

井底结构完善技术

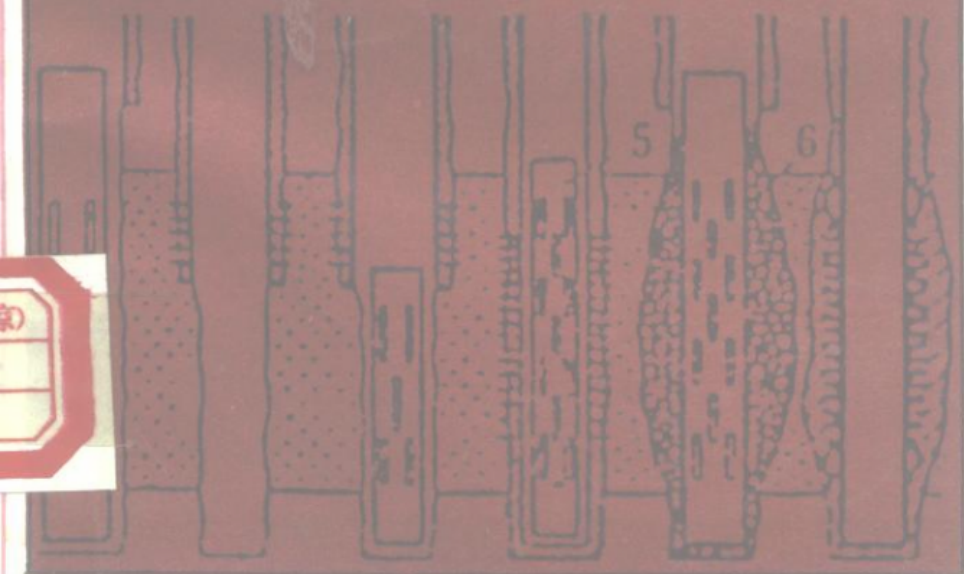
M.O.阿什拉菲扬

O.A.列别杰夫

H.M.萨尔基索夫

PETROLEUM INDUSTRY PRESS

石油工业出版社



073141

TE22

004



00619172

井底结构完善技术

M.O.阿什拉菲扬 O.A.列别杰夫

H.M.萨尔基索夫

张永一 杜春常 译

5949/25



200434217

石油工业出版社

(京)新登字082号

内 容 提 要

本书叙述了不稳定产层井底结构的发展前景,分析了应用现有的井底结构在生产中完井液的选择以及所引起的复杂情况及事故。介绍了应用井底筛管和砾石充填的现代完井井底结构方法。给出了考虑产层地质技术条件和物理机械性质的选择井底结构的方案。

本书可供钻井及完井专业人员参考,亦可作为有关技术人员的培训参考教材。

М.О.АЦРАФЬЯН О.А.ЛЕБЕДЕВ
Н.М.САРКИСОВ
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ
ЗАБОЕВ СКВАЖИН

Издательство "Недра", 1987

井底结构完善技术

М.О.阿什拉菲扬 О.А.列别杰夫

Н.М.萨尔基索夫

张永一 杜春常 译

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京海淀吴海印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开本6印张132千字 印1—2,000

1992年1月北京第1版1992年1月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0781-9/TE·734

定价: 3.50元

目 录

第一章 使产层储集性能变差的因素及井底结构的选择	(1)
§ 1—1 完井时井底地层渗透率的降低	(1)
§ 1—2 确定选择井底结构的因素	(7)
第二章 当代井底结构分析	(14)
§ 2—1 阿塞拜疆穆拉德汉尔油田上白垩统地层井底结构的特点	(14)
§ 2—2 格鲁吉亚油田中始新统地层的井底结构	(22)
§ 2—3 切弹印古什上白垩统地层的井底结构	(27)
§ 2—4 萨雷姆油田侏罗系地层的井底结构	(34)
§ 2—5 不稳定岩石储层的固井	(40)
第三章 产层的应力状态	(45)
§ 3—1 裂缝储层的应力—应变状态	(45)
§ 3—2 裂缝储层井眼附近应力—应变状态的研究	(52)
§ 3—3 在井底附近弱固结地层的应力—应变状态	(57)
第四章 弱固结储层与过滤器结构元件的相互作用	(69)
§ 4—1 井的渗流区地层变形的发展过程	(69)
§ 4—2 诱导油流时弱固结储层的破坏	(71)
§ 4—3 提高人工滤器的效率和寿命	(81)
§ 4—4 井底区强烈破坏之前地层—储层的变形	(90)
第五章 工艺措施和使用设备对产层性质变化和井眼环空密封的影响	(96)
§ 5—1 裂缝储层的堵塞和清洗过程的研究	(96)
§ 5—2 脉冲载荷对井底岩石强度变化的影响	(99)
§ 5—3 在钻井液渗滤作用下储层应力状态的变化	(104)
§ 5—4 温度的变化对弱固结储层应力变化的影响	(107)

§ 5—5	按粒度组成弱固结岩石的力学性质的评价·····	(109)
§ 5—6	环空工艺技术装备对地层性质恶化和固井中产生 复杂情况的可能影响评价·····	(111)
§ 5—7	在井内套管柱试压时水泥环的破坏·····	(113)
第六章	建立弱固结储层井底结构的工艺特性·····	(121)
§ 6—1	井内建立筛管的渗透固井材料和工艺技术·····	(122)
§ 6—2	水力冲击扩大井眼的工艺技术和计算·····	(128)
§ 6—3	泥饼和堵塞区影响评价、井筒的清洗和井底渗透 率的恢复·····	(140)
§ 6—4	在建立环空人工筛管井底结构时与套管射孔和诱 流有关的任务·····	(147)
第七章	井底结构的依据和选择·····	(157)
§ 7—1	各种井底结构的优缺点·····	(157)
§ 7—2	井底结构的应用条件·····	(162)
§ 7—3	在裂缝—孔隙储层中所应用的各种井底结构的特 性·····	(166)
§ 7—4	在裂缝储层井中裸眼井底结构的效果根据·····	(172)
§ 7—5	井底结构的选择·····	(178)

第一章 使产层储集性能变差的因素及井底结构的选择

§ 1—1 完井时井底地层渗透率的降低

研究工作表明，在 6.45cm^2 的普通砂岩岩心上就有近3000个孔隙通道的出口。这些出口的形状和大小极不相同，很容易被无机物和有机物的固体颗粒和聚合物堵塞，这正是岩石渗透率下降的原因。即使在井底大多数孔隙通道出口被堵塞的情况下，油井也有工业价值，但其产能很低，产量也会大大下降。

如果井底污染的深度很大，就无法恢复被堵塞岩石的原始渗透率。如果污染只涉及部分井底（天然滤器），则通过对井底进行适当处理，就可以恢复并提高产层的渗透率。

地层的污染可分为三种类型：

①岩石孔隙通道被钻井、射孔、修井时进入地层的固体颗粒所堵塞；

②进入地层的被水引起粘土膨胀和分散；

③钻井时渗进地层的被体形成乳化液。

这几种污染对产层都有害，但如果储层结构的有关信息充足，则可以大大降低其危害，有时甚至可以消除其危害。这些信息可以来自以前所钻井的开发数据，也可来自岩心的研究结果。但在大多数情况下，这类信息都不足，因为地层

污染情况，只有在井眼钻完之后才能查清楚。

颗粒状储层的孔隙度和渗透率在地层的厚度上是变化的。在很多油田，砂岩交互层都是由很薄的粘土层分隔开的，这些粘土层一般都含水。岩层的厚度不一，一般不超过0.5到0.7m。墨西哥湾北部的一些油田的砂岩层的厚度只有3.1mm。有时个别层之间的渗透率相差可达数十倍。渗透率很高的地层不多。在一些地层中，高渗透层可占地层总厚度的10%，而在另一些地层中不超过1%。

为了防止在井眼地层中形成高含水区或者尽可能减少它的范围，建议：

在打开产层时采用反向钻井液、低固相油基钻井液或无粘土钻井液；

钻取岩心时，用低失水钻井液；

在钻取岩心时，为了清洗气井，要采用气体洗井（不能油基钻井液，因为这可能降低气体的相对渗透率）；

水力压裂时，所用的压裂液应是在小排量时有良好的携带能力的液体，如泡沫剂。对气井要使用加热到地层温度时气化的专门液体；

在压裂液中加入表面活性剂。

为了防止钻井液中的粘土颗粒堵塞地层，并把它限制到最小程度，可用各种方法来隔挡和沉淀粘土颗粒，也可在钻井液中加入酸性添加剂。

为了防止或减少由于粘土水化作用污染产层，可采用下述方法：

①根据地层特性选择钻井液；

②在钻井液中加入各种添加剂(CaCl_2 , KCl , $\text{Al}(\text{OH})_3$),

等)，以便防止粘土膨胀和分散；

③使用pH值很高的钻井液时，为了使粘土稳定，可以使用专门的添加剂（氯化钾甲醇溶液）。

有的研究人员认为，在钻井液中加入一些堵塞物质能减少固体颗粒进入地层的程度。对两种类型的岩石（高渗透砂岩和低渗透白云岩）所进行的实验研究表明，当钻井液中所加入的堵塞材料的平均尺寸等于或略大于地层孔隙尺寸的平均值的三分之一时，钻井液侵入地层的程度最小。这些颗粒的含量不应少于钻井液中固相含量的5%，这时固体颗粒侵入岩石的深度不超过25mm。作为填料最好用石膏、碳酸钾、石蜡或沥青的颗粒。

由于受钻井条件的影响，井的产能可能下降5~90%。由此可见，射孔时不能使用有堵塞作用的和类似的钻井液。在压力降为0.35~1.4MPa时，用气体介质射孔污染最小。

根据渗透率（ K ）的大小，可以把粒状储层分成两组：高渗透的（ $K > 0.1 \mu\text{m}^2$ ）和低渗透的（ $K < 0.1 \mu\text{m}^2$ ）。这样划分储层可以使我们仔细地评价产层性质变化的各种因素的影响程度。

按照岩石渗透率的大小和稳定程度，可以把各种类型的储层分为四组：①高渗透、疏松、弱固结储层；②高渗透、坚固、稳定储层；③低渗透、坚固、稳定储层；④低渗透或高渗透、稳定裂缝储层。

第二组和第四组储层对各种工艺措施的作用都同样敏感，它们的不同之处在于地层遭受各种因素的影响程度不一样。

裂缝张开度较大的裂缝储层的情况最复杂，因为这时不

仅钻井液固相颗粒会堵塞渗流通道，而且钻井液将沿着张开的裂缝进入地层，形成坚硬的、低渗透的和稳定的阻碍物质。它们将阻碍地层流体进入井内。这种阻碍物也可能由固井液形成。

第三组产层的特点是天然渗透率本身就低，因而受污染后它们的渗透率就会进一步降低。这时要保证井与地层有一个很好的水动力学联系是很困难的。对这类储层采取预防和减小地层污染的工艺技术措施就更为重要。

产层储集性能变化最大的时刻是产层被钻开的时候。这是由于渗透率很高的产层容易吸收钻井液，而且当井底静液压力比地层压力稍高一点时，地层就会破裂而发生漏失。因而，当钻井液失水很大时，大量的固相物质堵塞岩石孔隙通道，形成很厚的泥饼。当钻井液与已被钻开的地层长期接触时，由于钻井液的滤液渗入地层越来越多，因而堵塞范围也越来越大。

通常，深井钻开产层时都使用加重钻井液，以防止井喷。但到目前为止，还没有一个所有钻井液都能使用的最佳范围指标。因而很难根据钻开地层的具体条件选择钻井液处理剂的配方。通常在打开产层和随后的固井工艺实践中不能很好的联系，这就降低了应用某些钻井液的效果。

当钻开弱固结储层时，岩石结构应力将重新分布，井筒周围的岩石稳定性降低，引起岩石破坏，形成洞穴。因为岩石变形可能造成孔隙和流道变小或堵塞，因此，它也可能是产层性质变坏的原因之一。

固井时，可能留下一些未破坏的坚固泥饼，它们也会使井与地层的水动力学联系变坏。

在高渗透储层还可能吸收一些固井液和压裂液。事先对固井液性质（密度、流变性）提出要求，可以防止上述这些不希望发生的现象。

在钻井过程中，构成井壁的岩石在上覆岩石压力、流体静液压力和流体动压力作用下，处于复杂的应力状态，它受到轴向的、径向的、周向的应力作用，洗井时还会受到其他应力的作用。

在井筒中压力下降时，且径向应力下降的情况下，周向应力增加。这时井筒周围的岩石压缩变形和剪切变形越来越大，使岩石进一步压实，从而使渗透率进一步降低。应力状态的这种变化，有时会使由地层流向井筒的流体大大下降。

在油井的开发阶段，压差是产层性质变化的决定因素。这时弱固结储层受到的影响最大。在这些地层，井底周围岩石结构受到破坏，出砂形成很大的孔穴，油层顶部坍塌，油层套管被挤压变形。

在现场上可用地球物理方法来研究地层变形，在一定的井段上作一些放射性基准点，然后观察其移动的情况。

苏联没使用国外评价岩石应力状态的方法，这一方面是由于缺乏相应的设备，另一方面是由于用这些方法所得的结果精度不高。

目前还没有研制出能定性或定量地描述在建井和以后工作中各种因素的影响模型。因而，首要的任务是研究清楚作用在井内筛管上的载荷，以便对裂缝式和颗粒状弱固结储层井底结构提出基本要求。

可以把外载对产层的作用划分为两个阶段即诱流之前和诱流之后。

在钻开产层时，作用在岩石上的外载主要是静液柱压力、渗流阻力和温差应力。因为取到地面的岩样性质与井下天然岩石的性质无法比较。只能根据平均指标倾向性谈关于它们的强度特性，因此，研究所有这些因素是复杂的。

在研究岩石变形中，首先是确定打开产层时储层可能发生的强度变化。此外，由于缺少在地层条件下测量弱固结岩石上述指标的方法和手段，所以，必须建立一种试验方法，以便定性地说明这个问题。

由于模拟地层条件复杂，因而在实验室条件下研究诱流之后地层变形和破坏的情况也是很困难的。然而，在苏联许多油田上有大量的生产井，它们都是裂缝型弱固结储层。其井底结构各式各样，它们长时间在各种因素作用下工作。因此，对矿场资料进行统计分析后，可以找到在开发期间储层变形和破坏过程的发展规律。

现有的研究还不能回答在各种地层条件下怎样的井底结构特性应具有良好的渗滤特性。为了回答这个问题，必须解决渗滤结构在渗透载荷作用下对弱固结储层破坏过程的影响。

保证筛管长期工作的要求之一是尽量减少因腐蚀过程所造成的筛管破坏。因此必须解决确定强烈腐蚀带的范围，并估计腐蚀带的大小对渗滤设备结构参数的影响。

解决了上述问题之后，就有可能从理论上建立计算能长期有效防止出砂的井筛管基本参数的公式。但是，在井内安装这种筛管目前还有困难。在一系列问题中，最复杂的问题是扩大井眼到所需要的尺寸。

§ 1—2 确定选择井底结构的因素

正确地选择井底结构，可以保证良好的诱流条件，获得最大工作产量而不破坏储层性能，并可对储层进行必要的工艺处理。

苏联很多油气田具有特殊的开发条件，其中包括储层岩石破坏和出砂、地层流体的高腐蚀性、地层压力和温度异常、井底岩石特别坚固、多层性等。显然，井底结构应适应这些油藏开发的特殊条件的要求。

有四种井底结构可供选择（见图1）。

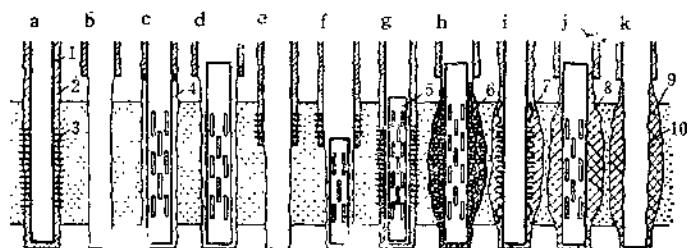


图1 完井井底结构

1—生产套管；2—水泥环；3—射孔孔眼；4—在地面射好孔的筛管；

5—井底筛管；5—砾石充填筛管；7—扶正器；8—井眼扩大部分；

3—渗透固井材料；10—人工筛管的裸露表面

①封闭式井底结构，产层用套管或尾管连续封固，用射孔打开产层（图1中a）；

②裸眼式井底结构，产层是裸露的，或下筛管，但不注水泥（图1中b、c、d）；

③混合式井底结构，产层下部是裸眼的，而上部下套管注水泥，随后射孔打开产层（图1中e、f）；

④为了防止出砂，在产层安装井底筛管（图1中g）或砾石筛管（图1中h），或用渗透固井材料封固井底（图1中i、j、k）。

在苏联矿场上基本上都用第一种井底结构。它用于所有的探井和大多数生产井。然而用这种方法完井并不都是合理的。只有在打开异常高压非均质油藏时，这种方法才是合理的。当地层压力接近静液柱压力，岩石稳定，无底水，或无近邻压头层时，产层井段不应注水泥。在这种情况下，最合理的是在产层井段安装做成筛管的注水泥生产套管（图1中c）。

为了防止出砂所采用的井底结构（图1中g、h）还不够完善，即它们不能防止储层的破坏，而是在砂子由地层向井筒运动过程中，起附加的人为阻碍作用，这时筛管元件很快地被堵塞，天然的岩石固结被破坏，在地层中形成很大的洞穴，地层顶部发生坍塌，筛管或油层套管被挤压变形，这种井底结构仅适用于均质粗粒岩石储层。同时，砾石尺寸一方面应当相当小，以便能挡住砂子；另一方面而砾石尺寸应相当大，以便地层流体通过时不产生过大的阻力（套管外砾石充填的最佳厚度为75~100mm）。

对出砂严重的弱固结储层，最好的井底结构是按美国比亨特开发公司的方法或用渗透固井材料固结的井底结构。

美国的方法是把已射孔的尾管下入预先已扩大了产层井眼部分，尾管上缝隙的大小与砾石充填颗粒的大小相适应。然后利用专门的地面和井下设备把砾石充填到管外环形

空间并把它们压紧。

在利用防止储层破坏和出砂的可渗透固并材料的井底结构中,可以获得建立相当厚的人工筛管。用的射孔弹功率很小,形成的孔眼直径只有3~4mm,而且在套管射孔时不会破坏人工筛管的整体性。

根据矿场和实验室资料分析各种工艺作业对各种储层并

表1 各种工艺作业对井底状态的影响

复杂情况	储层类型			
	高渗透、 弱固结、 疏松储层 $K > 0.1 \mu\text{m}^2$	高渗透、 坚固、稳 定储层 $K > 0.1 \mu\text{m}^2$	低渗透、 坚固、稳 定储层 $K < 0.1 \mu\text{m}^2$	高渗透、 稳定裂缝 储层 $K > 0.1 \mu\text{m}^2$
钻井液漏失 钻井液固相颗粒堵 塞地层渗流通道 粘土膨胀和分散堵 塞孔隙通道	钻开产层			
	+	+	-	+
	+	+	+	+
	+	+	+	+
泥饼—岩石(地层) 保持一个堵塞带 漏失固井液 地层流体与滤失固 井液相互作用堵塞 孔隙通道	固井			
	++	++	++	++
	+	+	-	+
	-	-	++	-

续表

复杂情况	储层类型			
	高渗透、 弱固结、 疏松储层	高渗透、 坚固、稳 定储层	低渗透、 坚固、稳 定储层	高渗透、 稳定裂缝 储层
	$K > 0.1 \mu\text{m}^2$	$K > 0.1 \mu\text{m}^2$	$K < 0.1 \mu\text{m}^2$	$K > 0.1 \mu\text{m}^2$
射孔打开地层				
— 岩石结构破坏 并出砂	++	-	-	-
— 生产套管水泥环破 坏	+	+	+	+
— 生产套管变形	+	+	+	+
— 地层岩石变形时， 孔隙通道减少	+	+	+	+
油井生产				
— 渗流区生产套管受 挤压	+	-	-	-
— 储层破坏时，在地 层中形成孔洞	++	-	-	-
— 在腐蚀流体作用下 井内设备遭受破坏	+	+	+	+

注：“+”——产层储集性能可能发生变化；

“++”——井底附近的状态被破坏；

“-”——地层渗透特性不变化或不会出事故；

K ——地层渗透率。

底状态的影响(表1)证明了在整个完井阶段高渗透、弱固结产层的性质最容易发生变化。第二组和第四组储层对各种工艺作用的敏感性是一样的。在第三组储层中,岩石渗透性的降低很难保证井与地层的良好水动力学联系。

井底结构还应考虑在各种作业时,井底附近岩石应力状态的变化。因此,对于孔隙度和渗透率都低,而地层压力很高的储层来说,最好是裸眼井底结构(图1中b)。而在地层岩石不稳定的情况下,最好是用不注水泥的筛管结构(图1中d)。同时打开多个产层时,封闭式井底结构最合理(图1中a)。当地层压力很高,并在产层附近有其他高压层时,也应采用封闭式井底结构。如果在开采弱固结储层时,与流体一起带出的成分极细,不会很快堵塞筛管,则应采用砾石筛管井底结构(图1中h)。

保持由钻井液和固井液的固相和液相形成的封闭带的完好,常可以使井与地层之间的水动力学联系保持良好的状态。射孔并不是总能够保证这一点。

从这个观点来看,在各种类型的井底结构中,最好的是裸眼井底结构。这时,在地层压差作用下,井筒周围在大多数情况下,都可能恢复原始渗透率。从流体动力学角度出发,裸眼井是完善的。因为在渗流时,低渗透夹层也参与渗流。裸眼井的采油指数达到 $2.2 \sim 7.3 \text{ m}^3/\text{d} \cdot \text{MPa} \cdot \text{m}$,而套管注水泥的井只有 $0.17 \sim 1.1 \text{ m}^3/\text{d} \cdot \text{MPa} \cdot \text{m}$ 。

在稳定的裂缝或裂缝孔隙型储层中,越来越多地应用裸眼井底开采。由采用裸眼井底开采的一些油田的特点(表2)可知,裸眼井段长度一般不超过100m,仅在个别情况下达到250~500m。有时裸眼结构是唯一能从地层中获得油流的

表2 苏联一些用裸眼井开采的油田的有关参数

油田名称	地层	储层类型	埋藏深度m	裸眼结构	取长, m
达格斯坦的一些油田	二叠系—三叠系	裂缝	4300~4500	裸眼	30~100
哈萨克的南曼格什拉克油田	三叠系	裂缝	2000~3000	裸眼	40~70
阿塞拜疆的穆拉德汉尔油田	上白垩统	裂缝	3500~4500	裸眼	30~250
秋明地区的萨雷姆油田	上侏罗统	裂缝	2800~2900	尾管—筛管	40~50
格鲁吉亚的沙孟戈尔油田	始新世	裂缝	2500~3000	裸眼	70~300
乌克兰的多利纳油田	渐新世	孔隙—裂缝	2000~2500	裸眼	80~500
伏尔加格勒的科罗布克油田	泥盆—石炭系	孔隙—裂缝	2000~2500	尾管—筛管	30~60
切弹印古什的一些油田	上、下白垩统	孔隙—裂缝 溶洞—裂缝	2500~5000	尾管—筛管 尾管及部分套管 管相结合	60~100 20~50
克拉斯诺达尔边区的一些油田	始新世	孔隙—裂缝	4000~5450	尾管—筛管	70~150
	中侏罗统	裂缝	4400~5450	尾管—筛管	50~200