

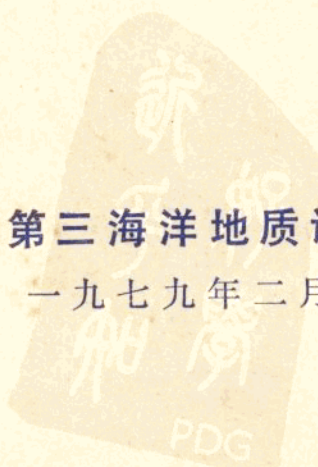
海洋地质调查 参考资料

(国外浮船测试译文集)

13
2

地质部第三海洋地质调查大队

一九七九年二月



编 者 的 话

六十年代以来为了开发海上的石油资源，世界上很多国家进行了大量的海上钻探工作，与此同时也发展了一套适合海上作业需要的钻探工艺。海上的钻探工艺随钻井船只的不同而不同，但基本上分为两大类：一类是适用于固定平台或自升式平台的工艺，它和陆地上的工艺基本相同。另一类是适用于浮船或半潜式钻井船的工艺。由于船只在作业过程中是浮动的，所以不能简单地延用陆上的工艺，因此发展了许多新的工具及工艺。

试油（或地层测试）是整个钻探工作中十分关键的一环，试油工作进行得好坏，所取得的资料是否准确，将直接影响到能否为下一步工作作出正确的决断。在海上的浮船试油中情况就更为复杂。国外在这方面的技术也有了很大的发展。我们收集了近十年来国外杂志上发表的有关浮船试油的文章汇编成这个专辑。从这些文章中基本上可以看出国外浮船试油工艺及工具的发展过程，而且可以看出到目前为止，这套工艺及工具已经比较成熟，能在保证安全的情况下在各种海况下进行试油作业。

近年来国外发展了一种海底设备，称为海底测试树（E-Z Tree 或 SSTT），它直接安装在海底防喷器组内。海底测试树中有两个阀，可在钻台上通过液压管线控制其启闭。井下管串悬挂在海底测试树的下端，接在海底测试树以上的管柱通过隔水管通到钻台。使用这种测试树试油，就可省去起出防喷器组，换成采油树的作业，可以由钻井船直接进行试油，从而节省了时间和费用，此外最重要的是安装了海底测试树以后，在海况变坏或发生险情时，海底测试树以上的管串可以很快地脱开，从而使船能安全离开井位，并自动关井，待天气及海况变好后再返回井位，继续进行试油作业。

早期浮船试油中所使用的井下工具还是提放型测试阀（如 MFE 或 Hydrospring），通过操作钻杆来控制井下测试阀的启闭，但在钻杆中加上了伸缩节来补偿船的升沉运动。后来发展了用环形空间压力来控制的测试阀（如 PCT 或 APR Tester）。在测试过程中不用再操作钻杆，而是通过向环形空间加压或泄压的方法来控制测试阀的启闭，以后还发展了用环形空间压力的充放次数来控制的反循环阀。这样就能做到在整个测试过程中，直至反循环进行完毕都不用去操作钻杆，从而使测试能更加安全、方便和可靠。

此外，对于探井普遍采用两次诱流和两次关井测压的测试程序。其优点是能在较短的时间内取得较多的地层资料。一般说，测试一个层位只需一天多时间。测试时间短对海上作业来说是具有特殊重要意义的。

我国有着丰富的海上石油资源，浮船试油的课题近在咫尺，亟待解决。国外的先进经验很值得我们借鉴。希望这个专辑的出版能有助于我国浮船试油工作的发展。

由于浮船试油大部份都采用钻杆测试，因此为了扩大视界，在本专辑中我们还收集了一些讨论如何搞好钻杆测试的文章和一些介绍新的钻杆测试方法（如密闭腔测试）的文章。这些虽未直接用在浮船试油上，但其讨论问题的方法及原理仍然具有普遍意义。

由于我们的业务水平有限，对国外的情况又不熟悉，疵漏谬误在所难免，诚恳地希望读者批评指正。

编 者

一九七九年二月

目 录

编者的话

地层评价的新方法(摘译).....	(1)
远东油井的有效测试程序.....	(4)
浮船测试的发展.....	(9)
压力操作的工具改进了海上试油.....	(15)
钻井浮船测试可靠性的设计.....	(21)
第二代浮船钻杆测试装置 (DST)	(28)
Oxy公司在北海进行了最大的测试.....	(34)
新一代的钻杆测试工具及工艺.....	(37)
如何从钻杆测试中得到最多的资料.....	(45)
恰当的地层测试能够降低完井成本.....	(47)
在北海条件下评价地层的测试系统.....	(54)
合理的设计能使超深井钻杆测试的问题减至最少.....	(61)
浮船测试方法.....	(70)
浮船钻杆测试装置.....	(76)
密闭腔钻杆测试能安全地进行油气井评价.....	(86)
密闭腔钻杆测试的理论和实践.....	(91)
在动力定位钻井船上进行海底油井测试.....	(102)
最新的可膨胀式封隔器钻杆测试器是怎样工作的.....	(108)
测试树能加速海底探井的评价.....	(112)
深水生产测试用的先进的海底测试树.....	(117)
简单的现场检查将提供精确的钻杆测试数据.....	(122)
从深井地层测试中获得精确的数据.....	(129)

地层评价的新方法(摘译)

E. J. 林奇, R. C. 麦克法兰

钻杆测试和地层测试

现在一种新型的钻杆地层测试器在钻杆测试中允许进行无限次的诱流期和关井测压期。这系统称为多流测试器(MFE)。图1为该设备的示意图,图2说明了工具的操作。基本部件是一只安全密封的封隔器,双控制阀和旁通阀。

双控制阀控制液体进入钻杆,封隔器座封以后,通过钻杆的上下运动能连续地开关双控制阀。在一次测试中,这个阀能开关任何次数,而不影响封隔器。

安全密封封隔器也是通过钻杆的上下运动来控制的。当座封时,封隔器能保持一个良好的密封,甚至在钻杆上提时也能密封。良好的密封是由于液压安全密封装置的作用,它在整个测试过程中,都能在封隔器的胶皮上保持一个座封力。封隔器是设备顺利工作的关键。

在测试结束时,打开延时旁通阀,使封隔器两边的压力平衡,从而解除安全密封。

旁通阀的整个操作也是通过钻杆的上下运动来进行的。当工具下井时旁通阀是开的,当加上钻杆的重量后阀关闭。去除钻杆的重量,使用比开关双控制阀更大的拉力就能打开旁通阀。

测试工具中的一个取样室在最后的流压下取了2750毫升的油样,供地面分析。

在双控制阀中央有一个分离塞(Knockout plug)需要时可以让(打捞用)松扣炸药包穿过测试工具。

钢缆测试。238次钢缆地层测试的结果表明,钢缆测试器能成功地用于水泥环顶部以上的套管中。一般说,测试是否成功取决于水泥环以上环形空间泥浆凝胶的强度。如果在一次测试时泥浆流动了,结果就不会好,而且随后在该井较浅的测试也都要失败。在238例测试中全部机械的成功比例达到78%。一般说在较浅的地层的测试结果比较差。

降低压力的测试。最近发展了两种技术,根据不同产量下的降压测试来计算油层参数。虽然这些方法不能直接用于钻杆测试,但提供了取得重要油层资料的方法。

一部份发明者从扩散方程的点源解出发,并采用赫诺的假设。使用叠加原理已经得到油层和气层进行降压测试时变产量的近似解。假设的条件是单相流动,不稳定流动,水平地层,在均质地层中的达西流动,可压缩流体或轻微可压缩流体通过各向同性的多孔介质的流动。为了油层和气层而推导出来的方程被用来计算渗透率和表皮系数。

还发展了一种解析方法根据降压测试中的变产量数据来计算单位响应函数。这个函数同样可用叠加原理求得。假设流体是轻微可压缩的,而且采用了上述文献中所作的一些假设。根据计算得到的响应函数,可以通过已有的方法求得渗透率,井眼条件和其他油层特性。

压力恢复曲线的分析。在用压力恢复曲线来计算油井到断层或线性不连续部份的距离方

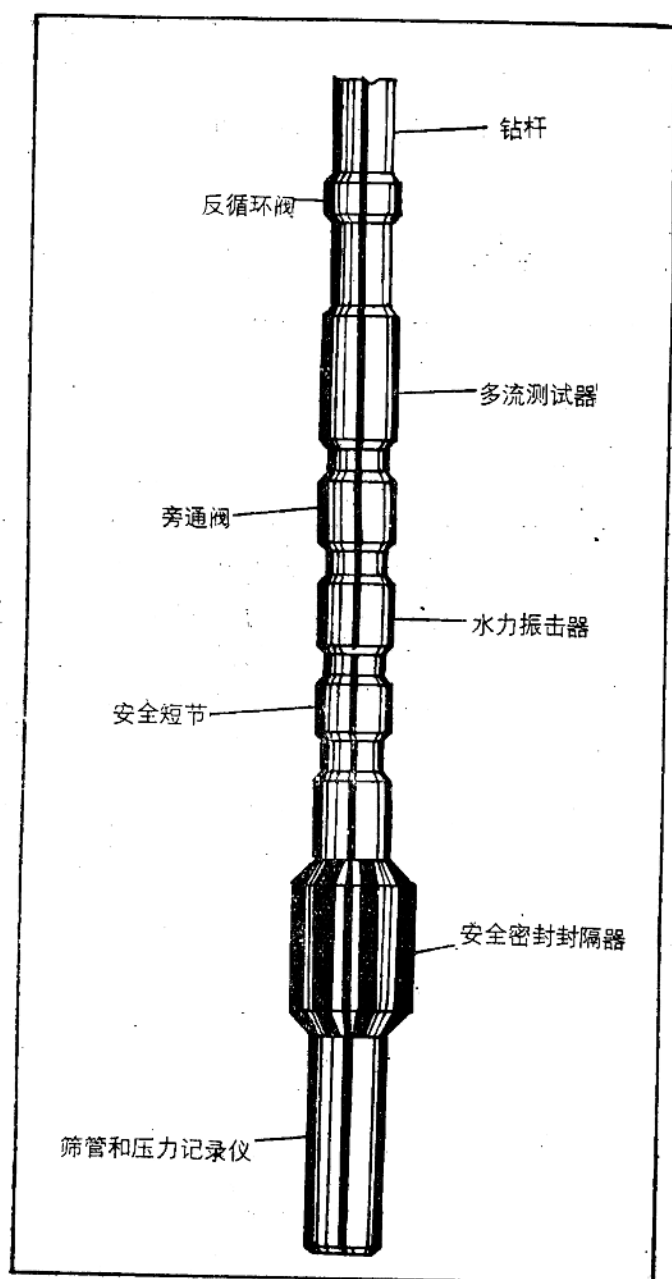


图1 多流测试器进行地层测试的工具管串。在一次钻杆测试中，
这种工具管串允许无数次的诱流(开井)和关井。

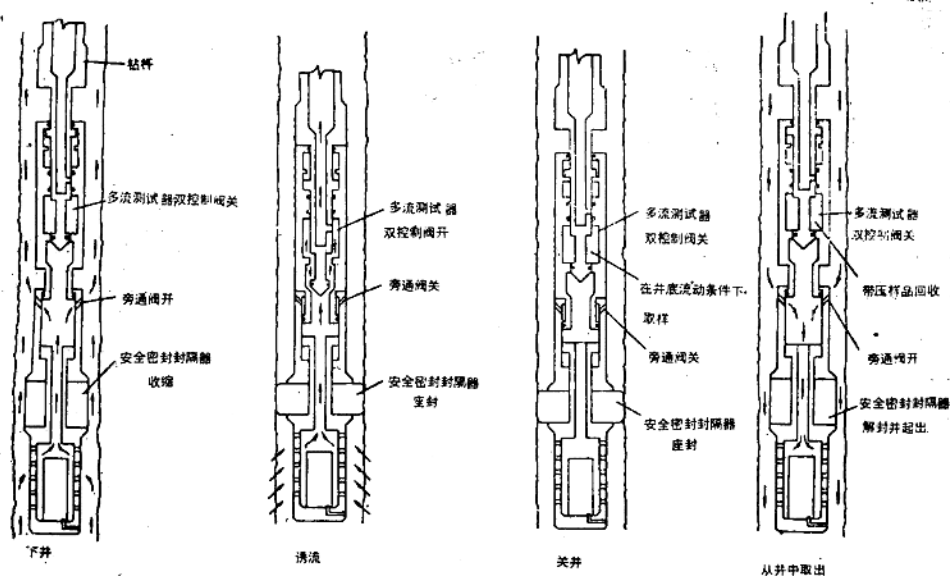


图 2 在钻杆测试的不同阶段中，MFE 测试工具的操作情况

面已经做了新的工作。已经发现，当采用赫诺法计算上述距离时，当关井前的诱流期缩短时，误差会增加。

例如，假定断层离一油井 100 呎。对以下两种情况来计算这口井的压力恢复曲线：(1)关井以前 1200 小时稳定产量为 100 桶/天，(2)关井以前 12 小时常产量为 100 桶/天。使用赫诺法，油井到断层的距离例(1)为 101 呎和例(2)仅为 79 呎。在所计算的例(2)的距离中误差为 21%。

估算油井到断层距离的其他技术能适用较短的初始诱流期。但是运用这些技术应该谨慎，因为理论仅基于单相流动。任何直线的间断，例如油水界面或渗透率变化，在某种意义上与断层相似将影响压力恢复曲线直线部份的斜率。

摘译自“World Oil”1966 年 4 月第 162 卷第 5 期第 130~132 页

远东油井的有效测试程序

适用于远东近海油井的测试程序至今还不是非常明确的。主要原因是已钻的井大部分是勘探井。可是，随着越来越多的油藏需要评价，和更加重视环境污染，将会使用更加成熟的测试设备。其中一部分是现成的，一部分仍然在设计之中。

如同在任何其他海域，大量的勘探工作正在进行，在那里有许多移动式钻井装置和极少的固定钻井设备。最新的统计表明在南中国海——爪哇海约有 20 条浮式钻井装置和八条自升式钻井装置在工作。由于水浅和海面平静，标准的钻杆测试相对地说是成功的。许多井是探井并在海底将其封住，而且制定了钻生产井的进一步计划。在某些场合，这些井的周围设置

了一个临时导管架，打算进行更深入的测试，这样才能够制订出全面的开发计划。在钻井装置的费用几乎要达到每小时 1000 美元的情况下，现场的测试费用必须与其它测试工具相均衡。整个的时间因素也是很重要的，因此应尽可能快地开始生产。

这些因素将决定使用什么方法和设备。调查表明有些设备系统对浮船或自升式钻井装置上的测试都能适用，而其它所需的设备还在工厂里。

浮 船 测 试

南中国海和爪哇海地区的相对地平静的海面展示了在浮船上使用正常的程序进行钻杆测试 (DST) 的可能性。在测试过程中，甚至在这种平静的海域里，井仍然有失去控制的危险。考虑到这种情况，就可能要有一个等待时间，等海面充分的平静。现在有一种现成的设备能保证完全安全地进行一次测试，或在绝对安全的情况下使用特殊工具。甚至能将测试工具留在井中，而且，使井在完全受控制的情况下进行船的移位。

基本系统是海底测试树。其特殊的要求仅仅是海底测试树应有合适的尺寸，以便和钻井装置上的防喷器配合使用。海底测试树(图 1)由一只或二只全开式球阀组成，在弹簧力作用下这些阀是常闭的。这些阀能控制住来自井中的压力，但是如果需要的话能够通过它将液体从地面泵入井中。在测试和打循环时，通过一根

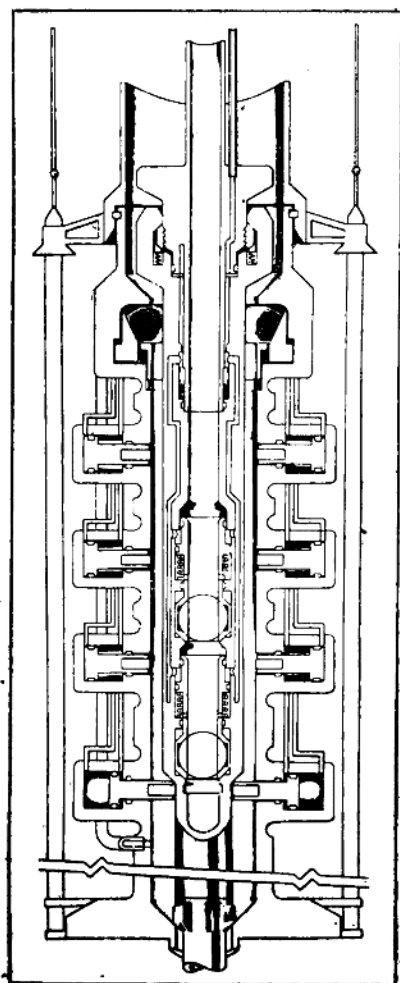


图 1

控制管线将海底测试树和地面管汇相连，用液压使阀保持开启。这根控制管线可以是一根柔性高压软管，或使用油管柱和外部管柱间的环形空间。当地面加压高于阀上的综合油管压力和弹簧作用的等效压力 10% 时，球阀将开启并保持在开启位置。一只液压操纵的锁销和锁销接收器(即脱接器)是连接诱流油管和海底树的控制管线的工具。通过脱接器能允许诱流油管迅速脱离测试树，并在紧急情况中能够关井。一种自封闭特性能防止控制管线中液体的污染。

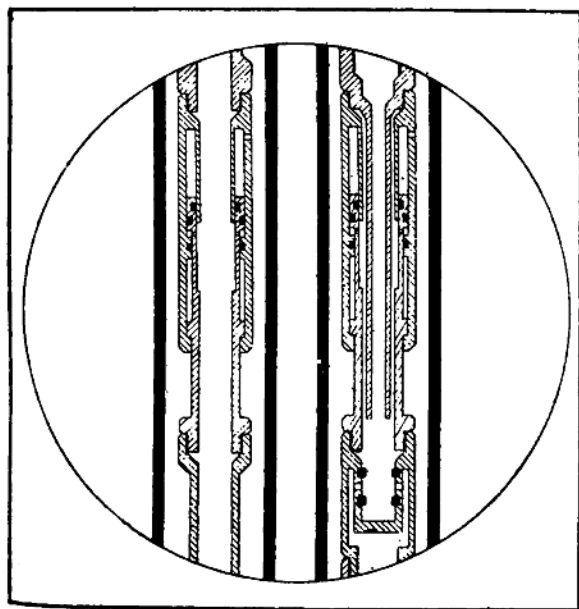


图 2 带安全节(右)和不带安全节(左)的伸缩节允许船有 5 英尺的升沉运动

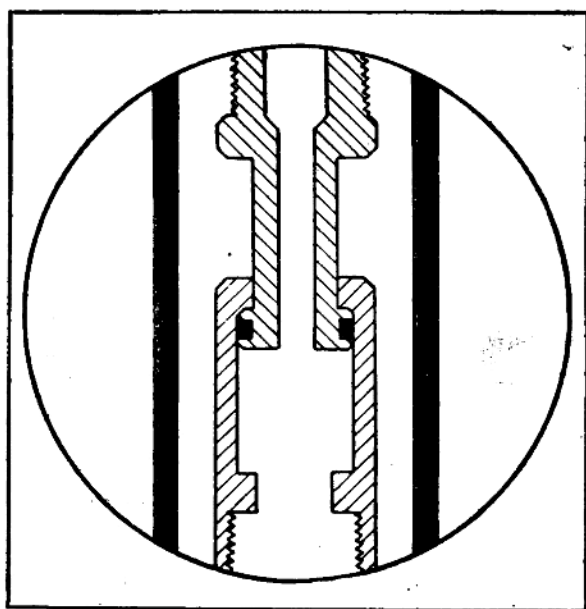


图 3 具有 30 英寸行程的延伸节，用来提放钻杆，去操作 DST 工具

为了进行钻杆测试，还要其他专门的井下设备。这些井下设备包括一只冲击式反循环短节或反循环阀，伸缩节(Slip joint)和安全阀(图2)，和延伸节(Extension joint)(图3)。装置的其它设备是通常的钻杆测试器，取样器和旁通阀。

在测试过程中整个管串装置悬挂于防喷器中，以减小管串的运动和闸板的磨损。使用三只悬挂台肩。最下面的台肩提供初始参考点并作为关井测压期的悬挂点。中间的台肩用于诱流期。使用最上面的台肩能关闭伸缩节安全阀，并将钻杆重量支撑在井口上。

三只台肩安置在与井下工具相对应的位置上，这样在开井和关井的位置上均能提供自由行程。因此在改变工具的开关状态时，船的运动将不会影响封隔器或测试器阀。

如果发生紧急情况，并且必须中断测试时，打开上闸板，下放管串，将下闸板关在顶部悬挂台肩处来悬挂管串。再起出测试树以上的油管，关闭全封闭闸板。在这时候，与伸缩节装在一起的安全阀也关闭了，当伸缩节完全收缩时将关闭其安全阀，而当伸缩节伸长超过六英寸时将打开安全阀。

在1968年12月首次使用钻杆测试的组合设备。自那时起，在水深1000英尺的井中进行了许多次测试，测试深度超过15000英尺。在一次测试中，浮船损坏了一只锚，导致隔水管、钻杆和控制管线的断裂。当控制管线受到损坏，压力泄漏时，球阀关闭了，防止一次海上井喷。

生产测试

对已经发现有生产能力的地层进行充分规模的生产测试是特别重要的，例如远东，在那儿必需要高的产油率和大的储量才值得进行投资。

只有在全部完井，包括装一个井口和一只保护导管架装置以后，才能进行生产测试。但是，这种测试要求使用附加设备例如测试船，这个费用必须与一些中间做法相比较，而使钻井装置仍旧留在井位。这种做法包括使用前述的供浮船测试的设备进行较长时间的钻杆测试。

另一个方法是下一根管串通过目的井段而不动防喷器。然后使用能对多层位进行测试和挤水泥的设备进行测试，而不需要按装采油树，并使井处于完全控制下。这种方法也要用悬挂在防喷器组中的海底测试树。虽然浮船测试时用海底测试树有较大的优点，但是在使用自升式钻井船时它可能还是有经济上的优点。

测试和挤水泥工具是由一个循环滑套，液压悬挂装置，带有液压座封缸的可钻式封隔器，和挤水泥工具组成的一种改进过的组合(图4)。投入一种工具和消耗性的塞子能使滑套移动位置，投入的工具可以反循环出来，消耗性的塞子则可以反循环出来或者是将其泵入井底，整个测试或挤水泥操作可以通过液压操纵，而不用钢缆或旋转油管。它与海底测试树一起使用时，能始终保持对井的完全控制。

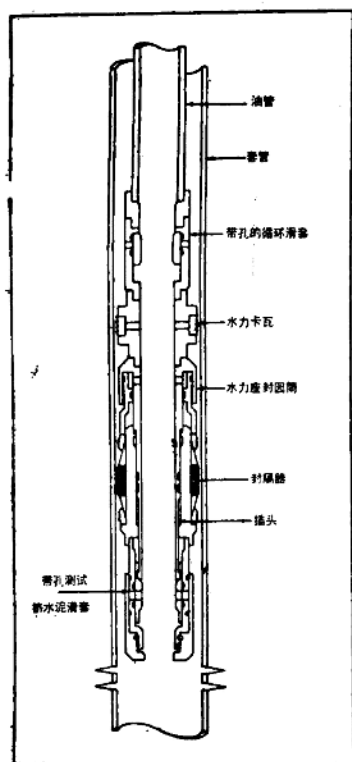


图4 用这种工具，起下一次油管就能进行地层测试和挤水泥

测试组件接入油管中,而油管组件又挂在海底测试树下。在座封隔器之前用较轻质的流体置换油管流体。为了座封隔器,从油管中循环一根工作棒下井,流体的替入量等于油管容积。工作棒座落在挤压滑套中(滑动侧门)切断了与环形空间的连通。将油管加压至 3000 磅/英寸² 能使封隔器座封,进一步加压至某一个预定数值时,将剪开外部滑套。这样就打开了封隔器之下的孔道,油井将准备开始生产。如果套管没有预先射孔,那么可使用一具能通过油管的射孔枪进行射孔。如果在替换井筒流体以后,在座封隔器之前油井会出现任何的危险的话,采用上述方法是比较好的。

测试以后,可以不起油管而向井中挤水泥。通过投一只加重塞完成这项工作,加重塞座落在上循环滑套中。加上 400 至 500 磅/英寸² 的压力将打开循环通道,从而将采出液和加重塞循环出井。然后搅和水泥,并向井中打水泥,在这之前放一只跨隔密封塞下井。密封塞跨在循环口上,以防止水泥漏入环形空间。进一步增加约 500 磅/英寸² 压力能剪断密封塞的下部,并将其座在封隔器的下面(图 5)。水泥则从旁边的孔道泵出,进行挤水泥。如果没有将全部水泥浆挤出去,则向套管加压进行反循环,在压力差的作用下将能打开循环通道,多余的水泥就能反循环出来。

在挤水泥完成后,上提油管,这样脱开封隔器下部。使挤水泥滑套关闭(图 6),而封隔器成为一只永久的桥塞。

这就能做到下一次油管,测试一层,并挤水泥封堵一层。在远东使用这种程序在一口井中进行测试已多至六个层位。由于这种方法很方便,世界上许多浮船都装备了海底测试树和测试及挤水泥工具设备。

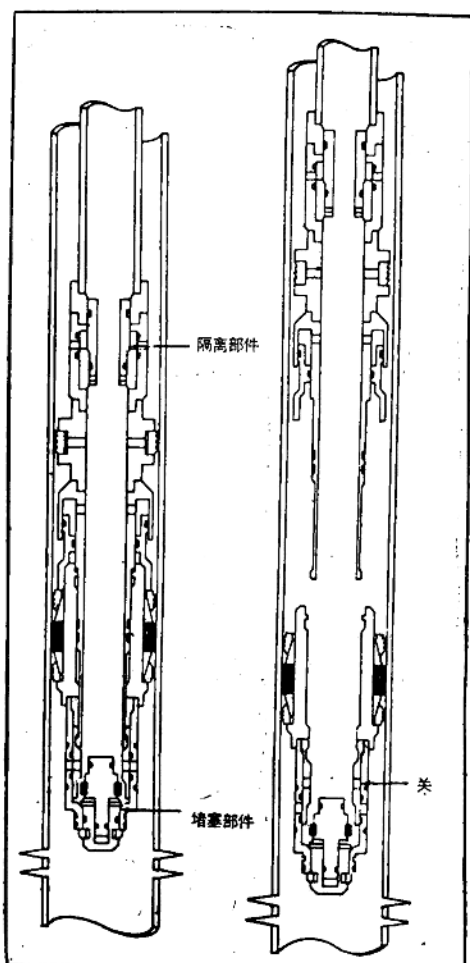


图 5 跨隔密封塞用于挤水泥操作

图 6 当脱开短节时,可钻掉的封隔器变换为一个永久桥塞

地 面 设 备

在一条海上钻井装置或平台上对井进行测试,将需要专用的地面设备。根据测试长短和采出液的多少,操作者已选择了不同的程序和设备。对于正常的钻杆测试,大部分钻井装置,装备一只分离器和各种处理采出液的方法。

如果事先决定不要进行长时间测试的话,钻井装置可以装备一只容量较小的分离器。因

为钻杆测试装置装备了井下压力计,而且多数还装有取样设备,所以不需要象钢丝绞车等的辅助设备。

如果预计会有大的处理量,这样进行长时间测试就要更精制的设备。有一个公司已制成了处理量达 10,000 桶/天的撬装测试装置。这种装置的首要工作将是对现在已装好临时导管架的井进行的长期的测试。尚未决定这种装置将用在何种类型的船上。可能选用的船只包括自升式平台或修井船,浮式船和(或)直接装于临时导管架上。如果测试时钻井船尚未离开的话。上述测试装置也能用于钻井船或自升式平台。

采出液的处理是另一个问题。短期测试中得到的少量液体可以储存在钻井装置或平台上的一只移动式油罐中。大量的液体被储存在适用于该地区的各种类型的储油船中。

另外的处理方法是使用燃烧器。已发展了几种适用于远东和世界其他地区的燃烧器,通常至少用两个燃烧器。图 7 (图略) 所示的燃烧器,曾在每天超过 7000 桶的处理量下进行过试验,其处理能力可达 10,000 桶/天。虽然没有用干气试验过,但燃烧器每天将能燃烧 50 百万立方英尺干气。燃烧器无烟燃烧原油能力为 2000 桶/天,如果需要的话,通过添加助燃空气还能提高其处理量。燃烧器中间装有一只喷雾环,上面有 24 只 $\frac{1}{4}$ 英寸的孔,其周围为空气罩。燃烧器还有一只空气分配器,它的外面是一只带有 54 个喷嘴的环管用以提供防护热辐射的水屏。通过三只电点火器点燃燃烧器,在燃烧时,引火装置每小时需要压力为 15 磅/英寸²—20 磅/英寸² 的可燃性气体 1100 立方英尺。燃烧风扇需要一台转速为 1145 转/分 125 马力的电动机。还需要一台泵,它最低每分钟要能提供 350 加仑的海水,压力为 50 磅/英寸²,以便屏蔽热辐射。为了在海上使用,将支撑燃烧器的支架和各种管线做成 16 英尺长的一个整体。当按装了燃烧器的三个部分构成一个悬臂梁时,它是有足够的强度的。实际上,可以用天车上一根的猫头绳或一个吊车来支撑燃烧器。

1969 年 12 月的“石油工程师”详细论述了另一种类型的燃烧器,处理量达到 125 桶/时,而且原油含水量高达 50%。这个装置每分钟需要压力为 100 磅/英寸² 的压缩空气 250 立方英尺,为了屏蔽热辐射,还需要一台海水离心泵,泵量为每小时 2 5000 加仑。

译自美“Petroleum Engineer”1970 年 10 月 50—54 页

浮 船 测 试 的 发 展

G. Q. 兰利 G. E. 彼夫蒂 C. M. 杰弗斯

绪 言

早在海上钻井得以普遍开展以前,地层测试就显示了种种优点。这种临时的完井作业,可以提供有价值的资料,来评价油井的潜力。人们进行了数年的研究,致力于发展各种工具,以一种有效而安全的方法获得这些资料。固定式海上钻探用的是标准的陆地测试程序,然而为了用于各种海况下的浮船测试,这种工艺还必须加以发展。

浮船测试特定的需要,导致发展了像:1. 平衡伸缩节,2. 伸缩节安全阀,3. 海底测试树,4. 环形空间压力操作安全取样器等工具。

第一次浮船测试采用的是常用的陆地测试组件。由于船在潮汐和波浪作用下的上下升沉,因此很难使钻杆稳定以便保持将所推荐的重量加在封隔器上。几乎没有适用的特殊安全装置。

“容积—压力”平衡式伸缩节的采用是海上测试系统的一个重大改进。它使测试人员可以在封隔器上施加和保持所需要的重量,并且还可以安全地操纵钻杆来操作封隔器以上的测试工具。这种伸缩节有助于补偿波浪和潮汐的作用,从而使浮船测试工作更为安全。

一般的测试工具是利用钻杆的重量去打开的。当浮船锚链断脱而漂移离开井位时,或当遭到异常强烈的海浪作用时,钻杆的上部可能发生断裂,这样留下的测试工具就仍呈开启状态,而在井下却没有办法关井。伸缩节安全阀的发展是防止这种情况的一个重要的中间步骤。钻具的向下运动会自动关闭阀门,这就起了有效的保护作用。

海底测试树的发展又为海上测试添加了一种保护。当测试树上的钻杆发生移动或断裂时,测试树的球形阀会自动把井关闭。在使用测试树时,标准防喷器的保护作用仍保持不变。最近几年来,往往需要进行比正常生产测试或探液面试井还要长的测试,这时油井将开井达一星期之久。在此情况下,伸缩节和闸板等部件内的密封磨损就会成问题。由于海底测试树有一个悬挂全部管材的固定的悬挂点,故除了开启和关闭测试工具所需要的操纵以外,钻杆实际上没有垂直运动。这样,密封磨损就减少了。

近年来采用的环形空间压力操作的安全取样器是改进地层测试设备的一个重要的步骤。这种工具不仅具备常规测试取样的所有优点,而且在操作时提供了更安全的控制。用环形空间压力来操作工具这在所有的取样器中是唯一的。使用这种取样器,免除了因打开和关闭测试工具所需的钻杆运动而造成的伸缩节和闸板的密封磨损。根据取样器的设计特点,它在一定的紧急情况下可作为一个自动关井阀。安全取样器的其它优点包括它可以缩短普通地层测试工具系统的长度,并且可用于不易操纵钻杆的斜井中。此外,取消了海底测试树和测试工具之间的阀以后,钻杆几乎可以直通到井底,这可适应反循环替出试采液和钢丝绳设备下井的需要。

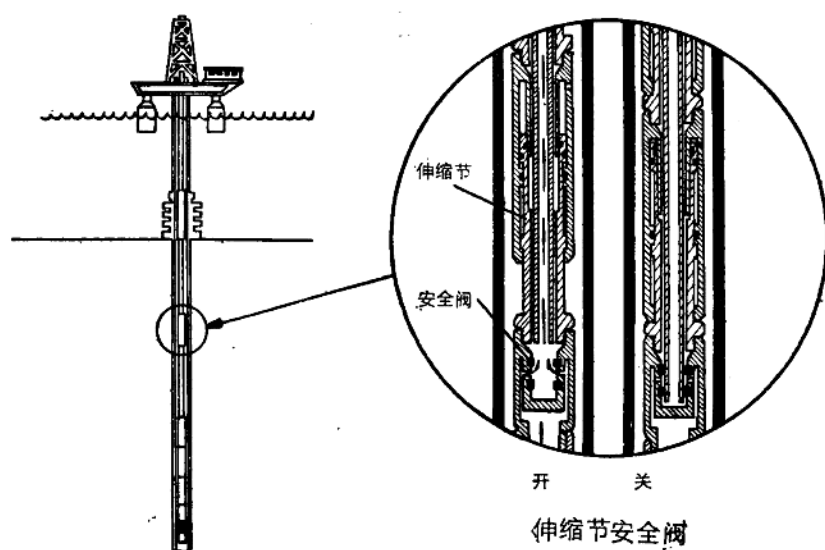


图 1

伸缩节安全阀

在海上进行地层测试的经验表明：需要一个井下阀门，当钻杆在其上方发生断脱时可自动关井。这种阀门最好安装在紧靠井底处，但由于目前使用的大部份测试工具是依靠钻杆重量来操纵的，因此这个阀就设计安装在伸缩节上，如图1所示。把安全阀和伸缩节组装在一起，就可在安全阀以下有足够的钻杆重量以操纵测试工具。

图1所示的安全阀处于打开位置时，测试液可以流经此阀。阀上面伸缩节处于拉伸状态。伸缩节可作最大限度的自由滑动，而不必担心阀会过早地关闭。这一点是由一根穿过所有伸缩节的心轴来保证的，只有每一根短节都完全收缩时，心轴才能穿过阀的密封圈来关闭安全阀。

如果出于任何原因需要从容地关闭阀门时，则就可下放钻杆。如果管柱的断裂发生在伸缩节的上方，则仅仅用克服密封摩擦力所需的重量就可关闭安全阀。

图1也画出了关闭状态，这时阀上面的伸缩节完全收缩并且让一根连续的心轴穿过阀的密封圈，阻断了测试液的流动，当提升钻杆以拉伸伸缩节时安全阀就又重新打开让测试液通过。

安全阀的一个局限之处是钢绳设备不能通过，另一个局限之处是在钻柱的这个点以下进行反循环时需要使用旋转阀。

环形空间压力操作安全取样器

通常一套地层测试工具管串总成包括各种阀，一个或多个封隔器和一个取样器，它们部份是依靠钻杆重量来操作的。在钻杆重量用于座封隔器并必须在测试期间维持始终的情况下，必须制造一些部件以便操作钻杆来完成重要的测试工作。操纵测试工具时，至为必要的自由移动点是由伸缩节和延伸节产生的。在恶劣的海况下进行浮船测试时，如果没有足够的自由

滑动余地,就会遇到两种极端的情况之一:或者是全部的钻杆重量都压在测试系统上,或者是测试系统上根本承受不到钻杆重量。在这种情况下测试就几乎无法进行,所造成的延误是很费钱的。

人们于是提出了一项计划,要设计一种压力操作的取样器,这种工具应有助于消除这个问题,并也同时具有其他优点。主要的设计指导思想包括:工具的运动应达最小限度以减少密封磨损,并且工具的使用方法应与井下安全阀一致。环形空间压力操作安全取样器就是这项设计尝试的结果。

从原理上来说,安全取样器是一个可以滑动的阀,它利用对氮气室所施加的环状液体压力来打开工具。环状压力必须维持始终,以把工具保持在开启状态,而一旦撤消这个压力,取样器就会关闭。另一个设计特点是:如果在取样器开启状态下环形空间压力变得过高,则工具的保险门就会关上。

在一个标准的测试工具系统内,取样器可安装在封隔器、尾管和延伸节之上。其在测试管柱上的确切位置应视油井的需要而定。

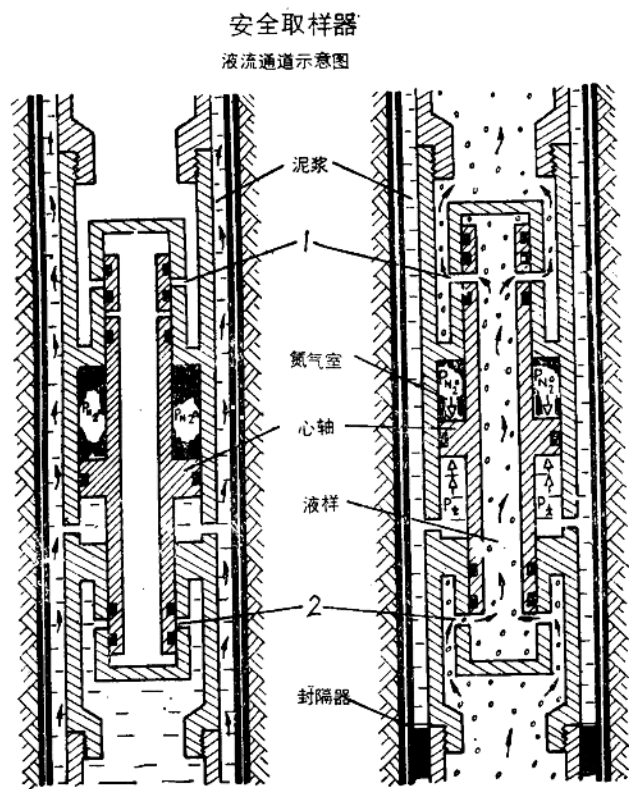


图 2 下井

图 3 诱流期

图 2 是这一工具的简图,它表示了安全取样器的基本操作情况。当工具在下井过程中,氮气的压力(PN_2a)作用在里面的心轴上,使孔 1 和孔 2 关闭。泥浆就如箭头所示从外面流过去。

到达测试深度后,用钻杆重量座封封隔器,并把测试树放到井口上。向环形空间液体施

加经过计算的泵压，引起滑动内心轴的运动，压缩氮气并打开孔 1 和孔 2，如图 3 所示。双箭头 (Pt) 代表作用在内心轴上的全部的液体静压力和泵压。

达到预计压力 (PN_{2o}) 氮气的压缩作用，是由指在滑动心轴另一侧的单箭头来表示的。受到氮气压力的面积和受到环状液体压力的面积之比略大于 2:1 (因图面简单而未能在图中表示出来)。

用安全取样器进行测试的准备工作，开始时首先是计算需要预先充入工具的氮气的压力。进行这项计算所需的油井资料包括：泥浆比重，测试深度和在测试深度上的温度。可用各种方法来确定工具中的压力情况。第一步要确定在测试深度及温度下工具开启时的氮气压力。然后计算工具在井底关闭时的氮气压力。接着要校正在地面情况下预先充灌氮气所产生的温差。一次实际测试的数据资料可用来说明这些计算。虽然在实际应用中也可以把这些计算(步骤)合并起来进行，但这里为了清楚地说明问题，故仍是一步步地来进行计算。

工作参数如下：

安全取样器	6055 英尺
泥浆比重	10.3 磅/加仑
取样器位置的温度(Ts)	170° F
地面温度(Ta)	60° F

安全取样器数据如下：

Aa	2.26 英寸 ²
AN ₂	5.57 英寸 ²
VN _{2o}	281 英寸 ³
VN _{2c}	292 英寸 ³

通过取样器深度和泥浆重量，可以求出测试深度上的液体静压力为 3240 磅/英寸²。在这次测试中选用了 1100 磅/英寸² 的压力 (泵压) 作为打开工具所需要的高于液柱静压力的压力。在选用这个压力时，工具的密封摩擦也是应预考虑的诸多因素之一。这就是说需要共为 3240 + 1100 或 4340 磅/英寸² 的环形空间压力 (Pt) 才能打开取样器。

在测试深度上取样器打开时的氮气压力 PN_{2o} 是用以下方法来确定的：

$$AN_2 PN_{2o} = AaPt \quad (1)$$

$$PN_{2o} = 2.26(4340)/5.57$$

$$PN_{2o} = 1761 \text{ 磅/英寸}^2$$

其后的在测试深度上取样器关闭时的氮气压力 PN_{2c} 是用以下方法来确定的：

$$PN_{2c} VN_{2c} = PN_{2o} VN_{2o} \quad (2)$$

$$PN_{2c} = 1761(281)/292$$

$$PN_{2c} = 1695 \text{ 磅/英寸}^2$$

最后的一步是进行温差校正，由于预充氮气 (PN_{2a}) 是在地表条件下进行的：

$$\frac{PN_{2a}}{Ta + 460^\circ} = \frac{PN_{2c}}{Ts + 460^\circ}$$

$$PN_{2a} = \frac{1695(60 + 460)}{170 + 460}$$

$$PN_{2a} = 1400 \text{ 磅/英寸}^2$$

用瓶装氮气向安全取样器预充至 1400 磅/英寸²。这项工作可在基地或现场进行。

在本例中选用了超过液体静压力 1100 磅/英寸² 的压力来作为开启压力，仪器表明，实际上取样器在压力超过液体静压力 1350 磅/英寸² 时才打开。

当在工具以上部份加上水垫时，用通常的“气泡水桶”方法就可得到阀门开启时的目测指示。像在上述测试中实际做的那样，如果使用了氮垫，则用声学仪表就能清楚地辨别和记录工具的打开。

只要保持住 P_t ，工具就开启着以保证必要的开井时间。如果撤除钻机的泵压，氮气压力就会使心轴回复到关闭位置，以形成关井压力恢复时间。在需要多次关井和开井时，可以按需要重复打开和关闭取样器。通过循环可替出试采液，而在最后流动情况下所取得的样品可以和取样器一起回收到地面。

在诱流期中，地层受到大气或水垫的压力。当上部套管漏泄，钻杆断裂或发生其它意外的事故时，油井应关井。由于环形空间压力大大减少，工具就会关闭，因此把取样器用作井下安全阀有助于解决这个问题。

工具中还装有若干附件，通过这些附件，在高的环形空间压力作用下迫使滑动的心轴穿过开启位置而进入永久性的锁闭位置。工具在被提升到地面之前就不能再打开了。

在一次正规测试之后，撤除环形空间的泵压，关闭取样器，释放封隔器，并将测试工具从井中取出。

小 结

使用压力操作取样器可以减少测试工具系统的总长度，这样就可节省在钻台上连接组装的时间。是否可省去延伸节，锁开旁通阀和多次取样器可视油井的需要来定。

在弯曲的井眼中，钻杆很难操纵，使用液力操纵的测试工具有助于比较顺利地进行工作。

虽然这种工具原先的计划是满足海上浮船的需要，但现在也可以预见到在发现含硫天然气井地区使用这种工具的优越性。钢质钻杆暴露在潮湿的硫化氢环境中会发生应力断裂，这在一些地区构成了严重的威胁。会发生管材断裂，钻杆掉到井里等情况。一个靠近井底的压力驱动的阀有助于防止这种严重的麻烦。

目前，安全取样器局限于使用在下了套管的井里，因为打开工具所需的压力对裸眼井地层可能是不利的。取样器目前限用在 5 英寸和 5 英寸以上的套管中。

浮船测试的成功表明这种液力操作的安全取样器是地层测试设备的一项重大进展。它反映工业界对所有水基钻井和采油活动中，对提高效率和适应能力的兴趣。

术 语 符 号

P_t = 在试测深度上打开取样器的总的环形空间压力。

P_{N_2o} = 工具打开时内部的氮气压力。

P_{N_2c} = 工具关闭时内部的氮气压力。

P_{N_2a} = 在地面上预充的氮气压力。

V_{N_2o} = 在测试深度上工具打开时氮气室的容积。

V_{N_2c} = 在测试深度上工具关闭时氮气室的容积。

T_s = 取样器深度的温度。

T_a = 地表温度。

A_a = 受到环形空间压力的差动面积。

A_{N_2} = 受到氮气压力的差动面积。

参 考 文 献

1. Richardson, Cecil R., "Formation Testing Fundamentals", Aug., Sept. 1960, The Petroleum Engineer.
2. "Wells Safely Tested From Floaters", Sept. 1969, Petroleum Engineer.

译自《美国石油工程师协会论文第 3094 号》(Paper SPE 3094) 1970 年