

井漏

J. U. 梅辛杰 著

石油工业出版社



前 言

井漏是油井钻井中最复杂和耗资最多的事故，每年为此所消耗的材料、损失的钻机月以及报废的油井的价值可达几百万美元^①。虽然十年来并没有发现什么新的有效的堵漏材料和技术，然而通过更有效地使用现有的材料和技术仍然取得了成果。所以，着眼点一直放在使用一般井场都有的、既使用方便又价格低廉的堵漏材料。

书中介绍了漏层按漏失的严重程度的分类，详细叙述了各种不同的堵漏材料和堵漏方法，并列举了它们所适用的漏层类型和漏失的严重程度，描述了它们封堵漏层的机理，并列表举出了常见的处理漏失失败的原因。此外，书中还介绍了预防井漏的方法。粗略统计表明，采用恰当的钻井和泥浆技术措施，50%可能发生井漏的情况可以避免^②。

使用油基泥浆时不能用堵漏材料进行预处理预防井漏。本书所列举的各种情况对各种堵漏剂和堵漏方法是否能直接用于油基泥浆都做了说明，并且还介绍了用重晶石塞子和油配制的重晶石塞子封堵漏层以及处理正在井涌的油井等有关问题。

① J. L. Lummus, "New Material Proves Successful to Stop Lost Circulation under Various Conditions", *Petroleum International*, December 1966, p. 26; Magcobar, "Free-World Sale of Lost Circulation Materials".

② B. Q. Green "Eight Steps to Stop Lost Circulation", *Pet Eng.*, March 1963, p. 74.

目 录

前言

第一章 什么是井漏	(1)
漏层的种类	(1)
第二章 井漏的预防	(8)
井内压力的控制	(8)
下入技术套管封住过渡层	(12)
第三章 堵漏的机理	(15)
封堵水平漏层	(16)
诱导的垂直裂缝	(18)
第四章 处理井漏的措施	(25)
确定漏层的位置	(25)
井漏按漏失严重程度分类	(26)
根据漏失严重程度选择处理方法	(29)
处理井漏失败的原因	(38)
第五章 堵漏材料和井漏处理方法	(40)
方法1——起钻静候	(41)
方法2——泥浆(水基或油基)中加入桥堵剂	(42)
方法3——挤入高失水浆液	(44)
方法4——注水泥	(52)
方法5——井下混配的软/硬塞子(M + DOB 2 C)	(67)
方法6——地面混配的软塞子	(86)
方法7——井下混配软塞子	(87)
方法8——特殊的堵漏剂(水、胶化水、胶化油-携带砂子)	(99)
方法9——有进无出或用充气泥浆钻进和下套管	(103)

重晶石和重晶石油浆塞子	(104)
第六章 特殊情况下的井漏	(114)
控制水层出水	(114)
防止泥浆漏入产层	(117)
注水泥过程中的井漏	(118)
井漏和含硫气体井涌	(120)
在高山地带钻井	(121)
封堵不住的漏层	(122)
选择重晶石塞子的类型	(123)
确定处理井漏时的技术参数	(124)
预防试漏时发生井漏	(125)
附录A API堵漏用桥堵材料规程	(127)
附录B 堵漏材料对环境的污染	(132)
参考文献	(133)
附表 本书使用的非许用单位与许用单位对照表	(135)

第一章 什么是井漏

井漏就是钻井工程中钻井液或水泥浆漏入地层的现象。有的井漏只是泥浆池液面缓慢下降，而有的却完全不返泥浆，其严重程度差别很大（注意：不要把泥浆滤液渗入地层或泥浆充填钻出的新井筒使地面泥浆量减少与井漏相混淆）。

漏层的类型、井漏的严重程度、漏失层位各不相同，变化很大。即便是一个很有经验的人，也很难把一个地区井漏的详细情况说得一清二楚。但是，对此仍积累了丰富的成果，可以推荐经济有效的方法对付井漏，其中包括预防性措施和井漏已经发生的处理办法。应该特别指出，最后的效果如何与是否能正确使用每个油田和井场都应储备的搬土、柴油和水泥以及各种各样的桥堵剂有很大关系。

漏层的种类

泥浆的漏失可能在六种地层中产生：

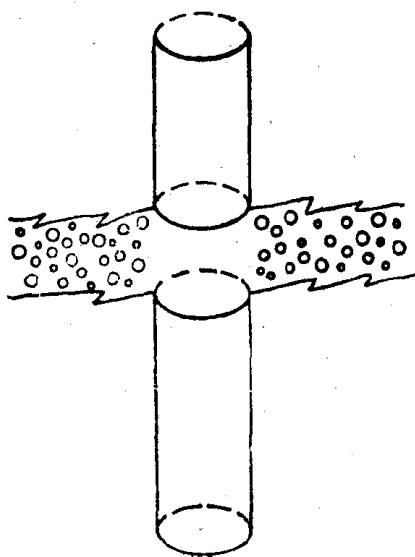
- 1) 松散的或高渗透的地层(松散的砾石)；
- 2) 天然裂缝地层；
- 3) 诱导的水平裂缝；
- 4) 洞穴性地层；
- 5) 天然的垂直裂缝；
- 6) 诱导的垂直裂缝。

归纳以上六种，又可分为水平裂缝和垂直裂缝两大类。不超过2500~4000英尺为天然的或诱导的水平裂缝；超过这

一深度则为垂直裂缝。只有井内压力超过了岩石的强度和上覆岩层压力时，才会诱导出水平裂缝，即是说泥浆比重只有相当于或超过19.4磅/加仑时才有可能。因为压出垂直裂缝不用举升覆盖地层，它在低得多的压力下就可产生。

水平漏层

1. 孔隙性的砂层和砾石层(图1-1)：孔隙性地层基岩的渗透率只有在10~100达西时才能吸收泥浆或水泥浆。而浅部的砂层和砾石层的渗透率大多在此范围，因此它们可以接受全排量的泥浆或水泥浆。



但是，深部的砂层渗透率一般都很少超过3.5达西。所以，除非被压出裂缝，一般它们的基岩都不是漏层。孔隙性砾石层呈水平状，它们支撑着上覆岩层。这些砾石层的孔隙并不扩展，不会使其成为漏层，它们可被压力不同的空气或水充填。为使它们扩展，必须举升上

覆岩层，这种情况在浅部地层并不常见。

2. 天然的或原生的裂缝(图1-2)：为使一个水平裂缝能存在，上覆地层必须能自己支撑，不管裂缝的宽度是 $\frac{1}{4}$ 或100英尺皆应如此。为使一个天然裂缝扩大，必须把上覆岩层举升起来。裂缝可能被水或空气充填，但井筒内的泥浆会

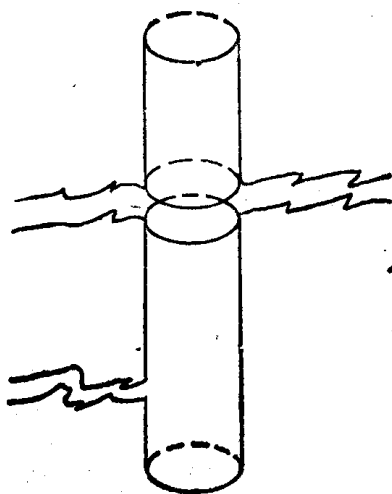


图 1-2 水平漏层：
天然的或原生的裂缝

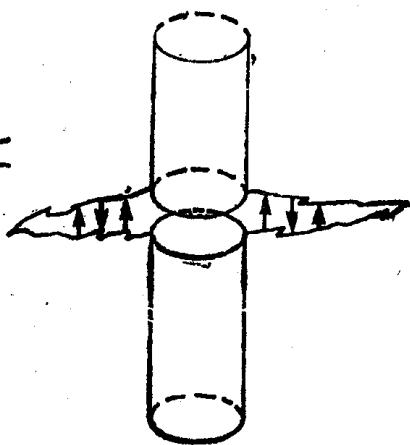


图 1-3 诱导水平裂缝

流入裂缝，使井筒掏空。

3. 诱导出的水平裂缝(图 1-3)：诱导裂缝可能在二、三种情况下发生。最常见的是页岩(或其它岩层)在泥浆柱压力下产生裂缝(注：泥浆压力一旦撤去而且上覆地层有可能下降的话，裂缝可能闭合)。此外，诱导裂缝还可能出现在压实不好的海床。此外，在山顶钻井也可能出现此种现象。

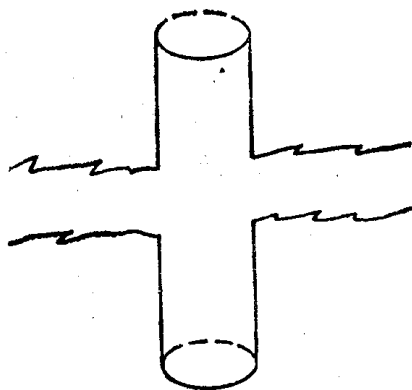


图 1-4 洞穴性地层

4. 洞穴性地层(图 1-4): 所谓洞穴, 就是石灰岩中各向尺寸都很大的裂缝。水平洞穴以上的覆盖层是自己支撑着的。水可以在水平裂缝或洞穴中流动, 或从上部或下部的地层流入这些地层, 封堵漏层非常困难。

表1-1 不同类型水平漏层的特征

漏层类型	漏 失 特 征
孔隙砂层和砾石	1. 泥浆池液面缓慢下降 2. 如继续钻进可能完全不返泥浆 3. 因为岩石渗透率只有超过10达西时才能使泥浆进入地层, 而且含油气的砂层的渗透率很少超过3.5 达西, 所以, 除非这种松散砂层非常容易被压裂, 否则疏松砂层使泥浆漏入油气层是不大可能的
天然裂缝	1. 可能发生在任何性质的岩石中 2. 根据泥浆池液面逐渐下降可立即发现井漏, 如继续钻进, 裂缝进一步扩大, 泥浆会完全不返出井口 3. 裂缝必须维持一定的开启程度才能吸收泥浆
诱导裂缝	1. 发生在当泥浆柱的压力使任何地层中被压出水平裂缝的情况 2. 开泵过猛, 泵压突然升高 3. 钻具活动有阻卡 4. 海上钻井在压实不好的海床地层钻井时, 由于泥浆比重逐渐升高, 也可能发生
洞穴地层	1. 只限于出现在石灰岩中 2. 突然完全不返泥浆 3. 井漏发生后突然钻具放空几英寸至几英尺 4. 井漏发生前有蹩跳钻现象

垂直裂缝

1. 天然垂直裂缝(图 1-5): 天然垂直裂缝出现在2500英尺以下的地层中。然而在这样的深度出现时, 裂缝比较小、比较窄, 除非这些裂缝在压力下扩展, 一般情况下漏失都比较轻微。由于裂缝已经存在, 只要克服裂缝的传播压力就够了。

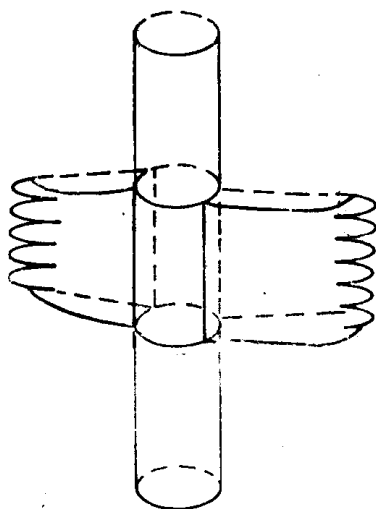


图 1-5 天然垂直裂缝

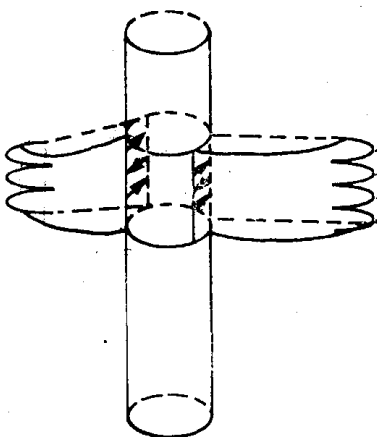


图 1-6 诱导垂直裂缝

2. 诱导的垂直裂缝(图 1-6): 洞穴性漏失很难解除, 但并不常见。洞穴大多出现在石灰岩中, 但是压出垂直裂缝造成井漏几乎在任何地层都可发生, 一般多发生在处理事故的时候。造成诱导裂缝的原因是不固定的、多种多样的, 如过高的泥浆比重, 井口回压或阻流器压力过高, 起下钻具过猛、过快、或井内循环通路堵塞造成憋压等。

3. 地下井喷(图 1-7): 井内流体(气或水)从一个较深的高压层流入上部的漏层的现象(此漏层通常是诱导的垂直裂

缝)称为地下井喷。

诱导的垂直裂缝与天然的垂直裂缝的区别在于前者必须有足够的破裂压力时才会出现。而为使泥浆漏入天然垂直裂缝,仅仅需要克服裂缝的传播压力即可。

天然裂缝在极高的压力下扩展,这时它就象一个诱导的垂直裂缝一样。很难预防泥浆漏入诱导的垂直裂缝,因为压力超过使它封闭的压力后,裂缝将扩大,从而使密封受到破坏。

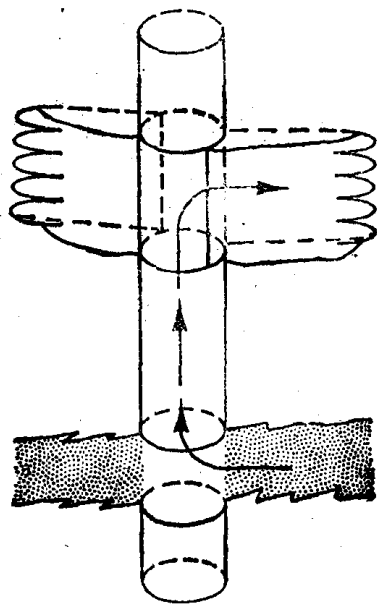


图 1-7 地下井喷

压出垂直裂缝是一种最麻烦的事故,因为它可在超过2500英尺深度的任何一种地层中出现。为了压出垂直裂缝,施加的压力必须超过岩石的强度和裂缝传播压力。在这以后,为使裂缝扩展,只需克服裂缝的传播压力就够了。只要压力大于传播压力,压出的垂直裂缝就能够无限地扩展。

表1-2 各种垂直裂缝的特征

漏层类型	漏失特征
天然裂缝	1.可能存在于任何类型岩石中 2.随着漏层钻开的越多,尤其是随着泥浆比重的升高,可能由部分漏失发展到全排量漏失
诱导的裂缝	1.可能出现在任何种岩石中,但多出现在2500英尺以下更深的地层 2.漏失突然发生、而且完全不返泥浆。泥浆比重超过10.5 磅/加仑时,会更有助于压出裂缝 3.突然的压力激动或起下钻也会引起井漏 4.如邻井从未井漏,本井漏失,可能是压出了裂缝
地下井喷	1.流体从较深的高压层流入上部的诱导出的垂直裂缝 2.可通过压力不稳、原因不明的压力和泥浆体积的变化发现 3.如为控制油井所采取的正确的压井措施失败,也可能出现

第二章 井漏的预防

可能造成井漏的两个原因是井内压力过高和下入的技术套管偏少，但二者皆可避免。

井内压力的控制

过高的井内压力可能有几个来源，其中最重要的就是泥浆的静液柱压力。为平衡深部某个地层的流体压力所需要的静水压头可能会把上部地层压裂，这时会出现井漏并导致严重的井涌。

过高的井内压力的另一个来源是泥浆循环比重，它是指为克服泥浆柱的惯性和泥浆与井壁的摩擦力所需的压力。其它增大泥浆循环比重的因素是循环排量过高、开泵过猛、提放钻柱过快过猛。其它的原因诸如钻杆护箍膨胀，泥饼堆积，钻速过快钻屑过多，井径扩大处钻屑的集存，以及钻具泥包等原因造成的环形空间容积变小等，也会使泥浆循环压力升高。

可采用以下措施减轻造成井内压力过高的成因：

- 1.减小静液柱压力：可通过使用最小的安全泥浆比重钻进，以减小泥浆的静液柱压力。特别是在边远探井，应避免负压钻井，因为井涌会对裸露的地层施以很大的压力，从而造成井漏。在易漏地区，应采用最小的安全比重。

- 2.降低循环比重：降低泥浆比重则可降低流动惯性。在允许的范围内调整泥浆性能(粘度、屈服值和静切力)，则可

降低泥浆与井壁的摩擦力。泥浆屈服值达到一定数值以后，并不需要使用大排量就可清洗井筒。

开泵过猛、起下钻过快应绝对避免，其防止的办法是：

(1) 起(或下)一柱钻具用45~60秒时间。

(2) 遇到砂桥不要强提硬压。

(3) 先将钻具慢慢提起，挂上转盘后缓慢开泵(注：在泵压稳定和钻头放至井底以前，先不要提高泵的转速)。

(4) 根据实际情况，尽可能降低泥浆泵排量。

建议按装一个报警装置、以避免有害的井下压力激动，灯光一亮或警笛一响，则告诉司钻提放钻具的速度超过了规定。这种装置市场上有很多种。

使用回压凡尔可能会防止钻头被堵死。一般现场防止泥包钻头的方法是快速下放钻具，然后猛刹车，但由此而造成的压力激动会使裸眼井段井塌。

3. 防止环空容积减小：防止阻卡的措施之一是在适当的钻速下钻出一个直的、清洁的、井径规则、井壁稳定的井眼。但井身质量不好、井内不干净、井径被冲大、井壁不稳定等情况又不可避免。对此怎么办呢？在此情况下，总还是可以钻出一个稳定的井眼。首先一开钻就要用清洗井筒所需的泥浆泵排量和以一定限度的钻速钻成井径规则的井眼。这样，不管井眼是否干净，总会逐渐趋于稳定。一旦实现了这种状态，不管进行什么作业，就要保持这个排量，以维持这种稳定状态。例如，在12¹/₄"的井眼中下入9⁵/₈"套管，井眼在环空返速为120英尺/分时是稳定的，则下套管时仍应维持这个稳定的环空返速。另外，在注水泥时，同样要保持120英尺/分的环空返速。对于12¹/₄"井眼下入9⁵/₈"套管的情况，这时使用的排量应只相当于钻进的排量的一半。而下

套管的速度也应使泥浆对套管的相对流速维持在120英尺/分。井内下入全井长度的井下工具时，都应采用这种调节排量的方法。

钻速过快会造成9~10种井下复杂情况，钻速过快的典型曲线如图2-1所示。队长的职责之一是选择和确定允许的最大钻速。如他主观主张采用AB线钻进，到B点后则只好

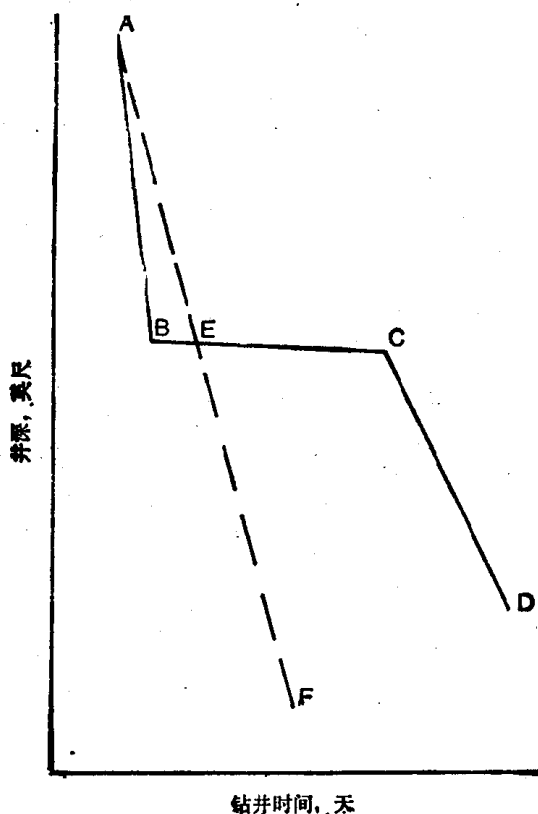


图2-1 钻速过快的典型曲线

被迫按BC线进行。检查人员只看BC段也就够了。面对这种情况，队长无言对答，检查者也束手无策。这就是为什么所有的人都不愿采用极限钻速而愿意按AEF线用较低的合理钻速钻井的原因。

一种泥浆在最理想的情况下，携带的岩屑最多只有其体积的5%，超过这个限度就会使钻头、钻铤和扶正器泥包。这时在下部井段就会诱导产生水平裂缝或垂直裂缝而发生井漏。如果是水平裂缝，消除泥包后可能会闭合；如果是垂直裂缝，就不能复原，地层破裂就不可避免，使用油基泥浆时更是如此。最坏的情况是，裂缝的传播压力比压出裂缝的压力低3.0磅/加仑。换句话说，造成的复杂情况就不得不处理。在泥包部位以下泥浆会漏入地层，井口几乎一点不返泥浆，接着会导致地层剥落坍塌。此种情况必须避免。

一些井在钻井时井下不太干净的情况不可避免，但是只要控制一定的排量和钻速，井筒就是稳定的。只要维持这样的状态，钻屑就会停在原地不动。

降低泥浆的滤失量则可使孔隙地层泥饼的厚度受到控制。这样做也可能合适，也可能不合适。但是通过使用固体控制设备，泥浆中保留固体颗粒的尺寸可以选择和控制，这样可使泥浆在地层内部形成内泥饼，从而可以防止在井壁形成过厚的泥饼。现代化固控设备有助于防止井漏，虽然它们很有用，但使用起来却很麻烦，并且好费钱。

最后，使用不膨胀的钻杆护箍，在它们会造成井下复杂情况之前及时将它们除去，避免使用超过井径的扶正器，以上是防止环空缩小的最直接有效的措施。

4. 其它应注意的问题：如果预先估计可能会钻遇一个漏失层，而且加入桥堵剂会有效的话，在进入漏层前，应用桥

堵剂处理泥浆。例如，在进入一个有小天然裂缝地层之前，在振动筛处加入黑核桃壳粉，这样就会提高使此裂缝扩大所需的压力。

应保存必要的技术资料。目前，预防和处理井漏所需的资料保存得很少。一个地区处理事故成功或失败的实际资料往往因工作调动而被个人带走。记录和描述井漏、有效处理井漏所需的材料和有关的技术资料非常需要。应该采用并认真填写表 2-1 所示的井漏报表。

下入技术套管封住过渡层

很多场合下压出垂直裂缝造成井漏(这种漏失的处理最麻烦、费钱最多)是因为技术套管下的偏少，有低压层未封住，为控制下部的高压层而提高泥浆比重时就会发生井漏。从低压层逐步转变为高压层的井段称过渡层。如果用技术套管封住了过渡层，很多因产生垂直裂缝使地层破裂造成井漏的情况就能够避免。

只是在最近，对过渡层的重要性才有了充分的认识。准确地判断这种井段的可靠方法是现场人员提出来的，其中包括直接方法和间接方法二种。

间接方法

1. 地震资料法：如在钻井前由地震资料已经知道异常高压层，就可将泥浆性能设计得更加符合实际需要，从而不必中断钻井。

2. 电测资料法，用电法或声法测井，可以得到地层的电阻率、电导率和岩石密度的资料。在高压层，电阻率和页岩密度下降，而电导率升高。这些数据对于确定过渡层是非常可靠的。然而缺点是得停钻进行测井。

3.控制井口回压法：正在井涌的井可以关井，在压力控制的状态下可以引流并测得压力数据。

直接方法

1.钻井参数法：可以用其判断高压层(或过渡层)的钻井参数有：

1)钻速加快。

2)井下异常，如有遇阻遇卡、地层剥落、钻屑尺寸变大、钻屑量增多等现象。

3)由于接单根或地下水、气进入井内、泥浆受侵严重。

2.页岩密度法：钻入高压层时，页岩密度由2.4克/厘米³降至2.2克/厘米³。页岩密度的下降可由地面的可靠的分析数据报警。

3.井口温度的变化：钻入高压层地温梯度明显升高，这可由钻进时井口泥浆温度明显升高发现。为了使资料能更直接地用于判断问题，往往多绘制井口温度差(°F/100英尺)，而不用井口温度随井深变化的曲线。

表2-1 井漏报表

油 井 情 况	漏 层 情 况
司钻姓名_____ 井号_____	深度_____英尺，层位_____
构造和油井地理位置_____	漏层类型_____泵排量_____桶/分
_____	漏失严重程度_____桶/分
钻机号_____队长姓名_____	漏失泥浆总量_____桶
	判断漏层位置的方法_____
	结果(成功、失败)