

现代储层保护技术

XIANDAI CHUCENG BAOHU JISHU

许明标 刘卫红 文守成 编著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

现代储层保护技术

XIANDAI CHUCENG BAOHU JISHU

许明标 刘卫红 文守成 编著



中國地質大學出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

图书在版编目 (CIP) 数据

现代储层保护技术/许明标, 刘卫红, 文守成编著. —武汉: 中国地质大学出版社, 2016. 12

ISBN 978-7-5625-3855-4

- I. ①现…
- II. ①许…②刘…③文
- III. ①油气-储层保护
- IV. ①TE258

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 152690 号

现代储层保护技术

许明标 刘卫红 文守成 编著

责任编辑: 徐润英

责任校对: 代莹

出版发行: 中国地质大学出版社 (武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮编: 430074

电 话: (027) 67883511 传真: (027) 67883580

E-mail: cbb@cug.edu.cn

经 销: 全国新华书店

http://www.cugp.cug.edu.cn

开本: 787 毫米×1 092 毫米 1/16

字数: 770 千字 印张: 29.75

版次: 2016 年 12 月第 1 版

印次: 2016 年 12 月第 1 次印刷

印刷: 武汉市籍缘印刷厂

印数: 1—500 册

ISBN 978-7-5625-3855-4

定价: 68.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

石油和天然气是人类赖以生存的重要能源，它们深埋于地下储集层中。科学研究和生产实践表明，从钻井、固井、完井、射孔、注水、增产到采完油气为止的各施工工艺环节，都可能不同程度地造成油气层伤害。油气层伤害的机理非常复杂，作业过程中的机械作用、外来流体的侵入以及地层与井筒中发生的化学变化均可能引起油气层伤害。为了降低勘探开发的成本，追求最佳经济效益，有必要开展油气层保护技术的研究。保护油气层是指根据油田地质和油藏工程设计提供的储层敏感性矿物分析资料和各种敏感性试验评价结果，对可能造成油气层伤害的各种潜在因素进行系统的分析研究，优选入井流体，优化实施工艺，从而减轻油气层伤害程度，充分发挥油层潜能，提高油田开发效益。

油气层保护工作在外国起步较早，20世纪30年代，油气层受损的问题就引起了美国等一些产油大国石油公司的注意。50年代开始机理研究，至70年代中期，油气层保护影响加大。1974年，美国石油工程师学会（SPE）召开了第一届“控制地层损害国际会议”，此后每两年召开一次，国际油气层保护研究工作从此纳入了正规化的发展轨道。我国的油气层保护工作起步较晚，真正有意识地将油气层保护提到石油系统的工作日程上是在80年代末，经过“七五”、“八五”的科技攻关已取得了巨大进展，尤其是90年代以来发展很快，获得了明显的经济效益。

本书结合国内外油气层保护现状，对油气层伤害评价、机理研究进行了全面的介绍。同时，对钻井、完井、采油及酸化压裂作业过程中的保护油气层技术进行了详细的阐述，并综合介绍了国内外保护油气层技术的现状及进展。本书编著者根据广泛收集的国内外相关文献资料，并结合自己的研究成果，理论联系实际，编写了这本书，希望能给广大石油系统工作者以及石油专业师生以参考和启迪，并促进油气层保护的进一步研究和发 展，从而推动我国在该技术领域方面的技术水平与应用工作。

本书共分8章，其主要内容包括概论、油气储层物质属性、油气层伤害评价、油气层伤害机理、钻完井作业中的油气层保护、钻完井工作液的油气层保护、采油作业中的油气层保护、酸化压裂作业中的油气层保护等。其中第1章、第2章、第3章、第5章、第6章由许明标编写，第4章由刘卫红编写，第7章、第8章由文守成编写。全书由许明标负责统稿。

由于本书涉及领域较广，且笔者水平有限，书中难免存在错误、疏漏以及不妥之处，敬请广大读者批评指正，使之不断完善。

编著者
2016年5月

目 录

第 1 章 概 论	(1)
§ 1.1 油气层保护技术的内容	(3)
§ 1.2 油气层保护技术的发展	(5)
第 2 章 油气储层物质属性	(7)
§ 2.1 含油气地层的形成及组成	(7)
§ 2.2 油气储层物质属性分析	(9)
2.2.1 油气层岩石分析取样	(11)
2.2.2 油气储层岩石化学分析	(11)
2.2.3 油气储层岩石矿物分析	(13)
2.2.4 油气储层岩石孔隙分析	(18)
2.2.5 油气储层孔隙流体分析	(28)
§ 2.3 黏土结构及属性	(30)
2.3.1 黏土的结构及特点	(30)
2.3.2 黏土矿物的 X 射线衍射特征及定性分析	(39)
2.3.3 黏土的膨胀	(42)
2.3.4 储层质量指数	(55)
2.3.5 水化指数	(56)
§ 2.4 油气地层的孔隙特征及结构	(57)
2.4.1 组构和结构	(57)
2.4.2 岩石渗透率	(57)
2.4.3 孔隙度	(62)
2.4.4 孔隙的连通性	(62)
2.4.5 孔隙和孔喉的大小分布	(63)
2.4.6 面积孔隙度	(65)
2.4.7 迂曲度	(65)
2.4.8 油气储层结构参数	(65)
2.4.9 岩石润湿性	(66)
2.4.10 毛管附加阻力效应	(71)
§ 2.5 油气层流体的物理化学性质	(75)
2.5.1 石油	(75)
2.5.2 天然气	(78)
2.5.3 地层水	(78)
§ 2.6 地层骨架及胶结物的化学属性	(81)
2.6.1 地层岩石骨架的化学属性	(81)

2.6.2	胶结物的化学属性成分	(85)
§ 2.7	油气层孔隙流体的流动属性	(86)
2.7.1	端点饱和度	(86)
2.7.2	流动函数	(86)
2.7.3	流动效率概念	(87)
2.7.4	幂律流动单元方程	(89)
2.7.5	溶解和沉淀作用对孔隙度和渗透率的影响	(89)
2.7.6	温度对孔隙度和渗透率的影响	(90)
2.7.7	达西修正公式及酸化渗透率	(90)
第3章	油气层伤害评价	(91)
§ 3.1	油气层伤害评价方法	(91)
3.1.1	油气层伤害评价基本方法	(91)
3.1.2	油气层伤害评价的流程	(92)
3.1.3	入井流体评价	(92)
3.1.4	工作液的静态损害评价	(93)
3.1.5	工作液的动态损害评价	(93)
3.1.6	渗透率分布	(93)
3.1.7	常用配伍性评价实验	(94)
§ 3.2	油气层敏感性评价	(95)
3.2.1	岩心敏感性系数	(95)
3.2.2	储层敏感性预测	(97)
3.2.3	速敏评价	(98)
3.2.4	水敏评价	(98)
3.2.5	盐敏评价	(99)
3.2.6	碱敏评价	(99)
3.2.7	酸敏评价	(100)
3.2.8	应力敏感性评价	(101)
3.2.9	温度敏感性评价	(102)
§ 3.3	油气层损害矿场评价	(103)
3.3.1	油气层损害模型	(103)
3.3.2	产量递减规律与储层伤害	(105)
3.3.3	储层损害的试井评价	(106)
3.3.4	均质及非均质储层伤害试井评价模式	(122)
3.3.5	钻井液储层伤害测井评价	(126)
第4章	油气层损害机理	(133)
§ 4.1	油气层损害的分类及研究途径	(133)
4.1.1	油气层损害的分类	(134)
4.1.2	油气层损害机理的研究途径	(136)
§ 4.2	油气层特征与油气层伤害的关系	(136)

4.2.1	岩石学特征及对油气层的损害	(137)
4.2.2	储层的敏感性矿物	(141)
4.2.3	储层岩石的润湿性	(143)
4.2.4	储层流体性质	(143)
4.2.5	油气藏环境	(144)
4.2.6	砂岩油气层损害类型特征和级别划分	(144)
§ 4.3	流体与岩石的的相互作用	(151)
4.3.1	外来固相颗粒的侵入与堵塞	(152)
4.3.2	滤液侵入及注入流体的敏感性损害	(153)
4.3.3	油气层内部微粒运移造成的地层损害	(155)
4.3.4	出砂	(160)
4.3.5	细菌堵塞	(161)
§ 4.4	外来流体与地层流体的作用	(161)
4.4.1	乳化堵塞	(161)
4.4.2	无机结垢堵塞	(162)
4.4.3	有机结垢堵塞	(163)
4.4.4	铁锈与腐蚀产物的堵塞	(164)
4.4.5	地层内固相沉淀的堵塞	(164)
4.4.6	外来流体进入油气层的损害	(164)
§ 4.5	孔隙介质中颗粒产生的油气层伤害	(165)
4.5.1	颗粒及作用在颗粒上的力	(165)
4.5.2	孔隙骨架中颗粒作用的速率方程	(168)
4.5.3	颗粒运移伤害模型	(175)
4.5.4	两相流微粒运移产生的地层伤害	(179)
§ 4.6	工程和储层环境与油气层伤害	(190)
4.6.1	作业或生产压差引起的油气层损害	(191)
4.6.2	温度变化引起的油气层损害	(192)
4.6.3	生产或作业时间对油气层损害的影响	(193)
§ 4.7	碳酸盐岩油气层的伤害	(193)
4.7.1	对碳酸盐岩油气层特点的研究与认识	(193)
4.7.2	碳酸盐岩油气层损害的内因	(195)
4.7.3	在碳酸盐岩地层中正确处理井漏和井喷是保护油气层的重要内容	(197)
§ 4.8	气层的伤害	(198)
4.8.1	气层压力敏感性	(198)
4.8.2	气层流速敏感性	(198)
4.8.3	气层水侵损害	(198)
4.8.4	气层油侵损害	(199)
第 5 章	钻完井作业中的油气层保护	(201)
§ 5.1	钻井过程中的油气层损害	(201)

5.1.1	钻井过程中油气层损害的原因	(201)
5.1.2	钻井过程中影响油气层损害程度的工程因素	(203)
§ 5.2	保护油气层的钻井技术	(207)
5.2.1	地层压力检测与分析	(207)
5.2.2	平衡压力钻井技术	(213)
5.2.3	欠平衡钻井技术	(216)
5.2.4	保护油气层的固井技术	(223)
§ 5.3	保护油气层的完井技术	(229)
5.3.1	完井过程中的油气层伤害	(229)
5.3.2	完井方式选择与油气层保护	(230)
5.3.3	射孔完井油气层保护技术	(234)
5.3.4	防砂完井油气层保护技术	(241)
5.3.5	裸眼完井油气层保护技术	(250)
5.3.6	试油过程中的油气层保护技术	(252)
第 6 章	钻完井工作液的油气层保护	(254)
§ 6.1	保护油气层的钻井液技术	(254)
6.1.1	保护油气层对钻井液的要求	(254)
6.1.2	钻开油气层钻井液的类型	(257)
6.1.3	钻井液对储层伤害原因分析	(265)
§ 6.2	储层钻开液技术	(269)
6.2.1	钻开液的出现及发展	(269)
6.2.2	低剪切速率黏度与储层伤害	(271)
6.2.3	颗粒级配暂堵保护技术	(272)
6.2.4	PLUS/KCl 钻开液技术	(287)
6.2.5	无黏土相弱凝胶钻开液技术	(290)
6.2.6	无固相高密度甲酸盐钻开液技术	(300)
6.2.7	油基钻井液的储层保护技术	(315)
6.2.8	钻井液体系优选原则	(321)
§ 6.3	保护油气层的固井水泥浆	(321)
6.3.1	水泥浆对油气层的损害因素	(321)
6.3.2	水泥浆对地层损害的研究	(324)
6.3.3	水泥浆污染机理分析	(330)
6.3.4	保护油气层的注水泥技术	(332)
6.3.5	固井作业储层伤害的再认识	(335)
§ 6.4	保护油气层的射孔液	(337)
6.4.1	射孔液对油气层的损害分析	(337)
6.4.2	保护油气层的射孔液	(338)
6.4.3	保护油气层射孔液的评价方法	(339)
§ 6.5	解除油气层伤害的破胶液	(340)

6.5.1	破胶解除技术的研究	(340)
6.5.2	现场破胶效果分析	(348)
§ 6.6	保护油气层的完井工作液	(349)
6.6.1	完井液设计的原则和性能指标	(349)
6.6.2	保护油气层的完井液类型	(351)
6.6.3	完井液可能引起的储层伤害	(361)
6.6.4	隐形酸完井液	(362)
§ 6.7	完井过程中的压井	(367)
6.7.1	压井基本要求	(367)
6.7.2	压井基本数据计算	(368)
第 7 章	采油作业中的油气层保护	(377)
§ 7.1	油气田开发生产中油气层保护的特点及意义	(377)
7.1.1	油气田开发生产中油气层损害的特点	(377)
7.1.2	油气田开发生产中保护油气层技术的基本思路	(378)
7.1.3	油气田开发生产中保护油气层的重要性	(379)
§ 7.2	采油生产中的油气层保护	(379)
7.2.1	工作制度不合理造成的油气层损害	(379)
7.2.2	采油过程中的保护油气层技术措施	(382)
7.2.3	气举采油中对油气层的保护措施	(383)
7.2.4	机械采油中对油气层的保护措施	(383)
§ 7.3	注水注气作业中的油气层保护	(384)
7.3.1	注水过程中油气层的损害机理	(385)
7.3.2	注水过程中的保护油气层技术	(388)
7.3.3	注气过程中油气层的损害机理	(390)
7.3.4	注气过程中的保护油气层技术	(391)
§ 7.4	提高采收率作业中的油气层保护	(391)
7.4.1	注蒸汽采油引起的地层损害	(392)
7.4.2	化学驱油中的地层损害	(395)
7.4.3	气体混相和非混相驱过程中地层损害	(399)
§ 7.5	修井作业中的油气层保护	(401)
7.5.1	修井作业中的地层损害	(401)
7.5.2	修井作业中的保护油气层技术	(402)
第 8 章	酸化压裂作业中的油气层保护	(406)
§ 8.1	酸化作业中的油气层保护	(406)
8.1.1	酸化液的组成及特点	(406)
8.1.2	酸化作业中的油气层损害	(410)
8.1.3	酸化作业中的保护油气层技术	(417)
§ 8.2	压裂作业中的油气层保护	(430)
8.2.1	压裂方式	(430)

8.2.2	压裂液的组成及特点	(431)
8.2.3	压裂作业的油气层伤害	(452)
8.2.4	压裂作业的油气层保护	(454)
8.2.5	页岩气储层特点及压裂作业的储层伤害与保护	(461)
8.2.6	煤层气储层特点及压裂作业的油气层保护	(463)
主要参考文献		(466)

第1章 概论

储层保护, 广义地说, 是在钻井、完井、储层改造、井下作业和油气增产及开采过程中, 最大限度地降低储层伤害的方法, 而储层伤害在大部分情况下是由于作业过程所导致的油气流动阻力增加、油气层渗透率下降的现象。

油气层保护技术又称保护油气层技术, 是防止油气层伤害的技术。油气层伤害与油气层保护常常在表达一个概念的情况下同时出现, 反映了与油气层油气流动相关的两个方面。文献所见油气层伤害有不同的提法, 包括油层损害、储层损害、油气层损害、地层损害、储层污染、油气层污染、油层污染、油层伤害、油气层伤害等。其中国外文献多用地层损害 (formation damage) 来表述, 国内多采用油气层伤害或油气层损害。

20 世纪 50 年代初, Bertness 就开始注意水伤害对产油的伤害, 而 Nowak 通过注水井压降曲线分析以了解注水能力及地层伤害, 不久 Monaghan 开始研究含黏土砂岩的储层伤害。整个 60 年代, 世界范围内的储层伤害研究仍然处于起步阶段, 研究活动比较冷清, 但是, White 注意到了水伤害对储层砂的敏感性, 直到 70 年代, 国外开始从分析油气层岩心入手来研究油气层损害机理和油气层伤害防治措施, 并将试验室研究成果应用于油气田钻井、完井和开发方案的设计及生产实践中, 形成了保护油气层的系列技术。没有公开的报道认为, 中国石油工作者也在 20 世纪 50 年代开始注意到施工作业所引起的油气层渗透率下降的问题, 川中石油会战时, 提出钻井液密度不宜过高, 以免封闭油气流动。20 世纪 60 年代大庆石油会战时, 为了减少对近井地带的油气层损害, 对钻开油气层的钻井液密度和滤失量提出了严格的要求。20 世纪 70 年代, 长庆油田开始油气层保护技术的研究, 并进行岩心分析和储层敏感性分析, 但由于实验设备和技术条件的限制, 深入的实验评价研究受到制约。20 世纪 80 年代, 在引进国外油气层保护技术理念和实验方法的基础上, 我国的油气层保护技术研究及现场实验工作开始全面展开, 并在“七五”期间将保护油气层的钻井完井技术列为国家重点攻关项目。原国家石油工业部科技司、开发司、钻井司共同组织辽河石油管理局、华北石油管理局、长庆石油勘探局、四川石油管理局、中原石油勘探局和中国石油大学、西南石油学院、江汉石油学院、石油勘探开发科学研究院、石油工程技术研究所等单位共同攻关, 使我国油气层保护技术不仅在理论研究上, 而且在生产实践中均取得了较大进展, 形成了适合我国油气田特点的油气层保护系列技术。自“八五”以来, 经过了“九五”、“十五”的不断研究, 储层保护技术不断完善, 得到进一步推广、应用和发展, 取得了较好的现场应用效果。

油气层保护技术是石油勘探开发过程中的重要技术之一, 油气层是否得到有效保护直接关系到油气田勘探、开发的效果, 是提高油气产量、降低开发投入、提高油气田经济效益的重要保障。疏通地层孔隙、降低油流阻力、改善导流能力、提高油井产能是油气层保护的主要任务, 而油气层的发现和识别、油气层的评估和计算、油气层的高产和稳产、油气层采收率的提高以及油气层的开发效益是油气层保护技术的核心。做好油气储层的保护是油气田得以生存和持续发展的基础。

在勘探作业过程中，油气层保护是发现油气层及进行储量评价的基础。探井、钻井及完井过程中，由于对储层的了解较少，在储层资料相对匮乏的情况下，钻井及完井过程及其工艺的设计和实施具有一定的盲目性。在更多的情况下，钻、完井作业以保障施工安全为主，因而忽略了对储层的保护工作。在没有有效的油气层保护措施的情况下，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，延误了新的油气田或油气层的发现。

在探井、钻井、完井过程中，油气层可能会受到钻井液、完井液的损害，这种损害可以直观地反映在测井曲线上，进而影响对油气层渗透率、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，甚至无法区分油气层与水层，更可能降低油气储量的计算精度。

在开发作业过程中，油气层保护是提高油气井产量和油气田开发经济效益的基础。保护油气层配套技术在钻井、完井过程中应用，可减少对油气层的损害，从而提高油气井产量。对于一个新投产的油田，进行钻井与开发方案总体设计时，能否按系统工程配套地应用油气层保护技术，直接影响该油田的经济效益。而老油田钻调整井时，采用保护油气层技术，同样可以收到较好的效果。

在生产作业过程中，油气层保护是油气井增产、稳产和高产的基础。在油气开采的漫长过程中，各项生产作业对油气层的损害不仅会发生在近井地带，往往还涉及到油气层深部，影响油气井的稳产。增产、注水和热采作业中，如果油气层受到损害就会影响增产效果。例如，对强酸敏油气层采用无防止酸敏损害的酸化作业，其结果非但没增产反而减产。对于水敏油层，若注水时没有采用防水敏措施，则随着注水工作的进行，注水压力会不断升高，吸水指数不断下降，最终达不到配注要求。

地层损害必然导致油气资源的浪费及开发生产成本的提高，保护油层的直接目的就是保护产能和提高最终采收率。从某种意义上说，油气资源是有限的、不可再生的，保护油层就是保护油气资源。当地层损害发生后，通常需采用酸化等作业措施来解除，这必然要关井、停产，增加作业次数，花费作业投入，使采油成本上升。其结果必然导致开发整体经济效益下降，且只能部分地解除损害。因此，地层损害给油田开发生产带来的损失是巨大的。

目前，我国的大部分油气田已处于开采的中、后期，油田作业的频率远远高于开采初期；石油天然气工业面临沙漠、海洋、沼泽等恶劣的地理环境，以及低渗油气藏、稠油、低压复杂油气藏或特殊油气藏的挑战。显然，控制各作业环节对油层的损害，实施油层保护系列技术，是提高作业效果的有效途径之一。

国内外不少实例已证实，开发生产过程中地层的损害达 20%~30%，前苏联多林油田和北多林油田因生产井中形成盐垢，致使开采中修井作业频繁，先后采用添加表面活性剂的淡水作挤注液，导致作业后油田产量下降。后经多次研究并实践，含水超高的油井采用二组分或多组分泡沫挤注抑制剂；含水低的油井，用脱水原油挤注盐垢抑制剂，使油井免修期增加一倍，节省了开采成本，提高了采出量。此例说明，油田开发晚期仍然存在着油层损害严重的问题，对油层进行保护仍然十分重要。

总之，在油田开发、生产的每一项作业中，搞好保护油气层工作将有利于油井稳产和增产，实现少投入多产出，获得较好的经济效益。

§ 1.1 油气层保护技术的内容

油气层保护技术的主要工作就是通过科学的方法和手段,在研究分析油气藏岩石、流体及地质属性的基础上,为高效无损伤地进行油气田开发及生产提供技术方案、支撑指导、伤害规避及控制措施和补救弥补方法。

油气层保护技术涵盖了从流体和岩石属性分析到油气层保护施工、方案设计及油气层保护技术、现场实施效果评价等不同的技术领域和作业部门,具体来说,其主要内容包括以下几个方面:

- (1) 油气层储层岩心分析及孔隙流体化学分析技术;
- (2) 油气层储层岩心属性分析测试技术;
- (3) 油气层敏感性评价;
- (4) 入井工作液损害评价、试验技术;
- (5) 油气层损害机理研究;
- (6) 油气层保护机理研究;
- (7) 油气层伤害解除技术;
- (8) 油气层保护技术系统方案设计;
- (9) 钻井过程中油气层损害和油气层保护技术;
- (10) 完井过程中油气层损害和油气层保护;
- (11) 油气田开发生产中的油气层损害和油气层保护技术;
- (12) 油气层损害现场诊断和矿场评价技术;
- (13) 油气层保护总体效果评价和经济效益综合分析技术。

上述内容的有机结合,形成了较为完善的油气层保护系统化技术,每项内容既彼此独立又彼此关联。

从油气层保护技术所涉及的内容不难看出,油气层保护技术是多学科和多专业的集合。要开展油气层伤害及保护措施研究,必然涉及到数学推导及计算、化学分析及物质反应、物理模型及力学机理等基础知识,涉及到矿物学、岩相学、地质学、渗流力学、岩石力学等专业基础理论,也涉及到油层物理、钻井工程、试油工程、开发工程、采油工程、地球物理测井、油田化学、机械设计等专业知识,需要电子技术、计算机等辅助手段来完善和简化施工手段和施工程序,只有充分运用这些学科的相关知识与最新研究成果,才能形成高效率、高水平的保护油气层配套技术。

油气层的保护技术是一项系统工程,贯穿油气田勘探开发全过程。从钻开油气层到完井、试油、采油、增产、修井、注水、热采的每一项油田开发作业过程,均可能使油气层受到损害,而且一旦后一项作业没有有效地进行油气层的保护工作,就有可能使前面所有施工作业程序中的保护油气层的效果部分或全部丧失。因此,油气层保护工作需要油田开发各个环节的重视和各个专业的配合才能达到对油气层持续的、有效的保护。从作业施工流程上看,油气层保护在油气开发的每个环节都需要给予重视,从油气开发专业上说,油气层保护在不同的专业方向都是该专业的核心内容之一。因此,油气层保护贯穿于整个油气田开发的全过程。只有所涉及的地质、钻井、测井、试油、采油、井下作业等诸多环节和诸多部门的

密切配合，协同工作，才能收到良好的效果。

油气层保护技术的研究对象是油气层，但是却具有很强的区域性和针对性。油气层的属性及特性资料是研究油气层保护方法的基础。由于不同地区和不同油田其油气层所处的地层深度不同，温度及压力环境不同，储层属性和孔隙流体属性存在极大的差异性，其油气层保护措施也具有极大的差异性。储层环境及储层属性的差异，需要油气层保护从储层特性出发来研究适合于一定储层条件的油气层保护技术，因此，油气层保护技术也是一门具有很强针对性的科学。

尽管油气层特性有共同点，其损害机理与防治措施也有共性之处。但不同类型油藏和油气层的特性又有许多不同之处。即使同一个油气层，如处于不同开发阶段，其特性参数亦会发生变化。此外，相同作业在不同工况下所诱发的油气层损害也不完全相同。因此，在确定每项作业的保护油气层技术措施时，应依据所研究的油气层处于不同开发阶段的特性来确定，否则会得到相反效果。清洁盐水是一种很好的射孔液和压井液，对于具有强碱敏的储层来说，如果采用工业盐和烧碱配制成 pH 值为 12 的一定密度的盐水作为压井液，压井过程中盐水产生漏失，将会使高碱性盐水进入储层，漏入油层的高碱性盐水使油层受到严重损害，表皮系数增加，原油产量下降。而依据油层特性，如果采用水合肼为防腐剂的清洁盐水作为压井液，油气层损害程度就有可能大大减轻。

油气层保护技术是一门实践性很强的科学，需要理论与实际的有机结合。油气层伤害的出现和油气层保护的实现都通过现场实践来体现。我们通过现场观察了解油气层的伤害及其对油井产能的影响，通过室内实验分析和大量的评价来探索油气层伤害的机理和解决油气层伤害的方法，然后再通过现场来验证实施方法的正确性、可靠性、稳定性和合理性，所以说油气层保护技术是来自现场又通过室内研究回归现场的一门实践性很强的科学；其研究方法需要微观研究与宏观研究的结合、机理研究与应用规律研究的结合、室内研究与现场实践的相结合，来实现对油气层伤害的精细描述、正确判断和有效保护。

油气层保护技术还是作业者和服务商之间的一种契约。油田作业者和管理者讲究的是投入产出比和综合效益，而服务商在自己的利益上讲究的也是投入产出比，二者之间存在矛盾。作业者和服务商本来是一个利益共同体，但是在实际的油田开发过程中，这种共同体常常被分离肢解。这就需要一种契约，规范服务商的作业活动，达到作业者最大的投资收益。另外，油气层保护还受制于油田属性和开发决策，一些低产油田没有进行保护的投资潜力，另一些高温高压油田没有可用的技术来进行保护，而一些高产油田，即使保护措施并不理想，其持有能力仍然极为可观。

从油气层保护技术的内容可以看出，油气层保护技术需要采用一定的研究方法，并透过一定的研究程序来实现对油气层伤害现象的分析和对油气层伤害程度的控制。依据不同的研究对象和研究目的，可能采用一种或数种研究方法，来综合判断和分析伤害原因，探索和评估解除伤害的方法。而就一般的研究和评估程序来说，基本上包括：

- (1) 分析油气层的岩石和流体属性，研究油气层的潜在损害因素与机理。
- (2) 收集现场资料，通过室内试验研究各作业过程中潜在损害的诱因、过程及防治。
- (3) 评估施工作业中所选择的油气层保护技术措施的可行性与经济上的合理性，并形成系列配套的油气层保护技术，纳入到钻井、完井、开发及每一项作业的具体设计中。
- (4) 施工作业结束后进行诊断与测试，获取油气层损害程度的信息，评价保护油气层的

效果和经济效益。通过反馈后视情况决定是否继续研究改进措施或补救措施。

(5) 计算机预测、诊断、评价和动态模拟。

油气层保护技术的设计及实施需要遵循以下基本原则:

(1) 依据油气层特性及流体特性选择入井工作液(如钻井液、水泥浆、射孔液、压井液与修井液等)的密度、类型和组分,降低压差,缩短浸泡时间,控制其液相和固相颗粒尽可能不进入或少进入油气层。如不能完全控制,则采用的工作液与油气层岩石和流体应尽可能相匹配,不诱发油气层潜在损害,或者控制工作液进入油气层的深度,并控制进入油气层工作液的组分,力求在油气井投产时可使用现代物理或化学方法加以解堵。

(2) 进行各种测试和采油作业时,应选择合理的压差,防止油气层中微粒运移、乳化;防止细菌及结垢堵塞以及水锁、出砂引起的渗透率降低。

(3) 油气田开发生产过程中,为增加油气层能量和驱替效果,必须向油层中注入各种流体,这些流体应与油气层和地层中流体相配伍,以减少对油气层的损害,使之有利于油气采出。

(4) 保护油气层技术尽可能立足于以预防为主,解堵为辅。由于油气层渗透率和孔隙度一旦受到损害,很难完全恢复,有些损害无法进行解堵。部分油气层受到损害后,即使可以解堵,但所花的费用也很高。

(5) 优选各项保护油气层技术时,既要考虑各项技术的先进性与有效性,更重要的是要考虑其经济上的可行性。

§ 1.2 油气层保护技术的发展

油气层保护技术真正的发展是 20 世纪 70 年代以后,它是在国际油价下跌、世界石油工业萎缩的时期发展起来的一项重要技术,在原油价格上扬、能源供应紧张的情况下得到重视和发展,对石油开发具有重要的作用和意义。在 70 年代以前,国外大多数开发生产的油田属于高压、高渗、高产油田,油气层损害带来的产量和产能损失被油井的高产量所掩盖,对油气层损害的认识和解决都没有迫切的要求。70 年代以后,油价波动衍生的原油生产成本日益突出,大量中、低渗透油田的开发被提上了议事日程,油气层损害的影响成为石油工业必须认真解决的技术难题;石油工程技术取得了重大进步,原有的技术难题大部分都得到了较好的解决,油气层保护技术的发展有了较好的基础,测试分析手段支撑储层保护的研究,油气层保护中的微粒分析使用电子显微镜和激光粒度分析仪等尖端技术得到普及应用,为储层保护的研究奠定了基础。

20 世纪 30 年代油气层受损的问题就引起了美国等一些产油大国石油公司的注意。从 20 世纪 50 年代开始,人们借助于岩心流动试验的方法研究钻井液及黏土膨胀引起的地层损害等问题。至 20 世纪 70 年代中期,油气层保护技术的重要性加大,1974 年美国石油工程师学会召开了第一届“控制地层损害国际会议”,并从此每两年召开一次,使国际油气层保护研究工作纳入了正轨。从历届会议发表的论文内容和数量来看,国际油气层保护技术的发展大致可以分为以下三个阶段:

第一阶段是 20 世纪 30~50 年代,油气层损害的研究工作进展很慢,主要是关于黏土水化膨胀和钻井液中固相及液相侵入引起的油气层损害。此阶段提出了储层保护的一些概念。

到了 70 年代，保护油气层、防止污染的钻井、完井技术有了较快的发展，对在静态条件下钻井液侵入岩心引起的孔隙堵塞进行了研究，通过对黏土膨胀和孔隙堵塞的研究，提出了新型的黏土稳定剂和含盐完井液及油基完井液。从此油气层损害机理的研究开始向深度和广度发展。从 1974 年开始，有了 SPE 专门组织的油气层损害研究的专业会议，大量防止油气层损害和保护油气层方面的论文及调查报告相继发表，以油气层损害机理，特别是孔隙性油气层的损害机理研究为主要特征。开始运用物理模型和数学模型来研究地层损害，提出了流体临界流速准则、临界盐浓度准则；“桥堵”概念得以确定。

第二阶段是 80 年代中后期，石油公司进一步加大了油气层保护的研究力度。1986 年，科学工作者从定性方面系统地总结了经验性的定性损害机理，从毛细现象、固相侵入、结垢及岩石储层自身损害因素等几个方面进行了全面的论述。突出地提出了采用扫描电镜是研究损害机理的重要手段，强调储层孔喉结构和敏感性矿物空间分布的重要性，在此基础上提出了损害储层的指标。发展了无固相饱和盐水钻井完井液和无黏土钻井完井液，为保护低压油气层发展了气体型钻井完井液。中国的第一届油田储层研究会议也于 1988 年 6 月 20 日在中原油田召开，这拉开了中国储层保护研究的序幕。与储层污染和保护相关的历年文献数量如图 1-1 所示。

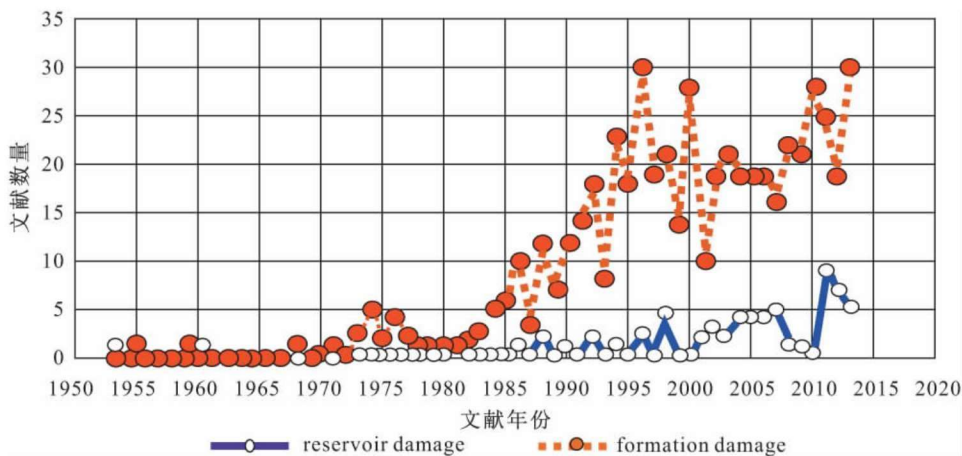


图 1-1 历年来与储层污染和保护相关的文献数量

第三个阶段是 20 世纪 90 年代。随着岩心分析和计算机技术的发展，X 衍射荧光分析技术、CT 扫描技术、核磁共振和岩相图像分析技术为油气层保护技术的发展提供了许多新的手段，孔隙性储层的损害机理得以强化，多数指标实现了从定性到定量的突破。综合各种模拟特征参数，系统地、科学地预测及评价孔隙性储层损害的人工智能专家系统技术日趋成熟。在此期间，水平井的油层保护、增产措施中的储层保护、注采过程中的储层保护、稠油热采中的储层保护得以重视，储层保护技术的外延不断扩大。

近年来，国外进一步发展了一些直接用于解除地层损害的方法，如利用超声波清蜡防蜡、除垢防垢、解堵等，用多元酶体系解除聚合物损害，用可聚合的超薄薄膜控制微粒运移，用细菌处理解决结蜡问题等。这些方法为解决地层损害提供了新的途径。油气层保护已经作为一种降本增产必不可少的手段，备受重视，未来必将得到进一步重视和发展。

第2章 油气储层物质属性

油气的埋藏需要一定的环境条件，目前业已开采的油气资源均存在于地层岩石的孔隙、裂缝及溶洞之中。从油气的产生到油气的运移，再到油气的储存，都需要一定的介质，而油气储存的孔隙介质属性对油气开采过程及油气开发产能具有较大的影响。本章将重点介绍油气储层的介质属性。

§ 2.1 含油气地层的形成及组成

通过沉积而形成的多孔地层是油气赋存的主要场合，沉积多孔地层的形成包括分散性介质中沉积物的分离沉积和沉积物的压实及蚀变作用。沉积物在漫长的地质时期内经受了以地应力、热和流体流动条件为主的四种成岩作用：①沉积颗粒的机械形变；②沉积颗粒矿物的溶解；③沉积颗粒的蚀变；④沉积孔隙中充填的矿物、黏土、胶结物和其他物质的沉淀。这些作用决定了含油地层的特性和潜在的地层伤害。

沉积物从水体分离沉积至沉积岩石固结，直到变质作用发生之前所发生的一切机械、物理和化学变化称为沉积成岩作用，一般包括沉积物的压实作用、胶结作用、交代作用、结晶作用、淋滤作用、水合作用和生物化学作用等。这些作用通常是在压力、温度不高的地壳表层发生。

地表以下的地层，主要由原地物质组成，但可能含有外来物质。原地物质包括碎屑物质和成岩物质。碎屑物质在岩石形成过程中产生并作为紧密填充物和混合的矿物质构成或存在于岩石骨架内（图 2-1、图 2-2）；成岩（或自生）物质是现有填充沉积物中，由各种岩石—液体间相互作用而形成，并位于孔隙空间内部，作为松散附着的孔隙充填、孔壁附着和孔隙搭桥的沉淀物而存在。它们直接与孔隙液体接触，因此地层伤害的可能性较大。而外来物质是因钻井、修井、储层改造等油气开发作业引入的。

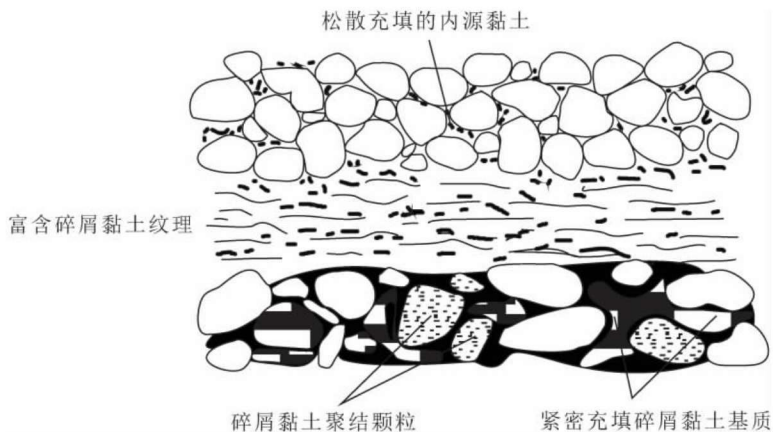


图 2-1 典型砂岩中黏土矿物的沉积类型