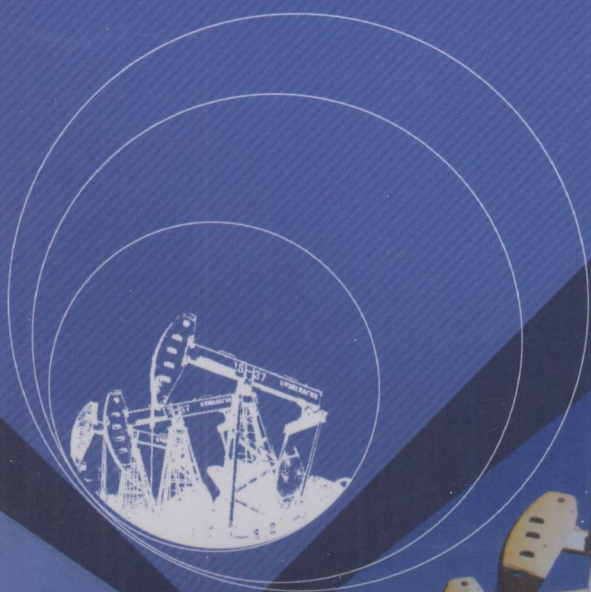


孙庆和 陈淑利 林 海 主编

大庆头台油田 开发与建设文集

DAQING TOUTAI YOUTIAN KAIFA YU JIANSHE WENJI



石油工业出版社



大庆头台油田开发与建设文集

孙庆和·陈淑利 林 海 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书收集了大庆头台油田开发有限责任公司建厂 15 年来有关油田开发与建设成果的论文共计 81 篇, 内容包括油藏工程、采油工程、地面工程、计算机应用、管理、宣传报道等。

本书适合于从事油田开发建设的科技人员与管理者阅读, 也可供石油院校相关专业的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

大庆头台油田开发与建设文集/孙庆和, 陈淑利, 林海主编.

北京: 石油工业出版社, 2008. 12

ISBN 978 - 7 - 5021 - 6901 - 5

I. 大…

II. ①孙…②陈…③林…

III. 油田开发 - 大庆市 - 文集

IV. TE34 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 190456 号

出版发行: 石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

编辑部: (010) 64523579 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 中国石油报社印刷厂

2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 24

字数: 610 千字

定价: 68.00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

《大庆头台油田开发与建设文集》

编 委 会

主 编：孙庆和 陈淑利 林 海

副主编：孙建华 聂锐利 李建刚 李书申

王景俊 王明毅 崔宝文 何 玺

编 委：王丽莉 王永霖 杨迎喜 张建忠

黄德利 张 脊 王树斌 潘永泽

张 君 孙明强 高文龙 赵 伟

徐加速 张立民 董梦才 张云春

王兴东 于景波 朱国栋 李 晖

王宝军 周 围 李洪波 孙力红

前 言

大庆头台油田开发建设 15 年来，始终坚持以经济建设为中心，紧紧依靠科技进步，保持了油田开发高水平，实现了稳产和上产的目标。认真贯彻油田公司“持续有效发展，创建百年油田”的开发方针，继续坚持“在探索中创新，在创新中发展”的公司基本理念，及“积极治理老区，稳妥开发新区，技术管理创新，谋求最佳效益”的油田开发方针，在储层裂缝研究、井网优化、井网加密调整、渗析采油及储层改造等几个方面开展了深入的研究及应用；水驱调整方面开展扶余油层注水开发中后期地应力场变化特征及开发调整对策研究，并围绕扶余、葡萄花油层稳油控水开展了限压注水及低速注水等注水结构调整、优化调剖、优化井网等方面的工作；稠油挖潜方面积极探索黑帝庙稠油蒸汽驱开发技术；增储上产及新区开发方面，加大葡萄花超薄储层油藏评价力度，加快上产的步伐，积极探索扶余难采储量氮气驱开发技术，为公司原油上产奠定了基础。在生产经营管理上，精细管理，合理筹划，实现了投入最小化、产出最大化的经营目标，为公司节约了大量的资金投入。

为进一步适应特低渗透裂缝型油藏开发需要，促进广大科技人员的技术交流，在头台油田 15 岁华诞之际，我们把头台油田开发建设中的部分科技成果，编辑成论文集，献给战斗在油田科技前沿的勇士们，供各级领导和科技人员学习参阅，希望这本书能够给公司的科研成果交流及应用带来一点益处。

本书收集了建厂 15 年来油田开发技术成果共计 81 篇，内容包括油藏工程、采油工程、地面工程、计算机应用、管理、宣传报道等，包含了奋斗在头台油田的各级领导和广大科技工作者的智慧和心血，对头台油田的发展具有重要的历史意义。

文中不当之处，请各位专家和广大读者批评指正。

编 者

2008 年 10 月

目 录

第一部分 油 藏 工 程

特低渗透油藏可动油的测量及应用	孙庆和 何 玺 林 海 (3)
裂缝型特低渗透油田注水开发特征多样性及成因探讨	孙庆和 林 海 崔宝文等 (6)
特低渗透储层微缝特征及对注水开发效果的影响	孙庆和 何 玺 李长禄 (11)
特低渗透裂缝型油田加密注采系统调整技术研究	陈淑利 孙力红 王丽莉 (16)
特低渗透裂缝性储层注水开发中后期地应力场变化及开发对策	孙庆和 陈淑利 宋正江 (21)
扶余特低渗透裂缝性储层限压注水控水技术研究	陈淑利 王丽莉 宋正江等 (28)
大庆外围油田井网合理加密方式研究	陈淑利 (34)
一类区块加密井区合理注水压力探讨	陈淑利 董 静 (39)
低产低渗裂缝油田吞吐采油试验研究	林 海 (48)
无名岛区块开发新认识及治理对策	陈淑利 王丽莉 张 君等 (52)
头台油田储层裂缝研究及应用	林 海 (58)
一类区块层间轮换注水效果分析	陈淑利 (68)
特低渗透裂缝性储层化学透析增油试验研究	薛东旺 张 脊 董 静等 (71)
葡萄花薄差油层完善注采关系综合调整技术研究	陈淑利 王丽莉 张 脊等 (77)
葡萄花超薄油层井网优化技术研究	陈淑利 王丽莉 张 脊等 (81)
线状注水开发在头台油田适应性的认识	孙明强 (86)
对头台油田茂 111 井区综合治理的认识	王丽莉 单文辉 沈全富等 (91)
头台油田注水开发技术研究	刘延辉 (95)
葡萄花薄差油层注水技术研究	张 脊 李长禄 (102)
肇 261 区块降水稳油技术研究	张 脊 (109)
葡萄花油层线状驱油技术研究	张 脊 王丽莉 李长禄等 (115)
黑帝庙油田松散砂岩油藏稠油热采防砂工艺	孙继国 周 围 孙广伟 (119)
精心谋划, 狠抓落实, 为油田增储稳产提供可靠保障 ...	王凤祥 张道军 王树斌等 (123)
黑帝庙油田葡浅 12 区块稠油混相吞吐现场试验	孙继国 周 围 孙广伟 (131)
葡萄花油层调剖控水技术研究	宋 欢 王丽莉 张 脊等 (136)
运用综合调整控制自然递减的技术研究	张 脊 蒋佳骏 宋正江 (140)
探索周期注水可行性	张力一 (143)

影响肇 294 区块开发效果分析及治理对策 张 彬 (147)

源 13 区块加密与注采系统调整效果分析..... 任 瑞 (151)

特低渗透扶余油层难采储量有效动用技术探讨 初海琳 王丽莉 张 脊等 (154)

茂 10 加密井区注水结构调整效果分析..... 董 静 (156)

扶余油层一类区块水转油井和高含水启抽井出油状况分析 张慧芳 宋正江 (159)

源 13 东部井区层间注水结构调整研究..... 蒋佳骏 (163)

无名岛加密注采系统调整效果分析 陈 波 (166)

黑帝庙油田稠油组合式蒸汽吞吐技术 孙广伟 周 围 孙继国 (170)

源 13 区块 2006 年油井老井压裂效果分析 王 岩 (174)

第二部分 采 油 工 程

头台油田套损现状调查与对策研究 贾永付 李书申 谢新柱等 (179)

电磁防蜡技术在头台油田的应用及效果分析 于洪林 (182)

提携采油井口防喷器的改进 李志民 (186)

碳纤维电加热在井口保温中的应用 高文龙 张志国 姜士国等 (188)

抽油机井泵下振动防堵装置可行性探讨 王天刚 李山山 雷先德等 (191)

头台油田抽油机井泵况分析图版制定及应用 于洪林 (195)

提高头台油田油井检泵周期有效途径探讨 孙明强 雷先德 李山山 (202)

头台油田抽油机井杆管偏磨分析及检测技术的应用 李山山 (205)

固体防垢技术在头台油田的应用及效果分析 魏颂东 (209)

通井锥的发明应用 董梦才 马玉孝 鲍希龙 (212)

注水泵电接点压力表缓冲装置 张世忠 白忠良 王福江 (214)

抽油机井间抽制度合理性研究 游必友 (216)

第三部分 地 面 工 程

原油脱水工艺 刘喜林 (221)

浅谈头台油田外输管线防腐技术和维护方法 郭运涛 杨迎喜 张立庆等 (228)

头台油田联合站原油脱水自动控制技术应用 曾嗣堂 杨迎喜 (236)

SH-JL-1 型油水计量仪系统的研发以及在江湾 2[#]-2 油计量中的应用
..... 郭运涛 杨迎喜 张立庆等 (240)

特低渗透低产油田伴生气综合利用 曹晓毛 王永霖 杨迎喜等 (245)

管线带压封堵技术在更换外输管线中的应用和效果分析 郭运涛 杨迎喜 张立庆 (248)

10kV 配电线路故障原因分析及防范措施 孟繁盛 (251)

改性纤维球在油田回注水中的应用 吴 磊 (254)

头台油田采油二区小队计量工艺效果分析 曹晓毛 王永霖 (260)

头台油田大区域耕地井集油工艺方式探讨及实践应用效果 曹晓毛 王永霖 (265)

联合站脱水器平挂、竖挂电极脱水效果对比分析 张纪伟 (270)

管线探测检漏技术在头台油田的应用 冷兴波 张志国 (273)

油田原油计量管理优化 尹 强 (275)

联合站脱水自动化系统应用效果分析 李中华 (279)

头台油田加热炉高效分散防垢剂试验研究 孙明强 雷先德 (283)

第四部分 计算机应用

采油工程月报系统软件改编与应用 雷先德 (289)

对优化网络性能，提高企业办公效率的探讨 孙凤民 (292)

组件技术方法及其在油田 MIS 系统中的应用 潘永泽 聂锐利 李 晖等 (299)

加强基础网络安全工作，促进企业信息化全面发展的探讨 孙凤民 (308)

利用数据库编程实现办公自动化，提高动态分析工作效率 蒋佳骏 (311)

ERP 企业资源规划 谢芳芳 (314)

数据库备份和还原技术的应用及实施 张 璐 (318)

实现物资管理电算化，提高物资管理水平 彭凤华 张 璐 刘世鹏 (321)

第五部分 管 理

改变投产方式，保证投产时间，为完成产量做贡献 张 君 王丽莉 王永霖等 (327)

加强精细化管理，打造集约高效型团队 刘喜林 李 晖 尹 强 (332)

HSE 风险识别、风险评价方法介绍 吴 磊 (336)

关于水井流量计不准、不稳情况的解决方法 李 阳 张 君 (343)

将精细化管理工作不断引向深入 姜士国 崔福才 韩博峰 (346)

2007 年 10kV 配电线路故障分析 王保军 陈洪禹 (354)

转变观念、加强协防，营造和谐稳定的油田治安环境 ... 聂锐利 张立民 赵树坤等 (358)

第六部分 宣 传 报 道

苍龙头抬啸九州 李洪波 张建忠 (363)

创新引领促发展 张建忠 李洪波 (368)

寂寞守候 胡玮斐 李洪波 (370)



第一部分



油藏工程

特低渗透油藏可动油的测量及应用

孙庆和 何 玺 林 海

摘 要 从阐述特低渗透油藏可动油概念入手,介绍了测定可动油的方法与原理,以头台油田扶余油层为例来研究测定了可动油饱和度并描述其分布特征;最后研究了可动油在特低渗透油藏评价中的应用,为特低渗透油藏评价寻找到一个新的途径。

关键词 可动油测定方法 头台油田 可动油分布 特低渗透油藏 应用

由于特低渗透油气藏的储层物性比较差,加之近几年油价下跌,使开发这类油藏的经济效益比较低。虽然在对这类油藏研究过程中,其评价方法和开发技术都有了比较大的突破,但还存在一些亟待解决的问题。例如,新疆小拐油田储层物性比较差,含油饱和度中等,压裂投产初期产能比较高,但有些井一个月以后几乎无产能。大庆头台油田扶余油层,在1993年压裂投产初期,在厚度相等、物性相似的条件下,不同区块产量相差比较大,在开发几年以后,开发效果反差更大。

近几年来,由于核磁共振等技术引入地质化验分析中,使人们对储层的认识水平有了很大的提高。在对头台油田扶余油层开发效果进行分析时,利用核磁共振技术、扫描电镜以及薄片等资料,发现了该区块油层普遍发育微缝。微缝发育好的区块实际开发效果好,发育差的区块实际开发效果差。通过这项技术认识到了可动流体饱和度,特别认识到微缝发育和可动油饱和度高低是相辅相成的。在研究中发现,有些层含油饱和度比较高,但可动油饱和度比较低,采收率比较低,其现场实际开发效果不好。新疆小拐油田之所以开发效果不好,原因就在于可动油饱和度太低。因此,研究储层可动油含量对评价特低渗透油藏能否投入开发具有重要意义。

一、储层可动流体饱和度概念

可动油概念目前国内还比较混乱。金毓荪等人认为:在现有的工艺技术条件下,储层中可以流动并能采出的油,称为可动油。中国科学院渗流流体力学研究所陈权等人认为:在现有的工艺技术条件下,在储层中可以流动,并可以部分地采出来,这部分油为可动油。大庆油田在研究储层有效厚度标准时,曾经采用可动油的概念,进行了方法研究。一是采用了试油法。该方法采用取心井段的油层,进行试油。取心井段储层物性采用取心资料进行标定。试油井段只要产油量大于零,则认为此层段划为工业开采层段,视为含有可动油。二是泥浆侵入法。在水基泥浆钻井过程中,泥浆对不同储层的侵入程度不同,泥浆侵入油层中,原油就可以流动,泥浆侵入不进岩心,岩心中的原油就不可以流动。那么侵入到储层中的流体自然会生产出来。利用能够侵入到储层和不能侵入到储层的空气渗透率来确定可动流体的界限。大庆油田当时在研究可动油和有效厚度标准时,所采用的可动油概念是属于前一种。

作者认为,从油气成藏的理论分析,可动油的概念应理解为在一定的采油工艺条件下,在储层中可以流动的流体,其中部分地从油层中产出,称为可动油。

二、可动油饱和度的确定方法及原理

以往评价储层含油饱和度是利用实验室的蒸馏法和微波法等,测定的含油饱和度为总饱和度,对特低渗透储层评价带有很大的盲目性。总饱和度高的开发效果不一定好,产能不一定高,因为产能高低主要与孔隙结构、储层物性及可动油饱和度高低有关。因此,应用储层总饱和度来对储层评价不一定正确。而可动油饱和度和储层产能的关系比较密切,虽然可动油不能完全从储层中生产出来,但总体上可动油多的储层,其产能也高。也可以说,可动油的多少反映了储层渗流能力的高低。

核磁共振成像技术是近年来迅速发展起来的高新技术。目前该技术在国际石油勘探与开发领域应用越来越广泛。与其他试验方法相比,核磁共振技术具有多功能、非侵入、非破坏及可定量等优点。核磁共振成像不涉及诸如基质等固体物质,而仅探测岩石中的流体相的分散与聚集及其相互作用的岩石环境。

中科院渗流流体力学研究所 1992 年引进 1 台核磁共振成像设备。本次研究头台油田的储层样品就是在该研究所实验室进行的。

1. 测定原理

简单地说,任何原子核在物质运动中都有它的自旋性,因此产生核自旋核磁场,并具有核磁矩、自旋量子数和旋磁比、核磁频率等属性参数。当外界磁场和岩心内流体中的原子固有核磁频率相同时,则发生共振,通过其他接收、成像、分离技术,则可对流体的一些特征参数进行测定。可动流体饱和度就是测定的其中一种参数。

2. 过程及方法

将饱和地层水的岩心置于核磁共振探头内,调节共振频率和脉冲宽度,采用 Congrock 脉冲序列测量磁化矢量随时间的变化关系,回波时间 $T_e = 120\mu s$,采用多弛豫的分离技术得到岩心核磁共振弛豫时间谱。文献 [2] 中 200 块岩心核磁共振弛豫时间谱与头台油田扶余油层岩心核磁共振弛豫时间谱相似,说明了特低渗透油田储层的特有规律。

在注水开发条件下,一般在较大孔隙中的油才能被驱替出来,因此利用离心机来进行标定。将岩心放置在高速离心机 100psi (1psi $\approx$ 7kPa) 下,正向离心 1h,然后反向离心 1h,岩心中可动流体几乎全部被分离出,余下的为不可动流体。再利用核磁共振仪测试岩心的弛豫时间谱,发现该谱中的右峰(代表大孔隙的可动流体)消失,只剩下左峰(代表小孔隙的不可动流体),从而确定了可动流体和不可动流体的分界限在两峰中间最低点。右峰面积占总弛豫时间谱面积百分数即为可动油饱和度。

三、可动油在特低渗透油藏评价中的应用

1. 可动流体饱和度在特低渗透油层评价中具有重要作用

从头台油田扶余油层测定的 35 块岩心可动油饱和度与裂缝孔隙度的关系可以看出,岩心可动流体饱和度随裂缝孔隙度增加而增加。这是由于微裂缝沟通了基质孔隙,增加了可动油的含量,流体在储层中的渗流能力增强,产能就会高。

在可动油饱和度和微缝孔隙度关系基础上,我们再分析一下常规有效孔隙度与可动油饱和度的关系。可以看出,有些岩心孔隙度虽然较高,但可动油饱和度较低;而有些岩心孔隙度较低,但可动油饱和度却较高。

2. 可动油饱和度评价标准的确定

将可动油饱和度引入到特低渗透油藏评价中,就是在常规有效孔隙度和空气渗透率、可动油饱和度等参数的基础上,以可动油饱和度作为一个限制性参数。

利用头台油田探井取心资料做岩心可动油饱和度与空气渗透率、有效孔隙度关系散点图。参照新疆小拐油田可动流体饱和度为 12%、油田开发效果差的结论,将头台油田扶余油层可动油饱和度下限确定为 15%,相应空气渗透率和有效孔隙度下限分别为 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和 7%。头台油田扶余油层所取的 35 块样品均取自有效厚度范围内,35 块样品中有 6 块可动油饱和度小于 15%,占总样品数的 17%,反映头台储层大致有 17% 的厚度为非产层,反映目前厚度划得偏大,应加以纠正。

3. 可动油饱和度的分布与油田目前开发效果一致

取自 11 口井 10 个层位的 35 块有效储层岩心,可动油饱和度分布具有明显的规律性。可动油饱和度从南到北逐渐降低,从东到西逐渐降低。茂 11 井~茂 804 井一线,可动油饱和度由 32.26% 降到 3.87%;从东到西茂 8、茂 5~茂 506 一线,可动油饱和度由 51.13% 降到 5.4%。这种分布和油田实际开发效果对应性很好,即可动油饱和度愈高,反映开发效果愈好。

茂 11 区块是头台油田开发效果最好的区块,由于储层微缝发育,测定微缝孔隙度为 1.52%,可动油饱和度高达 32.26%。该区块 1994 年 7 月投产,初期单井日产油 4t,1998 年 12 月单井日产油 2.9t。多数油井见到注水效果。平均单井有效厚度为 13.4m、采油强度为 0.216t/(d·m),明显好于其他区块。

茂 804 井区是油田开发效果最差的区块。由于其可动油饱和度仅为 3.87%,微缝孔隙度为 0.76%。该井区于 1993 年投入开发,开发 5 年后,1998 年 12 月单井日产油仅有 0.8t,实际开发效果极差。

四、结论

(1) 核磁共振技术测定岩心可动油饱和度方法是可行的,具有速度快、精度高的特点。

(2) 可动油饱和度在特低渗透油藏评价中具有重要作用。微缝发育,反映可动油饱和度高,储层中的渗流能力强。在常规有效孔隙度和空气渗透率的一般评价中,引入可动油饱和度作为限制性参数进行评价,制定评价标准,为储层评价找到一种新方法。

(3) 利用可动油饱和度对头台油田扶余油层进行评价,反映可动油分布和目前油田开发效果一致。

参 考 文 献

[1] 金毓荪. 采油地质工程. 北京: 石油工业出版社, 1985.

[2] 张盛宗, 王为民, 等. 低渗透油藏开发与裂隙孔隙度. 大庆石油地质与开发, 1999, 18 (2).

作者简介 孙庆和 (195605), 男, 1982 年毕业于大庆石油学院, 总经理, 联系电话: 0459-4464192.

裂缝型特低渗透油田注水开发特征多样性及成因探讨

孙庆和 林 海 崔宝文 李长禄

摘 要 以头台油田为例研究了特低渗透裂缝型油藏注水开发特征的多样性。储层研究表明,头台油田储层微缝发育。微缝的渗透率是基质的 83 倍,微缝孔隙度却只有基质孔隙度的 1/12,所以岩块中基质是主要的储油空间,微缝是主要的渗流通道。同时对其形成原因进行探讨,最后指出开发该类油藏的开发对策。

关键词 裂缝型 特低渗透油田 注水开发 多样性 成因探讨对策

头台油田属裂缝型特低渗透油田,油田储层物性差,裂缝发育,具有裂缝—孔隙双重介质。储层研究表明,头台油田储层微缝发育,微缝的渗透率是基质的 83 倍,微缝孔隙度却只有基质孔隙度的 1/12,所以岩块中基质是主要的储油空间,微缝是主要的渗流通道。由于头台油田扶余油层特殊的储层结构,使得 5 年来的注水开发表现出丰富多彩的开发特征,同时也暴露出许多矛盾,如注水井出油、隔断层(隔井)油井暴性水淹、断层末端油井多向水淹、储层条件相似区块注水压力和产能截然不同及区块注采比高油井长期不见效等许多解释不清的现象。诸多问题曾一度困扰着油田的开发,使油田开发一度陷入困境。但是,经过几年来的探索,逐步认清了此类油田所特有的注水开发规律,为油田的合理调整及开发对策的确定提供了可靠依据,为外围裂缝型特低渗透油田的开发积累了宝贵的经验。

一、储层地质条件相同,注水开发方式相同,开发效果截然不同,其主要影响因素是储层微缝的发育程度不同

茂 10 与茂 11 区块是头台油田东部开发区块南部两个相邻开发区块。从构造位置看,茂 11 区块位于鼻状构造的轴部,而茂 10 区块位于构造翼部;从储层分布状况看,茂 11 区块主要发育 FⅠ6, FⅠ8 和 FⅡ1 砂体,有效孔隙度 13.2%,平均空气渗透率 $1.36 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均有效厚度 13.1m。茂 10 区块主要发育 FⅠ5, FⅠ8 及 FⅡ1 砂体,有效孔隙度 12.4%,平均空气渗透率 $1.28 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均有效厚度 13.9m。由此可以看出,两区块注水开发效果应具有相似性。但通过几年来的开发实践,反映的开发效果却差别很大(见表 1)。

表 1 茂 11 与茂 10 区块储层状况对比

区块	主力油层	有效厚度 m	有效 孔隙度 %	空气渗透率 $10^{-3} \mu\text{m}^2$	含油 饱和度 %	微缝发育状况			
						视面密度 条/cm ²	长度 μm	宽度 μm	微缝类型
茂 10	FⅠ5, FⅠ8, FⅡ1	13.9	12.4	1.28	56.8	0.071~0.172	0.2~2.0 2.0~17.0	5~10	小微缝
茂 11	FⅠ6, FⅠ8, FⅡ1	13.1	13.2	1.36	66.1	0.302~0.936	0.2~3.0 3.0~18.0	10~40	大微缝

茂 11 和茂 10 区块均为 1994 年投入开发的。初期均采用反九点法面积注水井网，油井压裂投产，水井压裂投注，开发初期均反映东西向暴性水淹。茂 11 区块关高含水井变成线状注水，茂 10 区块转注高含水井点变成线状注水。茂 11 区块初期产能 5.8t/d，转成线状注水前产能 4.1t/d，1998 年底产能 5.5t/d；茂 10 区块初期产能 2.7t/d，转成线状注水前产能 1.5t/d，1998 年底产能 0.6t/d。从注水压力来看，茂 11 区块储层基质吸水压力 6.3MPa，裂缝延伸压力 11.3MPa，注水压力为 10.7MPa，注水压力介于基质吸水压力和裂缝延伸压力之间，满足基质吸水条件，油井受效，单井产量稳中有升，目前产量平稳。

茂 10 区块储层的基质吸水启动压力 12.7MPa，注水压力 11.8MPa，注水压力小于基质吸水启动压力，满足不了储层的吸水条件。因此，基质吸水很少，油井长期不见效，产量逐年递减。

形成上述两个区块开发效果反差这样大的原因，主要是由两区块扶余油层微缝发育程度不同造成的。茂 11 区块扶余油层发育大裂缝，微缝视面密度 $0.302 \sim 0.936$ 条/cm²，宽度 $10 \sim 40\mu\text{m}$ 。茂 10 区块扶余油层发育小裂缝，微缝视面密度 $0.071 \sim 0.172$ 条/cm²，宽度 $5 \sim 10\mu\text{m}$ 。而裂缝发育程度好坏，直接影响储层渗流能力的高低，同时影响可动流体饱和度的高低。由于微缝发育程度不同，反映两区块开发 5 年来开发特征、开发效果差别如此之大。

二、注水开发 5 年，注水井转油后可重新出油，井底储层动用程度低和渗吸作用在起支配作用

在水井作业的过程中，发现水井能够出油，由于头台油田注水井泄压比较慢，往往要关井 1~2 个月，压力才能泄压 1MPa，正常作业要提前放液流，而且放液流时水中带油。针对这种情况，能否把高含水油井变成注水井，而把注水井变成采油井，进行注采系统综合调整。1995 年对茂 64-91 井，茂 65-92 井进行水转油试验，经过试验两口井的效果都比较好，产油量由初期的 0t/d，半年后达到 5~8t/d，与周围油井产量相当，含水由 100%降到百分之十几，水井转油井达到比较满意的效果。这一试验结果的发现，为今后油田综合调整指明了方向。经分析认为，出现这种现象的原因有两方面：一是低渗透储层的吸水出油主要为裂缝吸水出油，基质动用程度低。从头台油田注水井指示曲线分析看，储层吸水主要以裂缝吸水为主。无论是注水井井底压力大于裂缝延伸压力还是小于裂缝的延伸压力，均反映储层的动用程度比较低。火烧山油田打检查井取心表明，注水开发 3 年裂缝两侧基质水洗深度仅 3cm，含油饱和度 50%~60%。由此可见，像头台油田这样特低渗透储层基质吸水困难，储层动用程度低，成为注水井出油的物质基础。二是水井停注后发生的渗吸作用是水井出油的驱动力。特低渗透储层注水驱油过程中驱替和渗吸两种作用同时存在。在可动油分布的微缝及其相连的大孔隙中，通过水驱就可以把其中的原油驱替出来，而分布在小孔隙中的不可动原油则要通过渗吸作用才可以开采出来。实验表明，由于特低渗透油层孔径较小，非均质严重，尤其在低速度的注水时，渗吸作用表现得更为强烈。对 7 块岩样进行室内试验表明，渗吸作用采收率占总采油率的 42.5%。因此注水井停注后，由于裂缝系统大量存水，渗吸作用表现得强烈，从而成为水井出油的主要动力。

三、注采隔断层油井暴性水淹，反映断层不密封

断层是否密封是相对的、有条件的。头台油田绝大多数断层为近南北向，在现代应力场的作用下（最大水平主应力为东西向），未注水开发前油层部分是密封的。但在油田注水开

发后，随着注入量的不断增大，注水压力的不断提高，断层附近原本较发育的东西向裂缝开启、延伸，使断层附近的注水井与断层沟通，断层部分开始浸水。当注入压力超过断面破碎带吸水压力时，断层不再密封。通过断面压力计算公式，可以计算出不同深度处断层开启压力：

$$p_D = p_v \cdot \sin\theta + p_h \cdot \cos\theta$$

式中 p_D ——断面压力；
 p_v ——上覆岩压；
 p_h ——水平应力。

应用上述公式，计算出了茂 804 区块断层附近茂 3-7、茂 4-11 水井注入压力与断面压力关系（见表 2）。

表 2 不同层位注水压力与断层密封关系统计表

井 号	层 位	注水压力 MPa	裂缝延伸压力 MPa	井底压力 MPa	断面压力 MPa	结 论
茂 3-7	F I 5	12	21	27.3	42.5	断层破碎带诱导使断层不密封
	F I 6	12	29	27.5	42.8	断层破碎带诱导使断层不密封
	F II 1	12	22	28.0	43.9	断层破碎带诱导使断层不密封
	F II 3	12	24	28.3	44.8	断层破碎带诱导使断层不密封
茂 4-11	F I 6	12	20	28.1	42.9	断层破碎带诱导使断层不密封
	F II 2-1	12	25	28.6	43.9	断层破碎带诱导使断层不密封
	F III 4	12	24	29.8	27.2	断层密封

由表 2 可以看出，茂 804 区块断层附近水井注水压力超过 12.0MPa 时，虽然不能使南北向断层开启，但会诱导断层破碎带在某些层位开启，出现注水大量外溢，沿断层破碎带窜流，使断层起不到密封作用，隔断层水淹就是一例证。如 1995 年注水井茂 6-13 注水压力提升后，隔断层的茂 43-73 井的压力也随着上升，最后与茂 6-13 压力持平，该现象说明断层不密封。另外相对较封闭的茂 804 区块在全面提高水量、提高注水压力的前提下，注采比升高，油井长期不见效，说明部分注水进入断层破碎带窜流，甚至外溢，出现大量无效注水。

四、靠近断层末端出现了多向水淹区，局部地应力场变异形成的多方向裂缝为主要成因

头台油田储层裂缝系统为早新生代、早白垩时期晚期形成的左旋应力场逐次叠加形成的两组剪切缝和两组张性缝。每一期构造主应力场方向逐渐变化，加之基底断裂活动，断层上下盘的相对运动，以及岩性因素的影响在局部地区形成的裂缝方向变化很大。因此，头台油田储层裂缝具有多向性，但是并非所有裂缝都能开启，不同方向的裂缝开启具有一定的顺序和条件。在现代地应力场作用下（最大水平主应力多为东西向），首先开启的应是位于最大水平主应力方向的缝，即东西向缝。因此，在注水开发中，一些东西向油井首先见效或随之暴性水淹。其次是近于东西向裂缝容易开启，最不容易开启的缝是南北向的裂缝。但是在断层末梢，由于断层方向发生改变，使其附近现代应力场发生变化，最大水平主应力方向发生改变，使得易开启的裂缝方向发生改变，在该区块的注水就会出现非东西向的多向水淹。

茂 9-19 井区位于茂 505 开发试验区南块，正好位于断层的末梢且方向发生了变化。茂 9-19 井区共有油井 7 口，注水井 4 口，在反九点面积注水条件下，油水井压裂投产一年零三个月，东西向 3 口油井和南北向 2 口油井全部水淹，7 口油井仅剩下 2 口井在开井生产，日产油仅为 3.7t，综合含水已达 54.3%。由此可见，开发方案一定要研究地应力场、裂缝及其开启性，才能合理地确定井网及注采系统。

五、注水压力低，注采比高，油井见不到明显的效果，反映注水压力大于裂缝的延伸压力，注入水沿裂缝窜流

裂缝不发育的低渗油田的注水开发，靠纯基质吸水，注水启动压力一般是较高的。如储层物性条件与头台油田相近而微缝不发育的榆树林油田，初期注水启动压力多为 17.0MPa，注水压力 18.0MPa，目前已升至 22.0MPa。而裂缝普遍发育的头台油田，在不压裂注水情况下，平均启动压力只有 6.7MPa，注水压力 7.8MPa，目前注水压力为 11.5MPa。在相对较低的注水压力下，就具有较好的吸水能力，而油井东西向多数水淹，南北向长期不见效。头台油田注水开发 5 年，东西向油井水淹 40 口，占东西向油井 54%，目前注水压力 11.23MPa，累积注采比已达 4.38，但平均单井产量仅为 1.63t/d，综合含水 25.95%。开发效果不好的主要为储层物性差、微缝发育差的二、三类区块（见表 3）。

表 3 不同区块注水参数综合表

区 块	基质吸水启动压力 MPa	裂缝延伸压力 MPa	平均注水压力 MPa	单井平均日注水 m³d	注 采 比	平均单井日产油 t/d
茂 8	12.5	12.9	13.1	32.8	10.60	0.7
茂 505	11.4	11.7	12.0	44.9	16.10	1.0
茂 55-76	10.4	12.2	10.7	18.1	3.00	1.1
茂 10	12.7	13.0	11.8	38.5	6.49	0.6
茂 901	8.7	11.0	11.3	61.2	6.36	1.6
茂 111	6.3	11.3	10.7	60.7	3.40	3.5

通过储层基质吸水条件研究发现，由于储层物性及微缝发育差异，导致储层基质吸水启动压力不同。物性较好区块，如茂 111 区块，基质吸水启动压力为 6.3MPa，而物性较差区块，如茂 8、茂 10 区块，基质吸水启动压力高达 12.5MPa 以上，与裂缝延伸压力相近。如果想通过提高注水压力达到基质吸水改善油田开发效果，就必须得保证注水压力大于基质吸水启动压力，小于裂缝延伸压力。但是由于基质吸水启动压力和裂缝延伸压力相差很小，很可能在基质吸水前或同时裂缝已经延伸吸水甚至外溢，导致无效注水大量增加，严重影响基质吸水。所以，这样的区块注水压力很难控制，如茂 8、茂 505 区块注水压力已经超过裂缝延伸压力，造成水窜、水淹甚至外溢，注水量大量增加，注水压力不升或上升缓慢。试验区东部 1300m 外的探井茂 13 井水淹就证实了这一点。因此，对于这种储层物性差、基质吸水启动压力高、裂缝发育的区块，单靠提高注水压力是很难使基质吸水、油井受效，达到提高油井产能的目的。

六、裂缝型特低渗透油田应采取的开发对策

1. 弄清微缝发育区，坚持线状注水

微缝的发育对低渗储层吸水能力的增加具有重要意义。微缝发育能扩大储层吸水面积，