

抽油井环空起下测试技术

王 乾 傅省权 汪柱国 孙银伢

(江汉石油局油田开发公司)

摘 要

抽油井环空起下测试工艺技术,近年来是各油田热心研究的课题。本文从我国油田的实际情况出发,较详细地分析和研究了我国环空起下工艺技术的特点;介绍了几种适合于我国环空起下的测试仪器、仪表及设备;提出了对环空起下测试资料的解释和应用的想法。文章为我国抽油井测试技术的发展提供了有价值的依据。

引 言

在油田开发和开采过程中,随着采油时间的增长,抽油井的井数和产量所占的比例越来越大。全世界采油井中有80%以上是抽油井。因此,多年来,抽油井测试技术已成为采油工作中热心研究的一大技术课题。

据有关资料介绍,苏美两国分别从六十年代和七十年代初就开始了这项工艺技术的研究。到七十年代后期取得了较大的发展。

我国的环空起下工艺技术的研究,始于七十年代初期,发展于七十年代后期,到八十年代已经在全国各油田广泛地发展起来。

据了解,目前,用直接测试法求得抽油井动态参数有以下四种:

(1) 平行管柱法。在大套管的井筒内下入两根平行管柱,一根用于生产,另一根则用于测试。

(2) 临时气举法,将采油井临时改为气举井,按自喷井的测试方法进行测试。

(3) 抽测法。此法在苏联又称为“事先下入仪器法”。其工艺是:起出生产管柱,将仪器用电缆从套管中下入井底,然后,下入生产测试管柱边抽边测。

(4) 环空起下测试法。在油井正常抽油过程中,在不改变油井工作制度的条件下,从油套管环形空间起下仪器进行测试。

以上四种方法,各有其特点和适用条件。平行管柱法,测试资料可靠,有典型性,但井口装置复杂,且只适用于下入大套管的井筒。而我国的油井上大多数是5 $\frac{1}{2}$ "套管,故在应用上有局限性。临时气举法和抽测法,选井条件不苛刻,可用常规井下仪器直接测试,但测试过程中,管柱多次变动,油井工作制度不稳定,在测试时也难于达到稳定。因此,测试的资料可信程度较低。另外,测试一次所用的人力、物力较多,花费时间也较长,很不方便。

环空起下测试法有上述三种方法无可比拟的优点:测试前后不作业;测试过程中不破坏油井的工作制度。因而,测试资料真实、可靠,具有代表性,而且测试方便,故被国内外认为是抽油井动态测试“最佳的方法”。

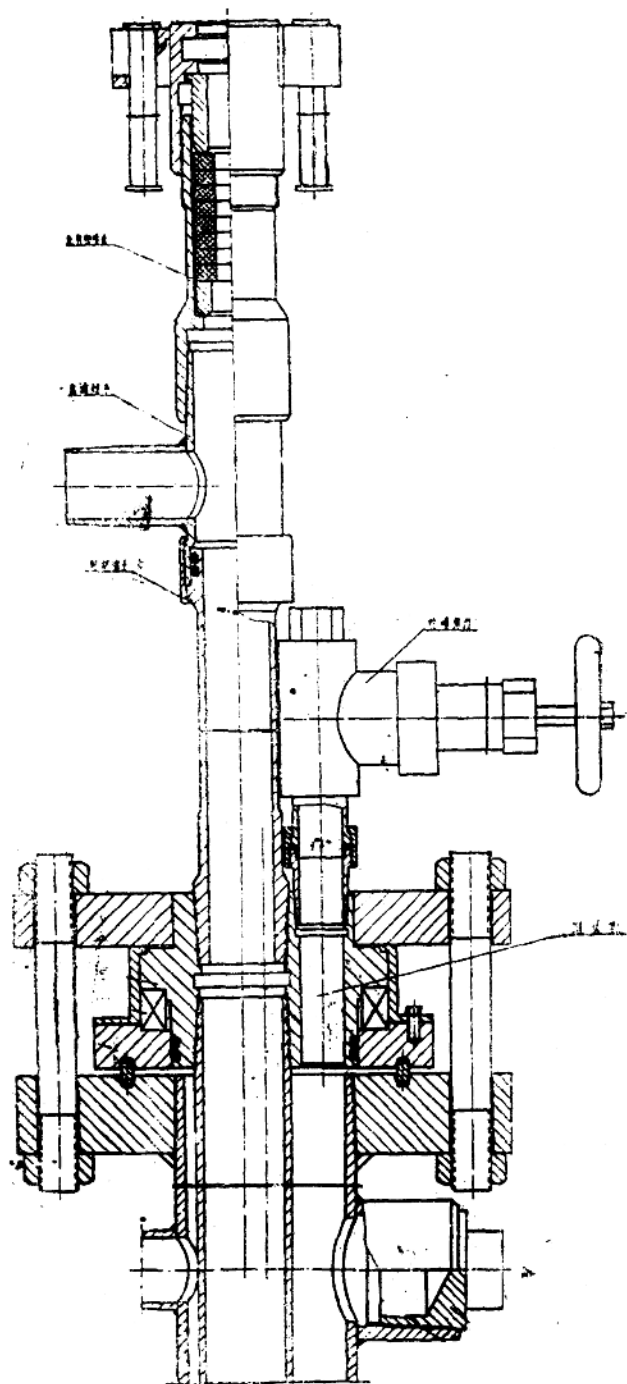


图 1 偏心抽油井口结构图

环空起下测试法需要解决：起下工艺、仪器研制、资料解释和应用三方面的问题。

环空起下工艺及主要设施

1. 环空起下工艺

环空起下工艺是：用绞车（试井绞车或电缆绞车）带动绳索（录井钢丝或测井电缆）经特制的井口装置，将仪器（包括下井加重杆等）从油套环形空间下入井底，测试在稳定工作制度下的油井生产参数。因此，起下工艺的成功是研究环空测试工艺技术的前提。

2. 主要设施

(1) 偏心井口装置。

环空起下测试的井口装置是一特制的偏心抽油井口装置（图1）。它的结构特点是：偏心油管挂使井筒中的油管柱紧贴于套管内壁之一侧，使油套管环形空间呈“月牙形”，偏心油管挂上有一测试孔，供仪器进出环形空间之用；偏心油管挂通过一平面轴承座落在套管法兰上，以便在测试过程中转动油管挂来达到解阻、解卡、解缠的目的。

(2) 带压测试防喷装置（图2）。

常用的带压测试防喷装置有“可放式”和“压入式”两种。

1) 可放式带压测试防喷装置（图2）。

可放式带压测试防喷装置的特点是：测试仪器下过防喷胶皮闸门之后，使用胶皮闸门密封绳索，然后卸掉防喷管装置，并将它支放于计深滑轮之后，然后，装好井口滑轮系统，便可进行测试操作。测试完毕将仪器起到井口后，将防喷装置装上，则可将仪器起入防喷管进而取出仪器。

2) 压入式带压测试防喷装置（图3）。

压入式带压测试防喷装置的操作特点：测试前将仪器装入防喷管里后，用特制小绞车带动钢丝绳将防喷管压入井筒中进行起下测试。测试完毕，待仪器起入防喷管后，松动小绞车上的钢丝绳，井筒中的防喷管则靠油井压力举升到地面上来。这时，则可卸掉防喷管装置，取出测试仪器。

3. 井口管柱结构设计要求

为保证仪器起下通畅，设计管柱时应注意以下几点：

- (1) 抽油管柱必须偏于套管内壁之一侧，以扩大仪器起下的通道，有利于增大仪器尺寸，减少仪器制造上的困难；
- (2) 管柱上不能有大于油管接箍外径的工具（如回音标、封隔器、抽油泵），油管最好为平式油管，套管应完好无损；
- (3) 管柱下部应安装导向底锥，便于仪器上起时由套管中进入油套环形空间；
- (4) 在油管挂下部不要接油管短节，这利于仪器进出井筒和排除测试过程中出现的故障；
- (5) 油管导锥离油层顶底的最短距离应比下井仪器长2~3米。

4. 起下过程中常见的故障及其排除

(1) 起下过程中常见的故障及其原因简析。

在试验中，仪器的起下常出现的有遇阻、遇卡及绳索缠绕油管柱三类故障。主要的原因

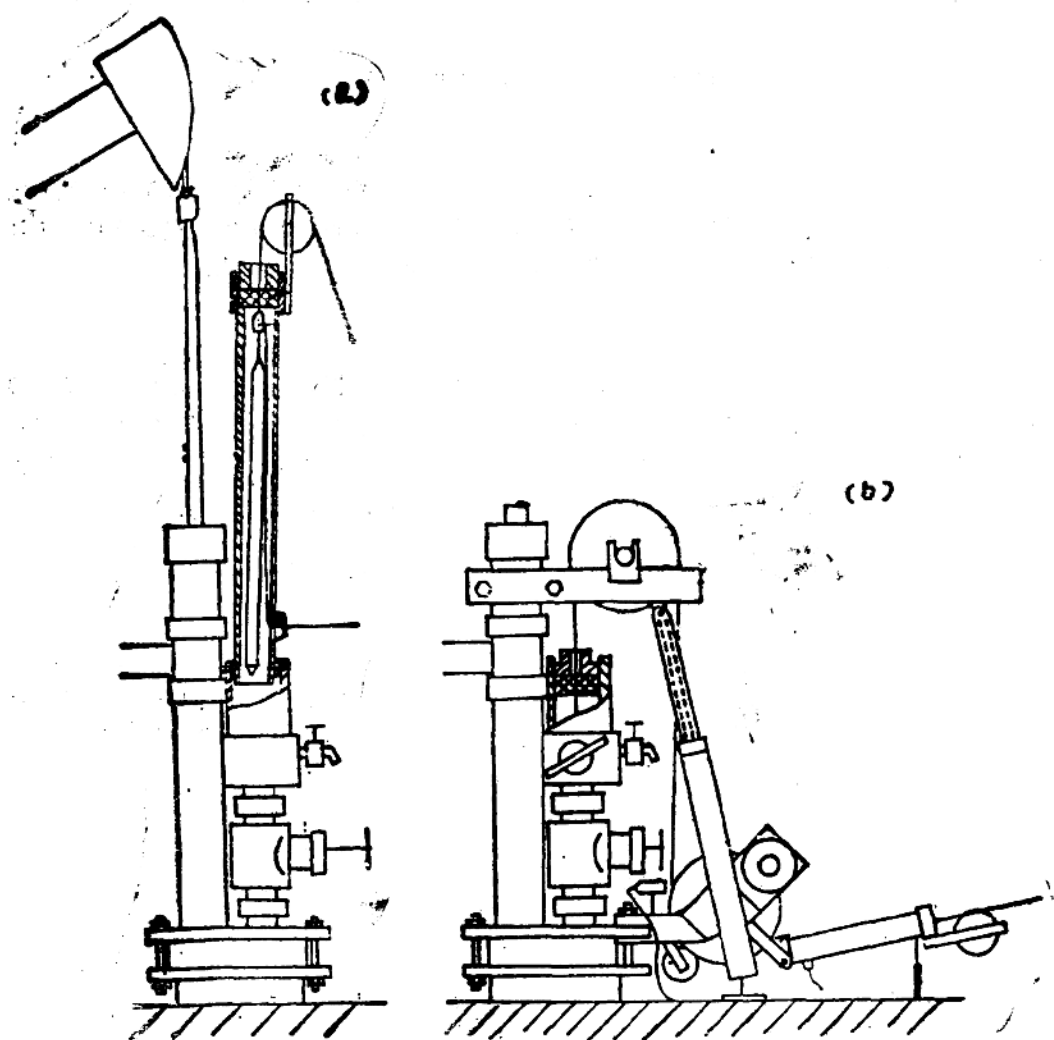


图 2 可放式防喷装置

是：由于油井倾角、方位的变化和仪器自身重力作用的影响，在起下的过程中，仪器大多在“月牙形”空间的尖部运动，因而常出现遇阻、遇卡故障。倘若在仪器起下中操作不平稳，井下仪器则会出现“跳轨”现象，仪器从此尖部跳到另一尖部，再加上仪器重力作用，则可出现绳索缠绕油管柱的现象。

(2) 故障的排除。

经过现场试验，我们已摸索出一些排除故障的方法：

1) 转油管柱法。

当仪器在“月牙形”尖部运动遇阻、遇卡或绳索缠绕油管柱小于 180° 时，我们常用转油管柱法排除（图 4）

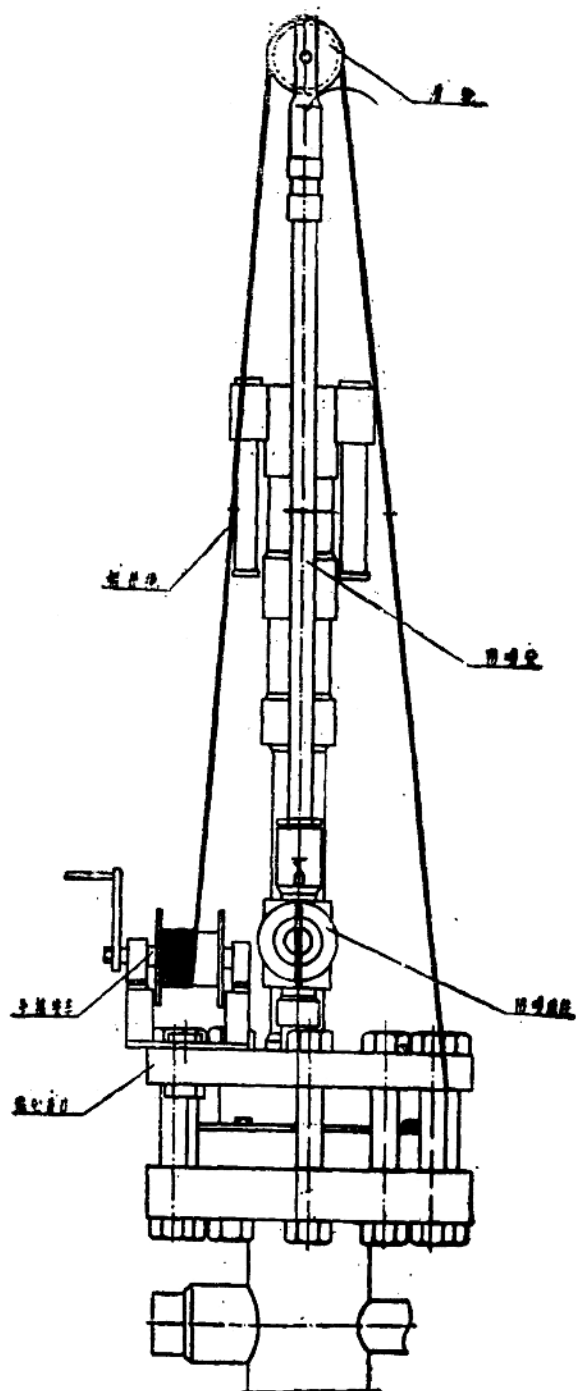


图 3a 压入式测试防喷管 (安装位置)

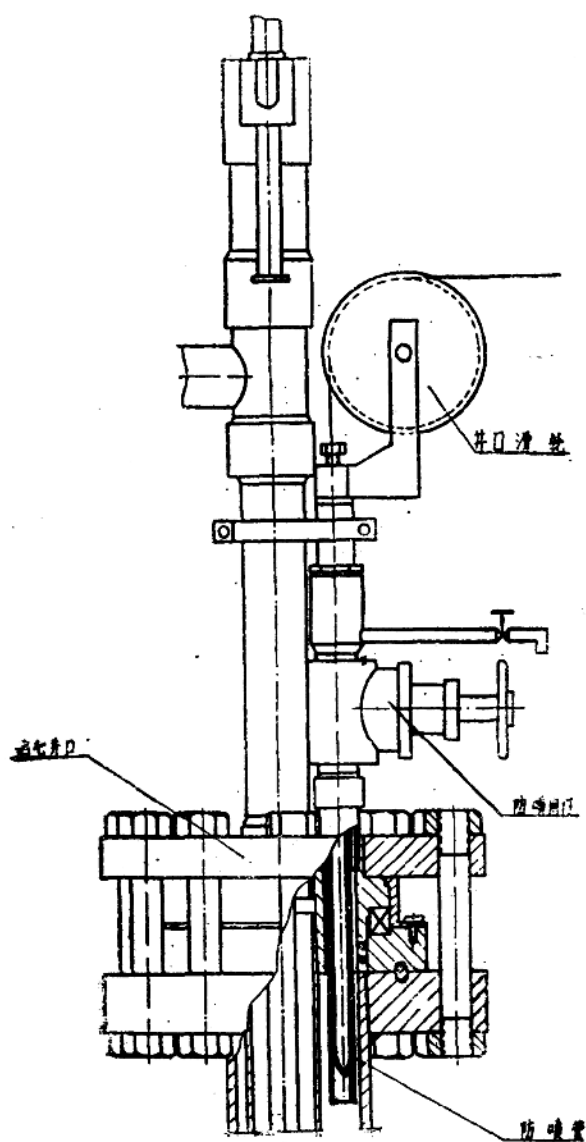


图 3b 压入式测试防喷管 (测试位置)

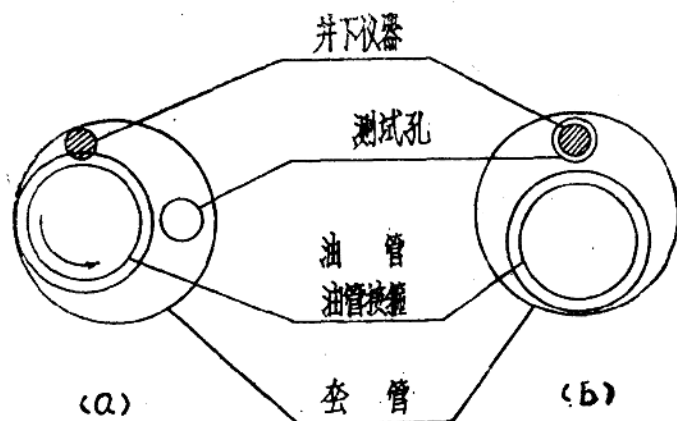


图 4 转油管柱法

2) 小钩法。

小钩法是解除绳索缠绕油管的一种行之有效的方法。当绳索缠绕油管柱超过 180° 时，则可用小钩从解缠孔中将绳索钩出，然后砍断绳索，转动井口，仪器则可以从测试孔中取出。

其它还可采用抬井口等方法解除。

环空起下测试仪器简介

环空起下测试，下井仪器直径受到限制，这给仪器的研制带来了极大的困难。经过几年的努力，我们已研制出三种适合于环空起下测试的井下仪器。

1. JCF型分层测试仪

JCF型分层测试仪是当前环空起下测试的主要仪器。目前已在全国推广应用。该仪器采用全集流的方式测取井筒中不同深度的流体和流量；采用过流式电容法原理测取油层的分层含水量。

(1) 主要的技术指标

1) 产液测试范围

整机测试 $1 \sim 30 \text{ M}^3/\text{d} \pm 4\%$;

单产量计测试 $1 \sim 40 \text{ M}^3/\text{d} \pm 4\%$;

2) 含水测量范围

$0 \sim 60\% \pm 7\%$;

$60 \sim 100\%$ 有分辨力;

3) 最高工作温度 120°C ;

4) 最高工作压力 $300 \text{ kgf}/\text{cm}^2$;

5) 外形尺寸 $\phi(23 \sim 25) \times 3200 \text{ mm}$;

6) 重量 6 kg 。

(2) 结构及工作原理。

该仪器主要由电缆头 1，井下电路 2，含水和产量传感器 3，集流器 4 及导向底锥 5 共五大部分所组成（参见图 5）。

集流器是分测仪的关键部分。它主要由井下电机、齿轮泵、电磁阀及密封皮囊所组成。当给井下电机正向供电时，电机带动齿轮泵工作吸取井筒中液体经电磁阀而泵入皮囊，使皮囊胀开分隔上下油层，迫使皮囊下部的液体全部通过产量、含水传感器。停止向电机供电后，电磁阀关闭，保证皮囊处于胀开状态以便于进行测试。测试完毕之后，向电机反向供电，电机反转，电磁阀开启，齿轮泵抽出皮囊中液体使皮囊收回。这样，则可释放仪器进行下一点测试。

产量传感器由涡轮、磁钢及磁敏二极管等元件所组成。当液体流过涡轮时，涡轮产生旋转运动，进而带动固定在涡轮轴上的磁钢转动，磁敏二极管受到周期性的磁场强度变化的影

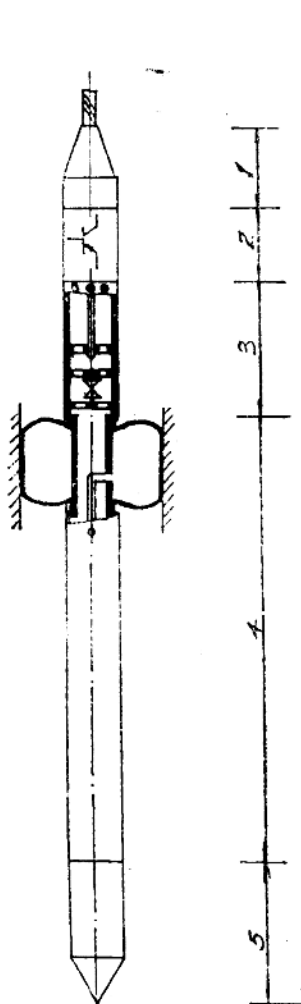


图 5 JCF型分层测试仪结构图

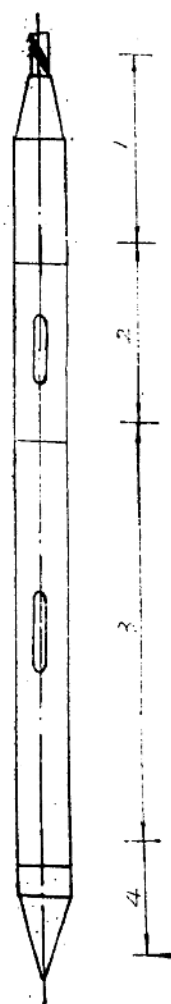


图 6 井温仪

1—电缆头；2—接线筒；3—传感器；4—下导锥

响,而产生交变的电压讯号。电压讯号经井下电路放大后由电缆传输到地面二次仪表上显示出来。

含水传感器是由内电极、外电极组成的圆筒形电容器结构。当仪器的几何尺寸确定之后,电容器的电容量只随流经电容器的液体的介电常数的不同而不同。由于油水比不同,液体的介电常数也不同,因而,通过检测电容器的电容量则可达到检测含水的目的。

地面二次仪表主要由交流稳压电源、直流泵阀电源和集成仪及三笔记录仪所组成,以控制井下仪器的工作并记录所取的井下参数的资料。

2. 井温仪

我们研制了两种环空起下测试井温仪。这两种井温仪均是由电缆头、接线筒、传感器以及下导锥所组成。它们的区别在于使用的传感器分别是金属丝电阻和P-N结。井温仪结构(见图6)。

(1) XW-120型井温仪

使用金属电桥作为测温传感元件其主要技术指标为:

- 1) 测温上限 120℃
- 2) 时间常数 小于10s
- 3) 线性误差 $\pm 0.5\%$
- 4) 灵敏常数 5mV/℃左右
- 5) 最高工作压力 350kgf/cm²
- 6) 外形尺寸 $\phi 23 \times 900\text{mm}$

该仪器原理和结构均十分简单,制作维修也很方便,抗震和抗干扰能力强,所以很适用于抽油井环空起下测试。

(2) JWC-150型井温仪

使用碳化硅P-N结作为温度传感器。

主要技术指标为:

- 1) 温度测量上限 150℃
- 2) 时间常数 小于4s
- 3) 最高工作压力 400kgf/cm²
- 4) 重复误差 小于0.18%
- 5) 线性误差 小于0.2%
- 6) 分辨力(与JDC-2轻便电子自动测井仪配套) 0.025~0.05℃
- 7) 外形尺寸 $\phi 23 \times 1000\text{mm}$

该仪器的最大优点是传感器感温灵敏,时间响应快,分辨力高。因此,特别适用于多油层、大厚层、薄夹层的油井中求测井温剖面。

3. CHY812BP型压力计其主要技术指标为:

- <1> 压力100、200、300kgf/cm²
- <2> 最高工作温度 100℃
- <3> 测量精度 优于1%
- <4> 重复误差 $\leq 0.3\%$
- <5> 外形尺寸 $\phi 23 \times 1200\text{mm}$ 其结构如图7所示。

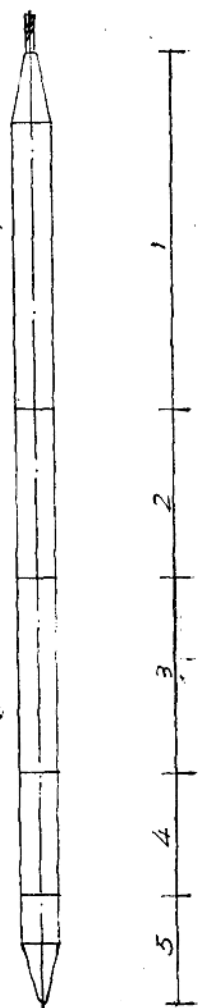


图7 CHY812BP型压力计
1—电缆头; 2—井下电路; 3—
传感器; 4—最高温度计; 5—
下部导锥

仪器的压力传感器是由较精密的机电转换元件应变片组成的，它属于应变式压力计。

CHY812BP 型压力计结构紧凑，传感器反应灵敏，机电转换和温度稳定性好，是一种很有发展前途的压力计。目前已在生产应用中见到了良好的效果。

测试资料的解释和应用

由于抽油井工作的特点和测试仪器特性的因素的影响，测试资料的解释和应用也有其本身的特点。通过几年来的现场试验，我们摸索出一套解释资料的方法，利用现场测试资料可以完成以下几方面的工作：

1 确定抽油井的产液剖面及产液特性

该项测试工作主要由JOF型分测仪完成，同时，结合井温曲线进行分析。

(1) 分测仪测试：

由分测仪可以逐点测出仪器以下的液量和含水率，用递减法则可求得分层产油量、分层含水率和分层产水量，从而，定量的确定了油井的出液剖面。

由于抽油泵抽吸作用的影响，分测仪所测得的产量在三等记录仪上显示为一条振荡状曲线（图8），这是由于抽油泵抽吸作用的影响。为此，采用集流器集流后“瞬时停抽”，利用油井的“续流”来测取抽油井的产量。含水曲线在“瞬时停抽”的过程中是十分稳定的。“瞬时停抽”所测得的产量和含水是可信的。

(2) 井温测试

环空起下测试井温曲线能较清楚地反映出地层的产液状况及液性，故可用井温曲线与产量、含水曲线相结合，对地层的产液量及液性进行定性解释。其解释原则是：

第一、井温梯度与井筒中液流的速度相关，井温梯度小则流速快，即流量大；井温梯度变化则说明流量有所变化。

第二、油层温度负异常系注入水、地面水引起，故可根据负异常来判断注水效果及油井作业对油井的影响。

第三、油层段温度正异常是由地层原油（或水）等引起的，正异常越大，说明产液量越多。

根据上述原则，我们对20井的测温曲

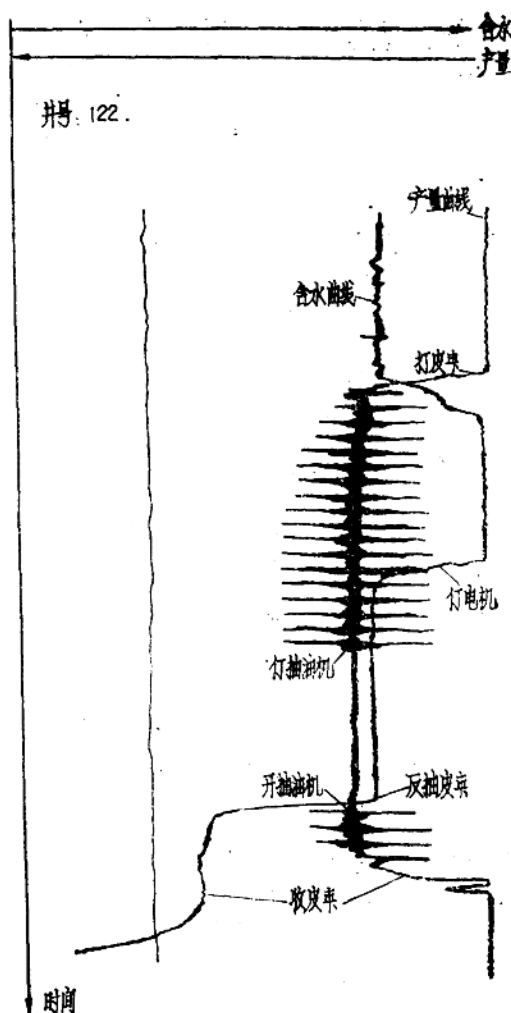


图 8

线(图9)解释结论是: 3_1^4 、 3_2^4 、 3_3^4 为该井的主要产液层, 其中 3_1^4 、 3_2^4 又是主要出水(注水)层; 3_4^4 和 4_1^4 为不出水层。后经封隔器验证 3_1^4 确系该井的主要产水层。

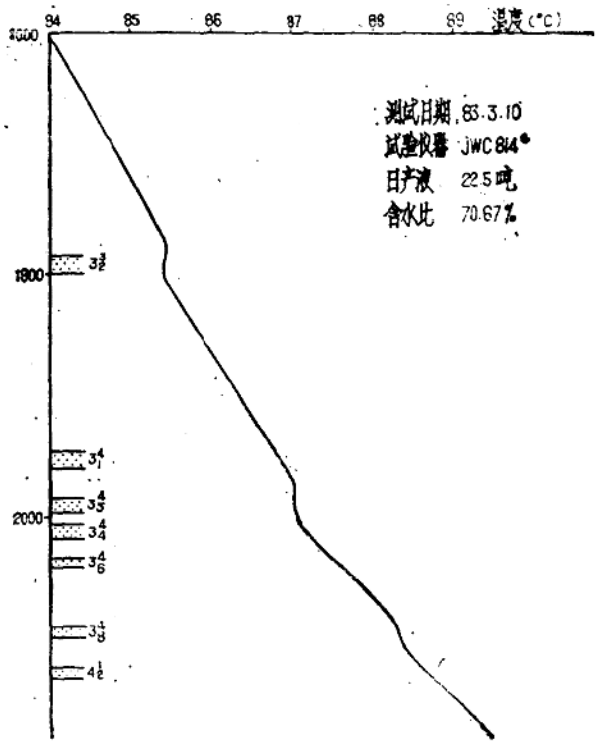


图9 20井偏心测温曲线

实际中, 我们常常同时测取产量、含水及井温三种资料, 综合分析(表1、2、3、)。三种资料的解释基本吻合一致。

2. 确定抽油井井筒的流体性质及压力分布规律

抽油井井筒液性的分布极为复杂, 一直难于弄清, 用液面计算井底压力常常出现极大的误差。我们用CHY812BP型压力计在五口抽油井上进行了压力剖面曲线的测试。从资料中看出: ①油套环空各处的压力均是波动值; ②筛管上部的液体基本上是油柱, 压力梯度不变; 油柱上部是游离气柱; 筛管以下到油层底界是油水混液区, 压力梯度大。③在近筛管的下部有一明显的低压区, 压力值低, 压力梯度小。这是由于泵的抽吸作用造成压力低、原油脱气和流速增加而产生的现象(图10)。

3. 确定油井动态参数的变化规律

环空起下测试可以很方便地录取油井生产参数。定时测取, 则可寻其变化规律(图11)

图11为压力随时间变化曲线。同理也可作出井温、产量、含水随时间变化曲线, 有利用油井分析。

表 1

5—16 井测试资料

原 始 数 据						
日 期	测 点	层 位	产 量 计		含 水 仪	
			频 率 Hz	换算产量 M ³ /d	电 压 V	换算含水 %
83.10.3	I	Ⅱ ₃ 、Ⅱ ₄ 、Ⅱ ₁ 、N ₃ ¹ ~N ₅₋₆ ¹	80	27.7	7.5	58.4
	Ⅰ	Ⅱ ₃ 、Ⅱ ₁ 、N ₃ ¹ ~N ₅₊₆ ¹	29	9.0	8.2	47.5
	Ⅱ	Ⅱ ₁ 、N ₃ ¹ ~N ₅₊₆ ¹	27	8.4	8.0	51.5
	Ⅲ	N ₃ ¹ ~N ₅₊₆ ¹	13	3.1	6.95	89
解 释 结 果						
层 位	总产液量 t/d	产 油 量 t/d	产 水 量 m ³ /d	含 水 %	井 温 测 试	
					异 常 情 况	出 液 层 类 别
全 井	26.3	10.1	16.2	61.6		
Ⅱ ₃	17.9	6.0	11.9	66.5	-0.5℃ 梯度变化	主要、产水
Ⅱ ₃	0.5	0.5	0	0	无	
Ⅱ ₁	4.8	3.3	1.5	31.3	无	
N ₃ ¹ ~N ₅₊₆ ¹	3.1	0.3	2.8	90.3	无	
地面计量	25.1	7.5	17.5	73.2	原油比重: 0.8793	

表 2

107 井测试资料

原 始 数 据						
日 期	测 点	层 位	产 量 计		含 水 仪	
			频 率 Hz	换算产量 M ³ /d	电 压 V	换算含水 %
83.9.7	I	Ⅱ ₁₋₂ 、Ⅱ ₄₋₅ 、Ⅱ ₆₋₁₂	52	12.5	10.235	14
	Ⅰ	Ⅱ ₄₋₅ 、Ⅱ ₆₋₁₂	42	10.1	10.230	14
	Ⅱ	Ⅱ ₆₋₁₂	34	8.2	10.230	14
解 释 结 果						
层 位	总产液量 t/d	产 油 量 t/d	产 水 量 m ³ /d	含 水 %	井 温 测 试	
					异常情况	出液层类别
全 井	11.0	9.2	1.8	16.4		
Ⅱ ₁₋₂	2.1	1.8	0.3	14.3	无	次要
Ⅱ ₄₋₅	1.7	1.4	0.3	17.6	无	次要
Ⅱ ₆₋₁₂	7.2	6.0	1.2	16.7	梯度变化	主要
地面计量	11.1	9.7	1.4	13	原油比重: 0.8591	

表 3

122 井测试资料

原 始 数 据						
日期	测点	层 位	产 量 计		含 水 仪	
			频 率 Hz	换算产量 m ³ /d	电 压 V	换算含水 %
83.9.11	I	■ 1-2、■ 4、■ 5-6	42	10.2	10.011	8.2
	II	■ 4、■ 5-6	22	5.3	10.027	7.2
	III	■ 5-6	0	0.5	9.875	13.5
解 释 结 果						
层 位	总产液量 t/d	产 油 量 t/d	产 水 量 m ³ /d	含 水 %	井 温 测 试	
					异非情况	出液层类别
全 井	9.0	8.2	0.8	8.8		
■ 1-2	4.3	3.9	0.4	9.3	+0.1℃	次 要
■ 4	4.2	3.9	0.3	7.1	梯度变化	主 要
■ 5-6	0.5	0.38	0.07	14.0	+0.4℃	主 要
地面计量	7.5	7.3	0.2	2.7	原油比重: 0.8752	

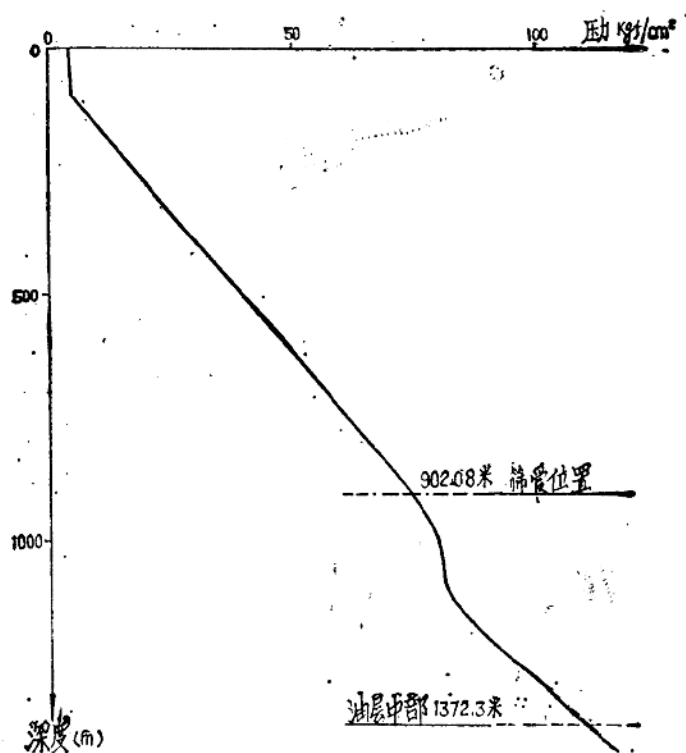


图 10 7—2井压力剖面曲线

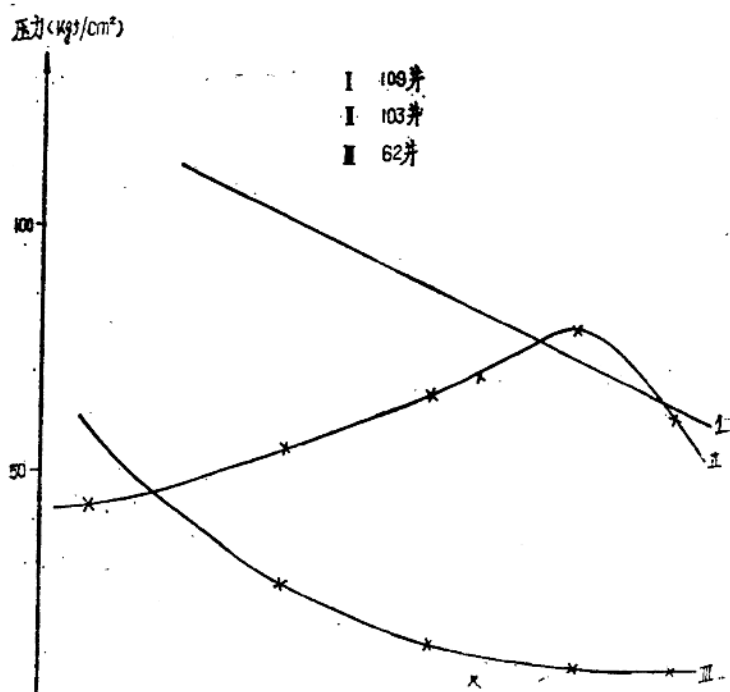


图 11 流压曲线

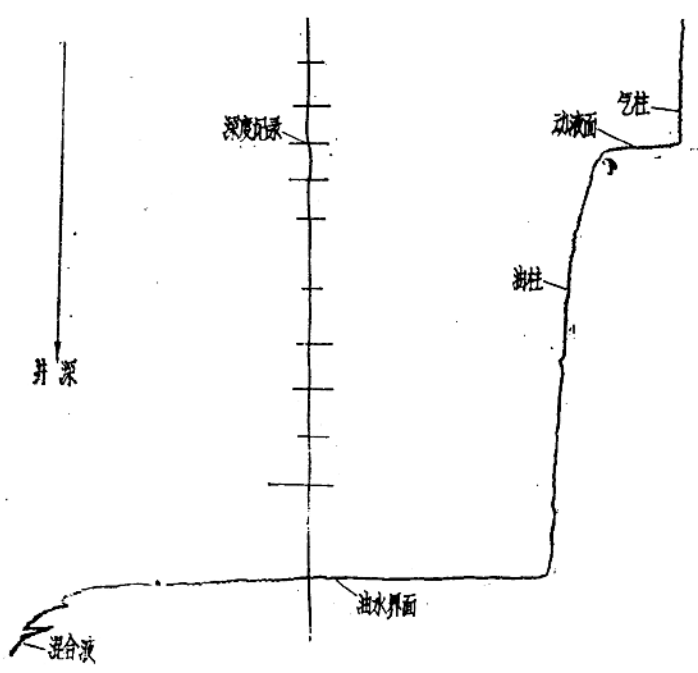


图 12 动液面油水界面测试曲线

4. 确定抽油井的动液面和油水界面

由于油、气、水的介电常数和热焓、比重的差异，利用三种仪器均可测出动液面，油水界面、筛管和守锥的位置等参数。

图12是用含水仪所测出的油水界面、动液面的曲线。由图可见所测资料是十分准确的。

5. 油、套管漏失井段及措施效果检查

由于漏失井段及措施前后，地层的参数均会有所变化。所以，利用三种仪器测试资料，单一的或综合的分析均取得了良好的效果。

发 展 方 向

抽油井环空起下测试工艺技术是在不改变油井稳定的工作制度下所测得的油井生产参数，因此，测试资料真实、准确，典型性强，对油田的开发和开采有不可估量的价值；由于在测试过程中不作业，这在文明施工，减少环境污染和节省原油损耗等方面都有明显的优越性；另外，在测试时所花用的人力、物力、财力和时间均很少，且随时均可测试。因此，现已成为全国重点推广的成果之一。但是，由于我国对环空起下测试工艺技术的研究起步较晚，目前对于大产量、高含水、耐高温、承高压的仪器研究；对综合测试仪的研究；对深井超深井、大倾角、多方位变化的抽油井的起下工艺研究；对相适应的配套设备的研制；对测试资料的计算机处理和综合分析与应用研究等一系列问题还须抓紧进行，这样才能适应我国抽油工艺技术的发展要求。

总之，我们认为，环空起下测试工艺技术虽然研究难度大，需解决的问题多，但由于它有经济上的合理性和技术上的先进性，所以，它有进一步完善和快速发展的必要，是一项大有前途的抽油井测试技术。

使用这些工艺和设备，在现场60口井722井次多种仪器的起下测试试验中，井斜最大者为 $17^{\circ}25'$ ；方位变化最大是在200m内达 175° ；仪器大多数是下出尾管，最大下井深度达3500m；电缆起下的成功率达99.4%，绳索缠绕油管的比率小于5%，事故率小于1%。所以，环空起下工艺是成功的。通过现场试验充分说明：环空起下测试工艺技术符合我国油田实际，是我国抽油井生产测试的一条切实可行的道路。