



大庆油田

(1996~1998)

油藏工程

优秀

论文集

巢华庆 主编

王启民 方凌云 徐正顺 副主编

Petroleum

Industry

Press

石油工业出版社



大庆油田油藏工程优秀论文集

(1996~1998)

主 编 巢华庆

副主编 王启民 方凌云 徐正顺

石油工业出版社

内 容 提 要

本论文集由黑龙江省石油学会油藏工程学会 1996~1998 年学术年会上获一等奖,尚未在期刊上公开发表的优秀论文汇编而成。包括油田地质、油藏工程、聚合物驱开采、外围低渗透复杂油田开发及其它方面的论文 53 篇,主要反映了大庆油田近几年来在进行油田开发调整、聚合物驱开采技术配套完善等方面。实践性较强,有一定的理论和实用价值,可供石油科技人员、工程技术人员和有关院校师生参考和借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

大庆油田油藏工程优秀论文集/巢华庆主编.
北京:石油工业出版社,2000.5
ISBN 7-5021-2910-3

I. 大…
II. 巢…
III. 油田开发-文集
IV. TE34-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 76890 号

石油工业出版社出版
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)
石油地球物理勘探局制图印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 19.75 印张 500 千字 印 1-1500
2000 年 5 月北京第 1 版 2000 年 5 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5021-2910-3/TE·2267
定价:40.00 元

序

大庆油田是在中华人民共和国成立 10 周年前夕被发现的,经过“九五”前 36 年的高速高效开发,到 1995 年底,已连续 20 年实现年产原油 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 以上稳产,创出了世界同类型油田开发史上的奇迹。“九五”期间,随着油田进入高含水后期开发阶段,在油田综合含水率高、采出程度高和剩余可采储量采油速度高的情况下,后备储量资源不足的矛盾进一步加剧,油田开发稳产难度明显增大。

面对这一严峻形势,油田开发系统各级领导和广大科技工作者迎难而上,刻苦攻关,在继续深化喇萨杏油田注采结构调整的同时,进一步对全油田的产油量结构进行了有效调整。通过大力加快聚合物驱油工业化和外围低渗透油田开发进程,使聚驱和外围油田年产油量从 1995 年的 $82.64 \times 10^4 \text{t}$ 和 $292.41 \times 10^4 \text{t}$,很快增长到 1998 年的 $816.9 \times 10^4 \text{t}$ 和 $382 \times 10^4 \text{t}$,分别占总产油量的 14.6% 和 6.85%,并使油田开发从单一水驱阶段顺利转变为水驱与聚驱共存的新阶段,为实现年产原油 $5000 \times 10^4 \text{t}$,跨世纪稳产创造了有利条件。

在即将来临的 21 世纪里,针对大庆油田开发工作所面临的新形势和新挑战,在认真总结经验和深入调查研究的基础上,提出了“高水平、高效益、可持续发展”的方针。贯彻实施这一方针,就是要以改善高含水后期油田开发总体效益为中心,以发展应用高水平的油田开发配套技术为支柱,在 21 世纪实现油田可持续发展。为了实现这一远大目标,我们一定要坚持发扬大庆精神,以邓小平同志关于“科学技术是第一生产力”的思想为指导,在攻克高含水后期油田开发一系列世界级科技难题中,勇于实践,敢于创新,再攀世界油田开发科技新高峰,再创世界油田开发新水平,以油田二次创业的新业绩,为我国石油工业和国民经济发展做出新的贡献。

谨以此集向大庆油田发现 40 周年献礼!

集萃慶

1999.10.9

目 录

油 田 地 质

南四一八区萨、葡、高油层二次加密调整后薄、差油层的潜力分析	胥伟	宋吉水	孙彦峰(3)
影响加密调整井有效厚度解释的因素及改进方法研究	李鸿泰	井玉艳(7)	
油藏数值模拟成果在油层剩余分布状况分析中的应用	赵晓明(12)		
表外储层挖潜技术研究	孙光胜	王庆霞	刘春林 郭玮琪(17)
三次加密与三次采油结合方法研究	黄伏生(23)		
三次加密挖潜对象及完井方法研究	林影	麻成斗	郭玮琪 艾广平(33)
大庆油田北部储层岩石物理相划分方法的初步研究	吕晓光	闫伟林	杨根锁 纪宝华(40)
萨尔图油田北一区葡一组河道砂体储层特征研究	姜洪福	吴艳菊	龙涛(46)
高含水后期注水井排及注水井附近再调整布井研究	徐景钧	黄伟	樊陈华(49)
人工神经网络系统在水淹层测井解释中的应用	周立人	朱淑华(55)	
主力油层精细地质研究及剩余油分布探讨	马利民	郑玉梅	刘红兵(62)
三维地质建模技术在杏北精细构造研究中的应用	司丽	金利	宋保全 李仕儒(72)
应用精细地质研究方法对杏南主力油层再认识	郝兰英	李士奎	韩永华 李树臣(76)
现代沉积相理论在喇嘛甸油田预测二类油层剩余油中的应用	黄修平	于秀华	赵伟(81)
喇嘛甸油田二类气砂厚度电性标准研究	魏月芝	吕晶	王莉明(86)
三维可视化技术在油藏管理中应用	高玲	刘云燕	宋静 梁洪芳 孙涛(91)
三维属性模型在油田开发调整中的应用	刘云燕	杨为民	张云春 袁欣 高兴友 庞彦明(96)
宋芳屯试验区加密调整的可行性研究	徐运亭	孙建英	张国良 潘国辉(99)
朝阳沟油田翻身屯地区储层裂缝研究	邓明胜	于海香	赵海英(106)

油 藏 工 程

高含水后期预测含水的一种新方法	江明利	田晓东	吴晓慧(113)
大庆油田无效益井界限的确定及分析	李榕	董志林	董洪亮 刘宝林(120)
关于萨南开发区最终可采储量的研究	乔建英	于祝革	郭景春(130)
大庆油田北二区东部井网三次加密试验的几点认识	王春波	林立(135)	
聚合物驱优化层系组合方法研究	史春华	梁淑琴	余庆东 宋晓彬(140)
关于深度调剖技术的分析和研究	史春华	刘颖萍	雷军(147)
聚合物驱开采效果影响因素分析	史春华	刘颖萍	王雷 程玉琪 余庆东(150)
注聚区块整体调剖选井方法研究及应用	阚春玲	万建荣	孙秀芝 吴艳菊(155)

聚驱、水驱井相互影响因素研究及调整效果分析	阙春玲	高润林	李江生(159)
北二区西部聚合物驱东西块见效差异及原因分析	姜振海	高尔双	焦艳丽(164)
喇嘛甸油田注采水中各种离子对聚合物溶液粘度的影响及处理方法	王宝江	纪平	万军(168)
油藏数值模拟技术在宋芳屯油田开发调整中的应用技术研究	张凤莲	张国良	王春雨 袁欣(173)
神经网络技术在新站油田储层预测中的应用	张树义	潘坚	潘东辉(182)
徐家围子油田葡萄花油藏的复杂性及开发对策研究	庞彦明	黄德利	高兴友 苏致新(186)
祝三试验区注采系统调整方法研究	孙建英	张云春	孙涛(192)
用地球化学方法确定州 16 断块葡、扶油层合采产量比	徐运亭	董仲林	安成 刘尊斗(195)
裂缝性油藏井网优化部署方法	周锡生	王文华	李莉 王吉彬 樊晓东(200)
龙虎泡油田高台子油层注水开发特征研究	张中一	赵玉武	胡建波(210)
油藏数值模拟技术在高西油田开发中的应用	陈秋君	张玉林	刘广彬(214)
利用油层裂缝注水是改善油田开发效果的有效途径	彭绪海	翟依军	杜资江(218)
对头台油田茂 111 井区综合治理的认识	王丽莉	单文辉	沈全富 郭晓林(222)

试井、采油工程及其它

应用试井资料评价油井压裂效果的方法研究	吴洪彪	刘鹰(229)
加密井网条件下的试井分析新方法	毕艳昌	吴洪彪 董剑霞(239)
多注采井地层压力计算方法探讨	刚振宝	王莉 卫秀芬(246)
储层裂缝监测技术在大庆油田的应用	张安富	许佳 王微 刘鹏 唐涛(249)
地层测试压力恢复资料解释的一种方法	张伟菊	于广辉 李合全(253)
宋芳屯油田压裂地质设计标准研究	韩永龙	张军 金春海(257)
水基压裂液低伤害性能研究	韩松	洪怡春 单永卓(263)
外围东部葡萄花油层高含水井(层)压裂技术探讨	张国良	雷友忠 张凤莲 王春雨(268)
杏北油田换泵井优选方法探讨	张连军	李红伟 康红庆 王松波(276)
CO ₂ 混气水压裂技术在榆树林油田的应用	齐文会	夏玉民 姚海静 侯峰 董建华(280)
压裂井增油量数学模型的建立与评价	李志恩	侯德林 刘萍 张跃宏(283)
振动增油技术在杏西油田北块的应用	金雅静	郭殿君 于宝柱(303)
固井质量合理检测时间的探讨	杨军	韩桂林 胥伟(306)

油 田 地 质

南四—八区萨、葡、高油层二次加密调整 后薄、差油层的潜力分析

胥 伟 宋吉水 孙彦峰

(大庆石油管理局第二采油厂)

摘 要 本文以南六区中块精细地质研究结果为基础,根据新钻三次加密调整井测井解释参数、老井分层测试资料及取心资料,详细分析了该区块二次加密调整后薄、差油层的潜力及其分布特点,并结合南四—八区二次加密调整井的分层测试数据,分析了二次加密调整井的动用状况,为今后该区块三次加密调整提供了依据。

一、南四—八区开发概况

南四—八区发育有萨、葡、高油层,面积为 63.8km^2 ,地质储量为 $26010.1 \times 10^4\text{t}$ 。1965 年采用行列井网开发,1982 年非主力油层进行一次加密调整,1993 年在南四—八区全面开展二次加密调整,1997 年调整结束。截止到 1998 年 9 月底,该区块已累积产油 $11726.61 \times 10^4\text{t}$,采出程度为 45.08%,综合含水 85.19%。

二、萨、葡、高油层的沉积特点

根据对南六区中块 165 口井的精细地质解剖结果,该区块萨、葡、高 51 个小层,平均单井钻遇砂岩厚度为 96.7m,有效厚度为 36.5m,可细分成 109 个沉积单元。根据油层沉积成因及砂体分布特点,在平面上可划分成 6 种砂体类型。

1. 三角洲分流平原相沉积的砂体

葡 I₂₁、葡 I₂₂、葡 I₂₃ 三个沉积单元为三角洲分流平原相沉积,各单元以河道砂体沉积为主,呈大面积分布,钻遇率为 70% 以上,河间砂呈小片状分布在河道砂体中或边部,钻遇率为 17.7%。这 3 个单元平均砂岩厚度为 8.0m,有效厚度为 5.7m,占总砂岩厚度的 8.3%,占总有效厚度的 15.6%。

2. 三角洲内前缘相沉积的砂体

该类油层水下分流河道砂体呈枝状和窄条带状分布,钻遇率为 27.7%,河间砂以片状分布在河道砂体的边部,钻遇率为 61.6%。该类油层有萨 II₇₂ 等 14 个单元,平均砂岩厚度为 22.3m,有效厚度为 10.8m,分别占总砂岩及总有效厚度的 23.1% 和 29.6%。

3. 三角洲外前缘相沉积的砂体

该类砂体依据其沉积特点可细分成 4 种砂体类型:

(1) 外前缘相 I 类砂体

该类砂体有效厚度大于或等于 0.5m 的油层较发育,呈大面积分布,钻遇率为 44.1%。该

类油层有萨Ⅱ₄等16个单元,平均砂岩厚度为20.3m,有效厚度为7.8m,占总砂岩厚度的21.0%,占有效厚度的21.4%。

(2) 外前缘相Ⅱ类砂体

该类油层有效厚度大于或等于0.5m的油层呈窄条带状、小片状分布,钻遇率为26.9%,薄油层和表外层呈大面积分布,钻遇率为54.7%。该类油层有萨Ⅱ₂₊₃等15个单元,平均砂岩厚度为12.9m,有效厚度为4.1m,占总砂岩厚度的13.3%,占总有效厚度的11.2%。

(3) 外前缘相Ⅲ类砂体

该类砂体以薄油层和表外层沉积为主,呈大面积分布,钻遇率为63.7%,共有44个单元,平均砂岩厚度为29.0m,有效厚度为7.2m,占总砂岩厚度的30.0%,占总有效厚度的19.7%。

(4) 外前缘相Ⅳ类砂体

该类砂体呈零散分布,有萨Ⅱ₂等17个单元。平均砂体厚度为4.2m,有效厚度为0.9m,占总砂岩厚度的4.3%,占总有效厚度的2.5%。

综上所述,薄油层和表外层主要发育在三角洲外前缘相沉积的4种类型的砂体中,占薄油层和表外层总砂岩厚度的85.0%。

三、二次加密调整后,薄、差油层的潜力分析

1. 南六区中块二次加密调整后薄、差油层的潜力

南六区中块于1997年开始以表外层和薄油层为主要调整对象的三次加密调整,共设计油井35口、注水井2口。1997~1998年投产,平均单井射开砂岩厚度为12.8,有效厚度为1.3m,投产初期平均单井日产油4.1t/d,含水72.8%,产能达到设计指标,含水偏高。试验表明,该区块二次加密调整后,薄、差油层具有一定的潜力。

(1) 二次加密调整后,未水淹层的形成条件及分布特点

以1997年完钻密闭取心井南6-20-检731井所在井区为研究对象,根据对该井区的精细地质解剖结果及取心井岩心分析结果的研究,有以下几点认识:

①二次加密调整后,萨、葡、高油层中未水洗层集中分布在表外层和薄油层中,有效厚度大于或等于0.5m的油层均已水淹

南6-20-检731井钻遇萨、葡、高油层141个单层,砂岩厚度为101.4m,有效厚度为26.7m。其中,有效厚度大于或等于0.5m的11个油层全部水洗,有效厚度为0.2~0.4m的油层33个,砂岩厚度为34.2m,有效厚度为9.8m。未水洗层6个,砂岩厚度为4.7m,有效厚度为1.7m,占该类油层砂岩厚度的13.7%,占有效厚度的17.1%。表外层97个,砂岩厚度为44.0m,未水洗层85个,砂岩厚度为36.1m,占82.0%。

②二次加密调整后,平面上未水淹层形成条件及分布特点

根据对南6-20-检731井68个单元中薄油层和表外层平面上水淹状况的分析,未水淹层的形成条件主要有以下几个方面:

a. 呈大面积分布的表外层和薄油层,由于注采不完善而未水淹。南6-2-检731井距水驱前缘距离一般大于150m,这样的单元有16个。

b. 处于分流线变差部位,共21个单元,其中有15个未水淹,占71.4%,这类剩余油距水驱前缘近,为50~80m。

c. 零散分布型砂体,因受尖灭区等因素影响,注采不完善而未水淹,有5个单元,距水驱前

缘较远,达 150m 以上。

d. 处于二线变差部位,5 个单元。其中有 4 个单元未水淹,占 80%,这样的剩余油距水驱前缘近,为 50~80m。

e. 靠近尖灭区边部,有注无采的情况下未水淹,有 4 个单元,距水驱前缘较近,为 50~100m。

f. 水淹河道砂体边部的变差部位,5 个单元。其中未水淹单元仅 1 个。

水淹层除上面分析的 6 种情况外,主要是存在注采完善地区,共 12 个单元,占水淹单元总数的 52.2%。

从以上分析可以看出,不同条件下形成剩余油距水驱前缘距离不同,因此在三次加密调整时,应针对不同类型的剩余油,采用不同的完井方法来保证三次加密调整效果(表 1)。

表 1 南 6—20—检 731 井剩余油形成条件分析

剩 余 油 类 型	未水淹 单元数 个	未水淹厚度,m		距水驱前缘距离 m
		砂岩	有效	
大面积分布表外层和薄油层注采不完善	16	8.3	0.2	>150
处在分流线且变差部位	15	13.4	0.8	50~80
零散分布,注采不完善	5	1.9		>150
处在二线且变差部位	4	5.2	0.2	50~80
靠近尖灭区边部,有注无采	4	3.7		50~100
河道砂体边部变差部位	1	0.9		50
合计	45	33.4	1.2	

(2)二次加密调整后未水淹层岩性、物性、含油产状特征

根据对南 6—20—检 731 井未水淹层的统计分析,未水洗表外层厚度为 36.1m,平均空气渗透率为 $0.014\mu\text{m}^2$,平均孔隙度为 21.6%。目前,平均含油饱和度为 28.0%,岩性以泥质粉砂岩和粉砂质泥岩为主,厚度比例为 75.3%。含油产状以油迹、油斑为主,厚度比例为 67.6%。既有油迹、油斑,又有油浸富含油的厚度比例为 22.7%。未水洗有效厚度为 0.2~0.4m 油层的砂岩厚度为 4.7m,有效厚度为 1.7m,平均空气渗透率为 $0.196\mu\text{m}^2$,平均孔隙度为 25.3%,平均含油饱和度为 68.0%。岩性以粉砂岩为主,厚度比例占 78.72%,含油产状以油浸、富含油为主,厚度比例占 78.72%。

从上述数据可以看出,二次加密调整后,未水淹层中表外层的岩性、物性、含油性均很差,有效厚度为 0.2~0.4m 油层相对较好,但厚度比例小,仅占 11.5%。

(3)二次加密调整后薄、差油层的潜力

根据对南六区中块萨、葡、高油层精细地质研究及动态资料的分析,该地区二次加密调整后,仍具有一定的潜力。统计 34 口三次加密调整井,平均单井未动用或动用差砂岩厚度为 24.8m,有效厚度为 2.6m,占总砂岩厚度为 25.6%,占总有效厚度的 7.1%。其中,薄、差油层砂岩厚度为 5.8m,有效厚度为 2.0m,表外层砂岩厚度为 18.0m(表 2)。

表 2 南六区中块薄、差油层的潜力统计

方 法	分 类	钻遇厚度		未动用或动用差厚度			
		砂岩,m	有效,m	砂岩 m	比例 %	有效 m	比例 %
综 合 分 析	有效 $\geq 0.5\text{m}$	47.9	29.1	1.0	2.1	0.6	2.1
	0.2~0.4m	23.5	7.3	5.8	24.7	2.0	27.4
	表外	25.6		18.0	70.3		
	合计	97.0	36.4	24.8	25.6	2.6	7.1

在平面上,未动用或动用差的油层在各类砂体中的分布情况如下:

①三角洲分流平原相沉积的砂体,油层已大面积水淹,平均单井未动用或动用差砂岩厚度仅为 0.2m,占总的未动用或动用差砂岩厚度的 0.8%。

②三角洲内前缘相沉积的砂体,河道砂体及其边部油层已水淹,未动用或动用差油层主要分布在远离河道的薄层砂及表外层中,平均单井砂岩厚度为 2.2m,有效厚度为 0.3m,厚度比例分别为 8.9%和 11.5%。

③外前缘相Ⅰ类砂体中,油层大面积水淹,只有少部分不完善井区未水淹,平均单井砂岩厚度为 3.2m,有效厚度为 0.4m,占厚度比例分别为 12.9%和 15.4%。

④外前缘相Ⅱ类砂体的主体已水淹,未水淹层主要集中在表外层发育区,平均单井砂岩厚度为 5.6m,有效厚度为 0.6m,占厚度比例分别为 22.6%和 23.1%。

⑤外前缘相Ⅲ类砂体,由于油层条件差,未动用或动用差的油层厚度较大,平均单井砂岩厚度为 10.6m,有效厚度为 0.9m,占厚度比例分别为 42.7%和 34.6%。

⑥外前缘相Ⅳ类砂体水淹井点较少,平均单井未动用或动用差的砂岩厚度为 3.0m,有效厚度为 0.4m,占厚度比例分别为 12.1%和 15.4%。

综上所述,未动用或动用差的油层,主要分布在外前缘相沉积各类砂体中,其中Ⅲ类砂体最多。

纵向上看,未动用或动用差的油层与水淹层之间呈互层型交错分布,按与见水层之间隔层厚度大于或等于 2.0m 计算,平均单井可调整砂岩厚度为 9.8m,有效厚度为 0.9m。

2. 南四—八区二次加密井动用状况分析

根据对 136 口二次加密采油井找水资料统计,平均单井测试砂岩厚度为 24.2m、有效厚度为 5.7m 中。其中,未动用砂岩厚度为 7.3m,占厚度比例为 30.2%,有效厚度为 1.2m,占 21.1%,其中有效厚度大于或等于 0.5m 油层砂岩厚度为 1.0m,有效厚度为 0.5m,薄油层砂岩厚度为 2.2m,有效厚度为 0.7m,表外层砂岩厚度为 4.1m。

根据对 158 口二次加密注水井吸水剖面资料统计,平均单井测试砂岩厚度为 29.5m,有效厚度为 7.5m,不吸水砂岩厚度为 11.2m,占厚度比例为 38.0%,有效厚度为 2.3m,占 30.7%。其中,有效厚度大于或等于 0.5m 不吸水油层砂岩厚度为 2.2m,有效厚度为 1.2m;薄油层砂岩厚度为 3.8m,有效厚度为 1.1m;表外层砂岩厚度为 5.2m。

从以上统计数据可以看出,南四—八区二次加密调整井中有 30%~38%的厚度未动用,未动用厚度主要集中在薄油层和表外层中。

四、结 论

(1)南四—八区萨、葡、高油层经过二次加密调整后,薄、差油层仍具有一定的潜力,平均单井未动用或动用差砂岩厚度为 24.8m,有效厚度为 2.6m。可调整砂岩厚度为 10m 左右,有效厚度为 1.0m 左右。这些潜力平面上主要分布在外前缘相沉积的席状砂体中,纵向上与见水层呈交互分布,不集中。

(2)未水洗厚度集中在表外层和薄油层中,岩性、物性、含油性均较差。

影响加密调整井有效厚度 解释的因素及改进方法研究

李鸿泰 井玉艳

(大庆石油管理局第二采油厂)

摘 要 文章指出加密调整井有效厚度解释偏高的主要影响因素在于泥浆与地层孔隙间的压力差及注水开发中注入水对储集层的机械冲刷,并提出了改善有效厚度解释的补充办法。对进一步提高加密调整井有效厚度的解释精度进行了初步探讨。

萨南开发区的开发面积为 182.85km^2 ,基础井网布井 1455 口,井网密度为 $8.0\text{口}/\text{km}^2$ 。经过加密调整,到 1997 年油、水井总数已达 5532 口,井网密度为 $30.3\text{口}/\text{km}^2$ 。近几年来。随着二次加密调整井的逐渐增多,在进行有效厚度解释过程中发现加密调整井解释有效厚度增大。统计对比南六区各类井单井平均有效厚度,检查井为 31.4m,一次加密井为 33.0m,二次加密井为 42.5m。

一、加密调整井解释有效厚度偏大的影响因素

目前使用的新系列测井,除增加了高分辨率声波、高分辨率三侧向、微球形聚焦测井以外,原有的 0.25m 视电阻率测井、微电极系测井等与基础井网测井毫无差别,因而测井系列本身的因素可以忽略。萨南开发区注水开发以来,随着注水时间的延长及开采程度的加深,储集层地质结构变化特征等因素直接影响了加密调整井有效厚度的解释。

1. 泥浆柱对储集层形成的压力差增大,使有效厚度解释偏大

有效厚度电性划分选用的是 0.25m 短梯度视电阻率曲线和微电极曲线,这 2 条曲线反映的是冲洗带电阻率和泥饼电阻率,微梯度电极系和微电位电极系探测半径不同,泥饼、泥浆薄膜和冲洗带电阻率对其影响不同。

在非均质地层中,注入水对储集层的作用是不同的,这种差异反映在靠近注水井的生产井剖面具有不同的地层压力上。1988 年以来,南二、三区西部 20 口井做了 RFT 测井,分析各井的地层孔隙压力梯度剖面,发现地层孔隙压力较原始地层压力减小,孔隙压力梯度在纵向上变化幅度大。井网一次加密后,泥浆相对密度由钻基础井网时的 1.2 增加到 1.6~2.0,泥浆柱静压梯度由 $0.012\text{MPa}/\text{m}$ 增加到 $0.016\sim 0.022\text{MPa}/\text{m}$,泥浆对储集层形成的压力差增大。对于渗透性好的层位,由于泥浆滤液在渗滤过程中形成的泥饼较厚,泥浆不易继续侵入,因此压力差增大对其影响不大;对于渗透性低的层位,随着压力差增大,泥浆滤液对储集层侵入加深,微电极曲线显示幅度差增大,达到甚至超过标准下限值,在 0.25m 视电阻率值满足标准时,成为可划层。由南 2—3—更 28 井地层孔隙压力梯度剖面(图 1)可知,该井自 724.0~750m 的井段内,泥浆柱形成压力差大于 $0.006\text{MPa}/\text{m}$,在南 2—3—38 井中,这段产层承受泥浆柱形成的压力差在 $0.001\text{MPa}/\text{m}$,压力差明显增大。层段内对应油层萨 I 1—萨 II 2_2+3 ,南 2—3—28 井有

效厚度层数 4 个,厚度 2.2m;南 2—3—更 28 井有效厚度层数 7 个,厚度 5.5m。储集层压力差增大在 2 个方面影响了有效厚度的划分:

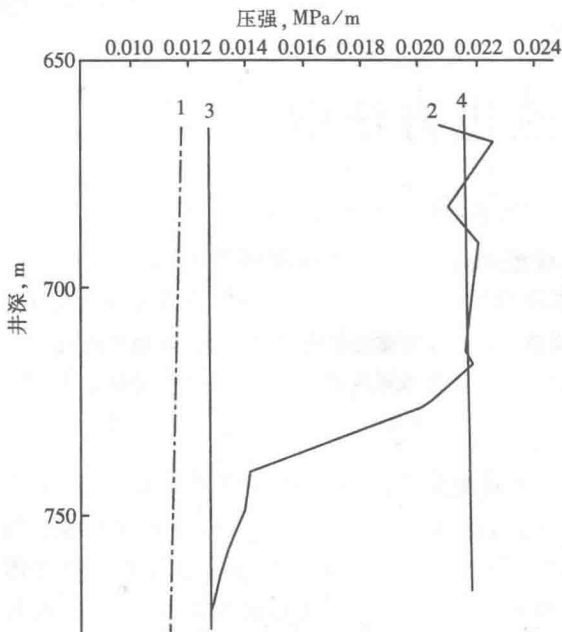


图 1 南 2—3—更 28 井地层孔隙压力梯度剖面

- 1—原始压力梯度线;2—孔隙压力梯度线;
- 3—泥浆相对密度为 1.3 时泥浆静压梯度线;
- 4—泥浆相对密度为 2.2 时泥浆静压梯度线

(1) 泥浆柱形成的压力差增大,使微电极曲线幅度差增大,原来不够标准的层成为有效厚度层

大庆油田储油层是在松辽盆地自北而南极其平缓的斜坡上,由河流—三角洲—湖泊相沉积而成,油层在南北方向上有明显的分带性。萨南开发区单层有效厚度 $\geq 4.0\text{m}$ 的油层减少,厚度 $\leq 0.4\text{m}$ 薄油层的比例增加。这些薄油层渗透率低、物性差,泥浆柱形成的压力差增大,使得微电极曲线幅度差增大,0.25m 视电阻率够标准成为可划层,增加了单井有效厚度解释。如南 1—6—37 井萨 II 7(图 2),油浸粉砂占 31%,油斑泥粉占 27%,岩心剖面上未解释有效厚度,但电测微电极曲线显示 $7\Omega \cdot \text{m}$ 高幅度差,0.25 视电阻率为 $12.5\Omega \cdot \text{m}$,满足电性标准,可划有效厚度 0.5m。这种电性解释新增独立层占全井有效厚度电性解释增厚的 78.7%。



图 2 南 1—6—37 井萨 II 7 层电性划分与岩心划分有效厚度对比实例

(2) 泥浆柱形成的压力差增大,使泥浆对夹层的侵入加深,降低了微电极曲线的垂向分辨率,部分夹层很难扣除

萨南开发区萨、葡油层属于三角洲前缘席状砂和水下分流河道砂沉积,复合旋回的砂体中常发育泥粉或粉泥等低渗透夹层,泥浆柱对储集层的压力差增大,泥浆滤液对夹层的侵入加深,微电极曲线在夹层处只有微小回返或无回返显示,夹层无法扣除,增加了储集层的有效厚度解释。如南 1—6 检 448 井萨 II 8(图 3),有 3 个 0.1m 夹层在电测曲线上无回返或回返微弱,电性划分无法扣除夹层。全井有萨 I 2、萨 II 8、葡 I 3 等 12 个有效厚度层微电极曲线无法扣除夹层,实扣夹层计 1.6m(图 4)。

统计 20 口 RFT 测井资料,单井只有 3%~5% 的层段内地层压力较原始地层压力增大,使泥浆柱形成的压力差减少。

2. 注入水对储集层的机械冲刷作用,增加了储集层的空气渗透率、有效孔隙度,使储集层有效厚度增大

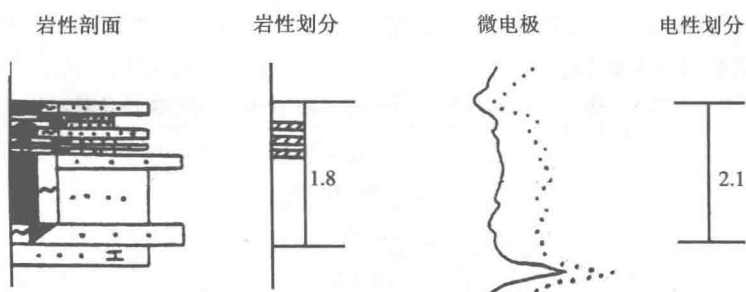


图3 电性划分与岩心划分有效厚度对比实例

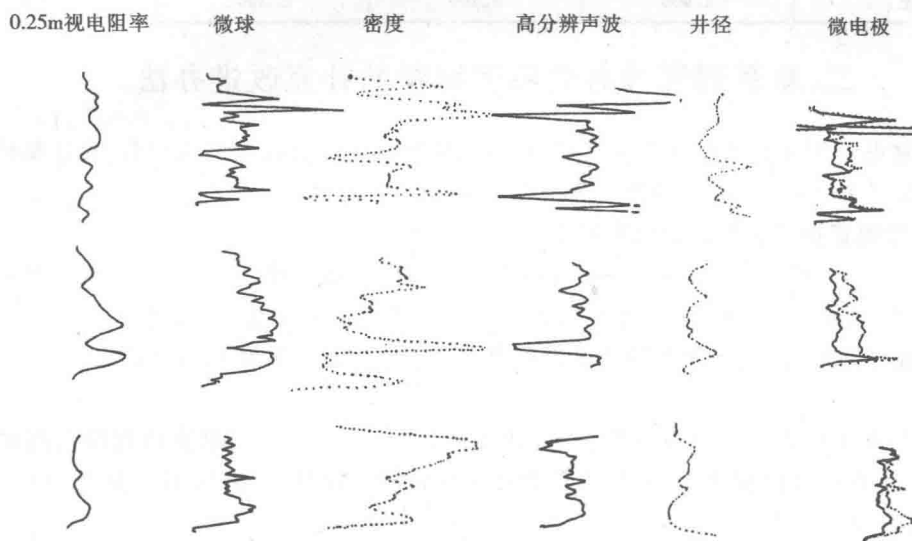


图4 电性划分与岩心划分有效厚度对比实例

萨南开发区以碎屑岩沉积为主,储集层孔隙结构特征决定了油、气、水在其中的储集及渗滤特征(图5),早期的内部切割注水方式开采,注入水矿化度低。大庆油田通过水化学分析发现,注入水矿化度为280mg/L,采出水矿化度达到1460.73mg/L。标志着长期水洗过程中,注入水对油层岩石颗粒之间或岩石表面上的粘土矿物、盐类等胶结物起到了机械冲刷及分散溶解等物理、化学作用,油层中部分盐类及粘土矿物成分被采出,从而增大了储集层的孔隙喉道半径,连通性变好。

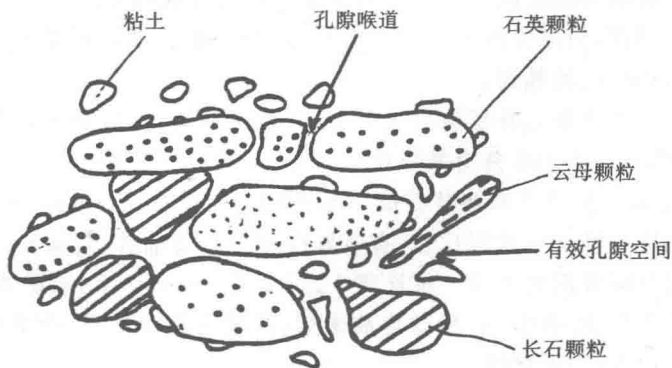


图5 碎屑岩孔隙结构示意图

南1—6—检448井与南1—检6—37井对比分析,在粒度中值大于0.15mm的细砂岩、含钙砂岩和粉砂岩中,水洗程度为中、强洗的南1—6—检448井萨Ⅱ8的3[#]层、萨Ⅱ10、葡Ⅰ2等层位

空气渗透率比南 1—检—37 井对应层位增大 1.4~1.6 倍。2 井的萨Ⅱ 8 的 1[#]层、葡Ⅰ 2 砂体对应连通,随水洗程度增加,对应层位泥质含量减少,有效孔隙度、空气渗透率及粒度中值等均有升高,有效厚度解释增高(表 1)。

表 1 南 1—检 6—37 井与南 1—6—检 448 井连通层位物性参数对比

类 别	萨Ⅱ 8		葡Ⅰ 2	
	南 1—检 6—37	南 1—6—检 448	南 1—检 6—37	南 1—6—检 448
有效厚度,m	1.100	1.200	3.900	6.800
有效孔隙度,%	29.100	32.300	28.600	30.400
空气渗透率, μm^2	0.835	3.033	2.250	2.471
粒度中值,mm	0.109	0.162	0.167	0.201
泥质含量,%	8.600	3.300	8.300	5.900

二、新系列测井有效厚度解释的补充改进办法

单纯依靠电性划分有效厚度操作规程,很难扣除有效厚度解释增多的部分。在认真分析新系列数字化测井曲线特征后,总结出 2 条补充改进办法。

1. 提高微电极曲线幅度差的解释标准

根据南 7—20—检 654、南 1—6—检 448 井岩心划分有效厚度统计结果,对于电测解释选定的标准层(幅度差为 4.0~8.0),选用 0.75~0.60 的系数进行校正,幅度差 $\geq 3.0\sim 5.0$ 作为解释有效厚度的上限,满足上限标准的全部解释。一般对应岩心解释 0.4m 及 0.5m 以上的有效厚度。

下限值仍选用目前有效厚度解释标准,幅度差 $\geq 1.5\sim 3.5$,且当对应油层深三测向大于 $8.0\Omega\cdot\text{m}$ 、井径有明显泥饼显示、自然电位较高负异常时才解释,这对应岩心解释中 0.2m 或 0.3m 的有效厚度。

当微电极曲线幅度差比标准上限低 $1.0\Omega\cdot\text{m}$ 时,解释程度为 75%;当微电极幅度差只满足目前解释幅度差标准时,解释程度为 25%。

2. 利用高分辨声波曲线辅助扣除夹层

新系列测井曲线增加的微球形聚焦测井及高分辨率声波测井可弥补微电极曲线扣除夹层不足问题,当高分辨率声波曲线回返 4%~6%、微球形聚焦曲线回返 15%~30%时,可扣除夹层 0.1m(泥粉油斑)。

应用从取心井获得的认识,对南六区中块 35 口井进行有效厚度解释,单井平均有效厚度为 32.6m,萨 185 井有效厚度为 34.4m,南 5—丁 4—检 132 井、南 6—丁 2—检 131 井平均为 31.4m,因此新系列测井有效厚度解释与取心井岩心解释相当。将南 6—20—检 731 井电测解释与岩心综合柱状图比较,有效厚度层对应着油砂、含油粉砂及部分油浸,夹层或未划有效厚度层对应着泥粉油斑。统计萨Ⅱ 2₂+3、萨Ⅱ 10、萨Ⅱ 13、萨Ⅲ 5、萨Ⅲ 8、葡Ⅱ 5、葡Ⅱ 10 等层位,除萨Ⅱ 10 底部 0.1m 粉砂含油未划,其它均解释准确,萨Ⅱ 7 电测未解释出有效厚度,岩心为泥粉油斑,亦不解释。

三、结 论

(1) 油田注水开发后,储集层具有不同的地层压力,钻井过程中泥浆柱对地层产生的压力

差不同,压力差增大的储集层,在微电极曲线上显示出幅度差增大、渗透性变好,增加了有效厚度解释。

(2) 注入水对储集层的机械冲刷作用提高了储集层的空气渗透率,增大了粒度中值、有效孔隙度,降低了泥质含量,增加了有效厚度。

(3) 在有效厚度解释标准的基础上,结合新系列测井中的微球形聚焦测井和高分辨率声波测井曲线,可正确判断储集层物性,提高有效厚度解释准确度。

参 考 文 献

- [1]熊琦华. 测井地质基础. 北京:石油工业出版社,1987.2
- [2]刘丁曾主编. 多油层砂岩油田开发. 北京:石油工业出版社,1986.1