

油井完成及完井液

石油工业部科学技术情报研究所

目 录

一、油井完成和生产过程中地层的损害及其防止和处理·····	1
二、选择最好的完井方法·····	18
三、如何检验、防止和处理地层损害·····	25
四、油井工作液·····	29
五、选择油井工作液的考虑因素·····	33
六、如何考虑正确地选择完井液·····	38
七、怎样考虑选择封隔液·····	44

一、油井完成和生产过程中 地层的损害及其防止和处理

生产井钻井和完井的目的就是要无限制地沟通地层间的通道，从而确保油井获得最大的生产效率。任何限制油从井眼周围流出的现象称之为“污染”，也就是说产生了某种类型的地层损害。实践表明，每一个油井施工环节——钻井、完井、修井、开采和增产措施都会产生地层损害，而所有的地层损害都影响岩石内的流动通道，损害油井的产能。过去由于油价很低，油源充裕，在很大程度上忽视了对产能的损害。自七十年代中期西方一些国家出现能源危机以来，对防止地层损害和最大限度的提高油井产能提到重要地位，不仅采用常规的油井增产措施，而且还利用提高采收率的二次和三次采油方法，这就要求注入井和生产井的传导率不受损害，保证获得最好的驱油效率和采收率。

由于地层损害后要进行修复通常是很困难的，而且费用很高，所以，基本的方法还是防止地层损害。为此，要把钻井、完井和生产作为一个整体来研究，包括全面地进行规划和施工。必须注意，在油井的整个寿命期中的任何时候都有可能产生损害。要防止和减轻地层损害就得全面地认识地层损害是如何发生的，地层损害的类型，以及它们是怎样影响油井产能的。

产生地层损害的原因

地层损害不管是由何种原因造成的，不外三种基本的类型，即：

固体物堵塞；

液体性质改变；

岩石性质改变。

而就其作用机理来讲可分为物理作用和化学作用或两者的组合。为了防止损害渗透率，精确地判断损害机理是非常重要的。现在就钻开生产层起，由于流体与地层接触所引起的损害，以及在生产过程中液体从地层流出所引起损害，分述如下：

一、流体从井眼侵入地层所造成的损害

从钻头钻入产层开始直到井投产，产层就与钻井液以及各种影响井的产能的各种作业相接触。钻开产层后，产层所受污染的程度是和钻入产层所用的流体的性质，与产层接触的时间以及液柱压力与地层压力之差有密切关系的。地层的损害及其对油井产能的影响，可能是由泥浆滤液与地层矿物的相互作用引起的，也可能是由钻井液中的固体物质侵入引起的。

（一）泥浆的损害

地层的孔隙是由各种次毛细管孔隙、次显微孔隙、毛细管孔隙以及各种形状和大小的溶解空穴组成的，孔隙有呈毛细管状、瘤状、羽状或薄板状的。孔隙的四壁粗糙，有的是干净的石英、燧石或方解石，也有的被覆盖上一层粘土矿物颗粒、板状次生矿物或岩屑。孔的通道曲折，表面积很大，大多数储油砂岩的孔隙半径在20~200微米之间。这种孔隙条件为捕

集固体颗粒和侵入的流体及附着在孔隙里的粘土或其他矿物间的化学反应提供了理想的条件，这就会对油气层造成各种不同性质的损害。

1. 泥浆滤液侵入对油气层的损害

使生产层中粘土膨胀。多年来的研究证明淡水侵入对渗透率有损害，这是和油砂颗粒周围的粘土颗粒以及极薄的粘土夹层与淡水接触使蒙脱石膨胀有关的，使油流通道变小，阻碍了出油能力。

产生水锁效应。水渗入油层会改变孔隙内的水饱和度，使油和水的相对渗透率发生变化。试验证明，岩心含有20%的束缚水时，油的相对渗透率为0.9，水的相对渗透率为零。但随着含水饱和度的增加，油的相对渗透率不断下降，当含水达到34%时，油的有效渗透率只有3毫达西，为原始渗透率的1/3。

在地层孔隙内生成沉淀物。泥浆滤液中含的化学处理剂与地层中的矿物成分生成沉淀物，如 CaCO_3 、 CaSO_4 沉淀，或生成胶状物如 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ，堵塞地层孔隙。

地层中的细粒分离运移造成堵塞。近年来研究发现盐水和膨胀性较低的、甚至不膨胀的矿物也能引起地层堵塞。当侵入水和地层水之间的盐度差很大时，“盐度波动”是造成水敏性地层中细粒分离的原因。由于盐度的变化和孔隙水流动，流动的剪切面为砂粒表面，只要流速稍大，就会把原来在颗粒表面上粘着不牢的粘土、云母、长石和其他矿物从孔壁上分离下来，然后这些颗粒和水一起流动，在孔隙骨架上造成堵塞。里德曾指出，当地层孔隙里的云母与侵入的水不平衡时，离子交换作用能使云母破碎。实验室研究已表明，亲水细粒的移动是由侵入的水推动的，水的侵入作用把细粒从孔壁的水包层中活动下来，恢复原态的孔隙，是在孔壁上有连续油相和间隙水相的孔隙，这种孔隙具有圈闭束缚水中的细粒的能力。因为运动着的水推动亲水细粒和多相流造成的局部扰动，它使桥阻的可能性减小，所以油和水的同时流动，能使细粒运移相当远的距离。

用羟基铝、氯化铝和有机聚合物等化学溶液冲洗敏感性地层时，粘土细粒的稳定性也会受到化学作用的破坏。

在实验室模拟试验中发现，当孔隙空间只有一种液体时，细颗粒被那种液体湿润后，可随着液体弯弯曲曲地自由移动，并且跟着液体一起变换方向和速度。在这种情况下，只有静止的颗粒桥阻在孔隙喉道上(图1)。细颗粒桥阻的程度随颗粒量的增加而增加，并取决于颗粒大小和孔喉的大小，一旦在孔隙喉道形成桥阻后，就要进一步影响后面的颗粒。桥阻形成后，压力波动和液体倒流可以破坏掉一些桥阻。桥阻的稳定程度取决于形成时的流动速度，如高速流动条件下形成的桥阻充填得比较紧密，即使在倒流情况下也较牢固；低速流动条件下形成的桥阻不太稳定，只要稍有些倒流，桥阻的许多细颗粒也随之向相反方向移动，直至再形成桥阻。当孔隙空间中有二种或多种不互溶液体时，液体之间出现界面，而且细颗粒表面积大，质量比高，颗粒就要受到表面力和界面力的严重影响。当只有单相液体(水)时，水不流动，亲水的颗粒也不会移动，而当不互溶、无湿润、无固相的油顶替水时，亲水的细颗粒仍无移动现象，即使在高速或倒流情况下也无移动，原因是因有原生水膜在原地留住了亲水细颗粒，不让其移动(图2)。当水和油一起流动时，亲水的细颗粒也随之移动(图3)。当细颗粒既亲水又亲油时，他们可以在液体之间的界面上移动，当饱和原生水、具有混相湿润性的细颗粒在水相不动、油相流动这样之间的界面时，随油施加的阻力沿着界面移动(图4)。油倒流时，细颗粒也沿着界面往回移动，即使油在高速流动情况下，这些细粒仍然没有离开

界面，所以具有混相湿润性的细粒可以在一定范围内移动，但受界面力的影响移动受到一定的限制。当再加入互溶剂时，互溶剂溶于油和水之后，就不存在界面，所以混相湿润性的细粒也就随之移动了（图5）。

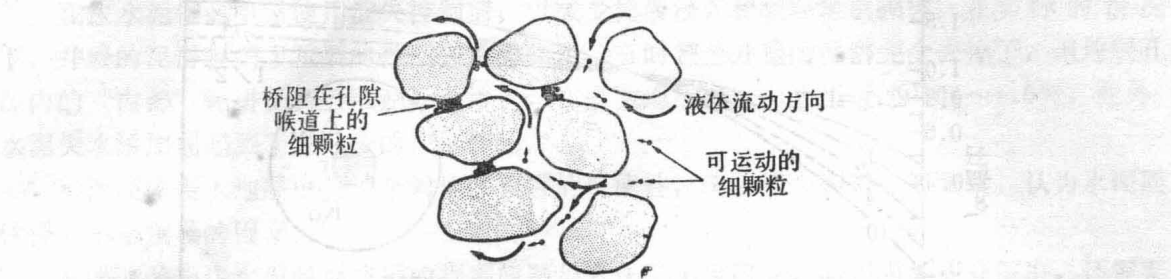


图 1 只有一种单相液体时，细颗粒除在孔喉桥阻外，随液体的流动而移动

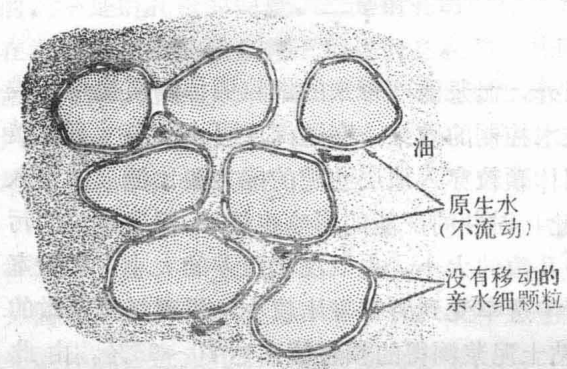


图 2 水相不流动时，亲水细颗粒也无移动

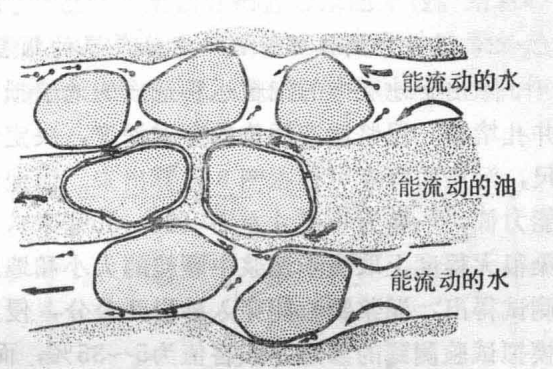


图 3 水和油同时流动时，桥阻在孔隙喉道上的亲水细颗粒随之移动

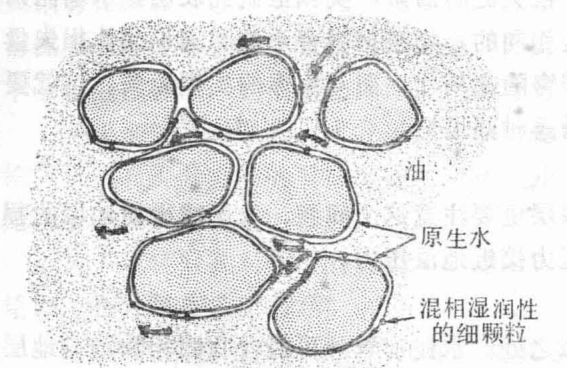


图 4 混相湿润性的细颗粒只能局限地沿着油水界面移动

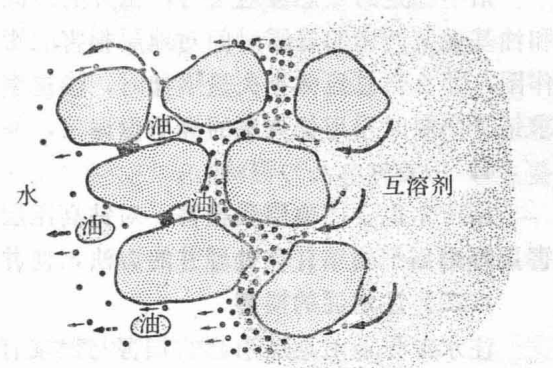


图 5 互溶剂使细颗粒摆脱湿润和界面力的影响而大量迁移

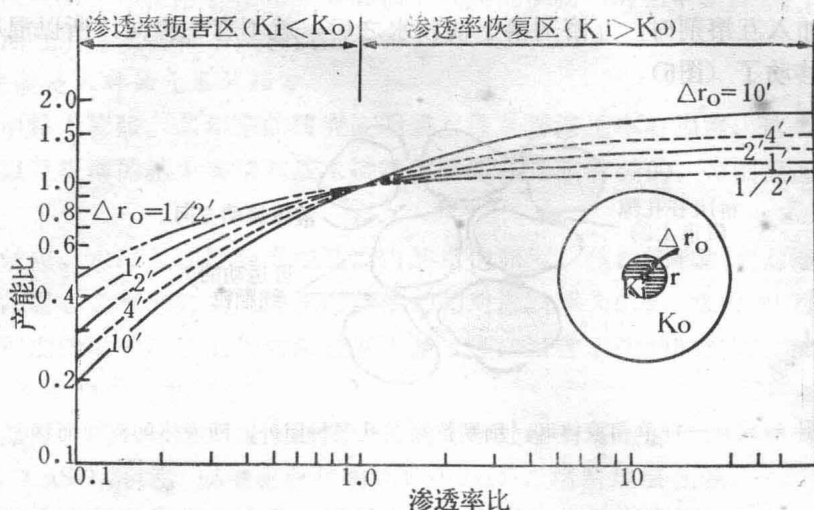


图 6 井眼附近渗透率不连续的效果

2. 泥浆中固体颗粒侵入对油气层的损害

除由于地层内的细粒运移造成的地层损害以外，泥浆滤液带来的细粒固体物质也可造成井孔堵塞。泥浆滤液污染的穿透深度，决定于失水控制的效果，穿透深度可由几英寸到几英尺，污染的程度可根据图 6 估算出来。而泥浆固体颗粒穿入地层孔隙的能力要比滤液的穿入能力低，一般为二英寸左右（20~30毫米），因此，对井的产能的影响也较小。泥浆颗粒的污染很大程度上取决于泥浆中颗粒的大小和地层中孔隙的大小，也取决于压差的大小。实验室测试得出，泥浆颗粒能穿入砂岩几公分，侵入带渗透率受到的损害比较小，用现场泥浆做的模拟试验测到的渗透率损害值为5~35%；而用粘土泥浆测得的损害值高达70~95%。由此可看出，钻井期间颗粒侵入对油井产能的损害与泥浆的类型、颗粒侵入的深度有关，由小于10%到100%。但在现场实际工作中，泥浆颗粒的穿入作用可能要大于实验室的结果，这可能是由于有大孔隙带，或者是由于钻井时压力冲击造成的微裂缝之故。

3. 泥浆与产层接触时间的影响

钻不稳定的敏感性地层时，钻开的时间是个很关键的因素。实验室研究表明，水基泥浆和油基泥浆两者的暴露时间对地层损害的影响是相同的，如果把损害系数和累积流体损失量作图，那么当总流体损失量增加时，渗透率的损害随之增加，而与流体的类型无关。这就要求钻开产层时采用低失水的高质量泥浆，并使暴露时间最短。

4. 压差对地层的影响

高压差也会使地层受损害，对钻高压层和深层更要注意这个问题，为了减少对地层的损害最好采用平衡钻井和处理井的方法，使井眼压力接近地层压力。

(二) 注水泥的损害

注水泥作业对地层引起的损害与泥浆有类似之处，水泥前置液可能含有固相物或与地层不相容的化学剂。

关于注水泥时水泥滤液对地层的损害问题国外虽然已发表过许多文章，但实验结果很不一致，有的研究人员认为水泥滤液对地层渗透率只有很小的损害，而有的认为有很大损害。根据水泥滤液侵入过的岩芯的扫描电镜照片，显示出孔隙中有大量钙质碳酸盐晶体的生长和

在孔壁上的疏松细粒，表明在正常情况下有孔隙堵塞的问题。一般认为水泥滤液可能以两种方式损害地层渗透率：(1) 水泥的水化作用使氢氧化钙过饱和而重结晶，即沉淀在孔隙空间中；(2) 滤液中的氢氧化钙与地层中的硅起反应形成硅质熟石灰，有粘结性的化合物。

在注水泥作业中常使用滤失控制剂，以减少滤液侵入和减轻地层损害。在实际的情况下，井壁的泥饼起到了重要的控制失水的作用，有时甚至井壁的泥饼完全去掉了，但地层孔隙内的“内部”泥饼仍将会限制滤液渗入，在多数地层内，约为流量的0.01~1.0%，此外，水泥失水添加剂起到了进一步的控制作用。

水泥固体侵入地层也是一个对地层损害的可能性，但根据个别岩心的测试，认为水泥固体侵入不是重要的因素。

总之，关于注水泥时对地层的损害问题虽然作了不少研究，问题尚未充分解决，还需要做进一步的研究。

(三) 射孔对地层的损害

二十多年来的试验和研究证明射孔对井的产能有不利的影 响，这是由三方面原因造成的，一是射孔枪的问题，二是射孔时的作业条件的问题，三是钻井损害带未能穿透。用岩心在泥浆中高温高压条件下经过射孔表明，孔眼内有失水的固体物质的致密堵塞物，孔眼外是渗透率降低了的弄碎的岩石带。这是用常规射孔方法的必然结果。因为在射孔时，由射孔作用粉碎、压实的岩石在炸药爆炸之后，马上就堵塞了地层的自然孔隙空间。

射孔作业时，在含有固体颗粒的流体中进行射孔，如用普通泥浆或不干净的水，以及在井筒压力高于地层压力的条件下，在射孔过程中固体就会进入孔眼，造成流动阻塞。

试验表明，用普通射孔设备，孔眼周围的残余损害带一般为1/4~1/2英寸厚，渗透率仅为未受损害的原始值的7~20%。

对钻井时损害带扩展到一定深度的地层，如果射孔深度不够，对产能影响很大。在这种情况下，即使射孔密度较低，只要穿透深度基本上超过损害带，其效果比浅深度高密度射孔要好得多，见图7。

多年来努力对射孔技术改进，但油田的实际结果表明油井的产能没有达到未受损害的理论值，不同完井方法的对比证明，射孔完井的效果比衬管完井和砾石充填完井都低。这主要是由于许多孔眼堵塞的结果。

为了减轻射孔对地层的污染和产能的损害，必须注意改进孔眼的穿透深度和减轻孔眼的堵塞。在井场作业时做到：

- 1. 最大限度地减小钻井的污染，使其在射孔的穿透深度以内；
- 2. 选择岩芯流量值高的射孔器
- 3. 使井内射孔条件保持最佳状态，即使用不含固体的干净的射孔液，并使井眼压力低于地层压力。
- 4. 射孔后用抽吸法或波动冲击法清除各个孔眼的堵塞物。

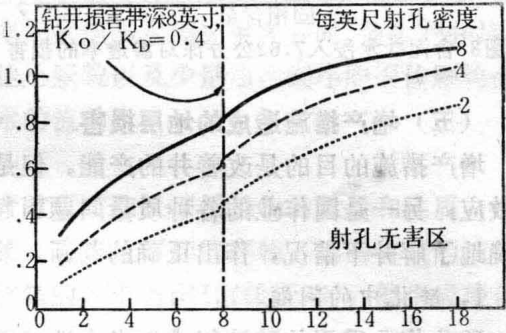


图 7 在钻井损害的地层内穿透深度和射孔密度对井的产能的影响

（四）修井作业对地层的损害

过去在修井作业时都用油田水、原油、配制水、混合水和精制油，这些液体的质量变化很大，可能严重地影响作业效果，细小的固体、乳化油、化学添加剂、沉淀的有机物和无机物以及与地层岩石不适应的水，都是损害地层渗透率的根源。有时开始配制了干净的修井液，后来由于运送使用了脏油罐车、不干净的小货船，或含有固体的输送软管、管汇或泵组而被污染。使用这种液体修井，必然造成严重后果。

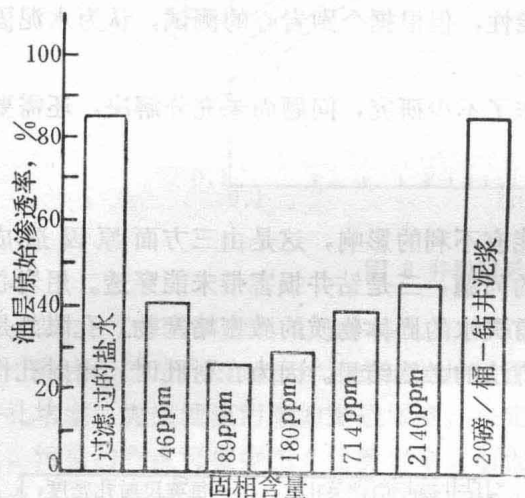


图8 含泥盐水浸入7.62公分深对渗透率的损害

修井造成地层损害的其他原因有：使用含游离的沥青、树脂和蜡的原油；含有化学剂的柴油；用含有污染物的工业盐配制的盐水。管子内过量的涂料、灰尘、锈和油管里的油都会随液体一起带入井内进入射孔孔眼。由于射孔井的全部孔眼的面积是很小的，修井液带入的固体物如果填入孔眼就等于无效射孔。在实验室用砂岩岩芯同不同液体接触后，测定渗透率的变化如图8所示。用氯化钾基钻井液，渗透率的损害很小，而用含泥质的盐水渗透率损害就非常显著，随着固体含量降低，损害增加，这表明固体颗粒穿透很深。渗透率损害的程度取决于颗粒的大小，孔隙与颗粒的相对大小、液体的粘度、完井的几何形状及其他因素。

（五）增产措施造成的地层损害

增产措施的目的是改善井的产能，但是，这种作业有两方面的作用，一是增产作业的强化效应；另一是因作业的各种质量问题引起的产能损害。所以在进行井的增产措施前，必须精确地了解井下情况，作出正确的判断，然后制定处理方案。

1. 酸化中的问题

酸化作业采用的酸液组成不当会造成不溶性沉淀物、酸渣或形成乳状物。如用氢氟酸酸化砂岩时，含钙矿物和地层中的钠质粘土与酸反应形成不溶的沉积物。其次，随着时间延长已溶解的硅质也会产生沉淀。因此为了减少沉淀堵塞地层，可在酸化后立即投产。或者用盐酸预处理除去钙质和其他可溶于氢氟酸的盐类，在作业后再用盐酸冲洗一次，保持低pH环境，以防止沉淀。

酸化时产生的细粒的松散固体和地层垮塌会堵塞地层孔隙。可在酸化后采用互溶剂冲洗，实践证明，用乙二醇单丁基乙醚（EGMBE）互溶剂的效果很好。但是当有钙质时，或作业温度高于200℃时，乙二醇单丁基乙醚分解，不再有效，而且分解物会成为堵塞介质。

用盐酸酸化碳酸盐岩地层，有时也会因作业时产生的松散惰性固体造成堵塞，使产量迅速下降。这是由于当碳酸盐含有大量的不溶于酸的固体细粒时，碳酸盐与酸作用发生溶解，其中所含的大量细粒就松落，向井内回流，可能造成桥阻。

酸化时用不干净的管子进行作业时，污泥和固体颗粒的混合物会先于酸被注入地层中，造成地层堵塞。

酸化时要注意酸与处理的地层的特殊反应，在某些情况下，地层矿物或井内钢铁部件的

铁锈之类的金属，都能溶于酸性溶液中，但是当酸消耗完而pH值达到正常的中性或碱性时，反应产物会沉淀在地层中。

胶状污泥的堵塞。在酸化时由含沥青原油产生的胶状物质沉淀是形成地层堵塞的一个原因。当原油与酸接触其pH值降低时会形成这类胶状污泥，它主要是由沥青质、树脂、蜡以及其他高分子量的碳氢化合物组成。在酸处理作业后，洗井返回的液体中往往含有大量的很粘的污泥。这个问题过去不为人们所注意，而实际上估计有30%以上的美国原油与酸可形成沉淀。沥青质污泥很难溶解，一旦形成后很难除去，所以最好是防止其发生，也可以采用抗污泥剂进行酸处理。

2. 压裂中的问题

压裂液的质量对作业效果有重要影响，这是因为它影响了裂缝的传导性。凝胶压裂液中的团块、不能断开的粘性液体、损坏的凝胶的残渣、压碎的支撑剂和捕集的失水添加剂都可损害支撑的裂缝的传导性。水基压裂液的凝胶残渣、失水添加剂和支撑剂间的细粒的流动所产生的问题和软砂岩产层中一样，这就是为什么含胍胶和失水添加剂的高残渣水基压裂液比低残渣的效果差的原因。

(六) 注水的堵塞问题

注水时水中悬浮的固体细粒可能堵塞地层，使注入率降低。

注入水与地层水由于性质不同，发生化学反应产生沉淀可能堵塞地层。如含硫酸盐的水与含钡的地层水相混合，会生成硫酸钡沉淀，导致堵塞注水井。或者将含硫酸盐的海水注入到水中含钡离子的地层中，会造成在地层内的堵塞，甚至当水到达生产井时，使生产井堵塞。

用油田产出的水注水，如水中含有粘土和其他小颗粒以及少量油，细小的固体颗粒会堵塞注水井，而且还会生成少量油包水乳液阻碍水的流动。

水中的细菌分解的产物也能引起注水井堵塞。

注水时有铁的锈蚀物也能堵塞地层，堵塞的严重程度取决于锈蚀物的数量和性质，进入地层的深度。由于锈蚀方式和接触的液体性质不同，能形成不同的产物。溶解有氧的液体中缺少硫化氢时就能生成氢氧化铁等产物。在含硫化氢的水中当pH值接近7时，能生成硫化铁沉淀。当水中含二氧化碳时，还会生成碳酸亚铁。

在含溶解氧的酸性盐水中，由腐蚀产生的损害很严重，而且锈蚀的产物大大增加，两次反应的产物，硫化铁和元素硫都严重地损害油井产能。硫化铁刚形成后，可立即溶于酸性溶液中，但是，存在较长时间后，就不溶于酸性溶液，尤其是有少量氧时。因而用酸清除堵塞的井眼效果不好。

注气保持压力时如果注入气体中带入压缩机的润滑油，也能堵塞地层表面。所以在注气前要分析气流中的组分，以防止或处理可能发生的堵塞问题。

二、碳氢化合物或地层水从地层中流出造成的损害

油田在生产期间随着时间的流逝，产量会正常地下降，但是，如果地层发生堵塞，就会发生产能递减比预期的快，甚至快得很多。在这种情况下就要检查判断造成井堵的主要影响因素，但这个问题不是那么简单，因为影响的因素较多。在生产中经常遇到的井堵的原因是地层粉沙粒流动，蜡、沥青和无机物结垢。要判断产量递减是否由于井堵的原因，通常要靠

大量的检测工作和生产与修井时积累的资料,如生产递减曲线的历史比较、压力恢复测试、邻近井的对比,对产出的液体、提捞物、井下沉积物和地面设备沉积物的分析。但是这种由生产环境所引起的损害比较难以控制,因为要避免这类损害,常常需要降低产量,这又是实际上不可能完全做到的。

(一) 相对渗透率的变化 水和气体的锥进会引起相对渗透率变坏,结果会造成产量下降。在注水时,水和气体指进和窜槽也会引起类似后果。储集层的枯竭会增加井眼周围的含气饱和度并降低生产率。

(二) 无机物结垢 在井生产过程中,在井眼里和地层中都可能发生无机物结垢,如碳酸钙、硫酸钙、硫酸钡和硫酸亚铁等,这些无机沉积物是最常见的井堵的原因。硫酸钙、硫酸钡这类溶解性差的物质几乎不可能用化学方法清除,所以当无机沉积物在地层中形成时要去除就很困难,常常不能恢复井的原来产能,除非用水力压裂避开损害带。美国普鲁德霍湾油田由于使用氯化钙无固相完井液,与地层水作用生成碳酸钙沉淀,使油井产量递减很快。油田于1977年6月投产到1978年9月就有53口井产量递减大大超过预测的递减值。而用15%的盐酸处理,虽然开始采油率提高,但效果不长,处理后递减甚至比原来还快,这是由于溶解的钙离子又和地层中原有的重碳酸盐离子混合产生新的沉淀。同时地层中高含量的菱铁矿也能被盐酸溶解,使溶液中产生另一些能形成水垢的阳离子。为了防止溶液中的钙离子再沉淀,需要有一种方法能阻止结垢反应或使离子的化学性质惰化。研究发现采用乙二胺四醋酸(EDTA)能和溶液中二价阳离子化合形成复杂的化合物,这种化合物不能形成碳酸盐的沉淀。采用乙二胺四醋酸进行渗入酸化处理二口井取得重大成功,一口日产量增加了810吨(6,000桶),另一口井产量增加到每天2,565吨(19,000桶)。

(三) 有机结垢。油井生产期间原油中的蜡和沥青质会沉积在井壁附近的地层中,或井眼里。特别是高比重原油的油藏,常常见到沥青堵井问题。目前化学抑制剂防蜡尚未取得成功,主要采取防止结蜡的措施以维持油田产能。对于沥青堵可采用溶剂处理井,以有效地增加产量。但热采法如注蒸气、热油循环最有效。

(四) 颗粒运动造成堵塞。在含泥质的地层中砂子和粘土随流体产出会产生运移,形成砂堵问题,使产量下降。防止细粒封堵孔隙的方法可采用限制产量、控制流速、减低液面或在完井时采用防砂的方法把砂固结住,如塑性固结法,塑性薄膜把砂子粘结在一起;热气流粘结法,使焦或树脂原地将砂固定。用羟基铝或某些有机聚合物处理含泥质的地层等,对具中等出砂问题的地层很有效。粘土是地层中砂和粉砂的主要胶结物的地层,固结和防止粘土的分散有助于防止地层砂的松散和移动,并可减轻地层受高压差产生的破裂。

防止和减少地层损害的方法

为了防止和减少对生产层的损害,在完井过程中除了针对生产层的特点,选择合理的完井方法,以减少完井液对油气层的浸泡时间外,主要是合理地选择完井液。从广泛的意义上讲,在井的作业期间,任何接触或进入产层的液体都是完井液。因此,完井液就包括用于井中这些工作的液体,即钻开产层和扩眼、射孔、砾石充填、化学剂处理、水力压裂、洗井、压井、产层选择性作业,以及更换油管和设备。

合理地设计完井液的目的,就是要最大可能地开采出油藏中的烃类。因此在产层中作业

时要使用特殊的液体，尽量减少对产层渗透率的损害，要满足对地层的特殊需要，要做到液体配方成本低廉，配制时耗用的时间少。对修井液的设计要求是要改进或保持原有的产量。修井作业包括防砂、修补套管、重新射孔、酸化、压裂、修理或更换井下设备如筛管、管子和封隔器等。

总之，在生产层曝露在外的任何时候，应该使用对这些地层损害最小的液体。在许多方面这些液体类似钻井泥浆，由于它们用来完成不同的作业，在液体的组成上有着本质上的区别。

一、完井液的要求

理想的完井液首先要考虑的是液体中固相的类型及数量以及这些固相的性质，完井液的滤液对地层中的粘土和泥质物产生的影响。并要满足下列基本要求：

1. 控制井下压力；
2. 尽可能地减少对生产层的损害；
3. 保持井眼的稳定性；
4. 把井下可动的固相携带返出地表；
5. 最小的腐蚀性；
6. 保持高温下流变性稳定；
7. 与生产层具有相容性。

(一) 控制井下压力 钻入油气层或水层要求液柱压力超过地层流体压力，以防止它们无控制地流入井内。在环形空间内要保持足够的静水压力以控制地层压力，但是，液体的比重也不要比要求的高，因为静水压力过大，使细的固相会侵入地层，降低地层渗透率，甚至会压裂地层。一般情况下维持泥浆比重比油气层压力的当量比重高 $0.024\sim 0.048$ 公斤/升即可。理想的是平衡压力。

在安全和作业许可时，用低平衡液体系统可以完全避免地层侵入问题，大大减少完井损害。

(二) 尽可能减少对生产层的损害 在生产层段使用特殊的完井和修井液是最好的避免损害地层渗透率的方法。用钻井液进行完井和修井时，会在井壁表面上沉积一层不溶解的泥饼。细颗粒可能会侵入孔隙空间，在地层内部形成一个桥阻。淡水滤液也会助长粘土的水化作用而影响渗透率。地层吸收的外来水与地层液体起反应，沉淀下大量沉积物，会进一步降低渗透性。因此要控制失水量，使滤液深入的数量最少。

(三) 保持井眼的稳定性 在渗透性地层中，地层钻开后，井壁失去支撑，地层会塌入井内，这就要求完井液能形成一层薄而强的泥饼，防止未胶结的地层坍塌，和阻滞钻井液滤失侵入地层。液柱的静压也是支撑井壁的另一个重要因素。

(四) 粘度可加控制 完井液要求在循环时可把钻屑返出地面；能悬浮任何固相物，这些固相不论是有目的加入的或是完井作业时混入的；在地面上可以把固相物除掉；在流动条件下减少摩擦损失。

(五) 减少腐蚀 在完井液中用盐水会产生严重的腐蚀问题，加入杀菌剂、除氧剂、硫化氢抑制剂和薄膜胺可大大降低腐蚀问题。保持高pH值是控制腐蚀的另一种方法。大量的氢氧离子与钙、钾、镁或与体系内的或地层中的离子等污染物接触时会形成沉淀。

(六) 要与生产层具有相容性 完井和修井液要设计得尽可能地与地层中的液体相匹配。如设计不当则会引起地层内发生乳化或产生不溶解盐的沉淀，而使渗透率降低。用非乳化表面活性剂可减少地层的乳化。在完井液与地层水之间的平衡和 pH 值相一致会使地层中的沉淀盐类减到最少。

(七) 高温稳定性 完井和修井液最重要的因素是要保持在井内温度下的流变稳定性。对于大多数用于完井和修井液中的所有聚合物，温度要稳定到149℃ (300°F)。

其他如，盐水要混合配制，防止随着温度的变化而产生结晶。

加重剂要便于用实用的方法加以清除，而且对地层不引起较大的损害。

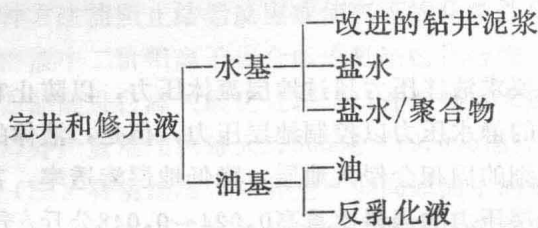
在现场加重剂容易混合、储存和处理，而不需要特殊注意和处理。不易产生泡沫。

可满足从现在的测井方法和生产测试取得可靠的资料；用于射孔作业不会产生永久性堵塞。

二、完井液体的分类

完井和修井液很少是一样的，即使这些液体在开初时是相似的，但由于地层成分的作用，井底温度和地面处理设备导致有所区别。

完井和修井液的分类见下表：



(一) 水基完井液

水基完井和修井液目前普遍使用的有三种类型，即改进的钻井泥浆、盐水溶液和特殊设计的液体。

1. 改进的钻井泥浆 改进的钻井泥浆要加入一定种类的添加剂，满足对完井、修井液的基本性能要求，如悬浮能力、胶凝结构、腐蚀控制等。由于这种液体经济、有效，基本上使用这些液体。使用改进的钻井泥浆的主要缺点是，虽然采取了大量清除固相含量的措施，但细颗粒的浓度仍相当高，对生产层非常有害，影响油井产量。

2. 无固相液 鉴于上述原因，过去几年中研究发展了各种无固相完井液，其中采用得最广泛的是无固相盐水体。盐水体是由一种或几种无机盐，如氯化钠、氯化钾、氯化钙、溴化钙、溴化锌等配成，其比重范围可从1.02 (8.5磅/加仑) 到2.3 (19.2磅/加仑)。盐水体可使井眼稳定、有助于控制井下压力，能抑制粘土水化膨胀、没有固相颗粒侵入地层，能减少对地层的损害。

氯化钠溶液 最常用的清水溶液为氯化钠溶液，比重范围从 0.99~1.16，当盐水饱和时。这种比重对大多数井来说可以得到足够的静水压力以控制地层压力。

在井场可用淡水和盐来配制盐水或从盐水厂中运液态盐水。净水配盐水是有效的完井液，而且成本低，可节省配制时间。从盐丘矿开采出来的袋装氯化钠，其纯度为80~95%之间。

氯化钠也可从海水、海湾水中获得，但这种水纯度变化很大，而且受引起地层损害的固相和细菌的污染，所以用起来不太经济。如果费用合适的话，在使用以前，要经过过滤及其他适当的处理，排出固相和岩屑。

地层盐水在有些地区成本较低，由于具有和产层粘土的相容性，是减少地层损害的理想液体。但若其中含有乳化油、粘土、粉砂、石蜡、沥青和水垢会堵塞地层，或者有会引起地层润湿性变化和乳化破坏的化学处理剂时，则不能予以采用。

氯化钠盐水的腐蚀性不大，但对杀菌剂、除氧剂有破坏作用。盐水的起泡问题应予特别注意，一般要求加入消泡剂。

在完井和修井液中，一般把氯化钾加入到氯化钠溶液中，以防止地层粘土的水化。根据粘土化学的基本研究、岩心流体的研究和钻井稳定性的研究证明，当与钾离子接触时，粘土、页岩和含粘土的岩层都比较稳定。所以加入氯化钾可有效地作为地层损害抑制剂，是很理想的完井液。加氯化钾不起加重的目的，其浓度为1~3%就足以抑制粘土的水化，加量大并不能改善其效果，相反地会增加费用。

氯化钙溶液。随着深井钻井和油层异常高压不断增加的趋势，要求比重高于1.16的重完井液。与地层损害关系较大的地层压力问题导致研究和采用其他的比重较高的净水无固相盐溶液。现在经济的比重限制为2.3 (19.2磅/加仑)。

氯化钙盐水可得到高比重，在16℃时这种盐水可配成比重1.07~1.40。在完井和修井过程中，氯化钙盐水也可作为压井液。并且当井下压力或套管压力要求液体比重大于氯化钠所能得到的比重时，也可作为封隔器液。

在每桶清水中加202磅氯化钙，在16℃时可得到1.2桶饱和盐水，比重为1.4。有两种类型的干的氯化钙材料，可用在氯化钙和溴化钙盐水中。

高精制的粒状氯化钙的纯度为94~97%，能很快地溶解于溶液中；第二种材料是片状规格的氯化钙，其纯度较低，在77~82%左右。高精度的氯化钙较经济有效。但由于在13℃时氯化钙液体的物理性能促使其结晶，处理和储藏氯化钙液体在饱和和接近饱和时有一些困难。在冬季是值得注意的。

低浓度的氯化钙能大大降低结晶温度，例如比重1.35 (11.3磅/加仑)的氯化钙其结晶点接近-6℃。

当井的情况要求工作比重为1.40~1.80时，这就需要使用溴化钙。要降低比重时，用比重为1.70的溴化钙液为基液，用比重1.38的氯化钙溶液加入以调整其比重，可使比重下降。要提高比重到1.80时，可加粒状或片状氯化钙。用氯化钙降低比重到1.70或增加比重到1.80可使每桶费用最低。

应该注意，饱和的氯化钙—溴化钙溶液，在比重为1.80时需要作特殊的处理，因为假如温度降到18℃以下溶液会发生结晶。

氯化钙—溴化钙溶液的混合需要特别注意，因为溶液的最终费用是直接和掺和方法有关的。有三种方法可掺合氯化钙和溴化钙。

(1) 用水稀释溴化钙液体，这种方法在三种方法中成本最高，可达到的比重为1.70到1.02。

(2) 用32~38%的氯化钙液体稀释溴化钙，其比重与第一种相同，但成本降低。

(3) 把固体氯化钙加入到溴化钙液体中，比重可增至1.80，成本最低。

各种掺合产出的盐水都有一定的腐蚀性，需要加缓蚀剂、杀菌剂和氧清除剂对管材起到进一步的保护作用。

这些液体可满足95~98%的井的要求，而有2~5%的井需要用比重高于氯化钙—溴化钙盐溶液的最高比重1.80的。需要加入第三种盐，即溴化锌，其净盐溶液比重可达2.30。

使用氯化钙、溴化钙、溴化锌三种溶液配成的液体，成本低，但结晶温度较高。而使用溴化钙和溴化锌两种盐配成的溶液，由于这两种材料费用高，所以其费用高，而结晶范围较低。

这些比重高的盐液其腐蚀性大于低比重的液体，但使用缓蚀剂后，可控制在一定的腐蚀范围内。

各种盐水的比重一般在1.0—2.3 (8.4磅/加仑~19.2磅/加仑)，最大比重见下表：

净化盐水15.55℃ (60°F) 时的最大比重

氯化钾1.17 (9.8磅/加仑)

氯化钠1.20 (10.0磅/加仑)

氯化钠—纯碱1.27 (10.6磅/加仑)

氯化钙1.39 (11.6磅/加仑)

溴化钠1.51 (12.6磅/加仑)

氯化钙—溴化钙1.81 (15.1磅/加仑)

溴化钙—溴化锌2.30 (19.2磅/加仑)

盐水比重随温度而起变化，当温度增加时，容量增加，而比重下降，静水压力较低时，井控问题也尤为重要。因此，要经常测量和记录盐水温度，校正比重。温度下降时，盐水也会结晶，甚至会冻结，因此，使用时要考虑到外界温度，设计2~3种浓度和配方的盐水，所以，冷天气比暖天气使用起来成本要高。

无固相体系可使生产达到最高，所以需要细心维护：

(1) 掺合罐和储罐在使用之时要检查，并彻底清洗，并检查和清洗泵和管线。

(2) 要尽可能用水顶替干净套管中的泥浆，如顶替不出去，至少使用150米 (500英尺) 的隔离液来顶替泥浆。

(3) 罐要有底部挡板，以便沉淀物沉淀。

(4) 不要使用罐搅拌器，经常检查沉淀物，必要时予以清洗。

(5) 如经济许可的话，使用4英寸或小一些的除泥器。如果盐水价格较高，则用25目的筛布来分离固相，除去44微米以上的固相含量，其余的回入原有体系内。

(6) 要用2毫米的过滤器过滤盐水。

(7) 管材要无锈、无水垢、无油漆。

(8) 使用时，要加入氧清除剂或缓蚀剂，防止地层中的氧化铁颗粒。

3. 特殊设计的完井液。 当需要连续维持无固相时，根据最大限度地保护地层的要求来设计特殊的液体。这种体系是由无机盐与聚合物和其他的酸、水或加入油溶性材料配成的液体。在有些地区如粘土需要进一步抑制时，可使用这种液体。所使用的聚合物要在150℃下具有稳定性。为了增加粘度和控制失水所使用的聚合物要注意在酸化时是否会产生不溶解物而堵塞地层。为此最好选用带破坏剂的非离子型聚合物，其破坏剂可完全将聚合物破坏干净，而不引起渗透率损害问题，这种完井液称为酸溶体系。如在增粘剂中加入酸溶性的固

相,使它起桥阻剂的作用,减少液体和聚合物侵入地层,又可用酸去除。

为控制无固相盐水的失水量,可用细石灰石粉、水溶性胶和聚合物作降失水剂。它可用酸溶解,不会对地层产生永久性损害。

近年来又研究出了油溶树脂无损完井修井液,它所形成的滤饼可被产出的油溶解掉,而不会对生产层造成永久性的损害。这种完井液降失水的机理是利用合成烃树脂 (Synthetic hydrocarbon resins) 细粉,小于40微米,在地层孔隙处先形成桥阻,然后再由完井液中可适当变形而又不过软的成分封堵桥阻的孔隙,造成有效的密封,而迅速降低失水。这些材料必须是油溶性的,同时在井底较高温度下不会软化。如树脂过软,它将在压差作用下穿过桥阻而失去密封作用。研究发现中软的油溶性橡胶多水分散物 (Aqueous dispersions of moderately soft, oil soluble, rubbers) 和乙烯—醋酸乙烯基树脂分散物 (Ethylene-Vinyl acetate resin dispersion) 最能符合上述要求。

为解决较高温度 (60℃) 下在高浓度盐水中油溶树脂因絮凝而失效的问题,可以加入表面活性剂。为便于使用,可把各种所需成分合在一起配成一种水分散物,其中作桥阻用的不变形树脂与作密封用的可变形树脂的数量要大致相等,各占40%。然后把它们直接加到盐水中,即可配成所需的油溶树脂无损害完井液。由于树脂比重只有1.07,所以不容易沉落。为了提高携带岩屑的能力,可加入少量羟乙基纤维素,其用量勿超过5.72公斤/米³,否则会减低这种完井液的效果。

(二) 油基液

油作为连续相的液体,可能包括溶解的和悬浮的液体和固体。与油不能互溶的液体通常是水,当水作为液体的非连续相时,即为油基乳化液。油基乳化液可以是原油、精炼油或柴油与水的混合物。在修井或完井作业中,一般都采用精炼油作修井液。因为原油内含有固体,会堵塞地层射孔和孔隙通道。而油包水乳化液含有相当浓度的乳化剂,也会在地层中造成乳化液堵塞问题。

近几年来,比较广泛地把油基液用作为完井和修井液,这是因为:

1. 改进了有效性;
2. 引进了更有效的防止地层固相的油润湿的化学处理剂和在高温下维持适当的滤失性和悬浮性的化学处理剂。

油基液目前已更经常地用于含油气砂岩层,特别是对水滤失敏感的地层。

(三) 泡沫、气体和雾状液

对压力已枯竭的油藏,为了避免完井损害,需要用低或非常低比重的液体,不必考虑是否能形成泥饼。密度最低的液体是气体和液体的混合物。在平衡作业时,要控制这些混合液的失水量。气体和液体混合而成的完井液,具有特别的操作特性,因为气相具有可压缩性,这就要求操作人员要进行特殊的培训,以达到安全有效地作业。

三、封隔器液

目前在油田上使用的所有封隔器液都有一定的优缺点,在使用时必须进行认真的选择,选择一种封隔器液时,需要考虑十二项重要因素:

1. 使用合适的比重;
2. 腐蚀性最小;

3. 液体能保持循环;
4. 不受污染影响;
5. 修井期间能携带金属碎屑和水泥;
6. 不损害生产地层;
7. 低成本;
8. 无沉淀和粘附封隔器、油管的固相;
9. 能进一步用作钻井液;
10. 有效性;
11. 工作安全;
12. 不会造成环境损害。

封隔器液共分为两大类：高固相泥浆和无固相液体。

(一) 高固相泥浆

钻井泥浆经改进后可以用作封隔器液。但是泥浆中含有大量导致产生问题的固相，为了防止沉淀或出现分层现象，就需要认真地处理。首先要预先做试验，确定出处理的量，然后泥浆处理后泵入井内作工作温度和高压下的静态老化试验，观察是否处理得合适。在一般情况下，碱度 P_t 要超出1.5，pH值应超过12，并且要加入大量的木质素磺酸盐，才可使用。这类泥浆经处理后，根据N-80腐蚀挂片其腐蚀率可低至0.1密耳/年。

高固相油基封隔器液要处理所含有的固相，防止沉淀和出现分层现象，油基泥浆的粘度也要处理到符合要求。油基泥浆的原始成本虽然高些，但从长远角度看并不很高。

(二) 无固相液体

目前使用的无固相液体很多，最常见的有海湾水、生产盐水、氯化钠水和氯化钙、溴化钙、氯化钙混合液和氯化钾。这些无固相液体的比重范围在1.0~1.8 (8.3~15.0磅/加仑)。

海湾水容易得到、便宜、易于循环、低固相，处理后可用作钻井泥浆，并能在修理作业期间携带岩屑，对工作也安全，对环境的影响不大。海湾水的比重局限于1.0 (8.3磅/加仑)，所以比重不够时需要提高比重。海湾水含有一定量的固相，会引起桥阻地层，造成产量下降。所以在投入使用之前必须要过滤，否则脏水能使渗透率下降50%以上。另外还含有矿物，能与地层液体的矿物起反应而生成影响产量的沉淀固相。如海水中的钡离子与地层水的硫酸盐相接触起反应而沉淀为硫酸钡。海湾水用作封隔器液还应加入苛性碱和纯碱提高pH值。加入少量可溶解的盐，如氯化钙 (5磅/桶)、或氯化钾 (10磅/桶) 可帮助抑制地层粘土膨胀，每桶9磅的氯化钠盐水也是一种很好的抑制水。

氯化钠与优质净化水相配制比重可达1.19 (9.9磅/加仑)，这类液体既可在现场进行配制，又可预先配好送往现场。如在现场配制时，要尽可能清洗池和管线；有可能的话可用水并采用高压紊流速度冲洗一下套管；尽量要用桨叶式搅拌器多加搅动；并以一定的速度加入盐，使其容易成为溶液。氯化钠溶液的比重达1.08 (9.0磅/加仑) 时就是一种抑制性液体了，与地层粘土相接触就不会再膨胀了。氯化钠还能与高浓度烧碱、氯化钙相配制提高液体比重，但要掌握配制比例，否则会引起沉淀和形成盐薄片。

氯化钙与清水相配制比重可达1.39 (11.6磅/加仑)、要适当地过滤液体，并控制过滤速度。还要加入石灰 (碱度)、腐蚀抑制剂等其它添加剂。这类液体随着温度的升高而膨胀，会造成比重下降。

氯化钙—溴化钙混合液是一种高比重、无固相的封隔器液，要防止与海水接触或受到稀释而影响比重，以及比重也随温度的升高而下降，氯化钙—溴化钙液体的比重可配制1.80（15磅/加仑）。这类液体成本较高、腐蚀性大、凝固点也高，所以需要合理使用。

四、各种添加剂

1. 加重剂

在完井和修井作业中，控制井下压力极为重要，如做不好将要损害一口井。降低油层渗透率。

一种好的完井液配方的主要目的就是要得到接近无固相体系，这就不能加入重晶石或其它不溶材料。无机盐的比重对饱和氯化钠可达1.2（10.0磅/加仑），对溴化锌混合液可达2.3（19.2磅/加仑），这二种液体都可具备无固相条件。

在体系内加入不溶固相达到比重要求时要注意：

- 1) 不能与液体的连续相起反应；
- 2) 颗粒大小要达到最佳；
- 3) 不互相研磨；
- 4) 应溶于酸或水。

用以提高比重的材料有：

		(比重)
氯化钠	NaCl	2.17
氯化钙	CaCl ₂	2.15
溴化钙	CaBr ₂	2.29
溴化锌	ZnBr ₂	4.22
碳酸钙	CaCO ₃	2.71
碳酸铁	FeCO ₃	3.80
碳酸钡	BaCO ₃	4.25

根据地层的特殊要求使用加重材料的量。

2. 增粘剂

增加完井或修井液的粘度要看其稠化作用，所得的屈服点，胶凝速度及其程度。其中某一项性能发生变化就要影响其它性能。

羟乙基纤维素（HEC）是纤维素的衍生物。羟乙基纤维素对完井和修井液具有突出的产生粘度的特点。羟乙基在氯化钙和氯化钠盐水中较稳定，但不要加入到含粘土固相的液体

体内。

羟乙基纤维素溶于15%的盐酸，因此，要从体系中除掉时，即可得到良好的渗透率。为了提高聚合物的温度稳定性，一般在羟乙基纤维素中加入氧化镁。

生物合成胶（Xanthan gums）是细菌产生的高分子量聚合物，能够在各种类型的水中使用，也可作为一种极好的增粘剂和悬浮剂。但生物合成胶与羟乙基纤维素掺合，其温度一般可稳定到约150℃，尽管生物合成溶液助长细菌，但液体保持一段时间后，要采取维护。

胍胶是一种非离子的高分子聚合物，可用于几乎所有类型的水中。胍胶不溶于酸，可用酶加以除掉。温度可稳定在66℃，因此局限于浅井。随着温度的增加粘度受影响而下降。