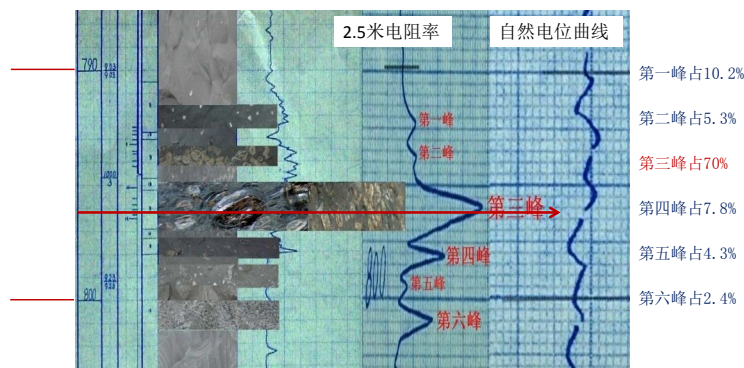


Figure 3. Electric survey curve of Nen 2 section bottom

图 3. 嫩二底电测曲线

3.1.2. 岩石强度高

对电阻率测试和井径曲线进行了对比，如图 4，第四至第六峰值对应的井径外扩显著，测井解释为该处岩石硬度低导致，取芯结果显示该处岩性疏松、泥质含量高，与测井解释成果一致。相对应的第一至第三峰值处对应的井径变化则十分平缓，测井解释和取芯表明此处岩性硬度高、钙质含量高。

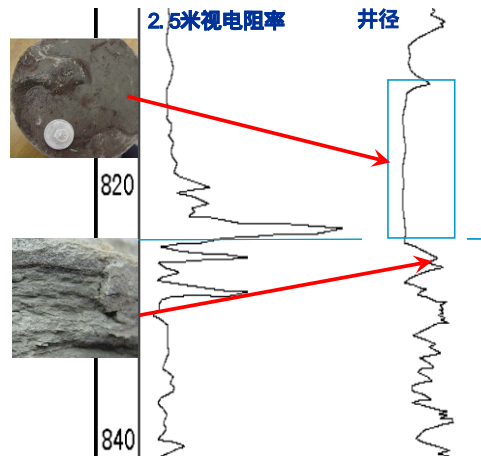


Figure 4. Caliper curve of standard formation
图 4. 标准层井径曲线

3.1.3. 具有渗透性

如图 5，基础井网电位曲线呈负异常，表明在开钻前地层就有一定渗透性；随着二三次井网的开发，其电位显示正异常，这表明渗透层已进水，如图 6。通过近几年来一二三次井网电位曲线对比发现，电位曲线正异常呈增加趋势，这也表明嫩二底进水逐渐增多的趋势。



Figure 5. Spontaneous potential curve of foundation well (negative anomaly)
图 5. 基础井自然电位曲线(负异常)

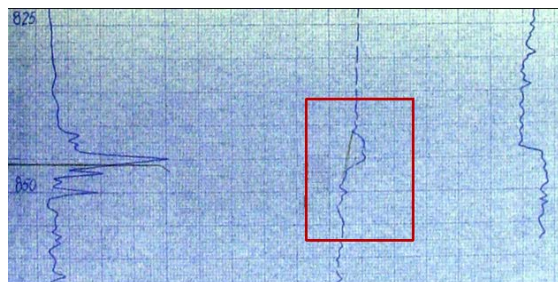


Figure 6. Spontaneous potential curve of secondary infill well (positive anomaly)
图 6. 二次井自然电位曲线(正异常)

3.1.4. 层理发育，套损是由于进水后层理滑动造成

通过对嫩二底岩芯进行观察，其呈层理发育，富含介形虫化石。对全岩成分研究表明，嫩二底粘土矿物总量为 51.2%，石英为 17.5%，长石为 7.0%，方解石为 12.4%，含少量黄铁矿和菱铁矿。对粘土矿物相对含量分析发现，嫩二底不含蒙脱石(S)，伊蒙混层(I/S)为 79%。水化实验水敏性显示，嫩二底岩石遇水不水化(见图 7)。

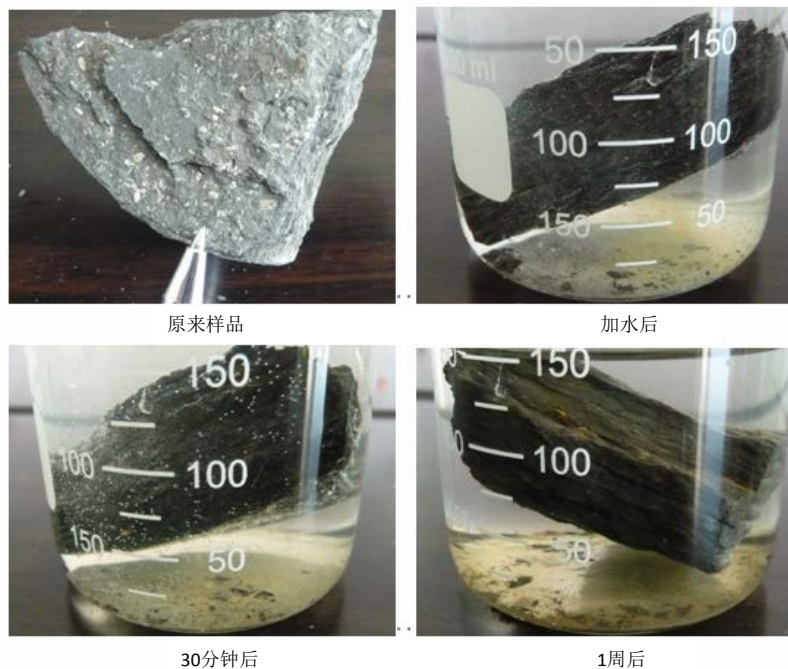


Figure 7. Gray black mudstone with ostracod fossils
图 7. 灰黑色含介形虫化石泥岩

综上所述，通过岩性分析结果得出嫩二底并不含蒙脱石，因此遇水不蠕变、吸水不膨胀，具有较强的抗水化性质。从以上标准层油页岩取芯结构看，嫩二底泥岩呈致密块状，钙质含量高、硬度大不易破碎，而由于其沉积的介形虫等古生物化石极易在水平层理中形成微裂缝(如图 8)，使其受力后成片开裂，为注入水进入该层创造条件，水不断侵入形成浸水域。该特征在化石密集层(即 2.5 m 视电阻率第三峰)表现最为显著，当嫩二底岩层受力遭剪切时，将沿化石层薄弱面开裂。



Figure 8. Microfracture of fossil bed at bottom of Nen II
图 8. 嫩二底部化石层微裂缝

因此，嫩二底是套管损坏的“危险层段”，在存在注入水上窜通道的情况下，在正常注水时，嫩二段处于大幅度的超破裂压力状态，从而使嫩二底岩层破裂产生大量裂缝，注入水浸入后沿层理面蔓延形成水膜，水膜托浮地层使得地层稳定性大幅度下降，断层附近地层倾角大，在断层附近受到构造侧向剪切力的作用大，地层易发生较大范围的整体滑动，从而形成成片套损(如图 9)。特殊的地质特征是嫩二底集中套损的必要条件，进水是充分条件。

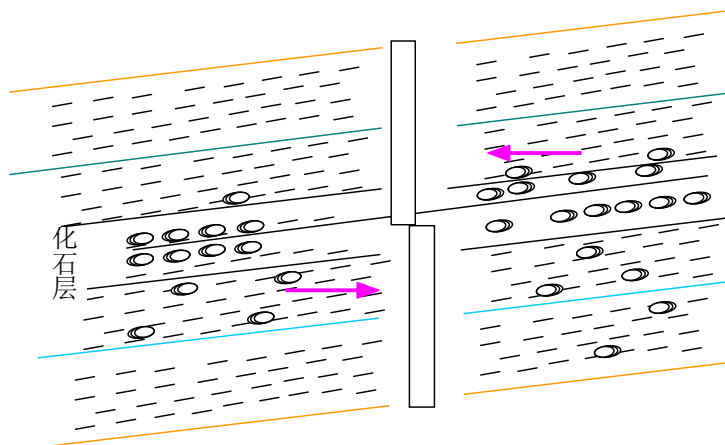


Figure 9. Formation model of casing damage in nen II bottom
图 9. 嫩二底套损地层模型

3.2. 嫩二底套损的开发因素(外因)

嫩二底是大面积稳定发育的地层，套损平面分布具有区域性特征，进水使地层失稳，沿化石层理滑动。为了明确导致嫩二底套损的侵入水是注入水还是浅层地层水，通过现场试验，在嫩二段套损区选取采出井 A 井，补开嫩二段、封堵油层、地面采样进行分析。采样结果显示，注入水的见聚浓度为 250.14 mg/L，A 井采出液中见聚浓度为 208.78 mg/L，浅层地层水的见聚浓度为 0 mg/L，由此可见，注入水进入嫩二底，而且地层水未进入嫩二底。因此认定嫩二段进入水仅为注入水，与浅层水无关(见表 1)。

Table 1. Comparison of water quality test data of well A
表 1. A 井水质化验数据对比表

水样类型	取样位置	CO ₃ ²⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	K ⁺ + Na ⁺ (mg/L)	矿化度 (mg/L)	见聚浓度 (mg/L)
浅层水	井深 30 m	15.00	381.38	26.59	7.52	7.60	12.01	158.24	608.34	0
	井深 60 m	0	701.73	62.04	62.63	16.71	6.00	254.38	1103.49	0
注入水	注入站	117.62	2272.38	1123.06	32.83	9.19	42.36	1640.54	5237.98	250.14
嫩二水	A 井	0	2391.98	1361.28	30.3	18.37	72.62	1750.02	5624.58	208.78

在此基础上，现场通过注采试验明确了注入水侵入嫩二底的几种方式：

一是固井质量差，使注入水上窜到嫩二底，是套损的成因。B 井是嫩二段套损区的源头井，该井 2019 年 6 月 28 日井况调查时发现 849.15 m 错断，最小变径 111 mm。从固井质量图(图 10)可以看出，从射孔顶界 1103.9 m 到嫩二底 849.15 m，固井质量较差，存在窜流通道，注入水会沿着射孔顶界上窜到嫩二底，导致套损。

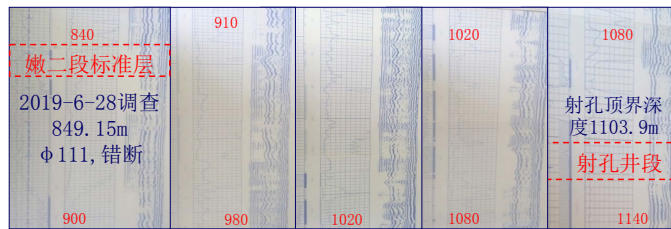


Figure 10. Cementing quality of well B
图 10. B 井固井质量图

二是嫩二底及以上套损井无通道报废，报废井附近注水井注水可以通过未报废井段窜流进入嫩二底，是造成套损连续出现的原因。

在嫩二底套损集中区选取无通道报废水井的更新水井为试验井，开展示踪剂试验。试验中，对该更新水井注入示踪剂，对周围油井监测其采出情况，监测示踪剂通过嫩二段无通道报废井窜入嫩二段的可能性。

选取 C 井为注入井，周围 11 口油井为监测井。结果显示，其中嫩二段补孔的 2 口井见剂(如图 11)，说明示踪剂注入到更新井 C 后，通过连通的油层段，经由原来的无通道报废井 D 井的错断点进入嫩二底(如图 12)。说明无通道报废井附近注水井注水会上窜至嫩二段。

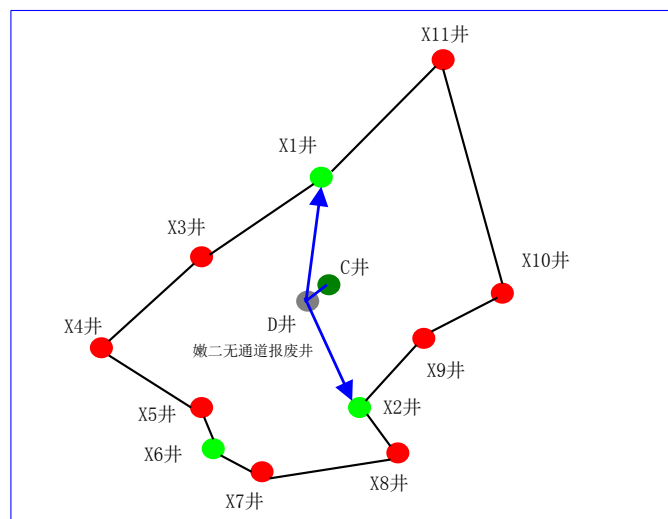


Figure 11. Tracer well location
图 11. 示踪剂见剂井井位图

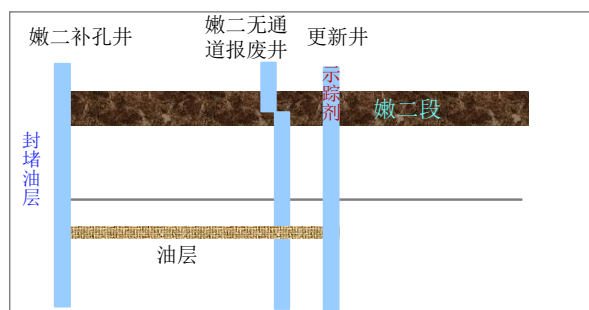


Figure 12. Tracer injection diagram of abandoned renewal well without channel
图 12. 无通道报废更新井示踪剂注入示意图

三是嫩二底套损注水井发现晚，导致注入水侵入，使得套损区域扩大。

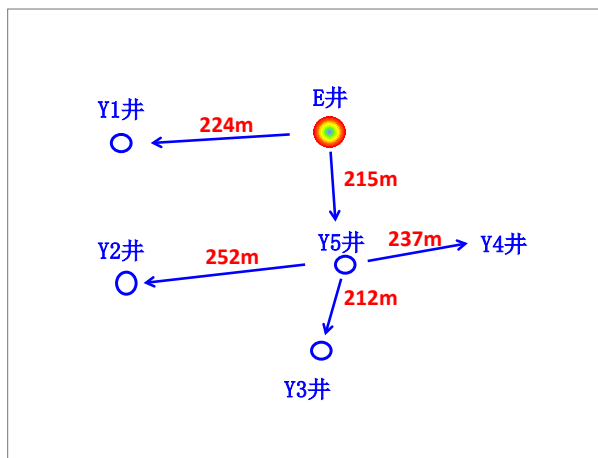


Figure 13. Location map of well e
图 13. E 井井位图

E 井 2019 年 9 月井况调查时发现 837.9 m(嫩二底)错断，最小变径 104 mm，发现套损后立即对周围 300 m 内的注入井关井并进行井况调查。调查后，周围连续发现 5 口井嫩二底套损(如图 13)。从作业时间和动态变化分析看，E 井是在 2017 年 6 月发生套损，2017 年 4 月测试时，油压 11.9 MPa，空水嘴，吸水量是 0 m³/d (见表 2)。2017 年 6 月测试结果异常，油压下降到 10.3 MPa，下降幅度超过 1 MPa，同样是空水嘴，吸水量达到 92 m³/d，偏 I 层段吸水能力明显增强，经现场核实井口流程、设备、闸门、管线无问题，压力表、水表、流量计正常。验封证实封隔器密封，怀疑套损。由于套损后未及时发现，已累计向地层注水 18,709 m³，注入水全部进入嫩二底。虽然在发现套损后立即关井，但已导致注入水侵入，周围 5 口井已经受其影响发生套损，使得套损区域扩大。

Table 2. Variation of water absorption of deviated I in well E

表 2. E 井偏 I 吸水变化情况

测试时间	调前			调后			备注
	油压 (MPa)	水嘴 (mm)	检配水量 (m ³ /d)	油压 (MPa)	水嘴 (mm)	水量 (m ³ /d)	
201704	11.9	空	0	11.9	空	0	
201706	10.3	空	92	11.9	1.6	10	异常，核实压力表和水表无问题，验封证实管柱密封
201808	11.9	1.6	11	11.9	1.6	11	
201811	11.9	1.6	26	10.0	1.0	12	吸水能力增强，重新测试
201903	10.0	1.0	11	10.0	1.0	11	

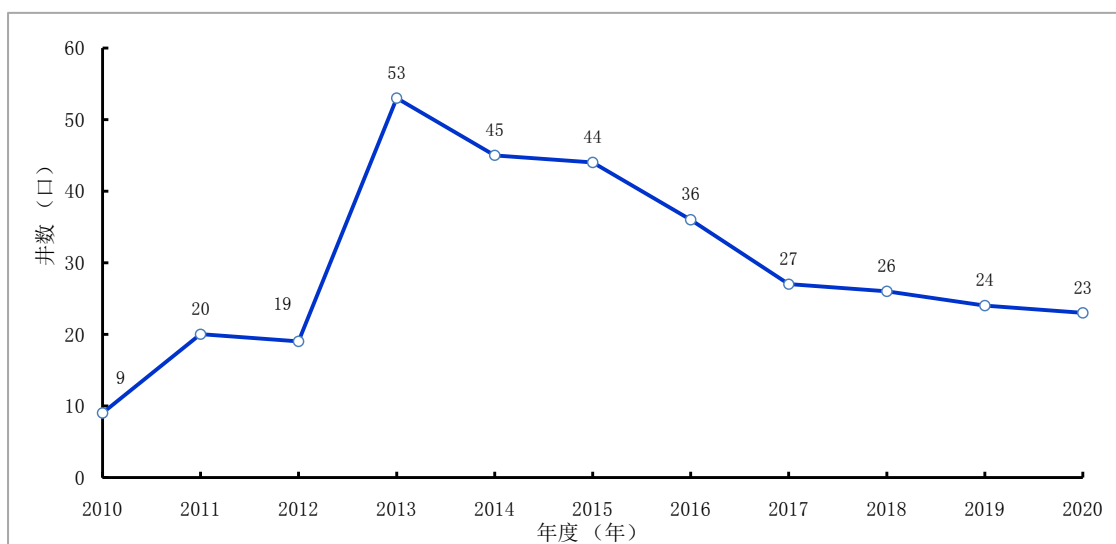
4. 嫩二底套损的防控对策

根据嫩二底成片套损取得的认识，进水是重要原因，套损防控对策主要采取以下几方面措施：提高防控能力；控制进水通道，防止进水；排出进入嫩二段注入水，见表 3。

Table 3. Prevention and control measures of casing damage in Nen II section**表 3.** 嫩二段套损防控对策表

分类	实施对象	具体对策
提高防控能力	新井	提高套管钢级, 能够有效预防套损
		确立钻井区块井点调整原则, 提高固井质量
控制进水通道	嫩二段套损井区	固井质量差注入井实施关井
		无通道报废更新注水井关井
	嫩二段套损在用井	嫩二段套损井周围注水井和异常井进行井况调查
		利用报废井监测套损区稳定情况
排水泄压	补孔泄压	双卡投死嘴定期验封
		加强补孔排液, 控制成片套损
		采油井大修后下入可排液加固管恢复生产
		嫩二段套损集中区的注入井大修时先排液再修井

随时间分布情况看, 自 2010 年以来嫩二底套损井数明显增加, 年新发现套损井数由 2010 年的 9 口增加到 2013 年的 53 口。经过对嫩二底套损井的治理, 新发现套损井数从 2014 年开始逐年下降, 截止到 2020 年底, 年发现嫩二底套损井 23 口, 与套损高峰期的 2013 年比较, 下降了 30 口(如图 14), 套损井大修单井费用按照每口 40 万元计算, 可节约成本 1200 万元, 套损防控措施取得了较好的效果。

**Figure 14.** Casing damage well curve of nen-2 bottom over the years**图 14.** 历年嫩二底套损井曲线

5. 结论

1) 明确了 γ 油田嫩二底套损的机理, 嫩二底部富含生物碎屑、为硬岩性薄弱面、具有渗透性、层理发育是嫩二底套损的地质因素(内因)。下入 P110 套管, 提高套管钢级, 做好钻前压力调整, 提高固井质量, 从源头入手控制套损的发生几率。

2) 明确了嫩二底套损的开发因素(外因), 通过对固井质量差的注入井和无通道更新井实施地质关井、

井况调查、报废井监测、定期验封等措施控制进水通道，防止嫩二段进水。

3) 对于已进入嫩二段的水，通过加强补孔排液、采油井大修后下入可排液加固管、套损集中区的注入井大修时先排液再修井的措施将侵入水排出，减缓套损隐患。

4) 形成了嫩二段套损防控措施，“二防五控三排”的防控措施，从钻井源头、开发过程、大修作业监督实现全过程有效防控。年套损井下降了 30 口，可节约大修成本 1200 万元，取得了较好的效果。

参考文献

- [1] 陈磊. 探究高台子油田套管损坏原因及防治措施[J]. 石化技术, 2016, 23(10): 273+270.
- [2] 王晓蕾. 结合吸液剖面异常及时发现套损的认识[J]. 石化技术, 2016, 23(12): 176.
- [3] 张玉荣. 油水井套管损坏机理及修复力学问题研究[D]: [硕士学位论文]. 大庆: 大庆石油大学, 2006.
- [4] 秦杜. 中原油田套管损坏的机理及防治技术研究[D]: [硕士学位论文]. 荆州: 长江大学, 2012.
- [5] 李清忠. 大庆油田嫩二段底部成片套损地质因素研究[D]: [硕士学位论文]. 大庆: 大庆石油大学, 2006.
- [6] 李连平, 康红庆, 姜贵璞, 等. 杏北开发区套损成因机理新认识及套损综合防治技术[J]. 大庆石油地质与开发, 2007(1): 83-87.
- [7] 刘鸣. 南二区西部套损成因及综合防治措施探讨[J]. 中国石油石化, 2017(12): 61-62.
- [8] 刘晓欣. 萨中开发区套损成因及防控做法分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2017, 37(14): 78-79.
- [9] 昌凤芝. 大庆油田杏南开发区薄差层三次加密井存在问题与优化研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- [10] 何莉. 杏南开发区葡 I3 层聚驱试验区注入方法研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [11] 刘玉振. 大庆油田萨中开发区南一区西部套管损坏原因分析及防治对策[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [12] 张伟航. XX 开发区套损成因及综合防治措施研究[J]. 科技创业家, 2012(22): 145.