

叶 荣 主编

地层测试技术

石油工业出版社

北京)

TE14/002

069886

地层测试技术

叶 荣 主编

石油工业出版社

前 言

近几年来,我国地层测试技术有了较大的发展,但至今还没有一本比较系统地介绍这一技术的书。五年前,应华东石油学院钻井培训中心的要求,我写了一本《地层测试技术讲义》,那时只作了简略的介绍,随着这一技术的普遍推广应用,有必要出版一本介绍地层测试技术的书。

石油工业部钻井司、勘探司和科技司的领导要我写一本这样的书,向石油工业界的同志们介绍这一技术,也可作为普及技术的教材。本来原稿已在一九八四年写完,由于种种原因拖延至今。由于新技术的不断发展,又作了不少修改和补充,但因时间紧迫,不少新技术和新工艺仍未得到详细介绍。

我国近几年实行了科学钻井和滚动勘探、滚动开发,为此,提高勘探井的经济效益就显得格外突出了。要想用尽量少的井获得尽可能多的地层和流体的资料,主要应该广泛应用地层测试技术,它是继地震勘探、岩屑录井、取芯和电测之后唯一能直接测得地层产能、流体特性和地层参数的方法,也是提高勘探、开发经济效益的重要方法之一。

本书第一至第十章是由叶荣编写的,第十一章是由宋鸿珍编写的,第十一章中各公式SI制单位的换算是石油勘探开发科学研究院陈元千完成的。在编写过程中曾得到李克向和高锡五的热情帮助,在此表示谢意!

由于编者水平有限,书中必然有不少错误或不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

1988年1月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 地层测试的目的	(1)
第二节 国外地层测试技术发展状况	(1)
第三节 国内地层测试技术发展状况	(5)
第二章 基本原理	(8)
第一节 测试原理	(8)
第二节 测试的种类	(9)
第三节 井下测试阀	(10)
第四节 封隔器	(10)
第五节 测试垫	(11)
第六节 反循环	(12)
第三章 Johnston的MFE 地层测试器	(13)
第一节 作用原理	(13)
第二节 多流测试器	(15)
第三节 裸眼旁通阀	(20)
第四节 安全密封	(21)
第五节 裸眼封隔器	(24)
第六节 套管卡瓦封隔器	(25)
第七节 套管剪销封隔器	(27)
第八节 液压锁紧接头	(27)
第九节 反循环阀	(28)
第十节 压力记录仪及托筒	(32)
第十一节 震击器	(32)
第十二节 安全接头	(35)
第十三节 筛管及带槽尾管	(35)
第十四节 裸眼选层锚	(36)
第十五节 可回收桥塞	(38)
第四章 Johnston其他类型测试器	(40)
第一节 PCT 测试器	(40)
第二节 膨胀封隔器测试器	(46)
第三节 地面压力直读测试系统	(47)
第五章 Halliburton公司的测试器	(51)
第一节 常规测试器	(51)
第二节 APR测试器	(55)
第六章 Lynes 公司的测试器	(61)
第一节 常规测试器	(61)

第二节 膨胀封隔器测试器	(63)
第七章 测试管柱	(66)
第一节 裸眼测试管柱	(68)
第二节 套管测试管柱	(77)
第八章 地面流动控制装置	(82)
第一节 控制头	(83)
第二节 钻台管汇	(84)
第三节 活动管汇	(85)
第四节 显示头	(85)
第五节 投杆器	(86)
第六节 取样装置	(86)
第九章 测试程序	(89)
第一节 “自由点”及其计算	(89)
第二节 测试前的准备	(93)
第三节 下入测试管柱	(94)
第四节 测试	(95)
第五节 起出测试管柱	(96)
第六节 安全注意事项	(96)
第十章 地层测试典型压力卡片分析	(98)
第十一章 地层测试评价方法	(122)
第一节 概述	(122)
第二节 基本概念及理论	(122)
第三节 基本方程及其应用	(128)
第四节 其他参数计算方法	(140)
第五节 酸化前后测试资料处理方法	(143)
第六节 计算机处理资料	(146)
第七节 典型井实例	(146)
参考文献	(149)

第一章 绪 论

第一节 地层测试的目的

地层测试又叫钻杆测试，国外叫 DST，是 Drill Stem Testing 的缩写。它是指在钻井过程中或完井之后对油气层进行测试，获得在动态条件下地层和流体的各种特性参数，从而及时准确地对产层作出评价。这种方法速度快、获取的资料多，是最经济的“临时性”完井方法。

在我国，把钻井过程中进行的地层测试称为中途测试；把套管完井后进行的测试称为完井测试或套管测试。无论是哪种测试，都是用钻杆柱或油管柱将地层测试器下入待测层段，进行不稳定试井，测得产层的产量、温度、开井流动时间、关井测压时间，取得流动的流体样品（高压物性）和实测井底压力—时间关系曲线卡片。根据所获得的测试数据和其他资料进行分析、计算，可以得到下列主要参数：

(1) 渗透率：这是实测的平均有效渗透率，只有通过地层测试才可能提供这一最有用的参数。

(2) 地层损害程度：由于地层被钻井液、固井液、压井液侵入以及地层部分打开、射孔数目或深度不足、射孔孔眼堵塞等多种因素影响，使井筒附近渗透率降低、产量减小。通过测试可以计算出地层堵塞比和表皮系数。

(3) 油藏压力：通过关井测压力恢复可外推出原始油藏压力。

(4) 衰竭：如果在测试过程中发现油藏压力有衰竭现象，可以根据衰竭情况推断这个油藏是否有开采价值，可估计所控制的地质储量。

(5) 测试半径：在测试过程中由于地层流体发生物理位移，对一定距离的地层将产生作用，这个距离称为测试半径，也叫调查半径。用这个参数可确定井距大小。

(6) 边界显示：在测试半径内如有断层或边界存在，可通过压力分析计算出距离，借助于其他资料，还可确定边界异常的类型。

由于通过地层测试能直接取得或计算出的地层和流体的特性参数有30项之多，加上测试时间短、效率高、见效快，所以它在国内外石油和天然气勘探和开发中占有很重要的位置。

第二节 国外地层测试技术发展状况

在国外，地层测试技术已被广泛运用。有不少公司专门进行地层测试的技术服务、研究和评价工作，大部分探井和部分生产井都要进行地层测试。随着电子工业和其他工业的飞跃发展，地层测试技术也日臻完善了。

下面分别介绍一下美国和苏联在这一技术上的发展情况。

一、美 国

美国、加拿大和法国是开发、应用地层测试技术较好的国家，但美国历史长、发展快，可以作为西方石油发达国家的代表。

早在19世纪60年代以前，美国就对裸眼盐井采用提捞的方法进行测试，后来对油井也采用了先测试后下套管的完井步骤。当时，人们十分重视测试，不少人开始研究测试工具的结构。1867年，美国专利局给Burr和Wakelee颁发了世界上第一个地层测试器专利，名称是“深井测试工具的改进”，专利号为68350。如图1—1所示，该专利阐述了连接于油管或小套管上的跨隔封隔器。他们提出，测定一口井的产能的工具必须具备：(1)能隔离测试层的工具——封隔器；(2)将封隔器送入井眼的空心管子——油管或钻杆；(3)封隔器下部有一根开孔的管子——筛管，以便让地层流体流入油管或钻杆；(4)在封隔器上方或下方有一个测试阀，此阀在下钻时关闭，保证测试钻杆内无钻井液，测试时可以从地面将其打开，测试完又可关闭；(5)测试完毕可从井眼中起出工具。

当被测试地层的流体进入测试钻杆中时，产层与大气连通，地层流体就会连续地流入钻杆或流至地面，然后关闭测试工具阀，让阀以上的地层流体随钻杆起出，这就是最早的测试原理。

经过许多年的改进和发展，1882年美国专利局发给B·Franklin“控制和调节油井液流的工具”专利，专利号为263330。此工具用油管下入井内，在封隔器上装有一个阀，该阀可借助转动油管而开关，如图1—2所示。

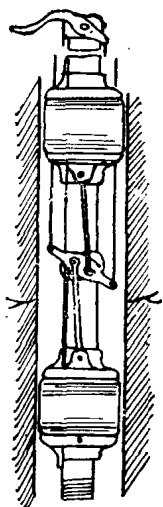


图 1—1 1867年公布的Burr和Wakelee
“深井测试工具的改进”专利

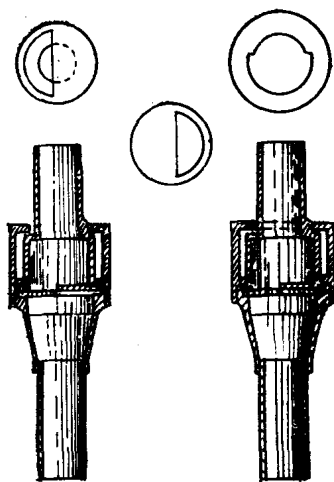


图 1—2 B·Franklin“控制和调节油
井液流工具”专利（1882年公布）

上述两个专利公布以后，又发展了适用于裸眼井的橡胶封隔器，这样才可以在当时用顿钻的方法打出的裸眼井中进行测试。随着旋转钻井方法和钻井液循环的出现，给测试工具提出了新的要求。

最早的实用测试工具是J.T.Simmons 于1926年2月10日申请，并于1933年10月17日

获准的专利号为1930987的“制动-旋塞”测试器。这种测试器曾进行试验性使用,在1925年开始进行研制时, Halliburton公司的 Phil Montgomery 曾给予指导, 后来Simmons的这个专利转卖给 Halliburton固井公司,最后,Earl P.Halliburton又发展和完善了这种工具。

这种齿轮传动的制动-旋塞或旋塞阀是通过在地面旋转钻杆来控制的。在测试之前,先用小尺寸刮刀钻头或取芯钻头在井底钻一小井眼,如果取出的岩芯有油砂,就用与原井眼尺寸相同的钻头扩眼至油砂层上部几米处,然后用金刚石锥形钻头钻出坐封封隔器的锥孔,最后将封隔器用钻杆送到预定坐封处,并加一定压力使封隔器坐封,再转动钻杆,打开旋塞阀,进行测试。地层流体通过筛管的孔道及旋塞进入钻杆内,钻杆内液体上返的高度与地层压力有关,不少的井在测试过程中发生自喷。测试完毕即可关闭井底测试阀,起出钻具。

J.T.Simmons 于1926年申请的地层测试器专利见图1—3, Halliburton 地层测试器就是在此基础上发展起来的,于1968年已发展为相当完善的地层测试器了。

1930年的前几年,还有其他人在研制和试验其他种类的裸眼地层测试器。他们的研制工作基本上都是在1867年和1882年的两个专利及包括封隔器在内的井底开关工具发展的基础上进行的,这些人当中就有得克萨斯州的 Johnston。起初 Johnston 运用火车上的重型弹簧作测试阀,用帆布作封隔器,构成原始的测试工具,后来增加了用投棒的方式打开捶拍凡尔的较完善的测试器,这就形成了靠上提下放打开测试阀的另一类型的操作方法。图1—4是1930年Johnston的地层测试器,图1—5是30年代初的Halliburton带有“制动-旋塞”齿轮传动的旋塞阀的测试工具。

30年代初,在橡胶制造公司的协助下,研制成功了筒型裸眼封隔器,取代了锥型封隔器,这就大大简化了测试工序。但由于封隔器在井眼里起下钻时常常遇阻,导致提前打开测试阀或下不到预定深度,从而失败。经过多次改进,于1930年研制了旁通阀,在测试之前和测试完毕使封隔器上下方有一个通道来平衡压力,这有助于封隔器和测试阀的顺利起

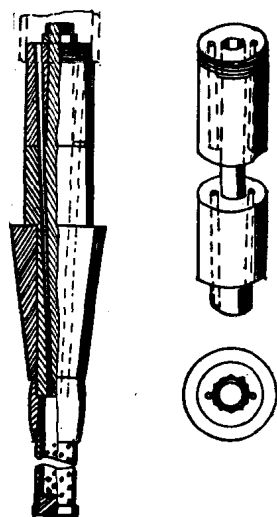


图 1—3 J.T.Simmons于1926年申请的地层测试器专利



图 1—4 1930年Johnston的地层测试器

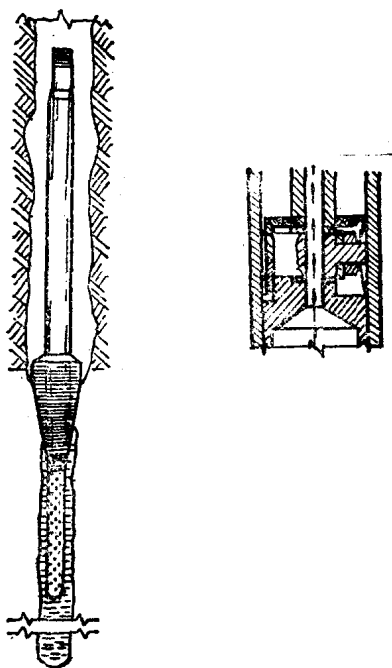


图 1—5 30 年代初 Halliburton 测试工具“制动-旋塞”齿轮传动旋塞阀

下，大大提高了测试成功率。

油藏工程师对油气井压力资料的测试是非常重要的。早在1920年就在研制测量井内压力的仪器，到1933年已有十种不同类型的井下压力记录仪提供使用，测试工具也就从此安放压力记录仪，而且成为测试器的基本工具之一。

1944年又在测试器上增加了反循环阀，它能把从地层流入钻杆内的液体循环出来进行计量，也使测试工作能做到文明施工和安全。

50年代初期，几个公司都着手研制可以多次开关井的测试阀和装配密闭取样器，从而使测试不仅能测得地层产量，还可以得到二次以上开井和关井的测压曲线及流体样品，为正确分析和评估测试层提供了更多的资料。从事地层测试的研制和服务的公司除 Halliburton 和 Johnston 之外，还有 Lynes、Otis、BJ 等十多家公司，

测试器的结构和性能也越来越好。从此以后，美国除大力研制和改进常规测试器外，还大力发展适应各种井况和条件的测试器。如60年代初，Lane-Wells 发明了电缆测试器，这种工具用电缆下入测试井段，由地面通过电流控制点火，可以密封井壁的一侧、射孔、取样和测压力恢复曲线。由于裸眼井条件复杂，存在裂缝和井眼扩大等情况，常规测试器往往不易成功，Lynes 公司最先研制了液压膨胀测试器，并于1965年首次在油田使用。70年代，由于海上石油勘探开发领域逐渐扩大，地层测试的经济意义更显得重要，因此，海上测试技术迅速发展。适应海上大斜度井、高产量井和浮动钻井船的特点的各种海洋测试器不断涌现，如 Johnston 的各种类型的压力控制测试器（PCT）和 Halliburton 的各种类型的环空压力测试器（APR）目前已被普遍应用。近几年美国又研制出随地层测试器一起下井的无电缆射孔枪，它可造成负压射孔，减少射孔对地层的损害，现已投放市场。

随着电子工业的发展和电子计算机的应用，高精度的电子压力记录仪也应用于地层测试中，应变压力记录仪、石英晶体压力记录仪和集成电路井底记录仪已被广泛使用。这些记录仪的精度都比普通机械压力记录仪高，目前最高精度达 $\pm 0.035\%$ ，分辨率不低于 0.000139MPa 。由于压力记录仪精度不断提高，对油藏评价的精确程度也相应提高。现在，可以将井下的压力、温度数据随电缆传到地面上来，通过地面计算机系统的处理，可在井场观察到地层压力的变化和进行初步的评估。

二、苏联状况

苏联在应用地层测试技术方面落后于美国和西方其他国家，60年代以前采用由试油队

进行提捞、抽吸和打水泥塞的方法进行试油。据苏联统计，一般探井试一层油需要30—70天，中途停工时间很长。1972年统计，试油停工时间占试油时间的49.4%，某些边远地区高达60~70%。

苏联为了改变试油长期落后的面貌，于1944年开始研制地层测试器，直到1962年才研制出常规测试器，1964年用测试器测试的层位占全国试油层位的10.2%，1968年上升到32.9%，1975年达到80%。在研制和推广地层测试技术时，先是自己研究设计，但质量低劣，后来引进了美国地层测试器，组织了专业队伍进行研究、制造和试验，科研单位对各主要油气田采取分片包干，负责推广运用。目前，在苏联已普遍应用地层测试技术，但在海洋测试方面仍在不断引进美国的大口径地层测试器和其他先进设备。

苏联在推广应用地层测试技术时取得的明显效益是提高了试油速度，加快了勘探进程。他们用测试器试一层油平均用2.78天，比以前的试油速度提高了10~15倍。同时，由于推广应用地层测试技术，许多干井可以不下套管，节省了大量的钢材、水泥和固井费用。如在苏联的彼尔姆地区的一个油田，第一口探井用地层测试器测试获得自喷原油后，不等这口井钻完，又立即布置了三口探井，使油田只用了一年半的时间就探明储量、投入开发。又如在巴什基尔等四个地区，在过去认为无油气的碳酸盐岩层中，用地层测试器发现了19个油气层。在罗马什金油田，用地层测试器发现了石炭系的许多新油层。目前苏联已有生产各种测试器的能力，并有较强的研究力量。

第三节 国内地层测试技术发展状况

40年代，我国主要在甘肃玉门进行石油勘探，当时曾一度使用美国江斯顿公司的捶拍凡尔式的测试器。50年代以后，采用苏联落后的试油工艺，组成专门试油队用通井机进行提捞、抽吸和打水泥塞作业，试油速度慢，时效低，造成大量探井来不及试油而被积压。这种方法不仅费工费时，还不能取全取准资料，但直到现在还大量采用。据不完全统计，我国70年代约有近700口探井被积压，目前也仍有近200口探井来不及试油，使不少有工业价值的油井不能及时发现，严重地影响了石油勘探开发的进程。

地层测试技术的研究工作应该说是从60年代开始的。首先由四川的谭恭同志比较系统地翻译了美国地层测试的理论、技术和几种测试器的结构原理方面的资料。随后，四川石油管理局组织了技术力量研制了锥形和筒形裸眼封隔器及玻璃接头式的测试阀，如图1—6，1—7，1—8所示。这种工具适用于石灰岩硬地层的中途测试，但无法取压力资料。在此同时，地质矿产部研制美国Halliburton公司的液压弹簧测试阀，并在苏北地区进行

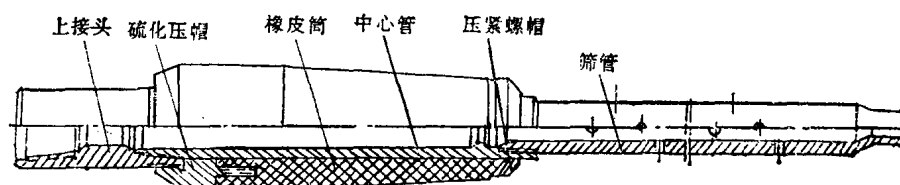


图 1—6 裸眼筒形封隔器

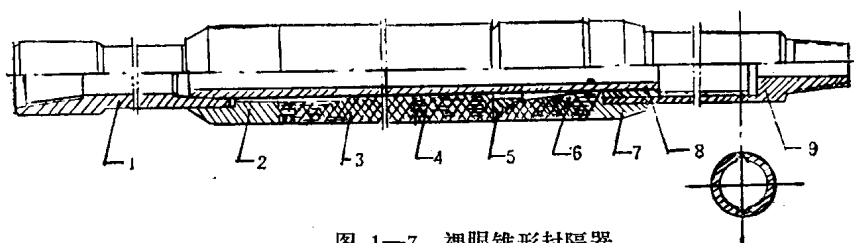


图 1—7 裸眼锥形封隔器

1—上接头；2—硫化压帽；3—橡皮筒；4—中心管；5—膨胀鞋套；6—膨胀鞋；7—支座；8—滑键；9—下接头

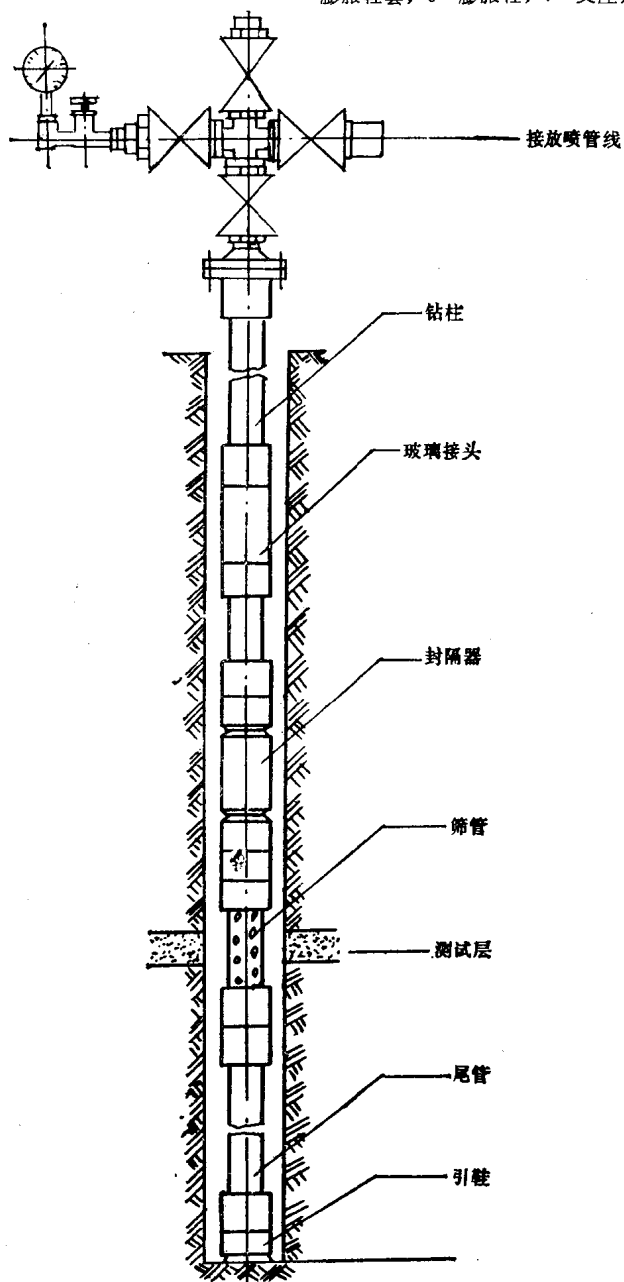


图 1—9 测试管柱及井口

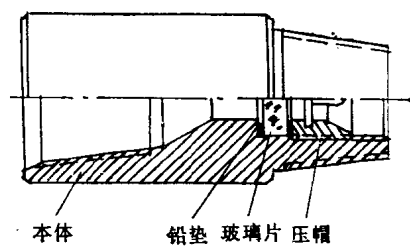


图 1—8 玻璃接头

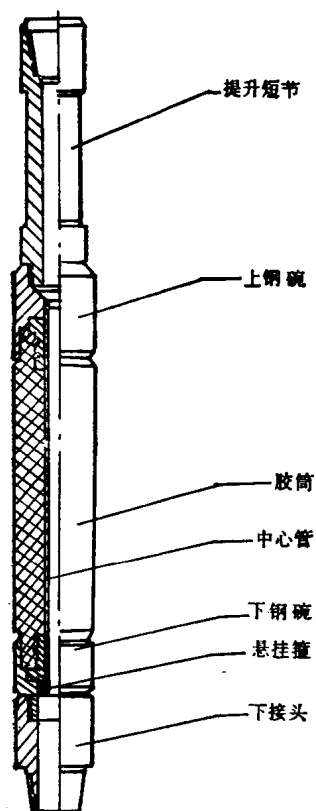


图 1—10 裸眼封隔器

过现场试验。1970年，江汉油田在康世恩同志的倡导下，组织了一批技术力量专门从事测试技术的研究，从此以后我国才有专门的地层测试研究机构。一开始他们研制了“铁伞”、“泥巴伞”和“青蛙肚皮”（即液压封隔器），后来改进为支柱式裸眼地层测试器，图1—9为测试管柱及井口，图1—10为裸眼封隔器。

这种简单的地层测试器只能在石灰岩硬地层进行测试，不能关井测压力恢复。1976年南海的一个单位从新加坡引进了一艘罗布雷-300自升式钻井平台，随船带有一套美国Johnston 5" MFE地层测试器，江汉油田从事地层测试技术研究工作的人员已在江汉钻采设备研究所，他们组织人力赴南海进行现场试验，并对结构进行了详细的研究。同时，四川也从美国Lynes公司引进了液压膨胀式地层测试器，并进行了现场试验。石油工业部根据各油田试油速度低、积压井越来越多的情况，已逐渐认识到必须改变现状，引进国外的地层测试技术，在我国逐渐推广运用这一技术。从1978年开始，我国各主要油田先后引进了一批美国Johnston、Lynes和Halliburton公司的各种类型的地层测试器。各油田逐渐建立起了推广地层测试技术的专业队伍，在华北油田建立了第一个专业性的油气井测试公司，这个公司负责推广应用、技术培训、技术咨询、技术引进和资料处理。截至1987年底，现场测试已1000层次，通过测试，在新探区找到了一批高产油气层，发现了一批新油气田，提高了效率，取得了较明显的经济效益。我国现在已能成套生产常规地层测试器，新型测试器也已在各油田推广应用。

第二章 基本原理

第一节 测试原理

地层测试是获得地层流体样品、估算地层参数和确定地层有无工业生产能力的一次暂时性完井，其原理如图2—1所示。钻杆将压力记录仪、筛管、封隔器和测试阀下入测试层段，让封隔器膨胀坐封于测试层上部，将其他层段和钻井液与测试层隔离开来，然后由地面控制，将井底测试阀打开，测试层的流体经筛管的孔道和测试阀流入钻杆内，直至地面。为了防止生产压差过大造成测试地层垮塌，可以加一部分测试垫，一般采用液垫。为了

详细地记录井底压力的变化，配备有高精度的井下压力记录仪。井底测试阀是由地面遥控的可以多次开井和关井的阀，开井流体流动求得产量，关井求压力恢复数据。

测试的全过程记录在一张金属压力卡片上，如图2—2所示，纵坐标是压力值，横坐标是时间值。测试过程从右向左，标有“下井”字样的一段表示随测试工具下入深度而增高的钻井液液柱压力。当工具下到井底后，钻井液柱压力达到最大，即A点所示的初钻井液静压。到达A点开始坐封封隔器，打开测试阀，使测试层与钻杆内连通，压力急剧下降，进入初流动期。初流动期延续5~30分钟，主要是使井眼附近受钻井液侵入造成的附加压力消除，同时使地层流体顺利流入井筒，随着流体进入钻杆内的量的增多，压力逐渐上升至C点，C点的压力值为初流动结束时的压力，也是初关井期的开始点。此时，由地面控制关闭测试阀，地层压力逐渐恢复，C至B点为初关井期。初关井期一般在1小时以上，以求得稳定的压力恢复曲线为准。到达B点为初关井结束时的压力，此时再操作测试阀，使阀处于开启状态，进行第二次开井，压力从B点降至C₁点，C₁点与C点的压力值相等。C₁点至D点为终流动期，在此期间，随着地层流体流入钻杆内的数量增加，其压力也逐渐增加，D点表示终流动期结束时的压力，终流动期的时间依地层特征而定。在D点进行关井，测试阀关闭，进入终关井期，地层压

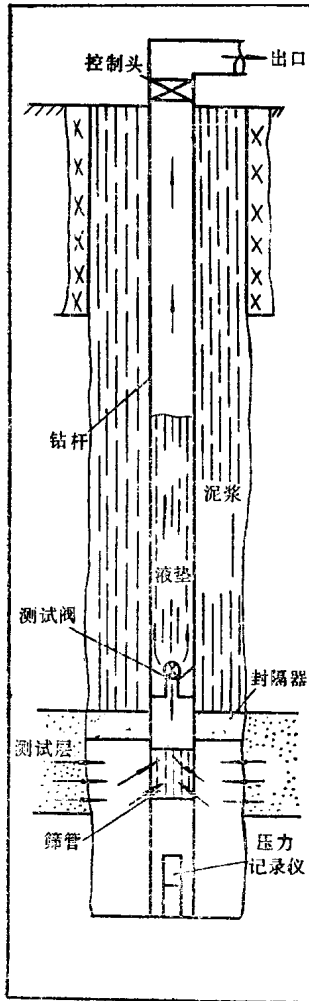


图 2—1 常规测试原理图

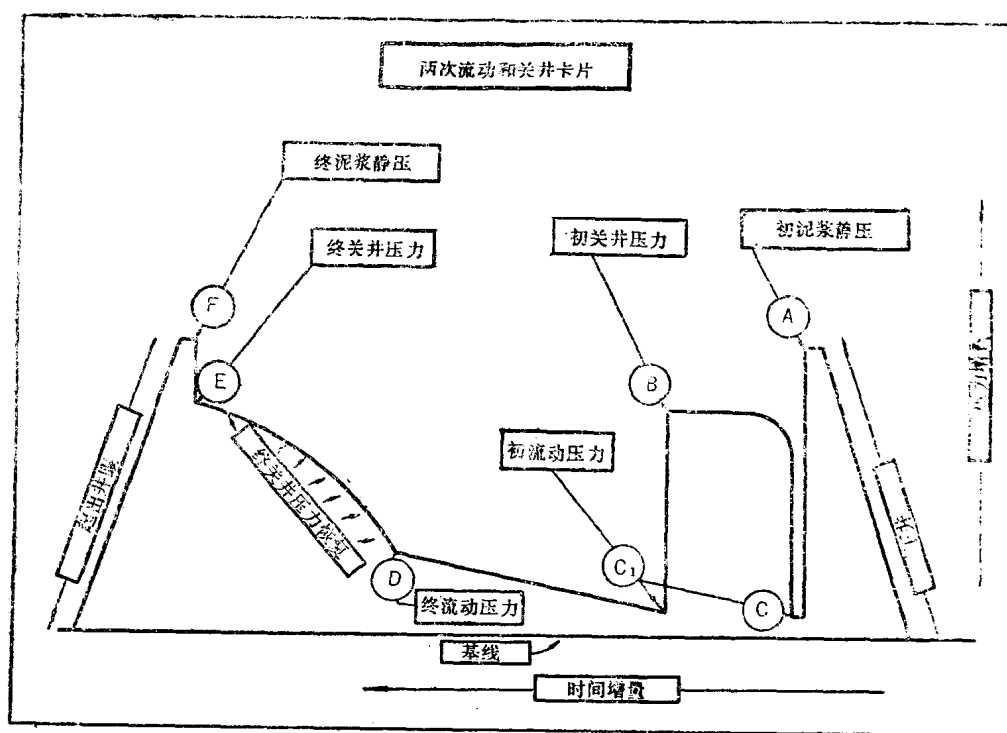


图 2—2 两次开关井压力卡片

力经流动后再次恢复，直至E点。终关井期一般要比终流动期长，这也要依据地层特性而定。在E点时要提松封隔器，此时，测试阀仍然是关闭着的，封隔器解封后，钻井液液柱压力又作用于压力记录仪上，记录下来的F点表示终钻井液静压。此后，将测试器起出井眼，随测试器的起出，压力逐渐降低，直到起至地面，压力回至基线。整个测试过程至此结束。

地层测试的主要目的是评价油气藏，除此之外，还可以通过测试了解固井质量，探测套管是否有损坏或串槽，还能解除压差卡钻。

第二节 测试的种类

地层测试按不同类型的井可分为裸眼井测试和套管井测试；按测试方式可分常规测试和跨隔测试。常规测试是最简单的一种，如图2—1所示，封隔器下部只有一个测试层。跨隔测试则是在一口井有多层的情况下对其中的某一层进行测试，因此，必须下两个或两组封隔器将测试层上部和下部都隔开，如图2—3所示。跨隔测试

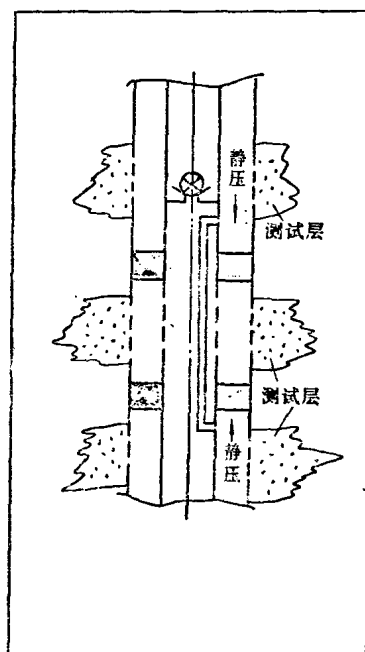


图 2—3 跨隔测试

试的方法有许多种，有支承于井底的两组裸眼封隔器的跨隔测试；有用裸眼选层锚悬挂于井壁的跨隔测试；有在套管内用两个封隔器进行的跨隔测试；也有用桥塞封堵测试层下部的跨隔测试。现将测试种类归纳如下：

1. 裸眼井测试

- (1) 常规测试；
- (2) 支承于井底的跨隔测试；
- (3) 选层锚跨隔测试。

2. 套管测试

- (1) 常规测试；
- (2) 双封隔器跨隔测试；
- (3) 桥塞跨隔测试。

第三节 井下测试阀

井下测试阀是地层测试器的关键部件之一。它被设计成在地面控制操作就可以随人的意志打开或关闭，而这种打开和关闭又要满足测试工艺的一系列要求，譬如，在打开测试阀以前要让封隔器的橡胶筒充分膨胀并起到密封作用，旁通阀要关严，否则测试阀提前打开就会使测试失败。由此可见，测试阀的设计是比较复杂的。通过地面控制使井下测试阀任意开关，目前有几种方法，一是靠管柱的上下提下放，二是靠管柱的旋转，三是靠施加液压。Johnston公司的MFE开关工具、Halliburton公司的液力弹簧测试阀、Lynes公司的液力开关工具和BJ公司的液压测试阀均属于靠管柱上下提下放开关的测试阀，它们的共同特点是运用液体缝隙流动的理论达到延时打开阀的目的，这种液体采用的是在高温下运动粘度变化不大的优质液压油。当测试工具下到井底后，用钻杆施加负荷，先坐封封隔器、关闭旁通阀，经过液压延时几分钟之后测试阀打开，地层流体便流经测试阀进入钻杆内。Halliburton公司的双关井压力阀和Lynes公司的六位旋转开关工具属于旋转管柱而开关的测试阀，这是一种机械式套阀，当管柱旋转时带动螺杆旋转，螺杆再带动套阀移动，使阀在开和关的位置上。Halliburton公司的APR和Johnston公司的PCT测试器属于由地面向套管和钻杆之间的环形空间施加泵压来打开和关闭的测试阀，当给环形空间施加一定泵压时，推动测试阀上的活塞，活塞再带动球阀旋转，随即打开，去掉泵压后阀便关闭。

井下测试阀的主要功能就是，在下入和起出井眼时，阀保持关闭状态，而在测试时既可以开又可以关。一般要求有至少二次开和二次关的过程。目前，大部分测试阀却能进行任意次数的开和关。有些测试阀为了取得地层流体样品，本身带有取样器，随测试阀关闭时把样品收集在取样器内。井下测试阀的结构一般都比较复杂，但在地面操作起来却比较简单。

第四节 封 隔 器

封隔器也是地层测试器关键部件之一，它起着把测试层与其他层段、钻井液或压井液隔离开来的作用。封隔器的主要元件是橡胶筒，橡胶筒受压缩负荷后可以胀大，也可以通过向筒内充入液体而膨胀，然后与井壁贴紧，起到密封或隔离作用，当测试阀打开后只允

许测试层段的流体流入钻杆内。橡胶筒在井下要承受高温和环形空间钻井液柱压力的共同作用，因此，各种橡胶筒都有一定的使用范围，规定了使用的最高温度和承受的最大压差。封隔器可分为裸眼和套管两大类。裸眼封隔器又分为压缩式和膨胀式。压缩式裸眼封隔器是靠钻杆柱重量加在橡胶筒上，胶筒受压而膨胀起密封作用，这种封隔器的橡胶筒长度一般在0.5m以上，其外径比实际井眼内径小25.4mm为宜。这个尺寸过大时密封可靠性差，过小时封隔器不易下到井底，可能中途遇阻。膨胀式裸眼封隔器是靠井下的一个柱塞泵将过滤后的钻井液泵入橡胶筒的内囊，使之膨胀橡胶外筒而起密封作用。这种封隔器胶筒长度一般在1.3m以上，其外径比实际井眼内径小25.4~254mm，因此，这种封隔器适用于实际井眼尺寸比钻头的尺寸要大许多的裸眼井，而且还适用于有纵向裂缝的裸眼井，但是，这种橡胶筒所能承受的温度和压差都比压缩式的低。套管封隔器一般都属于压缩式，它又可分为卡瓦、剪销和桥塞封隔器，桥塞又分为永久型、可收回型和可钻型三种。套管封隔器的橡胶筒一般都由3~5个短胶筒组成，而且都具有耐高温和耐高压的性能。

第五节 测试垫

在地层测试中，可用水、泥浆、氮气或者组合使用这些介质作为测试垫。测试垫是加在测试阀上方的钻杆或油管内的。

加测试垫的目的有两个，一是当打开测试阀时，控制测试层的压力，避免因生产压差过大而损害地层；二是在深井测试时，防止钻井液液柱压力超过钻杆或油管的挤毁压力引起事故。

在测试中由于生产压差大，容易发生下列导致测试失败的情况：（1）封隔器上下压差超过橡胶筒本身的承压能力，导致封隔器渗漏；（2）由于被测试的地层结构疏松，在大压差下容易引起地层坍塌，造成筛管被埋被卡；（3）地层出砂将测试阀、井下油嘴或筛管堵塞；（4）由于砂粒高速进入测试器，将测试阀刺坏；（5）由于生产压差过大，地层中的水或气跑在油的前面，形成水锥或气锥，损害地层。

测试垫有以下几种：

（1）水垫：水垫是最经济最方便的一种测试垫，在现场大量使用它。但水垫的悬浮能力差，如有固体颗粒存在则容易沉淀，因此，有时在水垫的下部加一部分钻井液垫，防止测试阀和反循环阀被堵死。

（2）钻井液垫：可直接用钻井时的优质钻井液作为测试垫。

水垫和钻井液垫的量要适当，如果垫的压力大于地层压力，则会阻止地层流体的流动，如果垫加得太少，则容易引起前面所讲的事故。

（3）气垫：目前采用的都是用惰性的氮气作测试垫。这种气垫除了能起保护地层和封隔器的作用外，还有三个优点，一是容易调节回压，如果气垫压力太大，不能使地层流体流动时，可以降低气垫回压，使地层流体流动；二是减少对测试层段的污染；三是消除气垫燃烧或爆炸的危险。但是，氮气垫价格昂贵，故现场使用较少。它采用地面控制和井内控制的方法，运氮车的最高压力可达68.95MPa。

第六节 反 循 环

在测试结束将其管柱起出井眼时，井下测试阀处于关闭状态，为了便于起钻，必须将测试阀上部的反循环阀打开，从管柱外部的环形空间泵压，将地层流体反循环出地面。

一、反循环的作用

- (1) 避免原油喷洒在钻台和井场上，减少着火的危险。
- (2) 防止由于管柱起出时井眼内的钻井液减少而造成井喷。
- (3) 防止天然气排入大气造成危险。

二、反循环的缺点

- (1) 地层流体流不到地面时，通过反循环则难以精确计算回收量。
- (2) 裸眼井进行反循环容易引起井眼坍塌或封隔器被埋被卡。

三、反循环的方法

在打开反循环阀之前，应事先估算内外压差，如果压差高于13.79MPa，则应通过向钻杆或油管注水来降低压差，然后打开反循环阀，让钻井液进入钻杆，平衡内外压力。开泵进行反循环时，泵速要相当低，使环形空间的压力不要升得过高，避免在松软地层或漏失层引起井漏或坍塌。当反循环至回收地层液体全部流到地面后即可停泵，进行正常起钻。

如果地层有自喷能力，在打开反循环阀之前，先关闭地面压力控制装置上的控制阀，使管柱内压力上升，然后再打开反循环阀，让地层流体徐徐流出，这样可以避免发生井喷等危险。

如果回收地层液不能流到地面时，推荐将封隔器提松后，直接起测试管柱，边起管柱边向环形空间补充钻井液，直至见到回收液面时才打开反循环阀，再将回收液反循环出管柱，这样既保证了井眼的安全，又可以较准确地计算回收地层液的数量。