

BAOHU YOUQICENG JISHU

保护油气层技术

(第三版)

徐同台 熊友明 康毅力 等编著



石油工业出版社

保护油气层技术

(第三版)

徐同台 熊友明 康毅力 等编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书系统介绍了保护油气层技术的概念和方法,始终强调保护油气层的重要性、必要性和紧迫性,重点突出这项系列技术的研究思路和方法要点,是一本推广保护油气层系列技术的科普读物。第三版在修订过程中,补充了近几年国内外总结完善出来的新技术,进一步增强了本书的实用性。

本书既可作为从事石油勘探、钻井、完井、开发、开采、井下作业等专业技术人员的自学参考书,也可作为石油院校相关专业学生教材。

图书在版编目(CIP)数据

保护油气层技术 / 徐同台等编著. —3版.

北京:石油工业出版社,2010.11

ISBN 978-7-5021-7938-0

- I. 保…
- II. 徐…
- III. ①油层—保护
②气层—保护
- IV. TE 258

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第149129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) 64523575 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2010年11月第3版 2011年7月第10次印刷

850×1168毫米 开本:1/32 印张:9.375

字数:224千字

定价:20.00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

序

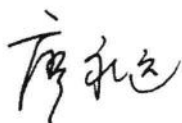
保护油气层技术研究及其应用是一项涉及多学科、多专业、多部门并贯穿整个油气钻探及开发生产过程的系统工程。油气层损害不仅降低了油气井产出或注入井注入能力，降低油气采收率，而且还造成宝贵油气资源的长久闲置和浪费。为了有效控制油气层损害，国内外科技界进行了长达40余年的不懈努力，在理论研究和实用技术研发方面取得了重要进展。

目前，我国已经成为世界油气层保护技术研究与应用的一支重要力量，持续投入的人力、经费及推广应用规模均位居世界前列。自“七五”国家重点科技攻关以来，对中低渗透油气层保护技术、水平井钻井完井油气层保护技术、注水开发生产保护油层技术、探井保护油气层技术、裂缝性致密砂岩和碳酸盐岩气层保护技术进行了连续的攻关，保护油气层技术实现了跨越式发展。保护油气层理论与技术仍是石油与天然气工程学科的前沿和研究热点。“十一五”期间启动的国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”中含有多项与油气层保护研究相关的课题、专题，相信必将进一步推动我国在此领域的快速发展。

油气能源安全是我国安全战略的重要组成部分。要利用好国内、国外两种资源、两个市场，确保国家经济和社会发展对油气能源的基本需求，是广大石油科技人员的光荣使命，也是时代赋予我们的神圣职责。当前，我国油气勘探开发面临上山、下海、进深层、出国等新形势，油气资源品质下降，工程环境异常复杂，技术难度大，开发成本高。必须坚持科学技术是第一生产力，以油气藏为本，将保护油气藏的理念贯穿于勘探开发全过程。以往我们讲，地面适应地下、地质决定工程。通过

多年实践证明，在各项作业中是否做好油气层保护是检验工程作业是否真正成功的试金石，也是工程适应油气藏地质特性的基本体现。

中国石油天然气集团公司历任各级领导都十分重视保护油气层工作，多次做出重要指示，设立科技攻关项目，组织技术干部培训，促进新技术推广应用。《保护油气层技术》一书的出版对传播保护油气层理念、普及保护油气层知识，加速我国保护油气层技术大规模推广应用已经发挥了重要的历史性作用。相信该书的不断充实更新、再版发行会继续推动学科建设和人才培养。也希望各油气田主动结合生产实际，创造性地研发并应用保护油气层技术，为我国油气增储上产做出新贡献。



2010年5月12日

第三版前言

根据中国石油天然气集团公司领导关于加快推广应用保护油气层技术的指示精神，集团公司原钻井工程局、人事教育局、新技术推广中心、开发生产局、勘探局、科技发展局等共同组织原西南石油学院完井技术中心编写了《保护油气层技术》一书。本书第一版于1995年4月出版，第二版于2003年3月出版。本书问世以来，深受石油系统从事油气勘探、钻井、完井、开发、采油及井下作业等专业技术人员、科研院所的科研人员和石油院校师生的普遍认同。本书出版对强化各级领导和专业技术人员的保护油气层理念、对持续发展保护油气层理论与技术、对加速我国保护油气层技术大规模推广应用都做出了不可磨灭的贡献。目前，各油气田主动结合生产实际，创造性地推广应用并不断完善保护油气层技术，已成为我国油气增储上产的关键技术之一。

本书自第二版出版发行以来，又已过去7年多的时间。在这期间，随着各油气田推广应用保护油气层技术的不断深入，该项系列技术也在不断地发展和创新。因此，在本书第三版的修订过程中，编著者在继续保持第二版原有的系统性、先进性、实用性和普及性的基础上，增补了近年来国内外科研取得的新认识和最新技术发展。

本书第三版由徐同台、熊友明、康毅力负责组织编写。其中，第一章由徐同台、康毅力、罗平亚编写；第二章由康毅力编写；第三章由熊友明、周理志、袁学芳等编写；第四章由康毅力、游利军编写；第五章由徐同台、邓明毅、郭小阳、李早元编写；第六章由熊友明编写；第七章由李洪建、熊友明编写；第

八章由段永刚编写；第九章由王富华、李军、徐同台、刘阿妮编写。最后，由徐同台、熊友明、康毅力对全书进行审定。

在《保护油气层技术》第一版、第二版以及第三版的编写、修订和出版过程中，得到了中国石油天然气集团公司有关领导及专家和石油工业出版社的大力支持和帮助，其中参加本书第一版编写大纲和书稿审查的专家有中国石油天然气集团公司原人事教育局王铁山、赵进锡，原勘探局廖启勋，原钻井工程局门廉魁，原石油勘探开发科学研究院孙宁、樊世忠、王欣、朱斌、何秉兰、王艳辉、陈继业、李章亚，西南石油学院王政蓉，石油大学鄢捷年、夏俭英、蒋官澄，江汉石油学院李淑廉、雷一鸣、周克厚、王松、王新海，西安石油学院张宁生、段勇，原华北石油管理局谭伦全，原辽河石油勘探局刘安建，石油工业出版社杨静芬等。在第三版的修订过程中，得到了西南石油大学石油工程学院、中国石油天然气集团公司油井完井技术中心、石油工业出版社、北京石大胡杨石油科技发展有限公司的支持和帮助。在此，编著者谨向以上单位和个人表示衷心的感谢！

保护油气层技术是一项涉及多学科、多专业、多部门并贯穿整个油气生产过程的系统工程。为了编写好本书，我们组织长期从事保护油气层技术研究与应用专家、教授共同参与编写和审定工作。本书既适合技术培训，又可以作为石油院校的本科生、专科生教材。由于我们水平有限，如有错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编著者

2010年5月

第二版前言

本书第一版自从1995年4月出版问世以来，深受石油系统从事油气田勘探、钻井、完井、井下作业及开发开采的工程技术人员以及科研院所的研究人员和石油院校的师生等广大读者的欢迎，第一版所印刷的3万1千册全部销售一空，为加速保护油气层系列技术在全国各油田的推广应用，加深各级领导和工程技术人员对保护油气层重要性、必要性、紧迫性的认识和对这一系列技术的基本理论、主要内容以及最新动态的了解做出了贡献。

自本书第一版出版以来，已过去了6年多的时间，在这期间，随着各油田推广应用保护油气层技术的不断深入，该项系列技术也在不断地发展和创新，因此，本书第二版的修订过程中，编著者在保持第一版原有风格的基础上，补充了近几年总结完善出来的一些国内外的最新技术，如应力敏感性评价、温度敏感性评价、正电胶钻井液、甲酸盐钻井液及聚合醇钻井液、裂缝性地层屏蔽暂堵技术、致密储层保护技术、压裂砾石充填防砂技术、隐型酸完井液等。

本书第二版由徐同台、赵敏、熊友明负责组织修订。各章修订人员如下：第一章，徐同台、罗平亚；第二章，康毅力；第三章，熊友明；第四章，杨贤友；第五章，徐同台、邓民毅、赵忠举；第六章，熊友明；第七章，赵敏；第八章，段永刚；第九章，徐同台、樊世忠、徐云英，并由鄢捷年审定。全书最后由徐同台、赵敏、熊友明定稿。

在《保护油气层技术》第一版和第二版的编写、修订和出版过程中，得到了中国石油天然气集团公司有关领导及专家和

石油工业出版社的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

编著者

2002年9月

第一版前言

根据中国石油天然气总公司领导关于加快推广应用保护油气层技术的指示精神，总公司钻井工程局、人事教育局、新技术推广中心、开发生产局、勘探局、科技发展局等共同组织西南石油学院油井完井技术中心编写了《保护油气层技术》。编写此书的目的是加速保护油气层系列技术在全国各油田的推广应用，加深各级领导和工程技术人员对保护油气层重要性、必要性、紧迫性的认识和对这一系列技术的基本理论、主要内容，以及最新发展动态的了解。使各油田领导与技术人员主动结合生产实际，推广和应用完善这项技术。使保护油气层技术成为提高我国石油工业经济效益的重要技术措施之一。

我国“七五”、“八五”期间，对钻井、完井、油田开发生产中保护油气层技术进行了科研攻关与推广应用，取得了较好的效果，此项技术已逐渐成为石油工业增储上产的关键技术之一。本书系统地概述了国内外保护油气层技术的研究和应用成果，突出研究思路，技术要点及方法。

本书由赵敏、徐同台负责组织编写，第一章由徐同台、罗平亚编写，万仁溥、杨贤友、张绍槐审定。第二章由康毅力编写，沈明道审定。第三章由熊友明编写，杨贤友、赵敏审定。第四章由吴志均、杨贤友编写，徐同台审定。第五章由汪建军、徐同台、郭晓阳编写，罗平亚、杨贤友、李章亚审定。第六章由潘迎德编写，李章亚、徐同台、高锡伍审定。第七章第一、二、三、四节由赵敏编写，第五节由杨普华编写，刘万赋、吴奇、魏顶民、赵忠杨审定。第八章第一、二节由段永刚、万文江、孟维宏编写，高锡伍、郑新权审定；第三节由陆大卫、曹

嘉猷编写。第九章由徐同台、樊世忠编写。

参加本书编写大纲和书稿审查的还有中国石油天然气总公司人事教育局王铁山、赵进锡，勘探局廖启勋，钻井工程局门廉魁，石油勘探开发科学研究院孙宁、樊世忠、王欣、朱斌、何秉兰、王艳辉、陈继业、李庄亚，西南石油学院王政蓉，石油大学鄢捷年、夏俭英、蒋官澄，江汉石油学院本淑廉、雷一鸣、周克厚、王松、王新海，西安石油学院张宁生、段勇，华北石油管理局谭伦全，辽河石油勘探局刘安建，石油工业出版社杨静芬等。本书经他们多次认真会审和作者多次修改于1995年2月底定稿。本书自始至终得到石油工业出版社的通力协作，使其在很短时间内正式出版。在此，编者谨向以上单位和个人表示衷心的感谢。

保护油气层技术是一项涉及多学科、多专业、多部门并贯穿整个油气生产过程的系统工程。此项技术涉及地质、钻井、测井、试油、开发、采油、井下作业等多个专业部门，为了编好本书，我们组织长期从事保护油气层研究工作的各专业的教师和技术人员共同参与编写与审定。本书既适合技术培训，又可以作为高等教育的高级科普教材。由于时间短，我们水平有限，如有错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编著者

1995年2月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 保护油气层的重要性及主要内容	(2)
第二节 保护油气层技术的特点与思路	(8)
√ 第二章 岩心分析	(15)
第一节 岩心分析概述	(15)
第二节 岩心分析技术及应用	(20)
第三节 油气层潜在损害因素分析	(35)
√ 第三章 油气层损害的室内评价	(45)
第一节 概述	(45)
第二节 油气层敏感性评价	(47)
第三节 工作液对油气层的损害评价	(58)
√ 第四章 油气层损害机理	(62)
第一节 油气层损害类型	(62)
第二节 不同类型油气藏的损害特点	(77)
第五章 钻井完井保护油气层技术	(87)
第一节 钻井完井油气层损害原因分析	(87)
第二节 保护油气层钻井完井液	(92)
第三节 保护油气层钻井完井工艺	(115)
第四节 保护油气层的固井技术	(123)
第六章 完井过程中的保护油气层技术	(130)
第一节 完井方式概述	(130)
第二节 射孔完井的保护油气层技术	(135)
第三节 防砂完井的保护油气层技术	(148)
第四节 试油过程中的保护油气层技术	(168)

第七章 油气田开发生产中的保护油气层技术	(170)
第一节 概述	(170)
第二节 采油采气过程中的保护油气层技术	(174)
第三节 注水过程中的保护油层技术	(177)
第四节 增产作业中的保护油气层技术	(199)
第五节 修井作业中保护油气层技术	(209)
第六节 提高采收率中的保护油层技术	(214)
第八章 油气层损害的矿场评价技术	(231)
第一节 油气层损害矿场评价方法	(231)
第二节 油气层损害的评价参数	(236)
第三节 油气层损害的测井评价	(246)
第九章 近年来国外油气层保护技术新进展	(257)
第一节 保护油气层新型钻井液技术	(257)
第二节 钻完井过程减少油气层损害的解堵技术	(272)
第三节 储层损害补救技术	(276)
第四节 压裂和砾石充填作业中新型前置液	(277)
参考文献	(280)

第一章 绪 论

通常来说，在油气钻井、完井、修井、增产改造及开发生产过程中，造成流体产出或注入能力显著下降的现象称为油气层损害。狭义的油气层损害，特指油气层渗透率下降，其实质包括绝对渗透率下降和相对渗透率下降。油气层损害也是一类作用或过程，包括物理作用、化学作用、生物作用和热力作用，对应的损害类型称为物理损害、化学损害、生物损害和热力损害，它们是导致油气层渗透率下降的因素及方式。

国外早在 20 世纪 50 年代，便从岩心分析入手，深入研究油气层的水敏损害与微粒运移机理及防治措施。特别是 70 年代中期以来，连续召开油气层损害防治国际性专题学术会议，推动了油气层保护理论的传播和技术发展，迅速将实验研究成果应用于油气钻井、完井和开发方案的设计及生产实践中，形成了保护油气层系列技术，并融入各个具体的作业环节中，显著提高了各专项技术的水平。

我国石油科技工作者早在 20 世纪 50 年代就开始注意到油气层损害问题。川中会战时，就提出钻井完井液密度不宜过高，以免压死油气层。60 年代大庆会战时，为了减少对近井地带的油气层损害，对钻开油气层钻井完井液的密度和滤失量也提出了严格要求。长庆油田在 70 年代开始进行了岩心分析和敏感性分析，但由于受到仪器与技术条件限制，更进一步深入研究有困难。

直到 20 世纪 80 年代中期，在引进国外保护油气层新观念、新技术的基础上，我国才全面开展了保护油气层技术的研究工作，并在“七五”期间将“保护油气层、防止污染的钻井完井技术”列为国家重点攻关项目，原中国石油工业部科技司、开发

司、钻井司共同组织辽河、华北、长庆、四川、中原五个油田和石油大学、西南石油学院、江汉石油学院、石油勘探开发科学研究院、工程技术研究所等单位共同进行攻关，使我国保护油气层技术不仅在理论研究上，而且在生产实践中均取得较大发展，形成了适合我国中低渗透砂岩油气层地质特点的储层保护技术。

20世纪90年代以来，受全球油价低迷的影响，美国、加拿大、西欧国家在油气层损害机理研究、损害计算机模拟方面取得了重要进展。我国则基本未受油价不利因素的干扰，油气层保护研究深入开展，且重点在勘探、开发生产实用技术方面取得了进步，形成了自己的特色技术系列。“九五”以来我国在探井保护油气层技术、欠平衡钻井保护油气层技术、裂缝性致密砂岩气层保护技术、增产改造油气层保护技术、开发生产及提高采收率(EOR)保护技术等领域取得重大进展，开创了油气层保护的新局面，已形成自己的特色和优势。上述领域的科技进步标志着我国储层保护技术已经实现了从孔隙型向裂缝性储层、从常规中低渗油气藏向非常规油气藏、从油气开发井向探井、从钻井完井过程为主向以增产改造和开发生产及 EOR 过程为主的跨越。

第一节 保护油气层的重要性及主要内容



一、保护油气层的重要性

保护油气层是石油勘探开发过程中的重要技术措施之一，此项工作的质量直接关系到勘探、开发的效果。保护油气层的重要性有以下几方面。

1. 勘探过程中，采用保护油气层技术有利于及时发现油气层、准确评价油气层，直接关系到勘探目标资源潜力的评价和油气储量评估。

探井钻井完井过程中，如没有采取有效的保护油气层措施，油气层就可能受到严重损害，使一些有希望的油气层被误判为

干层或不具有工业价值，延误新的油气田或油气层的发现。例如辽河荣兴油田，1980年之前先后钻了9口探井，均因油气层受到损害而误判为没有工业价值，1989年，重新钻探此构造，采用保护油气层配套技术，所钻17口井均获得工业油流，钻探结果新增含油气面积 18.5km^2 ，探明原油储量上千万吨，新增天然气储量几十亿立方米。

此外，在钻井完井过程中，如果油气层受到钻井完井液的损害，会影响测井资料与试油结果对油气层渗透率、孔隙度、油水饱和度等参数的正确解释，从而影响油气层的判别，有时误把油气层判断为水层，从而影响油气储量的正确计算。例如华北油田岔37井（图1-1），该井的16层，井深2689.2~2695m，电测解释为水层。射孔试油过程中排出钻井完井液滤液 59m^3 后才产出纯油，试油结果日产油16.5t。该井的第19层，井深2801~2810m，电测解释也是水层。射孔试油过程中排出钻井完井液滤液 37m^3 后基本上产出纯油，日产油11.7t，水 1.4m^3 ，结论为含水油层。又如新疆夏子街油田，勘探初期采用普通钻井液钻进，油井产量较低，仅3~6t/d。该油田投入开发时，油层采用与油气层特性相匹配的低密度两性离子聚合物水包油屏蔽暂堵钻井完井液，完井后采用压裂投产，日产油一般为8~9t，最高达24t/d。储层级别从三类提高至二类。

近年来，冀东、华北、吉林、大港、大庆油田外围地区以及中国海洋石油渤海公司、南海西部公司，都发现了以前没有认识到的低阻油层，而且油层厚度不薄，储量可观。大港油田张海501井、港深61-1井通过MTD测试，发现测井解释为水层的大段地层实际为油层。低阻油层，除与其特定孔隙结构和导电矿物存在等因素有关外，工作液滤液侵入是形成“低阻”表象的重要原因。在鄂尔多斯盆地大牛地气田，采用常规钻井完井液打开目的层，从来未认为盒2+3段是气层，采用保护油气层钻井完井液技术后，大15井、大16井的盒2+3段呈现出

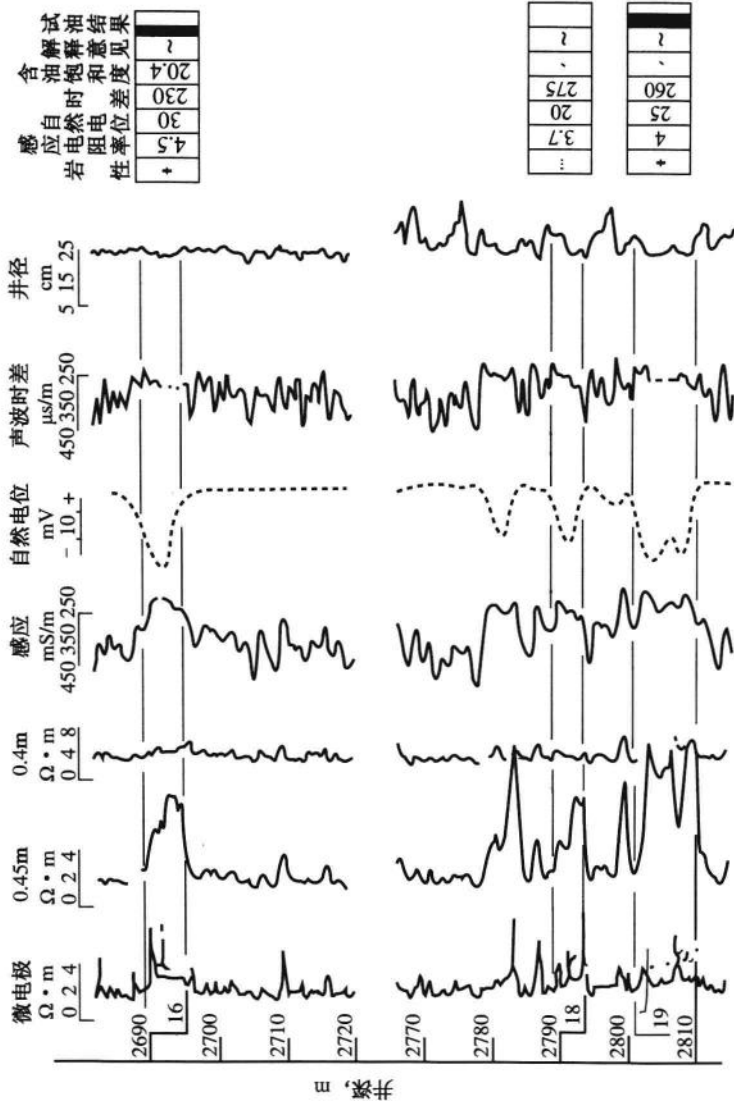


图 1-1 岔 37 井测井与试油解释结果