

保护油层专辑

第二册

石油工业部科学技术情报研究所
一九八八年十一月

正文设计：段利君

封面设计：桑 榆

保 护 油 层 专 辑（第二册）

开本787×1092毫米1/16·印张161.4

字数：40万 印数：2000

1988年11月北京第一次印刷

油情（单）88020 工本费：3.00元

编辑：石油工业部科学技术情报研究所

出版：石油工业部科学技术情报研究所

印刷：北 京 建 外 印 刷 厂

发行：石油工业部科学技术情报研究所
（北京和平里七区十六号楼）



說 明

本译文集是在李天相副部长建议下，由科技司委托编辑出版的。《保护油层专辑(第二册)》选载了1987年全国粘土矿会议上的部分国外调查材料，报道了近年来国外在防止、识别、评价和处理地层损害方面的新进展，特别是着重介绍了如何用系统工程方法和计算机模型使完井和开采最优化。这些文章对我国的科研和生产工作有一定参考价值。但由于水平有限，在文章的选择、翻译和编审方面还有不少缺点和错误，为了不断改进 望读者批评指正。

石油工业部科学技术情报研究所

目 录

保护油气层的技术和措施.....	(1)
油田开发中的地层损害.....	(14)
国外控制地层伤害用化学剂.....	(26)
地层损害和保护油井产能综述.....	(46)
路易斯安那州近海地层损害的识别、评价及处理.....	(74)
选用完井井底结构的原则.....	(89)
完井和修井专辑.....	(93)
新方法.....	(93)
完井设计所需要的数据.....	(99)
选择最好的完井方法	(105)
如何检验、防止和处理地层损害	(113)
拟损害	(118)
油井工作液	(126)
选择油井工作液的考虑因素	(131)
射孔系统方法	(136)
关系油井生产特性的系统	(146)
试井(反馈)的系统方法	(150)
向井流入系统及其应用	(157)
油井外流系统及油管动态	(164)
油井动态: 流入和流出动态因素的影响	(171)
油管及封隔器系统	(180)
油管和封隔器系统的位移和力	(185)
绳索完井——系统方法	(192)
挤水泥——系统方法	(201)
油井增产措施——系统方法	(211)
防砂系统方法	(218)
井档案的记录与编排	(231)
用计算机化生产井模型使开采最优化	(236)

保护油气层的技术和措施

徐云英

在油气勘探和开发的过程中,油气井的每个施工环节——钻井、固井、完井、射孔、增产措施、采油和修井都会产生地层损害,造成渗透率降低,甚至不能发现和产出油气,因此保护油气层的技术是保证增加油气储量和提高油气产量及采收率的关键。七十年代以来,由于油价上涨,保护油气产能更加受到重视,各主要产油国和大石油公司投入大量资金进行广泛深入的研究。已经取得了重大进展,并获得了显著的经济效益。

通过大量的研究已经基本弄清了各项作业引起地层损害的原因和造成损害的机理,提出了减轻和使地层损害降至最低限度的可行方法。在钻井和完井方面,根据压力预测和监测取得孔隙压力和破裂压力,以及岩心评价试验结果,进行合理的井身结构和完井方法设计,选择化学相容的钻井完井液,在处理过程中对液体的物理化学性质进行严格的质量控制,在井的处理作业中使用过滤的处理液、清洁的工作管汇和抑制性的流体,这一切措施已经证明在控制地层损害方面有极其重要的作用,在钻井过程中,可以使井的产能达到未损害产能的85~90%,在理想情况下几乎可使产能不受损害。

近年来我国对保护油气层的工作受到领导及有关人员的重视,已列入“七五”国家重点攻关项目和部的“七五”石油科技发展规划。大庆、胜利、辽河、华北、新疆等油田都已开展了保护油气层的工作,认真调查油气层污染现状,研究损害的原因,并采取相应措施减少油气层污染,见到显著成效。如辽河油田在欢喜岭和高升油田稠油开发区普遍推广无粘土相完井液钻开油层,根据投产井看平均单井产能比用一般泥浆高14.7%。胜利渤南油田根据压力预测采用近平衡钻井试验的三口井油井产能比高比重泥浆钻开的井高3~5倍。从以上例子中可以看出保护油层对增加储量和产量的潜力是很大的。从目前全国各油田的情况来看,油层污染的问题还是严重的,有的井滤液侵入深度达2.5~6.7米。新疆对火烧山2井的5个油层堵塞所作的计算,油井的产能仅为实际产能的60.8%,由于油层堵塞而损失的日产量估计为128.35立方米。1986年全国因油层解堵进行作业约5447井次,占压裂、酸化作业8588井次的63%,说明一半以上的井下作业是为了解决已造成的污染。

总的来说,国内对油层损害问题的研究还处于初期阶段。

一、油层损害的研究方法和评价标准

(一) 油层损害的机理研究是防止油气层损害的基础

大量的研究工作表明油气层损害的主要原因是:

1、固相物堵塞——由于外来固相颗粒侵入;或由于外来液体侵入使油气层中粘土颗粒膨胀、分散、脱落、运移;或者地层中形成沉淀,微生物繁殖与堵塞或减小了油流通道,降

低了油气的绝对渗透率；

2、岩石性质改变——由于水的饱和度增加或岩石的润湿反转、水锁、气锁可使对油气的相对渗透率降低；

3、油层液体性质改变——由于乳化或形成泡沫等使油层流体粘度增加，而加大了油流阻力。

美国油藏工程专家R.F.Krueger对油层损害机理研究认为，地层损害通常是由于固体微粒的运移和堵塞，或者是由于化学反应和热动力因素，以及两者同时发生作用。

因此要防止地层损害，就要研究油气层岩石，特别是粘土矿物和地层水的特性，研究它们与外来流体的关系，这是防止油气层损害的基础，是制定科学钻井措施的依据。

七十年代以来，由于电子仪器的发展，X—衍射仪和电子扫描显微镜广泛应用于岩石的研究；由于计算机推广应用，物理模型和数学模拟用来研究地层中固相微粒的运移，微粒的侵入深度，地层中流体运动的状态，地层渗透率随时间、流速及温度的变化等，以及岩石学研究和物理化学研究方法的进步，国外已能对特定的油气层发生地层损害的原因进行预测，提出相应的措施。但由于油气层特性非常复杂，有许多问题还待继续研究和发展。

（二）岩心评价试验是制定各项措施的依据

国外为了防止油气层损害，在油气田勘探开发之前首先要做岩石评价试验，鉴定岩石中的敏感性矿物，判断潜在的损害问题，提出对钻井、固井、射孔、完井等各项措施的合理建议，所以岩石评价试验是制定合理的完井设计方案的依据。

由于造成地层损害原因可分解为两个方面：一是岩石本身的特性，二是外来因素对储层岩石的作用，因此，岩心评价试验也可分为研究岩石本身特性和岩心对外来因素的影响两部分。

1、岩石本身特性的评价试验

大量的研究成果表明，地层是否存在潜在的伤害问题主要取决于岩石的结构、岩石的矿物组成、胶结状况和胶结物、敏感性粘土矿物的类型、数量和所在位置。

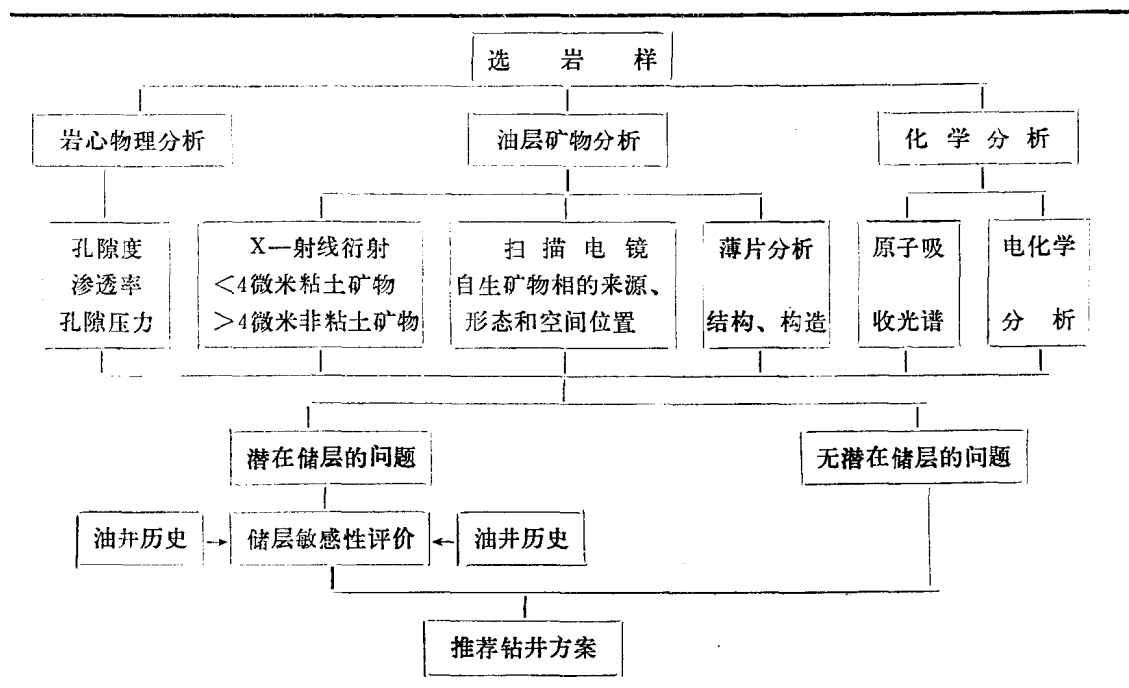
表 1 可能发生地层损害的矿物

水 敏 性	绿泥石/蒙脱石 伊利石	伊利石/蒙脱石 蒙脱石（微晶高岭土）
酸敏性 (HEI)	鲕绿泥石 绿泥石（富铁） 绿泥石/蒙脱石 白云石（富铁）	海绿石 赤铁石 黄铁矿 菱铁矿
酸敏性 (HF)	石灰石 白云岩	硅酸盐矿物
垢	石膏、重晶石、水镁石 石灰石、天青石	岩盐、赤铁矿、磁铁矿 菱铁矿、硫铁矿
“微粒”运移	伊利石、高岭石	硅酸盐矿物
出“砂”	成岩矿物	

研究认为,粘土矿物、含钙碳酸盐矿物和伴生的黄铁矿是最常见的、最容易引起地层损害的矿物,见表1。

表 2

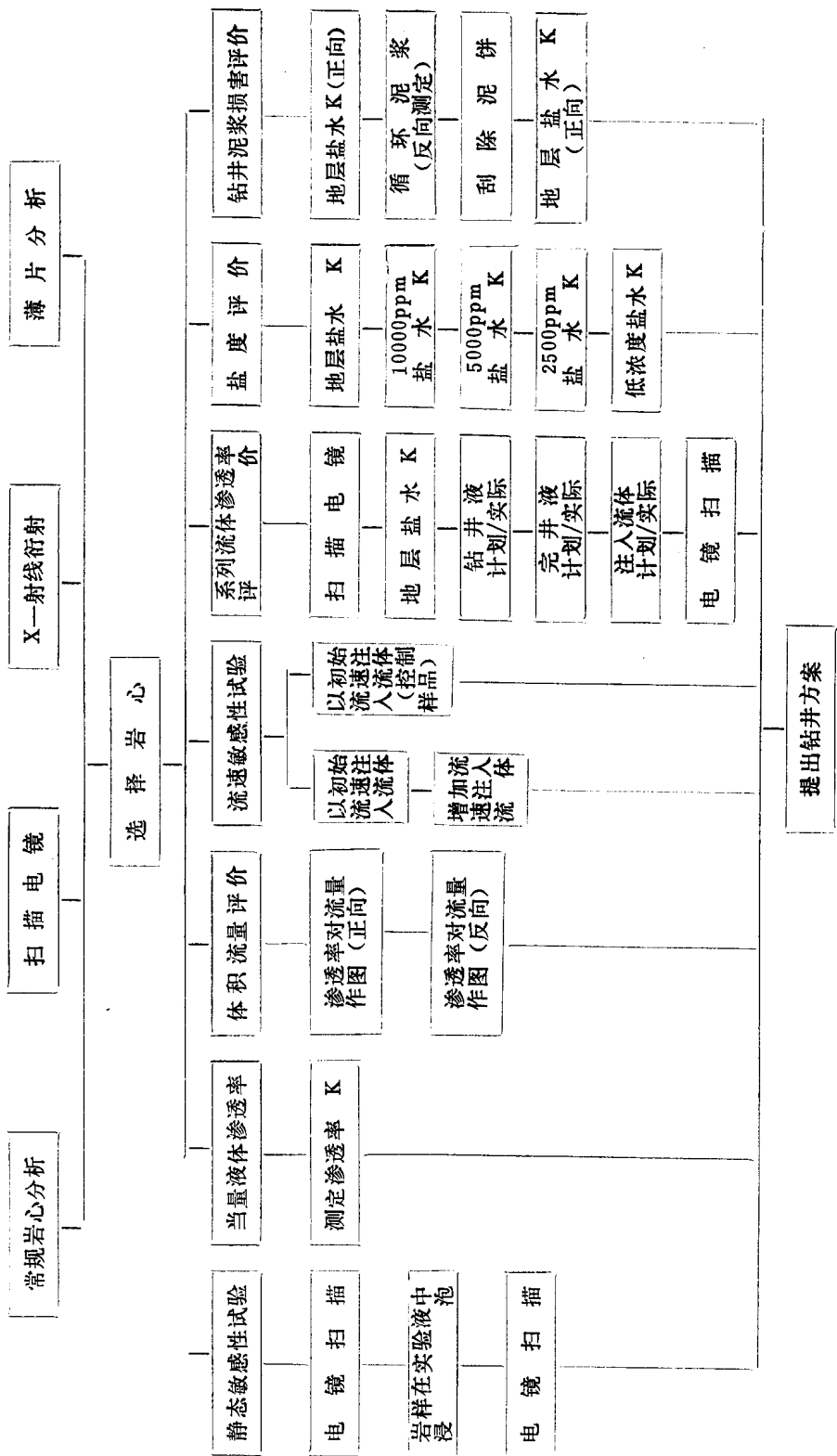
岩心分析实验程序



因此,在岩石特性评价试验中,除进行岩心常规分析外,主要是进行岩石学研究,鉴定出岩样中存在的敏感性矿物,进而判断该地层是否存在潜在的地层伤害问题,为下一步的流动试验和措施筛选试验提供依据,见表2。

美国进行岩石学研究的主要手段是应用X射线衍射分析、薄片分析和扫描电子显微镜三大技术。根据岩石评价试验结果,已经做出了美国各地质时期及海、陆相沉积环境的粘土矿物特征,并且对美国几个主要产油区的粘土矿物类型进行了调查。岩石评价不仅对钻井、完井、射孔等作业流体的选择有重要意义,而且对电测解释、提供科学的评价和开发油气藏有重要意义。因为矿物的组分对电测曲线有影响,某些矿物,如粘土矿物、氢氧化铁、氧化铁、钾长石、含钾伊利石、石英等都会对电阻率测井、声波测井、伽马射线测井、密度测井和中子孔隙度测井产生影响,从而使以不正确的测井曲线参数为基础计算得出的不正确的孔隙度、含水饱和度和岩石性质的资料,对油气藏性质做出错误解释。因此岩石评价是科学钻井和开发的基础。

我部勘探开发研究院近年来对约20个盆地或地区的大量岩心作了分析研究,提出了几种沉积盆地粘土矿物分布特征,为我国进行系统的含油气盆地岩石矿物分析打下了良好基础,但由于工作开展时间短,还没有能建立我国各主要含油气盆地、主要的目的层系的粘土矿物及其他敏感性矿物的分布规律,故对科学钻探井和开发井来说尚缺乏第一性的岩矿资料。应及早统一规划,完成此项工作。〔1〕〔2〕



2、敏感性评价试验

在岩石评价试验的基础上确定了油气层存在有敏感性矿物时，就要进一步进行岩心敏感程度的评价试验，确定外来流体对岩心渗透率的影响程度，根据这项评价选择最佳的钻井液、完井液、射孔液、酸化、压裂液等的配方和最佳施工方案。然后再根据现场实际情况进行系列试验对比，挑选最经济有效的方案供施工设计，见表3。

用上述分析技术做完试验后，钻井工程师、泥浆工程师和地质师就可以根据岩相分析和工程实验中得到的数据来进行综合研究，为钻井工程设计提出最佳的钻井方案。

敏感性评价试验项目按砂岩地层和碳酸盐岩地层两类有所不同。

砂岩地层岩心试验项目有：

粘土膨胀试验

流速敏感性试验

岩心对空气渗透率与液体渗透率对比试验

流体接触顺序试验

流体矿化度评价试验

钻井液损害试验

反向流动试验

碳酸盐岩地层岩心试验项目：

碳酸盐岩地层一般孔隙度很低，而裂缝较发育，故不做流动试验，主要鉴定地层岩石的酸敏性。美国哈里布顿研究中心测试的项目有：

酸溶解能力试验

酸反应速度试验

细颗粒脱出试验

酸液漏失试验

浸泡试验

酸蚀刻裂缝流动能力试验

敏感性评价试验是筛选完井作业流体的关键，我们是近年才开展这项研究的。目前在试验的仪器设备和方法方面尚不完善配套，还不能对新开发的区块的储层及时做出敏感性评价，为钻井、完井、酸化、压裂、修井、采油采气等各项作业提供保护油气层的有效措施。建议按地区成立几个分析中心，完善试验手段。〔3〕

（三）油气层损害的诊断是解决问题的关键

一个油气开发区、一口油气井不出油气或低于其最佳产能，它是否存在油气层损害，是人们最关心的问题。针对这个问题，有必要确定有无油气层损害？如果有，损害程度如何？损害的原因是什么？采取什么措施能成功地处理发生的损害？

目前国外已经有了一套评价油气层损害的标准和方法，可以有效地鉴别油气层损害的问题。

1、油气层损害的评价标准

油气层损害的程度如何目前尚无统一的定量评价标准，国外常用的几个评价标准是：计算表皮系数、堵塞比、流动效率、附加压力降、恢复渗透率数。其代表的意义和标准见表4。

表 4

定量评价油层损害程度的几个标准

名 称	含 意	标 准		
		有 损 害	无 损 害	增 产 见 效
表皮系数	表示井眼周围地层受堵塞使油流压降增加的一个系数	正 值	0	负 值
堵 塞 比	理论产量与实际产量之比	> 1	$= 1$	< 1
流动效率	实际采油指数与理论采油指数之比	< 1	$= 1$	> 1
附加压力降	井眼周围油层受损后产油时引起的附加压力降	正 值	0	负 值
恢复渗透率数	损害后与损害前渗透率之比	< 1	1	> 1

2、油气层损害的评价方法

当一个油气区或一口油气井低于最佳产能时，必须找出问题的根源，这可能需要对整个生产系统进行系统的研究。如果怀疑一口井的产率低是由于地层损害引起的，有许多方法可以用来评价这个问题，在现场最常用的是对试井数据的分析，包括钻井过程中的中途测试和完井后的地层测试。可确定是否存在损害。

现场评价方法：

不稳定压力试井法 测表皮效应，最有效的设备是地层测试器和地层采样器。传统的方法是通过压力恢复曲线计算出油层损害诸参数。七十年代末以来又发展了现代试井法。Gringarten等人提出的标准曲线拟合法和Boudet提出的压力导数分析法，可更正确地判断直线段。

节点分析法 主要测完井效率，即利用生产井计算机模型分析生产井体系各部位，找出扼流部位，弄清产能低于预测值的原因。

生产测井 利用流量计及压差密度计进行生产测井，确定射孔层段的液流剖面，找出受损害层段。^{〔4〕}

室内评价方法：

当现场评价认为油气井产率低的原因是由于地层受损害后，就要在室内进行评价地层受损害的机理。并找出最好的处理方法。采用井壁取心进行研究。对地层岩相和矿物特性进行分析，判断可能引起损害的原因。再用在完井过程中所使用的相似流体对岩心作流动试验，找出增产措施的最佳方案。

现在常用的方法有：

- X—衍射分析；
- 扫描电子显微镜分析；
- 岩心流动试验；

• 毛管压力数据分析。毛管压力数据分析是八十年代初国外提出的，利用超速离心机可快速评价地层损害、筛选处理液和增产措施的方法〔参见本专辑74~88页〕。

目前我国虽然已经有了地层测试器、地层采样器等现场测试手段和X—射线衍射仪、扫描电子显微镜等仪器设备,北京石油勘探开发研究院、大庆、胜利、新疆、华北等油田也已用这些手段研究这方面的问题。但与国外相比在研究深度和广度上都还有较大差距。美国普鲁德霍湾油田为了查明地层损害由三家主要股份公司Sohio、ARCO和EXXON的工程、地质和实验室人员组成联合调查组研究,历时数年之久,才真正弄清了损害机理,找到了减轻地层损害的可行方法,并改进操作程序,提高处理成功率,最终得到了系统的最佳处理方案,从而做到了提高恢复和保持全部产能的经济效果,使井投产后在几年内可保持正常递减。

二、减轻和防止地层损害的几项技术

前面已经阐明地层损害是由两个方面因素造成的,一是岩石本身含有敏感性矿物,它是客观存在不可更改;二是在完井作业过程中外来液体和固体的侵入,引起了固体颗粒堵塞和液体性质和岩石性质改变,这是可以控制的。目前广泛采用并行之有效的技术措施有以下几项:

(一) 选择最佳的完井方法

完井工作包括多种工艺过程,且受许多因素影响和制约,完井方法正确与否会影响到一口井的产量和寿命。理想的完井应使油流能最有效地流到地面,同时使建井成本和操作费用最低。

70年代末,国外开始提出以系统工程的方法来分析研究完井中问题,选择合理的完井方法,使完井最优化。

美国贝克石油工具公司提出了完井方法决策树。

美国H.K. Van Poolen公司提出以系统工程的方法进行完井设计的程序框图,并指出为了做好完井设计需要收集四类29项数据,将其输入完井设计程序,就可得出设计井的完井方法。

80年代初,美国Amoco公司研究中心发展了油井完成最优化程序,称为SNAP。这个程序要求精确了解油从油层流入井内的情况,然后确定在油井生产系统中的受阻部位,以便改进完井设计使生产最优化。该公司采用该程序的头两年就增加收入1.5亿美元以上。^[11]

1984年,苏联固井研究所也发展了完井井底结构选用程序。该程序首先把产层按岩石类型分为四类:裂缝型、裂缝孔隙型、孔隙型和孔隙裂缝型。再进一步按产层有效厚度、产层岩石强度、渗透率、产层粒度均匀性和地层压力梯度等划分成十一种不同的完井井底结构。并给出了几项选择不同井底结构的标准,如产层岩石强度 $\sigma_{C\text{Ж}}$ 大于40兆帕可裸眼开采;渗透率,孔隙型产层 $K_p > 0.1 \text{Mkm}^3$,裂缝型产层 $K_o > 0.01 \text{Mkm}^3$,才能采用封闭式完井法,即下套管、注水泥射孔完成(见本专辑89—92页)。

各种完井方法的比较

目前国外广泛使用的完井方法有:裸眼完井、射孔完井、衬管完井、衬管或筛管砾石充填完井及射孔砾石充填完井。

射孔完井和射孔砾石充填完井方法用得最多。

砾石充填完井法是保护产层,防止出砂,提高产量的一种有效手段,特别是裸眼砾石充填完井近年来受到很大重视。这种方法多用于稠油和疏松砂岩油气层的开采。

射孔砾石充填要求穿孔尺寸均匀, 穿透深度大。

射孔完井是目前使用得最多的一种完井方法, 但工程人员一直怀疑, 油井产能应该比实际产能高。经室内和现场研究发现, 在射孔设计和作业方面导致产能和注入量下降的一些问题。尽管在过去的25年里射孔作业已取得了许多进展, 但现场结果仍表明, 井的产能经常达不到理论的非损害值, 这些迹象表明, 射孔完井是一种受损害完井。加里福尼亚某油田的完井方法比较表明, 射孔完井的效果不如割缝尾管完井或砾石充填完井好。无论是初产量、一个月后的产量还是1年后的产量均比其他几种完井方法低25~60%左右。射孔完井产量低是由于大部分炮眼堵塞致使完井效率低的缘故。

为了改进射孔对固井水泥和油层损害, 苏联鞑靼石油科学研究设计院研究成功了无射孔枪打开产层的技术。自1983年以来, 使用不用射孔枪而用带眼筛管组成的短节打开地层和分隔地层的综合技术在现场完成了103口井, 绝大多数井试油后得到无水原油, 油井平均日产量是采用射孔方法的油井的2.5倍, 并且有一段无水采油期, 产水量也仅为射孔法完成的油井的二十二分之一。

碳酸盐岩地层的油气井采用这项技术最有效。因为在完井时无射孔打开地层工艺与酸处理近井地带有机结合, 大大改善了原油的渗流条件, 提高了隔层的可靠性。碳酸盐岩地层挤破孔眼周围水泥环的压力为3~8兆帕, 而砂岩为9~10兆帕。

目前我国使用的完井方法主要是射孔完成, 部分地区采用裸眼完成, 少数出砂严重地区采用砾石充填完井。总的看来, 针对我国各油气盆地的地层特点进行研究, 提出有针对性的保护油层的完井方法方面与国外有很大差距, 基本上还停留在60年代的水平, 全国缺乏对完井方法的研究规划, 虽然少数油田或单位也做了一些工作, 但未形成配套技术, 因此完井质量低, 油井出砂, 堵塞等各种问题多, 每年有大量井躺倒或产量递减严重。〔5〕〔6〕〔7〕

（二）做好地层压力预测和监测, 实现近平衡钻井和完井

地层孔隙压力和破裂压力的预测和监测是实现科学钻井的基础, 只有准确掌握了这两条曲线, 才能制定合理的套管程序和泥浆比重, 加快钻速, 预防井漏、井喷、井塌、卡钻等事故, 减少对油气层的损害。

调查表明过压差对油井产能损害相当大。阿拉斯加A油田用过压差小于103大气压钻成的井比压差大于103大气压的井, 产能平均高320立方米/天。所以为了减少压差造成的损害, 近年来普遍采用近平衡钻井, 使井眼压力接近于地层压力。泥浆比重附加量, 油井为0.05~0.10, 气井为0.07~0.15, 这需要根据油层物性井的深浅、井控设备来决定。

此外, 为了减轻由于压力波动引起的问题, 除控制泥浆比重外, 还要控制起下钻速度。近年来, 美国和苏联等国还采用稳态波动压力计算来确定合理的泥浆比重及许用起下钻速度。

80年代初我国已开展了压力预测和监测的研究, 取得了很好的进展。1985年在大港油田召开的地层压力预测会上, 制定了钻井D₀指数法和电测声速时差法的工作流程, 有部分地区已经做出了地层孔隙压力和破裂压力图版。但大部分油气盆地还没有做出分地区、分地层的孔隙压力和破裂压力图版, 对正确设计套管程序和泥浆、水泥浆比重还不能提供科学的依据。

（三）采用适宜于油气储层的钻井液、完井液

从钻头钻开油气层开始直到油气井投产，产层与一系列流体接触并承受各种作业，这将严重影响产能。钻穿产层时钻井液的质量和压差是关键。压差问题上面已讲到，应根据地层孔隙压力来确定合理的泥浆比重。钻井液性能与地层不相容可能引起滤液与地层矿物发生化学反应，引起粘土膨胀、脱落、运移和堵塞。固相颗粒侵入也会造成孔隙堵塞，影响油井产量。因此，国外在改进钻井完井液质量方面采取以下措施：

1、控制滤液引起的损害

研究表明泥浆滤液侵入深度可从几英寸到几英尺，这要看滤失控制是否有效而定。七十年代岩心研究表明，使用含有二价阳离子如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的水基泥浆或油基泥浆能有效地控制滤液损害。逐渐发展了盐水完井液。80年代初，经过粘土化学的基础研究、岩心流动试验和井壁稳定性研究都表明，在有钾离子存在的情况下粘土、页岩和泥岩都更加稳定，用高浓度钾盐水钻的页岩层比较稳定不易冲蚀，用钾基泥浆滤液浸泡的岩心的渗透率不易受淡水损害，所以钾基钻井液和修井液目前得到了广泛的应用。但当水敏性很严重时油基泥浆则是最好的流体，油基钻井液的完井效率可达到100%。在阿拉斯加A油田用油基泥浆完成的井，产量比用水基泥浆高240立米/天。但由于油基泥浆成本高、钻速低、劳动条件差、对环境有污染等，目前国外的使用范围也仅占15%。

2、减少固相颗粒引起的损害

泥浆固相颗粒侵入地层孔隙的深度一般比滤液浅，因而对井的产能影响可能也较小。泥浆固相颗粒引起损害很大程度上取决于地层孔隙的分布、钻井液中固相颗粒尺寸的分布和井下压差。室内试验表明，钻井液中固相侵入砂岩为几厘米，侵入带的渗透率可能为原始值的十分之几。试验结果估计，钻井中固相颗粒侵入所引起的井产能损害大约为1~10%，这要取决于侵入深度。在现场作业中，由于地层孔隙性很好，或者由于钻井压力激动造成微裂缝，泥浆颗粒的侵入深度可能比室内试验结果要大得多。

目前广泛采用的做法是，选用合适的固相桥堵剂，使完井液、砾石充填液等的固相桥堵在地层岩石的表面而不进入岩石内部。但实际上钻井液不能达到理想的桥堵性能，总有相当多的泥浆固相颗粒侵入岩石孔隙，形成内泥饼，仍然会限制流体流动。由于这种原因，发展了用无固相盐水或原油来钻开生产层，但由于没有桥堵剂，在有的地层中这种做法加剧了地层的损害。实际上，钻井常用不清洁的低固相泥浆来完井，固相可能侵入地层很深，并堵塞地层。

3、缩短在敏感性地层中的浸泡时间

钻开不稳定的敏感性地层时，钻进时间常常是个关键因素，如在规定时间内完钻就不会出现问题，这一临界时间通常与所用泥浆的类型有关。研究表明，渗透率的损害随总滤失量的增加而稳定增加，这说明要使用高质量低失水泥浆，以及尽量缩短泥浆对产层浸泡时间的重要性。

4、发展无损害的钻井液、完井液

目前，国外正努力通过控制滤液和滤饼的性质来减轻钻井和完井过程中造成的损害。目前的发展趋势是配制既能形成无损害的滤饼、又具有抑制性滤液的钻井完井液。这就是各种聚合物固相钻井完井液，它由三部分组成：桥堵剂（有的同时又作加重剂）、携带液和增粘剂。这三者都是根据所钻地层敏感性评价结果来选择的，是对产层无损害的。

一般作桥堵剂的材料有三种：酸溶性的（如碳酸钙、碳酸铁）、水溶性的（如盐粒）、油

溶性的（如油溶树脂）。

携带液用水、盐水和油基液，根据不同的桥堵剂来选择。

增粘剂常用粉末状或液体羟乙基纤维素（HEC）。

钻开产层、扩眼和砾石充填、射孔及修井作业中，防止地层损害的最可靠办法就是尽量避免或减少液体进入产层。选择适合于产层特性的、颗粒分选好的固相桥堵剂。颗粒或侵入地层孔隙和炮眼，或桥堵在孔隙入口，在井壁形成非常致密的滤饼，从而控制完井液及滤液侵入。即使有少量滤液侵入，其中溶解的盐类和聚合物具有抑制作用也可防止粘土水化膨胀，分散运移。因此这类完井液可从“桥堵”和“抑制”两方面防止地层损害。而桥堵颗粒在作业完成后又可溶解掉，不会造成永久性堵塞。有的实验表明，这类完井液对产层基本没有损害，其渗透率恢复可达90%~100%。

近年来对水基聚合物固相完井液尤其重视，无论是酸溶性的还是水溶性的聚合物固相完井液都取得良好效果。北海荷兰区块用悬浮NaCl盐粒完井液钻致密水敏性砂岩气藏，使单井产量达到邻井的三倍。美国阿拉斯加普鲁德霍湾油田所钻的两口深水平井也用了盐粒完井液，第二口井上改进了固相控制，使产层的渗透率损害仅为5%，两口井的产量均为邻井的3~4倍。

对低压低渗透油气层发展气体类完井流体^[8]。国外对气体类钻井完井流体的研究已有几十年的历史，但由于某些技术问题，未能推广使用。近年来因大量低压、低渗透油气田及枯竭油田开发的需要，气体钻井液中的泡沫液受到重视，特别是稳定泡沫。稳定泡沫具有流体压头低，为水的1/20~1/50，密度为0.032~0.064克/厘米³，最适宜于钻低压生产层；它携带能力高，为水的10倍，是泥浆的4~5倍，因此钻屑能及时返出地面，减少固相颗粒对地层污染的可能性；泡沫含液量低，在地面配制时的液体仅为水基泥浆的3~25%，大大减少了滤液对地层污染的可能性。由于以上优点，美国和苏联都用它作为低压生产层的钻井、完井和修井液。近年来还发展了用泡沫水泥浆固低压生产井（见本专辑46~73页）。

5、研究并生产各种粘土稳定剂和其他处理剂

国外为了防止各种作业过程中流体侵入产层使粘土膨胀、分散、运移，为防止引起地层其他矿物和地层水起化学反应形成沉淀、结垢堵塞，研制了各种化学剂，如粘土稳定剂、铁离子稳定剂、垢抑制剂、溶垢剂、有机沉积物处理剂、杀菌剂和防腐剂等，美国各种完井液修井液处理剂见表5。^[10]

国外已经发展了无机和有机两大类粘土稳定剂，无机类有氯化钠、氯化钙、氯化镁、氯化铵和氯化钾等。有机类如羟基铝、氢氧化锆、有机胺类、石油磺酸盐、磺化糖或磺化淀粉。

铁离子稳定剂有PH控制剂、还原剂和螯合剂。螯合剂是用来与铁离子螯合或络合成可溶性盐类，避免发生铁盐沉淀，常用的有乙二胺四乙酸（EDTA）、柠檬酸等。

溶垢剂，一种是用酸溶垢，若为酸不溶性垢，如硫酸盐，就采用螯合剂溶垢。^[9]

我国自70年代末以来已开展了保护油层的完井液研究，在“七五”规划中已制定了研究无固相完井液、盐水完井液、无粘土完井液、油包水泥浆、泡沫液等。各油田也开展了各种完井液的现场试验。二连盆地阿23井按照科学打探井的方法和程序，在钻开油层后用比重为1.02~1.03的无粘土相优质泥浆，减少对油层损害，中途测试两层获日产量223.9方，比过去打的井日产量高8~15倍。最近辽河油田总结了自1985年11月到1987年5月在双台子、兴

马、于楼、大民屯、开鲁地区砂岩地层钻的31口井的生产情况，说明采用酸溶性桥堵剂菱铁矿粉（碳酸铁）作为加重剂对保护油层起到良好作用。用菱铁矿加重的三口井投产后即自喷，各井累计产油都比用重晶石的井高，平均单井产量增加12.7吨/日，增产45.2%，而其它井不能自喷。此外，泡沫钻井在二连、新疆等地试验也获初步成效。但从全国情况看，对完井液的研究还缺乏系统规划，特别是完井液的各种处理剂，如水溶性、酸溶性、油溶性桥接剂、增粘剂、缓蚀剂、防腐剂等均缺乏商品供应；与完井液相配套的测井系列也未能解决，今后要进一步加强这方面的研究工作。

表 5 美国完井液修井液用处理剂用量与产量*

无机盐类	产 品 名 称	浓 度 %	用 量 (千吨)	产值：百万美元	
				按 厂 价	按油田价
	溴化钙 液体	53	73.64	35.5	50.9
	固体	95	3.64	5.9	8.4
	小计		77.3	41.5	59.3
	氯化钙 液体	38	227.3	20	28.6
	无水球状	96	22.73	6.5	9.3
	粉片状	78	22.73	4.0	5.7
	小计		272.3	30.5	43.6
	溴化锌	77	12.27	18	22.5
	溴化钙 液体	44	3.64	1.7	2.5
	无水物	97	0.91	1.0	1.7
	小计		4.55	2.7	4.5
	其 他 (KCl, NaCl)		27.23	2.7	3.9
	总 计		394.1	45.4	133.8
增 稠 剂	HEC		2.05	9	17.8
	XC		0.45	3.5	7
	其他聚合物		0.09	0.3	0.6
	小 计		2.59	12.8	25.4
缓 蚀 剂			1.82	4.8	8.4
防 腐 剂			1.32	3.2	6.4
其 他	降失水剂 桥接剂		7	2.9	6.0

* 引自陈泽鑑同志的调查材料

（四）推广地层测试及做到及时测井

地层测试是及时、快速、准确地评价地层的有效方法。钻遇油气层后及时进行地层测试可获得极有价值的资料，对测试层位做出定性和定量的评价，作为决策的依据。地层测试可直接获得流体样品、地层压力、地层温度、流动压力和关井恢复曲线。再结合由取心、电测、地质录井和室内测定的数据，经过数据处理可求得地层原始压力、产量、地层平均有效渗透率、井壁堵塞比、压力衰竭等重要资料，能提高地层评价的准确程度。国外已普遍使用，大大加速了对产层评价的效果。

我国从七十年代末开始引进美国的钻杆地层测试器，成立了测试公司和测试队，经过十多年努力已见到明显效果。在4000~5000米井段裸眼测试获得成功，但由于井眼质量不好，这项技术尚未能普遍推广应用。而一些现场测试也仅限于取得流体样品和流量等数据，对取准测试资料，并配合其它参数进行处理和解释，对一个新的油气层做出定量评价的工作还开展得很不够。

及时测井也是保护油气层及正确评价油气层的一个重要条件，国外测井公司要求在钻开油气层后在10天内进行测井，减小泥浆滤液侵入深度，以便获得正确可靠的电测资料。

三、对我国保护油层工作的几点建议

保护油层对石油工业进一步发展具有重大意义。地层损害存在于从产层钻开到生产结束的全过程，对油气井生产有长远的影响。

在我国研究、解决地层损害问题尤为重要和迫切。我国主要含油气盆地油气层多为碎屑岩沉积，岩相复杂，孔隙度、渗透率变化大，而且中低渗透性的地层在储量分布和产量构成中占重要地位，原油性质复杂，稠油、高凝油占相当数量，因此必须针对我国油气层的特点来研究解决我国的地层损害问题。

首先要全面规划，把整个防止地层损害问题作为一个系统工程来考虑，组织全国各方面的力量，分工合作，共同攻关、重点突破、带动全盘，具体应抓以下几个方面：

- 1、尽早研究并建立我国各主要含油气盆地主要油气层的粘土矿物、其他敏感性岩石的分布规律及其引起地层损害的机理。这是科学钻井、完井、射孔及其他增产和开采措施的基础。

- 2、建立从中央到地方的各个地层损害的评价和检测中心，相应地配备必要的测试分析手段。统一评价标准，研究并完善评价方法，使之系统配套。

- 3、加速开展针对我国油气层特点的无损害完井方法的研究，特别是对沿海地区出砂严重的油气层、注蒸汽井、低渗透层、裂缝性地层的完井方法的研究。

- 4、研究发展各种保护油气层的钻井液、完井液、修井液等，包括各施工环节，要做到原料充分、施工简便、费用较低，以便于现场应用。

- 5、发展并生产各种完井液处理剂，如粘土稳定剂、桥堵剂、防垢剂、防腐蚀剂、溶垢剂等。

参 考 文 献

1. 保护油层专辑——第一册 石油工业部科技情报研究所
2. 国外保护油层水平调查报告 樊世忠编写
3. 辽河油田完井设计研究——岩石敏感性评价试验工作总结 黄爱慈编写
4. 防止产后油层损害工艺技术 李淑廉编写
5. 美国《石油工程师》1979年5月104~110页
6. 美国《石油工艺杂志》1986年2月131~151页
7. 苏联《石油业》1986年1月
8. 在钻井过程中保护油层防止污染的技术措施 石油工业部科学技术情报所
9. 国外控制地层伤害用化学剂 陈桂英、刘继德编写
10. 国外钻井液处理剂发展水平与动向 陈泽镒编写
11. 美国 SPE 14121