

防砂手册

■ [美]小乔治·O·苏曼

■ 理查德·C·埃利斯

■ 罗伯特·E·斯奈德

京)

62

■ 石油工业出版社



200348739

071089

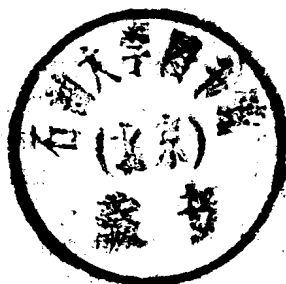
防砂手册

〔美〕 小乔治·O·苏曼

理查德·C·埃利斯

罗伯特·E·斯奈德

钱武鼎 朱燧远 译



00677646

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是关于防砂技术的工具书。全书由浅入深，先从防砂基本概念入手，继而分章介绍了各种防砂方法及设计，如管内、裸眼砾石填充、固结法防砂和稳定砂拱防砂等。本书文字深入浅出，通俗易懂，适用于现场开发、采油工程技术人员，也可作为石油院校开发、采油专业师生的课外参考书。

DP41/06

George O. Suman, Jr. Richard C. Ellis

Robert E. Snyder

SAND CONTROL HANDBOOK

Second Edition, 1983

Gulf Publishing Company

防 砂 手 册

〔美〕小乔治·O·苏曼

理查德·C·埃利斯

罗伯特·E·斯奈德

钱武鼎 朱燧 译

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京妙峰山印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开本 6³/₄印张 148千字 印1—2,000

1988年10月北京第1版 1988年10月北京第1次印刷

书号: 15037·2976 定价: 1.75元

ISBN 7-5021-0131-4/TE·130

科技新书目: 178-500

目 录

第一章 防砂的基本概念	(1)
为什么要防砂	(2)
确定需防砂的井	(17)
选择防砂方法	(19)
合理的钻井与完井	(21)
第二章 完井液	(25)
完井液的定义	(25)
完井液体系	(26)
盐水基完井液	(29)
渗透率损伤	(41)
桥堵物质和液体漏失控制	(46)
砾石填充用的流体	(52)
完井液的过滤	(53)
第三章 射孔	(57)
射孔性能	(58)
射孔设计因素	(58)
用于防砂的射孔	(64)
炮眼清洗方法	(71)
第四章 砾石和筛管选择	(80)
筛管割缝和砾石粒度的设计	(81)
割缝衬管、筛管及预填充筛管	(92)
第五章 管内砾石填充	(102)
炮眼填充	(103)
两步法	(104)
粘稠携砂液的使用	(106)

井下设备	(110)
作业类型	(113)
一步法	(116)
第六章 裸眼砾石填充	(123)
普通方法	(124)
特殊工具和操作	(125)
地层隔离方法	(131)
模型研究结果	(136)
斜井问题和解决方法	(139)
第七章 固结法防砂	(145)
地层固结	(146)
固结系统的特点	(155)
油井准备和设计因素	(160)
可固结的填充物	(164)
水基系统	(171)
热固性砾石填充物	(173)
第八章 稳定砂拱防砂	(175)
稳定砂拱的概念	(176)
为防砂而施加应力	(177)
常规固井的局限性	(183)
对砂层取心和测试	(185)
砾石填充层的测井评价	(189)
参考文献	(190)

第一章 防砂的基本概念

为什么要防砂

确定需防砂的井

选择防砂方法

合理的钻井与完井

由于开发不可再生的石油资源价值提高和修井作业费用大幅度上升，合理的初期完井工艺日益受到全世界重视。在海上和边远地区，尤其强调油井的可靠性和生产能力。但遇到地层砂松散或容易坍塌的油层，这些目标就难以实现。出砂的机理是极为复杂的，从钻头最初钻入地层到开始采油或注水，每一步完井作业对出砂都有影响。

本章先总的介绍这项复杂工艺的一些重要概念，后面还将做详细的论述。用矿场实例强调指出了许多严重的、但可以避免的井下出砂情况。本章要谈以下课题：

(1) 为什么要防砂——产量降低，套管的损坏，割缝衬管和其它设备的损坏，地层产出砂的运输和处理问题。

(2) 决定油井何时进行防砂的各种因素。

(3) 选择机械还是化学防砂方法的准则。

(4) 合理的钻井方法，合理的第一次注水泥以及合理地选择完井液能最大限度减少以后的出砂问题。

出砂问题在较新的第三系沉积岩中，尤其是中新世地层中是十分普遍的。在美国墨西哥湾、加利福尼亚州洛杉矶盆

地、加拿大沥青砂地层、印度尼西亚、尼日利亚、特立尼达和委内瑞拉的这种沉积岩中，都广泛地存在引人注目的、棘手的出砂问题。而如果钻井或完井作业改变了地下应力状况，使岩石基质强度被井壁处的运动所减弱，则其它地层（如较老的第三系）也会出砂。这点以后讨论。

为什么要防砂

用化学或机械方法控制未固结地层出砂，是为了避免和克服某些生产中的问题，最常见的是人工举升设备加速损坏的问题。其它潜在的严重问题还有套管，油管 and 出油管线中砂桥造成产量下降；由于周围地层的亏空、挤压和冲蚀造成套管或衬管的损坏，井下和地面设备的磨损；运送和处理地层产出砂等。下面来谈谈这些问题。

砂桥

当砂桥在套管或油管中形成，对井内流动造成障碍时，就说该井砂堵了。通常用捞筒或细直径同心管冲洗法清除砂桥，恢复油井产能。砂桥问题严重时，为保持连续生产，就需要进行防砂。这是采取防砂措施的主要原因。

还有其它一些方法用来防止井下形成砂桥：

（1）降低油井日产量，减少地层砂流入井内——可惜这种方法不经济。

（2）采用小直径油管或提前采用气举，以提高采出液在油管柱中的上升速度，减少砂子的沉积。

（3）将部分采出液回注循环，以提高液流上升速度。

允许油井持续不断出砂的生产方式在美国加利福尼亚州文图拉（Ventura）油田曾试验过，并取得某些成功。但这种方式是有危险的，它会损坏套管并使油井报废。

套管和衬管损坏

油层出砂常常伴随着生产层段的套管损坏和油井报废[1-4]。在某些起初相当坚固的地层，如墨西哥湾某些承受地压的油层（如老第三系的Frio, Vicksburg和Wilcox），套管损坏是由于不均匀的水平负荷造成，这种不均匀的水平负荷是在岩层出砂，或者是支撑套管的盖层坍塌而形成高轴向压缩力时产生的。在起初就松散的地层中，地层压实作用会使整个套管柱承受异常的负荷。

压实和下陷的预测

许多研究工作都以能够预测作为其目标。艾伦(Allen)的一篇文章对这种研究作了总结。对松散砂岩的压缩率测定表明，在承受负荷情况下发生了压实作用（见图1-1）。请注意该图中为了把试样表观体积的变化考虑进去，不采用孔隙度而采用孔隙比 e ，即孔隙体积与固体颗粒体积之比。实验室测定数据时发现，在极端情况下压缩率会使孔隙度减少5~7%，这意味着纵向上每100英尺（30.5m）油层会缩短大约10英尺（3.05m）。

实际压缩率取决于先前的负荷、颗粒大小和形状、堆积方式、分选性和矿物组成。

在以下情况，采油过程中油藏也会发生压实作用：

(1) 油层岩石可压缩。

(2) 孔隙内流体压力减小，负荷从流体相转移到粒间结构上。

(3) 盖层缺乏自支撑能力，会发生向下的形变，给底层一个恒定的负荷。

孔隙压力减少及油藏亏空和压力降联系在一起。孔隙压力减少还伴随着颗粒间垂向负荷增加，因为这种负荷等于盖

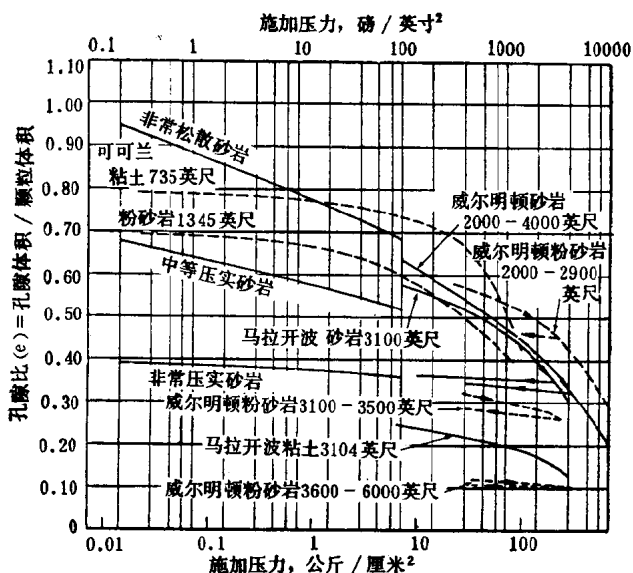


图 1-1 对不同产区的砂岩与泥岩做压缩试验表明, 松散地层受压后容易压实。算例指出, 当油层流体压力从原来的1400磅/英寸² (9.65MPa)降为 400 磅/英寸² (2.76MPa)时, 作用于3000英尺(914.4m)深处的威尔明顿 (Wilmington) 砂岩上垂向应力会从1600磅/英寸² (11.0MPa) 增加到2600磅/英寸² (17.9MPa)

层重量减去孔隙压力。

可能发生的最大压实量

最大压实量可以用下式来估算〔5〕:

$$\Delta H = \left(\frac{\Delta e}{1 + e_0} \right) H \quad (1-1)$$

或

$$\Delta H = \left(1 - \frac{1 - \phi_1}{1 - \phi_2} \right) H \quad (1-2)$$

式中 H ——产层厚度，

ΔH ——垂向压实量，

Δe ——孔隙比（孔隙体积/颗粒体积）的变化，

e_0 ——原始孔隙比，

ϕ ——孔隙度。

用这些公式，就可以估算最大压实或下陷量。实际压实作用似乎要小得多，因为压缩试验数据没有把下列因素考虑进去：

(1) 由于强烈的地质褶皱，给盖层一个外加的结构力——这与平缓的褶皱不同。

(2) 盖层的横梁效应，该效应阻止盖层向下的形变。

(3) 褶皱区域内尚存在未释放的结构应力。

(4) 产层的宽度/深度比值的关系。

(5) 地层试样（岩心等）在取心过程中受到扰动，而产生的数据误差。

艾伦提出一种用来确定压实或下陷敏感度的定性方法，它包含油层厚度，埋藏深度，盖层沉积物和构造特性，中新世与更年轻的地质年代等因素。他列举了计算压实和下陷作用的较为复杂的公式，同时还估计了不同地区的砂岩和泥岩的相对影响，并对下陷速度作了讨论。

压实作用施加给管柱的负荷

美国加利福尼亚州威尔明顿油田管柱负荷情况的研究结果，是很有说服力的，虽然直到油藏压力枯竭时也很少发生极严重的情况。但是几乎所有松散油层都在较轻的程度上存在类似于加州威尔明顿油田的现象。

最重要的发现之一是，穿过生产层段的套管或衬管被周围的松散地层紧紧“抓”住，压实作用造成的油层纵向缩短传递给套管。这样，用一个综合性的套管缩短测量程序，通过套管接箍定位器来精确测量出套管缩短，借助该值能够，而且已经把油层缩短完全记录下来。

另一种测量压实作用的方法，是用目前使用的测井仪器确定射入地层中放射性子弹的位置，并确定后来此位置的移动（参看图1-2）。

用这种方法测量一根缩短了1英尺（0.305m）以上的、本身长40英尺（12.2m）的套管，测量精度可达到 ± 0.04 英尺（ $\pm 0.012\text{m}$ ）（图1-3）。

鲁德里奇（Ruedrich）等人讲述过用斯仑贝谢（Schlumberger）MCCL测井仪的早期矿场试验情况。该仪器有两个套管接箍定位器，用热膨胀性很低的特殊镍铁合金套隔开，隔套长度与一根普通套管近于相同。上提仪器时，顶部定位器越过一根特定套管的顶接箍，而不久前（或不久后）底部定位器越过该套管的底接箍。于是可以计算出该套管的长度，它等于隔套长度减去（或加上）两定位器响应值的测井距。据介绍，在对一试验管柱施加轴向负荷时，测量套管长度变化的精度达到了百分之几英寸。

损坏实例

威尔明顿油田套管缩短，已到超过钢的弹性限度而发生塑性变形的程度。当周围砂岩的水平制约力由于地层出砂而消失时，套管负荷会使套管严重弯曲（图1-4）。如果采用合适的防砂措施不让地层出砂，就能基本上制止套管损坏造成的油井报废。

如果不出砂，套管和衬管仅仅是缩短，并伴随着弯曲和

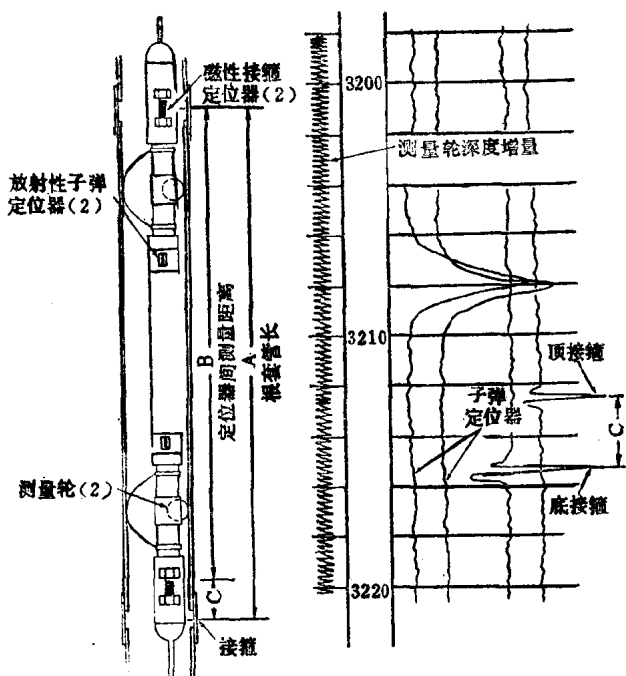


图 1-2 特殊测井工具精确地测量一根套管的长度变化，以计算地层压实作用。工具上的测量轮，使地面能读出测井工具在下定位器的底接箍记号和上定位器的顶接箍记号之间的相当小移动 C 。一根套管长度的变化反映在 C 长度上。一根套管的总长度为 C 、 B ， B 是两定位器间的恒定距离。放射性子弹定位器用同样的方式工作，但已证实其精度较低

割缝的张开或闭合（图1-5）。自然，在充填砾石情况下，割缝张大会使砾石流失，接着就出砂。这种情况下，就应采用尽量不减少衬管强度的割缝型式。

威尔明顿油田油层压实作用还伴随发生碗形凹陷的中心

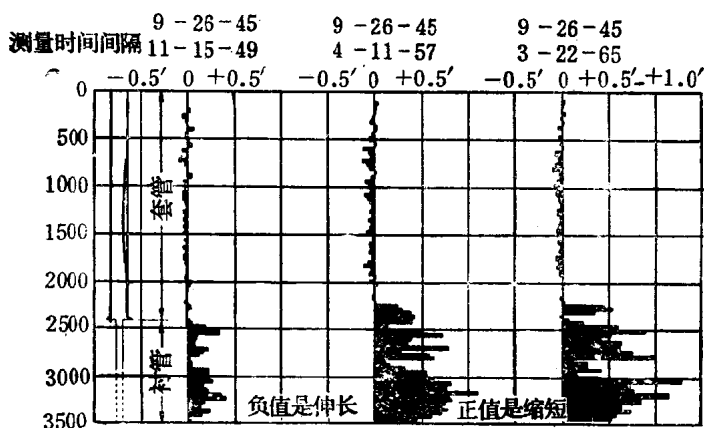


图 1-3 对加利福尼亚州威尔明顿油田的测量表明，与原先标记作对比，地层压实作用使油井下部套管缩短，而使上部套管承受张力。请注意2200英尺（670.6m）以下套管4年以后每根缩短了1/4英寸（6.35mm），20年以后每根缩短了1英尺（305mm）。浅部套管每根略伸长了0.1英尺（30.5mm）

区地面下沉约30英尺（9.14m）（图1-6）。随着上部地层的下沉和重新调整，几个水平地层的运动以地震形式记录在加利福尼亚州工学院地震仪上。约300口采油井受损坏，120口报废。另外一些井靠近地面的套管受张力而断开。后来通过保持压力避免和纠正了这些问题。

冲蚀和磨损

穿过生产层段的管件常被采出液中的砂子严重冲蚀。已发现裸眼井中割缝衬管上有大洞（图1-7A）。井下取出的筛管和爆破接头上，对着射孔段的那一面发现有冲蚀孔（图1-7B与1-7C）。该例子中爆破接头上的孔径为1~2英寸

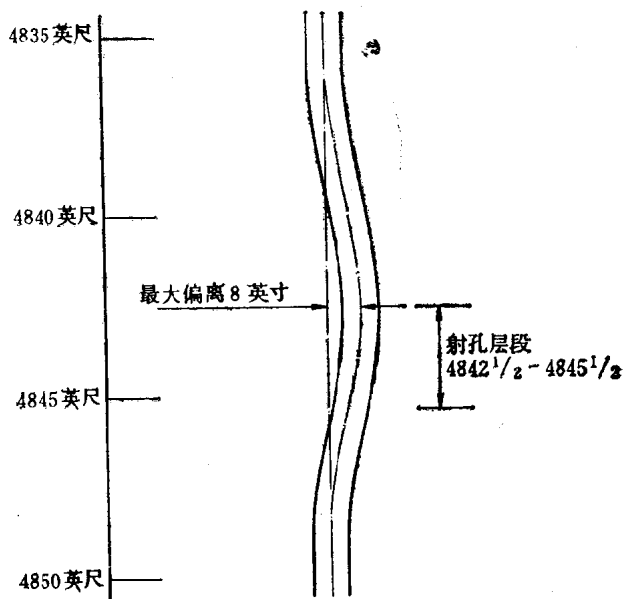


图 1-4 出砂造成套管弯曲在路易斯安那州南帕斯 (South Pass) 地区海上油井的这个例子中很明显。在5~10英尺 (1.52~3.05m) 的垂直距离上, 7英寸直径的套管偏离了8英寸 (203mm)

(25.4~50.8mm), 有些取出的爆破接头已完全断开。

偶尔, 继出砂后会产出水泥块和地层岩块, 其大小超过炮眼直径。这表明射孔段的套管可能而且确实发生了冲蚀。大范围的冲蚀加上高轴向负荷能产生严重的卷曲与剪切作用。

图1-8是一些井下冲蚀的例证。含砂流体通过图1-8A的油管上的一个腐蚀孔, 在邻近的另一根油管上冲蚀了一个洞 (图1-8B)。与油管孔眼对着的7英寸套管上也冲蚀成凹坑并穿孔 (图1-8C)。

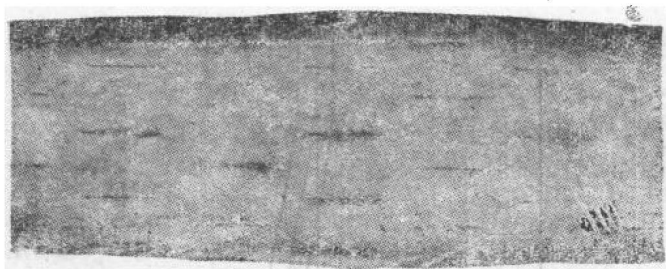


图 1-5 油层压实作用会增加轴向负荷,使衬管缩短,随之产生弯曲和割缝畸变。南加利福尼亚州某油田的这一试样证实了这一点。请注意畸变段中割缝既有张大,也有闭合

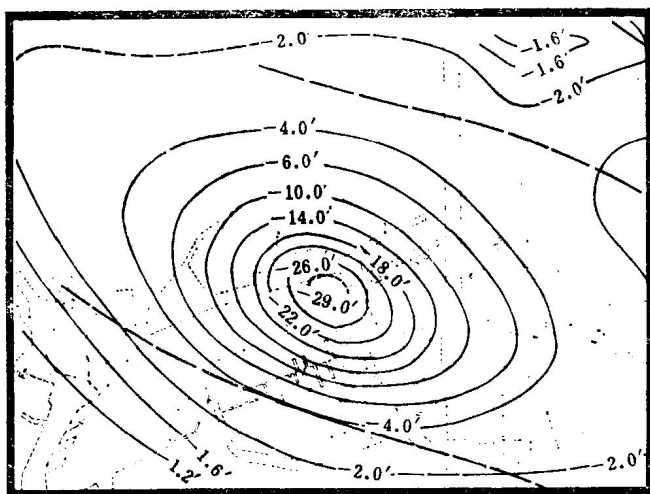


图 1-6 加利福尼亚州威尔明顿油田1928年到1970年地面下沉等深图。3000英尺(914m)深的油层压实作用使地面下沉达30英尺(9.14m)。近来开发中用保持压力方法避免了进一步下沉

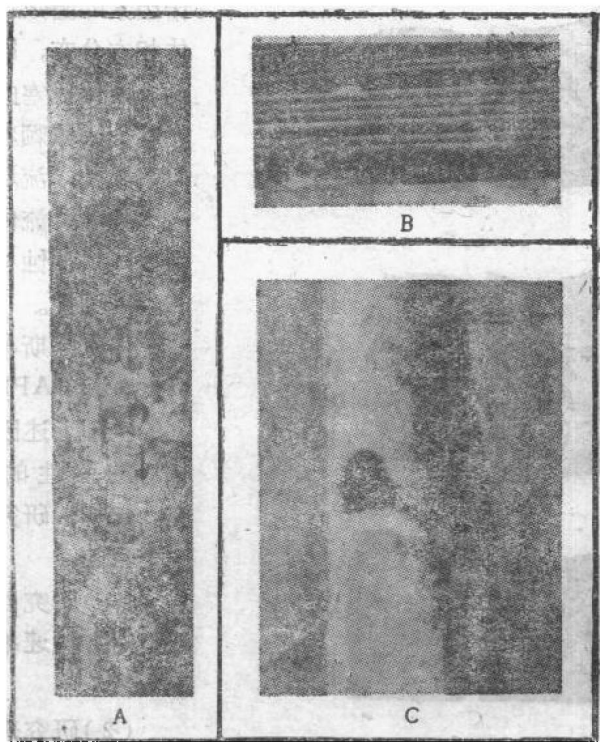


图 1-7 位于生产层段的井下设备受砂冲蚀而严重损坏的例证。A为割缝衬管，B、C为爆破接头。爆破接头上的冲蚀孔直径为1~2英寸（25.4~50.8mm）

地面设备也同样受冲蚀的危害，特别是靠近截面或方位改变的地方，如油嘴或弯头处。在地面关键部位，冲蚀还造成人身伤亡、污染，火灾及设备毁坏事件。

API研究

如前所述，夹带的砂明显造成了设备损坏。冲蚀是以下

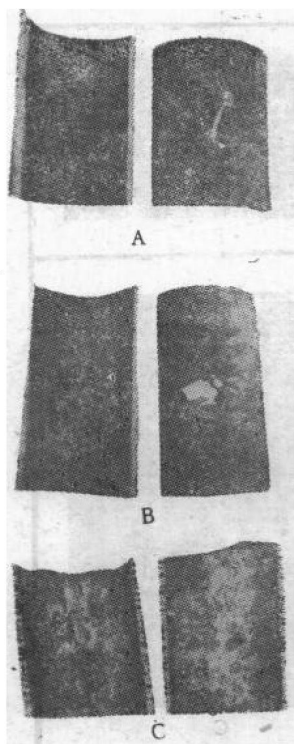


图 1-8 美国墨西哥湾油井中冲蚀-腐蚀的例证。在一口下双油管的井中，含砂流体从腐蚀孔A出来，从外部冲蚀邻近的油管B。7英寸的已射孔套管C，对着油管孔的地方被冲蚀成凹坑

(4) 建立出砂检测装置测出的冲蚀速率与采油设备上材料耗损之间的关系。

研究内容有文献检索，用调查表进行工业调查，实验室试验。试验数据显示出，当时（1977年）控制砂冲蚀的可行

诸因素的函数：流体相态分布，即气泡、液体段塞的存在等；固体颗粒性质及浓度；流速；入射角度；流体腐蚀性；被冲蚀材料的耐冲蚀性。

得克萨斯A & M大学做了API主办的一项上述因素相对重要性的研究。起初，研究有四个目的：

(1) 研究砂粒速度对冲蚀速率的影响。

(2) 研究采油设备几何形状对砂冲蚀速率的影响。

(3) 研究不同配件材料的冲蚀速率。