

孤岛 油田采油 工艺技术

GU DAO YOU TIAN CAI YOU GONG YI JI SHU

肖建洪 主编 曹正权 温志刚 徐 强 副主编



中國石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

孤岛油田采油工艺技术

肖建洪 主 编
曹正权 温志刚 徐 强 副主编

中国石化出版社

图书在版编目(CIP)数据

孤岛油田采油工艺技术/肖建洪主编.
—北京:中国石化出版社,2007
ISBN 978-7-80229-367-0

I. 孤… II. 肖… III. 石油开采 IV. TE35

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 089678 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京密云红光制版公司排版

北京瑞象今日印刷服务有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 16 印张 390 千字

2007 年 7 月第 1 版 2007 年 7 月第 1 次印刷

定价:40.00 元

《孤岛油田采油工艺技术》

编著委员会

主 编 肖建洪

副主编 曹正权 温志刚 徐 强 张华功 任福生
陈 辉

编写人员(以姓氏笔画为序)

尹 强 史宝光 刘吉武 孙 岩 任福生
张华功 张继双 张 岩 陈 辉 肖建洪
屈人伟 姜 忠 姚辰明 高成元 贾 斐
徐 强 曹正权 温志刚

前

言

孤岛油田位于济阳拗陷沾化凹陷东部，属于常规稠油油藏，油层埋藏浅、胶结疏松。地下原油黏度高、油井生产易出砂，是孤岛油田开发中面临的主要问题。为使孤岛油田能正常生产并高效开发，必须针对这些问题使用适当的技术，这就决定了孤岛油田开发技术的多样性和复杂性。孤岛油田从1971年正式投入开发后，首先经过了短暂的自喷采油期，由于地层能量不足，1973年投入注水开发。在三十多年开发历程中，油田经历了天然能量开采、低含水期、中含水期、高含水期和特高含水期等五个主要开发阶段。在油田开发初期，主要以化学防砂、井筒掺水、井筒掺油等采油工艺来克服油层出砂和稠油在井筒中流动困难的问题。进入中高含水阶段以后，随着含水率的不断上升，为了保持油田的持续稳产，孤岛油田广大技术人员通过不断探索和实践，在油层保护、机械采油、注水工艺、油水井防砂、堵水调剖、套损井治理、动态监测等采油配套工艺方面取得了长足的发展；特别是进入特高含水阶段以后，油田开发方式逐步转向以化学驱三次采油和稠油热采为主，配套形成了一系列常规稠油注聚和热采工艺技术。

目前，孤岛油田已在特高含水采油阶段生产了十几年，年产油量保持在400万吨以上。为了更好地挖掘油田潜力，对孤岛油田开发三十多年来所采用过的主要采油工艺技术进行了系统总结，我们组织编写了《孤岛油田采油工艺技术》一书。全书共分十章，第一章介绍了孤岛油田使用的油层保护技术，由高成元、孙岩、温志刚编写；第二章介绍了完井工艺技术，由高成元、张继双、张华功编写；第三章总结了孤岛油田机械采油工艺技术，由贾斐、史宝光、任福生编写；第四章总结了注水工艺技术，由姜忠、贾斐、曹正权编写；第五章介绍了防砂工艺技术，由高成元、尹强、张华功编写；第六章总结了油层改造工艺技术，由屈人伟、张岩、陈辉编写；第七章介绍了聚合物驱油工艺技术，由刘吉武、张继双、温志刚编写；第八章介绍了稠油热采工艺技术，由刘吉武、孙岩、张华功编写；第九章介绍了孤岛油田在套损井治理技术方面的发展，由高成元、

尹强、张华功编写；第十章总结了孤岛油田在油水井动态监测方面所用的技术，由姚辰明、屈人伟、温志刚编写。全书由肖建洪、曹正权、温志刚、徐强统稿、审定。本书内容丰富，为全面了解孤岛油田的采油技术提供了丰富的材料，也可供其它同类油田的采油技术人员参考。

由于编写水平所限，特别是老一辈技术人员已陆续离退休，使得历史资料很难收集齐全，本书在编写过程中虽然参考了大量资料，但也很难把油田用过的所有技术全部总结出来。书中不妥之处恳请读者批评、指正。

目 录

第一章 油层保护技术	(1)
第一节 油层损害机理	(1)
一、储层特征	(1)
二、储层潜在伤害因素分析	(1)
第二节 储层敏感性特征评价	(3)
一、水驱油藏储层敏感性评价	(4)
二、热采对储层伤害评价试验	(7)
第三节 钻井和固井过程中油层保护技术	(11)
一、钻井过程中主要油层损害因素分析	(11)
二、孤岛油田常用钻井液类型	(11)
三、孤岛油田钻井液密度设计	(12)
四、钻井屏蔽暂堵技术	(12)
五、平衡压力钻井技术	(14)
六、固井过程中油层保护技术	(14)
第四节 采油工程入井液油层保护技术	(15)
一、射孔过程中的油层保护技术	(15)
二、作业入井液油层保护技术	(15)
三、防砂冲砂液油层保护技术	(18)
四、酸化酸液油层保护技术	(19)
五、热采和三次采油油层保护技术	(22)
六、注水油层保护技术	(22)
七、区块油气层系统保护实例	(22)
第二章 完井工艺技术	(24)
第一节 完井方式	(24)
一、完井方式选择的依据	(24)
二、完井方式	(25)
第二节 生产套管设计	(26)
一、生产套管设计要求	(26)
二、套管尺寸的设计	(26)
三、生产套管材料选择	(28)
四、油层套管的强度计算	(28)
第三节 完井液设计	(29)
一、完井液的密度	(29)
二、固相含量与失水	(29)

三、添加剂	(29)
四、加重材料	(29)
五、完井液对油层浸泡时间	(29)
六、推荐使用的完井液	(29)
七、对固井质量的要求	(30)
第四节 射孔工艺技术	(30)
一、射孔工艺	(31)
二、射孔参数优化技术	(31)
第三章 机械采油工艺技术	(35)
第一节 孤岛油田机采工艺发展历程	(35)
一、中低含水采油阶段	(35)
二、高含水采油阶段	(36)
三、特高含水采油阶段	(36)
第二节 深井泵采油工艺技术	(36)
一、深井泵抽油系统现状	(36)
二、深井泵抽油系统诊断技术	(38)
三、抽油系统优化设计	(39)
四、特种抽油泵采油技术	(43)
第三节 螺杆泵采油工艺技术	(45)
一、螺杆泵抽油系统结构及原理	(46)
二、主要特点、性能和适用范围	(46)
三、螺杆泵系统优化设计技术	(47)
四、螺杆泵的配套工艺	(49)
五、螺杆泵工况监测工艺	(50)
第四节 水力喷射泵采油工艺技术	(51)
一、水力喷射泵结构	(52)
二、水力喷射泵工作原理	(52)
三、水力喷射泵特点和主要技术参数	(53)
四、水力喷射泵系统优化设计	(53)
五、配套高压动力液系统	(56)
六、水力喷射泵系统工况诊断技术	(57)
第五节 配套采油工艺技术	(58)
一、稠油非热采工艺技术	(58)
二、油井防偏磨工艺技术	(66)
三、防污染采油技术	(73)
第四章 注水工艺技术	(79)
第一节 注入水水质处理技术	(79)
一、水质现状及影响因素	(79)
二、污水处理工艺流程	(80)
三、污水处理技术	(81)

第二节 分层注水工艺技术	(83)
一、分层注水技术原理	(83)
二、分层配水设计及管柱结构	(84)
三、分层测试技术	(89)
四、防腐技术	(92)
第三节 分压注水	(93)
一、参数优化方法	(94)
二、新型宽域高效注水泵	(95)
三、特点及适用范围	(96)
四、分压注水技术的应用及效果	(97)
第五章 防砂工艺技术	(98)
第一节 地层出砂的危害	(98)
第二节 地层出砂机理及影响因素	(98)
一、出砂机理	(98)
二、影响因素	(100)
第三节 孤岛油田防砂工艺的发展历程	(100)
第四节 各种防砂方法的技术特点及适应性	(101)
一、常规井防砂技术	(102)
二、稠油热采井防砂技术	(113)
三、斜井及套损井防砂	(120)
第五节 防砂配套技术	(121)
一、孤岛防砂工艺综合决策系统	(121)
二、分层防砂工艺技术	(125)
三、声波助排解堵技术	(126)
第六章 油层改造工艺技术	(128)
第一节 堵水调剖工艺技术	(128)
一、概述	(128)
二、油井堵水工艺技术	(130)
三、注水井调剖工艺技术	(134)
四、化学堵水调剖的配套技术	(142)
五、堵水调剖工艺技术的发展方向	(148)
第二节 酸化解堵工艺技术	(150)
一、酸化原理	(150)
二、砂岩酸化工艺	(152)
三、应用规模及效果	(154)
第七章 聚合物驱油工艺技术	(155)
第一节 聚合物注入工艺	(155)
一、地面注入流程	(155)
二、注入管柱	(158)

第二节 聚合物驱调剖工艺	(161)
一、注聚驱堵调工艺技术	(162)
二、油水井综合调剖技术	(163)
第三节 阳离子聚合物堵聚工艺	(166)
第四节 聚合物解堵增注工艺	(167)
一、注聚前解堵增注	(167)
二、注聚后解堵增注	(168)
第五节 交联聚合物驱油工艺技术	(169)
一、驱油技术机理及作用	(169)
二、技术指标	(170)
三、技术特点	(170)
四、适用范围	(170)
五、应用情况	(170)
第六节 提液引效技术	(171)
一、产液量与含水的变化关系	(171)
二、提液时机及幅度	(171)
三、提液效果分析	(172)
第七节 辅助配套技术	(174)
一、聚合物溶液取样方法	(174)
二、聚合物粒度测定	(176)
三、聚丙烯酰胺溶液筛网系数的测定	(176)
四、聚丙烯酰胺及其部分水解物相对分子质量测定法	(177)
五、聚合物溶液黏度测定	(178)
六、聚合物水解度的测定	(179)
七、聚合物驱保黏、增黏措施	(180)
八、注聚用量跟踪分析调整	(181)
第八章 稠油热采工艺技术	(182)
第一节 稠油油藏蒸汽吞吐开采技术	(183)
一、蒸汽吞吐开采机理	(183)
二、蒸汽发生器工作流程及蒸汽注入流程	(185)
三、蒸汽锅炉除氧技术	(186)
第二节 热采配套工艺技术	(188)
一、热采井完井技术	(188)
二、提高湿蒸汽干度技术	(189)
三、蒸汽计量技术	(190)
四、注蒸汽井高温堵水技术	(194)
五、氦气泡沫调剖技术	(195)
第三节 稠油油藏热水驱开采技术	(198)
一、热水驱方案优化	(198)
二、热水驱地面工程研究	(199)

三、井下配套管柱	(201)
第九章 孤岛油田套管损坏与治理	(203)
第一节 孤岛油田套损井现状	(203)
一、套管损坏位置分布	(203)
二、套管损坏类型	(203)
第二节 套管损坏机理	(204)
第三节 套损井修复技术	(205)
一、套漏井修复工艺	(205)
二、套管整形工艺技术	(207)
三、取、换套工艺技术	(208)
四、侧钻工艺技术	(210)
五、小套管技术	(212)
第十章 孤岛油田动态监测技术	(214)
第一节 生产动态测井技术	(214)
一、注水井验封测试技术	(214)
二、注水剖面测井技术	(216)
三、聚合物驱的动态监测	(221)
第二节 工程技术测井	(229)
一、陀螺仪测试老井轨迹技术	(229)
二、井径成像测井技术	(229)
三、固井质量评价测井技术	(230)
参考文献	(241)

第一章 油层保护技术

油气层保护工作涉及面广，既贯穿油气藏开发的全过程，又涉及工程技术的各个方面。既需要在开发全过程始终执行，又需要全面控制。自“九五”以来，本着经济效益与长远利益相结合，以预防为主、治理为辅的工作方针，孤岛油田加强了从钻井监督到地质、工艺方案设计和作业等过程中的油层保护工作，取得了较好的效果。

第一节 油层损害机理

一、储层特征

孤岛油田是粉细砂岩油藏，地层胶结疏松，在生产过程中易出砂。地层泥质含量高，占总量的15%，主要有伊蒙混层、高岭石、伊利石和绿泥石，对应的含量分别占黏土总量的40.33%、16.27%、34.54%和7.66%，极易造成水敏性伤害，并且在水敏伤害发生后，由于黏土因脱落运移，使地层胶结更加疏松，加剧出砂，因此在注水、注汽、酸化、防砂、修井等生产过程中，须加强黏土稳定工作。

二、储层潜在伤害因素分析

1. 砂岩储层本身潜在的伤害

① 储层敏感性矿物本身存在的伤害因素。如水敏性矿物的水化膨胀、分散、脱落和运移堵塞喉道带来的水敏或盐敏损害，这类矿物主要有蒙脱石、伊利石/蒙脱石间层以及绿泥石/蒙脱石间层等；碱敏性矿物在外来流体pH值较高的情况下，就会发生分散和脱落，或产生新的硅酸盐沉淀和硅凝胶体，而造成渗透率下降，这类矿物主要有长石、微晶石英、各类黏土矿物和蛋白石等；酸敏性矿物在与酸液作用时就会产生沉淀或释放出微粒，造成渗透率的下降；在这类矿物中，盐酸敏感性矿物有含铁绿泥石、铁方解石等，氢氟酸敏感性矿物有石灰石、白云石等；速敏性矿物在高速流体作用下发生运移，引起储层伤害，这类矿物有石英、长石、方解石等。

② 砂岩储渗空间所带来的影响。如砂岩的主要喉道的形状、大小、分布以及连通关系等孔隙结构参数控制着孔隙的储集性和渗透性，同样也是地层敏感性的重要影响因素。孔隙喉道主要有缩颈喉道、点状喉道、片状或弯片喉道以及管束状喉道四种。对于缩颈喉道，由于喉道较粗，地层易受到固相侵入、出砂和地层坍塌带来的损害；对于点状喉道，由于喉道细而短，易受微粒运移、水锁、贾敏以及固相入侵等带来的损害；对于片状和管束状喉道，由于造成这种喉道细而长的原因主要是泥质含量较大，所以这类喉道除上述损害因素外，还易受到黏土膨胀带来的损害。总的来说，在其它因素相同情况下，孔喉越大，不匹配的固相颗粒侵入就越深，但受水锁、贾敏损害的可能性就较小，反之亦然。另外，孔喉弯曲程度越大和孔隙连通性差，油气层越易受到损害。

③ 砂岩的表面性质所带来的伤害因素。如砂岩的比表面越大，流体与岩石接触面越大，岩石与流体的作用越充分，造成的损害也就越大；又如砂岩的润湿性被注入液体反转，使亲水性变为亲油性，给水驱造成负面影响，从而影响到油气产量。

④ 储层流体性质对油层造成的损害。如地层水与注入的工作液不配伍、或者原油性质与人井液形成沉淀或乳状液等，阻碍渗流，从而造成储层伤害。

⑤ 敏感性矿物产状带来的损害。敏感性矿物产状是敏感性矿物分布的位置和存在的状态，主要可分为四种类型：薄膜式、栉壳式、桥接式和孔隙充填式。由于薄膜式不易脱落，主要发生水化膨胀损害；栉壳式由于矿物垂直于岩石颗粒存在，受液流的冲击力大，易脱落而堵塞孔喉；对于桥接式，由于矿物以纤维状搭桥于颗粒之间，易破碎，从而发生堵塞；对于孔隙充填式，渗流通道主要是黏土颗粒之间的微孔隙，在高速流体作用下，易造成运移而堵塞孔喉。

2. 工程入井液作用下引起的储层损害

① 外来流体与储层砂岩不配伍造成的损害，这些损害可分为水敏、酸敏、碱敏及润湿反转等，如黏土矿物的膨胀、运移造成水敏，从而引起孔道缩小、渗透率下降，如酸化施工二次沉淀造成储层酸敏所引起的油层伤害等。

② 外来流体与储层流体不配伍造成的损害，主要表现为外来流体与储层流体产生有机、无机沉淀或乳状液。外来流体所携带的细菌在储层中繁殖生长，也能在一定程度上造成储层损害。

③ 毛细管阻力造成的损害，主要包括水锁效应或贾敏效应，如对于小孔道低渗储层发生的水锁效应和油相在水润湿岩石孔隙中渗流发生的贾敏效应，都能引起油相的渗透率降低，造成油井减产。

④ 固相堵塞，如注入水中固体悬浮颗粒、钻井过程中泥浆滤液的固相颗粒或者修井液中的固相颗粒等，也能够压差作用下进入地层，造成储层伤害。

3. 热采对油层造成的损害

通过广泛研究，认识到热采过程中造成储层伤害的伤害机理主要有以下五个方面。

① 矿物溶解

注蒸汽过程中，在热水和蒸汽的相互作用下，常出现蒙脱石和沸石沉淀，蛋白石、高岭石、方解石及其它一些黏土矿物的溶解。矿物的溶解与温度、蒸汽凝析液的强碱性和低离子浓度有关。随着温度和 pH 值的升高 (pH 值 > 9)，石英和其它硅质矿物的溶解速度迅速增加，化学反应最强烈的地方是温度和 pH 值最高的井筒附近。

矿物溶解造成的地层伤害有两种形式：当储层变冷或饱和的热水向地层深处运动并变冷时，溶解的矿物易产生沉淀造成地层伤害；可溶矿物中含有不可溶的颗粒，当高温注水将可溶物质溶解时，非可溶颗粒释放，然后随流体流动，形成架桥或孔喉堵塞。

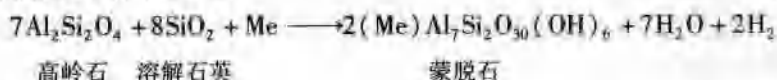
② 黏土膨胀和微粒运移

低矿化度和高 pH 值可以造成黏土微粒的膨胀 (主要是硅酸铝盐) 并大量释放。一般情况下，微粒开始释放有一个 pH - 矿化度临界值，所以注蒸汽时选择蒸汽凝析液的 pH 值和矿化度是非常必要的。

③ 矿物转化

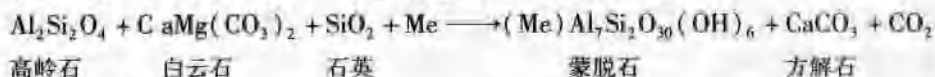
热采过程中，当温度升高到一定值时，某些黏土矿物会发生转变，生成水敏性强的黏土矿物，因而容易造成地层伤害。研究发现，32 ~ 175℃ 范围内渗透率下降的主要原因是润湿

性转变造成的。175℃以上时，由于矿物转变、溶解及继续的润湿性转变使渗透率随温度的升高而下降的现象变得更为显著。对实验前后的岩样进行X-射线衍射分析表明，实验后岩样中高岭石黏土的含量明显下降，蒙脱石黏土含量增加。进一步研究还发现高温下高岭石和石英反应生成蒙脱石，反应如下：



式中 Me 是 Ca、Mg 或 Fe。

在 200~250℃ 之间出现的主要反应是石英、高岭石和白云石溶解，形成方沸石、绿泥石、蒙脱石和方解石。高岭石溶解会转化成蒙脱石。反应如下：



总之，高温下矿物转变是常见的，生成的蒙脱石是强水敏性矿物，遇水极易膨胀并脱落运移，因而会堵塞孔喉，造成渗透率下降。

④ 润湿性转变

岩石亲水对水驱油是有利的。注热水时，孔隙中的残余油被水圈闭在孔隙中央，使之密封而免于和岩石接触。当向注蒸汽转换时，起屏蔽作用的水蒸发，使油吸附在岩石表面，岩石转化为亲油，从而会降低驱油效率。这种转变可能对地层造成永久性伤害，但也有可能通过重新注热水溶解吸附来逐步消除，取决于所研究体系的特征。

⑤ 乳化物堵塞

高黏原油形成油包水乳化物，具有更大的动力黏度。一般情况下，低密度淡水更易与原油乳化，所以注热水和注蒸汽开采对乳化问题更为敏感。地下乳化物的形成，极大的阻止了可动油的流动，增加了油和水之间的紊流，致使乳化更加严重。

4. 工程因素和油气层环境条件发生变化造成的损害

① 作业或生产压差太大引起的损害。这类损害主要有启动地层微粒，产生有机或无机垢沉淀、应力损害、压漏油气层以及出砂或地层坍塌，并加深已有损害的程度。

② 措施作业时间过长也会加重损害的程度。措施作业时间对油气层的损害有如下两方面：一方面当工作液与油气层不配伍时，对油气层损害的程度随时间的延长而加剧，同时细菌损害的程度也会随时间的增长而加剧；另一方面措施作业时间过长会影响损害的深度，如钻井液、压井液等工作液，随着作业时间的延长，滤液侵入量增加，滤液损害的深度加深。

第二节 储层敏感性特征评价

实践中常用岩心的流动试验来测定储层的敏感性，岩心流动试验是通过测定岩心与外来工作液作用前后渗透率的变化，或者测定油气层物化环境发生改变前后渗透率的变化，来认识和评价油层伤害程度的一种重要手段，即油气层敏感性评价。具体来说是通过测定岩心对外来工作液的速度敏、水敏、盐敏、碱敏以及酸敏，一般称为五敏试验，来评价工作液对油气层伤害的类型和程度，根据油气层敏感性特征可以找出发生敏感性的条件和由敏感性引起的油气层伤害程度，为各类工作液的设计、油气层损害机理分析以及油气层保护方案的优化提供依据。

一、水驱油藏储层敏感性评价

孤岛油田属于馆陶组粉细砂岩油藏，油层胶结疏松，黏土含量高，出砂严重，注水过程中极易受到各种敏感性伤害。为此 2001 年选取了具有代表性的渤 76 断块有针对性地开展了储层地质特征、敏感性研究，通过对渤 76 断块油层水敏、盐敏、碱敏和酸敏等四项实验，取得了一些新的认识。

1. 水敏性评价实验

水敏性评价实验是在不引起储层岩石发生速度敏感性伤害的稳定流速以内，先用地层水流过岩心，再用次地层水流过岩心，最后用去离子水流过岩心。测定这三种不同盐度（初始盐度、盐度减半、盐度为零）的介质流过岩心并达到平衡后的渗透率，以此确定流体矿化度对岩心渗透率的定量影响，并由此分析岩心的水敏程度。采用水敏指数来历评价岩样的水敏程度，水敏指数按式 1-1 进行计算：

$$I_w = \frac{K_i - K_w}{K_i} \quad (1-1)$$

式中 I_w ——水敏指数；

K_i ——用标准盐水或地层水测定的岩样渗透率， $10^{-3} \mu\text{m}^2$ ；

K_w ——用蒸馏水测定的岩样渗透率， $10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

水敏性评价指标见表 1-1。

表 1-1 水敏性评价指标

水敏性程度	水敏指数	水敏性程度	水敏指数
无水敏	≤ 0.05	中等偏强水敏	0.51 - 0.70
弱水敏	0.06 - 0.30	强水敏	0.71 - 0.90
中等偏弱水敏	0.31 - 0.50	极强水敏	> 0.90

水敏评价实验结果见表 1-2。

表 1-2 水敏评价数据表

岩心号	K_i	$K_{1/2}$	K_w	I_w	水敏程度
B76-3-3	126.1	114.1	35.8	0.72	强水敏
B76-3-5	175.7	168.2	29.9	0.83	强水敏

注： K_i —地层水测定的岩心渗透率； $K_{1/2}$ —次地层水测定的岩心渗透率； K_w —蒸馏水测定的岩心渗透率； I_w —水敏指数；渗透率单位， $10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

以上实验结果可以看出，渤 76 断块储层岩心具有很强的水敏性。次地层水对岩心基本没有伤害，而通去离子水后，岩心渗透率下降非常显著，下降幅度达到 72% ~ 83%。

2. 盐敏性评价实验

盐敏评价实验是指由高到低逐渐改变通过岩样的流体的矿化度，测定不同矿化度下岩样渗透率的变化。其目的是了解储层对所接触流体矿化度变化的敏感性程度，找出盐度递减条件下的临界矿化度，从而为油田注入流体矿化度的选择提供依据。

实验以标准盐水作为初始盐水。实验结果见表 1-3。

表 1-3 盐敏评价数据表

岩心号	K_a	$K_{1/2_a}$	$K_{1/4_a}$	$K_{1/8_a}$	$K_{1/16_a}$	$K_{1/32_a}$	K_w	S_c
B76-3-2	158.5	159.3	152	148	137.8	74.1	39.3	5000
B76-3-4	106.7	101.4	94.1	80.0	64.6	30.4	20.6	5000

注: K_a —标准盐水测定的岩心液相渗透率; $K_{1/2_a}$ 、 $K_{1/4_a}$ 、 $K_{1/8_a}$ 、 $K_{1/16_a}$ 、 $K_{1/32_a}$ —分别为 40000、20000、10000、5000、2500mg/L 时, 所测岩心液相渗透率; K_w —蒸馏水测定岩样的渗透率; 渗透率单位, $10^{-3} \mu\text{m}^2$; S_c —临界盐度, mg/L。

由上述实验结果可见, 该区块储层临界矿化度 5000mg/L。这就要求与储层接触的各种作业流体的矿化度必须高于该值, 否则就会产生严重的水敏伤害, 而且这种伤害是永久性的, 通常不能通过再次提高盐度来恢复。

3. 碱敏性评价实验

在油田勘探开发过程中, 目前所用的钻井泥浆液、完井液及压裂液等工作液多显碱性, 具有较高的 pH 值, 这些介质进入地层后, 将造成油层中黏土矿物和硅质胶结物结构的破坏, 主要表现为黏土矿物解离和胶结物溶解后释放出微粒, 从而造成孔道堵塞而产生伤害。为了避免 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 等沉淀对实验结果的影响, 实验用 80000mg/L 的 KCl 盐水作为实验流体, 用 NaOH 配制成不同 pH 值的 KCl 盐水, 实验时所用流体介质经 0.22 μm 滤膜进行精细过滤。

碱敏实验的目的就是找出碱敏伤害发生的条件(临界 pH 值)以及由碱敏引起的油层伤害程度, 为各种入井液 pH 值的确定提供依据。实验采用碱敏指数来评价岩样的碱敏程度, 碱敏指数按式 1-2 计算:

$$I_b = \frac{K_a - K_{ab(\min)}}{K_a} \quad (1-2)$$

式中 I_b ——碱敏指数;

K_a ——KCl 盐水测定的岩样渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$;

$K_{ab(\min)}$ ——不同 pH 值碱溶液测定的岩样渗透率最小值, $10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

碱敏性评价指标见表 1-4。

表 1-4 碱敏性评价指标

碱敏性程度	碱敏指数	碱敏性程度	碱敏指数
无碱敏	<0.05	中等碱敏	0.31-0.70
弱碱敏	0.05-0.30	强碱敏	>0.70

碱敏实验采用 KCl 溶液, 盐度与标准盐水相同。一般能抑制黏土膨胀, 所以实验结果主要反映的是碱作用后由微粒运移造成的伤害。

碱敏评价实验结果见表 1-5。

表 1-5 碱敏感性评价数据表

岩心号	K_a	K_{a9}	K_{a11}	K_{a12}	K_{a13}	I_b	碱敏程度
B76-3-6	309.6	289.5	283	266.1	220.0	0.29	弱碱敏
B76-3-7	478.3	484.5	459.6	442.5	391.2	0.18	弱碱敏

注: K_a —KCl 溶液测定的岩心液相渗透率; K_{a9} 、 K_{a11} 、 $K_{a11.5}$ 、 K_{a13} —分别为 pH 值为 9、11、12、13 时, 所测岩心液相渗透率; I_b —碱敏指数; 渗透率单位, $10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

从以上实验结果可以看出, 储层渗透率随实验流体 pH 值增大, 普遍具有下降趋势; 流体的 pH 值在 8~12 之间时, 渗透率下降不明显, 但当 pH 值等于 13 的碱溶液通过岩心时, 渗透率下降变得比较明显, 伤害率为 18%~29% 之间。碱敏性评价实验的结论为该储层存在弱碱敏性。

4. 酸敏评价实验

酸敏性是指酸液进入储层后, 与储层中的酸敏性矿物发生反应, 产生沉淀或释放出微粒, 使储层渗透率下降的现象。酸敏性评价实验的目的在于了解准备用于酸化的酸液是否会对地层产生伤害及伤害的程度, 以便优选酸液配方, 寻求更为有效的酸化处理方法。从而有效地指导储层酸化、解堵作业。储层的酸敏性包括储层对盐酸和土酸的敏感性实验。

实验在恒速(临界速度以内)情况下用 80000mg/L 标准盐水测定初始渗透率 K_i 值后, 反向注入 0.5~1.0 倍孔隙体积的实验酸液浸泡反应 1 小时, 然后再用标准盐水正向测定注酸后渗透率 K_{ia} , 并计算 I_a 值。部分土酸敏感性实验岩心是在盐酸敏感性基础上进行的。

采用酸敏指数来评价岩样的酸敏程度, 酸敏指数按式 1-3 计算:

$$I_a = \frac{K_i - K_{ia}}{K_i} \quad (1-3)$$

式中 I_a ——酸敏指数;

K_i ——酸化前用标准盐水测定的岩样渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$;

K_{ia} ——酸化后用标准盐水测定的岩样渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

酸敏性评价指标见表 1-6。

表 1-6 酸敏性评价指标

酸敏性程度	酸敏指数	酸敏性程度	酸敏指数
无酸敏	≤ 0.05	中等酸敏	0.31~0.70
弱酸敏	0.06~0.30	强酸敏	> 0.70

实验结果见表 1-7、表 1-8。

表 1-7 盐酸敏感性评价数据表

岩心号	K_i	K_{ia}	I_a	酸敏程度
B76-3-8	224.2	286.3	-0.28	无酸敏
B76-3-9	295.7	285.5	0.03	无酸敏
B76-3-10	273.8	309.1	-0.13	无酸敏

注: K_i —标准盐水测定的岩心初始渗透率; K_{ia} —通盐酸后用标准盐水测定的岩心渗透率; I_a —酸敏指数; 渗透率单位, $10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

表 1-8 土酸敏感性评价数据表

岩心号	K_i	K_{ia}	I_a	酸敏程度
B76-3-11	295.6	277.0	0.06	弱酸敏
B76-3-12	339.0	293.5	0.13	弱酸敏
B76-3-13	277.3	214.5	0.23	弱酸敏

注: K_i —标准盐水测定的岩心初始渗透率; K_{ia} —通土酸后用标准盐水测定的岩心渗透率; I_a —酸敏指数; 渗透率单位, $10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。