

保护储集层 技术

张绍槐 罗平亚等编著



石油工业出版社

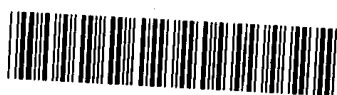
TE3/029

069735



保护储集层技术

张绍槐 罗平亚等 编著



200415817



石油工业出版社

(京) 新登字 082 号

内 容 提 要

本书全面阐述了油气储集层在施工作业中为什么会受到污染损害和怎么样才能使储集层得到有效保护这两个核心问题。书中围绕储集层的损害和保护各影响因素这一主线,从理论和实践的结合上说明了一系列重要的概念、观点、机理、方法和措施。它不仅实用性强,而且还有一定的理论深度。

本书可供从事石油地质、钻井、完井、采油、开发和井下作业等部门的科研人员参考,也可作为现场高级工程师培训班的培训教材和有关大学本科与研究生的选修课教材。

保 护 储 集 层 技 术

张绍槐 罗平亚等 编著

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 $24\frac{1}{2}$ 印张 607 千字 印 1-500

1993 年 5 月北京第 1 版 1993 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0795-9 / TE · 744

精装定价: 20.00 元

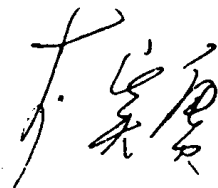
序

油气储集层在钻井、完井、开采、增产、修井等各种作业时，由于油藏本身物理的、化学的、热力学和水动力学等原有平衡状态的变化，以及各种作业因素的影响，往往使外来工作液与地层岩石之间和外来工作液与地层内油气水流体之间发生物理的、化学的或生物的等作用，从而导致储集层受到损害或得到不同效果的保护。

储集层的损害不仅降低了油气井产出或注入能力、降低了采收率，还不同程度地损害了宝贵的油气资源。为了防止储集层被损害，必须预先和实时采取保护性措施，这涉及多学科、多工种、多作业的相互协作配合，是一个系统工程，这就是近几年在国际上逐步形成和发展起来的保护储集层技术。

本书围绕储集层的损害和保护各影响因素这一主线，从理论和实践的結合上说明了一系列重要的概念、观点、机理、方法和措施。在概述国内外科技成果的同时，重点总结了中国石油天然气总公司油井完井技术中心近年在完成国家重点攻关课题中的成果和典型实例。本书不仅实用性强，而且还有一定的理论深度。本书在正式出版前，已经作为技术培训教材使用过几次，通过反复使用得到了完善和改进。

本书出版的直接目的是为石油行业地质、钻井、完井、试井、采油、井下作用等岗位工作的技术人员提供一本技术培训和继续工程教育的教材。迄今为止，国内还没有一本正式出版的《保护储集层技术》专著。我希望本书的出版能对开展和推广保护储集层技术有所指导，并能有利于促进我国保护储集层技术的完善和提高。



1991.1.17

前 言

保护储集层技术在国外开展得比较早，现在已形成了一套比较系统的理论和比较完整的配套技术，在实际生产中取得了重大的经济效益。我国对保护储集层技术的全面研究起步较晚。“七五”期间国家科委把“保护油层防止污染的钻井、完井技术”列为国家重点科技攻关项目，当时的石油部和现在的中国石油天然气总公司组织了地质、钻井、完井、采油、开发、井下作业等各个作业部门多学科的力量进行联合攻关。国内许多油田、院校和科研单位围绕这一课题进行了大量的文献情报调查研究、理论研究、科学实验和井下实验及生产实践等工作。到90年代初，我国在保护储集层技术方面的水平已逐步接近国际水平。

本书是根据我们近几年在研究保护储集层技术方面取得的科研成果和大量的生产实践资料，以及我们为各油气田举办保护储集层技术培训班而编写的培训教材（该教材已使用过多次），并在近年培养研究生工作的基础上进行总结提高和充实完善而著成的。

科学研究和生产实践表明油气储集层在钻井、完井、采油、增产、修井的各个作业环节中都可能受到不同程度的污染和损害。为了防止污染损害油气层和保护好储集层，必须全面认识储集层的性质和特征。还要能够对储集层受到污染的程度和采取保护性施工技术所取得效果的大小进行定性或定量地评价。为此，本书从理论和实践的结合上论述了导致储集层损害的原因和机理；阐述了岩石分析技术在认识和保护储集层技术中的应用；介绍了储集层敏感性评价实验和工作液配伍性等实验的方法和技术；讲述了用试井和测井技术评价储集层损害的方法和标准等。关于预防油气层受到污染和有效地保护储集层方面，本书系统地介绍了保护储集层的配套技术，包括保护储集层的钻井技术、钻井液和完井液技术、完井和射孔技术以及采油作业和增产措施作业技术等。概括而言，本书全面阐述了油气储集层在施工作业中为什么会受到污染损害以及怎么样才能使储集层得到有效保护这两个核心问题。

本书由张绍槐教授、罗平亚教授主编，熊汉桥任助理编辑。第一章和第五章的第一、三、四、五节由张绍槐执笔。第五章的第二节由张绍槐、沈明道共同执笔。第二章由沈明道执笔。第三章和第九章的第四节由何更生执笔。第四章的第一至七节和第九章的第一至三节由成绥民执笔。第四章的第八节由陈福煊执笔。第六章由周开吉、杨宪明执笔。第七章由罗平亚执笔。第八章由潘迎德执笔。第十章由赵立强执笔。全书由林玲、罗顺祥为激光照排打印全部书稿；由杨济林、冯小慧描绘全书图幅。本书得到中国石油天然气总公司李天相副总经理、李虞庚总工程师和钻井工程局、开发生产局、人事教育局等的大力支持；得到万仁溥、李克向、徐同台等同志的指导；经华北石油管理局游静裕和人事教育局胡纪生同志全面审查并提出了宝贵的意见；本书得到石油工业出版社的大力支持得以早日出版，在此一并致谢。

作者力求通过论述保护储集层的系统工程技术，加深对储集层损害与保护的理论知识，提高储集层的保护技术。由于本书涉及领域较广，且作者水平有限，如有错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

张绍槐、罗平亚

1991年10月

目 录

第一章 总 论

第一节 保护储集层防止污染技术的意义和定义	1
一、研究保护储集层技术的重要性	1
二、地层损害的定义	2
三、地层损害的原因	3
第二节 保护储集层防止污染技术的主要内容	10
一、保护储集层技术所涉及的技术范围	10
二、储集层保护技术的主要内容	11
第三节 保护储集层技术的主要思路、研究程序和工作方法	20
一、保护储集层技术的主要思路	20
二、现代岩性测定、敏感性实验和综合分析是保护油气层技术的重要基础工作	21
三、保护储集层技术是系统工程	21

第二章 岩石分析技术在保护储集层中的应用

第一节 岩石分析技术的目的与方法	23
一、岩石分析技术的概念	23
二、岩石分析研究的目的、内容和方法	23
三、国内外岩石分析技术应用进展简介	26
第二节 X 射线衍射 (XRD) 技术的应用	27
一、X 射线衍射物相分析	28
二、粘土矿物的粉晶衍射分析	28
三、X 射线衍射技术在保护储集层中的应用	50
四、物相计算机检索的原理和方法	52
第三节 扫描电镜 (SEM) 技术的应用	53
一、扫描电镜的特点及成象原理	53
二、电镜样品的制备和注意事项	53
三、扫描电镜对储集层敏感性组分的观测	54
四、地层损害污染实验扫描电镜下的观察	56
第四节 薄片技术在保护储集层中的应用	56
一、薄片技术的概念与类型	56
二、各类薄片技术的特点	56
第五节 岩石分析的其它技术简介	59
一、热分析技术	59
二、红外光谱技术	61
三、电子探针技术	61

第三章 储集层敏感性评价和工作液配伍性的实验方法和标准

第一节 室内评价实验的理论基础	63
一、岩石气测、液测及等价液体渗透率的概念	63
二、岩石的润湿性	67
三、岩石毛管压力及附加阻力效应	70
四、相渗透率和相对渗透率曲线	74
第二节 评价储集层敏感性及工作液配伍性室内实验的整体设计	76
一、室内评价实验的整体设计	76
二、实验岩心的选择	76
第三节 评价储集层敏感性及工作液配伍性的岩心流动实验	79
一、速敏性评价实验	79
二、水敏性评价实验	82
三、盐敏性评价实验	84
四、酸敏性评价实验	86
五、碱敏性评价实验	87
六、正反向流动实验	87
七、体积流量评价实验	88
八、钻井液滤失评价实验	89
九、系列流体评价实验	90
第四节 动态模拟实验及毛管压力曲线评价储集层损害	91
一、钻井液动态模拟实验	91
二、离心法所测毛管压力曲线快速评价工作液对储集层的损害	91

第四章 矿场评价储集层损害的方法和标准

第一节 储集层—油井损害模型	94
一、油井复合地层模型	94
二、油井有效半径模型	95
三、无限小井壁阻力模型	95
第二节 储集层损害的中途试井分析方法	96
一、中途测试压力曲线的解释方法	96
二、储集层损害的简化计算方法	98
第三节 储集层损害的完井试井分析方法	101
一、总(视)表皮系数	101
二、储集层损害计算方法	105
三、完井资料求储集层损害的方法	106
第四节 储集层损害的生产试井分析方法	108
一、储集层损害的一般试井分析方法	109
二、复杂油气藏储集层损害试井分析方法	115
第五节 储集层损害的现代试井分析方法	120

一、均质油藏现代试井分析方法	120
二、非均质油藏现代试井分析方法	123
第六节 储集层损害的早期试井分析方法	126
一、微积分法	126
二、经验方法	126
三、典型曲线法	126
四、灰色系统法 (完井中心法——CWCT 法)	129
第七节 均质、非均质储集层损害试井评价系列模式和标准	133
一、评价储集层损害的系列通式	133
二、均质储集层损害的试井分析方法	133
三、非均质储集层损害的试井分析方法	135
四、储集层损害现代试井分析程序	138
第八节 现代测井方法的评价与解释	140
一、评价储集层的岩性、粘土矿物类型和分布形式以及含量	140
二、评价钻井液对储集层的污染	146
三、不同钻井液对测井解释的影响	150

第五章 储集层损害机理

第一节 储集层损害机理的研究方法	159
一、储集层损害的内外因	159
二、储集层损害的分类	159
三、储集层损害机理的研究方法	160
第二节 储集层特征与储集层损害的关系	165
一、砂岩储集层岩石学特征及其对储集层损害的关系	166
二、砂岩储集层的孔隙和喉道特征对储集层损害的影响	171
三、储集层中油气水流体的性质对地层损害的影响	174
四、砂岩储集层损害类型特征和级别划分	176
五、砂岩储集层损害的主要特征	182
第三节 流体与岩石的相互作用	187
一、外来固相颗粒的侵入与堵塞	188
二、工作液滤液侵入及不配伍的注入流体造成的敏感性损害	188
三、储集层内部微粒运移造成的地层损害	191
四、出砂	195
五、细菌堵塞	196
第四节 外来流体与地层流体间的不配伍性	197
一、乳化堵塞	197
二、无机结垢堵塞	197
三、有机结垢堵塞	198
四、铁锈与腐蚀产物的堵塞	199
第五节 碳酸盐岩储集层损害机理的有关问题	199

一、对碳酸盐岩储集层特点的研究与认识	199
二、碳酸盐岩储集层损害的内因	202
三、在碳酸盐岩地层中正确处理井漏和井喷是保护储集层的重要内容	203

第六章 保护储集层的钻井技术

第一节 钻井过程中造成储集层损害的因素	205
一、压差	205
二、浸泡时间	206
三、环空流速	207
第二节 保护储集层的钻井技术	207
一、地下压力系统及检测技术	208
二、井内压力系统分析	210
三、平衡压力钻井技术	212
四、平衡压力井控技术	214
五、低压钻井技术	215
第三节 保护储集层的固井技术	221
一、固井作业中地层损害的原因	222
二、水泥浆对地层损害的研究	225
三、水泥浆污染机理分析	233
四、保护储集层的固井技术	235

第七章 保护储集层的钻井液、完井液技术

第一节 保护储集层的钻井液技术	239
一、钻井过程对储集层的损害	239
二、钻井完井液的类型	240
三、钻井完井液的基本要求	242
四、气体类钻井完井液	242
五、水基类钻井完井液	244
六、油基类完井液	253
第二节 水基完井液常用处理剂	254
一、加重材料	254
二、增粘剂	254
三、暂堵桥塞剂	254
四、可变形的填充粒子	254
五、降失水剂	254
六、防腐蚀剂	254
七、消泡剂	254
八、粘土防膨剂与粘土稳定剂	254
九、表面活性剂	257
第三节 保护储集层的射孔液	257

一、射孔液对储集层的污染	257
二、保护储集层的射孔液	258

第八章 保护储集层的完井技术

第一节 完井方法的优选	260
一、理想的完井方法	261
二、裸眼完井的特点及其适用的地质条件	262
三、衬管完井、砾石充填完井的特点及其适用的地质条件	263
四、射孔完井的特点及其适用的地质条件	265
五、其它完井方法适用的地质条件及其特点	266
六、优选完井方法的原则	269
第二节 射孔完成的油气层保护技术	273
一、射孔对产层的损害及损害程度评价标准	273
二、射孔参数对井产能的影响	283
三、射孔条件对产能的影响及其保护技术	289
四、射孔参数优化设计及其效果评价	298
第三节 衬管、砾石充填完成的油气层保护技术	303
一、储集层出砂机理及其对储集层的损害	303
二、衬管及砾石充填的防砂机理	306
三、砾石充填施工工序	311

第九章 采油作业中的保护储集层技术

第一节 在采油生产作业中的储集层保护技术	319
一、采油生产中储集层损害的分析	319
二、采油生产中对储集层的保护	320
三、采油生产中对储集层造成的损害	321
四、气举采油中对储集层的保护	322
五、机械采油中储集层损害的分析	322
六、机械采油中对储集层的保护	322
第二节 在注水、注气作业中的储集层保护技术	323
一、注水作业中储集层损害的分析	323
二、注水作业中对储集层的保护	325
三、注气作业中储集层损害的分析	326
四、注气作业中对储集层的保护	327
第三节 在提高采收率作业中的储集层保护技术	327
一、蒸汽驱中的油层损害及保护措施	328
二、用表面活性剂驱油中的油层损害及保护措施	331
三、聚合物驱中的油层损害及保护措施	334
第四节 修井作业中的储集层保护技术	335
一、修井作业中储集层损害的分析	336

二、修井时对储集层的保护	336
--------------------	-----

第十章 增产措施作业中的保护储集层技术

第一节 酸化作业中的保护储集层技术	340
一、概述	340
二、酸化作业中的储集层伤害	341
三、保护储集层的碳酸盐岩酸化投产技术	346
四、保护储集层的砂岩酸化技术	352
五、酸化对储集层伤害的评价	359
第二节 压裂作业中的保护储集层技术	364
一、压裂过程中造成储集层损害的原因	364
二、保护储集层的压裂技术	366
三、防伤害压裂液及支撑剂的室内评价	374
参考文献	378

第一章 总 论

石油天然气工业一诞生客观上就存在地层损害这个问题。在本世纪 30 年代初已提出了损害、损伤这个名词。国外保护油气层防止污染的钻井、完井技术在 70 年代已有较快的发展。此项技术受到各国政府能源部门, 各石油公司的重视。美国石油工程学会 (SPE) 于 1974 年召开了第一届防止地层损害国际学术会议, 自 1974 年起每两年召开一次学术会议, 专门讨论与交流有关这方面的技术问题。70 年代以来澄清了“好油井是伤害不了的, 保护不保护没什么关系”等等糊涂与错误概念。70 年代石油技术最重要的成就之一是在防止油层污染方面。近年, 保护油气层技术在国际上已发展成为油气勘探、开发各个生产作业全过程的一项重要技术。在 50 年代我国就注意到保护储集层和解放油气层这个概念的重要意义。80 年代更从理论和实践上认识到全面研究这个问题的必要性和重要性, 并开展了对保护油、气层防止污染的钻井、完井技术的研究。1987 年建立了中国石油天然气总公司油井完井技术中心, 面向全国负责该领域科技咨询、培训和科学研究工作。并于 1989 年得到联合国的援建, 开展了与国外的技术合作。油、气勘探与开发工作要求在钻井完井作业时, 及时而不遗漏地、无损害地发现油气层, 并在钻开油气层后形成原来就有的良好的流动通道, 建立油气井良好的生产条件; 还要在油气田开发、采油和增产、修井作业中始终保持储集层原有的生产能力并能采用特殊措施人为地改善生产条件, 以提高油、气产能。

地层损害不仅损失油气资源, 提高生产成本, 而且对石油天然气工业来说是一个非常复杂而严重的问题。在钻开油气层之前, 油气藏岩石及其矿物组分和其中所含流体基本上处于一种物理的、化学的、热动力学的、水动力学的平衡状态。地层损害可以由物理的、化学的、生物的及其复合作用而产生。在钻井、完井、采油、增产、修井等各作业中都可能破坏这种平衡状态, 从而导致地层损害。

近年的理论研究、科学实验和生产实践使我们认识到保护储集层技术是一个极为重要的关键技术, 它是一项保护油气资源和“少投入、多产出”的重要技术, 是一项涉及多学科、多部门、多专业的系统工程, 对这项技术的重要性无论怎样强调也不会过分。

第一节 保护储集层防止污染技术的意义和定义

石油天然气勘探开发工作者, 首先要懂得保护储集层技术的重要性和必要性, 认识储集层被损害的原因, 明确保护储集层防止污染技术的基本概念。

一、研究保护储集层技术的重要性

国内外大量的生产实践证明地层损害导致以下恶果:

①降低产能及产量, 影响试井与测井资料解释的正确性, 严重时可导致误诊、漏掉油气层甚至“枪毙”油气层, 这还会造成储量和产能估算不准、影响合理制定开发方案等。

②增加试油、酸化、压裂、解堵、修井等井下作业的工作量因而提高油气生产成本; 特别是在低油价时, 如果井下作业技术费用过高就从经济上导致不能进行井下作业甚至被迫停止油井生产。

③影响最终采收率，即损伤油气资源。任何一个国家，任何一个油气田，资源（即储量）总是有限的。特别是任何一个油气田随着油气藏剩余储量的减少和勘探开发成本的增加，迟早要达到或接近临界盈利状态，地层损害往往增加井下作业从而导致经济损失。

④地层损害的恶果还不只是上述三方面。从理论上来说，储集层的损害有可能是无限的，而增产措施的效果只是有限的，且很难达到一口井原始的潜在产能。这可以从试井参数的有效井眼半径（ r_w' ）与井眼半径（ r_w ）的关系式（ $r_w' = r_w e^{-S}$ ）来对比，并以表 1-1 中所举例的数据说明之。

表 1-1 用有效井眼半径来表示地层损害程度

对比项目 对比值 对比情况	K_d / K	表皮系数 S	井眼半径 r_w , cm	有效井眼半径 r_w' , cm	分析对比
地层损害	1 / 10	19.78	15.24	39.01×10^{-9}	有效井眼半径非常小，比原来减小的程度是 10^{-9} ，可见产油相当困难，产量很小很小
酸化改善	1 / 10	-19.8	15.24	110	有效井眼比原来增大 7.2 倍，虽有增产效果，但改善的程度有限

表中符号及说明参看图 1-2。

表 1-1 说明，用有效井眼半径来对比，比用 K_d / K 及表皮系数 S 对比更形象得多。表 1-1 中所例举之数据，证明地层损害的严重性比增产改善效果的有效性要大好几个数量级。用例举的量化数据来对比应该说足以引起我们对防止地层损害的重要性、必要性的充分重视了。

还要指出，储集层受污染被损害后，不得不采用酸化等措施来处理和改善，这不仅要关井停产还要付出相当高的作业费用。特别是在海洋和沙漠等石油开发区和地面作业环境恶劣的情况下，以及深井、超深井的开发条件下，作业费用往往很高很高，以致于在生产中不可能采用井下作业措施来企图改善已被损害的储集层。这就说明保护储集层防止地层损害的重要性。

二、地层损害的定义

地层损害一词来源于国际上英文通用词“Formation Damage”，严格来说应该指油、气储集层损害。

地层损害的原因是复杂的，认识地层损害需要多学科的知识，主要有矿物学（特别是粘土矿物学）、岩类学和岩相学、无机和有机化学、储集层地质学、物理化学、胶体和界面化学、热动力学、油层物理学、流体力学、渗流力学以及钻井、采油、试井、开发、增产等专业知识。不同类型储集层有不同的损害规律和特征，储集层损害存在于钻井、固井、完井、采油等各个作业环节，从状态上说是离散的。储集层损害是动态的，其状态参数随油气层开采的时间变化而变化，储集层损害是可以控制的，但有时是无法恢复原始生产能力的。储集层损害的普遍性和复杂性决定了分析研究要用系统的观点，需要组织多学科的技术人员

和统筹协调各个作业部门进行工作。

由于地层损害的原因是复杂的，认识和诊断地层损害需要多方面的知识，综合评价地层损害要分析对比一系列评价参数。所以，为了科学地认识、诊断、评价、预防和处理地层损害，给地层损害一个恰当而准确的定义是很有必要的。

理论和实践证明，储集层油气流入井底的过程中，压力损失集中在井底附近的近井壁带。这也就告诉我们近井壁带连通条件的好坏，该区实际渗透性的好坏，即被污染的程度或受保护的效果，对油气井的生产，乃至油气储集层的采收率都有着极重要的意义。所以，近井壁区是一个很重要的、需要认真研究的区带。据此，我们认为地层损害的较确切的定义为：当钻井、完井、采油、增产、修井等各种作业时，在储集层近井壁带造成流体（包括液流、气流或多相流，也可能在流体中还含有固体微粒）产出或注入自然能力的任何障碍都是地层损害。

保护储集层技术要区别不同类型油藏的特点而有针对性，并在弄清储集层特性的基础上，在查实损害原因的前提下，配套地优化各项作业技术，使地层损害减小到最低程度。

三、地层损害的原因

地层损害的原因是多方面的，也是复杂的，但是必须查明原因准确诊断才能有效预防与处理，兹举例如下：

美国阿拉斯加北坡沿岸 Prudhoe Bay 油田，在开发不久发现一些油井产量急剧下降，年下降率为 50~70%，而其他一些油井产量的年下降率仅为 10~20%。经过仔细考察，发现了碳酸钙在井筒附近岩层里的沉淀是造成损害的主要原因。该油田产层的地层水含 200ppmCa²⁺和 2000ppmHCO³⁻，在油藏原始情况下，它们与地层里的二氧化碳和碳酸钙处于平衡状态，如下式所示：



随着油田开发，油藏压力降低，CO₂ 压力也降低了，上式的平衡被破坏而由左向右产生化学反应，就产生了 CaCO₃ 沉淀：



找到原因后，对症下药向油藏注入 CO₂ 使油藏压力恢复，该油田有些区块的生产逐步恢复正常。这个例子有力地说明油藏原始平衡状态的破坏，往往导致储集层损害。

有人把储集层比喻为滤器，并说一个碳氢化合物的产层就象一个砂质滤器，一个砂质滤器之所以被堵塞是因为在工作时完井液中的固相颗粒侵入了。当液体渗漏入地层时，大于地层孔隙尺寸的颗粒被阻挡在炮眼中或被阻挡在地层表面上。小于地层孔隙尺寸或者说只有孔隙尺寸 1/2~1/3 的颗粒大多被携入地层孔隙中的孔喉部位。特别是小于 1μm 的微小颗粒对地层的损害很大。实际上，储集层往往有粘土和敏感性矿物及地层流体等，所以，远比一个砂质滤器要复杂得多。

钻开油层时钻井液和滤液侵入储集层的地层损害示意图如图 1-1 所示，井眼周围泄（采）油示意图如图 1-2 所示。

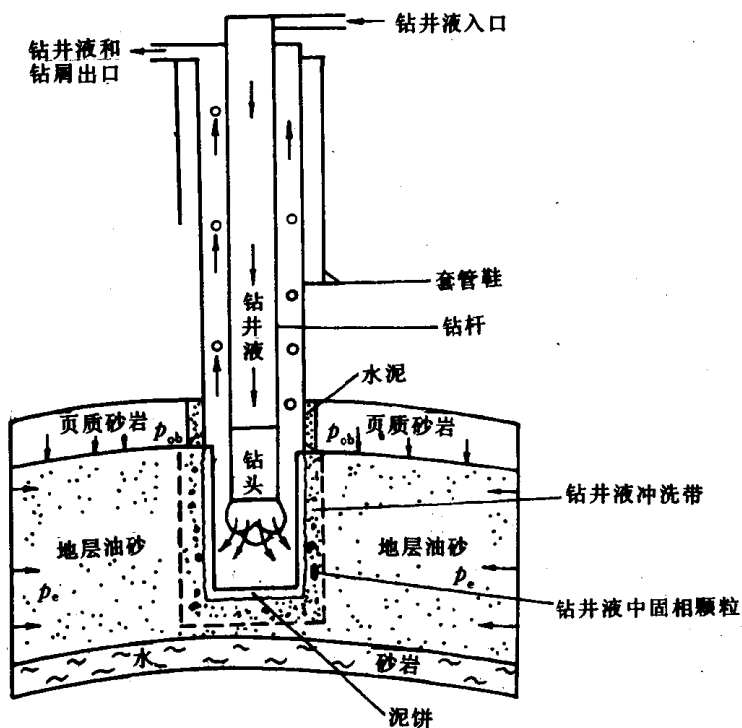


图 1-1 钻开油层时地层损害示意图

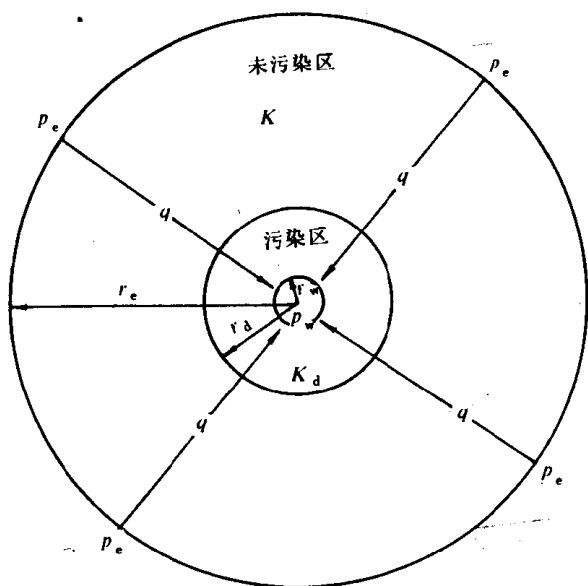


图 1-2 井眼周围泄(采)油示意图

K —储集层原始渗透率; K_d —污染区的渗透率;
 q —在给定压降 ($P_e - P_w$) 条件下的产量 (流量); P_e —储集层压力; P_w —井底压力; $P_e - P_w = \Delta P$ —从储集层到井底的压降, 它取决于 K_d 和 r_d / r_w 以及 K 和 r_e / r_w ; r_w —井眼半径; r_d —污染半径; r_e —该生产井泄 (采) 油半径;

表示地层损害程度的主要参数是 r_d 及 K_d 。影响 r_d 及 K_d 的主要因素有储集层特性 (这是内因) 和各种作业给予井眼和储集层的因素 (这是外因), 如压差、温度变化、作用时间、工作流体的固相与液相特性以及在井壁上形成的泥饼特性和井眼内的清洁程度等。

表 1-2 是 Basan1985 年对油气层损害的类型和原因的归纳和分类, 这属于经验性总结分析。

美国岩心公司总结了全世界约四千口井的资料, 得出了各作业环节地层损害严重性的相对规律和排序 (表 1-3)。显然, 微粒运移不仅在各种作业阶段都可能发生而且是最普遍性的严重者, 其次是乳化堵塞和水锁, 再其次是润湿反转和结垢。需要指出表中所列的十二种损害的每一种都至少在某一、二个作业条件下出现 4 个 * 号, 所不同的只是这些 4 个 * 号的出现与发生机会会有多少。

中国石油天然气总公司油井完井技术中心和华北石油管理局也对岔 15、郑 32 和宁

表 1-2 地层损害的类型与原因

损害类型	产生原因
1. 毛细现象 (1) 相对渗透率受影响 (2) 润湿性受影响 (3) 孔隙的液锁	(1) 在孔隙中水、油、气的相对含量改变 (2) 表面活性剂的侵入 (3) 粘性流体侵入
2. 固相侵入	有机和无机微粒的侵入
3. 结 垢	盐的沉淀
4. 岩石的损害 (1) 分散运移 (2) 微粒运移 (3) 矿物沉淀 (4) 晶格膨胀 (5) 非胶结	(1) 离子环境改变 (2) 胶结颗粒的松散溶解 (3) 矿物的溶解及重新化合 (4) 过多的水进入晶格 (5) 地层结构的疏松

表 1-3 建井和油藏开采的各个不同阶段地层损害严重性的相对大小 (据 J.O.Amaefule 等)

问题类型	建井阶段				油藏开采阶段		
	钻井固井	完井	修井	增产	钻杆测试 DST	一次采油	注液开采
固相颗粒堵塞	* * * *	* *	* * *	—	*	—	—
微粒运移	* * *	* * * *	* * *	* * * *	* * * *	* * *	* * *
粘土膨胀	* * * *	* *	* * *	—	—	—	* *
乳化水堵塞 / 水锁	* * *	* * * *	* *	* * * *	*	* * * *	* * * *
润湿反转	* *	* * *	* * *	* * * *	—	—	* * * *
相对渗透率下降	* * *	* * *	* * * *	* * *	—	* *	—
有机结垢	*	*	* * *	* * * *	—	* * * *	—
无机结垢	* *	* * *	* * * *	*	—	* * * *	* * *
外来颗粒堵塞	—	* * * *	* * *	* * *	—	—	* * * *
次生矿物沉淀	—	—	—	* * * *	—	—	* * *
细菌堵塞	* *	* *	* *	—	—	* *	* * * *
出砂	—	* * *	*	* * * *	—	* * *	* *

注: * 越多表示该类损害越严重。

断 层	层 位		损 害 因 素	作 业 环 节 分 析					
				钻 进	固 井	射 孔	试 油	采 油	注 水
岔 <									

50 三个断块近千口井总结了各作业环节的地层损害严重性相对大小的规律 (表 1-4)。

大量文献资料阐述了储集层损害的原因, 综合起来有下述 9 个方面:

①在油井建成（钻井、完井、修井、增产作业）和油藏开采（测试、一次采油、二次采油、三次采油等）期间的任何阶段都有可能发生地层损害，表 1-5 概括地说明了各作业环节对储集层的潜在损害原因及一般性预防、处理办法。

②在各种井下作业过程中,各种工作液要有一定的密度,通常用固相颗粒来调节工作液的密度,因此在工作液中都有有一定数量的固相颗粒,以及钻屑及井壁垮塌物等。井眼周围的