

“七五”国家重点科技
攻关项目成果简介【15】

编号:75—15—02

保护油层防止污染的钻井完井技术

中国石油天然气总公司

一九九一年五月

(北京)

登录号	085766
分类号	TE ₂
种次号	015

保护油层防止污染的钻井完井技术



200471836



课题编号: 75—15—02

577/108

承担单位: 华北石油管理局

石油勘探开发科学研究院

江汉石油学院

石油大学

辽河石油勘探局

西南石油学院

工程技术研究所

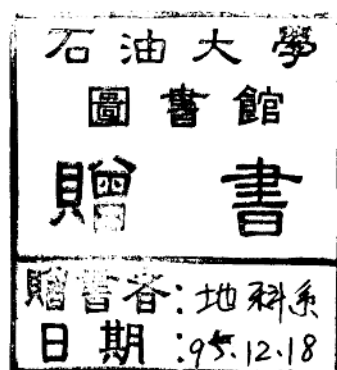
中原石油勘探局

四川石油管理局

长庆石油勘探局



00781916



前 言

科学技术是人类的伟大实践之一,是一种在历史上起推动作用的革命力量。江泽民同志最近指出:科学技术是影响一个国家强盛的关键因素,我们要牢牢把握住 20 世纪 90 年代科学技术的发展趋势,把中国的国力搞上去。

石油工业的发展,曾经是而且越来越明显地依靠科学技术的进步。坚持发挥科学技术的先导作用,是实现石油工业持续稳定发展的保证。在 1986 年制定的《石油工业“七五”期间科技发展规划纲要》中提出,“七五”期间要争取在科学技术上有较大的突破,在勘探开发的主要工艺技术方面,达到八十年代初的世界水平,并为今后十年石油工业的大发展作好技术储备。为实现上述奋斗目标,总公司(原石油部)承担了国家四个项目科技攻关任务。即(1)数字地震勘探和地球物理测井技术;(2)油藏数值模拟和三次采油技术;(3)丛式井钻井技术;(4)油气田地地质理论和勘探测试技术。这四个项目共包括 15 个课题,48 个专题。

“七五”国家重点科技攻关计划是国民经济和社会发展第七个五年计划的重要组成部分,是国家科技发展计划的指令性计划。完成这些计划的严肃性是不言自明的。石油系统 37 个单位 3500 名科技人员投入了“七五”科技攻关,同时联合了中科院、国防科委、高等院校及其它有关部门的科技力量,广大科技人员以高度负责的精神紧密结合油田生产实际,发扬了艰苦奋斗,埋头苦干,开拓创新,无私奉献的精神,经过五年时间的努力,按照合同要求,圆满地完成了攻关任务,并正式通过了国家验收鉴定。为了宣传科技攻关成果,并促进这些成果尽快地推广应用转变为直接的生产力,决定编辑出版《“七五”国家重点科技攻关项目成果简介》,分别介绍 15 个课题的攻关成果。

本成果是简介的第 15 分册:关于保护油层防止污染的钻井完

井技术,该成果是 75—15 项“丛式井钻井技术”中的子项—“保护油层防止污染的钻井完井技术”(编号为 75—15—02)及其所属五个三级课题(即 75—15—02—01,75—15—02—02,75—15—02—03,75—15—02—04,75—15—02—05)的简介。

中国石油天然气总公司科技发展局

1991 年 5 月

目 录

保护油层防止污染的钻井完井技术	
(75—15—02)	(1)
华北油田保护油层防止污染的钻井完井技术	
(75—15—02—01)	(14)
辽河油田保护油层防止污染的钻井完井技术	
(75—15—02—02)	(18)
中原油田低渗透油气藏保护油层防止污染的钻井完井技术	
(75—15—02—03)	(20)
四川地区碳酸盐岩气藏保护气层的钻井完井技术	
(75—15—02—04)	(23)
长庆安寨油田低压低渗透油藏保护油层的钻井完井技术	
(75—15—02—05)	(25)

保护油层防止污染的钻井完井技术

编号:75—15—02

承担单位:华北石油管理局

石油勘探开发科学研究院

江汉石油学院

石油大学

辽河石油勘探局

西南石油学院

工程技术研究所

中原石油勘探局

四川石油管理局

长庆石油勘探局

本项成果是“七五”国家重点科技攻关项目第15项(丛式井钻井技术)第二个课题,由华北石油管理局和石油勘探开发科学研究院、西南石油学院、江汉石油学院、石油大学、辽河石油勘探局和西南石油学院、江汉石油学院、工程技术研究所、中原石油勘探局和石油勘探开发科学研究院、西南石油学院、石油大学、工程技术研究所、四川石油管理局和西南石油学院、长庆石油勘探局和石油勘探开发科学研究院、西南石油学院、江汉石油学院分别组成五个攻关组,分10个三级课题,39个四级课题和132个五级课题开展攻关研究,取得以下主要技术成果:

(一)岩性测定与分析 and 储层敏感性评价技术

1. 建立了适应我国油气层岩心分析的程序和技术

为搞清各试验区的储层特性,采用了油层物性、压汞、铸体、粒度、X—衍射、差热、电镜扫描、能谱、岩化九项岩心分析技术,分析了六个油田各种岩心38958块,搞清各类储层的地质特征及潜在的损害因素。在此项研究中,采用了以下几项分析新技术:

(1)X—衍射全岩定量分析。通过实验测定了沉积岩常见矿物相对于外标石英和内标刚玉的强度因子应用外标法和内标法解决了全岩定量分析(包括地层微粒和粘土矿物绝对含量的测定)问题,该方法能满足全岩相的快速定量分析,结果与美国岩心公司及Schultz的分析结果基本一致。

(2)在电镜扫描分析中研究出冷冻干燥、不镀膜制样、定位扫描对比观察方法,可形象直观地了解外来流体进入岩心前后粘土及其它敏感矿物的分布及形态,为油气层损害机理研究提供重要手段。

(3)研究成功采用人工包封固结技术制备松散砂岩岩心样品,解决了松散岩心分析中的一项主要技术。此项技术已达到八十年代美国岩心公司保密使用的松散岩心制作技术水平。

(4)在国内首次研究成功孔隙介质微模可见技术。用此技术制作的微模具有模拟地层孔隙结构和可观察的特点,用它试验可观察孔隙中流体流动、固相运移堵塞现象和规律。

通过对地层微粒的受力(重力、范氏力、双电层力及水动力)分析,从理论上阐明了因微粒分散及运移造成储层损害的机理。并应用此理论估算了二连阿南地区临界盐浓度与临界启动速度,估算结果与室内实验相接近。

2. 研究并制定了<砂岩储层敏感性评价——一流动试验程序>(标准)。该程序是在查阅国内外大量文献及对各国各油田的有关岩心分析资料的基础上研究制定的,它包括水敏、速敏、酸敏、盐敏、体积流量、正反流动、泥浆污染、系列流体。在此基础上,又根据各种油藏特点,对酸敏、水敏等进行了系列试验研究。它在 16 个油田推广应用,并在 1989 年,经油气田开发试验标准化分析会审查通过,对搞清油层污染机理起了重要作用。该程序经改进后,也可用于对碳酸盐岩气藏的评价,并已取得良好的效果。

(二)油层污染的机理研究

应用岩心分析技术,所提供的储层潜在损害因素,结合敏感性评价成果,搞清了全国各试验区七种类型储层的损害机理:

(1)华北冀中岔 15、宁 50、莫 32 断块沙河街油藏岩心分析敏感性评价证实,油层损害原因以粘土膨胀为主。

(2)二连地区蒙古林油田储层由于蒙脱石含量高,具有强水敏感性。哈南油田砂岩储层及阿南油田则存在流速敏感性。

(3)辽河曙一区稠油油藏,经敏感性评价,油层损害的主要因素为水敏和微粒运移。

(4)东胜堡潜山油藏为一套变质岩体系,主要损害因素为固相侵入,造成堵塞。

(5)中原卫城、桥口和马寨试验区沙河街油层,强水敏为油层损害的主要原因。

(6)安塞油田长 6 油层,油层主要损害因素为酸敏。

(7)川东碳酸盐岩气藏主要的损害原因是固相侵入。

(三)油气层损害的评价方法和标准研究

1. 研究建立了室内评价方法和标准及相应的评价仪器

(1)JHDS 高温高压动失水仪和 SW—1 型高温高压动态流动损害仪可模拟井下温度(最高 150℃)、压差(最高 8~15MPa)和泥浆流动时对井壁处产生的剪切速梯(最大 600S⁻¹)进行动失水测定及动静污染岩心的试验。

(2)DSE 高温、高压全尺寸动模拟岩心试验装置。该装置除具有 SW—1 功能外还增加了井筒循环系统,钻具和顶部驱动装置,可更加真实地模拟井下条件对全尺寸岩心进行损害试验,并可对损害后的岩心进行全分析研究。

(3)在国内首次研制成功了 NP—01 型页岩膨胀测试仪和 NX—01 型页岩吸附测试仪。利用 NP—01 型页岩膨胀测试仪可对岩石的水化膨胀特性进行定量分析,评价工作液对油层的抑制能力,评选钻井液、完井液、酸液等各种工作液和各类处理剂,操作简单、方便。其中 NX—01 型页岩吸附测试仪还可多机联用,提高分析效果。

(4)研制了 BRI—100 型动态流动试验仪 SHY—400 型高温高压流动仪及一套 SCHY—400 型高温高压损害测定仪,为碳酸盐岩的损害流动试验提供了手段。

(5)建立了静态流动试验仪并制定了相应的方法和标准:主要用于不含固相工作流体的损害评价。

(6)应用毛管压力法快速评价钻井液,其结果与岩心静态评价结论基本一致。

研究制定适应五个油田、七种油藏类型的室内评价方法和分级标准。

2. 矿场评价技术

(1) 砂岩油藏矿物评价技术

①在吸收国外评价技术的优点基础上,根据我国中低渗透砂岩油藏的特点,攻克了早期试井资料解释方法,并研制了相应的软件系统。

a. 格林加登典型曲线拟合法。在华北冀中、二连、新疆等油田解释 90 多井次,并与霍纳法比较表皮系数误差小于 1 为符合的占 95%。

b. 最优化灰色系统早期资料校正法。该方法系首次引用 80 年代国际最先进的灰色系统理论中的关联度分析法于试井解释,并研制出 CWCY 软件,经文献井检验,表皮系数值符合率好。

c. 最优化双对数拟合法。对无径向流的安塞长 6 油层进行了 3 口井解释,结果与灰色系统法基本一致。

d. 通过对国外方法进行分析改造,研制出早期资料反卷积分校正法。用该法解释 11 井次的表皮系数值验证,符合率达 90%以上。

e. 研究完善了不稳定试井方法。用最优化分割法进行污染程度分类,经过 44 口井压力恢复资料分析验证,该方法是可行的,具有较高的吻合率。

②采用国外 RAM 流动期资料解释法,并将此编制成计算机软件,用文献井资料分析检验,结果基本一致。

③压裂井测试资料解释法,应用国外成熟的无限导体垂直裂缝模型,并加入了井筒储存、表皮系数和外部边界效应的影响,研制了“压裂井试井解释软件”,本软件与 FlopetrolJohnston 公司解释结果基本一致。

④研究出油层损害多种评价参数的计算通式,并且通过 350 多井次资料分析,确定了冀中地区砂岩油藏矿场评价油层损害的分级标准。以表皮系数、产率比、附加压力与产生压差之比,堵塞比、损失产量等作为评价指标并分为无损害、轻度、中度、严重损害四个等级。

⑤研制出测井资料解释法。

a. 首次提出用坐标旋转分析法建立了不同污染程度的评价方程式。对冀中 14 口井 61 个试油层点与华北不稳定试井法比较,符合率为 94%。

b. 研制出了用测井资料及回归式分别计算视表皮系数评价油层污染的方法,标准及 WRPJ 软件。

c. 时间推移测井法。对中原长庆 9 口井资料解释吻合度高,是一种有效的方法。

⑥油井产能计算法。该方法是根据油藏取得基础数据计算出油藏理论产能,与实测产能曲线相等的理论产能计算曲线具有的表皮系数就是油层的实际表皮系数。

经过几年来的攻关,砂岩油藏矿场评价技术已基本形成了适合五类油藏特点以 PST 测试为主,和测井法、油井产能法相结合的多种评价油层的有效方法,并建立了相应的评价标准,经过现场试验,符合率较高,基本解决了中、低渗透砂岩油藏的矿场评价问题。

(2) 灰岩油气藏矿场评价技术

①应用不稳定试井技术检测裂缝性碳酸盐气层损害,研制了“GDT”软件,和改善了“WTC”软件,并制定了评价方法及标准,填补了国内碳酸盐矿物测试技术的空白。用该技术求得平均伤害半径,经 6 口井验证基本可靠。

②利用密度测井中光电吸附指数的值判断污染情况,通过辽河 50 口的试验验证,可有效地评价油层污染情况,并制定了相应的标准。

通过攻关研究制定出四川、辽河两种类型灰岩和花岗岩油气藏的两种评价方法和标准,并编制出相应的软件。为我国进一步深入开展双重介质油气藏矿场评价技术奠定了基础。

(四)保护油(气)层钻井液、完井液

1. 研究并搞清了钻井液及组份对油层的损害原因和规律

在室内采用人造岩心,储层岩心,通过大量的动静态试验,并采用扫描电镜、电子显微镜先进分析手段,结合现场调研资料,经综合分析研究,搞清了钻井液、完井液及组份对油层的伤害原因程度及规律。为钻井液、完井液添加剂的研制、配方组成、性能参数的确定及施工参数的确定提供了科学的依据。

①钻井液滤液对油气藏的伤害是处理剂及水相的综合作用结果,依油(气)层渗透率的不同侵入深度可达 10~100cm,并且有 80% 以上滤失量是在动态条件下侵入的。

②处理剂对油气层都有不同程度的伤害,其主要原因为吸附滞留作用及化学沉淀,随浓度增加,其伤害程度也增大。

③固相损害:随着压差及梯度的增加损害增大,并主要发生在动失水过程中,泥饼达到平衡之前。侵入深度依油层孔道大小可达 2~80cm。固相颗粒分布与油气层孔喉大小分布是决定固相能否发生损害的主要因素。

④水相对油气层损害主要为粘土膨胀,分散运移,对低渗透油气藏的损害还表现为水锁,渗透率越低,水锁损害越严重。

2. 通过对七类油气藏污染机理的研究,研制出六种新型处理剂,三种加重剂;评选了 56 种现有处理剂,组成了 47 种配方,基本形成了我国保护油气层钻井液、完井液配方系列。

(1)添加剂系列:

通过攻关,新研制了抗高价离子酸溶性降失水剂羟丙基淀粉(HPS),酸溶性暂堵剂碳酸钙粉(QS—2),油溶性暂堵剂(JHY)、(EP—1)、(OR—1),粘土稳定剂(PTA)、杀菌剂(XN—1)、多功能聚合物衍生物处理剂等。还开发了三种酸溶加重剂菱铁矿粉、赤铁矿粉、钛铁矿粉并制定了质量标准。

(2)保护油(气)层钻井液、完井液系列:

①油基钻井、完井液:研制出油包水乳化钻井完井液、低毒性油包水反乳化钻井完井液,渣油基钻井(完井)液等各种配方七种。此类钻井完井液对地层呈惰性,对油层损害极小,渗透率恢复率达 95% 以上。

②水基钻井完井液

A、无固相清洁盐水体系:研制出高密度无固相 CaCl_2 体系,模拟地层水混合盐水等各种配方 7 种,主要有对地层抑制强的无机盐溶液。应用对油气层损害小的聚合物调节流变性能,用高溶解度无机盐调节密度,基中有的还加入阴离子聚合物稳定粘土,此类完井液无固相损害,对地层抑制能力强,岩心渗透率恢复高。

B、无胶土相钻井液完井液:研制出适合各试验区不同类型油(气)藏和不同井下条件的 12 种,主要是在无胶土相钻井液完井液的基础上又加入人为固相,降低滤失、调节密

度。这种固相虽对油气层产生损害,但可以以通过后期措施消除。

在此项研究中,暂堵技术的提出及暂堵完井液研制成功属我国首创。现已研制出三种类型(即油溶、酸溶和水溶型)完井液。

C、低胶土相聚合物钻井(完井)液:研制出各试验区配方 20 多套,此类钻井完井液突出的特点是土相含量低($<50\text{g/L}$)。API 常压和高温高压滤失量低,抑制性强,泥饼质量好,渗透率恢复率高,且有较好的流变性,钻速快,成本低。

D、水包油型钻井完井液:共研制出 3 套配方,其中有无固相聚合物低失水体系和高油水比水包油钻井完井液体系,密度低于 1g/cm^3 ,用于低压高中渗透油层。具有对油层损害小、钻速快、防止井漏等特点。

E、改造型钻井完井液:据各试验区油气层特点及技术条件共研制出 6 种配方和方案。此类钻井完井液是在原钻井液的基础上加入处理剂,加以改造,达到符合保护油(气)层的性能指标和标准。此类钻井完井液成本低、渗透率恢复率达 70% 以上,施工方便可行。

③泡沫及充气钻井完井液:

A、泡沫钻井液:研制出新型发泡剂 F873 和 F842,评选出高效发泡剂 ABS、TAS 等以及泡沫稳定剂 XC、HV—CMC、HEC 等,组成了 5 套稳定泡沫配方和一套硬胶泡沫配方。稳定泡沫配发泡能力高,泡沫密度在现场应用可达 0.15g/cm^3 以下,并在高温下(150°C)有良好的稳定性和流变性能,以及抗盐、油和 H_2S 能力,对油层损害极低,对发现新的油气有重要作用。

B、充气钻井完井液:研制 ASC 充气钻井完井液配方一套,该配方易充气、脱气、泵送良好,最低密度可达 0.5g/cm^3 ,并且成本低。

3、为各试验区确定了适合地层特点,满足工程施工要求的低伤害的钻井完井液配套技术,并进行了工业化推广应用,取得明显保护油(气)层效果。

(1)华北冀中地区针对三个试验区中低渗透油藏特点及油层损害机理,研制出 5 种钻井液改造体系,评选出 5 类 15 种钻井液完井液配方,评选出了两个系列 16 种适合中低渗透砂岩特征的各类处理剂,共使用 236 口井,取得了显著的保护油层效果。经保护油层效果及综合经济技术指标对比,确定改造型钻井完井液较好。平均机械钻速提高,钻井周期缩短,经测试结果表明有 90% 以上完善井,油井污染率较老井下降 30%,采油指数平均提高 0.3t/d.m.MPa 。

(2)二连油田针对低压、低渗中强水敏特点,研制出 6 种钻井完井液,并在阿南、哈南、蒙古林等油田的 28 口井上进行了 6 种钻井完井液配方的试验,取得显著保护油层效果。其中钾胺基聚合物钻井完井液已推广使用 500 多口井,钻速提高 3~4 倍,钻井周期大大缩短,降低了成本,经测试完善井占 92%。

(3)辽河油田针对花岗岩潜山油藏和稠油油藏特点研究和试验成功四大类十种钻井完井液,进行了 51 口井现场试验,基本形成了配套系列,满足各种条件下的作用要求。对稠油先期防砂井,已有 8 种钻井完井液可选用,即两种无搬土酸溶体系,一种无搬土油溶性体系,两种无固相盐水体系、两种无搬土水溶体系和一种充气钻井完井液,密度范围 $0.5\sim1.6\text{g/cm}^3$,最高使用温度 120°C 。而对于花岗岩古潜山油藏有三种钻井完井液可选用,即一种无搬土酸溶体系,一种无固相盐水体系和一种水包油体系,密度范围 $0.93\sim1.$

32g/cm³。

(4)中原油田依据东濮凹陷低渗透油层特点及潜在损害因素,研究和试验成功6种体系钻井液完井液,通过现场144口的应用,确定低胶土盐水聚合物体系和改造型的完井液体系做为保护油层的钻井完井液,已在马寨、桥口两区进行大量推广,并在射孔中应用了无机盐和粘土稳定剂等组成无固相射孔(压井)液。应用320多井次增产效果明显。

(5)针对四川川东碳酸盐岩气藏地质特点和损害机理,采用石灰石粉为挤堵剂,高密度的铁矿粉为加重剂的酸溶性挤堵钻井完井液和改进型钻井完井液,满足了保护气藏的需要。

(6)针对安塞油田长6油层地质特点和损害机理,在现场试验了泡沫、油基钻井液、混合盐水、暂堵型完井液等8种配方,经综合效益评定,最后确定油层以上采用“高效钻井液”,进油层采用临界矿化度无胶土相低分子聚合物体系作为保护油层配套技术。已推广应用138口井,提高了钻速,降低了成本,经室内评价,对油层的损害率由30%降到15%以上。

(五)近平衡钻井技术

对近平衡压力钻井技术主要进行了以下几个方面的完善和发展。

1、完善和发展了地震法预测地层压力的方法和模式,使砂泥岩地层压力预测精度高于90%。完善和发展了用声波测井资料预测地层破裂压力的方法和模式,使泥岩地层破裂压力预测的精度高于95%。还研制出了钻井数据计算机采集处理及无线传输系统,增强了现场实时监测砂泥岩地层压力的能力。

2、瞬态波动压力的研究成果使近平衡压力钻井的泥钻井液浆密度设计更为合理,钻井泥浆附加安全密度的新推荐值为:油层0.04~0.07g/cm³,气层0.06~0.12g/cm³。根据瞬态波动压力计算编制的《波动压力手册》有利于节省起下钻时间和防止井下复杂事故的发生。

3、建立的两口全尺寸近平衡压力钻井及井控技术模拟试验井填补了国内空白。这两口试验井已作为我国近平衡压力钻井及井控技术的科学试验和培训基地。

4、井控技术和堵漏技术是实现近平衡压力钻井、保护油气产层的基础技术。本项目形成了研究、预防和处理溢流、井喷和碳酸盐地层井漏的体系。

(1)完善和发展后的井控理论和编制的微机程序,能提高高压井作业的科学性,达到快速安全压井的目的。

(2)研制出的DLY-160堵漏模拟试验装置,能满足室内实验的要求。研制的PCC暂堵剂填补了国内保护油气层材料的一项空白。研究和总结出的预防和处理碳酸盐岩地层井漏的十项方法和十项工艺,能提高堵漏成功率降低堵漏成本。

5、形成了从发泡剂、泡沫配方、计算机程序、钻井工艺到装备一整套泡沫钻井和洗井技术。通过近30口井的泡沫钻井和洗井证明,泡沫负压钻井工艺技术是成功和可靠的。研究出的ASC充气泥浆,通过四口井的现场试验,证明性能是可靠的能满足负压钻井的需要。

6、复合盐层蠕变规律的研究和盐层的钻井液密度图板的研制,填补了国内空白。使用绘制出的文本盐层的钻井液密度图板,使钻盐层泥浆密度更合理,保证了盐层井眼质量,1987~1989年共钻盐层井155口,无一口发生盐层卡钻事故。

(六)井身结构、套管程序及油层套管设计

1、地震法预测地层压力和声波测井资料预测地层破裂压力精度的提高,为砂泥岩地层的井身结构设计提供了较为准确的基础数据。

2、为了最大限度的减少对油气层的伤害,在考虑钻井液静液柱压力的基础上,对波动压力的实测,地层孔隙压力和破裂压力的进一步研究及对 1986 年以来,压差卡钻临界值的分析统计,得出以下新的合理的井身结构设计系数:

“七五”经验设计系数

名 称	抽汲压力 系 数 (sb)	激动压力 系 数 (sg)	正常地层 压差卡钻 系 数 (ΔP_N)	异常地层 压差卡钻 系 数 (ΔP_{ab})	破裂压力 增值 (sf)	地层 压力 (sk)	固井回 压限量 PT
单 位	g/cm ³	g/cm ³	MPa	MPa	g/cm ³	g/cm ³	MPa
系数值	0.015~ 0.04	0.015~ 0.04	10~15	15~20	0.02~ 0.03	0.05~ 0.10	≤ 4

此系数对井身结构设计提供了进一步的科学依据。

3、复合盐层蠕化规律的研究和盐层的钻井液密度图板的研制成果,能为设计盐层井的井身结构提供参考,提高了井身寿命,减少对油层的伤害。

4、目前国内普遍采用经济合理的 342.7mm $\times$ 244.5mm $\times$ 177.8mm $\times$ 127mm(即 13/" $\times$ 7" $\times$ 5")的套管系列。各油气藏根据安全钻井和保护油气层的需要确定各自所需的套管层次和深度。针对稠油油藏的特点,有采用先期防砂的完井工艺,钻开油层前下入 177.8mm 的技术套管,钻开油层后下入 127mm 的不锈钢丝筛管。为了满足稠油蒸汽驱完井工艺的要求,还研制了 WA—1 型和 WA—2 型两种卡瓦式套管地锚配套工具并完善了予应力完井技术。

(七)固井技术

研究了固井过程中对油气层损害的机理,针对其污染的原因,研究了防止污染的措施、各种外加剂、固井工艺及配套工具,完善了七种油气藏的固井工艺。

1、水泥浆对油气层损害机理

通过大量的室内分析研究,初步搞清了五个油田、七个油藏类型的水泥浆对油层的损害机理。对砂岩油层来说,水泥浆的滤液是损害地层的主要因素;对碳酸盐岩储层,水泥浆固相引起的损害是主要因素。钻井液引起的损害使渗透率下降,钻井液污染后,水泥浆二次污染对渗透率的下降影响不大的结论,对指导现场生产有重要意义。

2、固井水泥浆外加剂的研究。

为适应各种复杂地层,保护油气层,研制了八个系列,38 个种类的外加剂。

(1)研制出 Lw—1、Sc—1、S27、Xs—2、CT11—1、T—52A、NVA 高温降失水剂,As—2、As—3、Lw—2、Ms—88 中温降失水剂,S24 低温降失水剂。满足了不同井深、小间隙、复杂井、稠油热采井的固井要求。应用 126 口井固井质量全部合格。NVA 高温降失水剂配制的水泥浆失水 $<50\text{ml}/7\text{MPa}\cdot 30\text{min}$,性能与美国的 Halac1—22A、D73 相同。

(2)HRA、S12、S13 高温缓凝剂满足了深井高温、高压固井的要求。应用 26 口井,固井

质量全部合格。S12 高温缓凝剂配制的水泥浆稠化时间 3~5 小时抗压强度 $\geq 14\text{MPa}/48\text{h}$ 。最高应用温度 140°C 。

(3)R90 系列抗盐外加剂为多套盐层的固井提供了优质外加剂。R906 降滤失剂、904 分散剂和 R909 缓凝剂配制的水泥浆滤失量 $<150\text{ml}/7\text{MPa}$ 、30min, 90°C , $n<0.8$, $K<0.4\text{Pas}$, 抗压强度 $\geq 14\text{MPa}/48\text{h}$, 稠化时间可调, 性能优于美国 D604。应用 3 口井, 固井质量全部合格。

(4)SEP—1、QJ—625、T50—B 膨胀剂解决了水泥浆硬化引起的体积收缩, 提高了水泥与套管/地层的连接性及早期强度, 膨胀率 $1.18\sim 1.74\%$, 水泥浆密度 $1.35\text{g}/\text{cm}^3$ 时, 抗压强度 $\geq 14\text{MPa}/24\text{h}$ 、 100°C 应用 43 口井, 固井质量全部合格。

(5)SXY 减阻剂应用于复杂井眼的固井, 较好的改变了水泥浆流变参数。抗压强度 $\geq 14\text{MPa}$, 应用 3 口井(其中 2 口井为典型糖葫芦井), 固井质量全部合格。产品达到国外 CFR—2、CFR—2e、D80 的水平。

(6)KQ—B、G69 防窜剂改善了水泥环与套管、井壁的胶结性, 达到了防止窜流的目的, 满足了高压油气井固井的要求。应用 10 口井, 固井质量全部合格。KQ—B 的主要技术性能指标超过了美国 D29 的性能。G69 不渗透防窜剂可控制水泥浆, 滤失量 $<100\text{ml}/7\text{MPa}$ 、30min, 抗压强度 $\geq 14\text{MPa}/24\text{h}$, 性能达到美国 D600 水平。

(7)配套研制了 Tic 分散剂、T32 增强剂。经 7 口井应用, 效果良好。填补了国内空白。

3、低密度、低失水、高强度水泥浆的研究与应用, 较好的满足了低压、低渗透、易漏、长封固段的固井要求。现场应用 300 多口井, 固井质量全部合格。

(1)由空心微珠作为减轻剂和防破剂的空心微珠低密度水泥浆, 密度可控制在 $1.38\sim 1.80\text{g}/\text{cm}^3$ 之间, 抗压强度 $\geq 14\text{MPa}/24\text{h}$ 。

(2)由壤土作为减轻剂的白土低密度水泥浆, 水泥浆密度可控制在 $1.50\sim 1.60$ 之间。

4、固井技术的研究

(1)分级注水泥技术的研究与应用, 解决深井、高压油气井和易坍塌、易漏失井固井中存在的问题。研制了 4 种规格的液压式分级注水泥器。应用 192 井次, 成功率 90% 以上, 应用最深井达 4651m。

(2)尾管固井及套管回接技术的研究和应用, 满足了长封固段、小间隙固井与防漏失、防止损害的要求。研制了 15 种机械式和液压式尾管悬挂器及相配套的工具。应用 305 井次, 成功率达 97.2%。

(3)地层封隔固井技术的完善和应用, 有效防止了高压油气水窜, 防止低压漏失和恶性漏失; 解决了浅气层封固问题, 使水泥返至设计要求位置, 封住浅气层, 又不压漏下部油层。研制了 5 种规格 7 种型号的套管外封隔器。

(4)控制合理压差固井, 根据地层孔隙压力及破裂压力等资料, 考虑注水泥、水泥候凝“失重”等全过程, 既不能漏失, 又不能窜槽, 进行了合理压差固井设计, 编制计算机软件, 提出调整井和新探区探井合理压差分别控制在 $3\sim 5\text{MPa}$ 和 $2\sim 4\text{MPa}$, 配合以上固井系列工具及技术, 形成了适合中低渗透油藏特点的控制合理压差的固井技术。

5、各类油气藏所采取的措施

1、针对华北冀中低压、中低渗透油藏, 采用了提高水泥浆性能的 Lw—1、Lw—2、Ms—88 等降失水剂, NS 等外加剂配制的低密度水泥浆固井。并根据储层特点, 分别采用了分

级注水泥技术;尾管固井及套管回接技术;地层封隔固井技术等实现了控制合理压差固井,对保护油层提高固井质量起到了积极作用。

2、针对二连低压低渗透油藏,低压、低渗、浅层气的特点,研制评选出五种适合不同密度的低密度水泥浆外加剂,同时研制了密度为 $1.19 \sim 1.47 \text{g/cm}^3$ 的五种水泥浆配方,经二连和冀东油田试验获得良好的效果。还解决了二连盆地浅气层封固问题,使水泥返至设计要求位置,封住浅气层,又不压漏下部地层。

3、针对辽河古潜山油藏,裂缝大、压力系数低、漏失严重的特点,应用尾管完井方法缩短了封固段,降低了液柱压力,避免了漏失。同时还采用憋压、居中、活动、冲洗、紊流、平衡、防震的综合工艺,提高了固井质量。

4、针对辽河曙一区稠油油藏油层埋藏较浅、地层松散、油层薄、夹层多、有水层、压力系数低、原油粘度高,需进行蒸汽吞吐降粘开采的要求,采用 Sc—1、S27、SEP—1 等外加剂配制的加砂水泥进行固井。对特低压地层采用低密度水泥浆固井或采用双级注水泥工艺。对主力油层的附加压力可减少 $3 \sim 5 \text{MPa}$ 。使用 16 口井,合部合格对保护油气层起到了重要作用。

5、针对中原低渗透油气藏,渗透率低、储层埋藏较深、井底温度高、多层系压力系数悬殊、盐膏层与砂泥岩交互的特点,研制 R90 系列抗盐等 6 种外加剂,并应用高强度低密度水泥浆及尾管完井工艺。

6、针对四川碳酸盐岩气层等特点,研制新型油井水泥降失剂 CT11—1 和减阻剂 Sxy,以及微珠低密度水泥。优化了固井水泥浆的性能,扩大了应用范围,提高了固井质量。

7、针对长庆安塞低压低渗透油藏,研制了 As—5、NVA 等 3 种外加剂和白土低密度水泥浆,对改善水泥浆性能,提高固井质量保护油层起到了较好的作用。

(八)完井方法的选择

为了满足不同油气藏、不同井下作业及不同采油工艺的要求,针对不同情况选择不同完井方法,从而达到保护油气层、防止污染的目的。

1、先期防砂完井工艺——适用于块状砂岩油藏

(1)依据出砂层位粒度中值研究出充填砾石尺寸确定方法,砾石粒度系列和三种砾石直径与筛管缝隙配套系列。对填砂工艺进行改进。经 15 口井的试验,提高了砾石充填质量,砾石充填率达 100%,已在辽河稠油油藏开发中应用 210 口井。

(2)研制了“充气携砂液”,其密度低($0.5 \sim 0.7 \text{g/cm}^3$),悬浮携砂能力强,破胶好,耐高温(100°C),防粘土膨胀,性能稳定。在辽河稠油油藏开发中应用 4 口井,单井产量平均提高 39%。

(3)改进和研制了 3 种类型 4 种尺寸的扩孔钻头。牙轮可更换,每组牙轮在软地层可扩孔 40 米,中硬地层 20 米。

2、蒸汽驱完井工艺——适用于稠油热采油藏

(1)高温低密度油井水泥可抗 270°C 高温。

(2)WA—I、WA—II 型卡瓦式地锚及内压——提拉套管予应力固井工艺,适用于一次性套管固井,减少了施工程序。套管可耐 $270^\circ\text{C} \sim 350^\circ\text{C}$ 高温,延长了套管寿命。

(3)限位式双层套管扶正器在定向井预应力固井中的应用,保证了套管居中。CMY—I 型高温高压密封脂耐高温 350°C ,耐压 18MPa。在生产中使用良好,提高了稠油油藏蒸汽

驱完井的固井质量。

(4)完成了井身结构和完井方法的研究和设计,从而满足了注蒸汽工艺的需要。应用上述工艺技术共完成 250 口井,经 4 个井组注蒸汽试验,效果良好。

3、针对华北第三系中低渗透砂岩油藏的特点,根据地质条件、地层及储集层孔隙压力、破裂压力和试采、酸化压裂、钻井方面的技术要求,补充完善了一整套适合各种油藏的套管程序和完井方法。除常规完井方法外,还补充了尾管完成、筛管完成等方法。其中研制成功 15 种机械式和液压式尾管悬挂器及相配套的套管对接工具,形成了配套的尾管固井工艺技术,应用 373 口井,代替了进口工具,获得了显著的保护油层效果和效益。

4、针对四川碳酸盐岩裂缝气藏的特点,研究形成了以“插管封隔器”和“油管传输射孔”组成的一次性多用途完井管柱,能进行多相位、特厚层和夹层的负压射孔,单层(或分层)高压酸化,测试完井投产等综合应用的新工艺,新技术。

5、根据二连地区低压低渗透油藏特点,经过反复的研究,探索实践分析了筛管、裸眼、射孔等优缺点制定了射孔完井方法和工艺技术,为二连油田的开发创造了条件。

(九)负压射孔工艺技术

“七·五”期间,本课题在三个类型油气藏开展了十一个子课题的技术攻关,基本形成了中、低渗透砂岩油藏和灰岩气藏负压射孔配套技术。该成果在华北、中原、四川等油气田 1129 井次的试验应用,取得了显著保护油气层的效果。

1、负压深穿透射孔工艺技术

(1)研制成功了高温、高压射孔模拟试验装置,填补了国内空白。该装置耐压 60~80MPa,工作温度 180~230℃,耐时 48 小时,可模拟深井、超深井条件下进行射孔试验,为研究射孔污染机理、检测射孔弹,优化设计提出了一套可靠的设备。

(2)完成了射孔损害机理和优化设计研究。弄清了射孔污染机理。其中成孔过程中主要是压实损害,用染色法测定孔眼周围压实带厚度。用二维射孔岩心靶计算软件计算压实带渗透率,用岩心靶流动试验法确定合理负压值。达到八十年代末国际先进水平。研究射孔过程中,产能与各损害参数之间的定量关系,并按大小顺序排列,完成优化设计软件,经华北 11 井次工业性试验,增产 15~25%,现已推广应用。

(3)研制高温深射弹以及相配套的起爆、传爆装置。深射弹耐温 180~230℃,耐压 50MPa、耐时 30 小时,穿透混凝土靶 287.5~294.4mm 超过国家下达指标。压力延期和电子起爆器及传爆装置经现场试验应用,全部达到国家下达指标,成功率 100%。

(4)研制了三类十四组射孔液配方,经现场应用表皮系数大多为负值,堵塞比接近于 1,满足了冀中地区不同油层射孔的需要。

(5)研制了射孔检测仪,能延时 10~15 秒钟发射底部尾声弹,经现场 7 口井试验,记录曲线图形清晰,判断准确率 100%。研制了保护压力计的减震器,实现了下一次管同时完成射孔和测试任务。

2、89—1 型射孔弹和油管输送射孔新工艺:

(1)中原油田以现场试验为主导,进行了负压射孔技术的研究及应用。通过对现用三种射孔工艺的对比试验,寻找出各个工艺的优越性、适应性,从而得出了各种地质条件下的合理负压射孔方法,同时进行了射孔参数试验研究,弄清了各射孔参数对射孔井产能的影响,提出了比较科学的射孔参数。

(2)研制成功 89—1 型射孔弹及其配套技术:

89—1 型射孔弹,最高装药密度 16 孔/m,穿“API. RP43”混凝土靶,深度 238.5mm,改进后,射孔深度可达 350mm。经试验,采用 89—1 型枪射孔比原 51 型枪射孔,采油强度提高 100%。

(3)经试验可知:采用低伤害压井液配用 89—1 型射孔弹射孔比过油管射孔采油强度提高 132%;采用输送式负压射孔与一般的射孔比较,前者比后者采油强度高出 8.9%。

3、深井高压气藏含硫气井油管传输射孔工艺:

(1)该工艺采用高效能无杆堵射孔弹组成的大直径射孔枪,与杆管式封隔器配合,组成的一次性完井射孔管柱,对四川碳酸盐高压含硫气藏有足够的穿透其污染带,造成深而干净的出气通道,比电缆或过油管射孔不但完全可靠,且可有效地提高单井产能。

(2)该管柱主要部件包括:起爆装置、射孔弹、传爆系统及辅助装置。其性能优越,仅新型传爆管的采用就可使射孔成功率由原来的 68.7%上升为 90%。

(3)油管传输射孔工艺,1989 年推广 81 井次,成功率 89.3%,1990 年 1~8 月推广应用 80 井次,成功率达到 95%。

(二)投产技术

本工艺共开展五个课题(14 个专题)的技术攻关,研制成功适用于我国低渗透砂岩油气藏及碳酸盐岩气藏的五项工艺技术,形成了包括:低伤害压裂液、酸液、化学添加剂、井下管柱、快速返排、计算机程序设计及施工评价与监测软件系统等一整套投产工艺技术。此项技术的应用,对保护油气藏,防止污染,大幅度提高油气井产能,提高油田开发效果,发挥了重要作用。经华北、二连、中原、长庆、四川等油气田 1104 井次的现场应用,获得了较高的经济及社会效益。

1、水敏性低渗透砂岩油层解堵酸化压裂投产工艺技术:

(1)研制成功复合酸[HBSY]及溶蚀剂 FDS,其耐温 120℃,解堵能力强,可提高渗透率 2—3 倍;对氟化钙、氢氧化铁的消除率大于 90%,且与地层有较好的配伍性。根据冀中特点筛选出的聚季胺粘土稳定剂 AE—16921 防乳剂、8607 缓蚀剂、柠檬酸和 EDTA 二钠铁离子稳定剂等,经现场应用效果显著。

(2)研制成功(高、中、低)系列防损害压裂液,防膨率达 95%,残渣低于 7%,水解后表面张力降低 50%以上,易返排,压裂 280 井次,增油效果显著。

(3)采用先进的数学模型,结合现场实践经验,研制出酸化设计软件,及压裂设计软件,经现场 200 井次检验应用,符合率高。

(4)吸收国外压裂设计软件的优点,编制出适合华北的压裂设计程序和效果预测方法,经试验,与施工效果吻合率达 80%,施工砂堵率仅 1%。对华北地区压裂施工起了重要的指导作用。

2、研究形成二连地区压裂投产配套工艺技术

(1)研制成功适应二连油田地温 30~80℃(不同地区)的压裂配方系列,其流变性良好,滤失小、在地面管道和井筒中水力摩阻低、对油层损害小、成本低。经现场 172 井次的应用,效果明显。

(2)HA—1—2 型复合型粘土稳定剂及高效降滤失剂的研制与应用,可有效地抑制粘土膨胀,而且使压裂液的滤失系数值降低了 11—25%。

(3)进行了二连油田,地应力分布状况,及压裂裂缝方位的研究,为今后井位的选择和调整井布置提供了较好的参考依据;利用地层测试和压力资料进行压前诊断和压后效果评价,可求得油层渗透率、表皮系数、地层压力、支撑裂缝长度及裂缝导流能力,为压裂选井,压裂规模的确定和压裂效果分析提供依据,也为压裂设计优化准备了必要条件。

(4)针对油层存在非均质性,和部分油井射孔段较长情况,试验应用了分层选压工艺技术,共试验应用 82 口井,增产效果明显。

(5)形成了压裂投产、注水同步并采用 PTA 先期防膨的配套工艺技术,据 134 口可对比井统计,到 1989 年底累计增产原油 $13.52 \times 10^4 \text{t}$ 。

3、低伤害压裂液(HT—21)、酸液(LD871)及配套压裂酸化工艺技术:

(1)HT—21 型高温低伤害压裂液:该压裂液体系耐高温(150°C),热剪切稳定强(150°C 、 170s^{-1} 、 2h , $\mu\text{a} \geq 113\text{MPa} \cdot \text{s}$)伤害低(采用含伊利石、蒙脱石粘土成分的天然岩心测试,其平均伤害率 $\leq 16.06\%$),与地层流体配伍性好,化学稳定性强,易配制,易返排。

(2)LD871 型高温低伤害酸液,该酸液体系耐高温(150°C),穿透深度大($1.0 \sim 1.5\text{m}$),伤害小,可有效预防氢氧化物沉淀以及减少 CaF_2 的生成,主体酸溶解硅质的能力是土酸的 21 倍,但生成的沉淀物仅相当于土酸的 0.5%。

(3)研制成功分层压裂,分层酸化管柱,其结构组成:

分压管柱:Y22+114 封隔器+QDB 水力锚+Y241——114 桥式封隔器

分酸管柱:Y341——114 封隔器+定向滑套阀水力锚

该两套管柱耐高温、耐高压、深井施工安全可靠。

(4)研制成功压裂优化设计程序系统:该系统包括二维、三维压裂设计程序及产量预测和经济评价程序,还包括二维、三维动态裂缝监测软件,经 107 井次试验应用,成功率 100%,有效率 88.5%。

4、安塞长 6 低渗透油藏压裂投产工艺技术:

(1)新型改性田菁压裂液具有携砂能力强、伤害小、成本低等特点,89 年度推广使用 94 口井,平均砂比 31.01 与原 PHMP 和 CF—6 型压裂液比较,每立方米成本降低了 277.56 元。

(2)开展了压裂优化设计及不同压裂规模的增产稳产试验,优选加砂强度,由原来的 $0.845\text{m}^3/\text{m}$ 提高到 $1.40\text{m}^3/\text{m}$,平均单井日产量由 2.967t 提高到 4.43t,增产幅度 49.6%。

(3)加强完井投产过程中保护油层技术的研究,不断提高油井产能,安塞长 6 油层,在采用保护油层的钻井、完井及压裂技术后,使油井投产后的日产量由 1989 年的 2.0t 提高到目前的 3.3t,提高幅度达 65%。

5、碳酸盐岩低渗透气藏酸化投产技术:

(1)该工艺由以具有高粘度、低滤失且与岩层反应速度慢的胶凝酸及泡沫酸,加入多种化学添加剂配制成的酸液为主,配合一整套适合四川碳酸盐岩低渗气藏特点的包括:选井、优化设计、质量控制及后期管理等投产工艺技术组成。

(2)CT1—6 型胶凝酸、腐蚀速度慢($90 \sim 120^\circ\text{C}$ 腐蚀速度小于 $21\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)粘度高($40 \sim 90^\circ\text{C}$, 170s^{-1} 其粘度值分别为 $49.4\text{MPa} \cdot \text{s}$ 及 $17.9\text{MPa} \cdot \text{s}$)。

(3)泡沫酸化设计软件

经模拟优选,数学求解,程序编制,研制出适应于碳酸盐储层的泡沫酸化设计软件。该