

在浮式钻井装置上地层 测试器试井的应用研究

M. E. Rolleg
Union Texas Petroleum

李邦达 译
张建群 校

摘 要

在浮式钻井工艺中，必须要考虑到地层测试器试井工艺流程的许多不同之处。多年来，由于地层测试的试井工艺、设备和数据质量有了改进，发展了许多方法。本论文根据在南中国海、墨西哥湾、北海和地中海广泛使用的半潜式钻井装置、钻井船和钻井驳船的浮式操作工艺，讨论了现场上实际的操作方法和设备的运用。

引 言

大约五十年前就在陆地钻机上已经使用地层测试器试井了。随着钻井工业向海上发展，标准的陆地测试工艺流程就用到了自升式平台、沉没式钻井船和海上钻井平台上。然而，由于钻井向深水发展及使用浮动式钻机，不同海况下的试井工艺得到了很快发展。

陆地和海上钻井操作的差别表现在“两个基本参数”上，这两个参数是摆动和距离。摆动是因为海浪的起伏、潮流和潮汐的作用使得钻井设备和海底井口之间以纵向和横向的不间断的周期性运动，距离是指钻井装置与海底水下井口之间的水深。

船体的运动由六部分组成，见图1。这六部分是：线性的升沉（沿着钻机垂直轴的上下运动）、进退运动（沿着纵向轴的前后运动）、横漂（沿着横轴的侧向运动）和横摇的角移位（绕纵向轴运动）、纵摇（绕横轴运动）和艏摇（绕垂直轴运动）⁽¹⁾。由于这些周期性运动的结果，常用的试井系统因使用简单的起下钻柱操作进行控制，就不如在陆地和自升式平台上那样可靠。因此，为了改善安全和可靠性对这些运动应该采取相应措施。浮式试井的独特要求促使发展了环空压力操作试验阀，采样器和反向阀、水下井口试油封井工具、压力平衡套筒接头和输送射孔系统的管子。

在浮式钻井船上进行地层测试尤为困难和危险。由于这些原因，在本篇论文中叙述工艺流程和设备，但只适用于下套管的井眼，没下套管的井眼地层测试器试井不作介绍。

测试目的和计划

地层测试器试井对评价产层是一种最有效的工具，它可模拟实际完井所预期达到的结

果。正确的计划、实施和解释地层测试器测试的结果，每美元花费所得有价值资料要比任何其它的测试工具都多。与此相反，一个错误的计划和实施，地层测试器试井可能花费很大，这不仅浪费了钻机作业时间，尤其是错误的结果会导致封堵有产能的井或者按干井进行完井。

设计阶段一个最重要的方面是确定测试的目的。最初地层测试器试井本身的目的是获得具有代表性地层液体的试样。可是，目前在浮式装置上进行试井的主要目的是为了评估油藏和为将来的开发作出明智的决策提供有用的资料。一个成功且正确设计的地层测试器试井可以为全井动态的预测和完井设计最优化提供宝贵的资料。

下面的数据是实际测量或从地层测试器试井计算所得出的：

1. 鉴别油藏的流体类型；
2. 开采速度；
3. 静态油层压力；
4. 递送能力；
5. 趋肤因素；
6. 平均有效渗透率；
7. 研究半径。

在计划阶段就必须作出决定，地层测试器试井准备提供哪些资料。这样，选择设备、井场的工艺流程和实验结果整理技术选择才有可能。地层测试器试井的设计必须周密考虑所索取的资料和全部测试目的，无疑也必须让所有的当事人了解。

在测试目的确定以后，为了获得可靠的资料，应该明确阐述测试工艺流程和相应的安全措施。应该考虑的主要问题归纳如下：

1. 工程技术人员的选择和培训；
2. 设备；
3. 射孔技术；
4. 预计隔开的工艺流程；
5. 地面压力的限制；
6. 流动和关闭的周期。

除测试工艺流程以外，在测试计划阶段也应该考虑设备的技术要求和发生意外事故时采取的应急措施，这些内容将在论文的后面论述。

地层测试器试井的设计要集中许多人的力量才能完成。通讯线路是必备的，钻井管理人员负责地层测试器试井工作，不仅要确保测试过程的安全，而且要获得准确可靠的储层资料。地质和油藏工程师通常对所选择的测试层段负有重要责任，油藏工程师对地层测试器试井所获取的储层资料是很感兴趣的，为此，必须从设计开始就应关心测试工艺流程。另外，油藏工程师也应该在测试现场，协助钻井操作人员准确地监测测试，进行现场测试分析，建议测试时间和所需的流速。邀请服务公司代表出席计划会议也是有用的，可以吸取他们的经验和有关仪器和工艺流程方面的知识。很好地确定测试目的，编写工艺流程和组成专业队伍将有利于提高正确实施地层测试器试井的能力。良好的设计和工作效率带来的是安全性和可靠性^[4]。

设备的选择

地层测试器试井设计的另一个重要组成部分是设备的选择。为了事先避免遥远地区的后勤问题，保证设备工作良好和配有足够的备用件，必须对设备提出明确的要求。一般对设备提出的主要要求如下：

1. 测试封隔器；
2. 控制阀；
3. 压力记录仪表的类型和安装位置；
4. 震击器、安全接头和套筒接头；
5. 测试管柱；
6. 射孔枪；
7. 换向方法；
8. 水下井口试油封井工具；
9. 地面管汇和井口控制装置；
10. 地面生产设备。

测试工具的选择是一个需要判定的因素，应该根据钻机类型、季节、气候、海况条件、预期的产量或所计划测试目的而进行改变，可以利用许多可供选择的测试管柱，以满足和适应各种情况，以便达到设计目的的要求。图2表示一种基本的地层测试器试井管柱，其设计能取得优质的储层资料，已为全世界范围的许多操作人员所使用。套筒接头以上部分为主要长管柱，而套筒接头以下部分则是短管柱，后者由井下测试工具组成。

设备组成部分的论述先从井底短管柱开始，然后论述上面部分。温度和压力记录仪处在管柱底部。通常最少应使用三个压力记录仪。为了测量流动和封井压力以及起下钻时的静泥浆柱压力，在控制阀以下要装两个以上的记录仪。这些记录仪通常放置在一个震动悬挂式装置中，这个装置可以安放四个记录仪。在控制阀上面，建议增加一个记录仪。这样安放有利于解卡和隔开安全接头。压力记录仪的类型，不管是机械式记录仪还是电子式记录仪，也是一项需要确定的因素。在地层测试器测试工作中，电子记录仪的优点是便于处理资料。虽然电子记录仪表比机械式记录仪表精确得多和具有较大的清晰度，但是，这些优点在大多数地层测试器试井中不一定会产生明显不同的工程结果。为了更好地分辨井底时间，至少要推荐一种带短时钟的机械式记录仪（BT或Amerada），用于监测滞流。在市场上有五十多家制造商的记录仪。不管选择哪种记录仪，所有的记录仪应在每次测试前后根据地层温度校正标定。如果对资料感到可疑的话，则应请维修服务公司重新校正标定他们生产的记录仪表。

测试管柱中下一个组成部分是输送射孔设备的管子。这种输送射孔设备的管子要在负平衡下射孔，并在一次行程中对整个层段进行射孔，以节省钻机作业时间。由于射孔的负平衡，瞬时回流波动会带出岩屑、水泥和泥浆，及减少趋肤效应。已在一次行程内对500英尺井段以每英尺四个炮点的密度进行了射孔，节省了宝贵的钻机作业时间。射孔枪的发射管是靠从地面控制压差进行引爆。封隔器座好以后，在封隔器下部的鼠洞和封隔器上面的环形空间之间会产生一个压力差，当这压力差达到一个额定值时，剪断安全销同时释放引爆销。鼠

洞压力驱动引爆销进入撞击帽，引爆炸药，并立刻开始测试最初的流动周期。输送射孔枪的管子也可以由撞击促使引爆，即掷下一根钢棒。在任何完井或已下套管井的地层测试器试井中，下面四种射孔参数都对油井的生产能力有影响：

1. 有效炮点密度，每英尺炮点数；
2. 穿透深度；
3. 射孔枪的相位；
4. 射孔直径。

这些参数要能够满足高达每英尺16孔的要求，以保证达到最优穿透深度，90或120相位和射孔直径为0.46英寸。一般情况下，地层测试器试井工艺使用每英尺四孔的密度。

测试封隔器是测试管柱中的下一个重要部件。各种封隔器的基本作用是用来实现封隔测试层和支撑管柱。目前，井壁封隔器是最理想的，在浮式钻井装置上进行测试时为世界各地操作者广泛使用。井壁封隔器是一种坚固的、安全可靠的和经过现场考验的封隔器，这种封隔器只旋转很少就能座落和松开。当测试目的是为了尽可能多地获得储层资料时，这种井壁封隔器也是一种理想的封隔器。这主要是由于贯眼的内径以及在射孔和无液流的层位安置压力记录仪的能力。除井壁封隔器以外，水泥承托器有时也用作测试。水泥承托器在七十年代大量使用过，因为它有自触发回压阀安全特性，但环空压力操作工具还不完善，所以今天很少使用这种水泥承托器，原因是管柱内径有限，流量在每日3,000桶和每日2,500万立方英尺以下。

在封隔器的上面是一种压力连通机构，这压力连通机构窜通封隔器上面的环形空间压力，将压力从封隔器以上的环空通过封隔器连通到液流管，向下到引爆头。

安全接头是一种可松开的机构，如果需要，安全接头是可使测试管柱的上部卸开，即向右转动钻柱，同时上提就能卸开的工具。

在测试管柱中接一个液压震击器作为一种安全预防措施，万一钻柱遇卡就使用液压震击器。液压震击器是向上拉伸的，慢慢地将测试管柱拉伸开，在工具的上面部分向上移动后内旁通打开，允许能量储存在伸长的测试管柱内，以迅速地移动工具的上端。在液压震击器内部的锤碰到触头时，液压震击器就砸下部的被卡测试工具。通过关闭纵向流道后，重复提升工具可以重复锤击^[9]。

测试管柱的基本组成部分是测试控制阀。测试器阀门的主要作用是控制液流的持续时间和封井周期。目前，大多数浮式平台的地层测试器测井使用测试阀，此阀是由环空压力控制而不是用管子操纵。这些测试阀是专门为浮式平台设计的。当它们第一次引入工业时，遇到过一些问题，这与采用其它新系统一样是必须要解决的。这些问题与密封、氮气室、摩擦等有关联。这样，最早到七十年代中期，许多操作者继续使用常用的往复式测试工具来测试浮式装置所钻的井。然而，直到今天，由于改进了环空压力控制工具的可靠性，这些问题才得到了解决。环空压力操作工具的优点如下：

1. 控制阀可以重复地打开和关闭。
2. 阀可以在测试结束时用环空剩余压力锁定关闭位置。
3. 在整个测试过程中可以关闭闸板。
4. 用放出环空压力来关阀是安全可靠的。
5. 在封隔器座定以后停止活动管子。

6. 可以连同其它环空压力操作工具使用（反循环取样器和安全阀）。

安置在测试阀上面的取样安全阀是一个双向球阀，当它关闭的时候，同时收集地层液体样品和关井。当需要最后关闭取样收集器时，环空压力上升到一个预先规定的压力，同时关闭工具中的两个球阀，最后开始关井。样品夹在关闭的两个球阀之间。球阀关闭以后循环孔打开以促进换向，同时测定最后关井压力。建议采用别的环空压力控制循环阀，普通循环阀或抽出接头。在测试管柱中应至少有两种类型的换向工具。

在封隔器和套筒接头之间，通常采用20,000磅的钻铤，这是为了便于在下部测试工具上实现最优压力同时也是为砂子沉降提供沉降场所。平衡压力的套筒接头有五英尺长的自由行程，这可补偿由于温度和压力的变化而引起的管柱长度的伸长和缩短。正常条件下，两个平衡压力套筒接头可用于在10,000英尺的测试。在恶劣条件下，由于强化作业处理的结果导致高温，由于管柱的收缩可能需要六只套筒接头。

如果测试管柱上有全径安全阀的话，通常连接在套筒接头的顶部用以封井。球阀只要测试工具伸长时就保持全部打开的状态，一旦测试工具发生事故时，球阀就关闭。这种工具可提供附加安全余量，最终使试井管柱分开。

测试管柱根据如下条件进行设计：

1. 压力；
2. 存在硫化氢或其它腐蚀性物质；
3. 预计的地层压力；
4. 需要的起下钻次数。

一般来说，推荐用优质的API丝扣的厚壁油管作为浮式平台测试管子。使用钻杆作为测试管子仅限于地面压力为3000磅/平方英寸的气井测试。这种限制不是由于耐内压强度问题，而是由于实际的钻杆比较粗糙以致于不可能实现气密封。作为一个标准操作工艺流程，不能推荐钻杆作为浮式钻井操作的测试管柱。

图3是一套基本测试管柱，在环空压力操作控制阀上面外加安置地面读出阀。图4和图5是Union Texas最近在西班牙海上操作使用的测试管柱的实例。在图4这套测试管柱中需用六只套筒接头，这是由于存在着高温的缘故，即，零点以下的氮和高的流动管温度。

水下井口油封井工具（SSTT）是一种可靠的安全阀系统，它安装在水下井口装置上。SSTT的目的是为了隔离水下防喷器至地面的泥浆管线，以及回收部分测试管柱。SSTT是由一个或二个球阀、分离接头和座定台肩组成。使用四条液压管线来控制这套装置：

1. 控制二个球阀的管线；
2. 平衡管线；
3. 液力断开管线；
4. 化学液注入管线。

球阀由液压始终保持敞开着，如果压力失效则自动关闭。上提测试管柱和起出隔水导管时，可以用压力控制管线，以完成自动切断。手动切断可用上提测试管柱和向右旋转六次来完成。不管什么原因，如果发生事故，测试工具需要离开座落位置，则操作人员应该同样上提整套装置，完成自动切断操作。

在测试期间，测试管柱是用一个槽式悬挂器悬挂着，同时根据设计座落在水下井口头上。可承压的加封填料的管子接头装进槽式悬挂器，向上通过一个或多个井口防喷装置心子。可

承压的加封填料的管子接头,为了密封性可靠,必须与防喷系统相一致。当可承压的加封填料的管子接头上的一套闸板式防喷器关闭时,环空压力仍然可以通过压井管线施加到环形空间,以调节测试控制阀。目前使用的标准的SSTT约为十二英尺长,而较短的SSTT是六到九英尺长。图6和图7所示的插图中,使用短的SSTT的优点是其切断值低于防喷器组的值,可允许除一套闸板已关闭外,全封闭闸板在需切断时可以关闭。

在水下井口试油封井工具上面的测试管柱中安装有止回阀和防喷管阀,两者可供选择。在切断的时候,为了防止上部管柱的液体在压力下流到隔水管或海中,止回阀必须关闭。在需要进行其它电缆工作时,防喷管阀允许上部九十英尺的测试管柱用作防喷管,不需要在井架中安装防喷管。球阀是用连接到地面液压系统的两根软管来操作。

测试管柱的最后组成部分是安装在管柱顶部的地面流体控制头。地面流体控制头是当地层测试器试井的时候用来控制地层液体和气体的。地面流体控制头是由两个阀与安装在两阀之间的流体接头组成。流体接头用钻机的压缩空气施加压力打开翼状流体孔口到阻流管汇。在紧急情况时,放出压力,同时弹簧关闭套筒封堵孔口。

柔软钢索管线常用来引导地面流体头到阻流管汇的流体。标准的阻流管汇是由五个阀和二个阻流器,一个固定孔和其它可调孔组成,这些阀和阻流器是为了分流或把流动压力降低到管线和处理设备的工作压力。在油井上,自喷井井口压力沿着管汇到分离器是逐渐减小的。在气井上,旁流过阻流器,流体被分流到热交换器,后者与阻流器一起降低压力。从阻流管汇到分离器或热交换器的所有管子设计应能经受得住预计的最高井内压力。

使用在浮式平台测试中的多数分离器是三相的,在最大流速下用一分钟的停留时间。在一些浮式平台的甲板上设计和装有固定式产量测试装置。例如,在北海油田,分离器一般用1440磅/平方英寸工作压力、每天12,000桶和每天80百万立方英尺。然而,压力和容量的额定值是随地区而变,而且应该由操作者来确定所需的压力和容量的额定值。

气井的加热设备是燃烧天然气,但是热流用恒温水槽。另一种类型的加热设备是蒸汽热交换器,蒸汽热交换器的等级为每小时六百万英制热量单位就可以满足多数井的要求。另一方面,使用在气井测试中的加热设备,其额定值范围相差很大,从每小时一百万英制热量单位到每小时一千万英制热量单位,而操作者对使用多大加热设备应负责任。

油、气、水应分别计量,然后引向燃烧器进行处理。在高测试速率下的燃烧产生大量的热。为了使巨大的热量离钻机有一个安全的距离,因此,燃烧器和火炬应固定在距离40到80英尺的地方。通常,每台钻机带有两套装置,燃烧器和火炬装在船头和船尾,根据当时的风向,可选用任一火炬。燃烧器的能力范围为每天2,000到12,000桶油和每天3千5百万立方英尺气。

地层测试器试井程序

钻井监督人员要对整个测试操作负责,并且要由一位测试或油藏工程师来协助。钻井监督人员要与公司、服务公司及主要钻井承包商人员进行预备会议。确定每个人的职权和责任,对计划好的测试目的进行讨论,落实防护措施以及落实预计事故发生的预防措施。地层测试器试井是整个钻井操作过程中最危险的一项工作,因此,本着安全第一,应该极其小心的进行测试工作。进行测试的全体人员都必须清楚自己的职责,当设备发生故障或其它特别

危险情况发生时，能采取应急措施，这些都是绝对必要的。

在进行地层测试器试井之前，应该在防喷器组合的中间闸板中装上油管心子，然后再进行测试。拖拉防喷器组合可采用的方法是在开始钻井时就必须安装一台可变孔径的防喷器。为了防止剩余的水泥侵入封隔器元件，以致于造成密封失效，推荐使用一个套管刮削器。在提拉刮削器前，应循环和处理泥浆。在循环泥浆的后期应该测量泥浆的稠度和比重，以便可以检查由地层测试器试井所得的静液柱压力。在进行测试之前，测出井眼的周长。确信知道测试管柱的总深度和长度，这将对座落和打开工具方面对操作人员有很大的帮助。当在井眼中与测试工具一起起下钻时，为了防止过大的压力波动，起下钻柱的速度应该比通常的速度慢一些。

为了防止砂层表面和封隔器两者的瞬时高压差，应使用由水或氮组成的缓冲器。水力缓冲器的数量应该是预计地层压力的函数。另外，在这个地区的经验和测试层位的紧密性对于使用缓冲器的数量起着一定的作用。总之，为了避免在地层中产生过大的回压，应尽量减少水力缓冲器的数量。如果在开始关井之前，流入速度不足以将测试控制阀以上鼠洞内的泥浆排出，则要考虑将测量压力修正为实际地层压力所用的压力梯度。然而，如果压力记录仪正好装在尾管内，并且正对着生产层，这就不成问题了。有时，在深井，高压井中，为了防止测试管柱的挤坏，要求使用缓冲器。如果使用水力缓冲器，则要正确的测量出缓冲器的体积，如果测试的是非流体物质就能计算出恢复量。为了防止钻杆附着物和泥浆固相沉淀和堵塞工具，常常在环空压力操作测试阀上面的第一根内安放一个凝胶塞，而且还可起到一个标志的作用，以识别流动或反向操作时缓冲器的下部。

在钻出井眼、分隔和安置封隔器之后，管子挂在井口头中的槽形悬挂器上，直接在水下井口试油工具的下方。如果要求卸开井口装置，水下井口试油工具应设计成为全封的，剪切闸板可在球阀之上关闭。在打开测试器阀和引爆油管输送的射孔枪之前，开始测试应采取如下措施：

1. 在地层测试器试井期间，所有测试和压井设备都必须进行压力试验，必须在预定的最大压力以上。这些设备包括流体管线、地面控制头和管汇。
2. 检查燃烧器上的火焰点火系统和紧急点火系统应可靠才行。
3. 对产生的硫化氢应采取保护措施。
4. 点火软管应布置得靠近燃烧器。
5. 压井管线必须连接到钻台总管线上并且达到随时可以使用的程度。
6. 在测试的所有期间内，必须备有足够量的加重压井液。
7. 通知生产控制系统和报告辅助作业船，地层测试器试井将要开始。

流动和关井周期

理论上，流动和关井周期数应由提出的测试目标和为此目标所使用的设备的级别来决定。然而，当一台半潜式钻井设备的作业费是每天 100,000 美元的时候，则理论和实际必须折衷。为了在尽可能短的时间内得到尽可能多的储层资料，通常推荐使用两次关井压力法，此法在井底的时间通常需要超过三小时。如果更少的时间也是可靠的话，则推荐使用单一流动周期与一个等于 1.5 到 3 倍的流动周期一起使用。穿透能力和趋肤效应是两个影响估价储

层流动能力的不定因素,并可能造成预计与测试之间的误差。应该建立流动和关井周期的标准化规范,以适应基本的地层测试器试井的原理,但是应该灵活,减少误差。

下面推荐的流动和关井周期是很实用的,并且已经在全世界各地的浮式平台上得到广泛的应用。然而,为了适应给定测试目的需要,一般是可以灵活且容易更改的。

初始流动(IF)和初始关井(ISI)的使用完全是为了得到初始压力的准确测量值。初始流动周期应该短,一般不少于五分钟,不超过十五分钟。开始上升到6到10倍的初始流动周期,对于好的井来讲,6倍的初始流动周期是可以接受的,但是,对于测试控制阀以上的鼠洞泥浆来说应该允许更多的时间。

初始流动的主要作用是为建立一个后继压力造成一个足够的压降,这个压降是由释放通常叫做“增压”的泥浆渗透而引起的压力所得到的。增压通常是由管子向下运动,在井眼周围产生一个不正常的压力带而造成的静水压力激动所产生的。最容易引起形成初始异常高压的这个增压,必须在初始流动期间释放,否则以后记录的关井压力将比储层实际静水压力要高。释放这个增压只需要5到15分钟的时间就足够了,但是,实际上还取决于井眼和储层之间的压力差以及影响渗透性的侵入深度。一个具有低压力差的渗透性好的地层可能仅需要5分钟时间就能完全释放,而对于低渗透性的地层,则需要更多的时间。

初始的关井(增压)不仅可以作为测量初始储层压力的重要手段,而且它也为最终流动并进行最终分析提供一条基本曲线。要得到最优关井时间的准确预报几乎是不可能的。而经验认为,60到90分钟一般是足够长了,因为初始流动时间不会超过5分钟。

最终流动周期的目的通常是为了获得地层液体有代表性的样品和形成一个对最终恢复压力有用的压力下降。另一个设计目的是为了提供更多的工程资料,做到在远离井的储层压力内产生一个干扰以达到足以观察损坏或者改变靠近井眼和远离井眼边界的穿透能力。

应确定剩余的测试时间,以便使最终恢复的压力是最终流动周期的1.5到2倍。一般至少需要一小时的最终流动周期。然而,要测试地层流体流向地面的情况,就要另加时间,直到流出流体中不混有泥浆之后,然后进行取样和测量流动速度。

如果在地面建立流动,则这个流动应保持一个恒定速度,如果方便的话,可预先关井一段时间,使其至少等于总流动时间的一半。改变流速会使压力恢复曲线失真而导致分析研究的困难。如果井眼因畅喷和衰减而开着的话,应打开工具,中断流入井底的液体,使井底无任何流体。如果使用井下采样器,则应该在井眼衰减之前关闭工具,便于在井眼内液体再分布之前采集一个样品。但是,若一口敞开的井流量不大并且衰减,那则是地层致密的原故。这时工具打开的时间应尽量长,以便得到尽可能多的地层液体。

最终关井周期是地层测试器试井最重要的环节,因为它是油藏工程师评价地层的手段。从压力恢复曲线形状可以计算出地层流体的特性,同时可以判断出钻井液对地层污染与否。如果流量相对不变,1小时的最终关井周期足以得到好的资料。可是,根据常规来说,对于高渗透地层,推荐最终关井周期等于流动周期。但是,在致密地层中,从经济考虑,则最终关井周期应尽可能地长些,但一定不能超过三倍最终流动周期。但是,测试研究的深度越深,关井周期就越长。下面的公式可以用来估计测试研究的深度。

$$d = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{0.00105k \cdot t}{\phi \cdot \mu \cdot c}}$$

式中: t ——关井时间,小时

k——毫达西

ϕ ——孔隙度

μ ——粘度，厘泊

c——压缩系数

当确定流动和关井周期时，重点应该放在高生产能力上。在某一地区，当每天的花费是100,000美元时（即每分钟70美元），应预先确定能保证作业的预期生产速度。例如：南中国海有一口水深400英尺的井，一次测试的流量是每天100桶，不应花费过多的钻机作业时间去获取详细的储层资料，否则是不经济的。在这种情况下，一般认为这种做法是比较实际的。

监 控 测 试

为了达到预期的测试目的，安全测试控制和获取优质数据的关键是要有一个可靠的监控系统。目前，使用的有两种基本的监控系统，即老式可靠的井口泥浆取样桶和地面读出系统（SRO）。

许多年来，在地层测试器试井期间，估计地层生产能力最可靠的方法是观察井口泥浆取样桶。当空气通过鼠洞从测试管柱置换地层液体和流入地层液体时，井口泥浆取样桶的流量大小与储层流动能力和储层液体类型有关。

地面读出系统是一种很复杂且昂贵的监控地层测试器试井的方法。在过去，地层测试器试井压力记录技术一直是依靠压力传感器、图表记录仪和时钟。近期发展的地面读出系统是一个监测、记录和分析所需储层数据的计算机系统，这些数据对考虑测试和以后生产作出决策是必需的。

为了接收井内探头的测量，在由环空压力操作的标准全开的测试阀的顶部安装一个电子仪表。在封隔器座好和作好这口井的测试前准备工作之后，井下探头接在测试管柱内的7/32英寸铠装电缆上。为了使井下电子仪表和地面之间取得联系，将探头下入测试总成内，请参见图3。在测试期间，电线到电子仪表之间的联通是靠保持电线上的拉紧来实现的。

进行测试时，储层压力和温度资料同时输入到地面计算机中，当在预定的时间内收到信号时，计算机就立刻分析这些资料。在整个测试期间可利用这些资料作出常规的压力—时间曲线，双对数和压力—时间的平方根曲线。当得到这些资料时，操作者就可以判断测试的流动时间和关井时间，在取得所需资料后，结束测试工作，因此可以节省昂贵的钻机作业时间。

这套测试系统的缺点是在井眼中使用了电缆以及起下钻要花费6到8小时的钻机作业时间。假若不考虑这些缺点的话，这套系统已得到现场证实，并会在世界各地钻机费用昂贵的海上得到快速的推广应用。

为了尽可能多地取得可靠的压力资料，地层测试器试井工作，不单用机械监测而且也用人工监测。地层测试器试井的工作资料的记录是一个经常性的工作，应该由油藏工程师或测试工程师来进行。测试工程师应监视整个活动的过程，所有影响井下压力读数的情况都必须加以记录，时间要精确到分钟，除了记录时间和发生的情况之外，测试工程师的其它职责如下：

1. 观察工具的装配并保证正确的安装压力记录仪。
2. 记录下列几项内容:
 - a. 打开测试控制阀和与地面反应取得一致。
 - b. 压力和温度读数。
 - c. 棒到达的时间和流速的估计。
 - d. 改变阻流器的尺寸、查看阀门、打开或关闭测试控制阀。
3. 流动井口压力和温度资料应该与分离设备的读数同时取得。
4. 保证得到有代表性的储层流体试样并记录获取试样的流动条件。
5. 检查压力恢复曲线, 读出上升和下降情况。
6. 准备油井的测试报告和鉴定地层测试器试井工艺流程。

反 向 循 环

在最后关井之后, 在起出井内的测试工具之前, 井眼要进行反循环, 这项工作应在最终压力回升后开始。由压力记录仪接收到的任何震动和干扰信号都会改变压力恢复曲线的斜率, 并且会对剩余的测试部分产生怀疑。

有四种类型的反向阀:

1. 泵出
2. 碰撞
3. 旋转的
4. 环空压力操作的

给每套测试管柱推荐两种类型的反向阀。通常情况下, 环空压力操作反向循环阀可与一个泵出循环接头一起配合使用。在起出井眼以前, 地层测试器试井工具都应进行反向循环。如果由于某些原因, 反向循环阀不能打开, 则应该安装防喷管, 并且在测试管柱中进行管子射孔。用上提管子来检查油气量是非常冒险的, 在浮式平台上不应该有侥幸心理, 因为圈闭的气体常常会使油柱卸载, 从而可能会导致短期的井喷, 虽然能获得一点益处, 但是太危险了。

当循环出油气时, 应该周期性地采集样品和对采出的流体作出正确的评价。

测试工具起出井眼时应极其小心, 因为, 在这个期间内非常容易发生井喷和着火事故。要时刻观察环空泥浆液面的变化, 每起出一根立柱就应向井内灌一次泥浆。这里应推荐使用泥浆补给罐。在套管中泥浆流上升的任何征兆都是井喷的预兆, 都应认为是一个紧急情况。

天气和夜间作业的局限性

作为一项安全措施, 地层测试器试井操作只能在白天进行。在白天开始的地层测试器试井包括初始流动、初始关井和至少一小时的第二流动周期。除非一口井有恰当的测试有利条件, 工作稳定, 碳氢化合物能有效燃烧, 否则不能推荐这口井通宵测试。地层测试器试井的反向采出是非常关键性的操作, 应该在白天进行。

如果可能的话, 在不利的氣候条件下应避免一口压力大的井通宵关井。如果工作程序正

在进行中, 则应该停止测试操作。如果测试阀没有打开, 钻机升沉超过 5 英尺, 钻井监督人员应根据当时或预测的气候条件及其它因素作出判断, 并推迟测试。

结 论

1. 应该清楚的确定测试目的和相应地选择测试设备。
2. 在浮式钻井装置上进行地层测试器试井是一项很危险的操作, 应该很小心和在安全的条件下进行。
3. 为了达到测试目的, 全体工作人员应该强调组织纪律性。
4. 一整套环空压力操作测试工具已发展出来, 可完美地在浮式钻井装置上应用。
5. 对于流动和关井周期推荐使用经验法, 但应有灵活性, 并加以修改以适应测试目的的要求。

参 考 文 献

1. Silcox, W.H. "Floating Drilling: The First 30 Years" J. Pet. Tech. (January, 1983) P 17-22.
2. Nutter, B.P., The Technology of Offshore Drilling, Completion and Production, Petroleum Publishing Company, Tulsa, Oklahoma, 1976.
3. Wray, G.Q., Petty, G.E. and Jeffords, C.M. "Developments in Testing from Floating Vessels", paper SPE 3094 presented at the 45th Annual Fall Meeting of the Society of Petroleum Engineers of AIME, October 4-7, 1970, Houston, Texas.
4. Harris, L.M. Deepwater Floating Drilling Operations, Petroleum Publishing Company, Tulsa, Oklahoma 1972.
5. Jordan, W.V., "Drill Stem Testing", Conoco, Inc., Houston, Texas, September, 1971.
6. Harris, L.M. "Design for Reliability in Floating Drilling Operations", paper SPE 3122 presented at the 2nd Annual European Meeting of the Society of Petroleum Engineers, April 2-3, 1973, London, England P 115-112.
7. Bateman, S.J., "Simple Field Checks will Provide Accurate DST Data", World Oil, October, 1974.
8. Erdle, James C., "Current Drillstem Testing Practices: Design, Conduct and Interpretation", paper SPE 13182 presented at the 50th Annual Technical Conference of Society of Petroleum Engineers of AIME, September 16-19, 1984, Houston Texas.
9. Edwards, A.G. and Winn, R.H., "A Summary of Modern Tools and Techniques Used in Drill Stem Testing", Halliburton Services, Duncan, Oklahoma, 1980.
10. Bell, W.T. "Perforating Underbalanced-Evolving Techniques", J. Pet. Tech., October, 1984.
11. McLeod, Harry O., "The Effect of Perforating Conditions on Well Performance", paper SPE 10649 presented at the SPE Formation Damage Control Symposium, March 24-25, 1982, Lafayette, Louisiana.
12. Harris, L.M., Design for Reliability in Deepwater Floating Drilling Operations, The Petroleum Publishing Company, Tulsa, Oklahoma, 1979.
13. Raulins, G.M., Barron, I.E., Fehrman, R.L., "Formation Testing Equipment Used on Floaters is Designed for Ultimate Safety", Offshore Magazine, May, 1975.
14. Rolleg, M.E., "Drill Stem Testing in the North Sea", Conoco North Sea, Dundee Scotland, 1976.
15. Jones, E.O., "Production Testing" Conoco Western Pacific, Republic of Singapore, May, 1971.

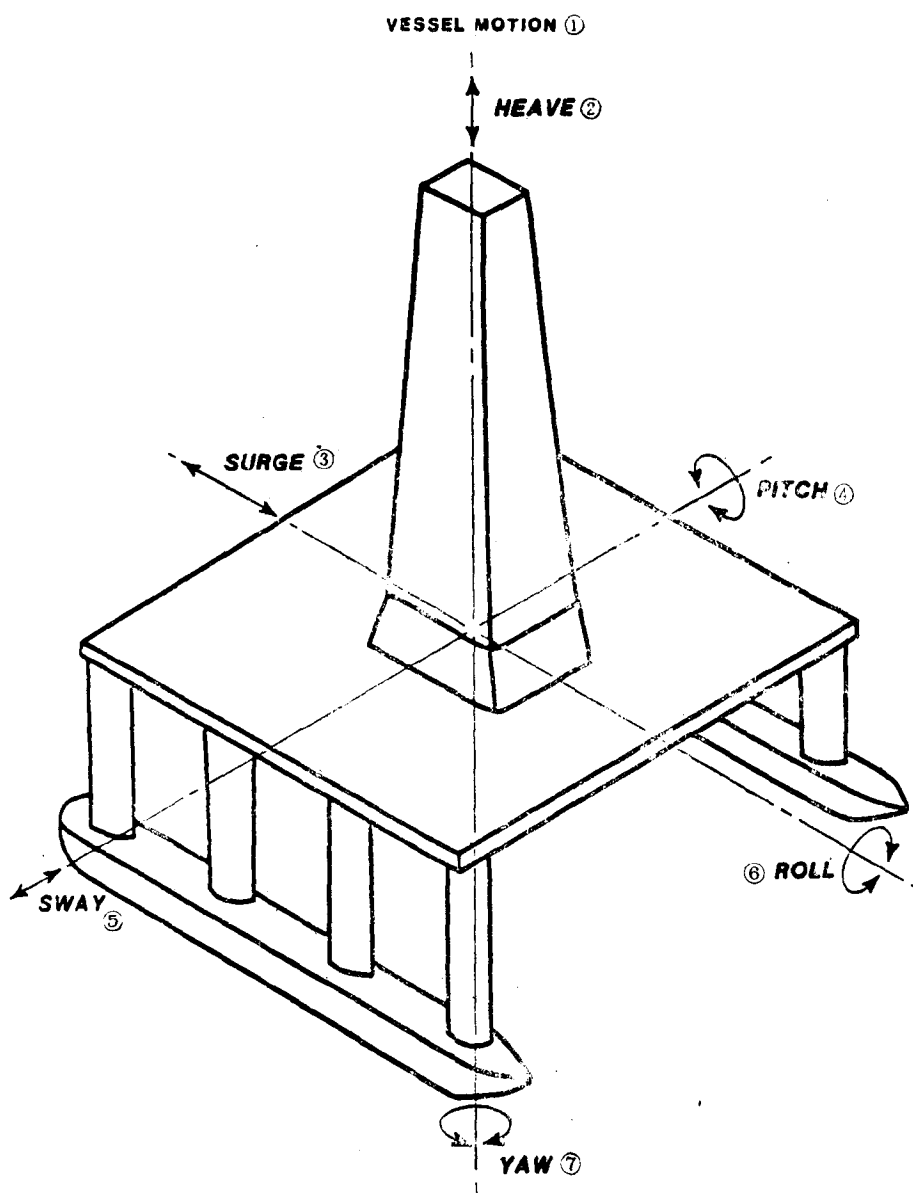
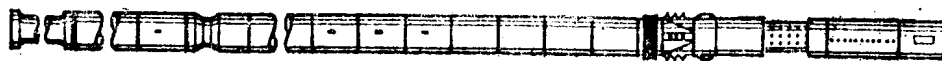


图 1

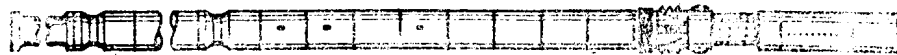
①船的运动；②升沉；③进退；④纵摇；⑤横漂；⑥横摇；⑦艏摇



- TEST TUBING ①
- DRILL COLLARS ②
- FULL BORE SAFETY VALVE ③
- SLIP JOINTS ④
- DRILL COLLARS ⑤
- ANNULAR PRESSURE OPERATED REVERSING VALVE ⑥
- SAMPLER SAFETY VALVE ⑦
- ANNULAR PRESSURE OPERATED REVERSING VALVE ⑧
- RECORDER ⑨
- JARS ⑩
- SAFETY JOINT ⑪
- PRESSURE TRANSFER SUB ⑫
- HOOK WALL PACKER ⑬
- RECORDER ⑭
- PERFORATED TAIL PIPE ⑮
- FIRING HEAD ⑯
- PERFORATING GUN ⑰
- BUNDLE CARRIER ⑱

图 2 标准测试管柱

①测试管子；②钻铤；③页岩安全阀；④套筒接头；⑤钻铤；⑥环空压力操作
反回阀；⑦取样安全阀；⑧环空压力操作控制阀；⑨记录仪；⑩震击器；⑪安
全接头；⑫压力传递接头；⑬井壁封隔器；⑭记录仪；⑮带孔尾管；⑯引爆
头；⑰射孔枪；⑱托架



- TEST TUBING ①
- SLIP JOINT ②
- DRILL COLLARS ③
- SLIP JOINTS ④
- ANNULAR PRESSURE OPERATED REVERSING VALVE ⑤
- ANNULAR PRESSURE OPERATED REVERSING VALVE ⑥
- SURFACE READ-OUT VALVE ⑦
- ANNULAR PRESSURE OPERATED CONTROL VALVE ⑧
- RECORDER ⑨
- JARS ⑩
- SAFETY JOINT ⑪
- PRESS PORT SUB ⑫
- HOOK WALL PACKER ⑬
- PERFORATED TAIL PIPE ⑭
- FIRING HEAD ⑮
- PERFORATING GUN ⑯
- RECORDER ⑰

图 3 具有地面读出系统能力的标准测试管柱

①测试管柱；②套筒接头；③钻铤；④套筒接头；⑤环空压力操作反回阀；
⑥环空压力操作反回阀；⑦地面读出阀；⑧环空压力操作控制阀；⑨记录仪；
⑩震击器；⑪安全接头；⑫压力孔机构；⑬井壁封隔器；⑭带孔尾管；⑮引爆
头；⑯射孔枪；⑰记录仪

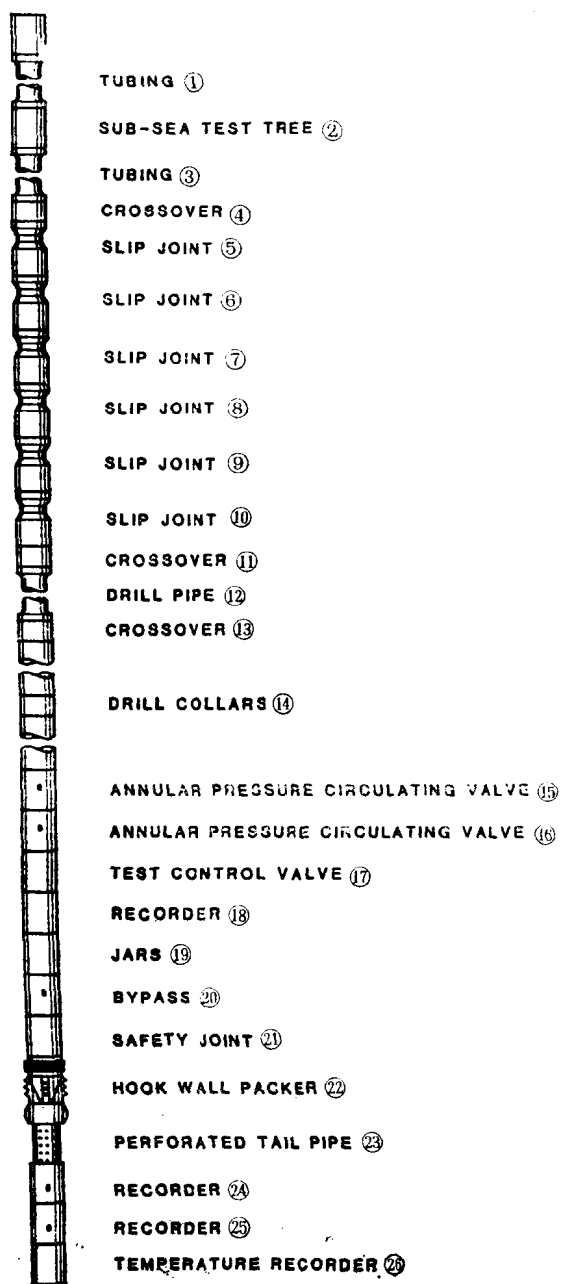


图 4 具有增强能力的测试管柱

①管子；②水下井口试油封井工具；③管子；④转换接头；⑤套筒接头；⑥套筒接头；⑦套筒接头；⑧套筒接头；⑨套筒接头；⑩套筒接头；⑪转换接头；⑫钻杆；⑬转换接头；⑭钻铤；⑮环空压力循环阀；⑯环空压力循环阀；⑰测试控制阀；⑱记录仪；⑲震击器；⑳旁通阀；㉑安全接头；㉒井壁封隔器；㉓带孔尾管；㉔记录仪；㉕记录仪；㉖温度记录仪



TUBING ①

SLIP JOINT ②

SLIP JOINT ③

SLIP JOINT ④

SLIP JOINT ⑤

DRILL COLLARS ⑥

ANNULAR PRESSURE CIRCULATING VALVE ⑦

ANNULAR PRESSURE CIRCULATING VALVE ⑧

DRILL PIPE TESTER ⑨

ANNULAR PRESSURE TESTER VALVE ⑩

JARS ⑪

BYPASS ⑫

SAFETY JOINT ⑬

HOOK WALL PACKER ⑭

BUNDLE CARRIER ⑮

PERFORATED TAIL PIPE ⑯

RECORDER ⑰

RECORDER ⑱

TEMPERATURE RECORDER ⑲

图 5 典型的测试管柱

①管子；②套筒接头；③套筒接头；④套筒接头；⑤套筒接头；⑥钻铤；⑦环空压力循环阀；⑧环空压力循环阀；⑨钻杆测试器；⑩环空压力测试阀；⑪震击器；⑫旁通阀；⑬安全接头；⑭井壁封隔器；⑮托架；⑯带孔尾管；⑰记录仪；⑱记录仪；⑲温度记录仪

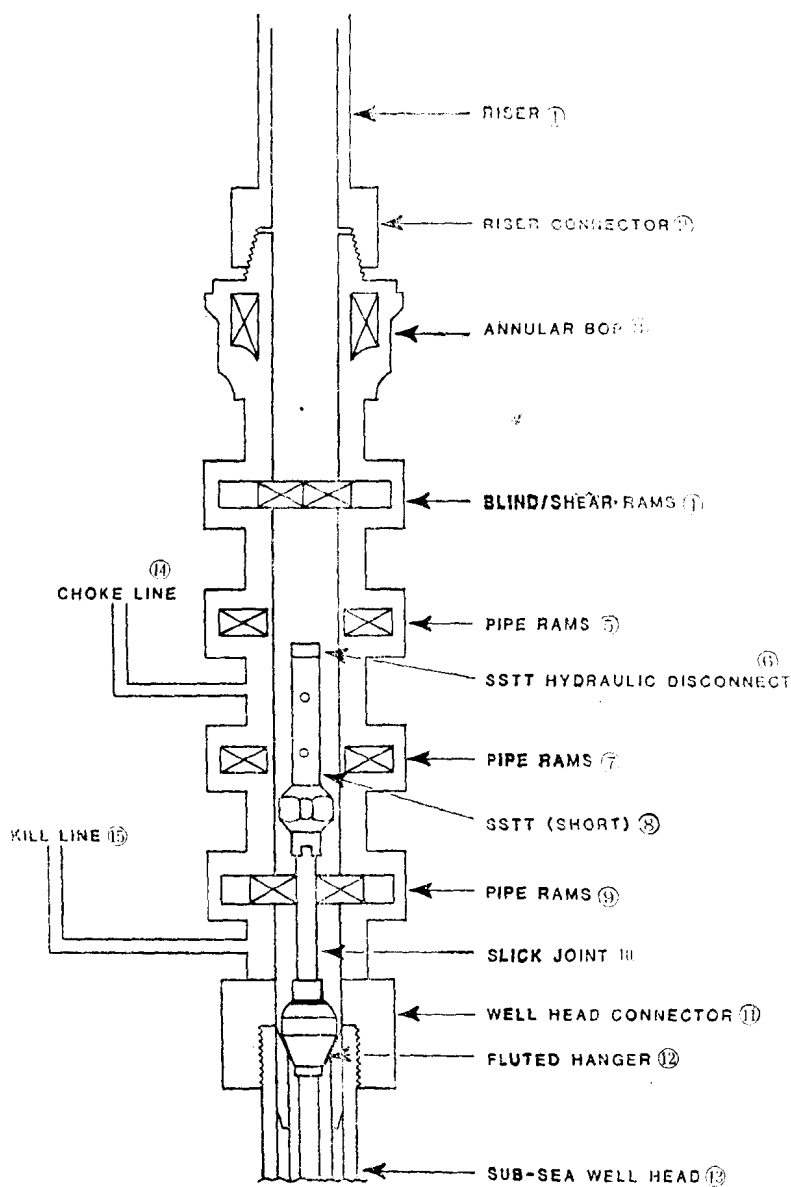


图 6 短的水下井口试油工具

- ①隔水导管；②隔水导管接箍；③环心防喷器；④防喷器全封闭闸板/剪切全封闭闸板防喷器；⑤闸板防喷器；⑥水下井口试油工具水力分隔装置；⑦闸板防喷器；⑧水下井口试油工具（短的）；⑨闸板防喷器；⑩可承压的加封填料的管子接头；⑪井头接箍；⑫槽式悬挂器；⑬水下井头；⑭阻流管线；⑮压井管线

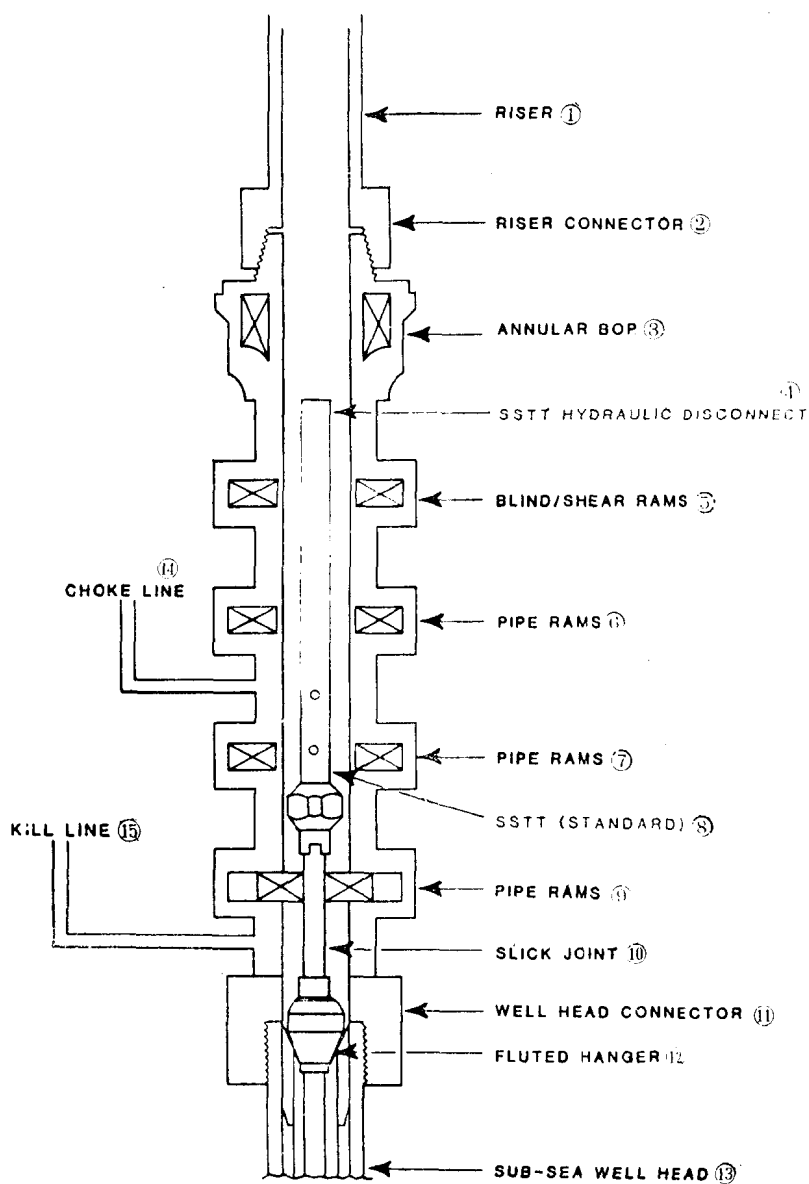


图 7 标准水下井口试井工具

①隔水导管；②隔水导管接箍；③环心防喷器；④水下井口试油工具水力分隔装置；⑤全封闭闸板防喷器/剪切全封闭闸板防喷器；⑥闸板防喷器；⑦闸板防喷器；⑧水下井口试油工具（标准）；⑨闸板防喷器；⑩可承压的加封填料的管子接头；⑪井头接箍；⑫槽式悬挂器；⑬水下井头；⑭阻流管线；⑮压井管线