

高等职业技术教育教学用书

保护油气层技术

BAO HU YOU QI CENG JI SHU

孙树强 编著

■ 中国石油大学出版社



高等职业技术教育教学用书

保护油气层技术

孙树强 编著

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

保护油气层技术/孙树强编著. —东营:中国石油大学出版社,2005.8

ISBN 7-5636-2105-9

I. 保... II. 孙... III. ①油层—保护②气层—保护 IV. TE258

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 095121 号

书 名: 保护油气层技术

作 者: 孙树强

.....
责任编辑: 李 锋 (电话 0546 - 8392791)

封面设计: 傅荣治 (电话 0546 - 8391805)

.....
出版者: 中国石油大学出版社 (山东 东营, 邮编 257061)

网 址: <http://cbs.hdpu.edu.cn>

电子信箱: bianwn@mail.hdpu.edu.cn

排 版 者: 中国石油大学出版社排版中心

印 刷 者: 中国石油大学印刷厂

发 行 者: 中国石油大学出版社 (电话 0546 - 8391797)

开 本: 185×260 印张:8 字数:197千字

版 次: 2005年8月第1版第1次印刷

定 价: 19.00元

前 言

保护油气层技术是石油工业 20 世纪 70 年代以后发展起来的一项新兴系列技术,它对及时发现油气藏,正确评价油气藏,提高油气可采储量,充分利用油气资源,保护油井产能,提高油气产量,降低原油生产成本具有十分重大的意义和不可替代的作用。

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。本书以保护油气层技术的发展背景、总体思路、技术特点和技术要点为主要内容,就岩心分析、油气层损害的室内评价、油气层损害机理及钻井、完井、油气田开发生产等环节中的保护油气层技术进行了比较系统的论述,力求做到理论与实践的较好结合。本书由山东胜利职业学院的孙松尧副教授主审,对本书提出了许多中肯意见,使本书得到更好的充实,山东胜利职业学院的各级领导对本书的出版给予了大力支持,在此一并表示深切的谢意。

本书可作为石油工程专业的教科书,也可作为相关专业技术人员技术培训和自学的参考资料。

由于时间短,编者水平有限,书中定有错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者
2005 年 6 月

第一章 绪论	1
第一节 保护油气层的重要性及主要内容	1
一、保护油气层的重要性	1
二、保护油气层技术的主要内容	2
第二节 保护油气层技术的特点与思路	3
一、保护油气层技术的特点	3
二、保护油气层系统工程的技术思路	3
第三节 保护油气层技术的发展历程	4
一、国外保护油气层技术的发展历程	4
二、国内保护油气层工作的发展历程	5
第二章 岩心分析	7
第一节 概述	7
一、岩心分析的目的和意义	7
二、岩心分析的内容	8
第二节 岩心分析技术	9
一、X射线衍射分析	9
二、红外光谱分析	9
三、扫描电子显微镜观察	9
四、薄片鉴定	10
五、毛管压力的测定	10
六、孔隙度	10
七、气体渗透率	11
八、岩心分析技术应用展望	11
第三章 油气层损害的室内评价	13
第一节 概述	13
第二节 油气层敏感性评价	14
一、速敏评价实验	14
二、水敏评价实验	15
三、盐敏评价实验	16
四、碱敏评价实验	17
五、酸敏评价实验	18
六、应力敏感性评价实验	19
七、温度敏感性评价实验	19

第三节 作液对油气层的损害评价	19
一、工作液的静态损害评价	20
二、工作液的动态损害评价	20
三、用多点渗透率仪测量损害深度和损害程度	20
四、其他评价实验简介	20
第四章 油气层损害机理	22
第一节 油气层潜在损害因素	22
一、油气层储渗空间	22
二、油气层的敏感性矿物	23
三、油气层岩石的润湿性	24
四、油气层流体性质	25
五、油气藏环境	26
第二节 外因作用下引起的油气层损害	26
一、外界流体进入油气层引起的损害	26
二、工程因素和油气层环境条件发生变化造成的损害	28
第五章 钻井过程中的保护油气层技术	32
第一节 钻井过程中造成油气层损害的原因分析	33
一、钻井过程中油气层损害原因	33
二、钻井过程中影响油气层损害程度的工程因素	34
第二节 钻井过程中的保护油气层技术	36
一、保护油气层的钻井液技术	36
二、保护油气层的钻井工艺技术	41
三、保护油气层的固井技术	46
第六章 完井过程中的保护油气层技术	50
第一节 完井方式概述	50
一、各种完井方式的特点及其适用条件	50
二、选择完井方式的原则	51
第二节 射孔完井的保护油气层技术	53
一、射孔对油气层的损害分析	53
二、保护油气层的射孔完井技术	56
第三节 试油过程中的保护油气层技术	59
一、试油过程对油气层的损害	59
二、试油过程中的保护油气层技术	59
第七章 油气田开发生产中的保护油气层技术	61
第一节 概述	61
一、油气田开发生产中油气层损害的特点	61
二、油气田开发生产中保护油气层技术的基本思路	62
三、油气田开发生产中保护油气层的重要性	63

第二节 采油过程中的保护油气层技术	63
一、采油生产中的油气层损害因素分析	63
二、采油生产中的保护油气层技术	66
第三节 注水中的保护油气层技术	69
一、注水中的油气层损害因素分析	69
二、注水中的保护油气层技术	72
第四节 增产作业中的保护油气层技术	75
一、酸化作业中的油气层损害因素分析	76
二、酸化作业中的保护油气层技术	78
三、压裂作业中的油气层损害因素分析	81
四、压裂作业中的保护油气层技术	83
第五节 修井作业中的保护油气层技术	87
一、修井作业中的油气层损害因素分析	87
二、修井作业中的保护油气层技术	89
第六节 化学驱油中的保护油气层技术	94
一、化学驱油中的地层损害因素分析	94
二、化学驱油作业中的保护油气层技术	96
第七节 气体混相和非混相驱过程中的保护油气层技术	98
第八章 低渗透油藏开发过程中的保护油气层技术	99
第一节 概述	99
第二节 开发过程中的油气层损害因素分析	100
一、水敏损害	100
二、结垢	101
三、固相堵塞	102
四、水锁	103
第三节 开发过程中的保护油气层技术	105
一、钻井完井中的油气层保护工作	105
二、压裂生产过程中的保护油气层技术	106
三、酸化生产过程中的保护油气层技术	107
四、注水过程中的保护油气层技术	107
第九章 稠油油藏注蒸汽热采过程中的保护油气层技术	109
第一节 概述	109
第二节 热采过程中的油气层损害因素分析	109
一、高温下的水化学反应	109
二、粘土矿物的膨胀	112
三、微粒运移	112
四、出砂引起的油层损害	113
五、沥青质沉淀造成的损害	114
六、乳化造成的损害	114

第三节 开采过程中的保护油气层技术	114
一、控制注入速度	114
二、控制注入蒸汽的 pH 值	114
三、完井防砂	114
四、必要的添加剂	115
五、清除机械杂质	115
第十章 油气层损害的评价技术	116
参考文献	119

第一章 绪论

在钻井、完井、井下作业及油气田开采全过程中,造成油气层渗透率下降的现象统称为油气层损害。油气层损害的实质包括绝对渗透率下降和相对渗透率下降。保护油气层技术就是防止油气层损害的技术。

保护油气层技术是石油工程最近二三十年发展起来的一个新的技术领域和一项新兴系列技术,至今仍然在不断深入和发展。它是在国际油价下跌,世界石油工业萎缩时期发展起来的一项重要技术,这足见其对石油工业发展的重要作用和意义。保护油气层系列技术的形成和发展是石油工程技术科学化的一个重要标志。因为这项系列技术贯穿了钻井、完井、采油(生产)、改造(增产)、提高采收率等从开始生产一直到油气充分采“完”为止的全过程,而且都以同一油藏为对象,以最大限度地提高油气产量和油气层采收率为目的,打破了过去和现在石油工程传统的钻井、采油、油藏等专业的界限,使原有的各专业相互交叉、渗透而产生的一项新兴系列技术。它以传统的石油工程为基础,引进其他相关学科(岩相学、地质学、物理化学、岩石力学、流体力学等)的有关理论,综合应用其他技术领域最新技术成果而迅速发展起来,成为20世纪70年代以来石油技术进步最重要的技术成就之一,引起世界各国政府及能源部门和石油行业的充分重视和广泛应用,并取得了重大的社会效益和经济效益。

保护油气层技术对石油工业的作用和意义是显而易见的,可以简单地归纳如下:

- (1) 在油气勘探中,利于及时发现油气藏,正确评价油气藏。
- (2) 对于生产井,能够提高油气产量,增加油井产能:对于高渗透油气层可增产0~20%;对于中低渗透油气层可增产10%~100%;对于薄油气层可增产10%~300%。
- (3) 有利于提高增产措施的成功率。
- (4) 有利于提高油气层最终采收率。
- (5) 有利于最大限度地利用油气资源,充分保护油气资源。
- (6) 有利于降低原油生产成本,少投入、多采出。

理论和实践证明,上述作用不仅成效显著,而且其他任何技术都无法替代。

由于它的作用和意义重大,深受世界各国政府能源部门和各大石油公司的关注,成为很多国家和公司必须执行的技术政策和技术规范。

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,此项工作的好坏直接关系到勘探、开发的效果。保护油气层的重要性主要体现在以下几方面:

1. 勘探过程中,保护油气层工作的好坏直接关系到能否及时发现新的油气层、油气田和对储量的正确评价

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。例如辽河某油田,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 18.5 km^2 ,探明原油储量上千万吨、天然气几十亿立方米。

此外,在钻井、完井过程中,如果油气层受到钻井液、完井液的损害,往往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,有时会误把油气层判断为水层,从而影响油气储量的正确计算。

2. 保护油气层有利于油气井产量及油气田开发经济效益的提高

保护油气层配套技术在钻井完井过程中的应用,可减少对油气层的损害,从而提高油气井产量。“七五”期间,我国在中原、辽河、华北、长庆等油区的13个油田试验此项配套技术,油气井产量普遍有所提高。1993年,屏蔽暂堵钻井液在13个油区的1383口井上推广应用,油井产量亦得到较大幅度的提高。

3. 油田开发生产各项作业中,搞好油气层保护有利于油气井的稳产和增产

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,往往还涉及油气层深部,影响油气井的稳产。例如,北美洲阿拉斯加普鲁德霍湾油田,投产后6个月发现部分油井的年产量以50%~70%的速度快速递减。分析其原因是射孔和修井时采用了氯化钙盐水作为射孔液和压井液,由于氯化钙与油气层中的地层水发生作用形成水垢堵塞油层,引起油井产量急剧下降。

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,其结果非但不增产反而减产。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。

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。

二、保护油气层技术的主要内容

保护油气层技术主要包括以下八方面内容:

- (1) 岩心分析、油气水分析和测试技术;
- (2) 油气层敏感性和工作液损害室内评价试验技术;
- (3) 油气层损害机理研究和保护油气层技术系统方案设计;
- (4) 钻井过程中油气层损害因素和保护油气层技术;
- (5) 完井过程中油气层损害因素和保护油气层及解堵技术;
- (6) 油气田开发生产中的油气层损害因素和保护油气层技术;
- (7) 油气层损害现场诊断和矿场评价技术;
- (8) 保护油气层总体效果评价和经济效益综合分析技术。

上述八方面内容构成一项配套系统工程,每项内容是独立的,但彼此又是相关联的。

第二节 保护油气层技术的特点与思路

一、保护油气层技术的特点

1. 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

从钻开油气层、完井、试油、开采,到增产、修井、注水、热采的每一项作业过程中均可能使油气层受到损害,而且如果后一项作业没搞好保护油气层工作,就可能使前面各项作业中的保护油气层所获得的成效部分或全部丧失。因此保护油气层技术是一项系统工程,此项工程涉及地质、钻井、测井、试油、采油、井下作业等多个专业和部门,只有这些专业和部门密切配合,协同工作,正确对待投入与产出,才能收到良好效果。

2. 保护油气层技术具有很强的针对性

保护油气层技术的研究对象是油气层,油气层的特性资料是研究此项技术的基础。由于不同的油气层具有不同的特性,因此从油气层特性出发研究出的保护油气层技术也具有很强的针对性。

3. 保护油气层技术在研究方法上采用三个结合

保护油气层技术在研究方法上采用三个结合:微观研究与宏观研究相结合;机理研究与应用规律研究相结合;室内研究与现场实践相结合。

二、保护油气层系统工程的技术思路

保护油气层系统工程的主要技术思路可归纳为五个方面:

(1) 分析所研究油气层的岩石和流体特性,以此为依据来研究该油气层的潜在损害因素与机理。

(2) 收集现场资料,开展室内实验,分析研究每组油气层在各项作业过程中潜在损害因素被诱发的原因、过程及防治措施。

(3) 按照系统工程研究各项作业中所选择的保护油气层技术措施的可行性与经济上的合理性,通过综合研究配套形成系列,纳入钻井、完井与开发方案设计及每一项作业的具体设计中。

(4) 各项作业结束后进行诊断与测试,获取油气层损害程度的信息,并评价保护油气层的效果和经济效益,然后反馈给有关部门,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。

在具体研究油气层保护技术的实施时必须注意遵循以下原则:

(1) 工作液不该进入油气层时,应尽量避免工作液的液相、固相组分进入油气层;

(2) 油气层必须有工作液进入时,工作液应与油气层组成结构相配伍;

(3) 有可能则采用暂堵技术;

(4) 预防为主,但相应的解堵技术还是必要的;

(5) 必须让保护油气层的各种技术措施与原作业环节的技术要求协调一致;

(6) 各项保护油气层技术应系统优化形成系列;

(7) 避免井下事故。

第三节 保护油气层技术的发展历程

一、国外保护油气层技术的发展历程

早在 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 年代开始他们主要是借助于岩心流动试验的方法研究钻井液及粘土膨胀引起的地层损害等问题。至 20 世纪 70 年代中期,保护油气层技术影响加大。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”,并从此每两年召开一次,使国际保护油气层研究工作纳入了正规化的发展轨道。国外保护油气层技术的发展大致可分为三个阶段:

1. 20 世纪 70 年代以前以钻井完井液基本成分伤害特征为主要研究内容的保护油气层技术的起步阶段

这一阶段,人们在实践中认识到,粘土膨胀和孔隙堵塞可能是损害油气层的原因。一些有远见的工程师注意到,裸露于淡水中,哪怕是很短时间的常规钻井,储层都会受到严重的永久性损害。人们把所观察到的渗透率损害归咎于岩石中的粘土膨胀和孔隙空间的堵塞,因而发展了含盐完井液和油基完井液。在这一阶段,人们在静态条件下对被钻井液侵入或裸露于流体中的岩心引起的孔隙堵塞进行了研究,开始评价钻井液固相侵入储层引起渗透率下降的危害。

此外,人们还发现,射孔作业中固相侵入和损害较为严重,因此,对射孔过程中的地层损害也进行了研究。人们开始研究滤失速率低、相对密度可控制的清洁无固相流体,如非堵塞性乳化液等。同时开始利用电模拟方法研究射孔参数对油气井产能的影响,推广应用了过油管负压射孔技术。在现场开展了大量应用油管输送式负压射孔方法,采用清洁盐水和无固相的液体作射孔液。

2. 20 世纪 80 年代以机理性研究兴起为标志的发展阶段

20 世纪 70 年代中后期,西方一些国家面临能源危机。为降低成本,提高经济效益,石油公司进一步加大了保护油气层的研究力度。特别是一些先进的石油大国在机理性油气层保护分析测试技术和工艺技术等方面做了大量的研究工作。从 1974 年起每两年一次的油气层保护学术讨论会有力地促进了世界范围内保护油气层技术的发展。

特别是 20 世纪 80 年代初开始运用物理模型和数学模型来研究地层损害,使油气层损害机理研究工作进入了新的阶段。

3. 20 世纪 90 年代保护油气层各项技术大发展阶段

20 世纪 90 年代,保护油气层工作进入了一个新的发展阶段。随着岩心分析和计算机技术的发展,机理性、智能型分析、预测、评价技术以及钻井、完井、采油各个作业环节中的油气层保护工作液和工程措施,都随之得到了突飞猛进的发展。三次采油、水平井钻探和智能化伤害预测等保护油气层技术的兴起是这一阶段的重要标志。

这一阶段,在机理分析方面,已由定性、半定量向完全定量发展。许多研究者都在寻找利用数值模拟和人工智能专家系统实现储层伤害的机理性预测和评价。

近年来,保护油气层已经作为一种降本增产必不可少的手段备受重视。1995 年 6 月,美

国家石油能源研究院在塔尔萨召开了“油气层损害及其控制”的研讨会。会上强调,随着几年来钻探和采油新技术的发展以及在岩心分析和其他检测技术方面取得的突破性进展,世界石油工业在通过诊断和治理油气层损害的效益方面具有很大的发展潜力。会议预测,今后几年保护油气层技术发展的重点为:油气层损害机理的快速诊断技术、针对裂缝性油藏的钻井液暂堵技术、探井保护油气层技术以及欠平衡钻井技术等。

二、国内保护油气层工作的发展历程

我国对保护油气层工作的认识及其技术研究起步较晚。20世纪50年代到60年代的川中和大庆会战中,曾经有过控制钻井液密度,以免压死油气层的建议,但真正有意识地将油气层保护提到石油系统的工作日程上考虑,还是20世纪80年代末以后的事。尽管起步比国外晚,但经过“七五”、“八五”的科技攻关,已取得了巨大进展和引人注目的成绩。尤其是自20世纪90年代以来,发展很快,油气层保护已经成为油田生产的一项长期性、战略性任务和重要的增储上产措施,在全石油系统推广开来并取得了明显的经济效益。

1. “七五”保护油气层技术攻关

1986年油气层保护工作被正式列为“七五”国家重点科技攻关项目,开展了“保护油气层钻井完井技术”研究。该项目选择了华北、中原、辽河、四川和长庆等5个油田的7种储层类型,使用了岩石学分析、岩心流动实验和动态模拟等技术,对实验区块做了系统的剖析及定量研究,抓住了主要损害因素,为后续保护技术的制定提供了依据。通过该项目的研究,建立了适应我国油气层岩心分析的方法和技术,首次采用了X衍射全岩定量分析和扫描电镜冷冻干燥制样技术;开发了人工封装制备松散岩心样品的技术及微观模型可视技术;制定了《砂岩储层敏感性评价——岩心流动实验程序标准》,并在16个油田推广使用;建立了通过测定毛细管压力快速评价岩心损害的方法。

与国外相比,我国的机理研究在以下几个方面更为深入,具有特色:①在钻井液动、静滤失规律的研究中,不仅对内外滤饼的形成与对油气层损害的影响,滤饼的结构和动、静滤失的差别以及在钻开油气层过程中影响固体颗粒侵入的主要因素做了深入研究,而且还提出了将影响固相颗粒侵入储层的不利因素转变为有利因素的辩证思路;②在用数学模型分析储层中微粒运移的机理时,针对Cerda研究工作的局限性,对 $37\mu\text{m}$ 以下的地层微粒所受的力进行了研究,从而对微粒水化膨胀造成分散的临界盐浓度、微粒起动的临界速度及其影响因素有了新的认识;③将理化分析与扫描电镜、微观模型等可视技术紧密结合,用于酸敏及水锁损害研究。

2. “八五”和“九五”保护油气层技术的完善与推广

在“七五”攻关的基础上,20世纪90年代我国石油系统的保护油气层技术逐渐完善并进入推广应用阶段。比较成熟的技术有:

1) 油气层保护分析、评价技术

20世纪90年代初期,开始从宏观和微观上进行损害机理研究,认识到储层的敏感性伤害与其岩石成分、结构,入井工作液,工程措施之间具有许多内在联系。因此,可以通过对这些因素的研究来预测、评价油气层敏感性伤害的种类、特征与强度。储层伤害分析评价技术有以下进展:①室内实验评价技术更加符合油藏实际条件;②多种评价资料的综合解释及评价方法的进一步优化,特别是机理分析与敏感性特殊岩性分析技术的综合应用,使保护储层技术更加

完善;③ 地层伤害微观机理的深化与量化;④ 宏观研究领域的拓宽;⑤ 机理性分析保护储层数据库和知识库的建立;⑥ 损害机理研究逐步向数值模拟和智能化软件技术方向发展;⑦ 机理分析为勘探工程服务的趋势加强。

2) 优化钻井液、完井液保护油气层技术

钻井过程中容易造成储层伤害的是钻井液与完井液。由于钻井液、完井液的侵入,破坏了油气层的物理化学平衡状态,使油气层渗透率受到不同程度的损害,一旦受到损害,要恢复原有水平是相当困难的,往往要付出昂贵的代价。因此,使用保护油气层的钻井液、完井液是钻井、完井中保护油气层的重要措施。

目前我国的钻井液、完井液及其处理剂,针对 7 种油气藏的特点,已经形成水基、油基、气体型 3 大类 63 种配方。其中,28 种配方已经基本满足了各类油藏保护油气层的需要。此外,还研制出数十种处理剂和多种酸溶性密度调节剂。

3) 钻井屏蔽暂堵技术

20 世纪 90 年代初期,在吸收国外先进知识的基础上,结合我国油田的实际情况,西南石油学院与新疆油区首次在国内外研究成功屏蔽暂堵技术。它适用于各式各样的油藏,作为集团公司十大优秀成果之一,在全国各油区推广应用,取得了很好的经济效益。

4) 完井射孔作业中保护油气层技术

射孔完井是目前开发井常用的一种主要完井方法。先进的射孔方法可以减轻对油气层的损害,提高油田开发效果。20 世纪 90 年代以来,我国射孔技术迅速发展,在大量推广清水过油管射孔技术的同时,开展了负压射孔及优质射孔液的现场试验。目前射孔优化设计、油管输送式射孔、射孔-测试联作技术已大量应用并实现了国产化。

国内射孔液研制围绕稳定粘土、防止固相侵入、降低滤失、降低表面张力、酸溶解堵等多方面进行,常用的射孔液有:无固相的清洁盐水液、无固相聚合物盐水液、暂堵性聚合物射孔液、阳离子有机聚合物射孔液、低浓度酸液等。

5) 注水开发过程中的保护油气层技术

注水开发是我国大多数油田提高采收率的主要措施,取得了很好的开发效果。其中很重要的一条就是在注水开发过程中注意保护油气层,使其在长期注水中不因水质的影响而受到损害。注水保护储层的关键在于合格的注水水质。

第二章 岩心分析

第一节 概 述

岩心分析是认识油气层地质特征的必要手段,油气层的敏感性评价、损害机理的研究、油气层损害的综合诊断、保护油气层技术方案的设计都必须建立在岩心分析基础之上。所以,岩心分析是保护油气层技术系列中不可缺少的重要组成部分,也是保护油气层技术这一系列工程的起始点。

一、岩心分析的目的和意义

1. 岩心分析的目的

岩心分析的目的有三点:

(1) 全面认识油气层的岩石物理性质及岩石中敏感性矿物的类型、产状、含量及分布特点;

(2) 确定油气层潜在损害类型、程度及原因;

(3) 为各项作业中保护油气层工程方案设计提供依据和建议。

2. 岩心分析的意义

保护油气层技术的研究与实践表明,油气层地质研究是保护油气层技术的基础工作,而岩心分析在油气地质研究中具有重要作用。

油气层地质研究的目的是准确地认识油气层的初始状态及钻开油气层后油气层对环境变化的响应,即油气层潜在损害类型及程度。其内容包括六个方面:

(1) 矿物性质,特别是敏感性矿物的类型、产状和含量;

(2) 渗流多孔介质的性质,如孔隙度,渗透率,裂隙发育程度,孔隙及吼道的大小、形态、分布和连通性;

(3) 岩石表面性质,如比表面、湿润性等;

(4) 地层流体性质,包括油、气、水的组成,高压物性,析蜡点,凝固点,原油酸值等;

(5) 油气层所处环境,应考虑内部环境和外部环境两个方面;

(6) 矿物、渗流介质、地层流体对环境变化的敏感性及可能的损害趋势和后果。

其中矿物性质及渗流多孔介质的特性主要是通过岩心分析获得,从而体现了岩心分析在油气层地质研究中的核心作用。图 2-1 说明了六项内容之间的相互联系,最终应指明潜在油气层损害因素,预测敏感性,并有针对性地提出施工建议。

还应指出,室内敏感性评价和工作液筛选使用的岩心数量有限,不可能全部考虑油气层物性及敏感性矿物所表现出来的各种复杂情况,岩心分析则能够确定某一块实验岩样在整个油气层中的代表性,进而可能通过为数不多的实验结果,建立油气层敏感性的整体轮廓,指导保护油气层工作液的研制和优选。

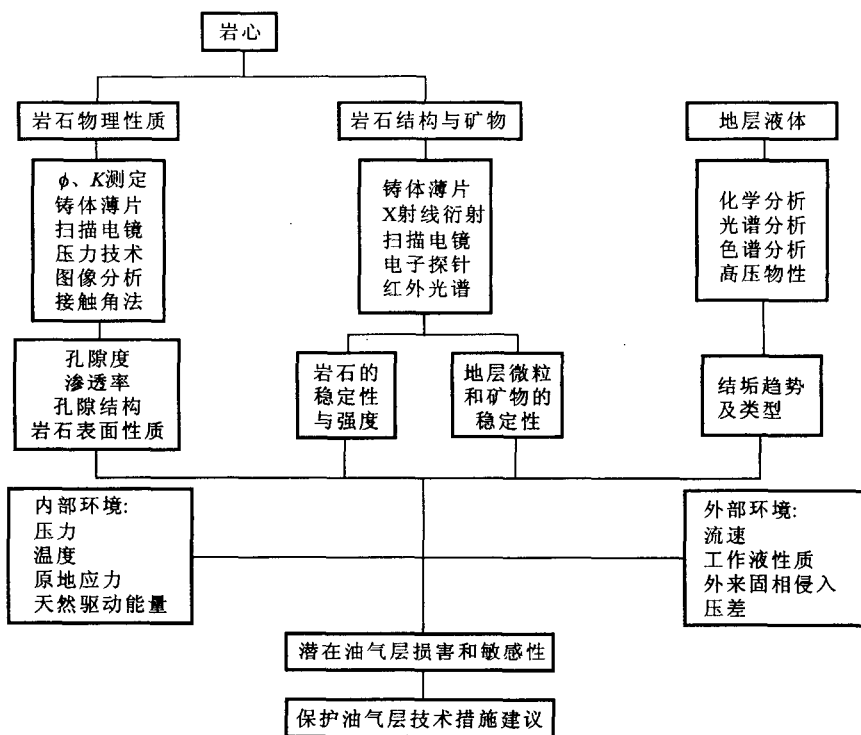


图 2-1 保护油气层技术中油气层地质研究的内容及岩心分析的作用

二、岩心分析的内容

岩心分析是指利用各种仪器设备来观测和分析岩心一切特性的系列技术。岩心是地下岩石(层)的一部分,所以岩心分析是获取地下岩石信息十分重要的手段。图 2-1、表 2-1 给出了保护油气层研究中岩心分析的内容及相应的技术方法。应用中要根据具体的油气层特点进行选择分析,做到既能抓住主要矛盾,解决实际问题,又要经济实用,注意发挥不同技术的优点,配套实施。

表 2-1 岩心分析揭示的内容及所用的方法

			内 容		方 法
岩石物理性质	孔隙度	常规条件	孔隙度、连通孔隙度		气测法、煤油饱和法孔隙度仪
		模拟围压	总孔隙度		CMS-300 全自动岩心分析仪
	渗透率	空气渗透率、煤油渗透率、地层水渗透率;水平渗透率、垂直渗透率、径向渗透率、全直径岩心渗透率;模拟围压渗透率			渗透率仪 CMS-300 全自动岩心分析仪
		比表面			
	相渗透率	气-水、油-气、油-水			稳态法、不稳态法
	润湿性	油湿、水湿、中间润湿			接触角测量、阿莫特(自吸入)法、离心机法毛管压力曲线测定
	孔隙结构	孔隙-喉道	类型、大小、形态、连通性、分布		
孔喉		大小、分布			压泵法、离心机法毛管压力曲线测定

续表

内 容			方 法	
岩石结构与矿物	骨架颗粒	石英、长石岩屑、云母	粒度大小、分布	
			接触关系、成分、含量、成岩变化	
	填隙物	粘土矿物	产状	铸体薄片、SEM
			类型、成分、含量	铸体薄片、XRD、红外光谱、沉降分离法、电子探针
		非粘土矿物	产状	岩石薄片、SEM
			类型、成分、含量	薄片染色、XRD 全岩分析、红外光谱、碳酸盐含量测定

第二节 岩心分析技术

一、X 射线衍射分析

X 射线衍射分析广泛应用于结晶学及矿物学研究领域。它分为单晶 X 射线衍射分析和多晶态(包括准晶态)物质 X 射线衍射分析两类。多晶态物质 X 射线衍射分析又叫粉末 X 射线衍射分析。石油储层研究采用的正是粉末 X 射线衍射分析,它是鉴定储层矿物尤其是粘土矿物的重要手段,具有准确度高、在不破坏粘土结构的情况下可获得许多信息的特点,其对粘土的间层矿物的分析鉴定是其他方法所无法替代的。它不仅可以确定混层矿物的类型,而且还可以确定其混层比。另外,还可以进一步确定粘土矿物的结构类型,而结构类型的鉴定与储层潜在的敏感性关系密切。例如,绿泥石的二八面体和三八面体的含铁量就有所不同,通常二八面体的绿泥石比三八面体的绿泥石含铁量高,易造成酸敏性。与此同时,它还可以进行全岩心分析。因此,X 射线衍射分析是保护油气层研究的重要手段之一。

二、红外光谱分析

红外光谱是一种常用于物质结构及化学组成分析的方法。20 世纪 50 年代以后,它在矿物学方面,特别是粘土矿物分析研究领域得到了广泛的应用,具有取样少、制样简单的特点,并且可直接得到各类粘土矿物及某些非粘土矿物的绝对含量,尤其是对高岭石和绿泥石等矿物分析的精确性优于其他方法。然而,此方法也存在着某些不足。比如,它不易分别得出粘土矿物中的蒙脱石和伊利石含量,通常只给出“伊利石和蒙脱石”的含量,而且,它无法鉴定粘土中的间层矿物。但由于它的分析速度快,取样量少(0.5 ~ 1 mg),并能快速地得到储层粘土矿物的绝对含量,因此仍是保护油气层研究依据的重要方法之一。

三、扫描电子显微镜观察

扫描电子显微镜(简称扫描电镜,SEM)是一种用于观察样品微观形貌结构并进行微量元素成分分析的仪器,已广泛用于各个行业,20 世纪 70 年代逐渐用于石油地质界。它是储层研究,矿物学、岩石学及生油岩等研究的重要手段。在保护油气层研究中,利用扫描电镜能清楚地观察到储层中孔喉的大小、类型、连通情况,矿物的自生形态和矿物在孔隙中的产状和分布状况,给保护油气层研究提供了直观的信息。通过扫描电镜与电子探针或能谱联机,还可使研