

气田开发

涩北气田第四系疏松砂岩气藏有效开发 工艺技术研究及应用

宗贻平, 李 永, 尉亚民, 汪天游

(中国石油青海油田分公司, 甘肃 敦煌 736202)

摘要:如何有效开采疏松砂岩气藏一直是世界性的难题。针对涩北气田第四系疏松砂岩气藏开发中存在出砂严重、治砂难度大,管外封窜不严、治水难度大等难题,青海油田公司经过多年的探索试验和攻关研究,在多项工艺技术上得到突破,形成了适合涩北气田疏松砂岩气藏的出砂监测技术、防砂工艺技术、冲砂工艺技术、分层开采技术和排水采气工艺技术等特色开发技术。通过采气工艺技术的现场试验和推广应用,表明这些工艺技术是进行疏松砂岩气藏开发的有效方法,并为涩北气田的产能建设做出了重要贡献。

关键词:涩北气田;疏松砂岩;出砂监测;防砂;冲砂;分层开采;排水采气

中图分类号:TE375

文献标识码:A

文章编号:1672-1926(2010)03-0357-05

0 引言

1964年钻探北参3井导致井喷并发现了涩北一号气田,1995年开始进行试采,但由于涩北气田属于第四系未成岩气藏,开发难度特别大^[1-10],在国内外都没有类似的疏松砂岩气藏开发经验可供借鉴,缺乏有效开发的工艺技术,直到2002年产气量仍然不到 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$,气田开发一直处于低水平徘徊阶段。此后,青海油田公司经过多年的探索实验和攻关研究,深入分析涩北气田储层特征和开发中的难点,提出了具针对性的特殊开发工艺技术,比较有效地解决了生产中遇到的难题。现将这些工艺技术进行介绍,以促进涩北气田疏松砂岩气藏的进一步开发,并为同类气藏的开发提供借鉴。

1 涩北气田疏松砂岩气藏开发难点

涩北气田位于青海省柴达木盆地台吉乃尔湖、涩聂湖、达布逊湖的三湖地区,主要包括涩北一号、涩北二号和台南3个气田,探明天然气地质储量为 $2\,768.56 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。涩北气田储层埋藏深度差异大,埋深介于404.8~1 746.5 m之间,主要为第四系粉砂岩和泥质粉砂岩,具有欠压实、成岩性差、胶结

疏松、高粘土、高泥质、高矿化度、敏感性强及出砂严重等特点,大部分生产井只能靠控制压差生产,极大地限制了气井产能的发挥。涩北气田疏松砂岩气藏开发中主要存在以下世界级难题:①气井出砂严重,且所出砂为细粉砂,平均粒度为0.04~0.07 mm,对出砂规律认识不清,常规防砂技术基本无效或效果很差,防砂难度极大,严重制约了气田的高效开发;②由于气田地层胶结疏松,固井第二界面胶结质量差、容易造成管外水窜,气田气水比逐年上升,出水加剧了出砂,气田出水水源识别难度大,后续出水治理困难;③气田储层埋藏浅、层多、层薄,气水层相间,层间干扰矛盾突出。

以上这些难题一直困扰着涩北气田的有效开发,因而,通过采气工艺技术攻关研究,探索适合涩北气田的有效实用的工艺技术,对于涩北气田的开发将具有举足轻重的作用。

2 涩北气田疏松砂岩气藏有效开发工艺技术

针对上述涩北气田疏松砂岩气藏开发中的难

点,青海油田公司组织多轮科技攻关和现场试验,形成了以下有效的特殊工艺技术。

2.1 特色防砂工艺技术

特色防砂工艺技术由出砂监测工艺技术、防砂工艺技术和连续油管冲砂工艺技术 3 项技术构成。

2.1.1 出砂监测工艺技术

涩北气田气井出砂监测主要依靠 2 种方法。一种方法是常规的依靠井下作业硬探砂面和测试软探砂面,探测井筒沉积砂高度,计算出砂面每年的上升速度。通过探砂面,部分气井出现砂埋气层,造成气井产量下降。如图 1 统计了涩北气田历年来砂面上升速度以及沉积砂高度,表 1 列出了作业硬探砂面砂埋气层的情况。

用于出砂监测的另一种方法是依靠出砂在线监

测技术,监测井口出砂情况。通过出砂在线监测可以判别气井临界出砂状态,从而尽可能充分地发挥气井产能,提高单井产量。通过出砂在线监测,还可以减少地面输气管线砂堵,减少站内管线和闸门被刺,减少气井治理关井,增加气井生产时间,从而增加气井产量。出砂在线监测的技术原理是依靠 Clampon“超声波智能传感器”,通过将传感器安装在井口弯管后面,砂在此处碰击管壁的内壁,产生一种超声波脉冲信号,超声波信号通过管壁传输,并由声敏传感器接收和处理,反应出井口的出砂状况。2009 年对该项新技术共进行了 8 口井 15 次的现场测试,取得了较好的试验效果,其中涩 6-7-3 井不同气嘴的井口监测情况统计见表 2,图 2 为采用 6.5 mm 气嘴井口出砂的监测曲线。

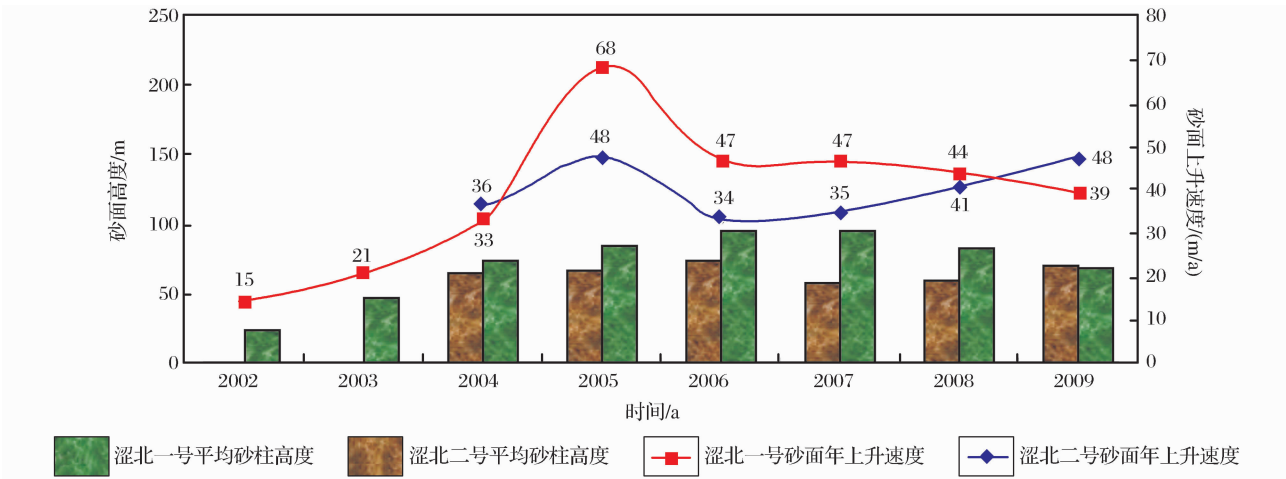


图 1 涩北气田历年砂面上升速度以及沉积砂高度统计

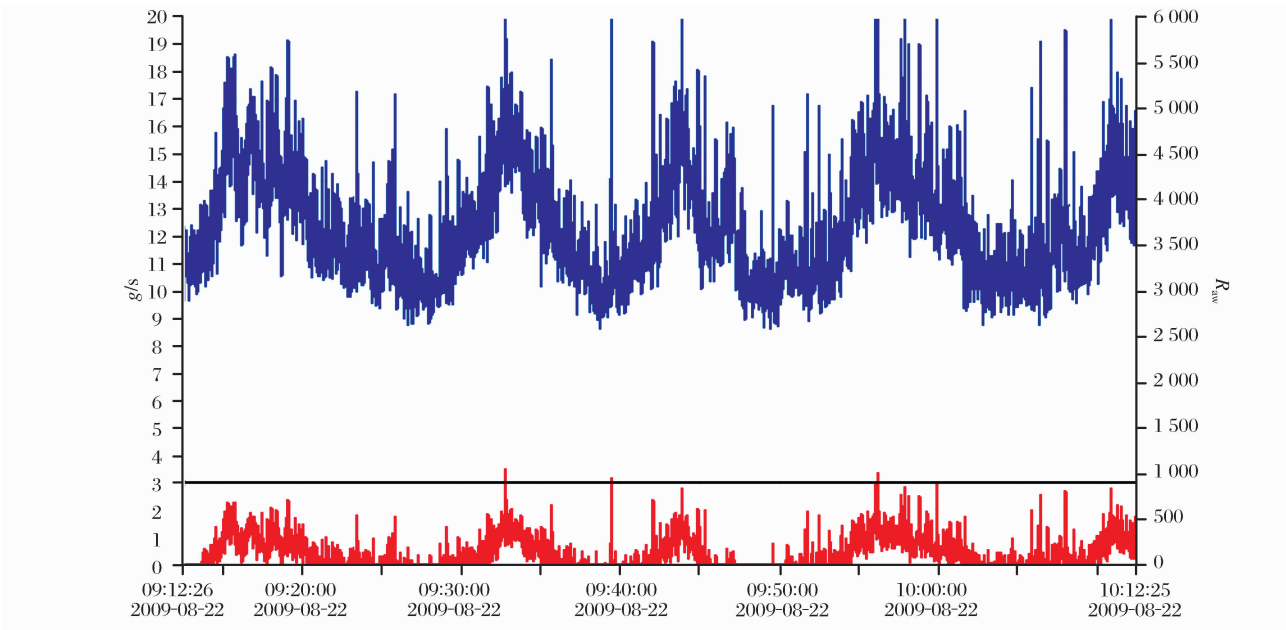


图 2 涩 6-7-3 井 6.5 mm 气嘴生产井口出砂情况在线监测结果曲线

表 1 涪北气田探砂面砂埋气层井数统计

年份	探砂面井数/口	砂埋气层井数/口	所占比例/%
2002	21	6	20.0
2003	27	7	26.0
2004	30	6	20.0
2005	53	20	37.7
2006	30	10	33.3
2007	20	4	20.0
2008	15	3	20.0
2009	16	3	19.0
平均			26.2

表 2 涪 6-7-3 井不同气嘴井口出砂在线监测情况统计

气嘴直径 /mm	产气量 /(m ³ /d)	产水量 /(m ³ /d)	压力 /MPa	温度 /℃	管径 /mm	出砂量 /(kg/d)
6	48 000	1.25	9.5	35	73	无
6.5	55 200	1.2	9.5	18	73	35.4
7	67 200	3	9.5	19	73	6.91
6	50 400	1.2	9.5	18	73	无

2.1.2 防砂工艺技术

近年来,涪北气田经过大面积开发,由于地层胶结疏松,多数气井出砂严重。目前,气田正在控压生产,但是这种生产方式限制了气井产能的发挥,为了提高单井产量,解决气井出砂严重的问题,通过多年

的探索和研究,在防砂工艺技术方面取得了一定的进步和突破,形成了以高压一次充填防砂、纤维复合防砂、割缝筛管压裂充填防砂为主体的防砂工艺技术,目前已在涪北气田共推广应用 92 井次,取得了较好的效果。历年方式工艺试验统计见表 3。

从防砂效果来看,纤维复合防砂有效率最高,高压一次充填防砂有效期最长,割缝筛管压裂防砂效果最差,由此可以看出,高压一次充填防砂和纤维复合防砂 2 种工艺在涪北气田具有较强的适用性,而割缝筛管压裂防砂在涪北气田的适应性较差。因此,建议防砂间段内或气层上下无水层或气水同层的井采取纤维复合防砂工艺,其他气井采用高压一次充填防砂工艺。截止目前,采用 3 种防砂工艺共累计增产气 5.4×10⁸ m³,各种工艺效果情况见表 4。

2.1.3 连续油管冲砂工艺技术

涪北气田气藏埋藏浅,部分气井地层压力系数低,储集层岩性为泥质粉砂和粉砂质泥岩,泥质含量高,胶结疏松,导致地层大量出砂,严重影响生产。采用连续油管不压井冲砂工艺,效率高、施工安全,并可有效保护储层。2009 年在涪北气田进行了 8 井次的连续油管冲砂作业,为气田除砂维护正常生产起到了积极的作用,具体情况见表 5。

表 3 涪北气田历年防砂措施统计

防砂类型	年度									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
割缝筛管压裂充填防砂/次	1	2	1			2	7	3		2
高压一次充填防砂/次			1	2	10	8		1		5
纤维复合防砂/次			1	2	10	10	8	6	6	5
小计/次	1	1	3	4	20	20	15	10	6	12
合计/次					92					

表 4 涪北气田 3 种防砂工艺应用效果统计

工艺措施	井数/口	目前有效率/%	平均有效期/d	防砂后产量增幅/%	累计增气/(×10 ⁴ m ³)
高压一次充填	27	82	866	39.31	20 066
纤维复合防砂	48	91	621	20.72	28 127
割缝筛管压裂	17	50	519	45.57	6 172
合计/平均	92	74	669	35.2	54 365

表 5 涪北气田 2009 年连续油管冲砂情况统计

井号	施工日期	井深/m	沉砂高度/m	压力系数/(MPa/100m)	施工泵压/MPa	施工排量/(m ³ /min)	备注
涪 3-7-1	9.22—9.23	1 034	718	1.05	30~40	0.25~0.33	冲至 820 m 井漏
台 6-9	9.25—9.26	1 780.3	1 680	1.12	30~34	0.2~0.24	冲至 1 780 m
涪 3-7	9.27—9.28	1 368.1	1 256	0.72	30~38	0.2~0.3	泡沫冲砂 1 294 m
涪 3-7-1	10.4—10.5	1 034	820	1.05	30~36	0.2~0.25	冲至 1 034 m
涪 H2	10.7—10.8	1 606.6	1 550	1	30~35	0.2~0.33	冲至 1 600 m
涪 4-19	10.9—10.10	1 292	490	0.96	30~37	0.2~0.28	冲至 1 292 m
涪 1-19	10.11—10.12	983	850	0.95	33~35	0.24~0.31	冲至 856 m
涪 4-17	10.13—10.14	1 588.4	1 366	0.87	35~41	0.2~0.3	冲至 1 530 m

2.2 特色分层开采工艺技术

特色分层开采工艺技术由油套分采工艺技术和带偏心配产器的油套同采工艺技术 2 项技术构成。

2.2.1 油套分采工艺技术

在涩北气田的共 66 口井中试验了油套分采技术,生产时间最长者已达 5 a 未动管柱。现场试验表明,气井分层开采不但大幅提高了气井单井产量,而且一定程度上也有效抑制了气井出砂。油套分采作为涩北气田主要采气工艺技术之一,在控压生产条件下,极大地提高了气田的单井产能。采用油套分采技术正常生产的 64 口井中,油管平均日产气量为 $2.9\times 10^4\text{ m}^3$,套管平均日产气量为 $3.2\times 10^4\text{ m}^3$,单井合计平均日产气量为 $6.1\times 10^4\text{ m}^3$,是常规混层开采单井产量的 2 倍。油套分采管柱结构见图 3。

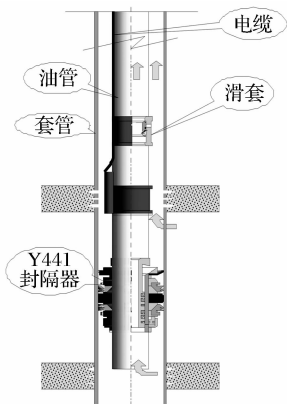


图 3 油套分层采管柱结构示意图

2.2.2 带偏心配产器的油套同采工艺技术

通过吸收油套分采和 3 层分采的优势,对油套分采工艺管柱进行了改进设计,试验了带偏心配产器的油套同采工艺管柱,并在台 6-34 井、涩 4-2-2 井、涩 5-3-1 井和台 3-10 井等 4 口井进行现场试验,单井产量增幅效果明显,其中涩 4-2-2 井产气量增幅为 25%。带偏心配产器的油套同采工艺管柱见图 4,试验效果见表 6。

2.3 特色排水采气工艺技术

涩北气田目前试验的排水采气工艺技术主要有优选管柱排水采气和泡沫排水采气 2 种,在当前的低气水比阶段,通过上述 2 种方式,可以达到提高单井产气量,增加气井排液的目的。

2.3.1 优选管柱排水采气工艺技术

优选管柱排水采气工艺技术是对于气井出水初期,根据气井出水的实际情况,通过研究分析优选出不同尺寸的生产管柱,减少气流的滑脱损失,充分利用气井自身能量来携液的一种采气方法。通过优选管柱提高气流携液能力,排出井底积液,确保气井正常生产。对涩北气田 11 口井实施优选管柱措施后,日产气量平均增加 32.9%。其中,对涩试 8 井、涩 26 井、涩 9-5-2 井和涩 1-4-2 井等 4 口井采取优选管柱措施后,不仅产量大幅度增加,而且生产连续、稳定,具体效果统计见表 7。

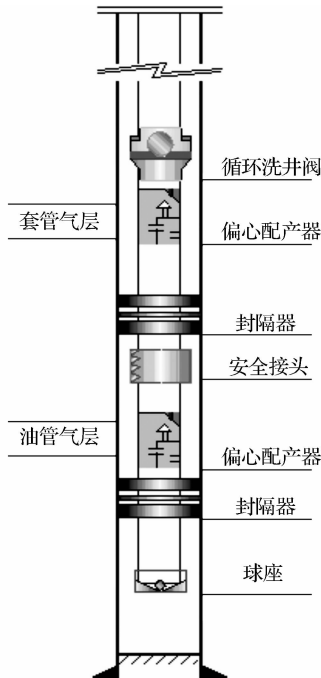


图 4 带偏心配产器的油套同采管柱结构示意图

表 6 带偏心配产器的油套同采试验效果统计

井号	施工日期/年-月	施工类型	措施前		措施后	
			产气率/($\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$)	产水率/(m^3/d)	产气率/($\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$)	产水率/(m^3/d)
台 6-34	2008-09	新投油套同采	/	/	6.72	0.15
台 3-10	2009-08	新投油套同采	/	/	3.87	0.01
涩 4-2-2	2009-03	合采改油套同采	4.37	0.28	5.5	0.51
涩 5-3-1	2009-04	油套分采改油套同采	3.75	0.28	3.84	0.44

2.3.2 泡沫排水采气工艺技术

从起泡力、稳定性、携液能力和抗温性能等几方面对起泡剂进行了室内筛选评价,从 13 种起泡剂中

筛选出综合性能最好的 2 种起泡剂(YFP-1、UT-11C)以及相应的消泡剂体系。在涩北气田选择 4 口出水较多的井进行泡排试验,通过试验发现,气井的气水

产量均有少量增加,油套压差也有所降低,可见井内积液显著减少,取得了降低井筒积液高度,提高油套压力和增加气水产量的效果,具体情况见表 8。

通过多年科技攻关和现场试验,总结出适合涪北气田疏松砂岩气藏开发的特色防砂工艺技术、特

色分层开采工艺技术和特色排水采气工艺技术,同时通过对这些有效技术的推广应用,涪北气田产能建设以及产气量逐年上升,目前,产能建设已达到 $85\times10^8\text{ m}^3$,并最终将建成产能 $100\times10^8\text{ m}^3$,年产气量达到 $61.2\times10^8\text{ m}^3$ 的大气区。

表 7 优选管柱排水采气方式试验情况统计

井号	措施前			措施后		
	产气率/($\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$)	产水率/(m^3/d)	动能因子	产气率/($\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$)	产水率/(m^3/d)	动能因子
涪 9-5-2	1.87	0.42	6.82	2.77	0.14	15.13
涪 1-4-2	2.49	4.15	7.67	2.71	1.47	13.57
涪 1-7-3	1.78	4.6	5.62	1.85	4.72	9.12
涪 0-11-3	1.38	4.01	4.35	1.66	2.09	8.22

表 8 涪北气田泡沫排水采气试验效果统计

井号	措施前				措施后				起泡剂类型	作业时间
	产气率 /($\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$)	产水率 /(m^3/d)	油压 /MPa	套压 /MPa	产气率 /($\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$)	产水率 /(m^3/d)	油压 /MPa	套压 /MPa		
涪 2-13	1.470 7	1.82	6.8	7.5	1.370 2	2.11	7.07	7.96	UT-11C	2007-08-16
涪 1-2	1.417 5	3.6	6.8	7.1	1.997 8	0.25	6.3	7.5	UT-11C	2007-08-17
涪 4-9	0.440 0	0.72	6.8	8.5	1.583 7	3.34	7.2	8.5	UT-11C	2007-08-21
涪 4-7(油)	/	/	6.1	/	/	/	6.5	/		2007-09-2
涪 4-7(套)	/	/	/	8.9	/	/	/	9.5		2007-09-5

3 结论

通过出砂监测技术、防砂工艺技术、冲砂工艺技术、分层开采技术、排水采气工艺技术等采气工艺技术的研究与推广应用,涪北气田的单井产量得到了不同程度的提高,为建设产能 $100\times10^8\text{ m}^3$ 的气田目标提供了重要的技术保障。但随着气田开发进程的深入,气田出砂、出水 2 个方面会不断暴露出新的问题,还需加强防砂新工艺试验,完善防砂工艺体系,加强气田水源识别,攻关治水瓶颈技术,不断进行创新和提升采气工艺技术水平,从而提高或稳定单井产量。

参考文献:

[1] Hu Defen,Xiao Shifang. Wolong Jialing river gas field casing and tubing commingled gas reservoirs evaluation process[J]. Drilling Technology,2005,25(1):107-109. [胡德芬,肖世芳. 卧龙河气田嘉陵江气藏油套管合采工艺效果评价[J]. 钻采工艺,2005,25(1):107-109.]

[2] Li Shilun. Natural Gas Engineering[M]. Beijing:Petroleum Industry Press,2000. [李士伦. 天然气工程[M]. 北京:石油工业出版社,2000.]

[3] Wang Tianyou,Li Jinxiu,Feng Shengli,*et al.* The application of slicing technology in the Sebei gas field[J]. Natural Gas In-

dustry,2009,29(7):79-82. [汪天游,李进秀,冯胜利,等. 分层开采工艺在上涪北气田的应用[J]. 天然气工业,2009,29(7):79-82.]

[4] Feng Shengli,Wei Yamin,Zhang Qihan,*et al.* Gas field gravel packing technical parameters of the strike[J]. Natural Gas Industry,2009,29(7):89-91. [冯胜利,尉亚民,张启汉,等. 涪北气田砾石充填防砂技术参数的求取[J]. 天然气工业,2009,29(7):89-91.]

[5] Zhou Wang. Slicing Daqing oilfield development and application of technology[J]. Petroleum Exploration and Development,1998,17(1):36-39. [周望. 大庆油田分层开采技术的发展与应用[J]. 大庆石油地质与开发,1998,17(1):36-39.]

[6] Asp. Production Performance Analysis Theory and Practice [M]. Lei Qun,Wan Yujin, Translation. Beijing:Petroleum Industry Press,2007. [阿斯普. 生产动态分析理论与实践[M]. 雷群,万玉金,译. 北京:石油工业出版社,2007.]

[7] Chen Jianjun,Wan Yujin,Lu Jialiang. Development of New Technologies of Natural Gas[C]. Beijing:Petroleum Industry Press,2008. [陈建军,万玉金,陆家亮. 天然气开发新技术论文集[C]. 北京:石油工业出版社,2008.]

[8] Rao Peng,Feng Shengli,Gu Xiaofeng,*et al.* The research and evaluation of sand-control methods for the Quaternary unconsolidated siltstone gas reservoir in Sebei gas field, Qinghai [J]. Natural Gas Geoscience,2006,17(2):196-200 [饶鹏,冯胜利,谷晓峰,等. 青海涪北气田第四系疏松粉细砂岩气藏防砂工艺试验研究与评价[J]. 天然气地球科学,2006,17(2):196-200.]

(下转第 370 页)

- gence in well test analysis[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2005, 16(3):374-377. [雷霆, 李治平. 人工智能技术在试井解释中的应用及进展[J]. *天然气地球科学*, 2005, 16(3):374-377.]
- [10] Cui Disheng, Xu Jianping, He Zilun, *et al.* Analysis of acid-fracturing effect by transient well test for Qianmiqiao buried hill condensated gas reservoir[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2003, 14(4):302-305. [崔迪生, 徐建平, 贺子伦, 等. 利用不稳定试井分析千米桥潜山凝析气藏酸压效果[J]. *天然气地球科学*, 2003, 14(4):302-305.]
- [11] Ma Zhiyuan, Gao Yawen. *Relative Permeability of Reservoir* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1989. [马致远, 高雅文. 油藏相对渗透率[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989.]

A Method of Testing Reasonability of Effective Permeability by Well Test Interpretation

ZHANG Feng¹, WANG Zhen-sheng², MA Li-jun², YU Feng-mei³, CHEN Hong⁴, SUN Wei-gang²

(1. *China University of Petroleum, Beijing 102249, China*;

2. *Dagang Oilfield Company PetroChina, Tianjin 300280, China*;

3. *Bohai Drilling Engineering and Technology Research Institute, Tianjin 300280, China*;

4. *Second Mud Logging Branch Under Bohai Drilling Engineering Co. Ltd., CNPC, Renqiu 062552, China*)

Abstract: Since there is the ambiguity of well test interpretation and no special technique method for the reliability evaluation of interpreted result, we try to use the well test interpretation and core permeability pattern to examine whether or not the integrated result is reasonable. The relational expression between effective permeability and absolute permeability is deduced by the relative permeability of test data. Then the effective permeability is corrected to the absolute permeability by means of the relational expression. Finally, we compare two kinds of permeability to make the accurate judgment for the effective permeability of the well test interpretation.

Key words: Effective permeability; Absolute permeability; Well test; Drill core; Relational expression.

(上接第 361 页)

- [9] Zhou Fujian, Yang Xianyou, Xiong Chunming, *et al.* Application and study of fine-silty sand control technique using fiber-complex high pressure pack in Sebei gas reservoir[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2005, 16(2):210-213. [周福建, 杨贤友, 熊春明, 等. 涩北气田纤维复合高压充填无筛管防砂技术研究与应用[J]. *天然气地球科学*, 2005, 16(2):210-213.]
- [10] Zhu Huayin, Chen Jianjun, Li Jiangtao, *et al.* Study on sanding mechanism of unconsolidated sandstone gas reservoir[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2006, 17(3):296-299. [朱华银, 陈建军, 李江涛, 等. 疏松砂岩气藏出砂机理研究[J]. *天然气地球科学*, 2006, 17(3):296-299.]

Research and Application of Production Techniques for Quaternary Loose Sand Reservoirs in Sebei Gas Field

ZONG Yi-ping, LI Yong, WEI Ya-min, WANG Tian-you

(*Qinghai Oil Company, PetroChina, Dunhuang 736202, China*)

Abstract: How to raise the exploiting efficiency for loose sand reservoirs has been an emphasis for natural gas enterprises world-wide. In course of the exploitation in Sebei gas field comprising Quaternary loose sand reservoirs, there existed problems such as severe sanding, hard sand-controlling, bypass channeling, and hard water-controlling. New techniques have been developed to adapt the exploitation of loose sand reservoirs in Sebei gas field, including sand-flux monitoring, sand controlling, sand flushing, zonal withdrawal, and production while water pumping. Applications of these new techniques for several years in Sebei gas field suggest the efficiency in exploitation of loose sand reservoirs.

Key words: Sebei gas field; Loose sand; Sand-flux monitoring; Sand controlling; Sand flushing; Zonal withdrawal; Production while water pumping.