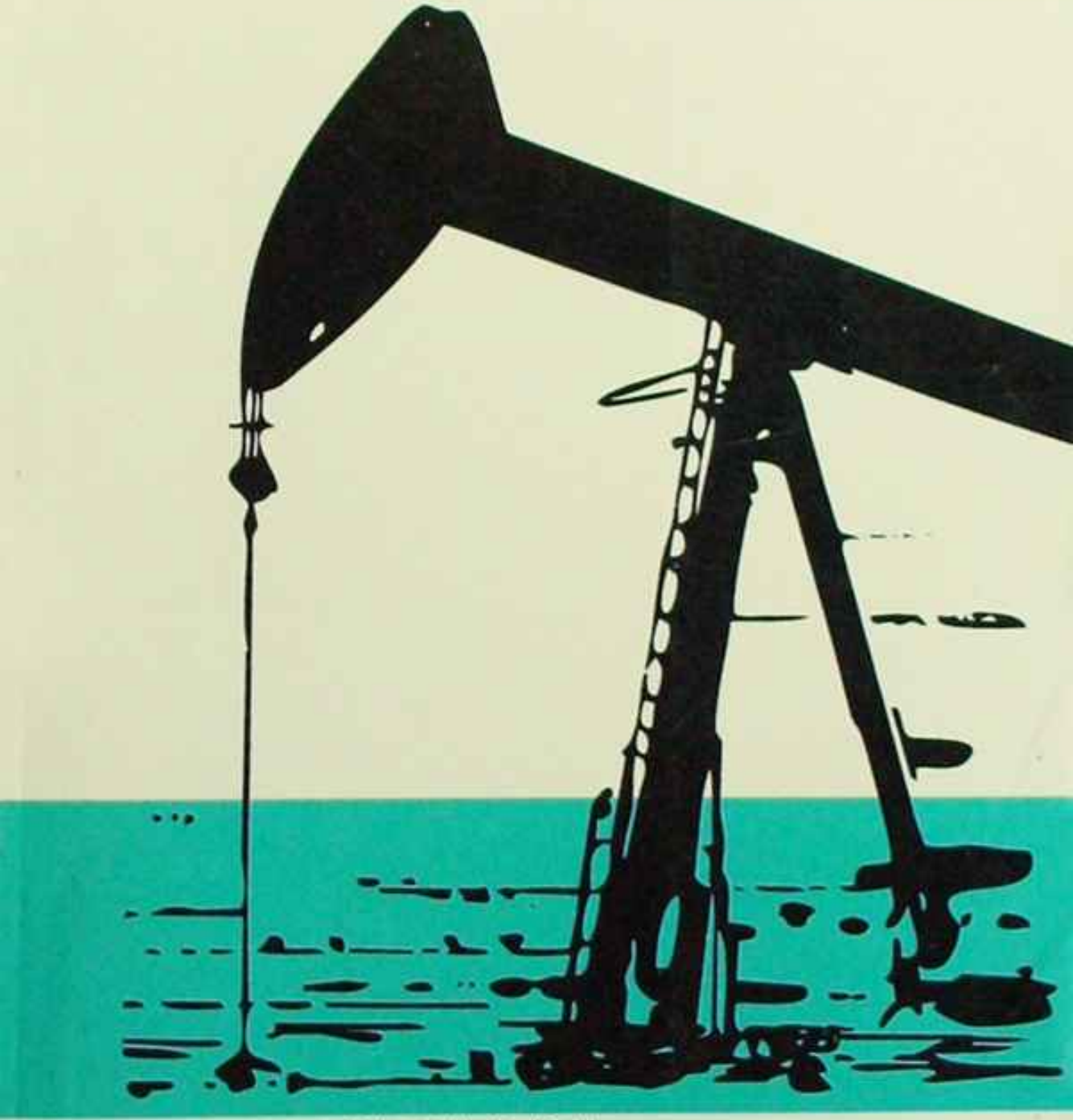
采油技术手册（修订本）



石油工业出版社

B

目　录

第一章　产出剖面测井 ……（1）
一、自喷井产出剖面测井 ……（1）
（一）自喷井产出剖面测井仪器 ……（1）
（二）自喷井产出剖面测井工艺 ……（24）
（三）找水测试资料的解释和应用 ……（36）
二、抽油井产出剖面测井 ……（44）
（一）抽油井过环空测井仪器 ……（45）
（二）抽油井过环空测井辅助设备及测试工艺 ……（77）
第二章　注入剖面测井 ……（90）
一、放射性同位素示踪法测井 ……（90）
（一）小直径自然伽马-磁定位组合测井仪 ……（91）
（二）同位素井下释放器 ……（101）
（三）放射性同位素及载体 ……（107）
（四）现场施工工艺 ……（116）
（五）资料整理与解释 ……（123）
二、水井连续流量计测井 ……（129）
（一）测量原理 ……（129）
（二）井下仪器 ……（129）
（三）地面仪器 ……（134）
（四）现场测量 ……（137）
（五）资料解释 ……（143）
三、水井电磁流量计测井 ……（153）
第三章　工程测井 ……（154）
一、小直径磁性定位器测井仪 ……（154）
二、微井径测井仪 ……（159）

三、过油管两臂井径仪 …… (165)
四、十臂过油管最小井径仪 …… (167)
五、八臂井径仪 …… (170)
六、过油管x-y井径仪 …… (176)
七、CZJ型磁测井仪 …… (186)
八、CC89-155A型磁测井仪 …… (190)
九、井下超声电视测井仪 …… (191)
十、井壁超声成像及彩色图像处理系统 …… (197)
十一、方位井径仪 …… (204)
十二、铅模打印方位测井仪 …… (206)
十三、大庆油田工程测井系列 …… (207)
第四章 C/O能谱测井 …… (209)
一、C/O能谱测井主要用途 …… (209)
二、C/O能谱测井工作原理 …… (209)
三、井下仪器 …… (211)
四、地面仪器 …… (220)
五、测前刻度和测井工艺 …… (230)
六、测井实例与测井解释 …… (232)
第五章 生产测井地面仪器 …… (235)
一、SD-81生产测井地面仪器 …… (235)
（一）仪器用途 …… (235)
（二）整机技术指标 …… (236)
（三）仪器电路结构和工作原理 …… (238)
（四）仪器调校与测量操作方法 …… (248)
二、SD-2微机数字测井系统 …… (254)
（一）系统主要用途 …… (254)
（二）通用测井接口输入信息类型 …… (256)
（三）测井方式 …… (256)
（四）测井资料的显示、存储和硬拷贝 …… (257)
（五）测量道数和精度 …… (257)

（六）系统的总体结构 …… (257)
（七）软件的组成 …… (259)
（八）系统测量原理 …… (259)
（九）整机技术指标 …… (261)
第六章　引进国外生产测井设备仪器简介 …… (262)
一、CP-1型生产测井仪 …… (262)
二、DDL-Ⅱ数控测井系统 …… (268)
三、CSU数控测井仪 …… (289)
四、AT^{+}数控测井仪 …… (303)
附录一　油气水三相模拟装置 …… (318)
附录二　大庆和胜利油田生产测井系列一览表 …… (321)

第一章　产出剖面测井

产出剖面测井是生产测井的重要组成部分。油井在生产过程中，凡为了解井下每个产层的产油、产气、产水、温度、井下压力及流体密度变化等所进行的各种测井，均称为产出剖面测井。

产出剖面测井所使用的仪器有各种类型的测试仪、找水仪、压力计和密度计等。本章将分为自喷井和抽油井两部分，介绍产出剖面测井所用的各种仪器、测井工艺以及资料解释等技术。

一、自喷井产出剖面测井

（一）自喷井产出剖面测井仪器

1．73-100型找水仪

（1）用途　73-100型找水仪是用于自喷井的一种产出剖面测井仪器，它采用集流点测方式，测量井筒内不同深度流体的体积流量及持水率，然后计算出油层的分层产油量及分层产水量。因仪器只能测量体积流量及持水率两个参数，故仪器只适用于、油、水两相流动的井中。

（2）仪器结构及工作原理　仪器由涡轮产量计、皮球式集流器及持水率计三部分组成。其结构如图1—1所示。

1）涡轮产量计　涡轮产量计是找水仪的重要组成部分，用于测量油井的分层产量，具有精度高、量程宽及反应速度快等优点。其原理为当流体的流量超过某一数值后，涡轮的转速与流量成线性关系。仪器采用了集流式的结构，因而受粘度影响小，并且对气体也适用。

涡轮产量计由涡轮变送器及电缆皮球式集流器两部分组成。

①　涡轮变送器　涡轮变送器由涡轮筒、导向体、涡轮套、

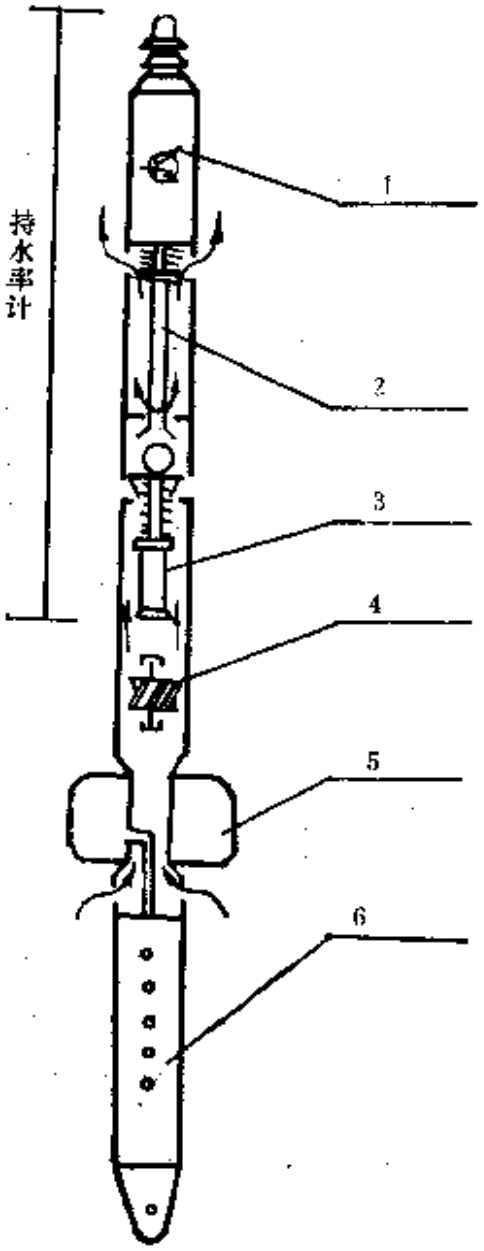


图 1—1　73-100型找水仪结构示意图

1—电子线路；2—电极；3—取样断电器；4—涡轮；5—皮球；6—振动泵和泄压阀

涡轮等九部分组成。其结构如图1—2所示。

涡轮是涡轮变送器的核心，由涡轮、磁钢、宝石轴承、导磁架和线圈五部分组成。其结构见图1—3。

涡轮是用硬铝LY12制成，叶片的倾角有 $\alpha=45°$ 和 $\alpha=30°$ 两种，中间镶有不锈钢（1Cr18Ni9Ti）的轴，轴的两端有 ϕ2.5mm

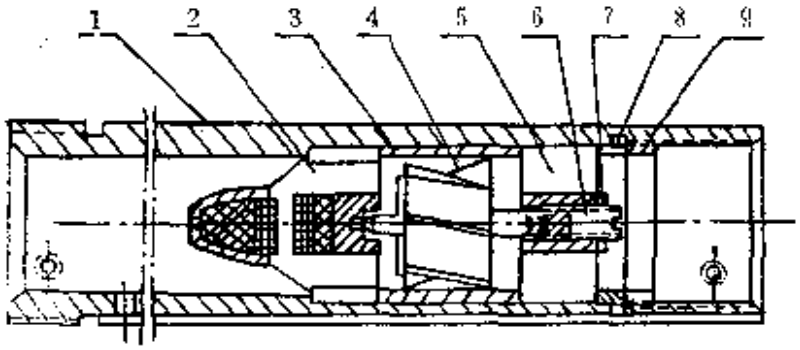


图 1—2　涡轮变送器结构示意图

1—涡轮筒；2—导向体；3—涡轮套；4—涡轮；5—涡轮支座；
6—轴承；7—调整螺母；8—垫套；9—压紧圈

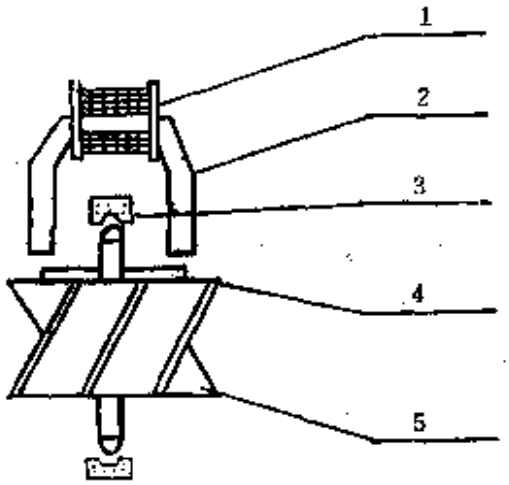


图1 —3　涡轮结构示意图

1—线圈；2—导磁架；3—宝石轴承；4—磁钢；5—涡轮

锥坑宝石轴承，以减小粘性摩擦力矩和轴向负荷，从而较好地提高灵敏度。另外，这种轴承还有良好的防砂性能，适用于油井的测试。在涡轮的前后都装有素流片，使得在产量很低时，涡轮仍能在素流条件下工作。涡轮轴上镶有一个直径为1.5mm的永久磁钢，涡轮的上边还装有一个绕有线圈的导磁架，当涡轮旋转时，便在线圈中产生类似正弦波的交变电信号。

涡轮尺寸和结构参数见图1—4，1—5。

73-100型涡轮结构参数见表1—1。

② 电缆皮球式集流器

电缆皮球式集流器是通过电缆供电使集流器膨胀，用于密封

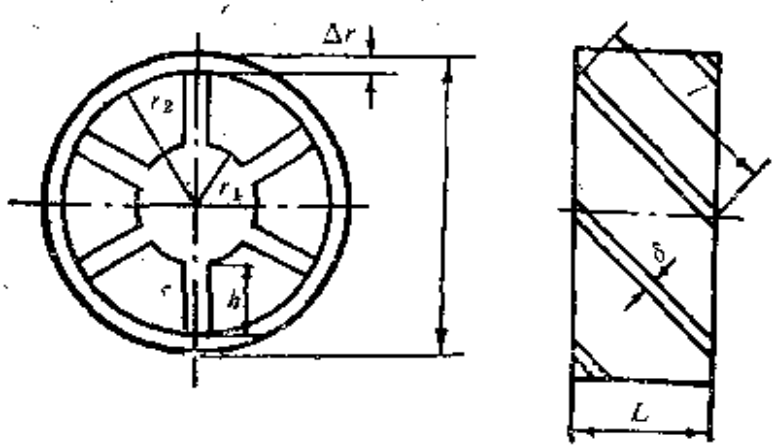


图 1—4　涡轮结构尺寸图

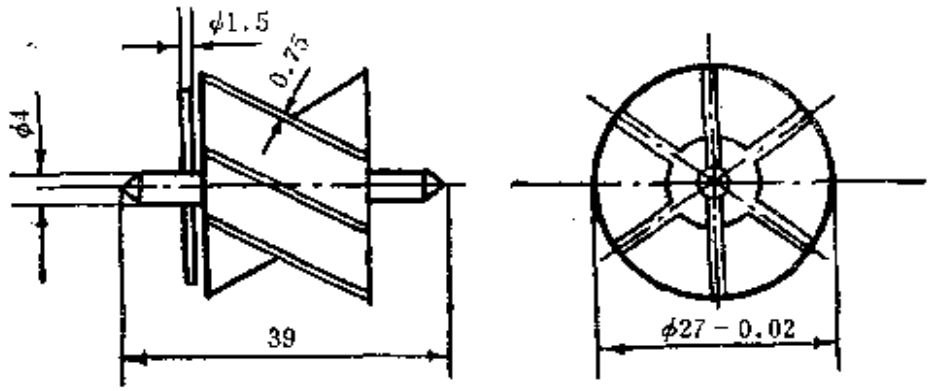


图 1—5　涡轮结构参数示意图

表 1—1　涡轮结构参数表

涡轮结构参数名称		涡 轮 Ⅰ	涡 轮 Ⅱ
叶片轴向长度	l, mm	12	17.3
叶片倾角	α, (°)	45	30
叶片导程	L, mm	59.69	103.38
叶片片数	n, 片	6	6
叶片厚度	δ, mm	0.75	0.75
顶　　隙	Δr, mm	0.5	0.5

仪器与套管的环形空间，使井筒中流体全部流经仪器。由中心管、皮球、电磁振动泵和泄压阀组成。

中心管　其结构见图1—6。内径为ϕ22mm，是集流后流体的通道。

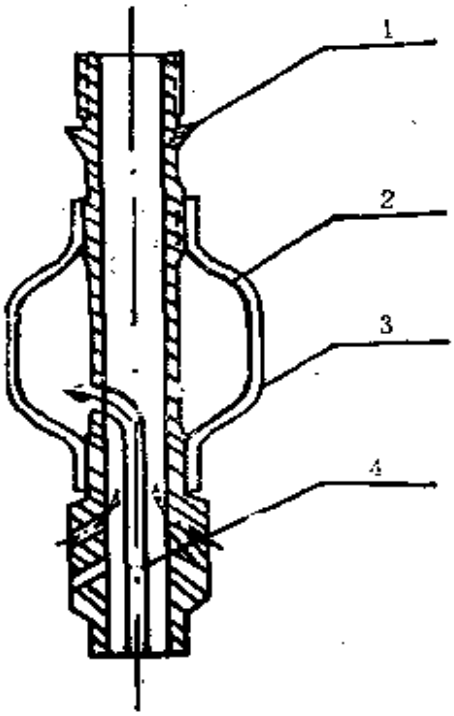


图 1—6　中心管结构示意图

1—中心管；2—内胎；3—外胎；4—导流管

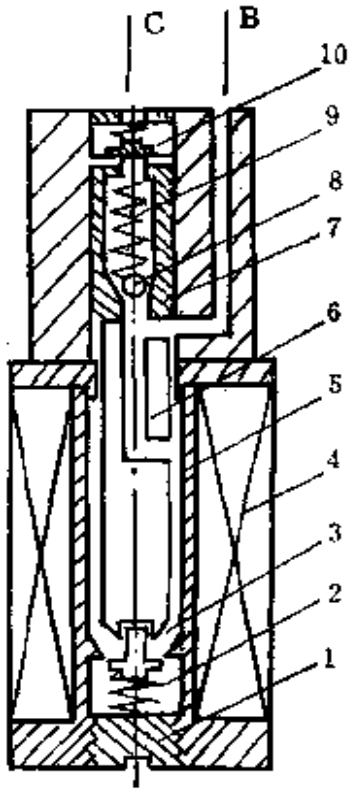


图 1—7　电磁振动泵结构示意图

1—挡铁；2—弹簧；3—气隙；4—电磁铁绕组；5—非磁性筒；6—衔铁；7—柱塞；8—单流阀；9—小室；10—单流阀

皮球　皮球有内胎和外胎两层，内胎是用尼隆1010薄膜或耐油橡胶制成，膨胀后最大外径尺寸有两种：一种为ϕ150mm，可适用于$5^1/_2''$～$5^3/_4''$套管；另一种为ϕ170mm，可用于$6^5/_8''$套管中。外胎是尼隆丝织品，可防止内胎在下井过程中被磨破，并起耐压作用，尼隆皮球打饱后的压力约0.1MPa，足已能起到集流作用；当使用耐油橡胶皮球时，要求泵压达到0.4～0.6MPa。

电磁振动泵　由螺线管式振动电磁铁和柱塞泵组成。靠电磁铁的振动推动柱塞往复运动，完成泵送液体功能。其结构见图1—7。

当给电磁铁线圈通一瞬时电流后，就产生了磁场，在挡铁、衔铁和气隙的磁路内产生了吸力F，吸力F压缩弹簧，弹簧就具

有弹性势能，同时将与衔铁连在一起的泵柱塞拉下。当切断线圈电源时，电磁力消失，弹性势能转换为功能，把衔铁及柱塞上举，从而完成一次打泵动作。柱塞的往复运动借助下单流阀的作用就可将液体由通道B吸入，并从孔道C排出，进入皮球内。

50Hz/s的交流电经半波整流后，供给电磁泵激磁线圈，所以柱塞就有$50s^{-1}$的往复运动。

泄压阀　泄压阀的作用是在测量时密封皮球与泵的油流通道，保证皮球的膨胀。在每点测量完毕时，使皮球油道与外界沟通，皮球内的液体流回井内。其结构原理见图1—8。

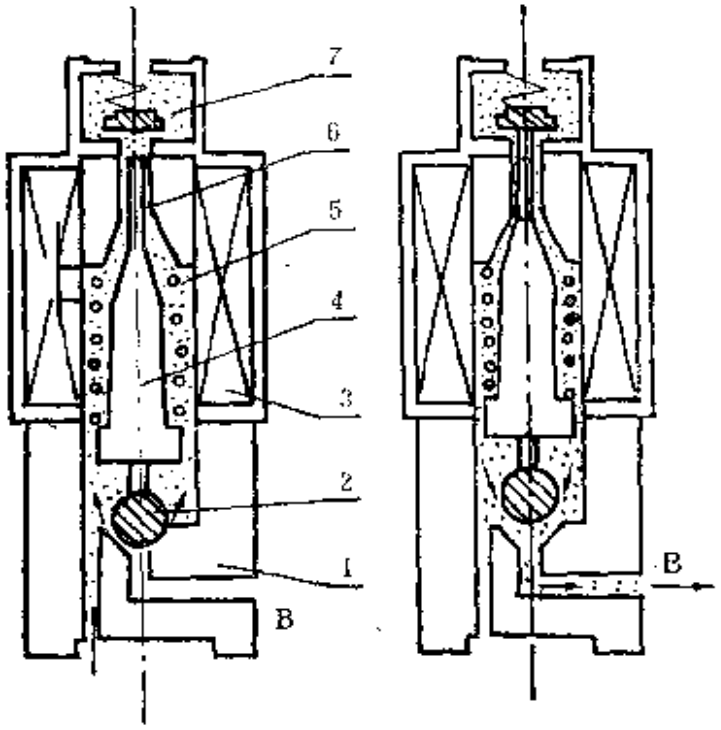


图 1—8　泄压阀结构示意图

1—泄油阀塞；2—阀球；3—电磁铁绕组；4—衔铁；5—弹簧；6—顶针；7—单流阀

泄压阀有两个工作状态：即注液和出液状态。注液时，是将井内流体打入皮球，此时电磁铁不工作，流体从进液孔B经泄压阀室孔道和衔铁周围的环形空间，顶开单流阀进入皮球。当停泵后，单流阀自动关闭，保持皮球压力不降。泄压时，是将皮球中流体泄放出去，此时泵不工作，只给阀激磁线圈供电，而上提衔

铁，顶针把单流阀顶开，则阀球随衔铁上移，使皮球内的流体由液孔排出。

泄压阀使用的是直流电磁铁，由地面仪器的半波整流电路整流滤波后，给线圈供电。

2）持水率计

①测量原理　持水率计的取样室相当于一个同轴圆柱形电容器，结构见图1—9。持水率计对集流后流经仪器的流体进行取样。当取样室中充满油时，电容器的电容量为 $C_{油}$；当取样室充满注入水时，其电容量为 $C_{水}$；当混合的油和水加入取样室后，由于油的密度小于水的密度，在重力作用下，油和水从混合状态分离，形成油水界面，油浮在水的上面，相当于两个并联的电容器，见图1-10。

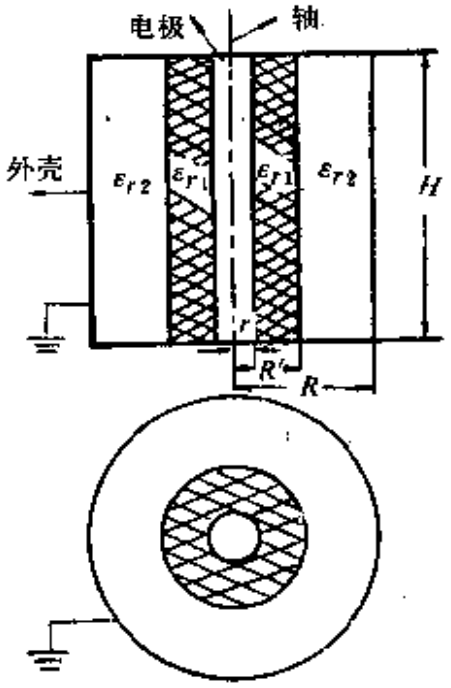


图 1—9　取样电容器结构示意图

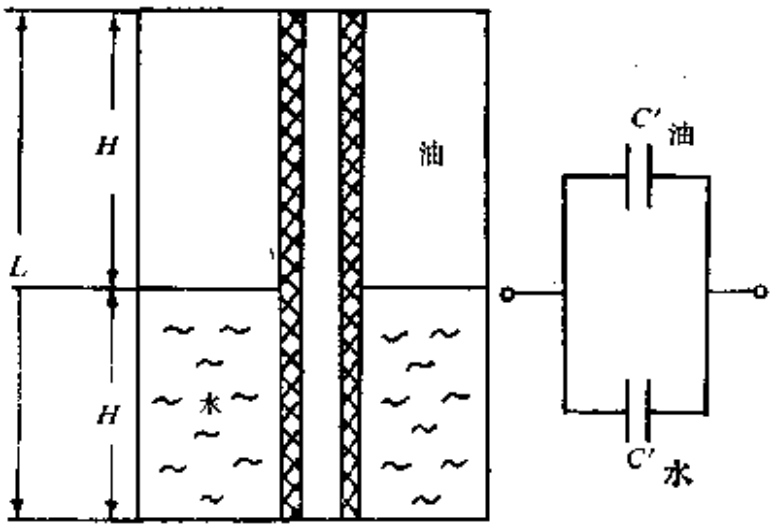


图 1—10　取样室油水分离及等效电路示意图

取样室总的电容$C_{总}$就是$C_{油}$和$C_{水}$的并联等效值。即：

$$C_{总}=(C_{水}-C_{油})y_{水}+C_{油}$$

由上式可知，取样室的总电容量$C_{总}$与取样室的持水率$y_{水}$成线性关系。因此，只要测出取样室的总电容量，就可求出流体的持水率。

因 $y_{水}=\frac{H_{水}}{H}$（H为液柱高、$H_{水}$为水柱高）代入上式后

$$C_{总}=(C_{水}-C_{油})\frac{H_{总}}{H}+C_{油} \qquad (1—1)$$

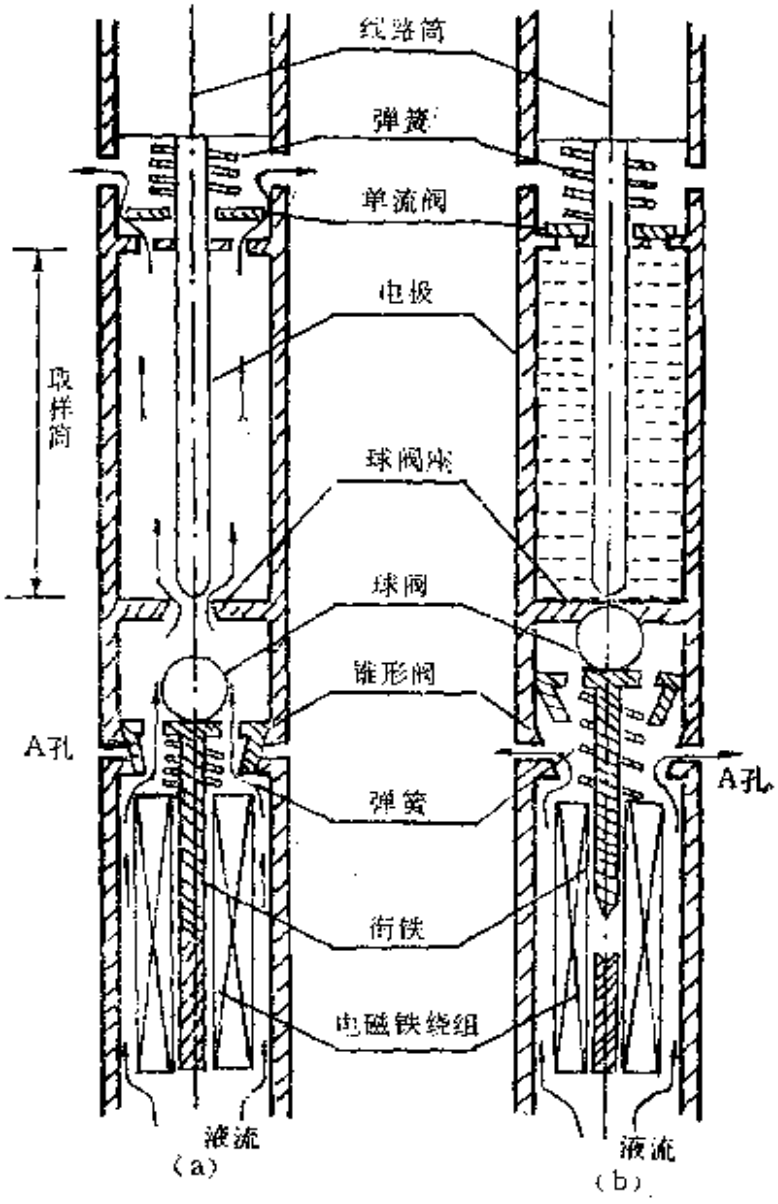


图 1—11 持水率计结构示意图

式中，$C_{水}$、$C_{油}$、H是常量，故$C_{总}$与取样室中水柱高度$H_{水}$成线性关系。

②仪器结构　持水率计由线路筒、单流阀、电极、取样室、球阀座、球阀、锥形阀、电磁继电器等部件组成。其结构原理见图1—11。

当给继电器通电后，衔铁向下移动，锥形阀将外壁出液孔A堵死，同时又将球阀向下拉开，液流经取样室，冲开单流阀，经出液孔B流回井内。(见图1—10a)。这个液流将上次取得的样品冲走，使取样室内充满本次所取的待测样品。当继电器断电后，由弹簧的力量将球压紧在耐油橡胶的阀座上，密封了取样室的底部，同时又打开了外壁上的出液孔A，液流改换油道由A孔流回井内，而上部单流阀自动关闭，油水都封闭于取样室内，完成一次取样过程。(见图1—10b)。

测量持水率时要求取样室中的油水完全分离，如果油水分离不彻底，将直接影响测量结果。

取样室电极是持水率计的核心，电极芯棒是由ϕ8 mm冷拔钢筋制成，下端有聚酰亚胺材料制成的堵头，用FHF型聚酰亚胺薄膜缠绕在芯棒外面作为绝缘层，见图1—12。它两面是带有粘接剂F46的胶带。经320～325℃高温烧结后，其粘结性和密封性都较好。为进一步提高它和芯棒金属的粘结性，在芯棒第一层首先缠绕了一层F46氟塑料胶带，然后包两层FHF胶带，最外层再包一层F46薄膜，这样可提高电极的表面性能，使其既不亲

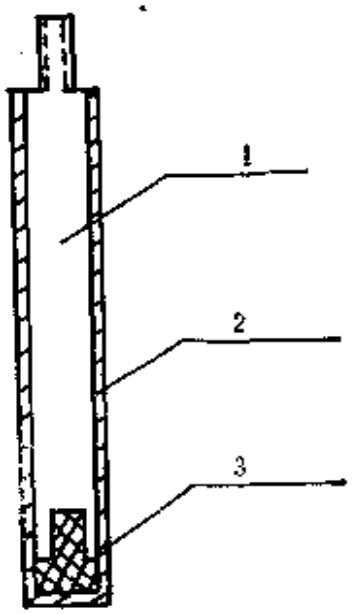


图 1—12　电极结构示意图

1—电极芯棒；2—聚酰亚胺薄膜；3—堵头

油又不亲水，保证电容量稳定。

③主要技术指标

取样筒有效长度	229mm
取样筒截面积	5.09cm^2
测量范围	5%～95%
电极尺寸	ϕ8.5mm×308mm
空气电容量	40±5μF
全水电容量	500±50μF
电极温度系数	20～80℃范围电容量不变
电极绝缘电阻	2000V摇表测绝缘电阻 不低于 1000MΩ
电极耐压	16MPa
电极耐油气性能	下井10次电容量不变
电极机械性能	由1m高落到水泥地上电极不损伤

④测量电路

持水率的测量是采用二 极管泵电 路把 电容 量转换为电位差值，通过测量电位差值来确定持水率。图 1—13 是二极管泵电路原理图。

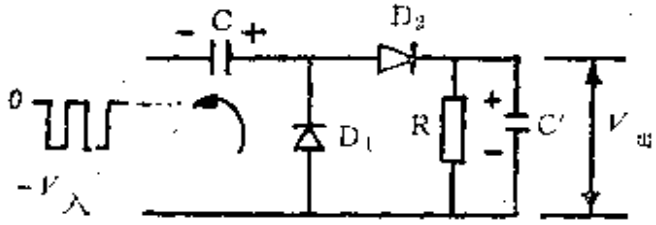


图 1—13　二极管泵电路原理图

根据电路得出：

$$V_{出}=V_{入}CRf/(1+CRf) \qquad (1—2)$$

式中 $V_{出}$——线路输出端的电压值，V；

$V_{入}$——线路的输入电压，V；

C——取样室的电容值，μF；

f——线路的振荡频率，Hz；

083170

R——线路的电阻值，Ω。

该式是取样室电容量和二极管泵电路输出电压之间的关系式。从公式中可以看出，当输入电压$V_{入}$，频率f，电阻R的数值确定后，即可根据测量的输出电压，利用上式计算出电容C的数值。

图1—14是持水率计的实际井下线路图，其中信号$V_{入}$是由仪器中一个电感反馈式振荡器，通过变压器耦合输出供给的。图的左边就是电感反馈式振荡器，右边是二极管泵电路，其中R_1、R_2、R_3是偏置电阻，C_4是发射极高频旁路电容，使发射极高频接地，故为共发射电路。电感线圈是半导体收音机的中频变压器（TTF-1-3绿）的初级线圈。线圈的A端接电源，线圈的3端通过隔直电容C_2接到基极，LC谐振回路接在集电极与基极之间。假定基极信号为负时，则晶体管集电极为正，因4端是高频接地为零电位，显然此时从3端取出的信号为负，与基极相位一致，形成正反馈，满足振荡的相位条件，此振荡器的频率为400KHz左右。变压器的次级耦合线圈将LC回路的振荡信号耦合到次级，供给二极管泵电路作为测量电容的信号源$V_{入}$，变压器的次级输出约3V。

二极管泵电路中的测量电容C在线路中是C_5。在电路中为了综合平衡电路的温度性能，加了负温度系数热敏电阻R_6、电阻R_5及平衡电阻R_4。

井下仪器的供电电压是+12V，2mA，由地面仪器的稳压电源供电。泵电路的输出电压$V_{出}$的测量由地面仪器SD-81上的数字电压表或四笔记录仪完成。

井下仪器电路、取样继电器、电磁振动泵和泄压阀工作时所需电源，由地面仪器通过电缆供给。

由泵电路输出电压和电容量理论公式及关系曲线可知：输出电压和电容量之间是非线性关系，因此输出电压与持水率之间采用非线性刻度方法来提高解释的准确性。在室内进行电压和含水率刻度曲线时，点数要多一些，一般不少于10个点。

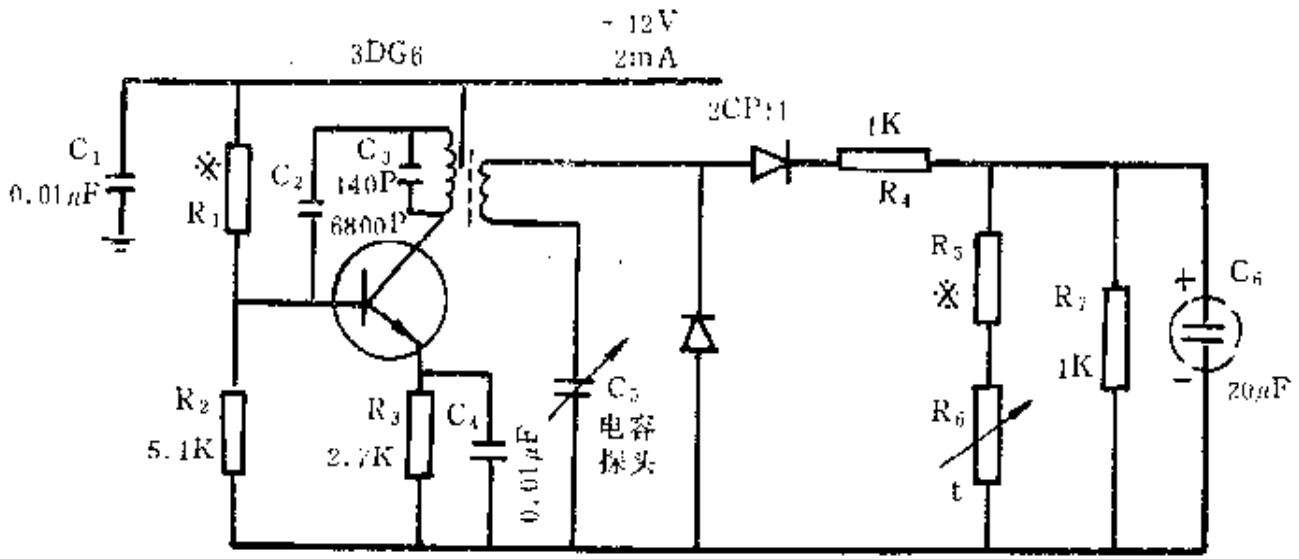


图 1—14　持水率计电路原理图

（3）整机技术指标

仪器外径	48mm
仪器长度	1.97m
流量测量范围	$2\sim100m^3/d\pm3\%$
视含水率测量范围	5%～95%，±5%
最高工作压力	16MPa
工作温度	≤60℃

2．73-300型找水仪

（1）用途 73-300型找水仪是在73-100型找水仪的基础上为解决高产液井找水测试的需要而研制的大排量找水仪。该仪器的结构和测量原理和73-100型找水仪完全一样，只是对仪器的主要部件如集流器、涡轮流量计、继电器、持水率计

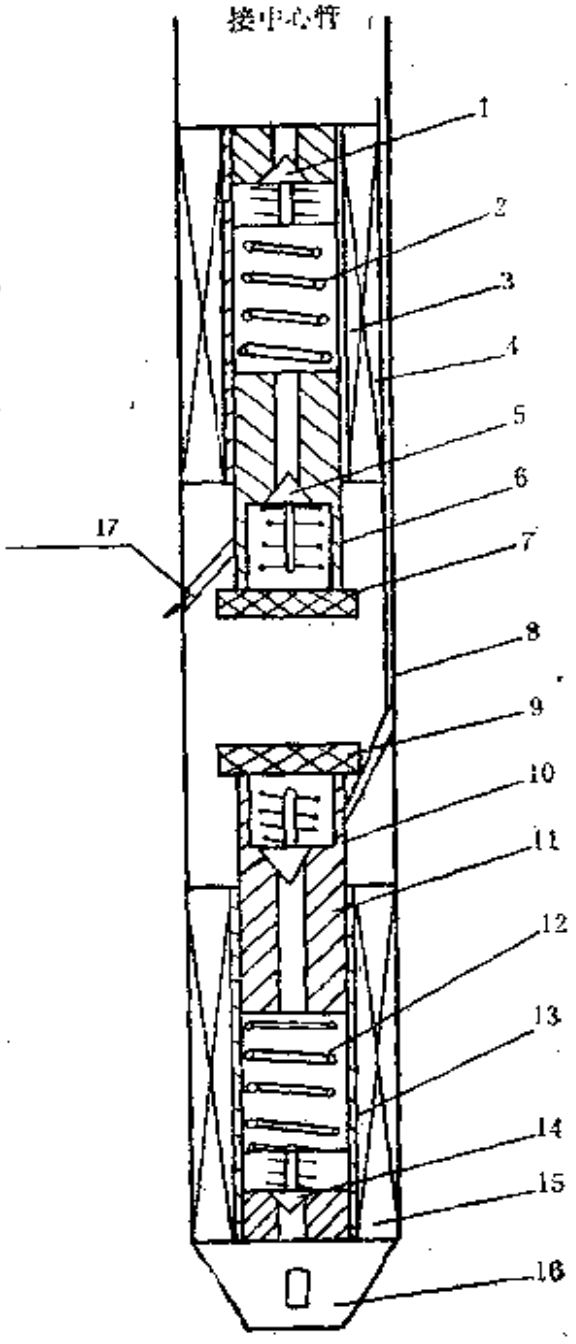


图 1-15 73-300型找水仪电磁泵结构示意图

1—出泵单流阀；2—出泵弹簧；3—出泵线圈架；4—出泵线圈；5—出泵柱塞杆单流阀；6—出泵柱塞杆；7—出泵头胶皮；8—进油泵；9—进泵头胶皮；10—进泵柱塞杆单流阀；11—进泵柱塞杆；12—进泵弹簧；13—进泵线圈架；14—进泵单流阀；15—进泵线圈；16—尾帽；17—出液孔

等进行了重新设计。通过改进仪器的结构，扩大了仪器的流道，使仪器适应了产液量为100～300m³/d自喷井找水测试的需要，基本解决了高产液井产液剖面找水测试的问题。

（2）仪器结构及工作原理　在73-100型基础上为适应大流量（300m³/d）正常找水测试，主要有以下改进：

1）电磁振动泵采用两个相同的电磁振动泵组合在一起使用，往皮球内泵油的泵叫“进泵”，将皮球内液体抽出来的泵叫“出泵”，两个泵结构相同功能相反，结构见图1—15。

两个电磁振动泵利用同一根电缆芯，其工作原理是采用二极管单向导电性。电路原理如图1—16所示。

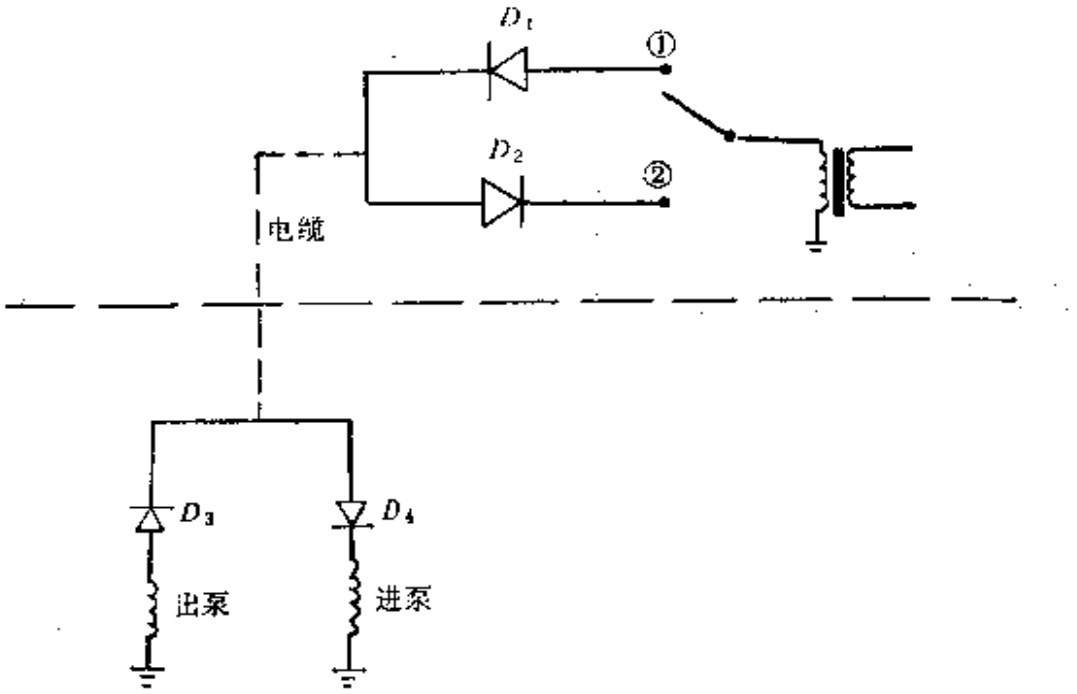


图 1—16　单芯电缆泵控制电路原理图

当开关K与①接通时，D_1、D_4导通，D_2、D_3遏止，“进泵”工作，“出泵”不工作；当K与②接通时，D_2、D_3导通，D_1、D_4遏止，“出泵”工作，“进泵”不工作。

2）涡轮流量计　涡轮直径加大到ϕ37mm，室内标定结果证明，在10～450m³/d范围内，转数n与流量Q呈线性关系。

涡轮流量计室内标定结果如下：

清水标定范围　　$10\sim450m^3/d$

涡轮启动排量　　$8m^3/d$

涡轮K值　　$9.5(r/min)/(m^3/d)$

3）持水率计　有以下两方面改进：

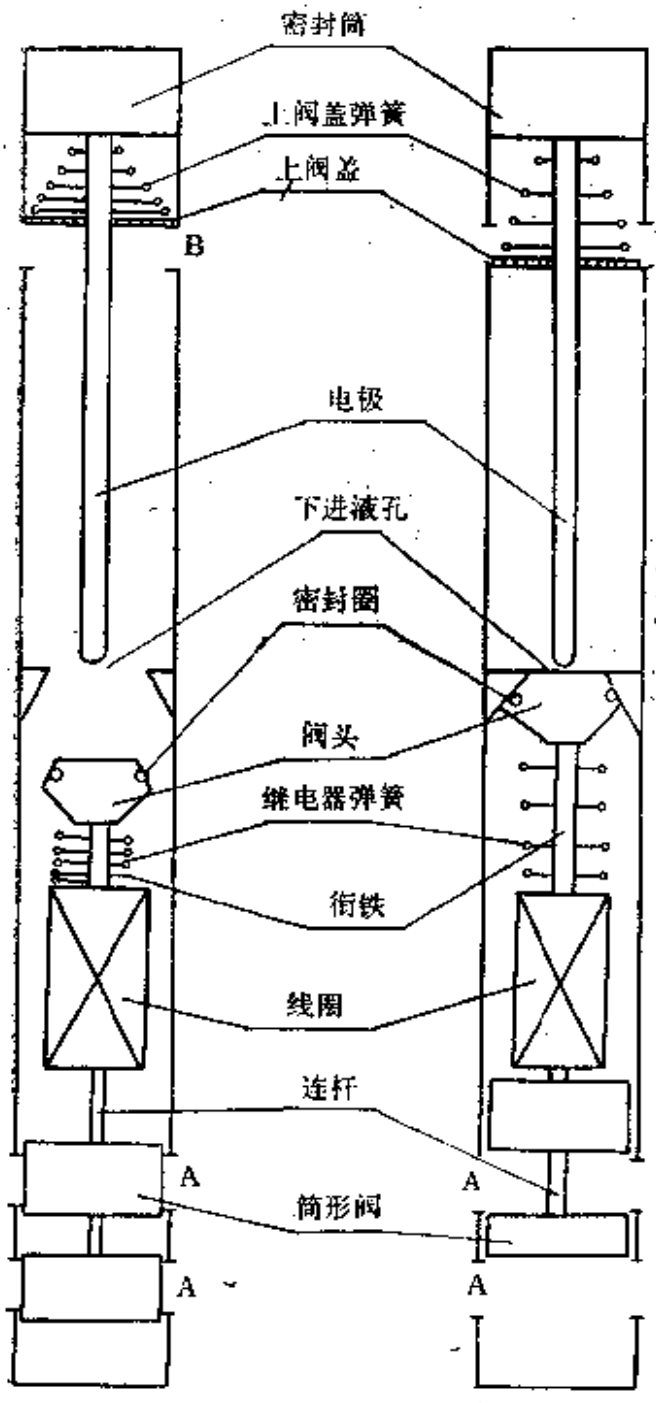


图 1—17　73-300型找水仪继电器取样工作状态示意图

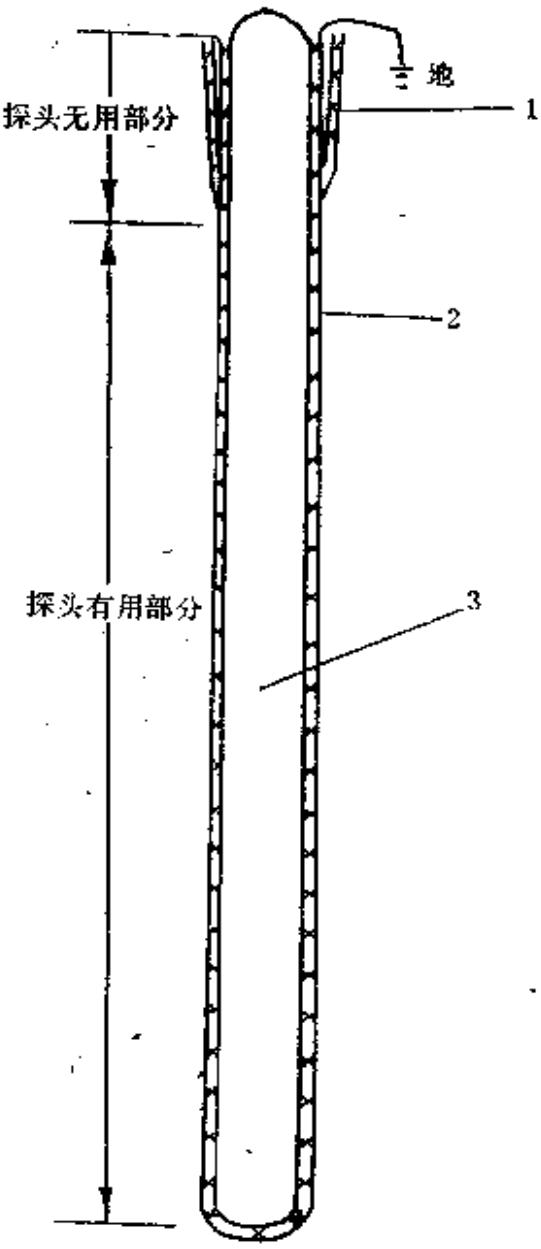


图 1—18　消除"小取样筒"影响示意图

1—金属壳；2—绝缘层；3—电极棒

①降低了取样继电器的工作电流，提高了继电器工作的可靠性。继电器的取样工作状态如图1—17所示。

②消除了“小取样筒”影响，提高了测量持水率的可靠性，见图1-18。

取样筒有效长度为236mm，找水电极直径为9mm，取样筒内径为30mm，有效体积157mL。

4）供电和测量电路　共用四根电缆芯，缆芯分配是：电磁振动泵一根，持水率测量和线路供电各一根，涡轮流量计和继电器合用一根。单芯电缆继电器供电和涡轮测量电原理图见图1—19。

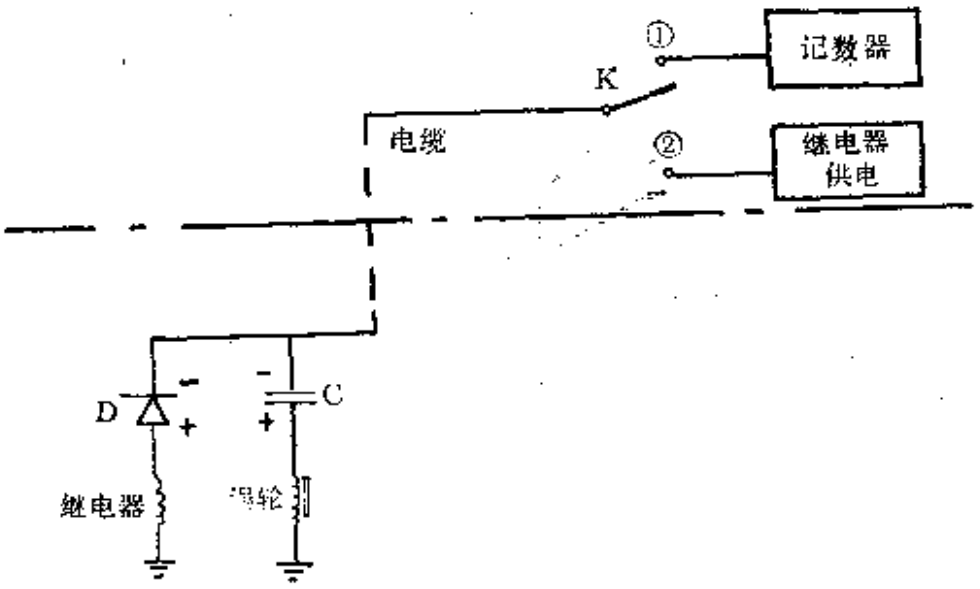


图 1—19　单芯电缆继电器供电和涡轮测量电原理图

（3）主要技术指标

外径	48mm
长度	2mm
整机测量范围	100～300m^3/d ±3%
涡轮流量计测量范围	10～450m^3/d ±3%
涡轮启动排量	8m^3/d
涡轮K值	9.5（r/min）/（m^3/d）

持水率测量范围　　5%～95% ±5%

耐压　　16MPa

适用温度　　≤60℃

3. 73-50型找水仪

（1）用途　主要用于小于50m³/d低产液井的产液剖面测试。

（2）仪器结构及工作原理　工作原理与73-100型找水仪基本相同。主要部件结构特点如下：

1）涡轮流量计　由于流量测量范围较低，73-50型找水仪的涡轮结构参数如表1—2所示。

表 1—2　涡轮结构参数表

结构参数	数值
涡轮顶径	19.5mm
叶片似角 α	45°
叶片片数 n	6片
叶片轴向长度 l	9mm
叶片导程 L	45mm
叶片重叠度 P	1.2
叶片厚度 δ	0.9mm
顶隙 Δr	0.4mm

2）持水率计

①取样器内径为20mm，当流量小于10m³/d时的含水率校正图版见图1—20。

②取样继电器主要参数见表1—3和图1—21。

③取样器工作示意图见图1—22。

④“小取样筒”密封示意见图1—23。

（3）整机技术参数

仪器外径　　42mm

仪器全长　　1.94m

流量测量范围　　3～70m³/d ±3%

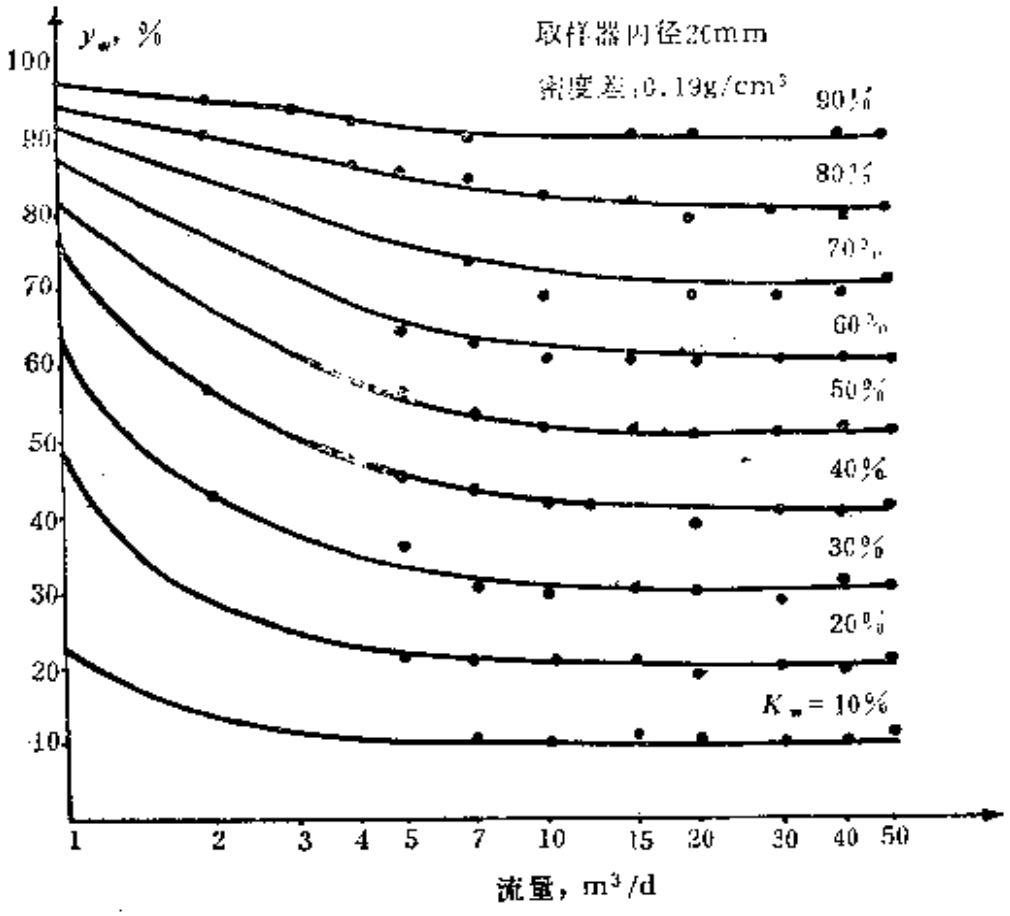


图 1—20　73-50找水仪含水率与
持水率校正图版

表 1—3　73-50型找水仪取样继电器主要参数

参　　数	数　　值
衔铁直径 d_c	12mm
铁壳内径 D_2	36mm
线圈外径 D_K	25mm
线圈总磁势 I_W	4500安匝
导线直径 d	0.2mm
线圈匝数 W	5000匝
线圈长度 L_K	90mm
冲击电流 I	0.9A

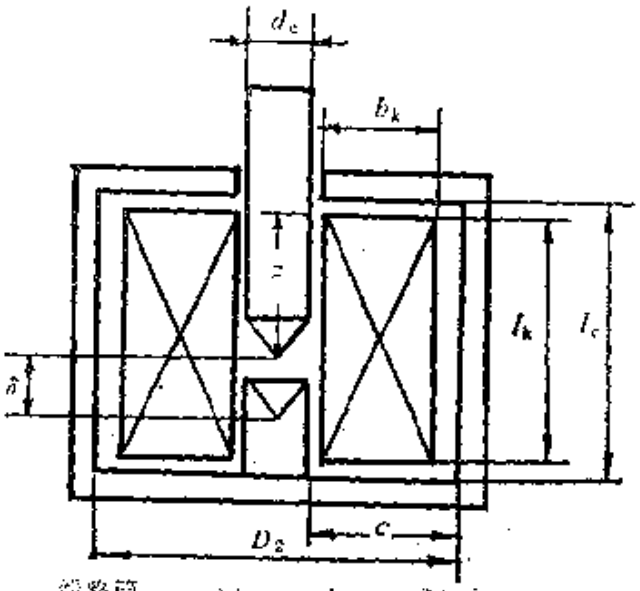


图 1—21 螺管式继电器参数图

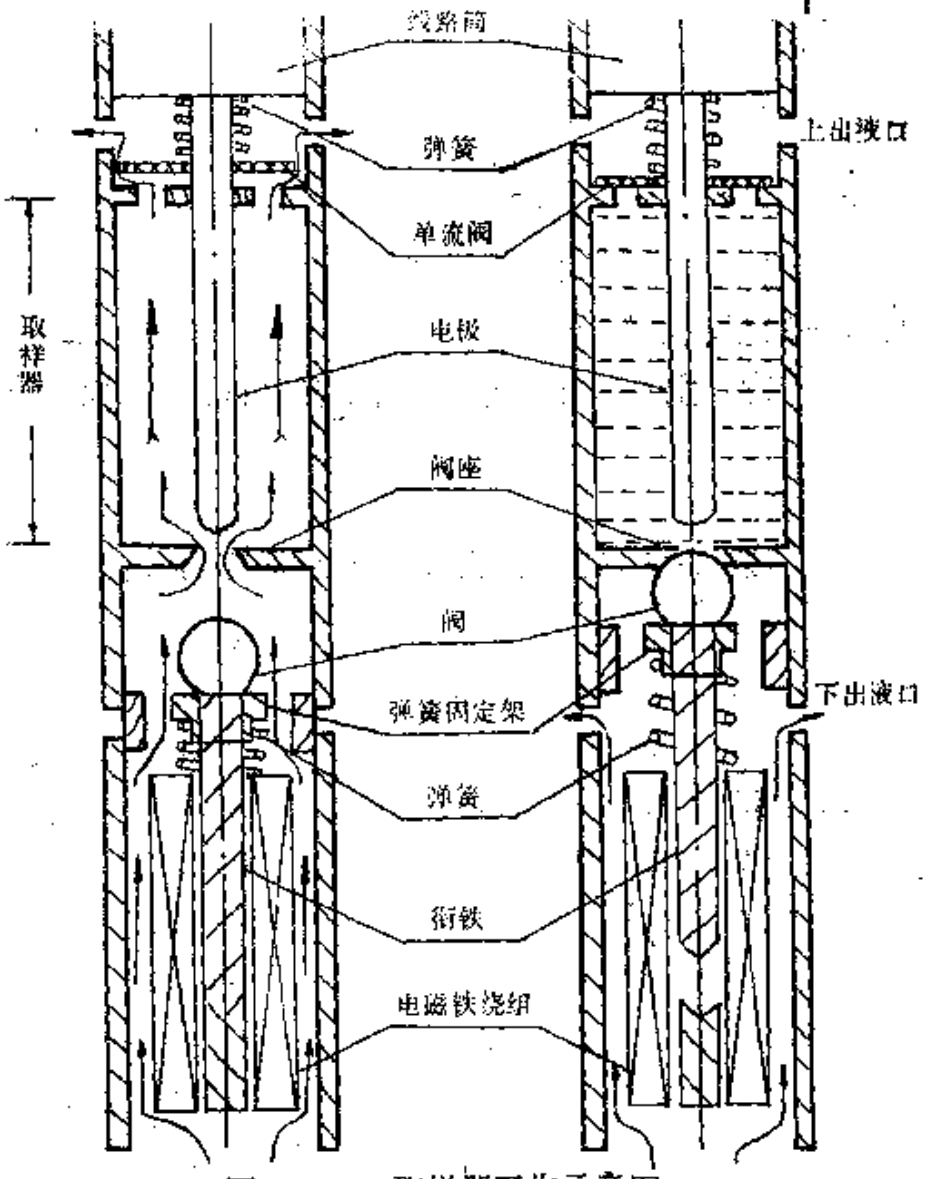


图 1—22 取样器工作示意图

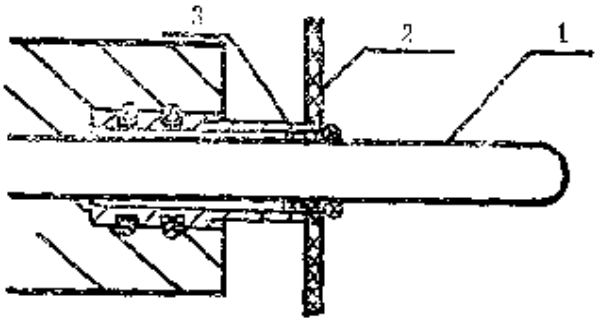


图 1—23 "小取样筒"密封示意图

1—电极； 2—上阀盖； 3—导管

持水率测量范围 5%～95% ±5%

涡轮起动排量 2.5m³/d

涡轮K值 70 (r/min)/(m³/d)

耐温 80℃

耐压 16MPa

供电电流 55mA ±15mA

4. 73-20型找水仪

(1) 用途 主要用于小于20m³/d 自喷低产液井的产液剖面测试。

表 1—4 73-20型找水仪电磁振动泵参数表

参数	数值
最大外径	30mm
线圈长度 L	135mm
线圈匝数 N	6500匝
线径 d	0.35mm
直流电阻 R	60～65Ω
工作电阻 I	0.3～0.5A
泵压 p	0.1～0.15MPa
泵排量 Q	500mL/min

（2）仪器结构及工作原理　工作原理与73-100型找水仪基本相同。主要部件结构和参数特点如下：

①电磁振动泵技术参数见表1—4。

②涡轮流量计涡轮参数见表1—5。

表 1—5　75-20型找水仪涡轮结构参数表

参　　数	数　　值
涡轮顶径	18mm
涡轮根径	10mm
叶片倾角α	45°
叶片片数n	6片
叶片轴向长度l	8mm
叶片重叠度P	1.2°
叶片导程L	44mm
叶片厚度δ	0.8mm
顶　　隙Δr	0.5mm

表 1—6　73-20型找水仪取样继电器参数表

参　　数	数　　值
阀筒内径D_1	30mm
线圈外径D_2	25mm
衔铁直径d_0	8mm
线圈长度L	110mm
线圈匝数W	4500匝
线　　径d	0.35mm
工作电流I_1	0.2A
冲击电流I_2	2.0A
环空面积	215.9mm²

③取样继电器参数见表1—6。在冲击电流为2A时，吸力可达20N。

（3）整机技术指标

外径	36mm
总长	1800mm
流量测量范围	2～40m^3/d±3%
持水率测量范围	5%～95%±10%
耐温	≤60℃
耐压	16MPa

5. 78-2型单芯找水仪

（1）用途　为新疆石油管理局研制的，适用于单井产液及注水量低，井下脱气、井口及井下压力高和井温高的自喷井找水测试。采用单芯电缆，一次下井可取得分层产液量和分层持水率两个参数。

（2）结构特点（图1—24）

1）采用单芯电缆下井，比常规的七芯电缆找水测试施工容易，可用于压力低于8.6MPa的油井找水测试。

2）必须在同一根缆芯上完成成封隔皮球、信号传输、供电和取样等六种动作，因此井下仪器电子控制线路较“73”型找水仪复杂。

3）电子控制线路采用不同电位继电控制原理，具有线路简单、工作可靠和易于掌握等特点。

4）仪器除涡轮部分在外走线外，其它均在仪器内部走线，仪器直径为36mm。

5）持水率计部分采用了300mm长的电极，并消灭了“盲区”，从而提高了持水率的测量范围和测量精度。

6）测量体积流量的涡轮产量计信号传输，采用了磁敏二极管作转换元件，该元件输出信号不受流量大小的影响(约50mV)，从而提高了低流量的测量精度。

7）皮球部分采用2YJ36型直流永磁电机带动的小齿轮泵，其

工作电压低，仅60V，电流0.6A。

（3）整机技术参数

流量测量范围

0.5～103m^3/d ±5%

（线性范围6～75m^3/d）

持水率测量范围

0～100% ±5%

耐温　　≤120℃

耐压　　≤30MPa

仪器尺寸

ϕ36×2000mm

重量　　9.65kg

6. KC83-1型自喷井找水仪

KC83-1型自喷井找水仪是新疆石油管理局在78-2型单芯找水仪基础上研制并推广应用的又一种流量和含水两参数测试仪器。该仪器封隔器动力采用半波整流供电的电磁泵，封隔器件为橡胶皮球，持水率计探头为容变式探测器。

主要技术参数：

外径　　36mm

长度　　1.9mm

重量　　8.5kg

涡轮流量计信号输出幅度

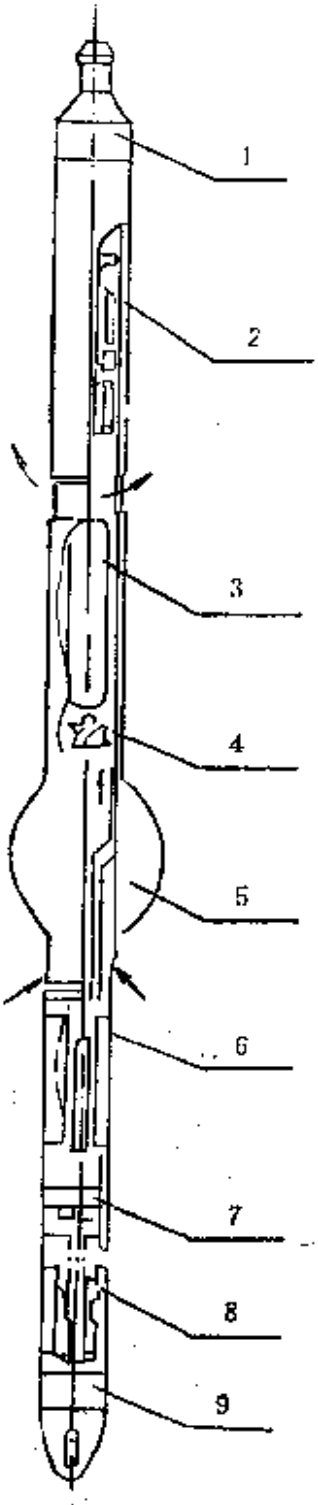


图 1—24　78—2型单芯找水仪结构示意图

1—绳帽；2—电子线路；3—含水率计；4—流量计；5—封隔器；6—电磁阀；7—齿轮泵；8—微电机；9—尾堵

60mV

持水率计信号输出频率

4～8kHz

持水率计信号输出幅度

>7.5V

绝缘电阻 >50MΩ

工作温度 ≤80℃

工作压力 ≤30MPa

流量测量范围 3～50m³/d ±5%

持水率测量范围 5%～95% ±10%

适用套管尺寸 101.6～152.4mm（4～6in）

7. 各种自喷井找水仪主要技术指标比较

见表1—7。

表 1—7 各种自喷井找水仪主要技术指标

仪器型号	长度 m	外径 mm	流量测量范围 m³/d	精度, %	含水率测量范围 %	精度, %	使用缆芯数 根	耐温 ℃	耐压 MPa
73-100	1.97	48	2～100	±3	5～95	±5	6	≤60	≤16
73-300	2.0	48	20～300	±3	5～95	±5	4	≤60	≤16
73-50	1.94	42	3～70	±3	5～95	±5	4	≤80	≤16
73-20	1.8	36	2～40	±3	5～95	±10	6	≤60	≤16
78-2	2.4	36	0.5～103	±5	0～100	±5	1	≤120	≤30
KC83-1	1.9	36	3～50	±5	5～95	±10	1或3	≤80	≤30

（二）自喷井产液剖面测井工艺

以73-100型找水仪为例，介绍产液剖面测井工艺过程和要求。

1. 测井前的准备

（1）下井仪器的检修和校验 下井仪器的好坏，直接影响测试的成功率和资料的准确性，要求检查和修理仪器必须严格认

真，确保仪器的检修质量。

1）下井仪器常见故障及排除方法　见表1—8。

表 1—8　下井仪器常见故障及排除方法

序号	部件	常遇故障的现象	故障产生的原因	排除方法
1	涡轮	信号强或弱	(1)线圈圈数不合适 (2)永久磁钢大小，磁性强弱 (3)导磁片与永久磁钢的距离	根据检查情况进行调整
		涡轮起动排量大或小	(1)永久磁钢的大或小 (2)涡轮与导磁片、永久磁钢的距离 (3)涡轮叶片的角度 (4)涡轮轴与宝石的间隙	(1)根据仪器指标选用合适涡轮 (2)选好磁钢与导流片的距离 (3)调整涡轮轴与宝石的间隙
		没有信号输出，有杂音转动不灵活	(1)线包线断 (2)磁钢掉 (3)宝石破碎或调得太紧	根据检查情况进行修理
2	泵	出现空振和尾部喷油	(1)单流凡尔不密封或卡死 (2)柱塞和柱塞室间隙过大	(1) 检修单流凡尔 (2) 调整柱塞和柱塞室间隙
		在排量小时线圈会发热	电磁泵尾部是一个进液口，在工作时经过中心部分，从上部柱塞排出，它可以起到散热作用，所以当其它条件不变时，排量较低时散热较差，线圈就发热	主要是同心度不好 (1)检查弹簧是否有弯曲现象 (2)检查传力杆与柱塞是否卡 (3)检查线架有无脱焊；
		泵单调时排量很大，接上阀后排量明显下降	(1)油道堵塞 (2)阀单流凡尔工作不正常 (3)阀的单流凡尔不密封 (4)阀球不密封 (5)泵的弹簧软 (6)柱塞和柱塞室间隙太大 (7)线圈绕组有局部短路 (8)线圈架脱焊	(1)检查油道有无堵塞 (2)检查柱塞单流凡尔是否密封 (3)检查“0”型盘根有无磨损现象

续表

序号	部件	常遇故障的现象	故障产生的原因	排除办法
2	泵	泵排量小	在电磁振动泵的结构已经固定以后，振动频率固定时；排量的大小主要与柱塞行程有关	(1)检查单流凡尔是否良好 (2)弹簧衔铁与柱塞是否同轴心
		阻值增高或下降	阻值增高：是长期使用油水浸泡老化，接地不良 阻值降低 有局部短路的地方	在检查的基础上，根据情况给予更换或焊接
3	阀	泄不下来或是泄得很慢	(1)衔铁被卡住造成阀针顶不住阀片 (2)阀片弹簧外径过小，钻入油道卡死 (3)阀针、阀钢球、阀压片弹簧脱焊 (4)阀针过短	检查有关部件修整到正确位置，正常工作
		不密封	(1)阀片与阀座不平 (2)阀片与弹簧焊的不正，或装时放得不正	按检查结果给予调整
		阀通电后出现泵振动的声音	阀弹簧过硬，阀衔铁不能被吸住	适当缩短弹簧长度
		阀阻值增高或降低	阀阻值增高，主要因长期使用油水浸泡老化接地不良。阀阻值降低，有局部短路	在检查的基础上，根据情况更换或焊接
4	皮球	打不起来或活塞不住压	(1) 皮球没绑好 (2) 导液头脱焊 (3) 阀不密封 (4) 导液头密封圈不密封 (5) 泵的并紧螺丝不并紧，泵虽然调好，但工作一段时间后，由于泵不断振动，螺丝就越来越松，因此使泵的工作状态失常	检查产生原因的部位，找出问题，适当的整修调试，使其恢复正常

续表

序号	部件	常遇故障的现象	故障产生的原因	排除办法
5	继电器	继电器锥度阀卡，拉不下来	(1) 线圈架的位置不合理 (2) 锥度阀位置不合理 (3) 行程过大或过小 (4) 电流过小 (5) 弹簧选择不合理	(1) 调正线圈架锥度阀的位置 (2) 调节行程 (3) 通正常的工作电流 (4) 选择弹簧
6	电极	取样筒不密封	活动头（钢球）腐蚀（不光滑） 球座不正 弹簧力量不够 并紧螺丝不并紧	(1) 合理装配 (2) 检查活动头表面 (3) 选择合适弹簧
		电极空气值高	电极绝缘破坏	分别检查电极表面，电极绝缘及接触地方
		电极空气值正常测不出全水值	电极接触不好	
		电极空气值降低	电极表面沾一层原油或者电极表面材料变质	
7	密封筒	进水	(1) "O" 型密封圈破坏 (2) 引线盘根不紧 (3) 电极胶皮不紧	检查 "O" 型密封圈和电极胶皮并采取压紧措施
8	找水线路	无输出	(1) 元件烧坏 (2) 焊点有虚焊 (3) 线路焊接错	检查元件、焊接点，线路并进行整改

2）下井仪器检修达到的指标

①仪器各部件要清洗干净。

②持水率计输出电位差的全水毫伏数与空气值毫伏数之比为5～8倍之间，刻度共作十个点，测井后，如测量空气值与校验空气值相差±5mV，测量全水与校验全水相差±10mV，必须查明原因，或按高度法重做十个点。

③电极装好后，绝缘必须无穷大，密封筒密封承受15MPa压力。

④测量与供电必须有正反向电阻值。测量的正向为185Ω，反向为650Ω；供电正向为14kΩ，反向为35kΩ。

⑤继电器电阻值40～50Ω，冲击电流2A不卡，维持电流0.6A密封良好，不渗不漏。

⑥涡轮阻值500～600Ω，不卡无松动，无杂音有输出讯号。

⑦集流器绑好后，无渗无漏，在$5^1/_2''$套管直径为150mm，在$6^5/_8''$套管直径为170mm。

⑧对泵、阀要求

泵：阻值50～60Ω，调好后，排量大约在3min能将集流器打起来。

阀，阻值150～160Ω，调好后能泄、不卡，密封良好。

⑨各部件调好后进行组装，螺丝齐全无滑扣，阻值正常，行线良好。

⑩每支仪器必须建立仪器档案，填写修理调试工作动态，在卡片中说明仪器型号，零长，空气、全水、泵、阀、继电器电阻阻值大小，野外队使用情况等。

3）仪器的校验　对仪器校验的目的是了解涡轮变送器和持水率计的工作状况，并根据校验数据绘出涡轮转速和排量关系曲线（N-Q曲线），电位差和含水率的关系曲线（ΔV-K_w曲线）。前者用于求仪器常数K，理论启动排量q和校正值k_a，后者供解释时使用。

校验是在模拟井内进行，模拟装置如图1—25所示。具体校验内容和方法是：

①校验N-Q关系。把仪器放在模拟井内，开泵稳定后，用闸门改变排量，每改变一次Q值，相应的记录一次涡轮转速N。把每组N和Q值点在直角坐标纸上，连接各点成一条线，即得出N-Q关系曲线。N-Q关系曲线与横坐标交点值即为涡轮的理论

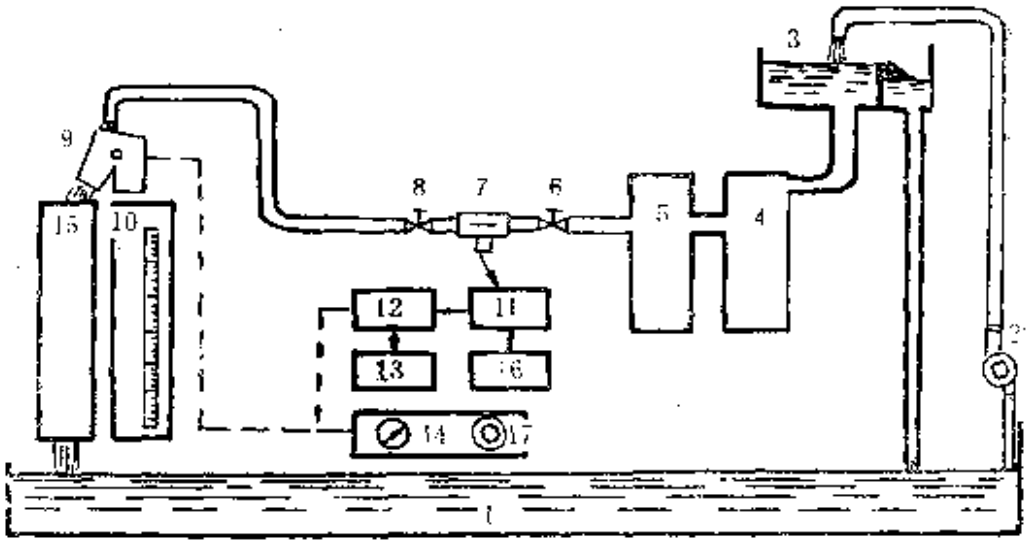


图 1—25　油井模拟装置原理图

1—水池；2—水泵；3—高位水塔；4—稳压容器；5—分配容器；6—前调阀；7—变送器；8—后调阀；9—换油器；10—标准容器；11—信号放大器；12—继电器；13—计数器；14—秒表；15—容器；16—频率表；17—控制开关

启动排量q_0。

一般来说，仪器的K值和q值是比较稳定的，不需要每口井都进行校验，只需在更换涡轮和有关零部件时才校验。

②持水率计的校验采用空气和水的液面高度法。校验时首先给仪器供电，测量取样筒全部充满空气时的电路输出电压，然后按取样筒的容积（130mL左右）的10%，20%，…，100%加入清水（水的计量用滴定管），用直流数字电压表分别测出不同含水率时的输出电压数，并作出含水率K_w与输出电压$V_{出}$的关系曲线。如图1—26。

刻度时应使用原油和水，与井下情况接近较为理想。但为了操作方便，用空气代替井下原油结果虽较近似，但也引进一定的误差。

（2）地面仪器的检查和校验

地面仪器是给井下仪器供电和记录井下仪器输出信号的二次仪表，搞好地面仪器的检查和校验是取得合格资料的重要环节。

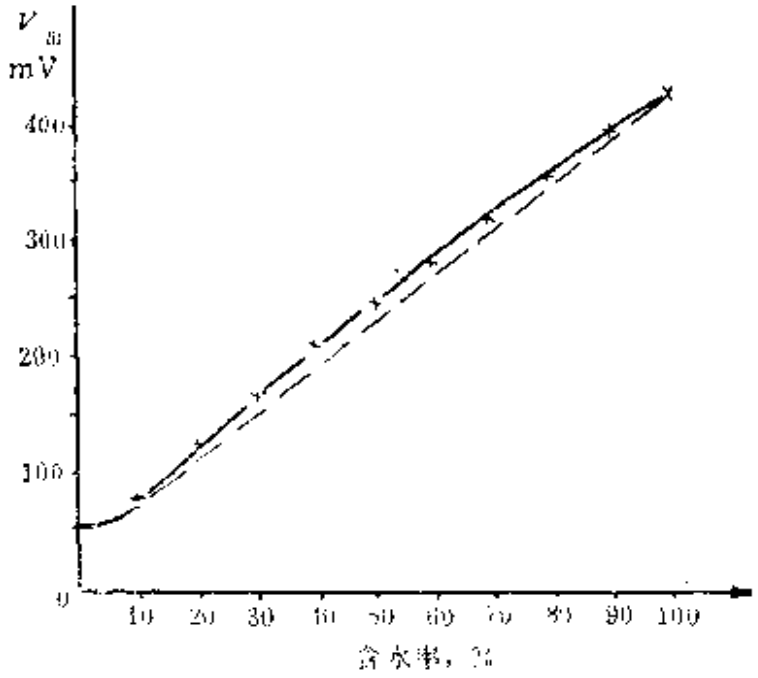


图 1—26 含水率与电位差关系曲线

检查内容包括：

1）供电系统

①检查泵的供电面板是否可以供给泵所需要的额定电流0.6～0.8A。

②检查阀供电系统是否可供给阀所需要的电流，维持电流0.2A，冲击电流0.6～0.9A。

③检查继电器供电系统是否可以供给继电器所需要的电流，维持0.6A，冲击电流1～2A。

④检查持水率计供电电压是否稳压12V。

2）检查测量面板，用刻度补偿器或标准电阻校验电压常数，调节灵敏度，特别要校准经常使用的测程档位。

3）检查涡轮放大器，用涡轮产量计给涡轮放大器输入电讯号，检查是否有输出电讯号，若用光点记录时，要求用调频器调好横向比例为100（脉冲/min）/cm。

4）检查深度系统工作是否正常。包括深度电机、计数器、深度记号电路是否工作正常。

（3）收集有关资料

1）油井基本数据

①人工井底深度；

②套管规范，主要用来选择皮球集流器；

③套补距，用于计算深度；

④喇叭口直径及深度。

2）生产情况

①油嘴，为了分析油层产量及资料对比；

②产液量，为选择合适的仪器；

③化验含水比，供测量分析对比；

④油压、套压，便于起下和选择仪器。

3）射孔井段深度、小层层号、有效厚度、有效渗透率，主要用于定点测量和解释分析对比。

4）根据收集的资料填写测井设计，具体内容见图1—27。

（4）确定测点依据

1）根据地质单位的要求和油井施工目的确定测点位置。

2）第一测试点（即全井产液量测试点）距喇叭口一般为5m，至少2m。

3）地层系数大的主力油层及可能见水层段要单独测量。较差的油层可根据情况合并测量。一口井的测点一般以十个左右为宜。

4）需施工的目的层单独测量，标出记号。

5）在大于10m的未射孔井段（对应有地层系数较大的油层）定点时，应在上、下射孔井段1m处各卡一点，这样来判断是否有管漏存在，避免资料中有错误。

（5）校正电缆

为了保证测量深度准确，必须按电缆使用规定校正电缆，校正后的电缆深度误差应符合技术标准要求。

（6）其它准备

1）检查电缆通断和缆芯绝缘。

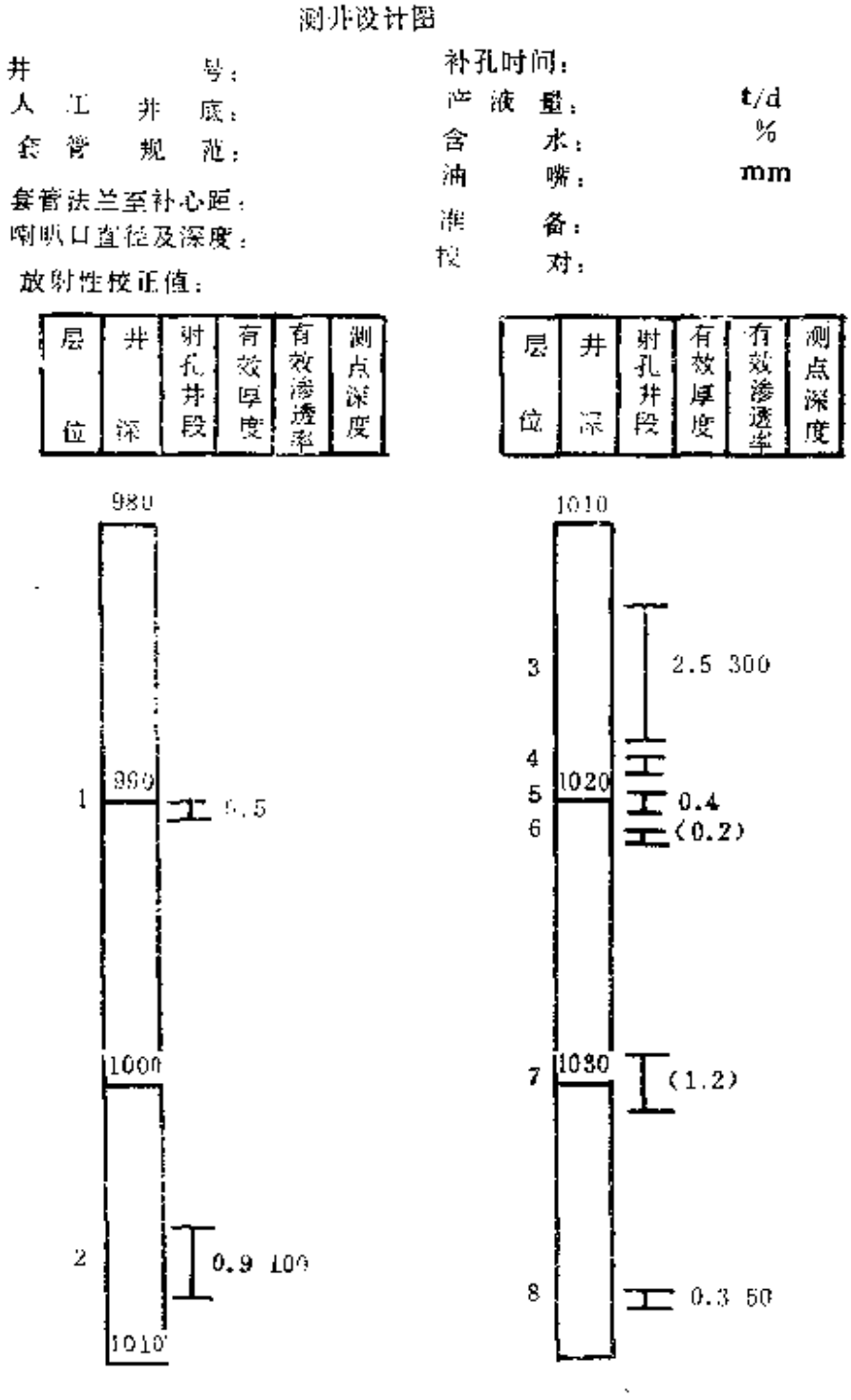


图 1—27　测井设计图

2）检查防喷盒及常用材料是否齐全。

①检查防喷盒配件、用料是否齐全，规格是否合适。

②检查滑轮转动是否灵活，螺丝是否紧固，周长是否标准。

③检查井口工具和消耗材料是否齐全，加重是否合适及有无损坏等。

2. 现场测量

到井后，必须对地面和井下作全面调查，落实现场是否具备测井条件。

（1）地面调查

1）了解井场是否有电源，电压是多少伏。

2）观察井场情况、车辆停放位置和立井架位置。

3）油井生产情况，看井口压力，听出油声音。

4）了解油井产液量，化验含水情况及油气比大小。

5）遇到下列情况不能进行测井：

①油井产液量波动大；

②刚换油嘴产量不稳；

③压裂施工后投产少于15天，测静压修井等投产不超过3天。

（2）地下调查

1）测井管柱及深度，工作筒深度不小于54mm。

2）井内技术情况。

3）井内是否有落物。

（3）井场安装、仪器连接和仪接下井前检查

1）立好井架，安装滑轮，连接好各种联线；

2）接通电源后，检查地面仪器工作是否正常，对测量系统必须校验灵敏度和横向比例；

3）接好下井仪器后，必须用万用表量出泵、阀、继电器、供电和测量的电阻值。

4）检查下井仪器：

①供电检查仪器是否工作正常，读出空气值，它与给的空气值相差不得超过±5mV超过时必须查明原因，否则不能使用；

②吹涡轮看其转动是否正常；

③给阀通电检查阀的工作是否正常；

④给泵通电检查泵的工作是否正常；

⑤给继电器通电，检查继电器工作是否正常。

以上检查顺序不得颠倒，否则可能烧毁仪器。

5）安装、连接过程中对防喷盒、仪器连接部位、仪器的引线、顶丝、加重等必须周密检查，预防发生事故。

（4）仪器下井和测量

1）仪器下井：

①量好防喷管高度（从防喷盒顶面至套管法兰面），计算准确总零长。

总零长＝电缆零长＋套补距＋仪器零长－防喷盒高度

②仪器下井运行中，观察涡轮转动是否正常。

③找准磁性记号，根据喇叭口深度及第一个测点位置，用罗盘找准合适的磁性记号，此记号到防喷盒顶面时，将转数表对到实际深度。

④观察喇叭口深度，如果喇叭口深度误差太大，必须查明原因才能测试。喇叭口深度超过第一测点深度不能测试，但必须核实电缆深度无误。

2）测井

①测产液量　仪器下到第一个测点，当滑轮停止转动时，给电磁振动泵通电，胀开皮球式集流器后，打开参数面板的频率计，记录15秒钟，连续记录两次，如前后脉冲值误差不超过±2%，证明皮球打饱，否则应继续使泵工作，直至达到上述要求。皮球打饱才能打印记录。

②测量持水率　打开锥度继电器开关开始取样。为减小产液量低所造的测量误差对取样时间做如下规定：

合层产量＜10t/d时，取样时间＞10min；

合层产量10～20t/d时，取样时间9～6min；

合层产量20～30t/d时，取样时间5～3min；

合层产量40t/d以上时，取样时间2～1min。

当按上述要求取完样后，关闭继电器开关，待取样室内液体静止分离后，打开持水率计供电开关，记录电位差值。电位差变化的规律是：

持水率较高（即水包油时）电位差是由高向低趋向稳定；

持水率较低（即油包水时），电位差是由低向高而稳定；

持水率中等（即油水比例接近），电位差变化较小很快稳定。

待电位差稳定后，打开频率计并开始打印。在每个测点最少取样两次，两次读数的误差应小于±3%。否则必须再取样一次，取三次读数的平均值为该点的持水率。含水波动较大的油井，在某些测点可取样四次以上，取其平均值。如果同一测点的两次测量值相同，可怀疑锥度继电器工作不正常，取样室内原有的液体没有排除出去，一定要重复取样进行验证。在合层产液量超过80t/d时，用泄压阀收缩皮球后，再取样测电位差，检查继电器工作是否正常。

③测量完毕，给泄压阀通电收缩皮球集流器，把仪器下放至新的测试点进行测量。

④凡遇到下列情况要重复测量及加点测量。

a．相邻的两个测试点，上一点的脉冲数比下一测试点的脉冲数低2%以上；

b．相邻两个测试点产液量有变化，持水率却相同，要重复取样，验证锥度继电器工作是否正常，以便采取措施；

c．测量最后一点时，频率计没有读数，应将测试仪器提至有读数的测试点进行重复测量、验证仪器工作是否正常。若发现产量高时要加点测量；

d．测量结果与静态资料相矛盾时；

e．单层含水量出现负值时；

f．测量全井含水与化验含水比误差超过10%时。

⑤操作仪器应注意的事项

a．每口井测量前必须校验地面仪器灵敏度，测量电位差时必

须消除自然电位的影响；

b.仪器的横向比例应为100（脉冲/min）/cm，用0.5mV挡记录；

c. 供电测量电位差时，必须断掉泵阀继电器电源；

d. 给泵、阀、继电器供电时，必须把找水电路供电开关关掉，以免烧坏找水线路元件；

e. 桥式整流供电电路中不得共用地线，即地线和火线必须同时通断。

⑥测试过程中常见故障及处理办法。见表1—9。

3）测量完毕对资料进行现场整理。按取资料质量标准取全后，填入现场记录及解释成果表格中（或打印出原始成果）。确认达到资料质量要求时，起出下井仪器，要匀速上提，并盘好电缆，此时不能关井口马达线和各种联线及地面仪器总开关，可随时观察转数表深度，当电缆起到100～50m时应该及时减速，到10m处停车人拉电缆起出井口。与上述工作同时，绞车司机起电缆并随时观察转数表，还要记忆电缆盘的层数，作到心中有数，既使是在通讯和转数表失灵时，也能安全不出事故。下井仪器到井口后，摇防喷管，检查仪器是否到防喷管内，然后再关闸门，放压起出井下仪器，并拆除井口装置。

（三）找水测试资料的解释和应用

1. 分层产量的解释

根据各点所测得的合层脉冲和仪器的$N-Q$关系曲线，分别求出各油层或层段的相对产量和绝对产量

（1）相对产量的计算　各小层或层段的相对产量是指该层或层段的产量占全井产量的百分比。

$$\beta_n=\left(\frac{\Delta N_n}{N_1+K_q}\right)\times 100\%$$

式中　β_n——分层的相对产液量；

N_1——全井脉冲数；

ΔN_n——分层脉冲数（由相邻上下两层脉冲数相减得出）；

表 1—9　测井过程常见故障及处理办法

故障现象	原因分析及处理办法
油压上升	听油嘴出油动静，油嘴无出油动静，说明油嘴被堵，换油
泵、阀、继电器电流过大或过小	用万用表量它们的电阻值，查得井下仪器阻值都很好，再检查地面仪器
电位差来回摆动稳定不下来或不变	说明取样筒不密封，可给继电器加大电流取样测量 若电位差是全水值或大于全水值，说明电极绝缘破坏 若电位差值不变化，说明继电器拉不下，取不上样，这时可加大电流取样测量
深度记数器来回跳动	深度有问题，不能动电缆，检查井口马达及地面仪器马达，找出故障，重找磁性记号，校对深度，才能测量
找水测量的毫伏数值高于含水值。	(1) 电极绝缘破坏 (2) 测量接地不良，阻值增高
找水自然电位值太大	改换找水测量的接地点，用泵或继电器作测量负端
泵、阀、找水继电器等部分的供电不通	(1) 检查其输出两端有无直流、电压 (2) 如有电压输出，则应检查下井仪器连接的通断情况 (3) 线路板或各接头断路 (4) 检查相应部分的保险丝 (5) 检查各部的整流二极管 (6) 检查各相应部分的开关 (7) 检查输入的交流电源
泵、阀、找水、继电器等各部分的供电电流突然增大	(1) 首先检查各部的阻值是否正常 (2) 接头是否短路 (3) 线路筒压进水或电路板元件短路 (4) 泵、阀、继电器等线圈烧坏，内部短路
总电源无电压	(1) 检查总电源保险丝 (2) 检查电源输入线是否有断路 (3) 检查输入插头是否接触良好 (4) 检查电源开关是否良好

续表

故障现象	原因分析及处理方法
接电缆后，泵、阀、找水、涡轮、继电器等部分阻值高于正常值或无穷大	(1) 电缆头与仪器接触不良 (2) 接头断 (3) 各部连接处接触不良 (4) 各部引线有断处 (5) 电缆有断芯 (6) 滑环有断头处 (7) 地面仪器连接七芯线断芯 (8) 各部内部断路
接电缆后，泵、阀、找水、涡轮、继电器等部阻值偏低于正常值或短路	(1) 检查电缆缆芯是否短路 (2) 检查滑环是否有短路处 (3) 仪器各部引线有磨破处 (4) 各部内部有、无短路、压进水 (5) 地面仪器七芯线短路
继电器接上电缆后，不能正常工作	(1) 在供电正常的情况下，因运输过程中仪器受激烈震动，致使继电器卡死 (2) 冬季野外气温太低，将继电器冻死而不能正常工作 (3) 因接上电缆后，在回路中增加了电缆的阻值，致使电流达不到工作要求。这可提高供电交流电压，使电流达到工作要求电流即能正常工作
找水电位差在各层变化不大	(1) 继电器在井内不能正常工作 (2) 电极损坏 (3) 测量条件，已超过仪器的分辨能力（即含水率低于5%或高于95%）
井下仪器找水供电电流增高	(1) 供电接头有短路 (2) 供电绝缘被破坏 (3) 线路板有短路之处 (4) 线路筒可能压进水
井口滑轮转动正常，转数表在某一数字前后反复转动不进位	(1) 同步马达的三相碳刷或引线有一相断头，或接触不良 (2) 井口同步马达插头座的3，4，5或12芯线相应的3，4，5有一根断芯 (3) 井口马达插头接触不良

续表

故障现象	原因分析及处理方法
井口马达正常转动转数表不动	(1) 转数表本身有问题 (2) 井口马达齿轮固定销子断 (3) 12芯线或插头座的1.2有断芯和接触不良
涡轮转动正常，地面记录板也正常，突然不记数	(1) 涡轮被井内的喷砂所卡 (2) 记录面板不工作 (3) 涡轮输出或接线断 (4) 皮球已破
涡轮被砂卡	不移动测点位置，用人去压绷直的电缆使下井仪器在井内稍有反复活动，如砂卡不严重可能排除
找水电位差由于接地不良而增大	用人去压绷直的电缆，使仪器在井内稍能活动，也有可能使仪器正常工作
找水供电正常而测量无读数	(1) 检查测量线路阻值是否正常 (2) 检查地面仪器使用的测量道 (3) 检查检流计和接线排的香蕉插头 (4) 检查测量道是否串接隔直电容
仪器在井内怀疑深度有问题，需验证深度	首先找出电缆上的某一个明显记号，并用罗盘准确地找出其位置用白纱带绑一个记号作为标记，然后将所绑好的记号准确地下至防喷盒顶面，并计算出该记号所代表井内的实际深度，此时将计算出的深度和转数表比较，如果在1m范围内证实深度无误，如误差太大，则说明深度有问题
皮球打饱突然泄压阀失灵	如产量不高则可关井减小井的向上顶力这有可能使仪器下至测点
现场施工电缆下至数百米发生电缆跳槽	首先刹住绞车防喷盒两级全部拧到最紧，再将靠防喷盒附近的电缆擦净扎上黑胶布，黑胶布外再包高压胶布，再用铅丝扎紧使电缆变粗，而后通知绞车慢慢下放电缆，使捆扎的高压胶布座在防喷盒顶面直至电缆不受力为止，此时井内的电缆重量全靠防喷盒卡住，抓紧时间继续下放电缆到地面电缆不受拉力为止，把跳槽电缆摆到滑轮槽内而后将防喷盒恢复原状，通知绞车慢速上提电缆，使高压胶布离开防喷盒把高压胶布解开这时候看电缆是否已被卡坏，如未损坏则可继续施

续表

故障现象	原因分析及处理方法
	工，如电缆外皮已跳断丝，则禁止继续施工
一起仪器到达井口附近，仪器进不了防喷盒，转速表读数有7～8m	(1) 判断电缆外皮有无断丝 (2) 判断是否带上井内落物 (3) 电缆记扣或打结 处理方法和步骤： (1) 要水灌车和水泥车各一台 (2) 把生产闸门关掉，拧紧防喷盒 (3) 从油管打入2～3m³清水压井 (4) 迅速松开防喷盒起出仪器 (5) 恢复油井的正常生产状况
上提仪器在喇叭口附近，即起不动又下不去	井内产液量高，造成仪器迅速上顶，使电缆卡在喇叭口上 处理方法： (1) 把绞车加固关闭加热炉火源，防止井喷起火 (2) 检查井口绷绳和井架是否牢固 (3) 低速挡起电缆，拉紧电缆后，用4～6人压电缆，反复压几次直至把电缆压松，将仪器起出喇叭口 (4) 压电缆无效后，绞车用低速挡硬起，起不动，就将防喷盒拧紧，在绞车处剪断电缆再用作业机硬起，直至起出或将电缆拉断

K_q——校正值。

由于校正值K_q很小，可以忽略不计，所以

$$\beta_n=\frac{\Delta N_n(\text{分层脉冲数})}{N_1(\text{合层脉冲数})}\times 100\% \qquad (1—3)$$

(2) 绝对产量的计算　各小层或层段的绝对产量是指该层或层段每天的产量（m^3/d）

$$Q_n=\beta_n\times Q_0 \qquad (1—4)$$

式中　Q_n——分层的绝对产量；

β_n——分层的相对产量；

Q_0——全井的产量（以涡轮产量计记的全井脉冲数被以涡

轮K值除得值的为准$Q_o=\frac{N_1}{K}$，参考井口量油)。

具体解释方法见表1—10。

表 1—10 分层产量解释方法示意表

测试点	合层脉冲数 N_n，脉冲/min	分层脉冲数 ΔNn，脉冲/min	相对产量 β_n，%	绝对产量 Q_n，m³/d
A	N_1	$N_1-N_2=\Delta N_1$	$\Delta N_1/N_1=\beta_1$	$\beta_1\times Q_0=Q_1$
B	N_2	$N_2-N_3=\Delta N_2$	$\Delta N_2/N_1=\beta_2$	$\beta_2\times Q_0=Q_2$
C	N_3	$N_3-N_4=\Delta N_3$	$\Delta N_3/N_1=\beta_3$	$\beta_3\times Q_0=Q_3$

2. 分层含水解释

根据持水率计现场测量的电位差ΔU及地面校验的$\Delta U-K_w$含水率关系曲线进行解释。

(1) 解释方法 见表1-11。

表 1—11 分层含水解释方法示意表

测试点	测量电位差 mV	分层产液量 m³/d	合层产液量 m³/d	合层含水%	合层产水量 m³/d	分层产水 m³/d	分层含水(分层含水率) %
A	ΔU_1	Q_1	$Q_1+Q_2+Q_3$	Kw_1	$Kw_1\times(Q_1+Q_2+Q_3)=Qw'_1$	$Q'_{w1}-Q'_{w2}$	$\frac{Q'_{w1}-Q'_{w2}}{Q_1}$
B	ΔU_2	Q_2	Q_2+Q_3	Kw_2	$Kw_2\times(Q_2+Q_3)=Q'_{w2}$	$Q'_{w2}-Q'_{w3}$	$\frac{Q'_{w2}-Q'_{w3}}{Q_2}$
C	ΔU_3	Q_3	Q_3	Kw_3	$Kw_3\times Q_3=Qw'_3$	Q'_{w3}	Q'_{w3}/Q_3

(2) 解释步骤

1) 整理全井各个测量点测得的电位差值ΔV数据，根据校验曲线求得每点的含水率K_w，即为合层含水体积百分比；

2) 根据合层产液数据，求合层产水量（m³/d），

合层产水量=合层产液量×合层产水百分比

3）将相邻两层或层段的合层产水量（m^3/d）相减，求出分层产水量Q'_w；

4）根据分层产液量（m^3/d），求分层的视含水率

$$分层含水率=\frac{分层产水量}{分层产液量}\times 100\%$$

5）根据解释数据，确定本井的产水层位和产水量。

计算分层产液量、分层产水量、合层产液量和合层产水量及其各百分比，都计算到小数点后一位。所计算各分层产液量之和应等于全井产液量。计算各分层产水量之和应近似等于全井产水量（确定见水层以后）。

3. 判断主要出水层位

（1）电位差法　当某一层的电位差值有明显下降时，它上面的一层就是见水层。（见表1—12）。

（2）综合判断法　如果几个相邻层的电位差没有变化或变化很小，但计算结果却有分层产水时，可由下面两种方法确定主要出水层：

①　一般渗透性和连通性好，产液量高的层为出水层；

②　将某层合层产液量乘以5%或3%得到的数据，如果小于该层分层产水量也确定为见水层；

③根据测量数据计算，分层产水量小于$1m^3/d$，不解释出水层；

④　合层产液量小于$10m^3/d$以下，不解释见水层。

解释和判断主要出水层实例见表1—12。

4. 解释结果的误差分析

解释结果的误差与仪器精度和油井的井下条件有关。

（1）仪器误差

1）室内模拟实验证明，涡轮变送器的相对误差最大不超过±3.25%。

2）从常温常压条件下作出的电位差$\Delta V-K_w$含水率静态关系曲线，应用在实际测试中所查出的含水率，与井口取样化验的含

表 1—12 某井综合解释成果表

层位	测点深度 m	有效厚度 m	有效渗透率 $10^{-3}\mu m^2$	测量电位差 mV	产液量 m^3/d 分层	产液量 m^3/d 合层	产水量 合层含水%	产水量 合层产水 m^3/d	产水量 分层产水 m^3/d	产水量 分层含水%	主要见水层
I_2		2.4	850	207	32.2	96.0	74.0	71.0	27.3	85	(2)
2～3		1.6	800	206	36.9	63.8	73.5	43.7	36.4	99	(1)
4		0.6	97	104	0.4	26.9	26.5	7.1			
6		3.2	400	106	7.7	26.5	27.5	7.3	4.1	53	(4)
I_{1+2}		1.8	75	75	4.9	18.8	14.5	2.7			
4		2.0	196	96	8.1	13.9	23.0	3.2	2.1	25.9	(3)
7		1.4	184	84	5.8	5.8	18.5	1.1			

水结果相差±10%（统计值）

（2）井下情况对测量的影响

1）自喷井找水仪是以集流点测的方式录取资料，用递减法作解释，而油井各层的产量是波动的，测量时涡轮计数时间和取样时间仅用几分钟，必然给资料带来一定的误差。

2）欲测含水率而实际测得的是持水率。考虑到仪器集流后滑动速度影响较小，一般未进行校正，但当产液量较低时，如果不进行校正，会给解释结果带来一定的误差；

3）井下气体的存在会使涡轮转速增高，因此在出气层段解释出的产液量会偏高；

4）当油层有串槽井段时，会给解释结果带来假象。

5. 资料的应用

（1）测出油井的分层产液量和产水量，可绘制出油井的产液剖面，给编制和调整油井配产及水井配注方案提供依据；

（2）根据各井分层产液，分层产水量的测试资料可以画出某区块，各层油水分布图，为各区块采取相应的措施提供第一性资料；

（3）给油井分层措施和小层改造提供选层依据，并可检查其效果；

（4）对高含水油井中渗透率高，有效厚度大，出水严重的主力油层，使用分层测试仪器在射孔井段进行细分多点测试，可测得油层出水层位近似厚度，为厚油层控潜提供第一性资料；

（5）根据油井三个工作制度的分层测试资料可以给出全井分层的采油指示曲线；

（6）可以判断套管破漏部位。在怀疑套管破漏部位，通过细分加密点测量，可以确定未射孔井段套管坏漏的部位。

二、抽油井产出剖面测井

我国的抽油井已占油井总数的94%，抽油井产出剖面的测井对提高油田开发水平具有重要作用，其测井难度大于自喷井。目前抽油井产液剖面测井方法已在生产中应用的主要有以下几种。

（1）平行管柱法　为在不改变油井工作制度下获得抽油井产液剖面参数，可采用“平行管柱法”。该方法是在套管中同时下入抽油管柱和测试管柱。其中一根管柱用于采油，另一根管柱则用来起下仪器，进行产液剖面测试。该方法施工方便，测试结果准确可靠，但井口装置和作业施工较复杂，且只适用大直径套管。

（2）气举法　气举法实质上是将抽油井生产变为气举生产，然后用自喷井测井方法测产出剖面。气举法不是在油井正常抽油的工作条件下进行。另外，进行气举模拟还必须有专用的气举管柱，施工作业很繁杂，测井资料可靠性差，费时、耗资高。

（3）预先下入仪器测井法（即抽测法）　分固定式和活动式，活动式也称做“抽测法”。

1）固定式　将井下仪器用电缆固定于井筒某一特定的装置中，长期工作于井下，隔一定时间或连续向地面提供产液剖面参数，该方法对井下仪器耐油气和绝缘等性能要求较高。

2）活动式　即抽测法。该方法是用电缆将仪器下入井下（仪器悬吊于电缆上，电缆也不固定于油管外），然后下入抽油泵，

这样，在抽油井生产过程中，井下仪器可在井中上下移动，进行产液剖面测井。由于该方法在测井前后必须进行作业施工，因此如同起泵测压一样，对油井正常生产有一定影响，难于形成稳定的工作状况，必须待油井产量稳定后方能进行产液剖面测井。此外，该方法要求井下仪器较长时间工作可靠。

（4）过油-套管环空法　抽油井过油-套管环空测井（简称过环空测井）的基本方法是将小直径环空测井仪经特制的偏心井口，通过油管和套管的环形空间下至预定位置，然后在井下测量抽油井欲测井段的产液剖面参数。由于过环空法是在抽油井的原有工作制度下获得的产液剖面参数，因此其资料比较准确可靠。

上述四种抽油井产液剖面测井方法比较，由于过环空法是在油井不停产、不作业，且保持油井正常生产状况下进行测井，因此所测资料符合生产实际，可信度高。此外，过环空法起下的测井工艺也简单易行，因此该方法已成为国内外抽油井产液剖面测井的主要方法。

（一）抽油井过环空测井仪器

1. 1～40m³/d过环空找水仪

1～40m³/d过环空找水仪是大庆石油管理局生产测井研究所于1986年研制成功的一种集流型过环空找水测试仪器。仪器结构与原理与“73”型自喷井找水仪基本相同。采用集流点测，涡轮测分层产液量，取样电容法测持水率。与自喷井找水仪不同处只是在结构上将仪器直径缩小适应于抽油井环空起下。

（1）用途　用于产液量在40m³/d，56mm有杆抽油泵的抽油机井产出剖面测井。

（2）结构特点

1）涡轮起动排量低，小于1m³/d，且仪器常数大〔130(脉冲/min)/(m³/d)〕，测量精度高。

2）取样继电器工作可靠。

3）持水率测量电路采用频率传输，不受电源电压、自然电位的干扰，并有较高的温度稳定性。

4）采用三芯电缆、三芯滑环电缆密封头，施工方便、可靠。

（3）仪器电路　由方波发生器、供电电路和功率放大器三部分组成。图1—28是仪器的原理电路图。

F005C及其周围元件构成了方波发生器。取样电容器的电容受流体含水率影响，而方波发生器输出的方波周期与取样电容器的电容大小有关，测量方波的周期，便可通过解释图版得到井内分层的含水率。

D_1、D_2是方波发生器的双向限幅电路。

D_3～D_6是方波发生器的供电电路。

3DG182C、R_1、R_7和R_8组成方波信号功率放大电路，方波信号经功率放大后通过电缆传输到地面记录仪。

电容C_3是传输涡轮信号用的。

（4）主要技术指标

仪器外径	28mm
仪器长度	1.5m
流量测量范围	1～40m^3/d±5%
持水率测量范围	5～95%±10%
耐温	≤60℃
耐压	≤16MPa
使用条件	油水两相流动的抽油井。

2．JCF型分层测试仪

JCF型分层测试仪是江汉石油管理局采油工艺研究所于1985年研制成功的集流型过环空找水仪，其持水率计结构和测量方式与73型自喷井找水仪有所区别。

（1）用途　用于产液量≤30m^3/d抽油井产出剖面测井。

（2）结构特点

1）皮球集流器采用微型电机带动齿轮泵。

2）测量持水率采用液体“过流法”，而不是取样法。测量持水率探头采用圆筒式电容器。

3）地面仪器主要由交流稳压电源、直流泵、阀电源及三笔

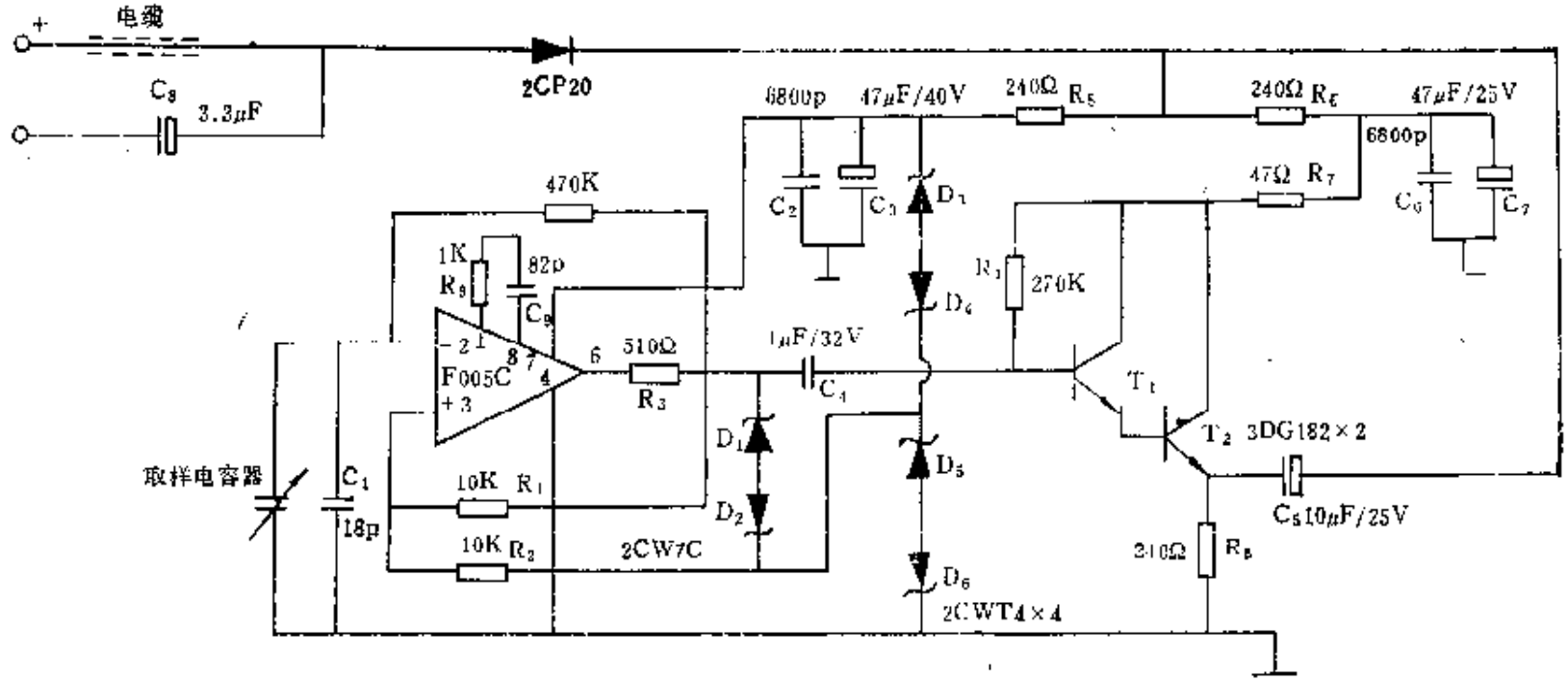


图 1—28　40m³/d过环空找水仪持水率计原理电路图

记录仪等面板组成。它用于控制井下仪器正常工作，并记录井下仪器录取的参数。

（3）主要技术指标

外径　　23mm

长度　　3.2m

流量测量范围

1～30m³/d ±4%

持水率

0～60% ±7%

耐温　　≤120℃

耐压　　≤30MPa

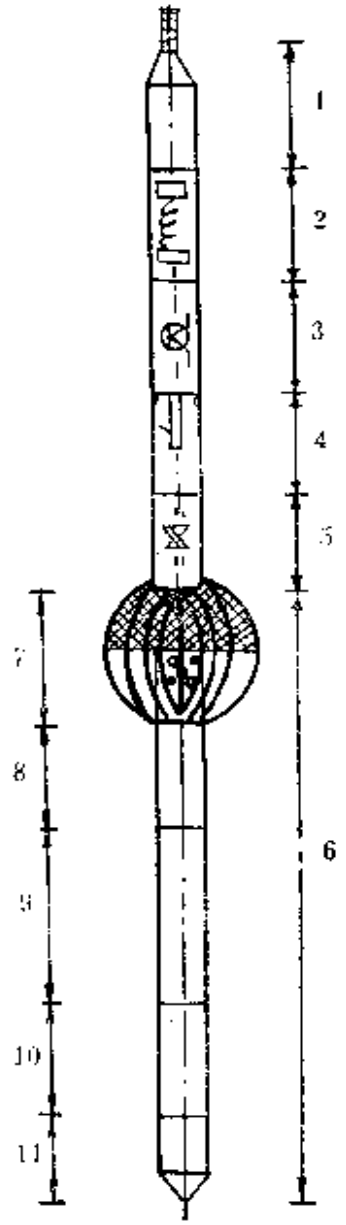


图 1—29　JLS分层测试仪结构原理图

1—电缆头；2—接箍定位器；3—检测电路；4—持水率计；5—产量计；6—集流器；7—集流伞；8—换向机构；9—动力机构与断电装置；10—电磁阀；11—平衡囊

3. JLS型分层测试仪

JLS分层测试仪是江汉石油管理局采油工艺研究所继JCF型分层测试仪之后，于1988年研制成功的适用于高产液井的过环空测试仪器。

该仪器为集流型测井仪器。集流器采用了热液膨胀撑伞机构及伞式集流结构，产液量传感器为涡轮流量计，持水率计采用圆筒式电容传感器，同时安装了磁性定位器，提高了测点深度的准确性。为适应过环空测井，其集流伞安装了固定和保护装置。仪器采用"热液"膨胀作动力，结构简单，机械故障少，成功率较高。仪

器安装了磁性定位器后，采用两根缆芯传输，其中一根缆芯传输产液量和持水率信号；另一根缆芯传输磁性定位器信号。

（1）结构及工作原理　井下仪器主要由电缆头、产量计、持水率计、检测电路和集流器组成，见图1—29。

产量计和持水率计原理与JCF型分层测试仪相同。

集流器由动力机构、换向机构、集流伞、断电装置和电磁阀组成。

动力机构包括加热器、膨胀液、柱塞等。是产生撑伞和收伞的动力。

换向机构包括换向推杆、换向弹簧，导向筒，换向座等零件，其作用是改变伞的撑或收状态。

集流伞由伞筋，伞布，伞心管和滑套等组成。其作用是封隔套管和仪器的环形空间，使井中液体从仪器内部流过。

断电装置包括导电杆、导电座、断电电阻等部件。其作用是判断集流器是否完成撑伞或收伞动作。

电磁阀由电磁铁、单向阀和平衡囊等组成。由于随着井深的增加温度升高，为防止仪器下井过程中集流伞被撑开，使用了电磁阀。其作用是使仪器在下井过程中，由于地温的升高，“热液”膨胀的液体流入平衡囊中防止撑伞；在加热器通电后，“热液”膨胀进行撑伞或收伞。

集流器的工作原理：

①撑伞　当给集流器供电后，电磁阀将“热液”室关闭，加热器工作，“热液”膨胀，推动柱塞向上运动，当集流伞紧贴套管时，换向推杆也向上推到上死点。换向机构自动锁住。与此同时，断电装置工作，当地面仪器供电电流有一微小偏摆，电流减少时，证明伞已撑开，即可停止给加热器供电。

②集流测量　集流伞撑开后，迫使集流伞下部的部分液体流经仪器的产量和含水传感器。同时热液室中的液体逐渐向井筒液体传热，当冷却到接近井筒环境温度时，热液室压力降低，电磁阀打开，使热液室和平衡囊连通。换向推杆运动到下死点处于待

命状态。

③收伞　给集流器供电，电磁阀关闭，加热器使热液室液体再次膨胀推动柱塞，与撑伞时工作过程一样，换向机构运动到上死点并解锁。断电装置工作，停止加热器供电。待热液室内液体慢慢冷却，集流伞靠伞筋弹力逐渐收回。

当仪器下至下一个测点深度测试时，重复以上过程。

（2）传输电路和工作原理　JLS分层测试仪电路由地面和井下两部分组成。地面仪器主要包括供给加热器和电磁阀的400V直流稳压电源和供给井下电路的50V直流稳压电源，进行含水和产量信号处理可供数字面板显示及三笔记录仪记录的"地面集成仪"、三笔记录仪。井下仪器主要包括稳压电源、产量和持水率信号检测电路、集流器电路。

井下产量和持水率信号检测电路主要包括：含水振荡器、产量放大器、调制器。产量和含水两个信号传输方式采用脉冲调制式。没有产量信号时，持水率信号经调制器送入电缆传到地面；当有产量信号时，输入调制器的持水率信号被产量信号调制，这时在传输线路上得到一个周期性间断的持水率频率信号，而持水率频率信号的间隙时间和产量信号吻合。

该仪器采用了双芯电缆传输。一根缆芯传输接箍磁定位信号；另一根缆芯既供给集流器的加热器和电磁阀电源，又供给井下仪器检测电路电源，还同时传输产量和持水率信号。

（3）主要技术指标

产量测量范围	全集流2～30m^3/d±5%
	部分集流（伞布有孔）
	5～60m^3/d±5%
	10～100m^3/d±8%
	15～150m^3/d±8%
持水率测量范围	0～100%±10%
最高工作温度	120℃
最高工作压力	35MPa

仪器尺寸　　外径25mm

长度2900mm（包括磁定位器）

仪器重量　　5.5kg

4. 过环空大排量找水仪

过环空大排量找水仪是大庆石油管理局生产测井研究所为适应高产液抽油井过环空测试的需要，研制成功的又一种集流型环空找水仪。

该仪器产量计部分和1～40m³/d环空找水仪相似，而含水率计部分则采用了超高频电路，测量方式采用“过流法”，从而大大减少仪器长度。仪器外径为27.5mm，中心管内径从15mm扩大到19mm后，整个仪器的流通面积扩大到283mm²，使仪器的测量排量上限扩大到80m³/d。仪器原理示意图见图1—30。

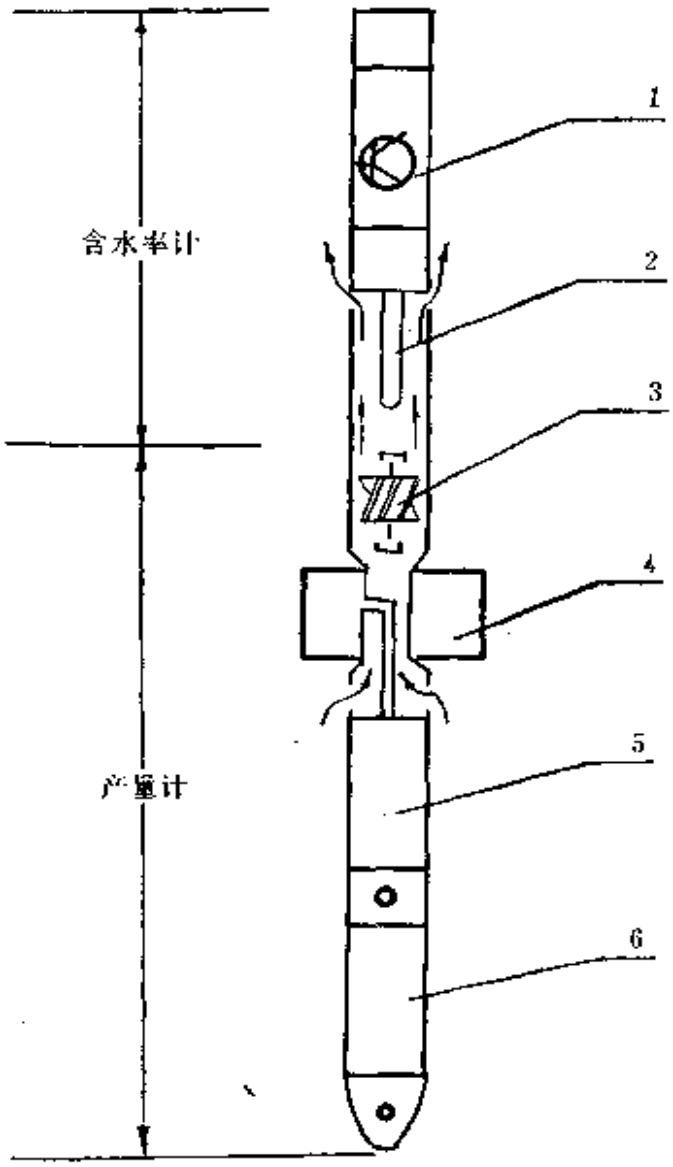


图 1—30　环空大排量找水仪示意图

1—电子线路；2—电极；3—涡轮；4—皮球；5—振动泵；6—泄压阀

（1）工作原理　产量计工作原理同1～40m³/d环空找水仪。持水率计采用了超高频持水率计，其工作原理是利用40MHz超高频晶体振荡器加载到LC调谐电路中，检波后输出直流模拟量，

输出值大小与LC调谐回路中的负载电容量是相关量，而电容量C又与原油中含水率是相关量。因此，检波输出后的直流模拟量是与原油中的含水率有着直接关系的量。

（2）主要特点

①超高频持水率计采用了超高频电磁波，具有较高的穿透深度，因此与电容法相比受电导的影响小，也就是说，无论是油包水型还是水包油型的流动状态均可测量，持水率测量范围宽，达0～100%。

②机械结构简单，由于没有取样机构，不仅操作简化，而且扩大了流通截面积，缩短了流道长度，从而提高了流量测量上限。

③由于持水率测量不取样，对橡胶皮球集流器减少了突然冲击，提高了测井成功率。

④由于不取样测量，节省了静候分离时间，提高了时效。

⑤仪器采用频率输出方式，克服了自然电位的干扰。

（3）仪器电路　由探头供电电路、超高频探头、压频转换电路和功率放大电路四部分组成。

图1—31是过环空大排量找水仪的原理电路图。

W7812、R_1、C_1和C_2组成探头供电电路，供给高频探头12V直流电压。

CDB是超高频探头，其输出信号与原油中含水率有直接关系。

VFC与周围元器件构成压-频转换电路，该电路将超高频探头CDB输出的电位差线性转换成频率。

T_1、T_2、R_9、R_{10}和R_{11}组成功率放大电路，该电路可将频率进行功率放大并传输至地面记录仪。所记频率通过解释图版便可解释出含水率。

（4）测量资料解释　测量资料的解释采用如图1—32的解释图版。该图版是在模拟井上制作的。由于超高频含水率计电路的每支仪器达到一致性非常困难，因此，每支仪器都要制作一张相

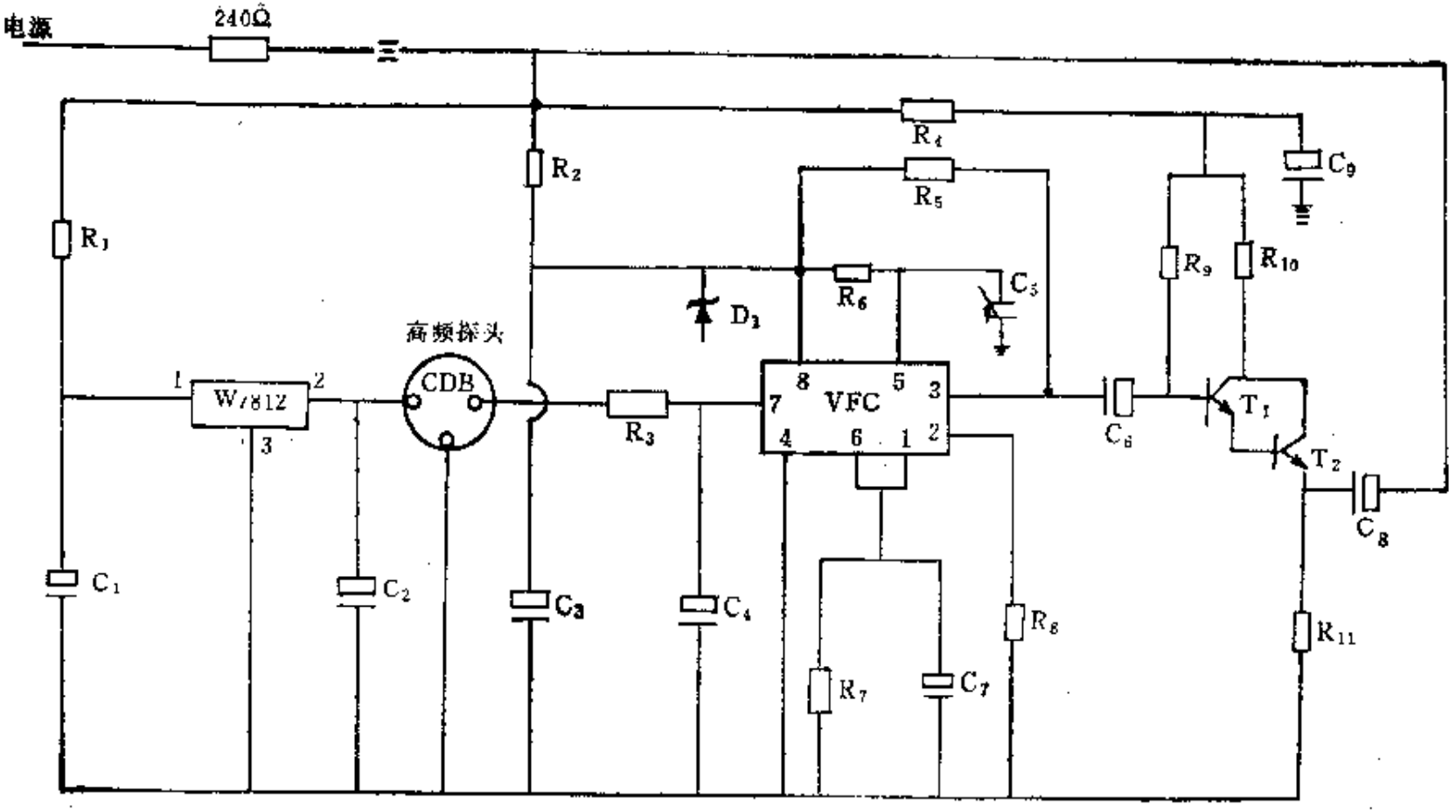


图 1—31　过环空大排量找水仪原理电路图

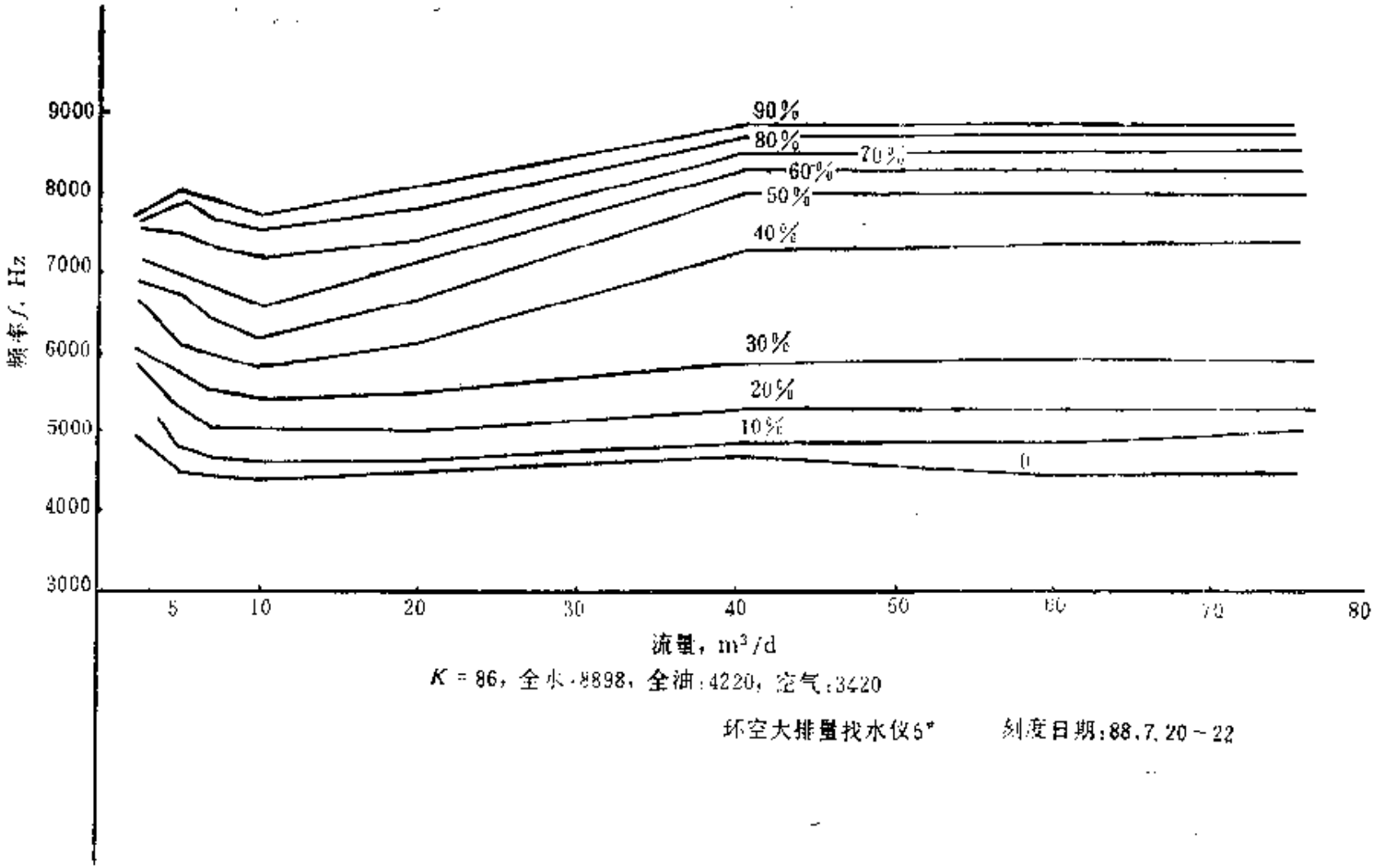


图 1—32　不同流量下含水率与输出频率关系图版(5#环空大排量找水仪)

应的解释图版。从图版上可以看出，在含水率30%～50%之间输出值间距拉大，说明流动型态的改变，即从油包水向水包油过渡，在持水率计是有反映的。与持水率从0～30%和50%～90%相比，间距大了3～4倍。

（5）主要技术指标

流量测量范围	2～80m³/d ±5%
持水率测量范围	0～100% ±10%
耐　温	≤60℃
耐　压	≤15MPa
仪器尺寸	ϕ27.5×1200mm

由于仪器耐温、耐压指标较低，仪器主要适用于大庆油田或与其相类似油田产液量大于40m³/d，小于 80m³/d 的抽油井产液剖面的测量。

5. 五参数过环空组合测井仪

五参数抽油井过环空组合测井仪是胜利和河南油田研制的一种多参数过环空测井仪。仪器一次下井可测得接箍、温度、流量、持水率和压力五个参数。同时还可以测得动液面、油水界面、砂面深度位置。

该仪器可与12.7mm直径的六芯电缆配接，测井时下放测量，测速500m/h。

（1）原理

1）温度-流量　井温探头采用半导体（PN结）传感器，当给探头供给400μA的恒流时，PN结两端的电压 $V=KT+B$，其中K、B均是与材料、工艺有关的参数，因此对给定的传感器，其端电压只是温度的一次函数，该信号经电缆传输到地面仪器，经放大和计算机处理，可得到连续井温曲线。

流量是在井下热场动态平衡条件下测得的温度资料，通过数字处理或人工智能解释得到的。主要根据拉梅公式推导出的经验公式。即：

$$Q=Q_{\circ}-\frac{KQ_{\circ}^{2}}{\Delta T+KQ_{\circ}} \qquad (1—5)$$

式中 K——所测井的综合地质参数；

$Q_{\circ}$——层位以上的流量；

Q——产液层的流量；

ΔT——井温异常变化值。

2）持水率计 采用石油大学研制的超高频含水率探头。由于增加了一套谐振电路，其发射频率较高，因而提高了持水率测量范围和分辨力。

3）压力计 压力计采用振弦式电子压力计，传感器由感压膜片、弦丝和线圈组成。地面仪器向井下提供激发信号，并接收传感器振弦的振动频率，经计算机处理得到该层的压力。

4）磁性定位器 由线圈和磁铁组成的小型磁性定位器，主要用来测量接箍以便校对深度。

（2）结构

见图1—33。仪器由仪器帽、压力计、温度传感器、磁定位器、持水率计电路、持水率计探头和加重杆组成。为施工方便，仪器和加重杆采用软连接。测井使用七芯电缆。

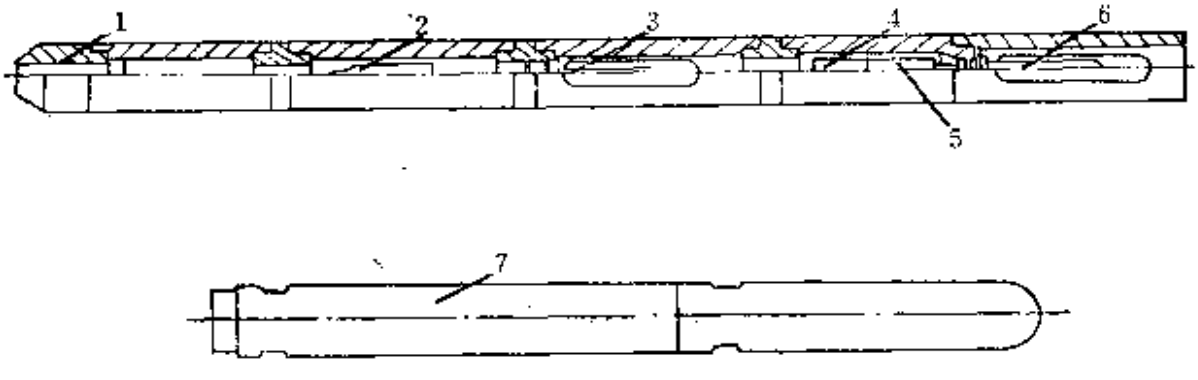


图 1—33 五参数过环空组合测井仪结构示意图

1—仪器帽；2—压力计；3—温度传感器；4—磁定位器；5—持水率计电路；6—持水率计探头；7—加重杆

（3）主要技术指标

仪器长度	1.3m
仪器最大外径	25mm
测温精度	0.5%
温度分辨率	0.05℃
含水测量范围	0～100%
含水测量精度	±5%
压力测量范围	0～40MPa
仪器耐温	≤150℃
仪器耐压	≤50MPa

6. 高分辨率持水率计

高分辨率持水率计是华北石油管理局采油工艺研究所研制的一种环空起下，可连续测量井下持水率变化的抽油井过环空测试仪器。

（1）结构　井下仪器结构见图1—34。电缆头和线路筒用螺纹连接。线路筒的下端装有密封绝缘接线柱，并与电极上端连接，连接处外包绝缘橡胶套，在电极下端外包绝缘橡胶套，插入引锥的中心孔，以保证电极的绝缘性能。由上孔和下孔构成压差平衡管，套在电极的外面。有排气小孔和四个长孔构成的仪器筒，用螺纹与线路筒连接，其下端用螺纹与引锥相接。仪器筒的长孔，就是井下仪器测量液柱高度h的通孔，它使井筒内的油水混合液体与压差平衡管相通。排气小孔的作用是排除从井液中带入仪器的气体。测量液体高度h的上方构成油容器，测量液体高度h的下方构成水容器。油容器经上孔通过电极4与压差平衡管的环形空间，经过下孔与水容器相通。

电极是由金属棒外包高温绝缘材料制成的。

（2）持水率的测量原理　在平衡管内形成一个上部是油、下部是水的液柱，它在h高度形成一个压差，与井筒中同高度的井液流柱的压差相平衡。当井筒中流体的持水率发生变化，引起井筒混合密度的变化，在h高度的井液流柱的压差必然变化，平衡管内h高度的液柱的油水比例随之变化，以使平衡管内的压差与

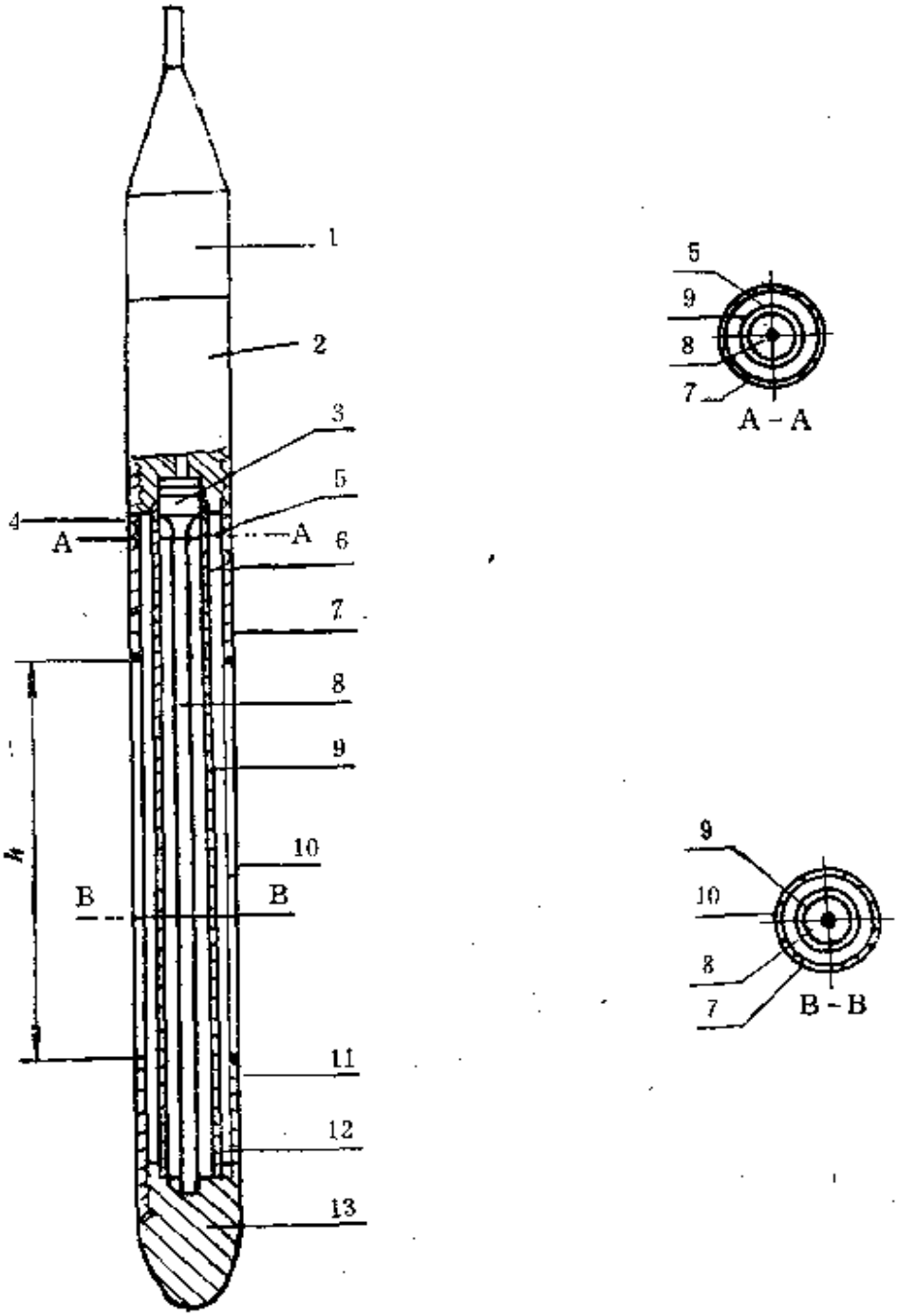


图 1—34　高分辨率持水率计井下仪器结构示意图

1—电缆头；2—线路筒；3—密封绝缘接线柱；4—排气孔；5—上孔；6—油容器；7—仪器筒；8—电极；9—压差平衡管；10—长孔；11—水容器；12—下孔；13—引锥

仪器外的压差相平衡。通过测量油水比例的多少，可以反映井下持水率的变化情况。如果井筒中是油水两相(即井筒压力在饱和压

力以上）。平衡管内 h 高度中水占的百分比就是持水率。如果井筒中是油、气、水三相，则通过下式可算出井筒中的混合密度。即

$$\rho_{混}=\rho_{油}K_{油}+\rho_{水}K_{水} \qquad (1—6)$$

式中 $\rho_{油}$——油的密度；

$K_{油}$——平衡管内油占 h 高度的百分比；

$\rho_{水}$——水的密度；

$K_{水}$——水占的百分比。

在算出混合密度后，再根据其它参数，如气油比、温度、压力、流量等计算出持水率和持油率。

平衡管中的油由油容器提供，通过上孔进入平衡管，水由水容器提供，水从下孔进入平衡管，油和水容器中的液体都由井液提供。当仪器进入井中后，井液进入仪器，由于油容器在顶部，油轻向上浮进入油容器，水重向下沉进入水容器。平衡管中经过一段时间后，油水就会分离形成分明的油水界面。

平衡管内油水比例的多少由电极来检测。电极内导电金属、电极外绝缘层及可导电的水形成一个电容。电

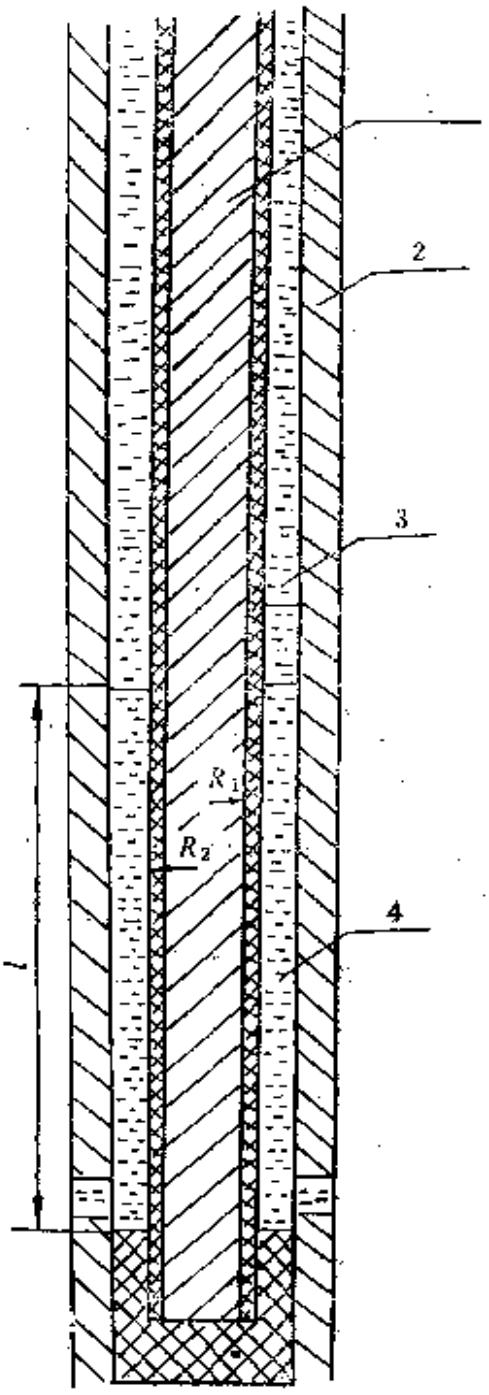


图 1—35 平衡管结构示意图

1—电极；2—壳体；3—油；4—水

极导电金属为一极，水连通仪器外壳为另一极，电极绝缘层为电介质，组成一个圆柱电容器，其电容值如下式。即

$$C=\frac{2\pi\varepsilon l}{\lg\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \qquad (1—7)$$

式中 ε——常数；

R_2，R_1——电极半径和电极内金属棒半径；

l——水面高度。

平衡管结构示意图见图1—35。

由于R_1、R_2都是定值，l随水面高度变化，所以这个电容值随平衡管内水占的比例变化，并且从式中可以看出它们是线性关系。由于电极绝缘层很薄，$\lg\left(\frac{R_2}{R_1}\right)$值很小，所以$C$值较大，当$l$变化1mm，$C$值将变化7pF，所以本仪器很灵敏。由于在平衡管内液体较少受外面井液流动的干扰，油水界限分明，液面稍有变化就被检测出来，这就是本仪器分辨率高的原因。

井下电路把上述电容构成阻容振荡器，向地面发出与该容量相关的一系列脉冲。这个脉冲信号的周期与电容量成线性关系。地面电路接收到脉冲信号后，可通过数码管显示这些脉冲的周期或频率。同时通过周期/电压转换电路，将脉冲的周期转换成电压输出给记录仪，记录仪绘出的曲线即是周期曲线。由于周期与电容量成线性关系，电容量又与水在平衡管内占的比例成线性关系，故脉冲周期与水在平衡管内所占的比例成线性关系。

（3）主要技术指标

1）下井仪器

工作温度	≤160℃
工作压力	≤44.1MPa
持水率测量范围	0～100%
分辨率	0.5%
精度	1.5%

仪器直径	ϕ25mm
供电	DC45V　25mA

2）地面仪器

输入频率范围	10～5000Hz
输入信号幅度	＞100mV
输出方式	数码管显示和0～5V 模拟电压信号供照像或记录仪记录
供电电源	AC220V±10%，50Hz

7．过环空三相流测井仪

过环空三相流测井仪是大庆石油管理局生产测井研究所，为了解决抽油井严重脱气后，井内形成油气水三相流动情况下的测试问题，而研制的一种环空测试仪器。该仪器可定量解释抽油井正常生产条件下，油、气、水三相产出剖面，从而为油井进一步挖潜提供依据。

（1）测量原理　为了获得油、气、水三相产出剖面，至少要测五个参数，即流量、密度、持水率、压力和温度。目前五个参数分两只仪器下井，一支是流量-密度-持水率三参数组合仪，另一支是温度和压力组合仪。见图1—36。

为能定量解释，并提高低产液抽油机井的测量精度，流量-密度-持水率仪三参数组合仪采取集流点测的方式，迫使井内流体全部流经探测器，测量流体的体积流量、平均密度和持水率。

1）流体体积流量测量原理　体积流量采取涡轮流量计集流点测获得。

涡轮流量计在计量单相流或油水两相流体时，它的测量精度、重复性、量程及反应速度等方面，都可满足要求，已得到成功的应用，特别是在集流条件下应用，效果更好。

在单相流动条件下，涡轮的转速和流经它的体积流量为单一线性函数。即：

$$W = KQ \qquad (1—8)$$

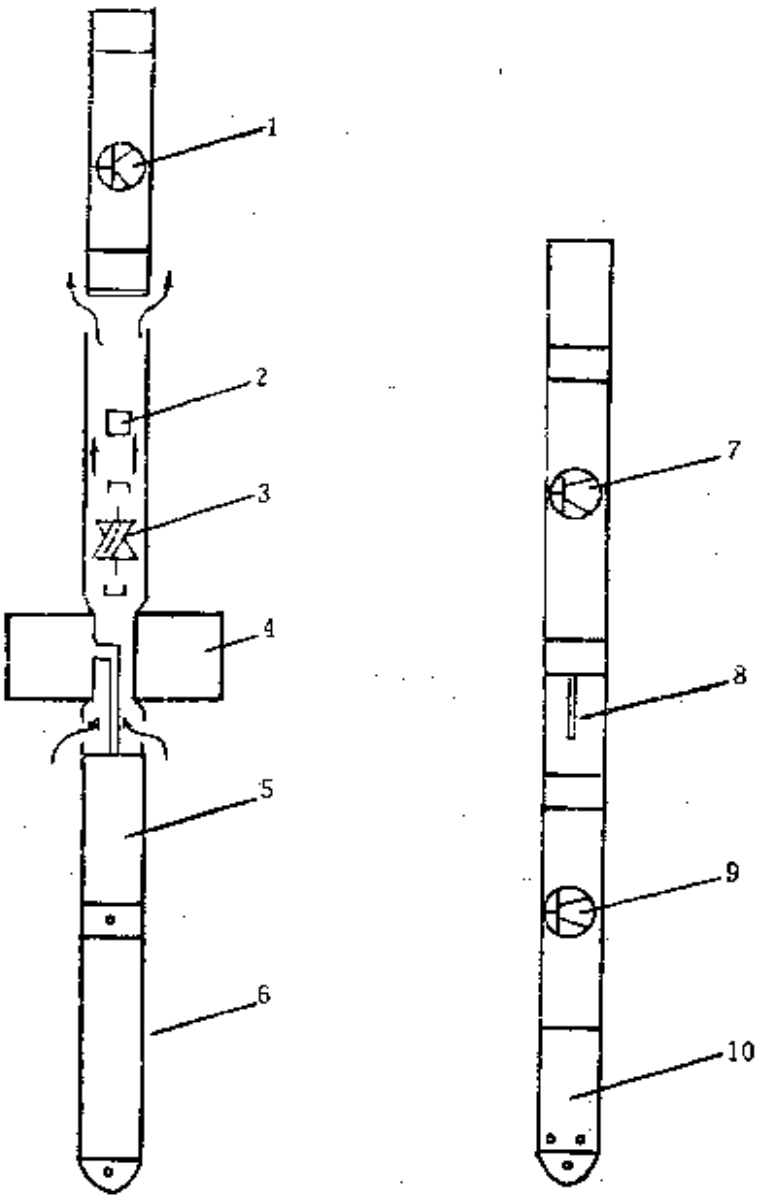


图 1—36　过环空三相流测井仪器结构示意图

1，7，10—电子线路；2—放射源；3—涡轮；4—皮球；5—电磁泵；6—泄压阀；8—温度探头；10—压力探头

式中　W——涡轮转速；

Q——流体的体积流量；

K——涡轮仪表常数。

在油、水两相中，只要流量能超过启动流量，在允许的误差范围内，涡轮的响应与体积流量也是线性函数。

在油、气、水三相流条件下，流体的平均密度发生了很大的

变化，在0～1g/cm³之间变化，不仅使流体的粘度发生了很大改变，推动涡轮旋转的动量也发生了很大的变化。经油、气、水三相模拟井实验证实，在油、气、水三相流条件下，涡轮仪表常数K是个变量，它与流体的平均密度直接相关。在同一流体密度下，其K值是个常量，并且是单一的线性函数。这与单相介质时相同。图1—37是实验得出的涡轮仪表常数与流体平均密度关系曲线。

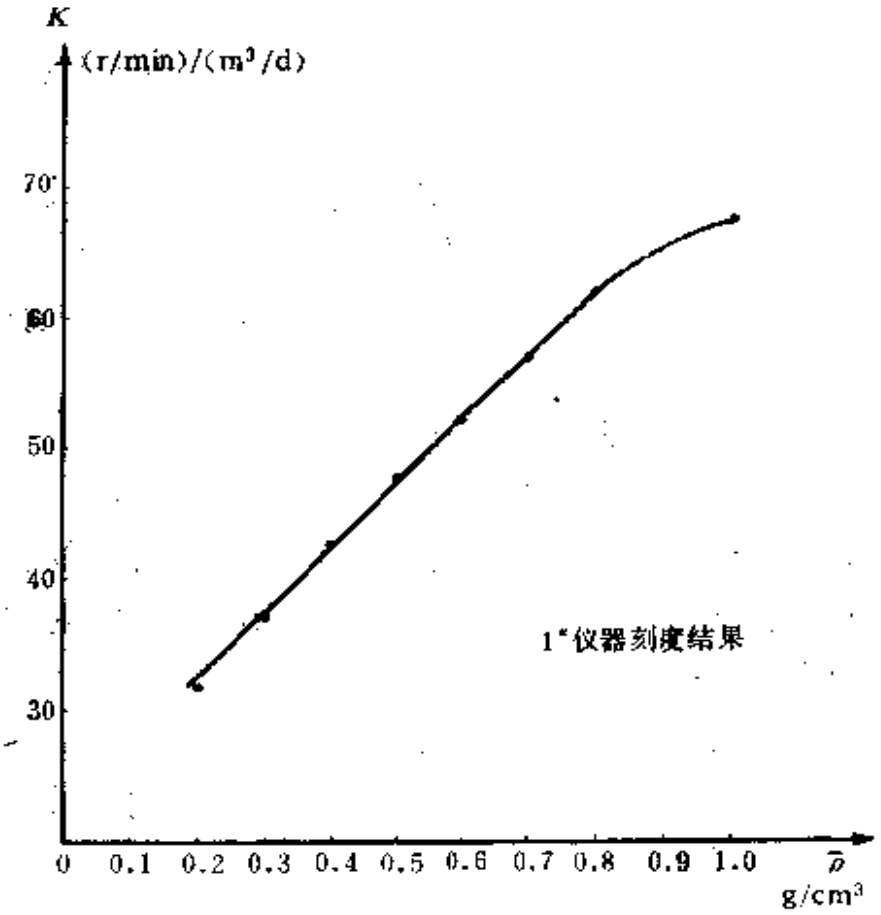


图 1—37　涡轮仪表常数与流体平均密度函数关系曲线

取流体平均密度$\bar{\rho}=0.2\sim0.8\text{g/cm}^3$相对应的涡轮仪表常数，经数学归纳得方程式

$$K=22.2+50.29\bar{\rho}$$

上式即1#仪器涡轮仪表常数与流体平均密度的相关式。

井下仪器五个参数中，正好有流体平均密度这个参数，仪器实现集流后，测得涡轮转数ω_t，并且在测出流体平均密度$\bar{\rho}$后，

才能计算出涡轮仪表常数K_i，有了涡轮仪表常数K_i，有了涡轮转数ω_i，就可计算出体积流量：

$$Q_i=\omega_i/K_i \quad m^3/d \qquad (1—9)$$

由于每口井的流体平均密度都不相同，即便是在一口井上，每个测量点处流体的平均密度也不相同，按以上的方法获得不同的涡轮仪表常数K_i，才能计算出三相流条件下的体积流量，这就为三相产出剖面的解释打下基础。

2）密度和持水率两参数的测量原理　持水率和密度采用一个探头测量两个参数的低能源测量法

当放射性射线穿过物质时，其射线强度呈指数规律减弱，即

$$I=I_0e^{-\mu\rho l} \qquad (1—10)$$

式中　I_0，I——分别是穿过厚度为l的物质吸收前后射线的强度；

ρ——吸收射线物质密度；

μ——质量吸收系数。

质量吸收系数是一个变量，不仅与吸收物质的种类有关，还与射线的能量有关，不同物质的质量吸收系数随射线能量改变而改变。见图1—38。

①根据上述μ的这一特性，利用油、气、水三种物质在射线能量为60keV以上其质量吸收系数基本相等这一重要特性，测量流体的平均密度。

$$\bar{\rho}=\frac{\ln(I_{10}/I_1)}{\mu L} \qquad (1—11)$$

式中　$\bar{\rho}$——井内三相混合流体的平均密度；

I_0、I_1——能量＞60keV的光子通过厚度为L的物质吸收前后的强度；

L——放射源外表到探测器挡板的距离。

μ——质量吸收系数，在能量为88keV处$\mu_油=\mu_气=\mu_水=\mu_0$。

式中I_{10}、μ、L都是已知量，只要测出88keV能量的光子被

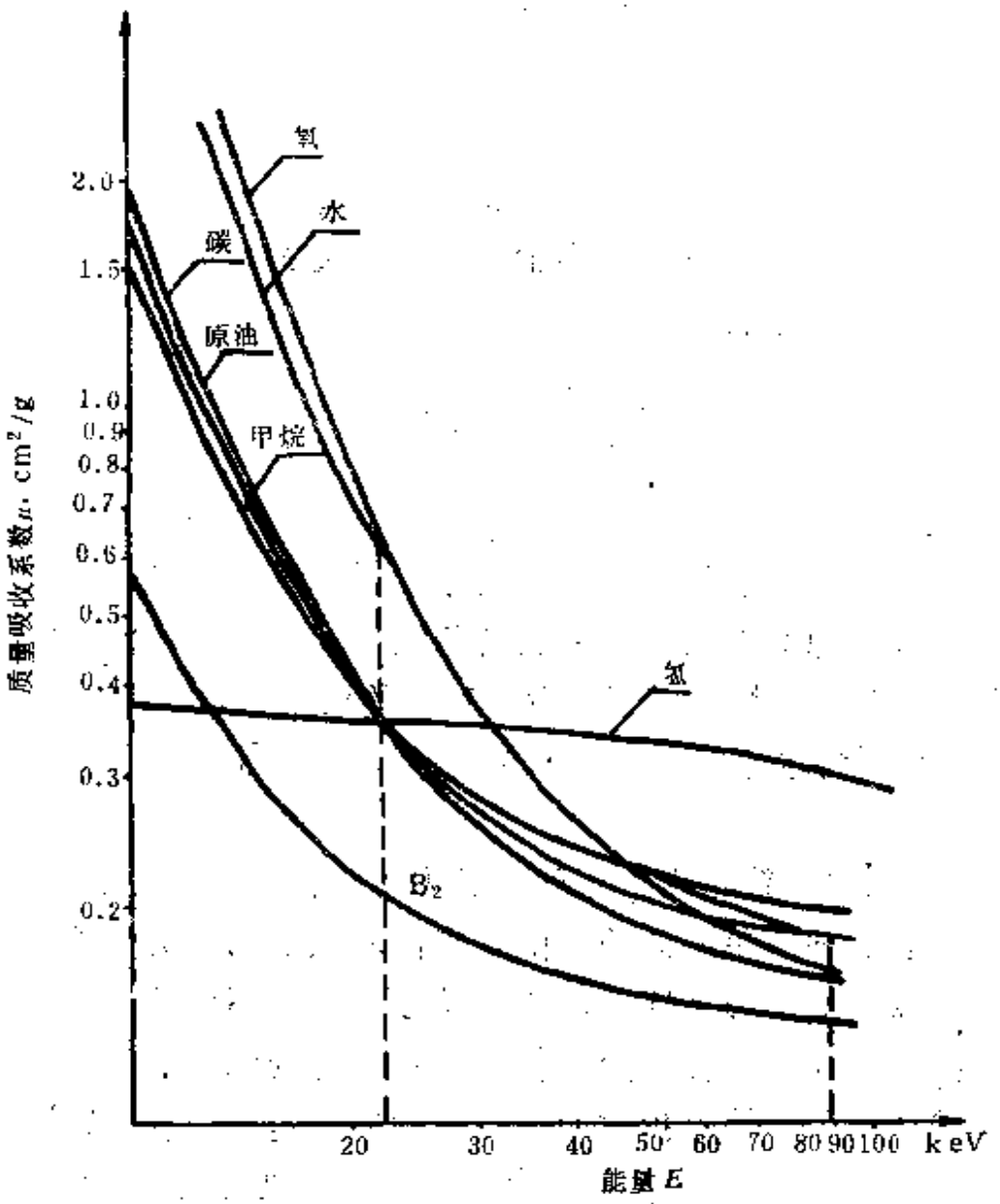


图 1—38 碳、氢、氧铍及原油、甲烷和水的质量吸收系数与射线能量的关系

吸收后的射线强度I_1，就可以计算出井内三相混合流体的平均密度$\bar{\rho}$了。

②持水率Y_w的测量，从图 1—38 可以看出，在能量为22keV处，原油和气（甲烷）的质量吸收系数是相等的，与水的吸收系数有较大差异，根据这一特点，可测量井内三相流混合流体的持水率。

$$I_2=I_{2o}e^{-(\mu_{2o}\rho_o l_o+\mu_{2w}\rho_w l_w+\mu_{2g}\rho_g l_g)}$$

式中 I_{2o}，I_2——光子能量在22keV左右吸收前后射线强度；

μ_{2o}，μ_{2w}，μ_{2g}——分别是光子能量在22keV处油、水、气的质量吸收系数。其中$\mu_{2o}=\mu_{2g}=\mu_{2w}$；

ρ_o，ρ_g，ρ_w——分别为油、气、水密度；

l_o，l_g，l_w——分别为油、气、水的折合厚度。

经数学推导得出公式：

$$Y_w=\frac{l_n(I_{2o}/I_2)-\mu_2\bar{\rho}l}{(\mu_{2w}-\mu_2)\rho_w l} \qquad (1-12)$$

式中I_{2o}，μ_2，l，ρ_w，μ_{2w}及$\bar{\rho}$都应为已知量，只要测出低能光子的吸收后的射线强度I_2，就可以计算出持水率了。

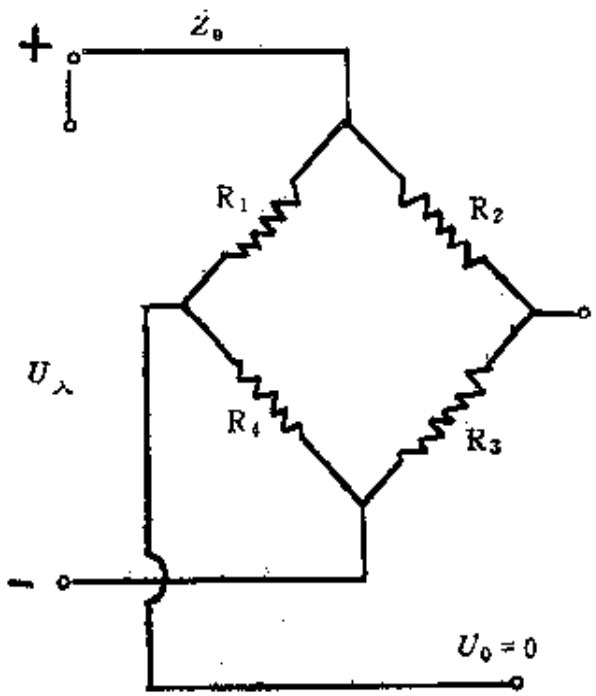
③放射源的选用 选用放射源镉^{109}，它可放出22keV的X射线和88keV的γ射线，这正是我们需要的两种能量的射线。用22keV的X射线测含水率，用88keV的γ射线测密度、满足了仪器的测试要求。

3）压力参数的测量原理 压力传感器采用的是固态压阻传感器，它是利用单晶硅的压阻效应而制成的一种力敏器件。此种传感器以单晶体为基体，按特定晶面，根据不同的受力形式加工成不同形状作为弹性应变元件，在弹性应变元件的适当位置上，用集成电路工艺技术扩散四个等值的应变电阻组成惠斯登电桥，如图1—39所示。当不受压力作用时，电桥处于平衡状态，当受到压力作用时，一对桥臂电阻变大，另一对变小，电桥失去平衡，若对电桥施加一恒定电压，即可检测到对应于所加压力的电压信号，从而达到测量流体压力的目的。其计算公式是：

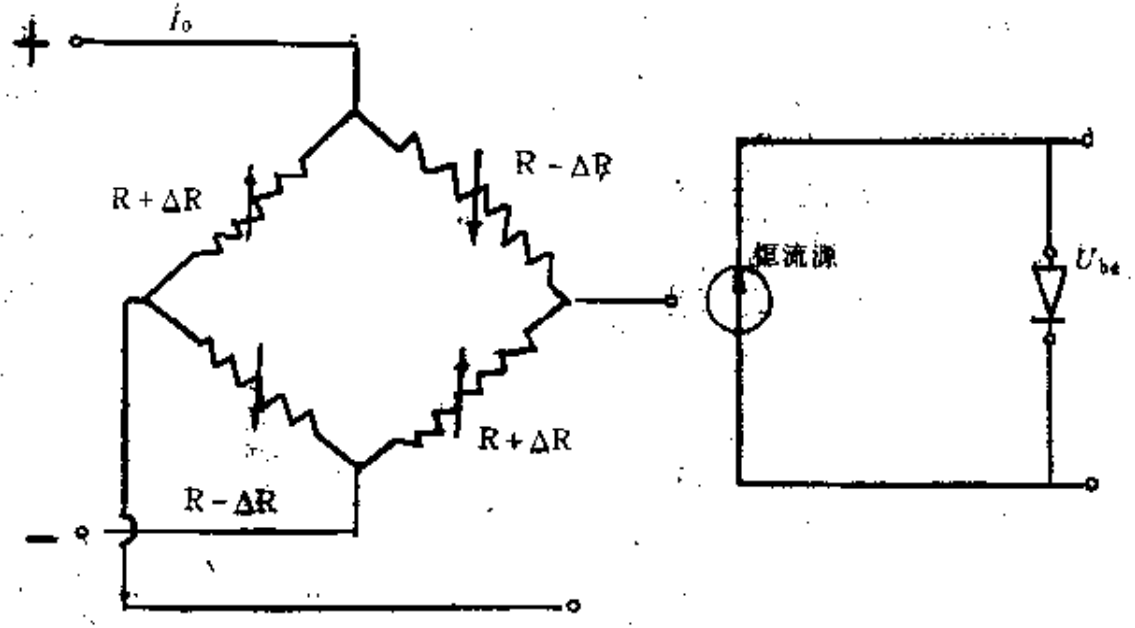
$$U_{out}=\frac{R_1R_3-R_2R_4}{R_1+R_2+R_3+R_4}I_0 \qquad (1-13)$$

4）温度参数测量原理 温度传感器是由数组PN结密封封装而成。当流经串联PN结的电流I恒定时，则串联PN结的输出电压V_{BE}是随温度的升高而成比例减小的。如图1—40所示。

$$V_{BE}(T_A)=V_{BEO}-K_{TA} \qquad (1-14)$$



(a)无压状态



(b)受力状态

图 1—39　应变电阻组成的惠斯登电桥

图 1—40　温度传感器原理图

式中 V_{BE0}——0℃时传感器的输出电压值，mV；

T_A——测点温度值，℃；

$V_{BE}(T_A)$——表示传感器处于T_A温度时，其输出的电压值，mV；

K_{TA}——仪器的仪表常数值，mV/℃。

（2）油气水三相产出剖面的获得　由井下仪器测得的五个参数，并不能直观地得到油、气、水三相产出剖面，而需要把所测数据和其它有关参数经综合解释后才能得到。当井内混合流量足够高时（这个门限值由模拟实验确定），存在着下面的基本关系式：

$$Y_o+Y_g+Y_w=1 \qquad (1-15)$$

$$Y_o\rho_o+Y_g\rho_g+Y_w\rho_w=\bar{\rho} \qquad (1-16)$$

式中 Y_o——持油率；

Y_g——持气率；

Y_w——持水率（测量值）；

ρ_o——原油密度；

ρ_g——气密度；

ρ_w——水的密度。

只要能求出Y_o和Y_g，就可以求出油气水各相的流量。解方程组得：

$$Y_o=\frac{-Y_w(\rho_w-\rho_g)-\rho_g+\bar{\rho}}{\rho_o-\rho_g} \qquad (1-17)$$

$$Y_g=\frac{Y_w(\rho_w-\rho_o)+\rho_o-\bar{\rho}}{\rho_o-\rho_g} \qquad (1-18)$$

式中Y_w和$\bar{\rho}$是井下仪器测量得到的数据，而ρ_o、ρ_g、ρ_w三个参数是变量，在井下高温高压条件下与地面标准状态有着明显的不同，油、气、水三相的体积都会产生压缩或膨胀，特别是天然气随压力、温度改变，密度发生很大的变化。

1）井下气体密度ρ_g的确定　对于井下ρ_g的确定，有"范德华方程"法和"气体偏差系数"法，两种方法对单组分（甲烷）模

拟计算结果基本相同，采用“范德华方程”较为简单。

范德华方程式如下：

$$pV=RT\left[1+\frac{9p\cdot T_c}{128p_c\cdot T}\left(1-6\frac{T_c^2}{T^2}\right)\right] \qquad (1—19)$$

式中 p——环境压力，MPa；

V——所求气体体积，L/mol

R——气体常数，$R=0.008206$ L·MPa/mol

T——环境温度，K；

p_c——临界压力，MPa，甲烷(CH_4)的$p_c=4.64$MPa；

T_c——临界温度，甲烷临界温度$T_c=191$K

气体体积因数B_g

$$B_g=\frac{V_{gwf}}{V_{gsc}}=\frac{\rho_{gsc}}{\rho_{gwf}} \qquad (1—20)$$

式中 V_{gwf}——井下气体的体积；

V_{gsc}——标准状态下气体的体积；

ρ_{gsc}——标准状态下气体的密度；

ρ_{gwf}——井下气体的密度。

由范德华方程计算出标准状态和井下状态的气体的体积比，已知单组分甲烷标准状态下的密度，由此可以推算出井下条件下气体的密度ρ_{gwf}。

2）井下原油密度ρ_{owf} 井下原油密度可根据油田的高压物性资料查得，也可以通过计算获得，计算公式如下

$$\rho_{owf}=\frac{\rho_{osc}+0.001223\gamma_g R_s}{B_o} \qquad (1—21)$$

式中 ρ_{owi}——井下原油密度；

ρ_{osc}——标准状态下原油密度；

γ_g——气体的相对密度；

R_s——溶解油气比；

B_o——原油地层体积系数。

B_o是与井下压力p、温度T、R_s、γ_g等有关的量。通常井下原油密度采取计算的方法是可行的，但考虑到开发多年的老油

田，油井经过压裂，酸化，注水和注气等一系列改造措施，地层原油物性多少会发生一些变化，必将给解释结果带来一些误差。因此在解释时需搜集一些参数，如目前标准状态下油、气、水的密度、地层水的矿化度、气油比等，以期得到较准确的解释。

3）井下水的密度ρ_{wwf}　脱气水的密度是温度T_{wf}、压力p_{wf}及水的矿化度C_{NaCl}的函数，经验公式是：

$$\rho_{wwf}=C_1\cdot C_2/C_3 \qquad (1-22)$$

式中　$C_1=0.624(3.05\times10^{-7}\log C_{NaCl}+1.795)$

$C_2=1-2.4\times10^{-6}p_{wf}-1.4\times10^{-5}T_{wf}+0.0047$

$C_3=1+1.063\times10^{-6}T^2_{wf}-1.86\times10^{-5}T_{wf}$

通常都是将仪器下到油井内的“死水区”，得到该井水的密度值。对于注气井必须了解更多的参数才能得到更准确的解释。

4）三相产出剖面的获得　由以上方法得到ρ_o、ρ_g、ρ_w三个参数后，可以计算出Y_o和Y_g。

根据模拟实验结果对Y_o、Y_g、Y_w进行校正，得到含油率K_o，含气率K_g和含水率K_w。

根据前述方法得到了油、气、水三相混合流体的体积，按测量和计算得到各相的比，求出各相的体积流量。

$$Q_o=K_oQ$$

$$Q_g=K_gQ$$

$$Q_w=K_wQ$$

根据气体的体积因数，将各测点所测得的气体体积流量换算成标准状态下的体积流量，再用递减法分别计算出分层产油量、产气量和产水量，获得三相产出剖面。这套数据处理已汇编成程序，由计算机进行数据处理，可直接获得三相产出剖面。

（3）主要技术指标

1）流量测量范围及精度

测量范围

用清水刻度	2～80m^3/d±5%
涡轮启动排量	1m^3/d

根据技术指标检测结果，按集流压力损失0.03MPa，不同流体密度、有不同的流量上限。具体数据见表1—13和图1—41。

表 1—13 不同流体密度的流量上限

密度，g/cm³	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1
流量上限，m³/d	175	150	130	120	110	95	90	80

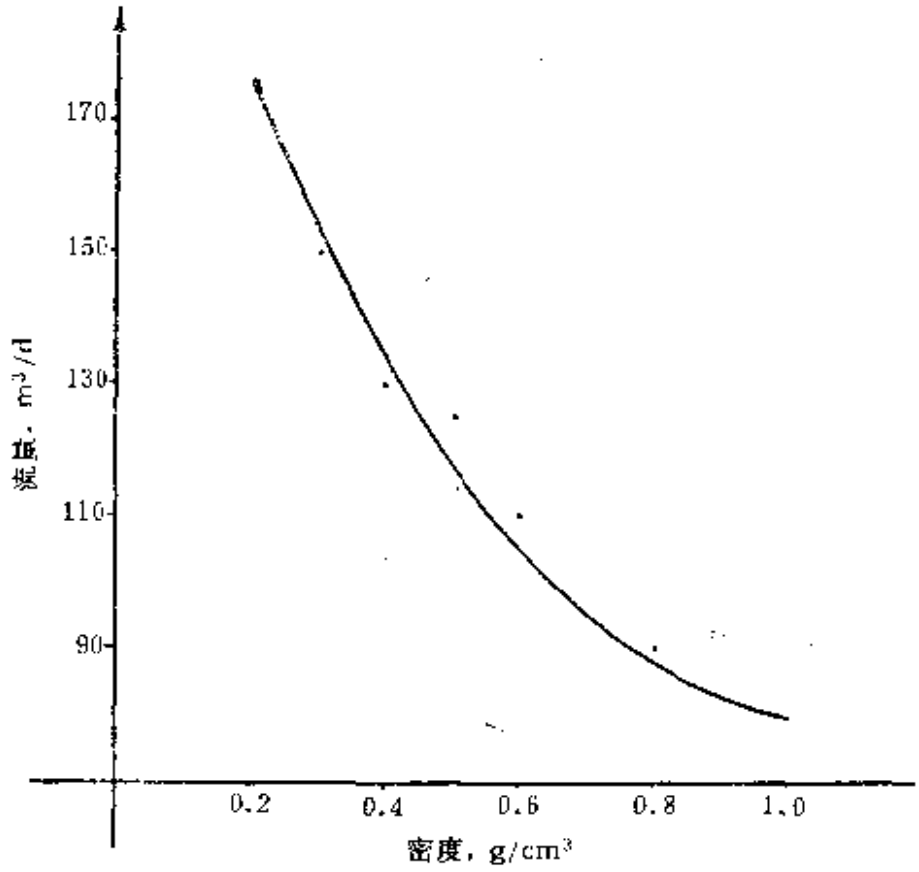


图 1—41 集流压力损失0.03MPa时不同密度流量上限值

测量精度：

①由于涡轮仪表常数是个变量，密度从 0.2～0.8g/cm³，各密度点仪表常数K的非线性误差最大$\Delta_1=3.42\%$；

②$\rho=0.2\sim0.8$g/cm³涡轮仪表常数K与流体平均密度$\bar{\rho}$线性回归的非线性误差$\Delta_2=2.42\%$；

表 1—14 过环空三相流测

井号：中10-丙130

测井日期	1990.10.12	仪器数据	高能	空　气
测井目的	环空三相测井			水
仪器编号	1#		低能	空　气
				水

队长：　　操作员：　　解释：

序号	层　号	测点深度 m	高周计数 N/10s	低周计数 N/10s	涡轮转速 r/min	测量结果				
						体积流量 m^3/d	密度 g/cm^3	含水率 %	温度 ℃	压力 MPa
1	$S_{I1\sim II23}$	726.0	6457	8467	5030	149.1	0.203	8.3	37.48	1.75
2	$S_{II24\sim32}$	760.0	6410	8284	4660	136.4	0.211	8.8	39.58	1.94
3	$S_{III\sim III4}$	764.8	6400	8254	4560	133.1	0.212	8.8	39.74	1.94
4	$S_{III5+6\sim7}$	819.0	6333	8065	3950	113.2	0.224	8.9	40.46	2.30
5	$S_{III8\sim10}$	827.2	6290	7974	3230	91.5	0.232	8.7	40.83	2.37
6	$P_{I1\sim2}$	880.0	5528	5818	1909	44.3	0.376	12.3	42.14	2.70
7	$P_{II22\sim4}$	886.2	5328	5180	1330	29.3	0.417	15.5	42.44	2.75
8	$P_{II42\sim5}$	892.0	5182	4712	960	20.4	0.448	18.4	42.85	2.80
9	$G_{I1\sim6+7}$	917.0	4514	3158	681	12.3	0.602	27.3	43.69	3.04
10	$G_{I8-8\sim9}$	931.0	3441	1186	266	3.7	0.906	60.2	43.97	3.19

井解释结果

7741N/10s	油井数据	产液量	30.0t/d
3035N/10s		含水率	33.3%
13713N/10s		气油比	m^3/t
589N/10s			

校对：

合层解释结果							分层解释结果		
含油率 %	含气率 %	质量流量 t/d	产油量 t/d	产水量 t/d	产气量 m^3/d	标准状态下产气量 m^3/d	产油量 t/d	产水量 t/d	产气量 m^3/d
13.9	77.8	30.2	16.6	12.3	116.1	1929.2	1.1	0.3	3.2
14.2	77.0	28.7	15.5	12.0	105.1	1926.0	0.2	0.3	52.8
14.4	76.8	28.3	15.3	11.7	102.2	1873.2	1.2	1.6	12.0
15.5	75.6	25.4	14.0	10.1	85.5	1861.2	1.8	2.1	332.2
16.7	74.6	21.2	12.2	8.0	68.2	1529.0	1.5	2.5	881.6
30.4	57.3	16.7	10.8	5.5	25.4	647.4	3.3	0.9	244.6
31.7	52.9	12.2	7.4	4.5	15.5	402.8	2.2	0.1	134.9
31.9	49.7	9.2	5.2	3.8	10.1	267.9	1.2	0.4	153.9
40.4	32.3	7.4	4.0	3.4	4.0	114.0	2.9	1.2	111.9
37.9	1.9	3.4	1.1	2.2	0.1	2.1	1.1	2.2	2.1

③影响体积流量测量精度的还有密度参数引入的误差，按全量程±0.02g/cm³，相对误差$\Delta_3=2\%$。求体积流量的测量精度，按均方差合成

$$\Delta=\pm\sqrt{\Delta^2_1+\Delta^2_2+\Delta^2_3}=\pm4.64\%$$

所以体积流量测量精度是±5%。

应说明的是：

①在低密度（$\rho\leqslant0.4g/cm^3$），由于气相不稳，个别点离散度大，在做数据处理时，剔除粗差。

②在低流量时，由于滑脱现象存在，测出流体平均密度后，计算出体积流量小于或等于校正值时，应对平均密度进行校正再计算体积流量。

2）密度测量范围及精度

$0\sim1g/cm^3$，$\pm0.02g/cm^3$

3）含水率测量范围及精度

0～100%，±10%

4）耐温　　≤60℃

5）耐压　　≤20MPa

（4）测井和解释实例　图1—42为大庆中10-丙130井第一测点利用环空三相流测井仪记录的流量曲线。

表1—14则是该井10个测点过环空三相测井仪的室内分层解释成果。

8. 过环空非集流型多参数测井仪

过环空非集流型多参数测井仪是大庆生产测井研究所为解决高产液抽油机井产液剖面测试而研制的。该仪器由连续流量计、压差密度计、井温仪、压力计和接箍定位器五种仪器组成。可在有杆泵抽油机井中测量连续流量曲线、密度曲线、井温、压力和接箍五条曲线。将曲线经计算机解释，可得到产出剖面分层定量解释成果。

（1）结构原理　下井仪器由三部分组成（流量计和压差密度计为单一参数仪器；井温仪、压力计和接箍定位器则组合在一

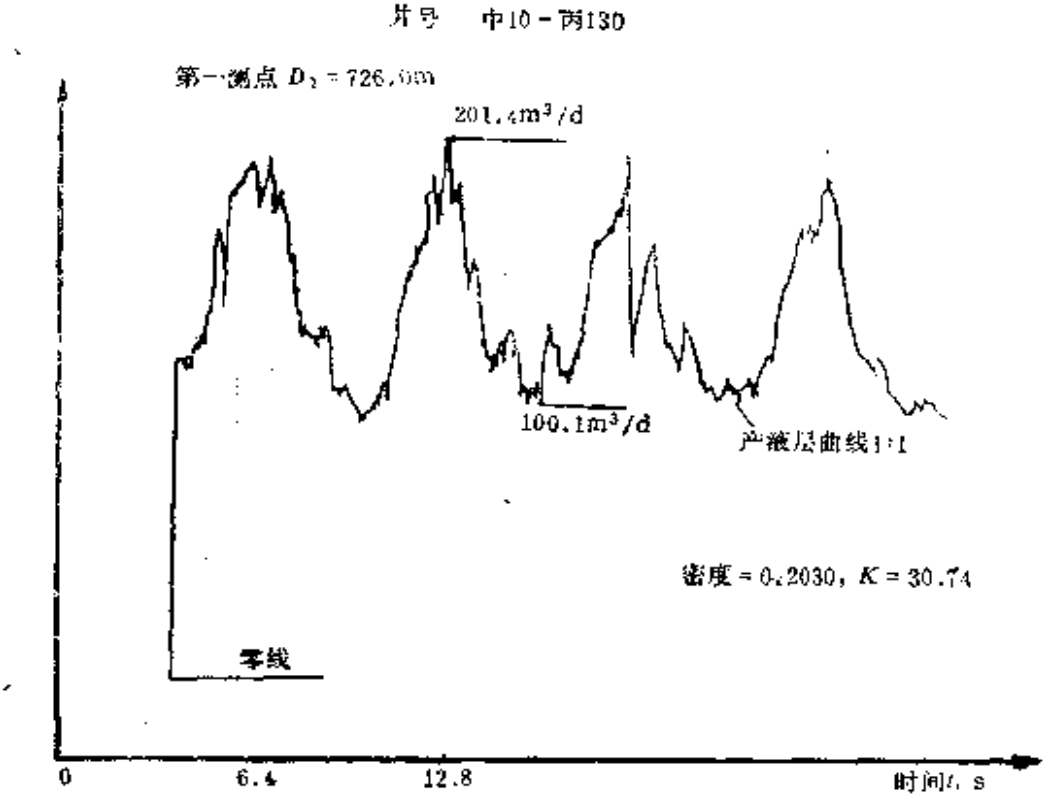


图 1—42 过环空三相流测井仪集流点测连续记录曲线

起），其结构示意图见图1—43。

1）连续流量计 由电缆头、上长加重杆、柔性连接器、上和下扶正器、涡轮传感器及信号处理电路等部件组成。

涡轮传感器采用外露型，使其对流速的响应，对出液口横向冲击的响应更敏感。流量计的机电信号转换采用了霍尔元件，与传统的磁电转换相比消除了磁阻，减少了一对轴承的摩擦阻力。涡轮每转一圈可输出八个脉冲，脉冲信号经井下仪器的信号处理电路处理后，并通过电缆输送到地面仪器，记录出连续流量曲线。

扶正器由微电机控制，并装有控制行程的电路。下井时扶正器收拢，测井前将扶正器打开，以保证涡轮传感器居中，使其所测量的是井的中心流速。

柔性连接短节使仪器由刚体变为柔性体，以使仪器能顺利通过油套环形空间下井和提升。

2）压差式密度计 采用扩散硅双波纹管三弹性元件。扩散硅

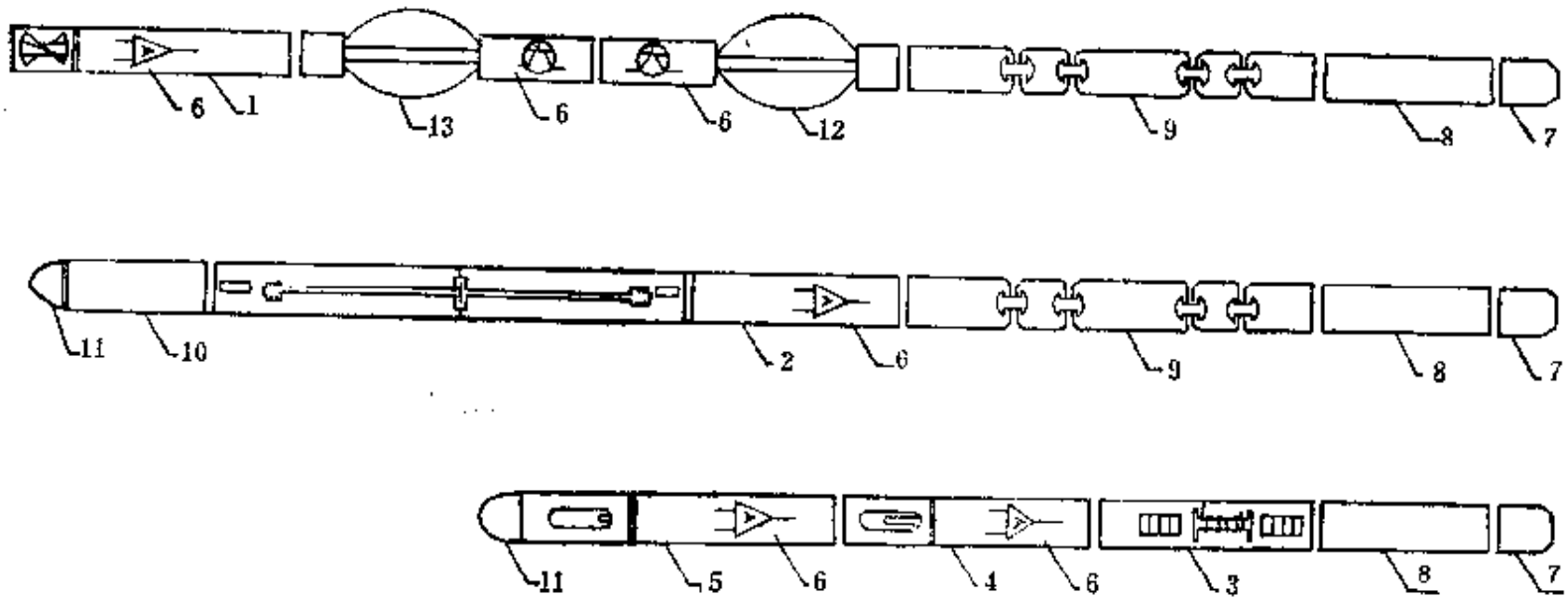


图 1—43　过环空非集流型多参数测井仪结构示意图

1—流量计；2—压差式密度计；3—节籍定位器；4—井温仪；5—压力计；6—仪器信号处理电路；7—电缆头；8—上长加重杆；9—柔性连接器；10—下短加重杆；11—仪器底部护帽；12—上扶正器；13—下扶正器

力敏元件是一种新型传感器，它具有极高的灵敏度。硅杯与玻璃、金属之间采用静电硬封装新工艺，各走线管接头采用气体保护焊或钎焊等新技术，提高了仪器的可靠性。

压差密度计结构图见图1—44。

3）温度计　采用了进口的铂电阻传感器。该传感器灵敏度高，性能稳定，并有较好的线性度。井温曲线是流量曲线的主要参考资料。

4）压力计　采用了新型的溅射薄膜压力传感器，提高了压力计的稳定性及灵敏度。

（2）主要技术指标　见表1—15。

（3）解释方法　通过油水井模拟，已制作了油水两相流的解释图版，通过对比图版，可解释出分层产液量和含水比。

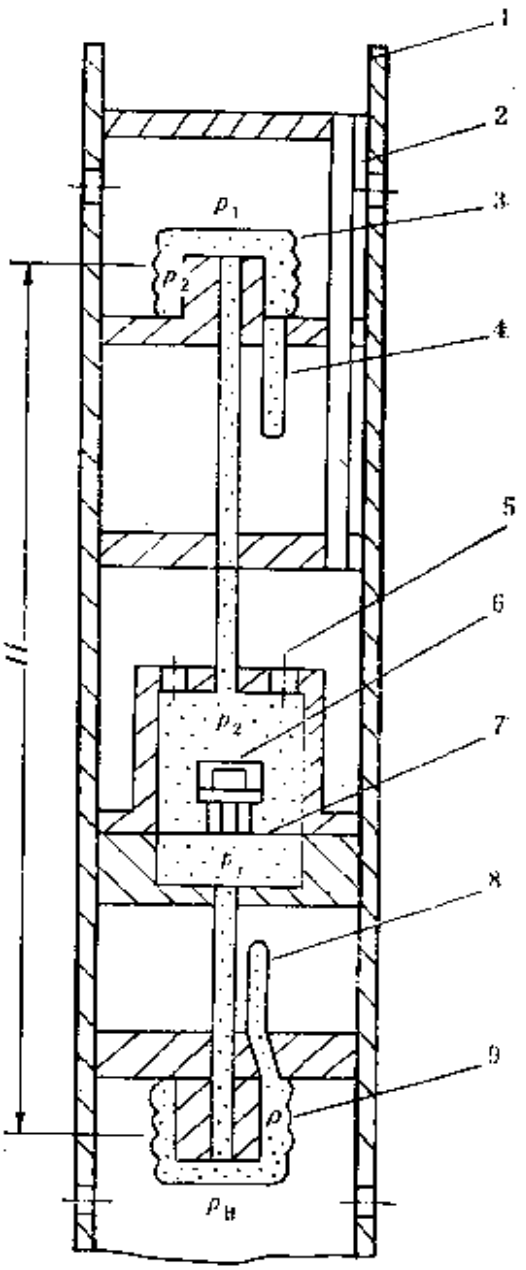


图 1—44　压差密度计结构图

1—电路室；2—走线路；3—上波纹管；4—上调整油管；5—引线子；6—硅杯；7—中心膜片；8—下调整油管；9—下波纹管

（二）抽油井过环空测井辅助设备及测试工艺

抽油井过环空测井技术是在油井正常生产条件下，从抽油井油套管环形空间起下仪器，在套管内产层部位录取产液剖面的一种测试技术，其测试工艺示意图见图1—45。

表 1—15 过环空非集流型多参数测井仪主要技术指标

仪器名称	外形尺寸，mm		耐温	耐压	主要参数指标
	外径	长度	℃	MPa	
环空流量计	25 (局部 27)	500	120	30	启动排量：清水≤40m³/d 油水两相井筒有底水 油泡通过≤2m³/d 非线性误差：≤±3% 测量范围：2～500m³/d（5½"套管连续测量）
环空压差密度计	25	1800	60	10	测量范围：0～1.2g/cm³ 仪器分辨率(灵敏度):0.005g/cm³ 绝对精度：±4%F.S
温度计	25 (局部 27)	635	120	15	测量范围：0～120℃ 分辨能力：0.1℃ 绝对精度：±1℃
压力计	25 (局部 27)	625	80	5 10 15 20	测量范围：0～5、10、15、20MPa 分辨能力：0.01MPa 绝对精度：0.5%
接箍定位器	25	450	60	15	居中条件下，输出信号50mV
上扶正器	25	1015	120	30	可控开闭式，供电电压15V、电流100mA
下扶正器	25	1035	120	30	

从过环空测试的特点可知，要想完成抽油井产液剖面的测试，必须配备有相应的专门井口等辅助设备，并满足各种技术条件。

1. 油井设备及井场条件

（1）井口装置

1）必须装有性能良好、转动灵活，能满足测试要求的偏心井口；

2）测试孔通径在ϕ30mm以上。

（2）井场

1）井场平整，能摆放三台测试车；

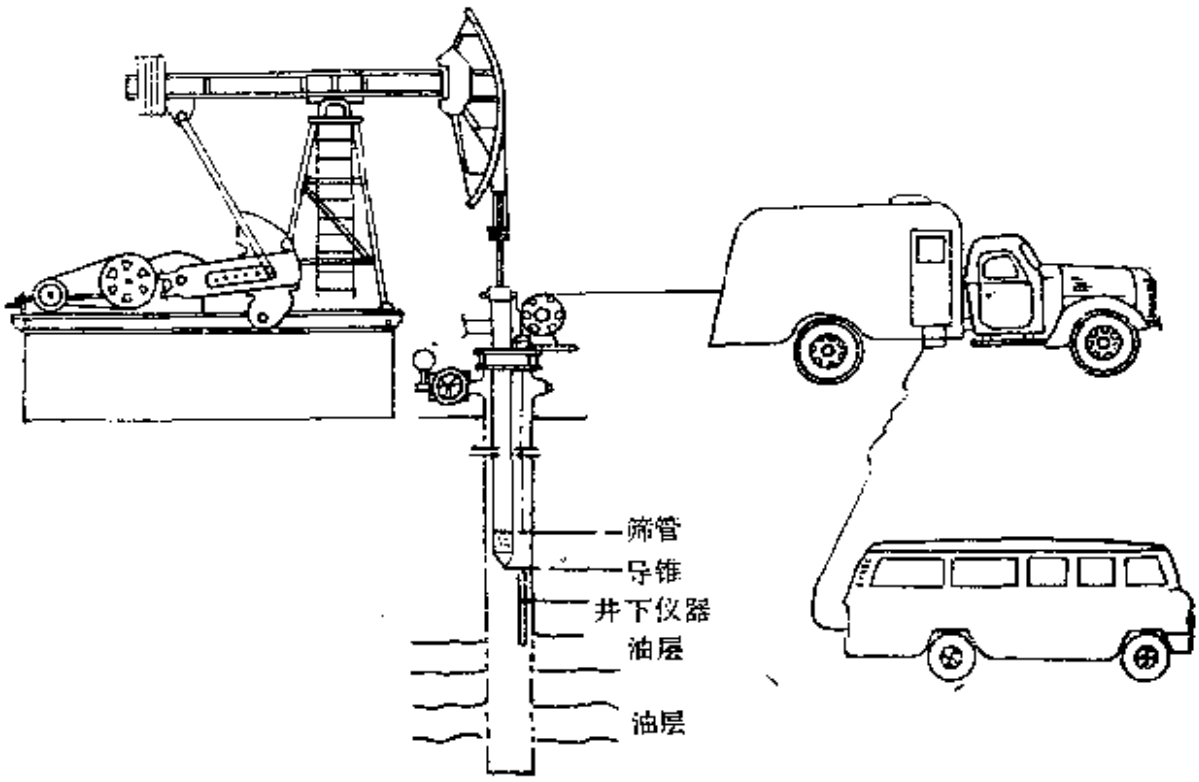


图 1—45　抽油井过环空测井工艺示意图

2）有220V交流电源。

（3）油管

1）下入$2^1/_2$″平式油管或2″油管；

2）管柱上无回音标、磁防蜡器、封隔器等井下工具。要求管柱任一部位的外径都不得大于90mm（包括深井泵外径在内）；

3）与偏心井口油管挂连接的第一根油管必须是一根整油管。严禁油管挂下部安装短节，以确保井口附近无油管接箍；

4）油管柱底部必须装上导锥（特殊的油管鞋）。不允许安装丝堵或喇叭口。为防止和减少电缆缠绕油管，最好在导锥下面装上防缠器。

5）导锥距油层顶部的距离不小于10m。

（4）套管

1）油层段套管内径要求在ϕ121～126 mm 范围内，最好为ϕ124mm。

2）套管完好无损，不漏、无严重变形和管外不串槽；

3）在装偏心井口前，要用ϕ118×300mm的通井规通井至射孔井段底部，最好用套管刮削器刮至射孔段下界。

（5）油井及油层条件

1）非稠油井、结膏、结盐和结蜡井及下封隔器的分采井或下绕丝筛管的防砂井；

2）井斜一般不超过17°；

3）油井动液面越低对测试越有利；

4）井口套压不宜过高，要求小于15MPa；

5）全井产液量符合测试用仪器的技术指标要求，保证在仪器测量范围以内；

6）测点夹层厚度一般应大于1m；

7）井下无钢丝绳及电缆等落物。

2. 偏心井口装置

偏心井口装置是抽油井环空测试的关键辅助设备。

（1）DPAT型单转偏心井口　为江汉石油管理局采油工艺研究所研制的，用于环空测试的井口装置。该井口油管挂相对于套管中心呈偏心状态，井筒中的油管柱紧靠套管内壁的一侧。偏心油管挂通过一平面球轴承座落在套管法兰或套管四通法兰上，因而可以围绕套管中心转动。见图1—46。

当井下仪器在环形空间起下过程中遇阻、遇卡或发生电缆缠绕油管时，则可转动油管挂来改变油管柱在“月牙形”空间的相对位置，从而达到解阻、解卡和解除电缆缠绕的目的。

（2）SPAI型双转偏心井口　为江汉石油管理局采油工艺研究所在单转井口的基础上，为了更好地解决电缆缠绕问题而研制的。该井口装置具有单转井口的全部功能，其特点是将其油管挂分解为不同心的两件，可实现油管在套管中的偏心转动（单转）和自身转动（自转），使测试孔围绕油管转动，从而更方便地解除电缆缠绕油管的事故。见图1—47。

（3）大庆Ⅱ型、Ⅲ型偏心井口　大庆Ⅱ型偏心井口是大庆采油五厂在江汉DPAI型单转偏心井口的基础上制成的。该井口

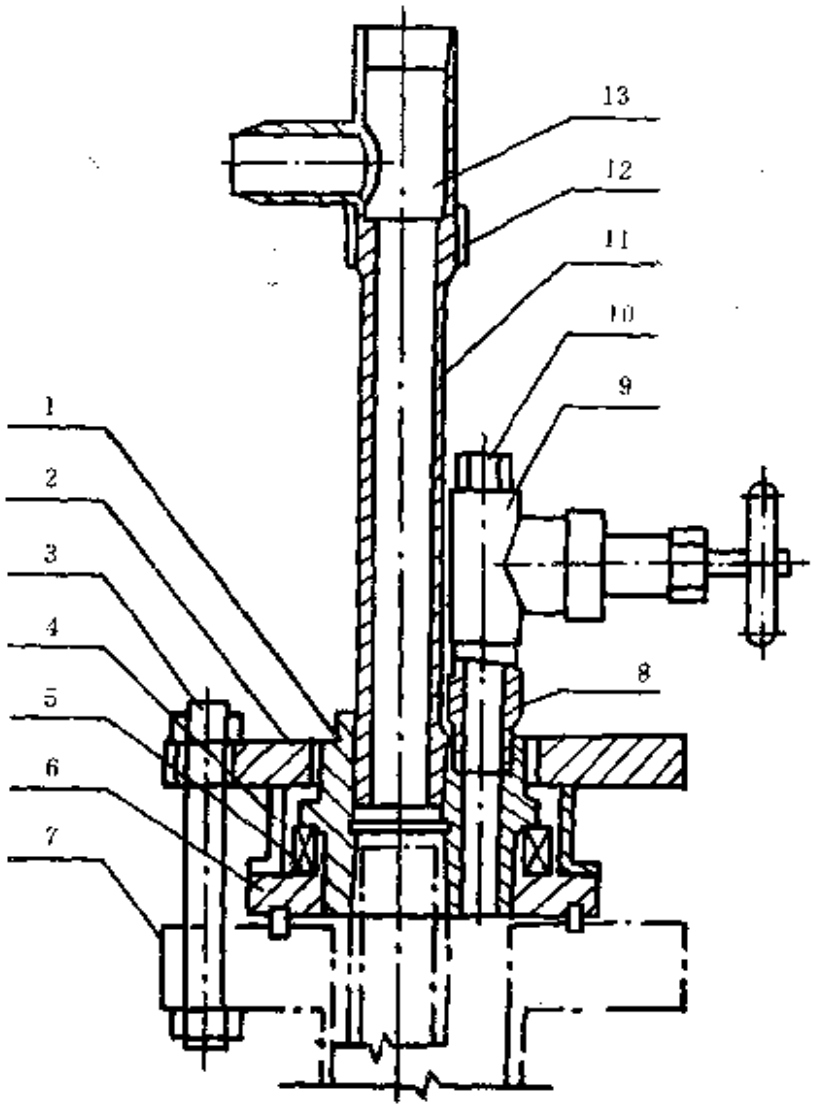


图 1—46　DPAI型单转动偏心
井口结构图

1—转动油管挂；2—法兰；3—螺母及螺杆；4—外套；5—轴承；6—轴承座；7—油管头本体；8—法兰；9—井口专用闸门；10—丝堵；11—转动短节；12—活接帽；13—三通

技术性能同江汉DPAI型单转偏心井口。

大庆Ⅲ型偏心井口是在Ⅱ型井口基础上研制而成的，既能进行环空测试，又能不压井作业施工的一种多功能偏心井口。

3. 带压测试防喷装置

抽油井井口一般都有一定的套压，因此，在进行环空测试时，仍需带压作业，才能确保油井的工作制度不变。目前进行环

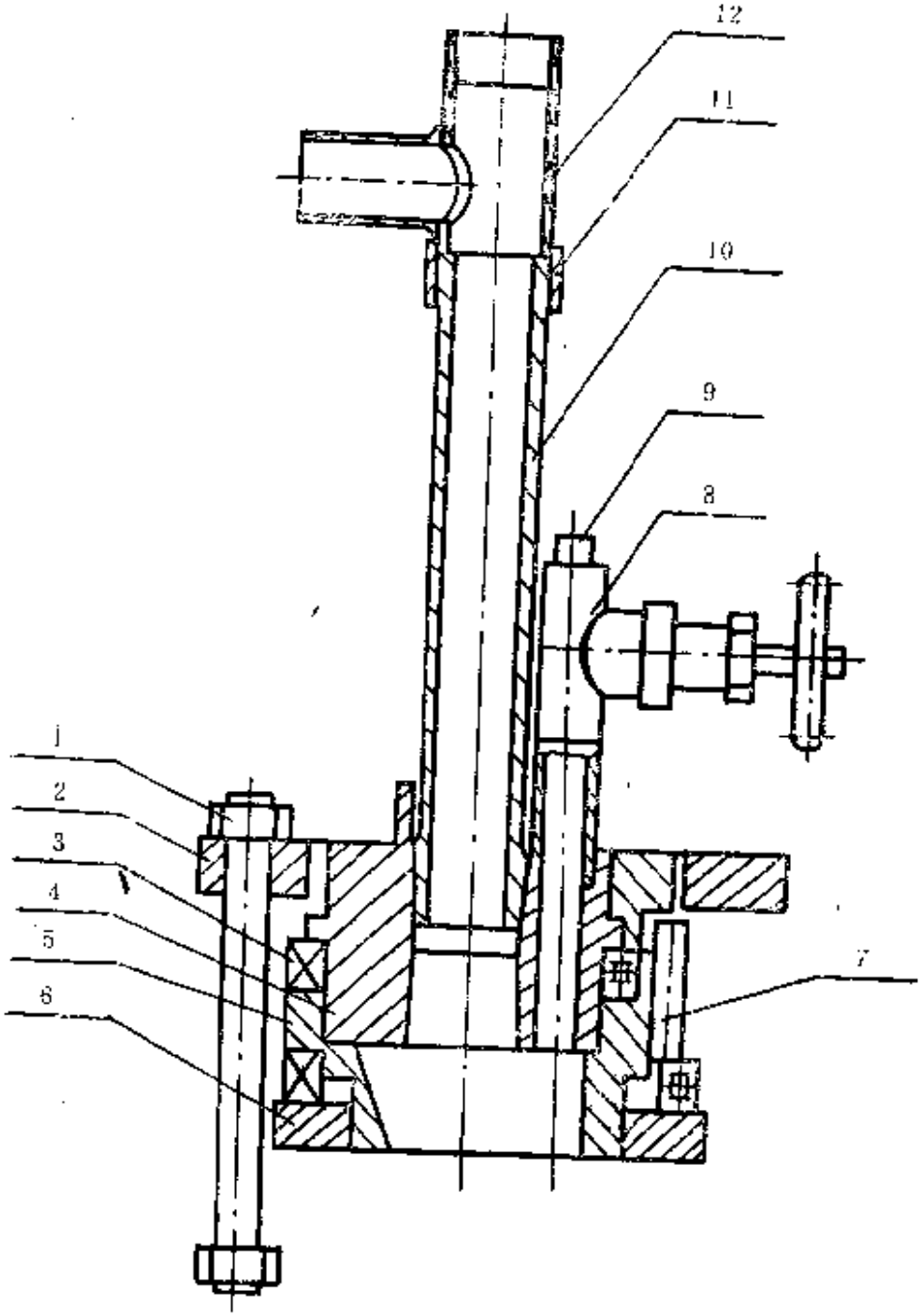


图 1—47 SPAI型双转动偏心
井口结构图

1—螺母与螺杆；2—法兰；3—轴承；4—转动活管挂；5—上轴承座；
6—下轴承座；7—销；8—1¼"闸阀；9—1¼"堵头；10—转动短节；
11—大活接帽；12—三通

空测试时使用的防喷装置主要有“压入式”、“可放式”和“可倾斜式”三种防喷装置。

（1）压入式防喷管

压入式防喷管的主要特点是在井下仪器下入和起出井筒时，防喷管显露在可转动偏心井口测试孔之上，而在起下仪器和测试过程中，防喷管则被压入油套管环形空间。测试完后，可利用井内压力将防喷管顶出。

该防喷管结构比较简单，操作方便，受力状况好。不足之处在于防喷管工作时要压入油套管环形空间，因此其外径和内径均受环空截面的限制，井口不正时，防喷管压入较困难；套压较低的油井，防喷管起出必须靠人力，对于压力较高的井，防喷管则不能压入，使该防喷管应用范围受到一定的限制。

图1—48是压入式防喷管测井时压入环形空间的示意图。

（2）可放式防喷管

由防喷管柱、下仪器绳索和

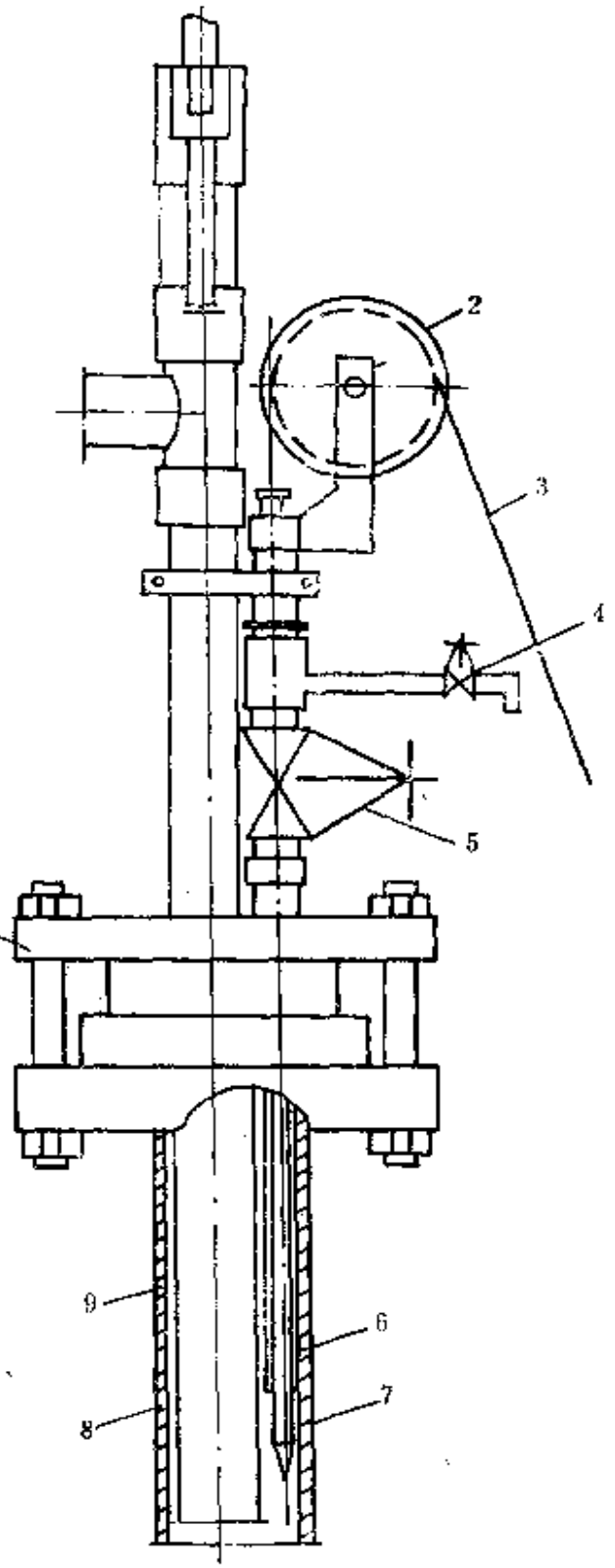


图 1—48 压入式防喷管示意图

1—偏心井口；2—井口滑轮；3—测井电缆；4—放空闸阀；5—1¹/₄"闸阀；6—防喷管；7—下井仪器；8—套管；9—油管

滑轮系统三部分组成。在仪器进出井口时，抽油机驴头暂停在上死点，将防喷管装置直立于井口测试孔的上面；待打开闸阀，油井套管与防喷管连通之后，使仪器在密封的状态下进入或起出井筒。当关闭胶皮闸门截断这一连通之后，则可取下防喷管卧放于井场上，这时便可进行正常抽油和测试。见图1—49。

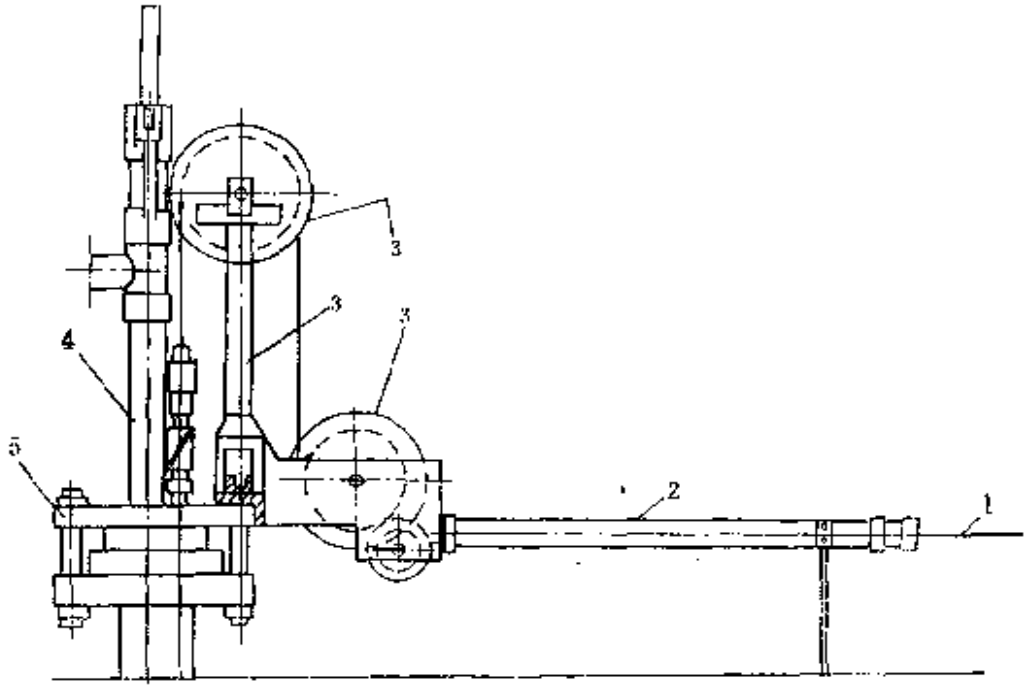


图 1—49　“可放式”防喷管示意图
1—测井电缆；2—测试防喷管；3—井口滑轮系统；
4—出油管线；5—偏心井口

可放式防喷管内通径较大（ϕ 33 mm），适用于直径较大的仪器起下带压测试。但其操作较繁琐，且在放倒防喷管时必须关紧胶皮闸门，很容易挤坏测试电缆。因此这种防喷管也不理想。

（3）可倾斜式防喷装置　HK-1型可倾斜式井口防喷装置是大港油田研制的。该防喷装置防喷性能好，工作性能可靠，重量轻，且防喷管能实现 0°～10° 角的倾斜，可防止抽油机驴头和抽油杆方卡碰撞防喷管，较适合于抽油井环空测试使用。该防喷装置由以下三部分组成。

1）电缆防喷控制头　采用流管密封，人为控制碗形密封变形，不但防喷性能好，电缆出入井清洁，并能抱紧电缆，进行各

种作业十分方便。该控制头结构见图1—50。

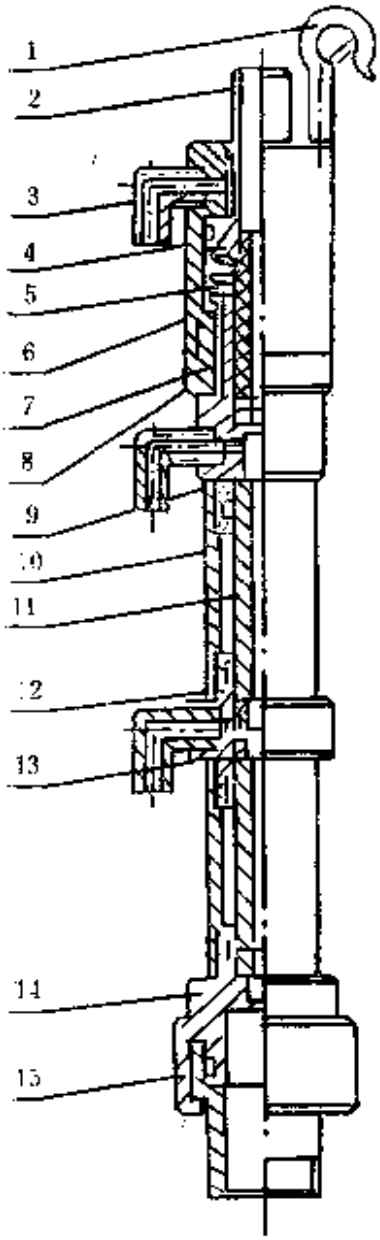


图 1—50 电缆防喷控制头结构图

1—提钩；2—活塞；3—弯头；4—活缸体；5—压套；6—弹簧；7—橡皮块；8—活塞止动帽；9—顶玉体；10—流管外壳；11—流管；12—流管外壳接头；13—流管衬套；14—流管连接头；15—活接

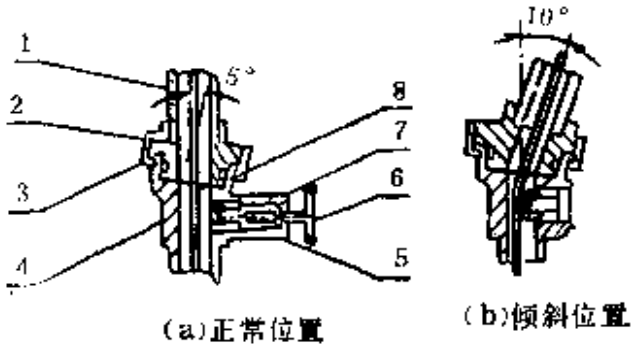


图 1—51 防喷管倾斜机构结构图

1—防喷管；2—倾斜上偏接头；3—倾斜活接；4—倾斜下偏接头；5—导向滑轮；6—调节丝杆及手轮；7—滑轮支架；8—钢丝或电缆

2）倾斜机构 包括倾斜机构旋转接头和导缆轮两部分，结构见图1—51。

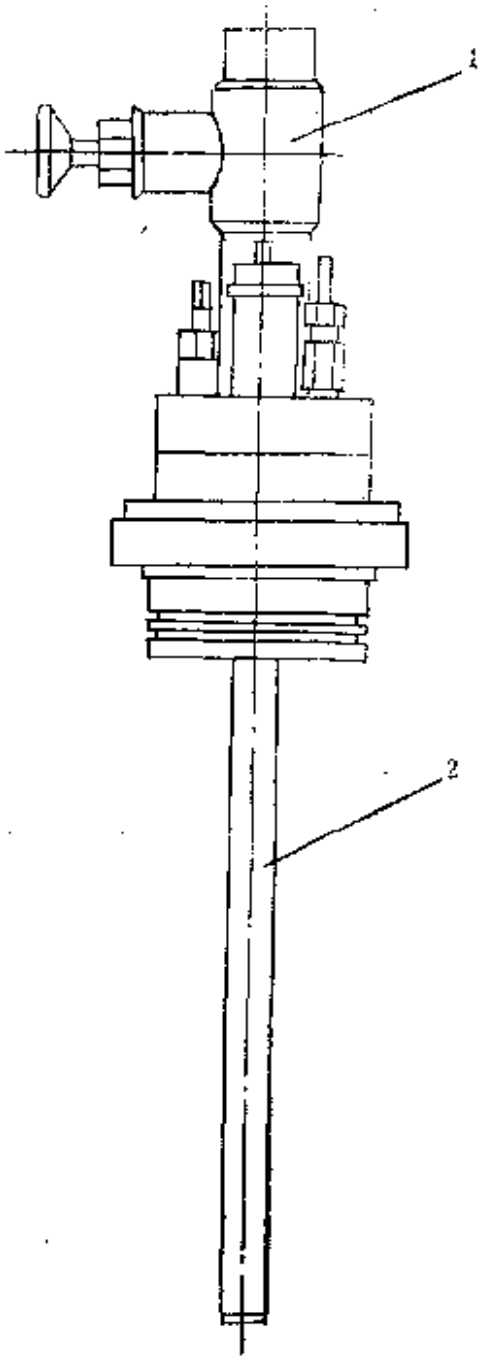


图 1—52　纳入式防喷偏心井口示意图
1—总控制闸门；2—防喷管

倾斜机构的上接头孔中心线与下接头孔中线心和套管中心线都成5°角，当二者偏离方向相反时，上、下中心孔的轴线在同一直线上。当二者偏离方向相同时，上、下接头孔的中心线相差10°，即将上部的防喷角倾斜了10°，导缆轮手柄控制导缆轮的进退，逆时针旋进时扶正电缆，顺时针旋退时通过仪器。

3）双向封井器　主体为一双向闸门，用于变动防喷管位置（倾斜、直立或平放）时进行封井。在电缆进行解缠时，必须关掉封井器，去掉防喷管（平放），可在封井器上部小防喷盒中加装ϕ45mm的对插件橡胶密封件，再进行电缆解缠作业。

（4）纳入式防喷偏心井口　为大港石油管理局采油一厂研制的集偏心井口和防喷管于一体的新型防喷偏心井口。该井口环空部位装有防喷管，管下端有密封开关机构，通过操作开关机构，可以完成防喷管的开闭，保证测试仪器的正常起下。结构示意图见图1—52。

使用该井口测试时，不需要再加防喷装置即可进行带压测试。测试施工时先将仪器送入防喷管，用测试堵头密封住防喷管

上端，打开防喷管底部开关，将测井仪器通过环空送至欲测井段进行测井。测完后将仪器提入防喷管，并关闭防喷管下端开关，然后拧下测试堵头，即可提出仪器。

该井口主要优点是测井不需再带防喷管，尤其方便于高寒地区的冬季施工。由于防喷管在井下，施工时不需吊车，输送电缆也较方便。该井口的缺点是由于防喷管在井下，使得本来很窄的环形空间更窄了。井下防喷管内径只有28～30 mm，使用长度也限制在4～6.5m，这样对测井仪器的外径和长度限制更严格。

该井口使用压力为5MPa，可满足一般带压测井的要求。

4. 电缆缠绕油管的解除

过环空测试一般是在装有偏心井口的抽油井上进行的，由于油管的自重作用，必然使油管偏于套管壁一侧，因而有"新月形"环形空间。并且油井井筒不可能是绝对垂直的，其井斜和方位从井口至导锥也是可能变化的，因而"新月形"断面的方位也在不断变化。测井仪器在起下过程中一般不会钻过油管紧靠套管壁的一侧进入另一侧，从而造成电缆缠绕油管。下面仅以单转偏心井口为例，介绍几种现场行之有效的解除电缆缠绕油管的方法。

（1）转井口法　首先将仪器上提到距井口4m左右，保证解缠是在第一根油管内进行。然后准确判断电缆绕向，由于绝大部分都是右旋缠绕，故可先按右旋缠绕处理。右旋缠绕可以顺时针转动偏心井口，反之可逆时针转动。对于绕向不清按右旋顺时针转动井口时，如电缆从测试孔中缓缓外出，说明判断正确，否则为左旋。

转动井口时油管在转动，从而带动仪器转动，仪器和油管之间的运动相当于两个摩擦轮的运动，见图1—53。油管为主动轮，由于测试孔与油管为一体，当油管挂转动时，测试孔和油管随同转动，摩擦使仪器在套管内壁圆周运动。油管外径周长比套管内壁周长小，加上其间有滑动，所以测试孔的运动速度V_1比仪器的

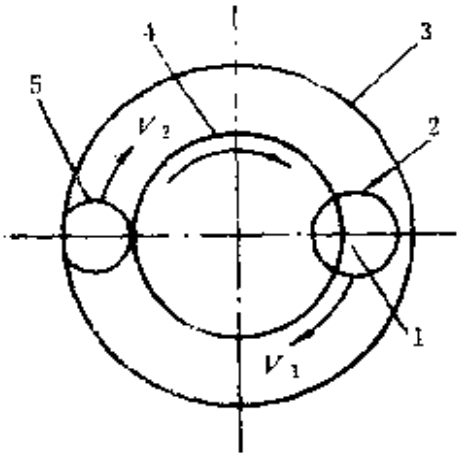


图 1—53　电缆右旋转动井口时仪器越过窄缝运动图

1—电缆；2—井口测试孔；3—套管；4—油管；5—仪器

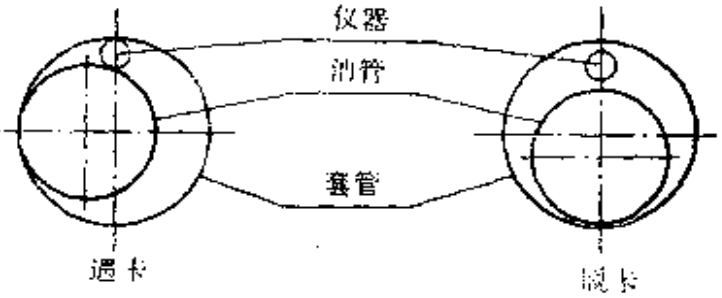


图 1—54　解卡示意图

速度V_2要大。逐渐转动偏心井口，可使仪器和测试孔位于同一方位，即可达到解缠的目的。在解缠时，如果配合使用国外引进的T形解缠仪，解缠效果会更好。该解缠仪长1.5m，直径9.5mm，强度和韧性都很大，与转动偏心井口同时操作。

对于仪器遇卡，也应采取顺时针或逆时针转动使之脱卡。同样，电缆右旋采取顺时针转动，电缆左旋逆时针转动，此时如电缆无明显打扭就可解卡。

解卡示意图见图1—54。

（2）剪断电缆法　对于仪器长或仪器与油管摩擦力过小，转动井口时油管推仪器走，无法用转动井口法解缠，并且可以放掉套管气的油井，可采用剪断电缆法来解除电缆缠绕。具体作法如下：

1）先放空套管气；

2）转动井口，使测试孔在观察孔同方向剖面上；

3）在离井口3—5m处砍断电缆，卸掉观察孔上堵头，将砍断电缆从观察孔中用小钩勾出；

4）从观察孔中分清电缆缠绕方向，然后反方向转动井口，同时拉动仪器使其在测试孔的同侧；

5）下放少许电缆，用小钩将观察孔的电缆断头从测试孔中钩出，再拉动电缆取出仪器。

此种方法既经济、又简单，且成功率达100%，但必须砍断电缆，造成浪费且增加电缆头的组装时间。

（3）抬井口法　这种方法是在上述两种方法不能解缠的情况下使用。具体作法是使用作业机或25吨吊车将井口抬起，就很容易地将仪器取出。此方法不经济，一般情况不使用。

5、防止电缆缠绕的措施

由于解缠费时费力，因此为防止电缆缠绕国内外采取如下几次措施：

（1）新电缆使用前进行放电缆处理，减少电缆的扭劲。

（2）仪器在未过导锥时起速要慢，一般不大于500m/h，且速度均匀。

（3）减少井口卡阻，井口段井斜大的井，电缆绞车摆放的方位应与井口井斜一致。

（4）在不带压的井采用ϕ12.7mm大直径电缆测井。

（5）在油管尾部安装主偏心器、偏心油管锚或电缆防缠器，能有效的防止电缆缠绕。我国中原、华北大庆等油田已使用或部分使用了电缆防缠器，见到了好的效果。

第二章　注入剖面测井

对于注水开发的油田，特别是非均质多油层的油田，为了解注水（气、汽、聚合物）井每个层段或每个小层的注水（气、汽、聚合物）状况而进行的测井，称作注入剖面测井。

通过测量一口井的注入剖面，可以掌握每个小层的注入能力。在一口注水井上连续测三个工作制度，可以给出各个小层的吸水量指示曲线，通过指示曲线，可以解决以下问题：

（1）求出分层吸水的启动压力，掌握分层吸水能力；

（2）确定配注方案；

（3）确定改造层位，检查改造效果。

目前注入剖面测井主要有流量计法和放射性示踪法。通常流量计法用于笼统注水井，而且注水管柱必须在吸水层位顶部10 m以上处，在保证正常注水情况下测量。使用连续流量计测吸水剖面时，其流量测量范围可达2000m^3/d。放射性示踪法使用比较广泛，在我国各油田已普遍应用，年测井可达6000～7000井次。由于放射性同位素示踪法使用的自然伽马-磁定位组合仪，仪器可制造得很细（小于ϕ38mm），因此该方法主要用于有分层配水管柱井。

本章主要介绍注水井的放射性同位素示踪测井和连续流量计测井两种注入剖面测井方法。

一、放射性同位素示踪法测井

放射性同位素示踪法测井是利用放射性同位素人为地提高井内研究对象的伽马射线强度，进而研究井的注入剖面和井身技术状况。其基本方法是随注入剂一起向井内注入载有放射性同位素

的活化载体，在注入前、后分别进行伽马测井，对比两次测量结果，就可以找出注入的放射性同位素在地层中的分布情况，从而可以确定分层注入剖面。

（一）小直径自然伽马-磁定位组合测井仪

小直径自然伽马-磁定位组合测井仪是测量沿井身自然伽马射线强度的仪器。通常可在油管内或带有偏心配注管柱的正常注水井内进行测井。已被广泛用来测量注入剖面和检查套管外因固井质量不好的窜通情况。

小直径放射性自然伽马-磁定位组合测井仪国内品种较多，但目前各油田用量最多的是四川石油管理局重庆石油仪器厂生产的FC_1C38-120型自然伽马-磁定位组合测井仪，而其它同类仪器与其大同小异，因此我们仅对该仪器进行介绍，进而说明自然伽马测井工作原理。

1. 井下仪器

FC_1C38—120型自然伽马-磁定位组合测井仪，其信号（包括自然伽马信号和磁定位接箍信号）共用一根缆芯。它由自然伽马道和磁性定位道组成。其中自然伽马道由闪烁计数器、高压电源及电子线路三部分组成；磁定位道由磁性定位器及放大线路两部分组成。其工作原理是：当地层中的伽马射线射入仪器内的碘化钠晶体后，晶体内产生萤光和磷光。这两种光经光电倍增管，产生倍加放大作用，最后在光电倍增管阳极形成幅度足够大的脉冲电流输出。再经输入级进行电流放大，选择级进行选择整形，电压放大器进行倒相放大，最后由功率输出级输出一个幅度为8V以上，宽度约为40μs的正脉冲，经电容C_{12}耦合至电缆芯，输送到地面仪器。然后这些等幅脉冲经地面仪器的泵计数率电路，输出一个与计数率成正比的直流电压，并送到JD-581或SD-81仪器的测量道进行记录。显然，被测介质中伽马射线越强，脉冲计数率越高，通过地面仪器显示的积分输出直流电压就越大，从而可以从地面面板显示的输出的直流电压大小，来判断被测介质的伽马射线强弱。

在经过套管或油管的接箍时，通过磁性定位器线圈的磁通量发生变化，产生感应电动势，经交流放大器放大后，输出一个负信号去控制控制线路，并使其输出一个负脉冲，经选择整形级整形，电压放大级倒相放大，最后由功率输出级输出一个幅度为8V以上，宽度约为40μs的负脉冲，经电容C_{12}耦合给缆芯，输送到地面仪器进行记录。图2—1给出了井下仪器电路原理方框图。

（1）闪烁计数器　闪烁计数器用来探测带电粒子或伽马射线的强度。

闪烁计数器主要包括闪烁体和光电倍增管两部分。闪烁体的作用是把带电粒子或伽马射线转变成光子，而光电倍增管则把闪烁体放出的光子再转成光电子，并经倍增后形成电压脉冲。

测量伽马射线最常用的闪烁体是（NaI）晶体。其中加上约0.1%～0.5%的铊（T1）做活性剂，记为NaI（T1）。

FC_1C_{38}-120型仪器使用的光电倍增管型号是GDB-30。光电倍增管工作时，通常加上一个约1400～1800V的高压，经电阻分压后，接到各个电极。其中光阴极电位最低，由阴极向阳极方向的各电极电位逐次升高，而阳极电位最高，从而可以得到负脉冲电压。一般光电倍增管的放大倍数在10^4～10^6之间。

在使用闪烁计数器时，必须注意以下几点：

1）碘化钠晶体应避免受潮，防止晶体因潮解而性能变坏或失效；

2）在露光的情况下，光电倍增管不能接高压电源，否则，会因电流过大而烧毁；

3）更换光电倍增管时，要调节光电倍增管的电阻R_{11}～R_{14}的大小，使聚焦极和前三个联极达到最好的聚焦条件。否则，输出脉冲幅度将会下降。

（2）自然伽马道电子放大线路

1）输入级　本级由BG_1（3DG6D）及有关电阻、电容组成，是一个自举式射极跟随器。本级输出阻抗低，能把光电倍增管输出的脉冲进行电流放大，以推动选择整形级。

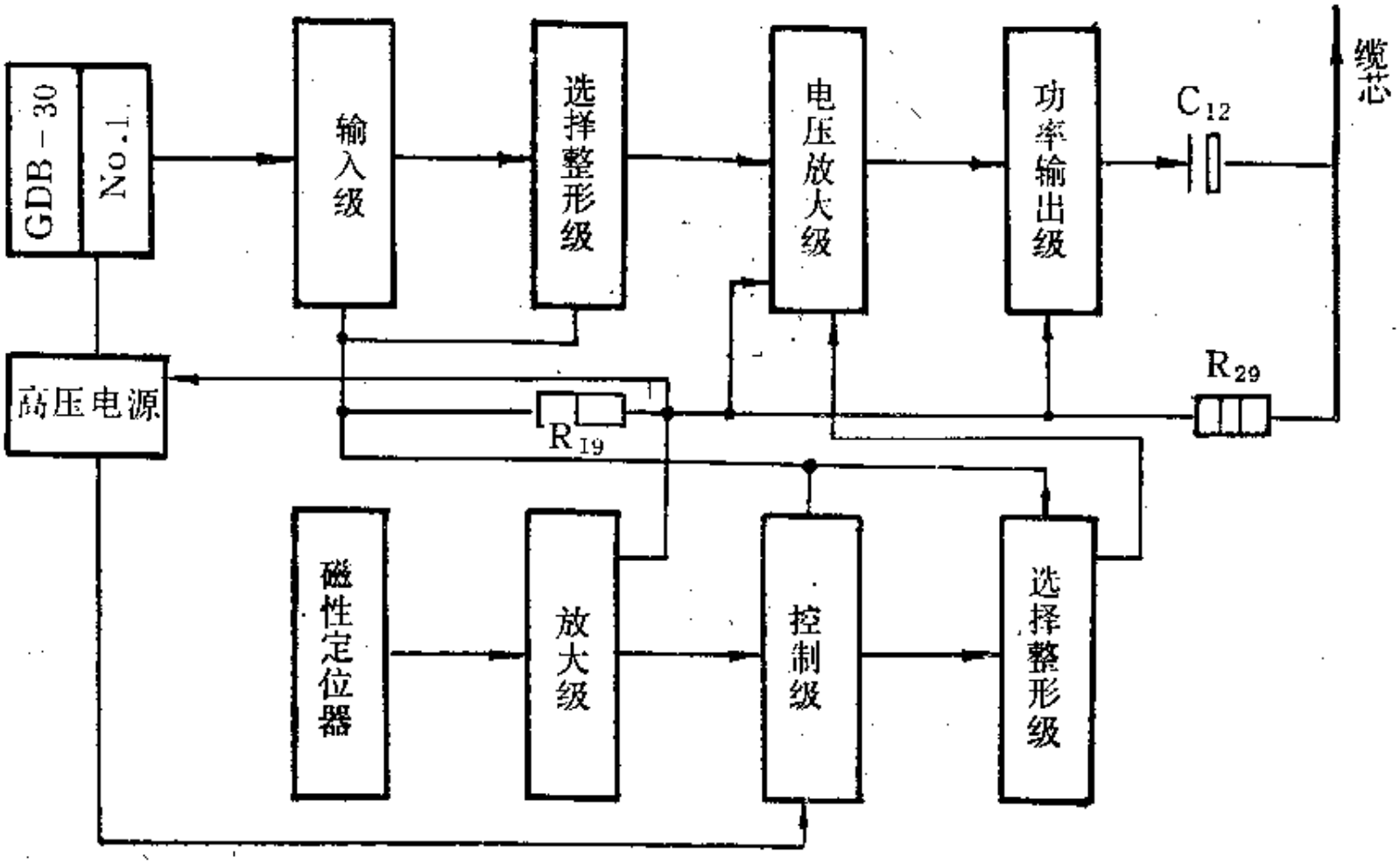


图 2—1　井下仪器电原理方框图

2）选择整形级　选择整形级是由双与非门7MY23D组件及有关电阻、电容组成的微分型单稳态触发电路。见图2—2。

从本级电路的设计可看出，输入必须是负脉冲才能起作用。光电倍增管的输出正是负脉冲。因此，本级就能将经过电流放大的负脉冲进行选择（调节R_{21}）整形，使输出幅度为3V以上，宽度为40μs。（主要决定于C_B、R_B，相当于本线路上的C_9、R_{22}和C_{25}、R_{44}）YF_1输出为正极性YF_2输出为负极性。自然伽马脉冲是由YF_2输出。

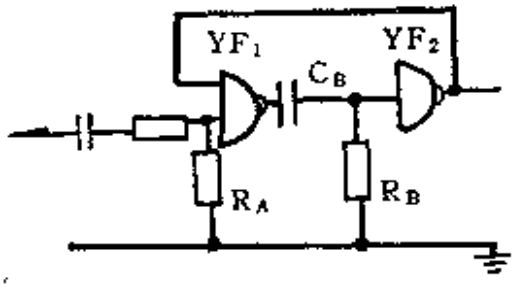


图 2—2　选择整形级单稳态触发电路原理图

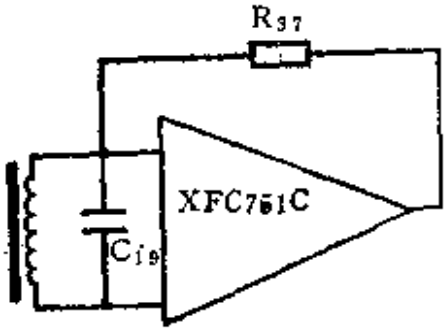


图 2—3　磁性定位器交流放大电路原理图

（3）磁性定位器电路

1）交流放大器　磁性定位器的交流放大线路是由集成电路XFC751C和有关电阻、电容组成的简单放大器。其放大倍数由外部元件决定，与集成电路本身的参数无关。调节线路中的R_{37}就可以改变放大器的放大倍数。当磁性定位器部分经过套管接箍时，磁性定位器线圈内感应出较低频率信号，经本级放大后，有足够的幅度和能量去控制控制级，C_{19}的作用是滤掉瞬间干扰信号。电路原理见图2—3。

2）控制级　控制级电路原理如图2—4所示。本级的BG_8（3DG6D）接成共集极电路，是一个射极输出器。静态时，3DG6D处于饱和状态，没有脉冲信号输出。当经过放大器放大了的较低

频率的接箍信号负半波经C_{22}藕合到3DJ6F的G级时，使3DG6D的基极电位降低，退出饱和区进入放大区，这时，一直加到3DG6D基极上的正负脉冲信号波3DG6D进行电流放大，在发射极输出具有一定能量（以推动7MY23D）的正负脉冲。

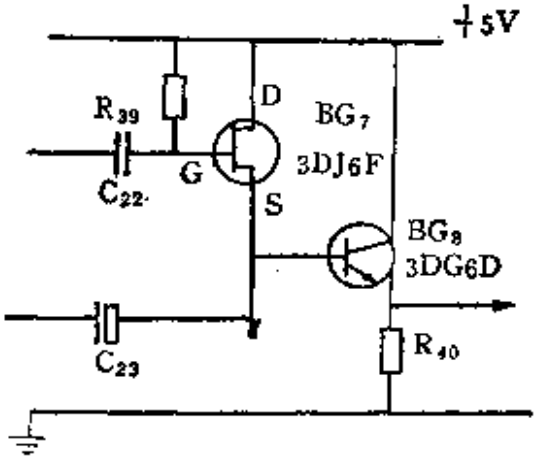


图 2—4 控制级电路原理图

3）选择整形级 此级和自然伽马道的选择整形级一样，都是双与非门7MY23D组成。静态时，YF1输出为低电位，YF2输出为高电位。如前所述，本级只有负脉冲才起作用。这样，当被放大器放大了的接箍信号到来时，控制级输出的一连串正、负脉冲，只有负脉冲才能使YF1翻转。一连串负脉冲经过选择整形级，选择（调节R_{46}）整形后，从YF_1输出一串幅度大于3V，宽度约为40μs的正脉冲信号。

（4）自然伽马和磁性定位器共用部分 电压放大级和功率放大级是一个不可分割的部分，两者组成一个简单的OTL电路。

由自然伽马道整形级输出的负脉冲信号及磁性定位器道输出的正脉冲信号，经过本级电压和功率放大后，分别输出宽度约为40μs，幅度大于8V的正、负脉冲。经过5000m电缆输到地面的正、负脉冲幅度也都大于3V。

（5）高压电源 高压电源是由两个3DG 27C和电源变压器及一些电阻、电容组成。在这个电路中，两个三极管交替导通和

截止，产生共振荡频率为 1.5kHz/s 的准方波，然后由变压器升压，经倍压整流、滤波和稳压后，即得到2000～2100V 的直流高压，调节R_{30}可以改变供给光电倍增管的直流高压。

（6）地面信号转换器　地面信号转换器是由一扼流圈L和场效应管3DJ6F以及有关电阻、电容组成，它是一个只允许负脉冲通过的倒相放大器（见图2—5）。扼流圈的作用是通过直流电流给井下仪器供电，而对井下仪器输送到转换器的脉冲信号有阻止作用，从而使脉冲信号不被地面直流电源短路。

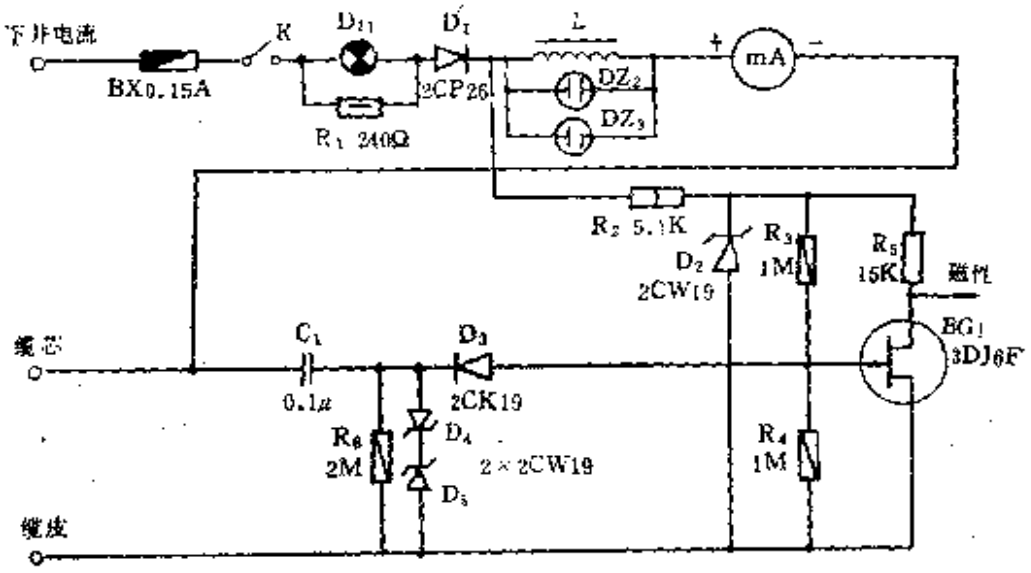


图 2—5　FC_1C-38型信号转换器电原理图

由井下仪器输送到地面的自然伽马正脉冲直接送到放射性地面控制仪的自然伽马输入端，由它转换成测井仪可以接收的电信号，以使自然伽马测井曲线直接记录在照相纸或记录纸上。

由井下仪器输送到地面的接箍信号负脉冲，经3DI6F倒相放大成正脉冲后，再送到放射性地面控制仪的中子伽马道的输入端，转换成多线测井仪可以接收的信号，直接记录在照相纸或记录纸上。

为使照相纸上的接箍信号尖而窄，放射性地面控制仪上的中子伽马道的时间常数需增设一个0.1s挡，以供测接箍信号用。

2．井下仪器主要技术指标

外径　38mm

重量　9kg

耐温　≤120℃

耐压　≤60MPa

在120℃和60MPa下可连续稳定工作2h

测速　≤800m/h

输出脉冲幅度≥　3V（接上5000m电缆情况下）

分辨时间　≤350μs

测量信号　同时记录自然伽马和接箍信号

使用缆芯　单芯电缆

仪器起下速度　≤3000m/h

3．井下仪器的测井应用

（1）不测井时，光电倍增管应放在避光处，并放入有减震措施的纸盒内，晶体应放在出厂时的晶体盒内，以免受潮变质和运输中震动变质。

（2）测井前，在井场将电路筒从外壳中取出，插上光电倍增管GDB-30，小心装入外壳内，再将外壳下端的下接头卸掉，装上表面涂有硅油的晶体，然后将弹簧上紧，装上下接头，再用万用表1K档测量仪器电阻，黑表笔接缆芯，红表笔接外壳应有充电现象，最后电阻为8kΩ左右；对换表笔测量应无充电现象，电阻约为4kΩ左右为正常。如电阻值不符，应检查井下仪器元件有无相碰或接地短路，以及连线脱焊断落等情况。

（3）仪器下井前，应仔细检查橡胶密封圈是否有机械损伤。密封引线柱是否包牢，以保证密封性能可靠。还要检查线路板的机械连接是否松动，如有松动必须紧固才能下井。

（4）井下仪器的“缆芯”接电缆的一根缆芯，井下仪器的外壳接缆皮（使用多芯电缆时也可接另一根缆芯）。电缆的缆芯接地面信号转换器的“缆芯”接线柱。缆皮接“缆皮”接线柱，电测仪的直流电源正端接信号转换器“下井电流”的红（正）接线柱；

负端接黑（负）接线柱。放射性地面仪的自然伽马输入端，接信号转换器的“缆芯”接线柱，中子伽马输入端接磁性定位器接线柱，地线接“缆皮”接线柱。

（5）整个电路连接好后，在井场上先将转换器的开关置于“开”的位置，再打开测井仪的直流电源，调节输出电压，输出电压不能超过150V，使信号转换器上的毫安表的指示为110mA。这时，在放射性地面仪器上观察有无自然伽马脉冲信号，并用螺丝刀在井下仪器的磁钢处晃动，也在放射性地面仪上观察有无脉冲信号。若两者都有就可以下井了，否则须检查仪器，排除故障。

（6）井下仪器一下井就打开电源，以下井时间作为光电倍增管的预热稳定时间，此时间不应小于30min，下井及上提的速度不得超过3000m/h。

（7）测完井后，将下井仪器外壳洗净，先取出晶体，再取出光电信增管，按（1）的要求放好。

（8）运输过程中应注意防震，以免损坏晶体和光电倍增管，防止磁钢退磁。

4. 仪器的维修和常见故障排除

仪器出厂前已按要求调试好，使用中不能随意变动电容、电阻或电位器的数值和位置。井下仪器的电子线路部分和地面信号转换器应保持清洁干燥。下井仪器外壳平时应密封。仪器每月应通电检查一次。每一季度应给井下仪器的高压变压器表面加适当的硅油，以保持高度绝缘。仪器如发现高压变压器损坏需要拆换时，应注意以下事项：

（1）如图2—6所示。用万用表判断，直流电阻最大的为7，8绕组，直流电阻最小的为4，6绕组，5为中心抽头，另外两个为1，3绕组，2为中心抽头。

（2）绕组判断正确后，把变压器焊到相应的地方，并将G_2接地点焊开，串接一支100μA的电流表到地，再通电看微安表内有无电流，并用耳听变压器有无声音。若无声音，可将1与3或

4 与6对换。(只换一组)。就会有电流和叫声。调节R_{35}使微安表内电流为90～96 μA。

井下仪器可能发生的故障及排除方法见表2—1。

5. 仪器存在问题及改进措施

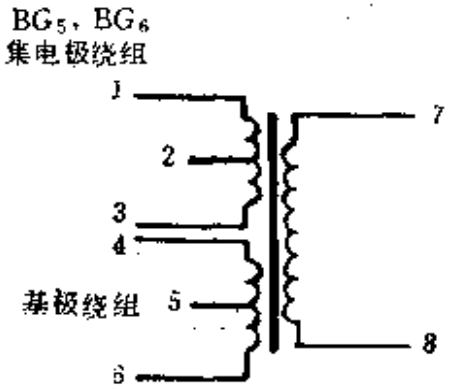


图 2—6 高压变压器绕组排列示意图

表 2—1 仪器可能发生的故障及消除方法

序号	故障现象	原因	消除方法
1	接通电源后无电流	(1) 仪器外壳没有接通电源地线 (2) 供电缆芯断路	(1) 将外壳接地线 (2) 接通断线
2	接通电源后电流很大	(1) 缆芯碰地 (2) BG_4、BG_5、BG_6外壳接地	检查消除
3	没有高压	(1) 高压变压器坏 (2) 高压输出端被短路 (3) 电容C_{13}、C_{14}、C_{15}、C_{16}击穿	(1) 换变压器 (2) 检查消除 (3) 换电容
4	无自然伽马信号和接箍信号	高压变压器坏	换变压器
5	有接箍信号无自然伽马信号	(1) 光电倍增管分压电阻断 (2) 电容C_{15}、C_{14}击穿 (3) 管座接触不良	(1) 换电阻 (2) 换电容 (3) 检查消除
6	光电倍增管输出脉冲很少	(1) 光电管阳极灵敏度降低 (2) 晶体与光电管接触不良	(1) 换光电倍增管 (2) 使之接触良好，并涂硅油
7	测井时，自然伽马和接箍信号时有时无。	仪器接触不良	仔细检查各接头和接点，并加以排除。
8	转换器无接箍信号输出	信号转换器D_8和BG_3坏	检查后换上好晶体管
9	有自然伽马信号无接箍信号	井下仪器BG_7坏	同上

FC₁C38-120型自然伽马-磁定位组合仪目前尚不能直接与西安石油仪器厂生产的SD-81生产测井专用地面仪器匹配应用，必须改变地面信号转换器线路或改变SD-81地面仪器线路方可使用。有两种办法：

（1）大庆生产测井研究所在实践中重新设计了如图2—7的线路，可与SD-81匹配，在实际应用中效果较好。

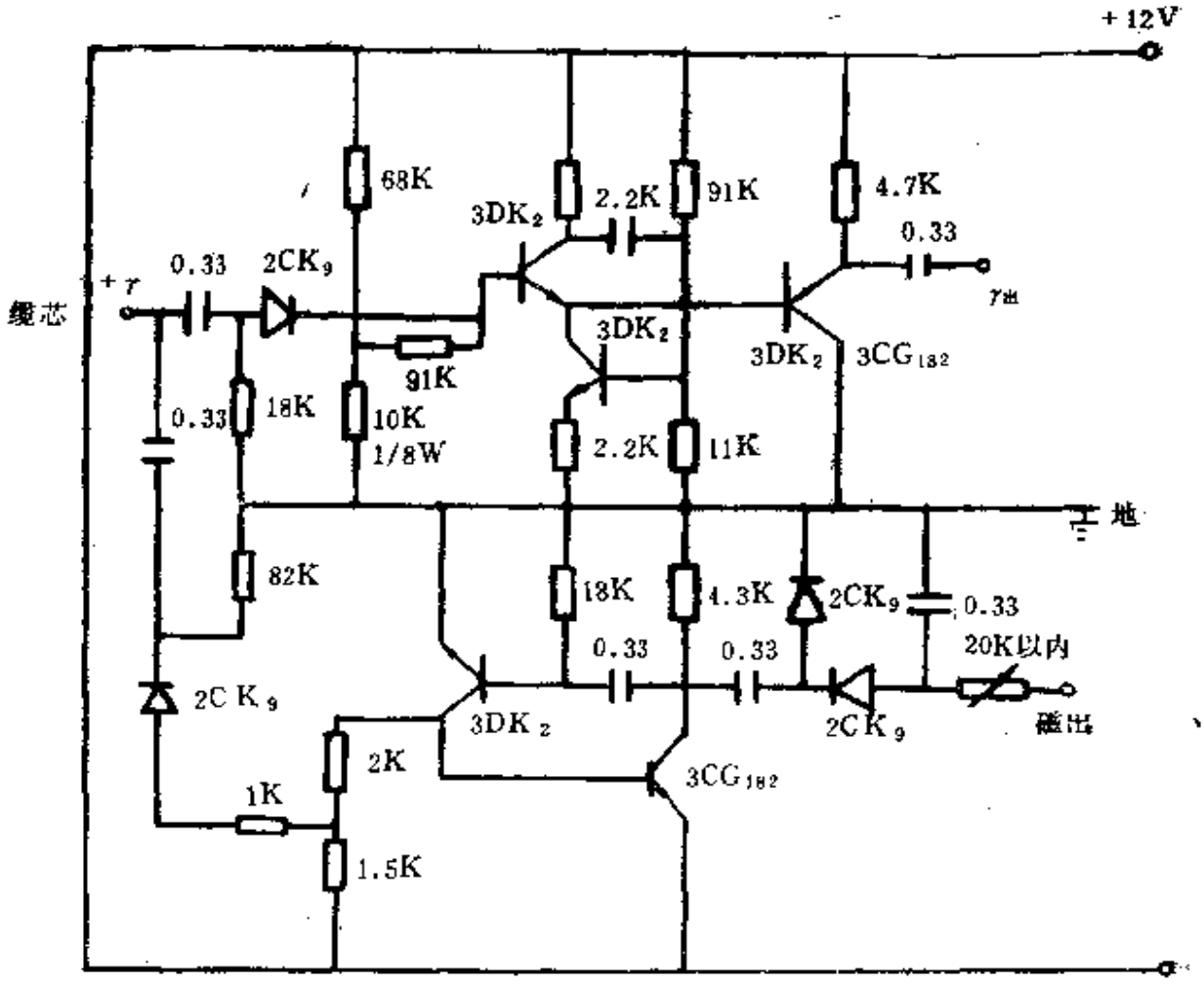


图 2—7　FC₁C38-120井下仪器和SD-81地面仪器匹配的信号转换器电路原理图

该电路的主要特点是能使自然伽马道和磁性定位器道分开，保证了磁定位道不干扰自然伽马道。同时还可节省一个中子-伽马道。使磁性定位器道可直接接入电位差记录道，而不必经过中子-伽马道面板输入。

（2）在原转换器小盒里的自然伽马道后面加一级三极管倒向，然后再加一级场效应管倒向后再接入SD-81面板的自然伽马道；磁性定位器道则直接从小盒接入中子-伽马道。这样也可以解决两道干扰问题。

（二）同位素井下释放器

同位素井下释放器是释放同位素的专用辅助仪器。同位素在井下释放可以减少井口的放喷，避免地面环境污染，特别是当注水井因井口闸门漏失或因井口溢流量大，井口无法倒入同位素时，使用井下释放器可以提高测井成功率，同时又能使井内地层有充分的压力恢复时间，保证同位素施工时地层处于原始注水压力，保证测井资料的可靠。

各油田在测井实践中，研制了多种同位素井下释放器，下面介绍几种常用的释放器。

1．压力剪切式释放器

压力剪切式同位素释放器是利用注水压力剪断销钉的方法释放同位素。由于该方法只能在测完基线以后第二次下井释放同位素，因此又称为二次释放器。

该释放器在下井时，接在自然伽马磁定位组合仪下端，用ϕ38卡瓦打捞器下挂该释放器，通过控制注水压力大小释放同位素。

（1）结构原理　当释放器下入井内承受压力时，迫使上、下阀向装同位素筒方向移动，上阀通过剪切拉杆用一只M4螺钉固定在打捞头体上，故M4螺钉承受轴向剪切应力，而阀通过ϕ28台阶固定在出液筒上，防止往同位素筒方向移动，当压力增高时，剪切应力剪断M4螺钉，打开上阀，同时下阀在压力作用下，自动向尾帽常压区方向移动，打开下阀，释放同位素。其原理结构见图2—8。

（2）主要技术指标

外形尺寸　　ϕ38×660mm

同位素室尺寸　ϕ31×300mm

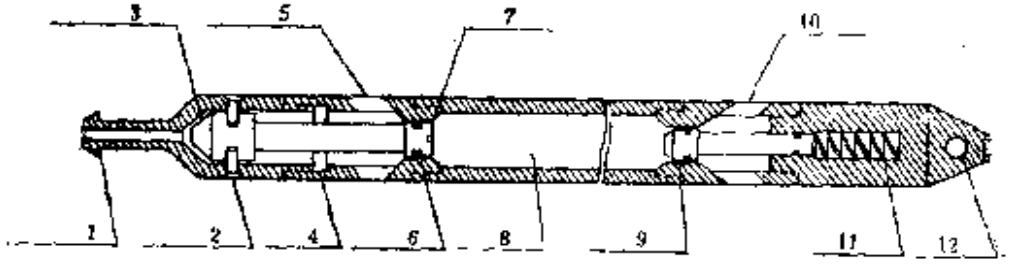


图 2—8　压力剪切式同位素释放器结构示意图

1—卡瓦接头；2—销钉；3—剪切销钉；4—挡片；5—进液口；6—胶圈；7—上阀；8—源室；9—下阀；10—出液口；11—弹簧；12—接头

释放压力	7 ～ 8 MPa
释放深度	M4螺钉一只，700～800m；
	M3螺钉两只，750～800m；
连接方式	卡瓦打捞式

（3）使用注意事项

1）装同位素前应检查下阀上下部位“O”型胶圈，并检查下阀移动是否灵活。

2）卸开进液接头，用分装器装入同位素。

3）检查剪切螺钉及上阀“O”型胶圈。

4）测井后用清水洗净。

2．继电器控制的一次释放器

由于压力剪切式二次释放器不能满足同位素吸水剖面测井一次完成法施工的工艺要求，井口放溢流较多，使得测井时不能保持正常注水状态，影响测井资料的准确性。因此各油田陆续研制了继电器控制的一次释放器。并在生产中得到应用。本部分主要介绍大庆油田目前使用的释放器结构原理及其技术指标。

（1）结构和工作原理　继电器控制的一次释放器的结构主要由上接头、上阀、源筒、下阀、继电器、导向二极管和密封式卡瓦七部分组成。其中下阀由密封圈、防砂罩、弹簧、衔铁、直口阀和定位卡簧片组成。

工作原理是先用专用工具拉开上阀，打开源筒与外界的通道，

将同位素装入源筒，然后关闭上阀，完成装源操作。释放器下井后，靠井内压力使上阀动作，这时源室内的压力与井内压力达到平衡。当需要释放同位素时，由地面仪器经电缆给继电器绕组通过负1.5A的直流电流，衔铁在磁力的作用下，带动直口阀向下移动，下阀弹簧被压缩，当衔铁下移达到10mm时，定位卡簧片定位直口阀，保证下阀处于开放位置。井内的水由释放器上阀进入源室，源室内的同位素随水一起由下阀冲出，完成同位素的释放过程。

继电器式一次释放器的结构见图2—9。

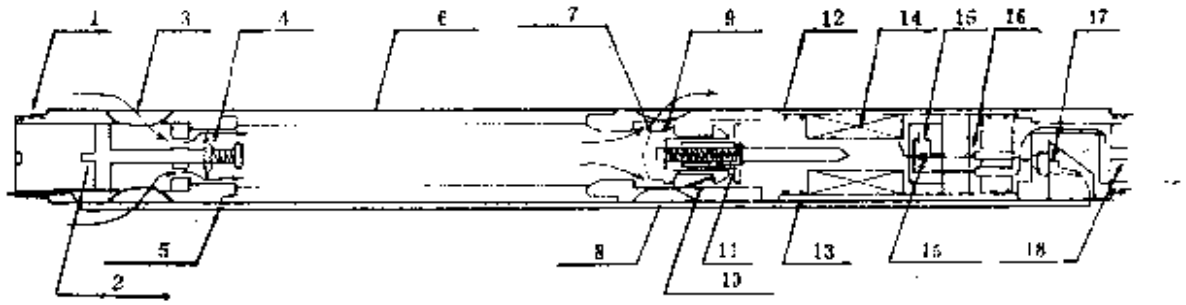


图 2—9　继电器式释放器结构示意图

1—接电缆头；2—取出接头；3—进液口；4—平衡阀；5—供电线；6—源室；7—直口式下阀；8—出液口；9—胶圈；10—支撑弹簧头；11—弹簧；12—衔铁；13—胶圈；14—电磁线圈；15—倒向二极管；16—滑环；17——密封座；18—接仪器滑环

（2）主要技术指标

外形尺寸	长1m，外径ϕ38mm
源室容量	250ml
最大装同位素量	200g
继电器供电电流	－1.5A
耐压	≤40MPa

（3）装同位素方法

1）装同位素前先检查下阀是否在关闭位置，若不在关闭位置，应拨开定位卡簧片，使下阀关闭；

2）用专用工具拉出上阀，打开源室与外界通道；

3）将放射性同位素装入源室，重量不超过200g；

4）用专用工具推回上阀，使上阀关闭；

5）将已装好同位素的一次释放器放入防护筒内备用。

（4）现场操作方法

1）将一次释放器连同防护筒一起运到井口，连接好电缆头和释放器，

2）用密封式卡瓦将放射性测井仪与释放器连接好；

3）检查电阻值：用万用表IK档，黑表笔接释放器外壳，红表笔接供电线，电阻值为5K左右，将表笔对调后阻值为无穷大。将黑表笔接释放器外壳，红表笔接滑环芯，电阻值约为13K左右，将两表笔对调后阻值为无穷大，说明阻值正常；

4）将缆芯线与释放器供电线接好，并用高压胶布包扎好。接上加重准备下井；

5）释放器和仪器下井后，当电缆能自动下放时，关上放空闸门，开始正常注水。当测完自然伽马基线后，将释放器上提到预定位置（以在注水层段以上200m为宜），用地面仪器给释放器供负1.5A的直流电流，一般冲击一次即可释放出同位素，若没有释放可适当增大电流再冲击一次即可释放。同位素释放情况可从记录仪上观察出来；

6）按要求将注水压力控制在设计施工压力，替注够清水后，即可正式测同位素吸水剖面曲线。

（5）现场应用应注意的事项

1）一次释放器使用5～10口井后，要及时清除继电器衔铁槽内的沉积物，保证定位卡簧片与直口阀被卡台阶有2～3 mm的间隙，以保证继电器动作可靠。

2）同位素不能装得太满，应留有一定的空隙，一般最大用量不要超过200g。

3）装上同位素后，释放器不能在地面通电检查继电器的动作，防止造成放射性污染。

（6）释放器的维修

1）一次释放器使用后，要用清水冲洗一次，并检查上、下

阀有无杂物堵塞，然后拨开下阀定位卡簧片，使直口阀复位（即关闭）。

2）检查供电线和ϕ8胶套线有无损坏，发现损坏应立即更换。

3）释放器使用5～10口井后，要及时清除掉继电器衔铁槽内的沉积物。

4）继电器线圈采用ϕ0.33～0.35高强度漆包线绕制，平绕绕满线圈架，直流电阻值为90～100Ω，每次检修时都应测量电阻值。

5）供电电路检查

①用万用表1K档，红表笔（+）接供电线，黑表笔（—）接仪器外壳，阻值应为5K左右；黑表笔（—）接供电线，红表笔（+）接滑环芯阻值应为5K左右。

②供电电路图见图2—10。

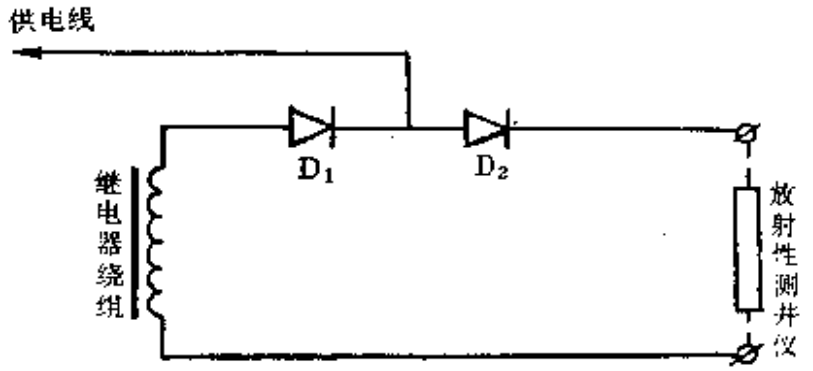


图 2—10　继电器式一次释放器供电电路示意图

3. JTS-1型微电机控制一次释放器

JTS-1型同位素释放器是大庆采油一厂研制的微型电机控制的拉阀式释放器。该释放器已在同位素吸水剖面测井施工中应用。

（1）结构和工作原理　该释放器由连接器、屏蔽室、压力补偿器、电机减速总承、传动轴、球阀、同位素室、拉板，门阀等组成。其结构示意图见图2—11。

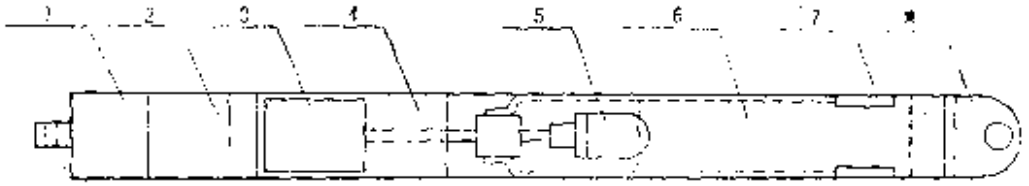


图 2—11　JTS-1型同位素释放器结构示意图

1—铅屏蔽室；2—平衡体；3—微电机；4—变速机构；5—球阀；6—同位素室；7—闸门；8—连接头

当以12V直流电给电机供电后，电机启动，并通过3000：1的减速装置减速，推动传动轴，实现低速同步启闭球阀及门阀，达到释放同位素的目的。动力系统处于压力平衡状态，因此可以在大于20MPa的条件下进行阀门启闭。传动杆行程设有限位机构，并能发出释放信号。

仪器设有地面可调电源及指示仪表，便于给电机供电及指示释放情况。

释放器电路原理见图 2 —12。

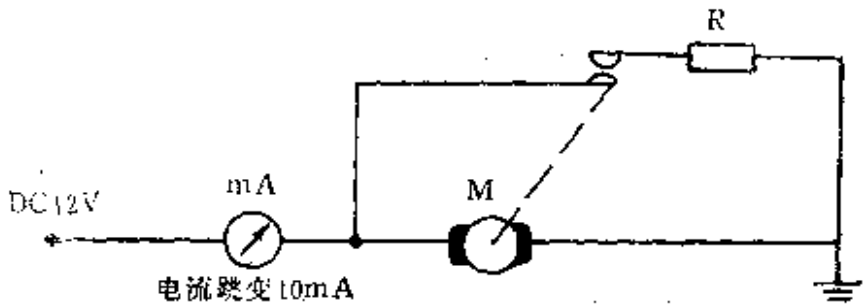


图 2—12　释放器地面指示释放情况电原理图

（2）主要技术指标

外径	ϕ38mm
长度L	1020mm
同位素室容量	200和400ml两种
电机工作电压	DC12V
电机额定功率	1.5W
释放器门阀长度	10mm

开阀全过程时间	约300S
使用缆芯数	单芯
仪器耐温	80℃
耐压	20MPa

（3）操作方法

1）同位素装入　在球阀和门阀关闭的情况下，旋开同位素室底部的螺栓，将同位素装入后旋紧螺栓。

2）连接仪器　该释放器直接连在放射性测井仪下面，供电线与自然伽马仪器中的磁性记号线连接。

3）释放同位素　仪器在井下需释放同位素时，先在地面找出磁性记号线，接上负12V直流电压，约5min左右释放器阀门全部打开，地面面板上可以见到一个电流跳变。此时同位素室的同位素将陆续释放完。此后可关掉释放器供电，用自然伽马仪器监视同位素在井下的运动情况。

4. 操作时应注意的事项

①释放器同位素室内装的同位素是B_a^{131}微球，属开放型同位素，在装入、运输、连接井下仪器及测量等各个环节，都应严格执行有关放射性安全防护操作规程。

②在灌装同位素前，必须严格检查释放器的球阀和门阀是否处在关闭位置。在关闭不严的情况下不能灌装同位素，以免同位素泄漏污染环境。

③在释放器丝杆处于死点位置时，注意此时不要继续供电，以免烧坏电机。

④释放器在运输和连线时最好加铅屏蔽，并注意轻拿轻放。

（三）放射性同位素及载体

1. 放射性同位素载体法的工作原理

先用医用骨质活性炭固相载体吸附放射性同位素离子，再与水配制成一定浓度的活化悬浮液，然后把这种活化悬浮液在正常的注水条件下注入水井内。各小层在吸水的同时也吸收活化悬浮液。当载体颗粒直径大于地层孔隙直径时，悬浮液的水进入地

层，载体就滤积在井壁上。地层吸收的活化悬浮液越多，对应这段地层的井壁上滤积的载体也越多，此时测得地层放射性同位素的强度也相应的增高。即地层的吸水量与滤积载体量及放射性强度三者之间成正比关系。把注同位素前后的两条放射性测井曲线进行对比，注同位素以后所测得的放射性曲线上所增加的异常值，就反映了相应层位的吸水能力。

2. 放射性同位素选择

放射性同位素目前已有千余种。

根据目前的技术条件，放射性同位素测井使用的同位素应满足以下条件：

（1）同位素应能放射出能量较强的伽马射线，能穿透套管、油管及仪器外壳，被仪器探头所记录。

（2）同位素的半衰期要适当，半衰期太短不利于保存和运输，太长会使注水井在较长时间内仍显示高放射性值，影响以后的注水井作业和测井施工。

（3）要有较强的被吸附能力，且在注入水冲刷下不脱附，以便配制活化载体。

（4）安全、价格便宜且易于制造。

根据上述要求，自开展同位素示踪法测注水井吸水剖面以来，国内各油田陆续选择了锌^{65}、银^{110}、锑^{124}、铁^{59}、碘^{131}、钡^{131}、钪^{46}等类型的同位素进行测井。

我国各油田曾使用过的各种放射性同位素概况见表2—2。该表中所列的放射性同位素，目前绝大部分已不再使用，还在继续使用的只有碘^{131}、钡^{131}和钪^{46}，用量最多的是钡^{131}。

3. 固相载体的选择

应用载体法进行同位素吸水剖面测井时，正确选择固相载体是载体法成败的关键。同位素载体法测吸水剖面要求载体的性能必须满足地层吸水量、地层滤积的载体量以及放射性强度三者之间成比例关系，因此选择固相载体必须满足以下条件：

（1）固相载体要有较强的吸附性，能牢固地吸附放射性同

表 2—2　吸水剖面测井用同位素概况表

同位素	化合物	半衰期，d	γ射线能量，MeV
锌^{65} (Zn^{65})	$ZnCl_2$	245	1.114
银^{110} (Ag^{110})	$AgNO_3$	260	0.657～1.382
锑^{124} (Sb^{124})	$SbCl_3$	60.2	0.726～2.09
铁^{59} (Fe^{59})	$FeCl_3$	45	1.10～1.29
铁^{131} (I^{131})	KI，NaI	8.05	0.08～0.72
钡^{131} (Ba^{131})	$BaCO_3$	11.6	0.495（占48%），0.124（占28%），0.216（占19%），0.373（占13%）
钴^{60} (Co^{60})	$CoCl_2$	5.26a	1.17～1.33
锆^{95} (Zr^{95})	$Zr(C_2O_4)_2$	65	0.23～0.76
铯^{134} (Cs^{134})	Cs_2CO_3	2.1a	0.5～1.10
锡^{113} (Sn^{113})	$SnCl_3$	118	0.255
钪^{46} (Sc^{46})	Sc_2O_3	83.8	0.889～1.121

位素离子，保证在高压注水井清水或较高温度的污水回注水的冲刷下不脱附。

（2）固相载体的颗粒直径必须大于地层的孔隙直径，保证施工中带同位素的载体不被挤入地层，而仅聚集于井壁附近。

（3）固相载体颗粒悬浮性能好，下沉速度远小于注入水在井筒内的流速，以保证在注入水中均匀分布。即要求载体颗粒相对密度接近于1。

（4）固相载体携带放射性离子的效率高，用量少，使载体在井壁上的聚集不致堵塞地层孔隙，影响地层的吸水能力。

根据上述条件，通过对多种载体的选择试验证明，医用骨质活性炭作为固相载体可以满足同位素吸水剖面测井要求，能保证同位素测井施工质量及资料的准确性。

医用骨质活性炭的颗粒直径一般大于50μm，而油层渗透率高达$3200\times10^{-3}\mu m^2$时，孔隙的最大直径不超过40μm，因此，孔隙砂岩地层可以保证载体不被挤入地层。但对新开发的油田或长

期注水开发的老油田，载体的颗粒直径应当通过实验和适当减小或增加载体直径后，进行测井效果对比，来选择出最佳的载体颗粒直径。以取得最好的测井效果。

大量实践证明，当使用骨质活性炭进行同位素吸水剖面测井时，颗粒的悬浮性较好，其下沉引起的测量误差不超过1%，能满足测井要求。骨质活性炭对放射性同位素离子吸附能力高达98%。对不同渗透率的岩心注入活化悬浮液进行放射性同位素吸水剖面测试结果证明，岩心的吸水量同岩心表面滤积的放射强度成正比，平均线性误差为±7%。在放射性统计起伏误差要求的范围之内。

4. 活化载体配制

(1) 放射性同位素稀释

在使用放射性同位素时，首先要确定其使用时的强度，使用前必须计算放射性强度。计算公式如下：

$$I = I_0 e^{-\frac{0.693}{T}} \qquad (2-1)$$

式中 I——放射性同位素使用时强度，B_q；

I_0——放射性同位素出厂时强度，B_q；

t——放射性同位素从出厂到使用时的时间，d；

T——放射性同位素的半衰期，d。

在生产实践中，由于使用同位素的时间变化较大，每次都用公式计算很麻烦，因此，通常先将常用的同位素强度计算好并列成表，在使用时，只要查出出厂时间，通过查表，即可知道同位素使用时的强度。

表2—3、表2—4是日常国内各油田常用的I^{131}和B_a^{131}放射性同位素强度换算表。表中给出了1mCi放射性同位素经过不同时间衰减后的剩余强度。

放射性同位素出厂时有固体金属，也有非金属溶液，近年来固体颗粒同位素Ba^{131}-GTP微球的研制成功，更方便了同位素吸水剖面的测井施工。

表 2—3　3.7×10^7Bq I^{131}不同时间剩余强度换算表

($T^1/_2$=8.06d)

t, d	0.000	0.250	0.500	0.750	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75
0.000		0.979	0.958	0.938	0.918	0.898	0.879	0.860	0.842	0.824	0.807	0.789
3.00	0.773	0.756	0.740	0.724	0.709	0.694	0.679	0.665	0.651	0.637	0.623	0.610
6.00	0.597	0.584	0.572	0.560	0.548	0.536	0.525	0.514	0.503	0.492	0.482	0.471
9.00	0.461	0.451	0.442	0.432	0.423	0.414	0.405	0.397	0.388	0.380	0.372	0.364
12.0	0.356	0.349	0.341	0.334	0.327	0.320	0.313	0.307	0.300	0.294	0.287	0.281
15.0	0.275	0.269	0.264	0.258	0.253	0.247	0.242	0.237	0.232	0.227	0.222	0.217
18.0	0.213	0.208	0.204	0.199	0.195	0.191	0.187	0.183	0.179	0.175	0.172	0.168
21.0	0.164	0.161	0.157	0.154	0.151	0.148	0.144	0.141	0.138	0.135	0.133	0.130
24.0	0.127	0.124	0.122	0.119	0.117	0.114	0.112	0.109	0.107	0.105	0.102	0.100
27.0	0.098	0.096	0.094	0.092	0.090	0.088	0.086	0.084	0.083	0.081	0.079	0.077
30.0	0.076	0.074	0.073	0.071	0.070	0.068	0.067	0.065	0.064	0.062	0.061	0.060
33.0	0.059	0.057	0.056	0.055	0.054	0.053	0.051	0.050	0.049	0.048	0.047	0.046
36.0	0.045	0.044	0.043	0.042	0.042	0.041	0.040	0.039	0.038	0.037	0.037	0.036
39.0	0.035	0.034	0.033	0.033	0.032	0.031	0.031	0.030	0.029	0.029	0.028	0.028
42.0	0.027	0.026	0.026	0.025	0.025	0.024	0.024	0.023	0.023	0.022	0.022	0.021
45.0	0.021	0.020	0.020	0.020	0.019	0.019	0.018	0.018	0.018	0.017	0.017	0.016
48.0	0.016	0.016	0.015	0.015	0.015	0.014	0.014	0.014	0.014	0.013	0.013	0.013
51.0	0.012	0.012	0.012	0.012	0.011	0.011	0.011	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010
54.0	0.010	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
57.0	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006

表 2—4　3.7×10^{7}BqRa^{131}不同时间剩余强度换算表

($T^{1}/_{2}$=11.6d)

t, d	0.000	0.500	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50
0.000		0.971	0.942	0.914	0.887	0.861	0.836	0.811	0.787	0.764
5.00	0.742	0.720	0.699	0.678	0.658	0.639	0.620	0.602	0.584	0.567
10.0	0.550	0.534	0.518	0.503	0.488	0.474	0.460	0.446	0.433	0.421
15.0	0.408	0.396	0.384	0.373	0.362	0.352	0.341	0.331	0.321	0.312
20.0	0.303	0.294	0.285	0.277	0.269	0.261	0.253	0.246	0.238	0.231
25.0	0.225	0.218	0.212	0.205	0.199	0.193	0.188	0.182	0.177	0.172
30.0	0.167	0.162	0.157	0.152	0.148	0.143	0.139	0.135	0.131	0.127
35.0	0.124	0.120	0.116	0.113	0.110	0.106	0.103	0.100	0.097	0.094
40.0	0.092	0.089	0.086	0.084	0.081	0.079	0.077	0.074	0.072	0.070
45.0	0.068	0.066	0.064	0.062	0.060	0.059	0.057	0.055	0.054	0.052
50.0	0.050	0.049	0.048	0.046	0.045	0.043	0.042	0.041	0.040	0.039
55.0	0.037	0.036	0.035	0.034	0.033	0.032	0.031	0.030	0.029	0.029
60.0	0.028	0.027	0.026	0.025	0.025	0.024	0.023	0.023	0.022	0.021
65.0	0.021	0.020	0.019	0.019	0.018	0.018	0.017	0.017	0.016	0.016
70.0	0.015	0.015	0.014	0.014	0.014	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012
75.0	0.011	0.011	0.011	0.010	0.010	0.010	0.009	0.009	0.009	0.009

当使用金属丝状同位素时，使用前通常用一定浓度的硝酸溶液先使其溶解，然后再加蒸馏水进行稀释，稀释浓度一般为0.37～1.85×10^{6}Bg/ml（0.01～0.05mCi/ml）这时即可准备配制活化载体用。这类同位素过去使用过的有Zn^{65}和Ag^{110}等。

I^{131}和Ba^{131}属非金属溶液同位素。出厂时都是装在小玻璃瓶中的液体，通常I^{131}出厂时的强度大约有$100\times3.7\times10^{7}$Bq体积一般只0.5～2mL。钡^{131}出厂时一瓶约 5 ～ 8 mL，强度约$40\times3.7\times10^{7}$Bq

使用液体I^{131}或Ba^{131}时，首先根据出厂时间及半衰期从表上查出其剩余强度，然后根据衰变后的剩余强度加适量的蒸馏水，在有刻度的量杯中进行稀释，一般稀释后的浓度在$0.37\sim1.85\times10^{7}$Bq/mL范围即可使用。

（2）活化载体的配制

1）单井放射性同位素强度的确定　一般来讲，单井放射性同位素强度的确定要满足以下两个条件：

①要保证同位素吸水剖面测出的曲线有明显的异常，异常幅度一般不大于 8 ～10cm。最高值要保证记录仪1:1的记录笔或检流计光点不跑出记录纸外。

②曲线异常的最高值不能超过仪器的线性范围，要保证放射性强度和异常面积的正比关系。

根据上述条件，通过大量实践，一般选择一米油层用$0.05\sim0.1\times3.7\times10^{7}$Bq作为基数进行计算。计算公式是：

$$I=H\times(0.05\sim0.1)\times3.7\times10^{7} \qquad (2—2)$$

式中　I——单井使用放射性同位素强度，Bq；

H——射开油层的总厚度，即注水层总厚度，m。

在确定同位素强度时，要充分考虑该井的注水压力及注入量。一般注入压力高，而注入量低时，说明该井吸水能力差，同位素强度可适当减小；当井的注入压力较低，注入量高时，说明该井地层吸水能力较好，此时同位素强度可适当增高。增高和减小的范围一般全井可控制在1.85×10^{7}Bq以内。

压力和注入量的范围各油田有不同的规定，以大庆油田为例。共规定要点是：

10MPa以内是低压力；

10～13MPa属中等压力；

13MPa以上为高压力。

相应的注入量是：

100m^3/d以下属低注入量；

150～300m^3/d属中注入量；

300m^3/d以上属高注入量。

考虑上述因素后，还应考虑使用的同位素种类。一般来说，I^{131}由于能量较低，对活性炭的吸附能力较弱，单井同位素强度要高一些。如用液体Ba^{131}，其强度可以是I^{131}的1/2，如用Ba^{131}微球载体，其强度又是液体钡的1/2。

例如，有一口总厚度为30m油层的注水井，如用I^{131}强度大约在3.5～4×3.7×10^7Bq，用Ba^{131}强度大约是1.5～2×3.7×10^7Bq，而用Ba^{131}微球载体，其强度在3.7×10^7Bq以内就可以满足测井要求了。

2）载体用量的确定　根据实验，每吸附3.7×10^7Bq的Zn^{65}，需用200g医用骨质活性炭；每吸附3.7×10^7Bq的Ag^{110}需100g医用骨质活性炭；每吸附3.7×10^7Bq的I^{131}或Ba^{131}则只需要50g医用骨质活性炭就能满足测井要求。

通常进行同位素测井用I^{131}或Ba^{131}时，单井活性炭的用量由下式确定：

$$P = I \times 50 / 3.7 \times 10^7 \qquad (2—3)$$

式中　P——活性炭的用量，g；

I——单井使用的放射性同位素强度，Bq；

3）活化载体的配制方法

①用天平称出单井活性炭用量，按每100g加250～300mL蒸馏水，在配制桶内进行充分搅拌，直至均匀无块状物质为止；

②用移液管取出单井稀释后的同位素溶液用量，加在烧杯后

缓慢地倒入配制桶内并且不断搅拌，使放射性同位素均匀分布到活性炭中；

③将配制好的活化载体置于桶内，加盖密封，贴好标签存于储藏室，待野外测井队施工使用。

5. Ba^{131}-GTP微球

（1）结构原理　同位素微球载体是粒径50～1000μm的小圆球。其核心部分是以一种无机二元氧化物溶胶，同时加入Ba^{131}料液，剧烈搅拌，共同缩聚，轻度脱水，制成Ba^{131}-GTP溶胶。利用溶胶-凝胶法制备的Ba^{131}-GTP凝胶是以微球为骨架，骨架上有数不清的微孔，为增加强度和延长溶解时间，在骨架外边用镀炭的办法作上一层半透膜，即非常薄可以单向透水的膜。在半透膜的外面封上一层能够溶解于水的酚醛醇酸树脂，然后再在小球的表面包上一层类似肥皂一样的表面活性剂来防止微球对管柱及井下工具的沾污。

微球颗粒的相对密度是靠微球外面封装膜的薄厚来调节的，因为微球骨架的微孔中有空气，如果外层的封装膜很薄，微球的颗粒相对密度就可以作得很小，通常根据需要可以作到1～1.06。为避免微球对地层的堵塞，采用水溶性的酚醛醇酸树脂作微球表面封装膜，在测完井15～20天后，酚醛醇酸树脂溶蚀，由炭膜渗透水使骨架水解，一个月后，只剩一个炭膜空壳，经注入水冲刷碎，成为极少量的直径不到10μm的非常细的炭粉粉末，随注入水进入地层，不会对地层孔隙造成堵塞。

（2）主要技术指标

颗粒相对密度	1～1.06
耐压	在40MPa下不变形不破碎
耐温	在65℃长期冲刷下同位素脱附＜3%
颗粒直径	50～1000μm（可根据需要）

（3）分装和使用　Ba^{131}-GTP微球呈固态颗粒状，出厂时装在1L容积的塑料瓶中，塑料瓶装在铅罐中，起防护作用。

通常出厂时，微球的体积是1L，比强度一般是20～30×3.7

$\times 10^7$Bq。

（4）主要优缺点

1）由于Ba^{131}微球出厂时呈固体颗粒状，同液体同位素相比，减少了室内配制工序，方便了现场施工。

2）用量少，运输、携带和操作都较方便。

3）可与井下释放器配套使用。对井口闸门漏失严重，用倒入法不能施工的井，能够进行正常的吸水剖面测井，并可避免地面放射性的污染。

4）由于微球脱附很少，且基本不下沉，因而提高了测井成功率和资料的可靠性，曲线分辨率比活性炭载体法高，小层和薄层显示清楚。

5）安全系数大。对人和环境沾污和污染大大减小。

6）Ba^{131}微球的主要缺点是对井下工具和油管接箍沾污较大，给分层解释吸水量带来一定困难。其价格比液体同位素贵而增加了测井成本。

总的来说Ba^{131}微球优点较多，因此它已成为我国各油田注水井测同位素示踪测井的主要活化载体。

（四）现场施工工艺

1. 编写施工设计

为确保施工质量，对施工的注水井要做好调查，编写出施工设计，施工要严格按设计进行。

（1）收集施工井的井身结构、射孔情况、地层分层、各小层的地层系数以及注水情况等有关井史数据。

（2）计算施工井需要的同位素强度及活性炭用量或Ba^{131}微球强度及用量。

（3）计算替挤的清水量。活化悬浮液或Ba^{131}微球泵入井内后，要通过注水将其挤入地层；在笼统注水井是通过注水把同位素替出油套环形空间挤入地层。在原配水管柱井测吸水剖面时，注水是经过油管、水嘴再到环形空间而进入地层。测吸水剖面施工前，事先必须计算出替挤水量。如果水少了，井筒内残留同位素

会造成放射性污染，水多了，会延长测井时间。替挤清水量按不同公式计算。

1）笼统注水井

$$Q=Q_0+S_0\left(\frac{h_1}{1-\beta_1}+\frac{h_2}{1-\beta_1-\beta_2}+\cdots+\frac{h_{n-1}}{\beta_n}\right) \tag{2—4}$$

式中 Q——替挤清水量，m^3；

Q_0——第一个吸水层位顶至井口环形空间体积，m^3；

S_0——环形空间的截面积，m^3；

h_1——第一个吸水井段顶面至第二个吸水井顶面的距离，m；

h_2——第二个吸水井段顶面至第三个吸水井段顶面的距离，m；

h_{n-1}——第$n-1$个吸水井段顶面至第n个吸水井面底面的距离，m；

$\beta_1,\beta_2,\cdots,\beta_n$——各吸水层位的相对吸水量，计算时可用各射开地层系数的总和去除每个小层的地层系数，求得近似值，其公式是：

$$\beta_1=K_1H_1/\sum_{i=1}^{n}K_iH_i$$

式中 K_i——地层有效渗透率，μm^2；

H_i——地层有效厚度，m。

使用上式计算的替挤清水量是理论值，与现场施工的实际需要存在着误差，可根据实际情况适当调整。

2）在配注管柱内施工时，替清水量由三部分组成。具体计算如下：

①将同位素挤到第一个水嘴（简称偏$_1$）所需要的水量：

$$Q_0=V_0\cdot S_0\cdot t_0$$

因 $t_0=\frac{H_0}{V_0}$，所以

$$Q_0 = S_0 H_0 \qquad (2—5)$$

式中 Q_0——替挤注水量，m^3；

V_0——挤注速度，m/h；

t_0——挤注时间，h；

H_0——第一个水嘴距离井口的距离，m；

S_0——油管内截面面积，m^2；

②将同位素替挤到最后一个水嘴（简称偏n）所需水量：

$$Q_1 = S_0 V_0 \left[\frac{H_1}{V_0(1-\beta_1)} + \frac{H_2}{V_0(1-\beta_1-\beta_2)} + \cdots + \right.$$

$$\left. + \frac{H_{n-1}}{V_0(1-\beta_1-\beta_2-\beta_{n-1})} \right]$$

$$= S_0 \left(\frac{H_1}{1-\beta_1} + \frac{H_2}{1-\beta_1-\beta_2} + \cdots + \frac{H_{n-1}}{\beta_n} \right) \qquad (2—6)$$

式中 H_1——偏$_1$至偏$_2$间距离，m；

H_2——偏$_2$至偏$_3$间距离，m；

β_1——偏$_1$吸水量占全井总注入量的百分比，在有“106”浮子式流量计测试资料时可直接使用，无“106”资料时可参考配水方案要求取得。

③将同位素推到各个吸水层所需水量　进入配注层段后，同位素推向各个吸水层，其推进速度、替挤水量与小层吸水能力及来水方向（即由吸水高的层推向吸水低的或者相反）有关。

计算Q_2时其水在油套环形空间运动，其流速同时受配注量和小层吸水量影响。

$$Q_2 = S \frac{1}{\beta_i} \left[h_{i0} + \frac{h_{i1}}{1-\beta_{i1}} + \frac{h_{i2}}{1-\beta_{i1}-\beta_{i2}} + \cdots + \frac{h_{i(n-1)}}{\beta_{in}} \right]$$

$$(2—7)$$

式中 S——油套管环形截面面积，m^2；

h_{i0}——配水嘴至第一个吸水层顶界距离，m；

h_{i1}、h_{i2}、$h_{i(n-1)}$——吸水层间距离，m；

β_i、β_{i1}、β_{i2}、β_{in}——层段和小层相对吸水比，%。

总的替挤量为　　$Q=Q_0+Q_1+Q_2$　　(2—8)

根据上式计算是将配注层段水量和地层系数的大小当成吸水能力的真值来考虑。计算结果的替挤水量是理论值，这是因为在紊流状态下推进同位素不可能活塞式前进，管柱内的污染消除都需要较多水量，所以现场施工的实际用量均大于计算量。

2. 现场施工

（1）笼统注水井的现场施工

1）把油管下至油层底部，用堵塞器密封油管底部，用套管正常注水，如油管不密封，则要求溢流量小于$2m^3/h$；

2）用小直径放射性测井仪在油管内测自然伽马曲线作为解释基线；

3）施工方式一般采用反施工（套注）作业。同位素可用井下释放器在井下释放，也可以从计量站水表或采油树倒入，当使用Ba^{131}微球时也可用特殊容器，从电缆上带入井中，然后打开注水闸门，用注入水将同位素带入井中，吸附在射孔孔眼表面。替挤水量应稍大于计算水量；

4）施工完毕后，仍保持小排量注水（$>5m^3/h$），使同位素微球或放射性载体牢固的吸附在各吸水层孔眼表面。在注水的同时，下入小直径放射性测井仪测量同位素曲线。测量时如果井下密封情况不好，要使用防喷装置。

（2）带有偏心配水管柱井的现场施工　在配注管柱中测同位素吸水剖面，常因施工工艺不当造成仪器下不去或被上顶到井口，造成测井的失败。各油田经过实践，逐步实现了井下释放同位素的半密闭和全密封的施工工艺，使同位素吸水剖面测井施工工艺基本定型完善。

1）半密闭测井的现场施工

①关上总闸门及注水闸门，打开小放空闸门，无水流出时，卸去丝堵，装上防喷管、丝堵及放空闸门（有的井自身带放空闸门）；

②打开总闸门及放空闸门，泄去井口压力；

③连接好下井仪器、同位素释放器及加重杆；

④待压力降为零后，卸去丝堵，将井下仪器放入井内；

⑤当仪器借助自重（包括释放器、加重杆及电缆的重力）。能够自下时，上紧防喷盒，关上放空闸门，打开注水闸门，正常注水以恢复原地层压力；

⑥将井下仪器串匀速下放到井下射孔井段以下10m 时，开始上提测自然伽马本底曲线（即同位素吸水剖面的解释基线）；

⑦测完基线后，将井下仪器串提到射孔井段以上 150～200m 处，开始释放同位素；

⑧在确认同位素载体已经正常释放完后，根据测井通知单要求，替够清水量，并掌握好替注时间，然后将井下仪器下到射孔层段以下10m 处，开始测同位素曲线；

⑨曲线测完后，将仪器缓慢下到井底，然后关掉注水闸门，慢慢打开放空闸门，待井口压力泄去后，将井下仪器起出。卸去放空管和防喷盒，上紧丝堵，打开注水闸门，恢复正常注水。

半密闭施工工艺较简单。适用于5.6～12.7mm的电缆（但电缆越细越易施工）。但由于防喷盒一般密封不严，加上注水的压力，下井很困难，因此必须适当放溢流、一般来说溢流量控制在2 m^3/h左右为宜。在测同位素曲线前，必须恢复注水压力，把水注够，所测的吸水剖面才能基本代表正常注水情况的真实注入剖面，否则会使解释结果带来一些误差。

2）全密闭测井的现场施工　全密闭测井施工必须具备较完善的井口防喷装置。采用 SP-1 型防喷装置，可以在注水压力15MPa以下，带压不放空密闭测井。

SP-1型防喷装置整体结构由缸体、活塞、压块、密封碗形胶块，流管、流管套、联接活接头、防喷管和卡箍等部分组成。见图2—13。

SP-1型防喷装置的主要技术指标如下：

工作压力　　≤15MPa

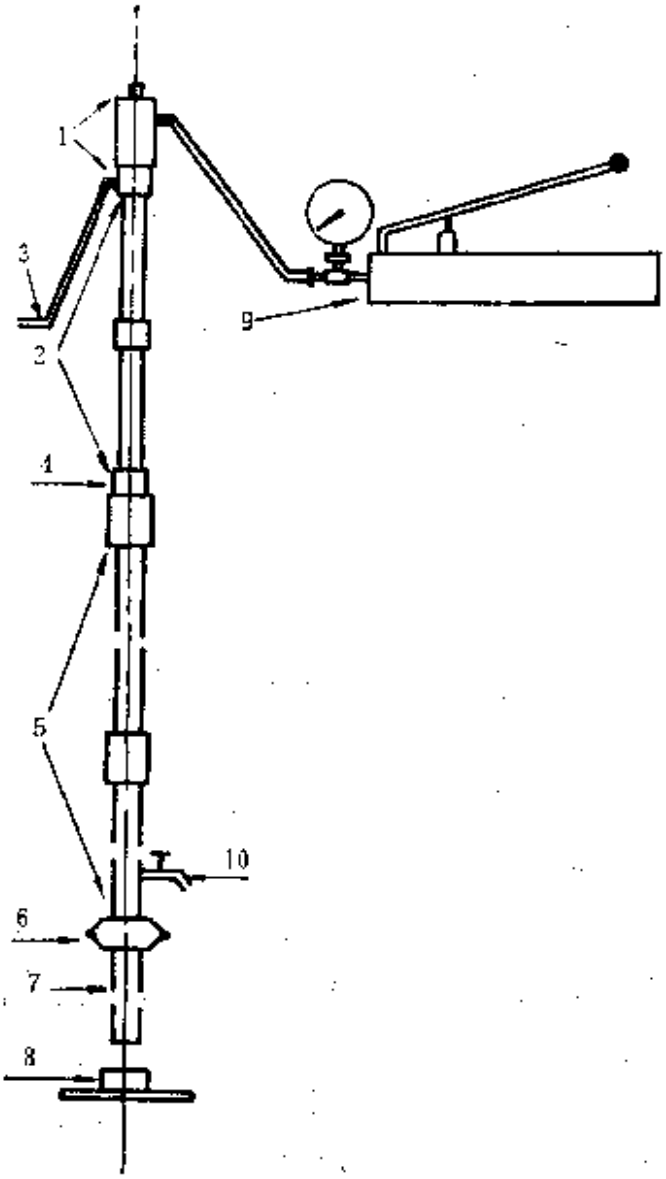


图 2—13　SP-1型防喷装置结构示意图

1—缸体；2—阻流管；3—溢流管；4—活接头短节；5—防喷管；6—卡箍；7—防喷管短节；8—采油树；9—手压泵；10—泄压闸门

溢流量	井口压力15MPa时$<5m^3/d$
流管寿命	>50井次
装置总长	8m
防喷头长	1.2m
防喷管长	6.5m
防喷管短节长	0.3m

采用全密闭施工步骤如下：

①关上总闸门及注水闸门，打开小放空并卸去丝堵。（关注水闸门10min后，压力下降2～5MPa）；

②将防喷管短节与采油树连接；

③连接防喷管及手压泵，并将井下仪器、同位素释放器及加重杆和电缆连接好；

④将防喷头、伽马测井组合仪、释放器及加重杆穿入防喷管内，上紧防喷头；

⑤将电缆向外拉紧，压紧助推弹簧，用手压泵打压将电缆抱紧（手压泵油压表应显示4MPa）；

⑥竖起防喷管，与防喷管短节用卡箍连接（此时必须使用带副吊的并有足够高度的吊车）；

⑦关上小放空闸门，打开总闸门和注水闸门正常注水。用柴油或机油将电缆擦净，防止沙土、脏物堵塞流管，将手压泵泄压，井下仪器串则靠自重匀速下放到井底；

⑧仪器下到射孔井段以下10m后，上提测自然伽马本底曲线或释放同位素注水后测同位素曲线（过程同半密闭施工）；

⑨测井完成后，将井下仪器上提到防喷管内，关掉总闸门及注水闸门，打开小放空闸门，泄去井口装置中的压力，同时手压泵也泄压，拆下防喷管，起出仪器串。上紧采油树丝堵，打开总闸门及注水闸门，恢复正常注水。

全密闭施工工艺适用于5.6mm的细电缆.（如使用8mm电缆必须和流管直径配套，且增加加重杆重量）。测井过程中溢流量可小于5m^3/d。由于可达到密闭测井要求，所测吸水剖面资料能反映地层正常注水时真实的吸水状况，是目前最好的施工工艺。

3）全密闭施工应注意的问题

①定期检查防喷头根部螺纹及密封面是否清洁，“O”型密封圈是否破损，最好在各密封面适当涂密封硅脂，以保证有良好的密封。

②手压泵一般使用压力不超过10MPa，使用时必须装注20*机

油或液压油，否则将稳不住压力或加压失灵。

③因电缆和流管之间环空间隙只有0.1mm用电缆断线钳断的电缆是通不过流管的，需将电缆用锉刀或砂轮机将内外铠钢丝磨锉断，使电缆外径不扩大，方能通过电缆密封头和流管，从电缆头上部黄铜压块中心孔处，直通到助推弹簧处，再做电缆头。

④密封流管是高寿命的耐磨流管，长期使用后，如溢流量过大，要及时更换流管。

⑤如电缆有变形（如发生椭圆、外铠跳丝或起灯笼等）超过流管内径时，则不适用本装置。

（3）对施工井的技术要求

1）为了测得全部吸水层的吸水状况，井口至射孔底界以下10m范围内，管柱内通径应不小于46mm，以保证自然伽马组合仪及释放器、加重杆等能顺利通过。

2）为了不影响同位素测井的施工，注水管路各闸门至少有一个能关严。水表、压力表必须工作正常。

3）由于不动管柱测试，为避免分层配水井通过水嘴返吐，测井施工前要捞出井口正常注水时的偏心配水器，投入带单流阀的偏心堵塞器，以油管溢流量小于$2m^3/d$为合格；不投单流阀的井，必须使用高压井口防喷装置，来保证井口溢流量小于$2m^3/d$。

4）施工井的油管螺纹必须上紧不漏。为避免分流引起同位素微球载体颗粒下沉，分层配水井的配水器要位于各配注层段渗透率低的一端夹层中。

5）为避免沾污而影响解释结果，分层配水井的井下工具（配水器、工作筒等）必须避开射孔层位。

6）油、套管管壁要干净，以防同位素沾污。

7）有停注层段的井，要选用密封性能良好的压缩式封隔器。

（五）资料整理与解释

1. 资料的整理

（1）按放射性同位素吸水剖面测井曲线质量标准检查测井曲线原图是否符合质量标准。在确认测井曲线合格后，方可进行

资料整理。

（2）把该井注水井段以上20m、注水井段以下 10m 的微电极、自然电位曲线（或只一条自然电位曲线）及射孔井段、层位，有效厚度，有效渗透率等绘在透明图上。

（3）对同位素吸水剖面测井曲线深度进行校正。通常由于放射性测井曲线有滞后现象，加上测井电缆本身的误差，所测出的放射性测井曲线深度和完井测井曲线深度之间存在一定误差。必须通过微电极或自然电位曲线和自然伽马曲线对比后，把自然伽马曲线深度校准，使曲线深度同地层深度相符，吸水异常与地层相对应。

（4）消除污染影响确定叠合线　通常凡放射性同位素经过的井段，都有不同程度的放射性沾污，而使曲线的基值抬高，甚至造成假异常，影响测井资料的准确性。通过作沾污线的方法（略），可以消除这种影响。井下沾污的情况不同，作出的沾污线形状也不同，每口施工井都必须根据实际情况确定其沾污线。沾污线通常可分为直线、斜线、折线三种类型。见图2—14。

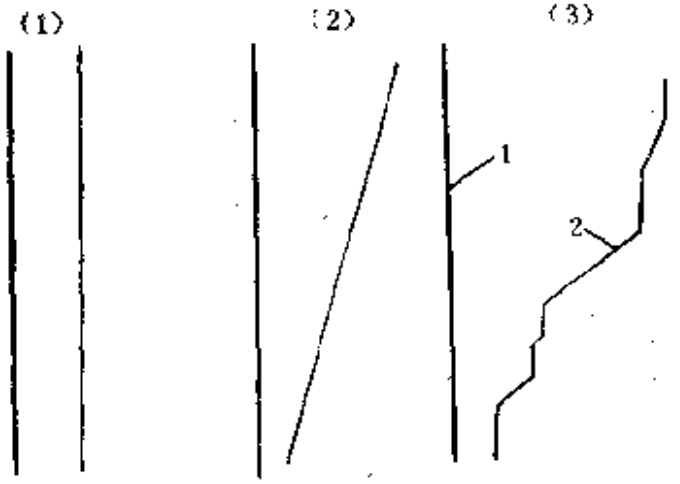


图 2—14　沾污线示意图

1—基线；2—沾污线

在图2—14中（1）表示井内不吸水段沾污均匀，沾污线基本成一直线；

图中（2）表示吸水井段沾污自上而下逐渐减小，沾污线为一斜线，但这种情况在原管柱井很少遇到。

图中(3)表示吸水井段沾污情况变化较大，沾污线为一折线。

对放射性同位素吸水剖面曲线进行解释时，沾污线作为绘图基线与注同位素前所测的自然伽马基线相叠合，所以沾污线也称做叠合线。

（5）绘制叠合图　叠合线确定后，即可绘制叠合图。绘制时深度要与绘制基线时一致。绘图时要把已绘好的基线透明图蒙在同位素曲线原始图上，使射孔井段以上的自然伽马基线和同位素曲线重合，然后看原图上的叠合线落在透明图上的哪条纵线上，把这条线用铅笔划在透明图上，在绘图过程中，始终保持这两条线完全重合。当叠合线是斜线或折线时，还要不断地移动透明图。保证消除沾污影响，同时要注意深度准确。

（6）划分吸水层位求各小层的相对吸水量

1）凡在配水管柱中测的吸水剖面曲线，应在叠合图的右侧绘上管柱曲线，并标出封隔器与配水器及水嘴的规范。

2）确定吸水层位　根据射开井段，对应着的叠合图上，凡有明显异常面积的为吸水层。曲线异常超过泥岩井段叠合起伏的1.5倍，都要计算吸水面积（串槽和非射孔层工具沾污造成的异常除外）。

3）用求积仪求出各个吸水层位异常面积，吸水厚度由各吸水层对应的射孔层位顶底界决定。凡不对应射孔层位的异常面积可直接剔除不予考虑。但对应射孔段的吸水层位异常层正好对着工具接箍或井下工具位置时，应扣除工具沾污造成的异常面积，扣除值应根据非射孔层段接箍或工具沾污异常值大小决定。

4）求相对吸水量　将各吸水层的异常面积之和除以各层的异常面积，便得出各层的相对吸水量。即：

$$\beta_i = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^{n} S_i} \times 100\% \qquad (2—9)$$

5）把异常面积之和除以射开厚度，可求出每个层的相对吸水强度。

6）把吸水层位、吸水井段、异常面积和相对吸水量都逐项填写在图的右侧，最后形成一张完整的同位素吸水剖面测井成果图，见图2—15。

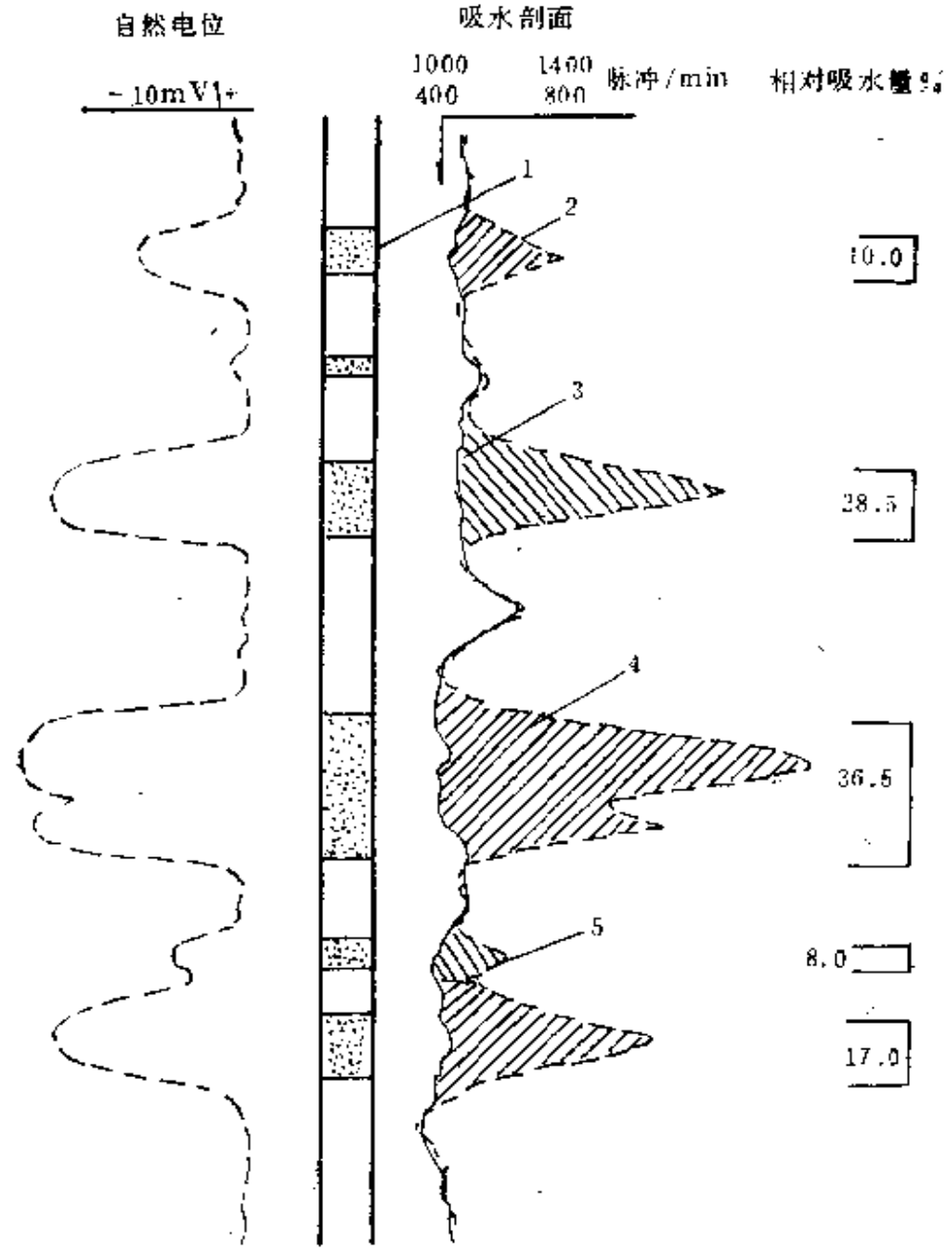


图 2—15　吸水剖面测井曲线叠合图

1—吸水层；2—同位素曲线；3—自然伽马曲线（基线）；4—吸水面积；5—分层线

上述过程也可编制成程序，由计算机完成。

同位素吸水剖面测井曲线的解释

（1）确定注水井各个小层的吸水层位和相对吸水量、吸水强度。方法如上所述。

（2）确定管外串槽井段

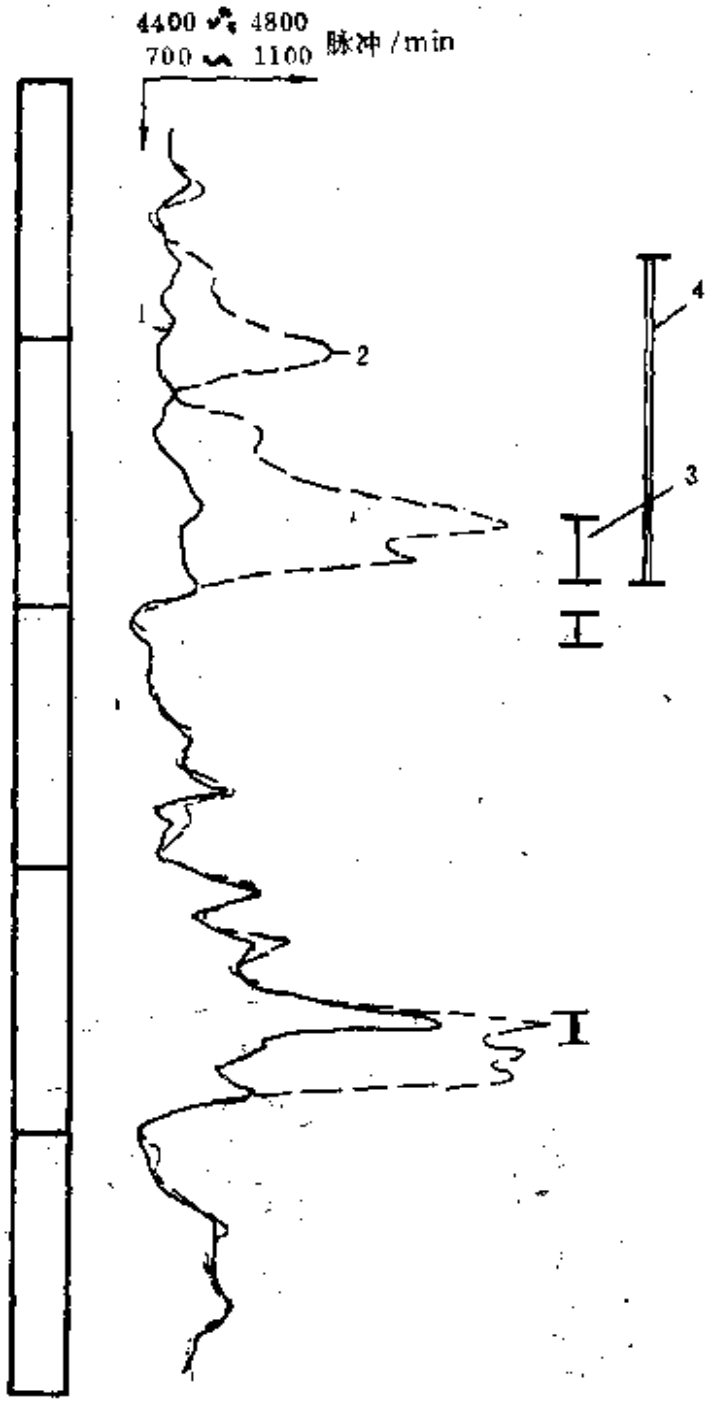


图 2—16　同位素示踪测井找串解释图

1—自然伽马曲线；2—同位素曲线；3—射孔井段；4—串槽井段

在解释同位素吸水剖面测井曲线时，有时还可以检查出串槽井段。其主要特征是在射孔层位上下的非射孔层位，出现较大幅度的同位素异常（见图2—16）。非射孔层位同位素载体是无法挤入地层表面的，只能是沿着管外水泥和地层之间的通道进入该层。这说明该层段水泥未封固好，串槽了。因此在进行吸水剖面解释时，一定将串槽井段标出，并通知地质部门采取措施，封堵或修改配注方案。

（3）验证配注管柱深度　分层配注管柱是根据配注设计方案作业施工的。但由于各种原因，封隔器深度下错时有发生，必须验证其深度。

由于小直径自然伽马-磁定位组合仪器可在测同位素曲线的同时，测出一条管柱深度曲线，该曲线可测出油管接箍位置和封隔器位置，对照测井曲线，可解释出其具体深度位置。凡发现封隔器深度下错，或坐卡在油层中时，均应在解释成果图中标出，并及时通知地质部门重新进行作业施工。

（4）找漏失部位　当注水井发现井口注入压力下降，但注水量增加时，常怀疑有漏失层存在。特别是在套管变形区的注水

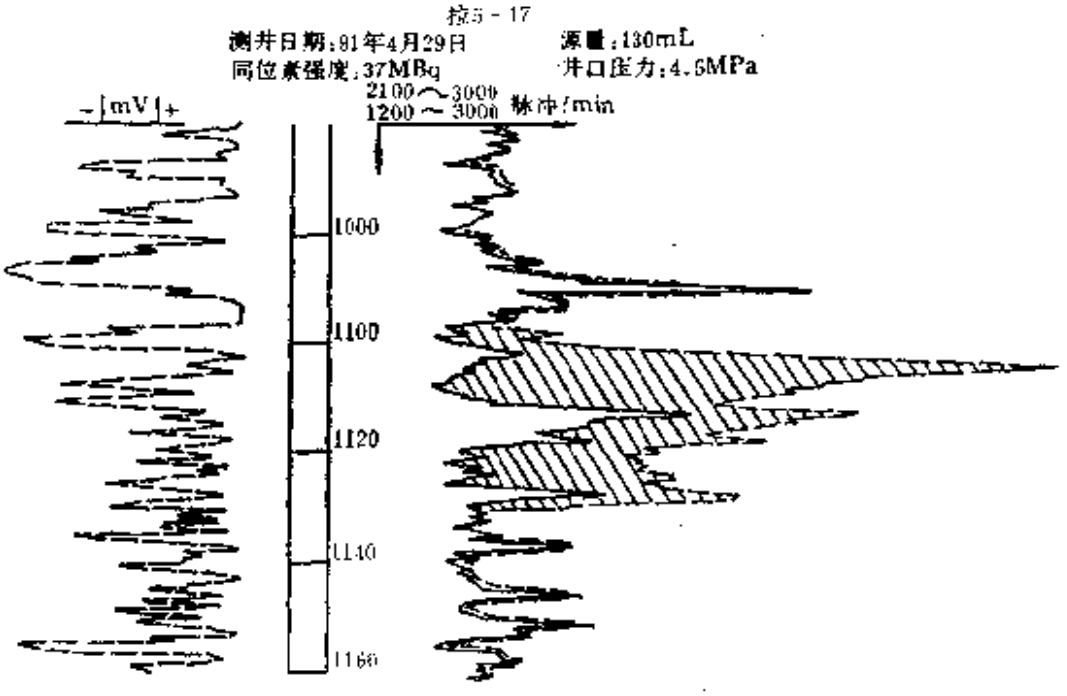


图 2—17　放射性同位素测井检查漏失层实例曲线图

井，在套管损坏部位常有漏失部位存在。此时必须从井底至井口在测吸水剖面的同时，还需在油层射孔层位上部找漏失部位。

漏失部位的同位素异常通常是通过最上面的一个配注层段进入漏失部位的（必须是射孔层以上没有封隔器）。当发现油层射孔段以上远离射孔层的层位有较大的放射性同位素异常时，通常是由于同位素随注入水漏失到该部位造成的，可初步解释为漏失层（见图2—17）。如果起出管柱再进行其他工程测井项目如连续流量计、过油管井径等方法核实，则解释结果会更加可靠。凡遇有漏失层位的井，应及时采取封堵措施。

二、水井连续流量计测井

水井连续流量计是一种非集流式测试仪器。测量时用扶正器使仪器位于液柱中央，它通过连续测量井内流体沿轴向运动速度的变化来确定井的注入剖面。

大庆油田70年代末研制成功了水井连续流量计，由江汉石油管理局第三石油仪表厂生产，目前已在我国部分油田应用。

（一）测量原理

在井眼直径，测速和流体粘度一定的条件下，在单项流体中，涡轮的转速N与流体的流速V成线性关系。而流量Q与套管截面积S，流速V的关系为：

$$Q=SV \qquad (2—10)$$

因流量Q与流速V成正比，所以流量与涡轮转速N也成正比。

（二）井下仪器

1. 井下仪器的机械结构及特点

连续流量计的井下仪器由电缆头、扶正器、加重、磁性定位器、流量传感器五部分组成。见图2—18。

（1）仪器最下部是流量传感器。为了减少传感器涡轮的摩擦力矩，采用低摩擦系数的宝石轴承。宝石轴承由$\phi 2.5\times 0.8\times 1$的内弧孔环宝石及$\phi 2\times 1$的球面盖宝石组成（见图2—19）。为了

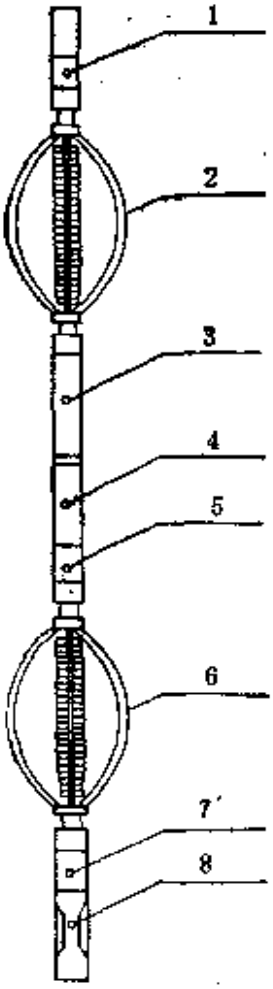


图 2—18 连续流量计结构示意图

1—密封头；2—上扶正器；3—加重；4—磁钢与线圈；5—磁性定位器线路筒；6—下扶正器；7—线路筒；8—流量传感器

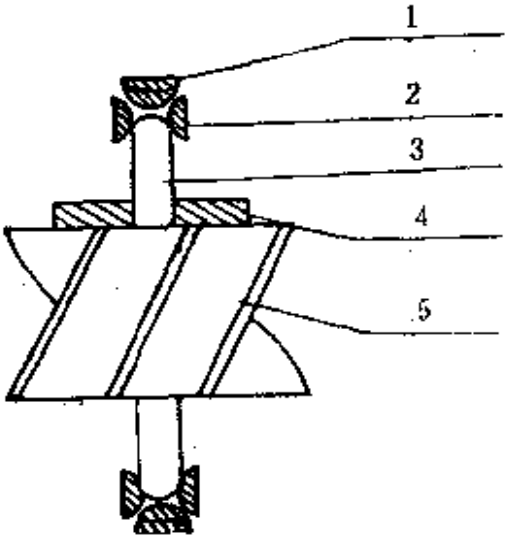


图 2—19 涡轮宝石轴承结构示意图

1—盖宝石；2—环宝石；3—涡轮轴；4—电工软铁；5—涡轮

进一步减少仪器的启动流量，提高测量的灵敏度、涡轮采用聚苯硫醚模压成型，涡轮重量仅有5.3g。

（2）仪器的中部装有磁性定位器。以便利用测得的节箍信号，校正电缆的深度误差。

（3）该仪器是测量井内流体的中心流速，因此井下仪器的上下方装有扶正器，保证测量时仪器位于井轴。该扶正器收缩后的最小外径为44mm，胀开后的最大外径为250mm，因此可经油管中下入井内在套管中测量。

（4）为了消除在测量过程中因电缆抖动对仪器均衡运行的

影响，方便施工，在仪器中部装有加重，加重的重量为15kg。

（5）仪器整体连接的特点是五个部分均用丝扣与滑环连接，是积木式结构，它的优点是相同仪器的各部单体结构可以互换，这对于运输施工，维修都很方便。

2. 流量传感器的原理

（1）涡轮变送器的工作原理　涡轮端面上镶有一块厚1mm，$R=5$mm的半月形电工纯铁，它与上方的差动变压器组成转换结构，见图2—20。

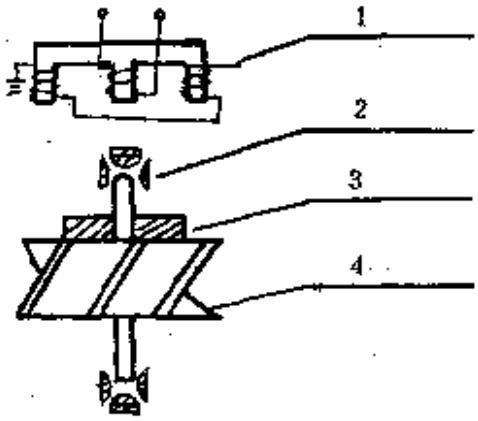


图 2—20　涡轮变送器原理图
1—差动变压器；2—宝石轴承；3—电工软铁；4—涡轮

差动变压器的三个磁极A、B、C上分别用ϕ0.06mm高强度漆包线绕有线圈，每组线圈为800匝。A、C组两线圈是匝数相同绕向相反串接起来做为次级，B线圈为初级。由于流体冲击涡轮转动，涡轮上的电工纯铁就破坏了差动变压器次级线圈A、C两组的平衡，因此在P点就输出电信号。

给初级a、b端通以3kHz交流信号，此时设A组线圈的感应电动势为V_A，C组线圈中的感应电动势为V_C，在P点输出的电压按图2—21四种情况变化。

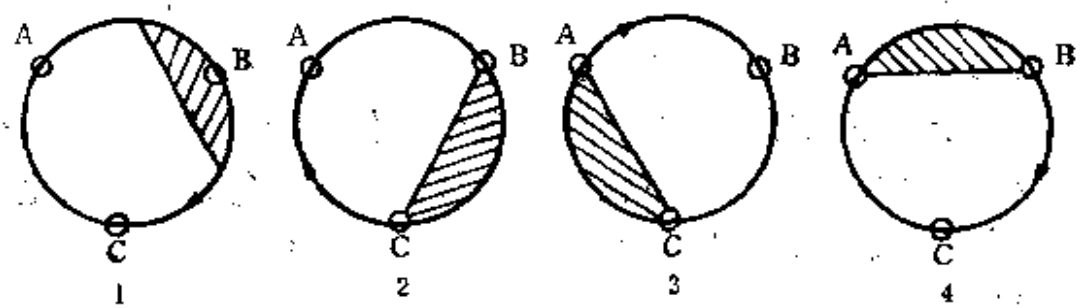


图 2—21　差动变压器P点输出电压变化示意图

综合以上四种电压变化情况，涡轮每转一周，P端即有一组

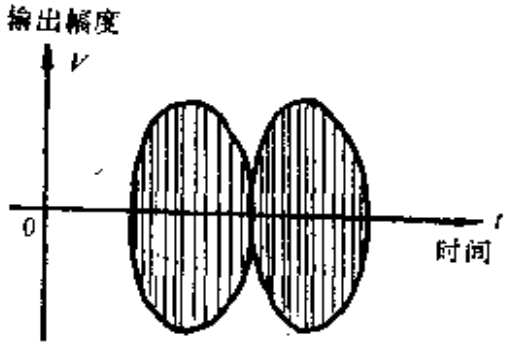


图 2—22 涡轮旋转一周输出波形图。

如图2—22的波形输出。两个波形的包络线的部分为涡轮旋转一周的波形。

（2）涡轮变送器的电路工作原理 由于连续流量计采用不集流的测量方式，因此，只有很小一部分流体流经仪器，涡轮的转速非常缓慢。以 $5\,^1/_2''$ 套管为例，当每天有1m³的流量流经仪器，涡轮每分钟内仅有0.58转。这就要求井下仪器对这种变化周期很大的信号有足够大的放大能力，并且解决零点漂移的矛盾。

测量电路由八个单元电路组成。见电路原理图2—23。

整个电路采用了调制与解调的方法将涡轮信号处理成方波。

从差动变压器次级输出的信号有两个交流分量，一是由振荡器加在差动变压器上的3kHz 信号；二是经过涡轮转速调制变换成的调幅信号，这组调幅波经放大器放大后，送入同步解调器，经解调后得出涡轮转速信号，把涡轮转速信号再送入鉴幅级变换成方波信号，又经过互补跟随器通过电缆传到地面上来。

3. 磁性定位器

为使仪器测量的资料较准确的反映分层动态，必须保证测量深度准确，因此，井下仪器设计有磁性定位器。磁性定位器的工作原理将在本手册第三章介绍，这里仅将连续流量计中使用的磁性定位器放大线路设计的依据及其原理加以说明。

由于井下仪器带有扶正器，磁性定位器处于井轴位置，磁性记号强度较弱，因此井下仪器上必须加上放大电路。放大电路由磁性定位器、差动放大器、输出电路和电源四部分组成。见图2—24。

4. 井下仪器的技术指标

仪器长度	3.62m（包括加重）
仪器外径	44mm

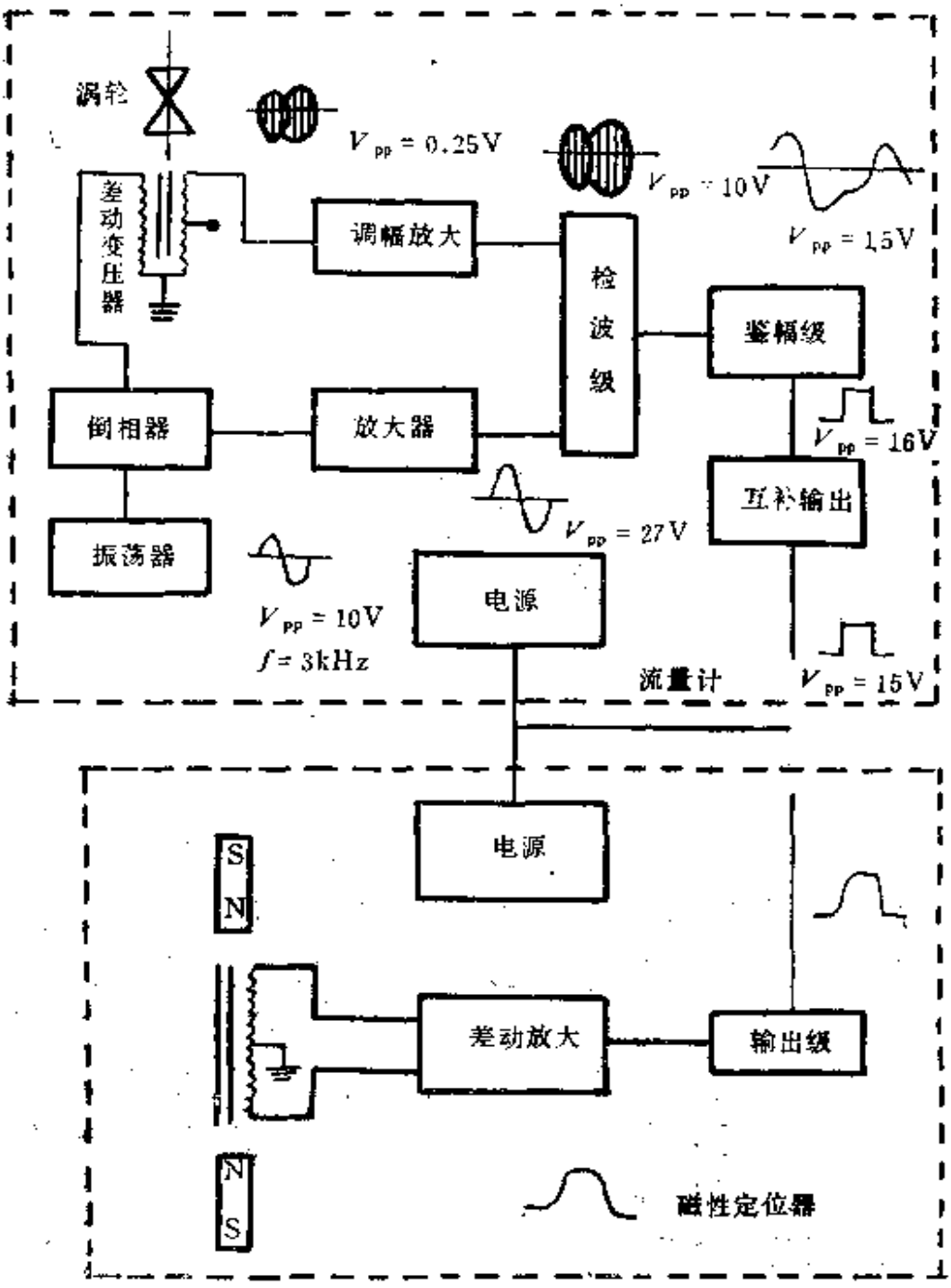


图 2—23　涡轮变送器电路原理方框图

仪器重量	25kg
供电电流	40mA
工作温度	60℃

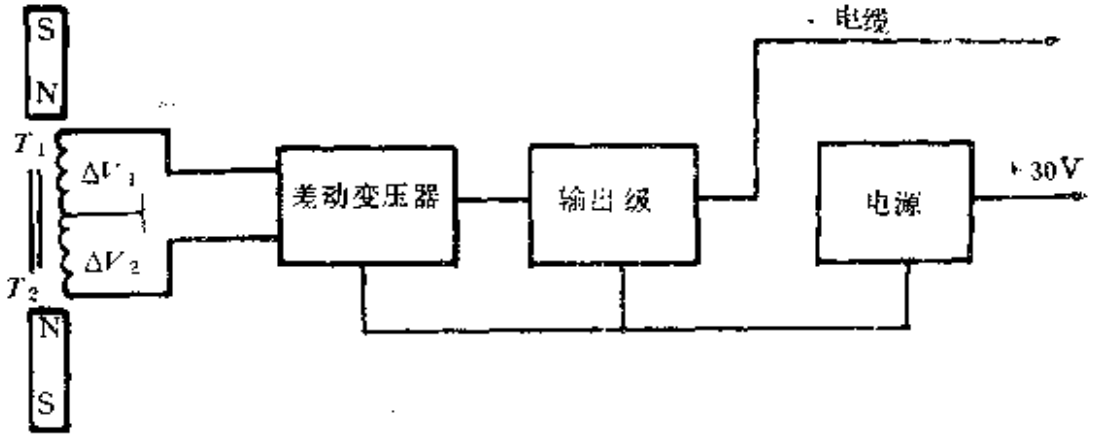


图 2—24　磁性定位器信号放大电路框图

工作压力	≤20MPa
起始流速	2cm/s（整机）
线性范围	2～400cm/s
记录点	3.62m
磁定位器记录点	1.91m

（三）地面仪器

1. 对流量测量的要求

井下仪器将涡轮转速变成电信号输送到地面进行记录，其转速是非常低的，如以涡轮K值为0.583(r/min)/(m^3/d) 计算，在1000m^3/d流速冲击下，涡轮转速仅有9.33r/s，把这样低的频率信号转换成直流电位，采用一般的积分方法将降低仪器的分层能力，从而造成流量的深度误差，特别是在低流量情况下，由于两个信号的频率差很小，会使流量的分辨力降低。因此，地面仪器采用的是测量涡轮转速周期的方法。

2. 流量测量的工作原理

地面仪器首先将井下涡轮信号周期换成与其成正比的数字量，然后再把代表井下涡轮信号周期的数字量再变换成电压量，从而得到一个与涡轮信号周期成正比的电压量。由于井下涡轮转速与周期成倒数关系，而转速与流量成线性关系，所以周期与流量成倒数关系，因此电位差与流量成倒数关系。为使所测电位差

与井下流量成线性关系，在地面仪器中设计了一级模拟计算器——函数放大器。经过函数放大器处理后，所得到的电位差与井下涡轮转速呈直线关系。电路原理方框图见图2—25。

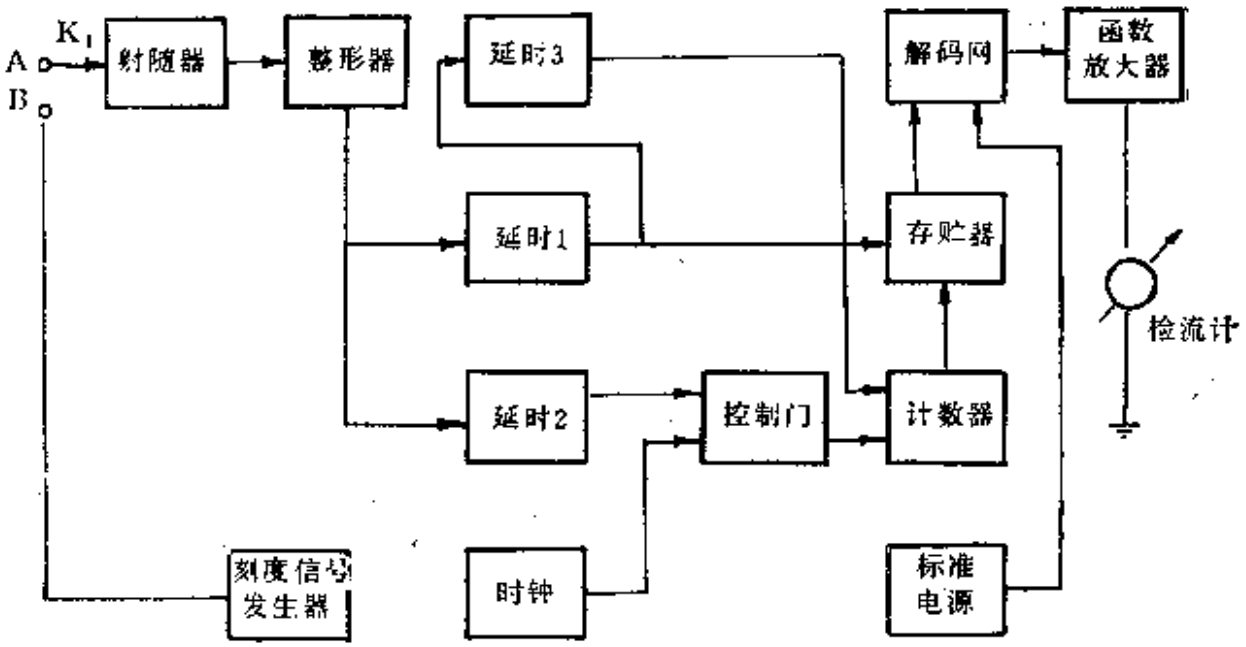


图 2—25 流量测量电原理方框图

井下仪器将涡轮转速信号变换成电信号送到地面仪器的输入端A，经过阻抗变换射随器及整形器后，分别送到延时1和延时2。延时1的作用是将时钟送来的2000Hz/s标准时钟信号按其周期长短分割为不同周期等间隔时间的同步信号，分割后的时钟信号见波形图2—26（3）。经负阈门（控制门）推动二进制计数器进行周期数码转换。见波形图2—26（4）。在4ms的时间间隔内，延时器1在2ms的时间后输出一脉冲宽度为20μs的存贮指令，见波形图2—26（5）。推动存贮器贮存计数器所记录的周期——数字转换的数码量，当存贮器动作以后，延时器3经20μs的延时送出一脉冲宽为20μs的清"0"指令，使计数器全部清"0"，等待下一个涡轮信号周期进行记录。见图2—26(6)。解码网将存贮器存入的数字量进行数模转换，从而得到与数字量成正比的模拟电

压量。把得到的模拟电压量由函数放大器进行 $y=\frac{1}{x}$ 倒数处理后，送记录仪进行记录。

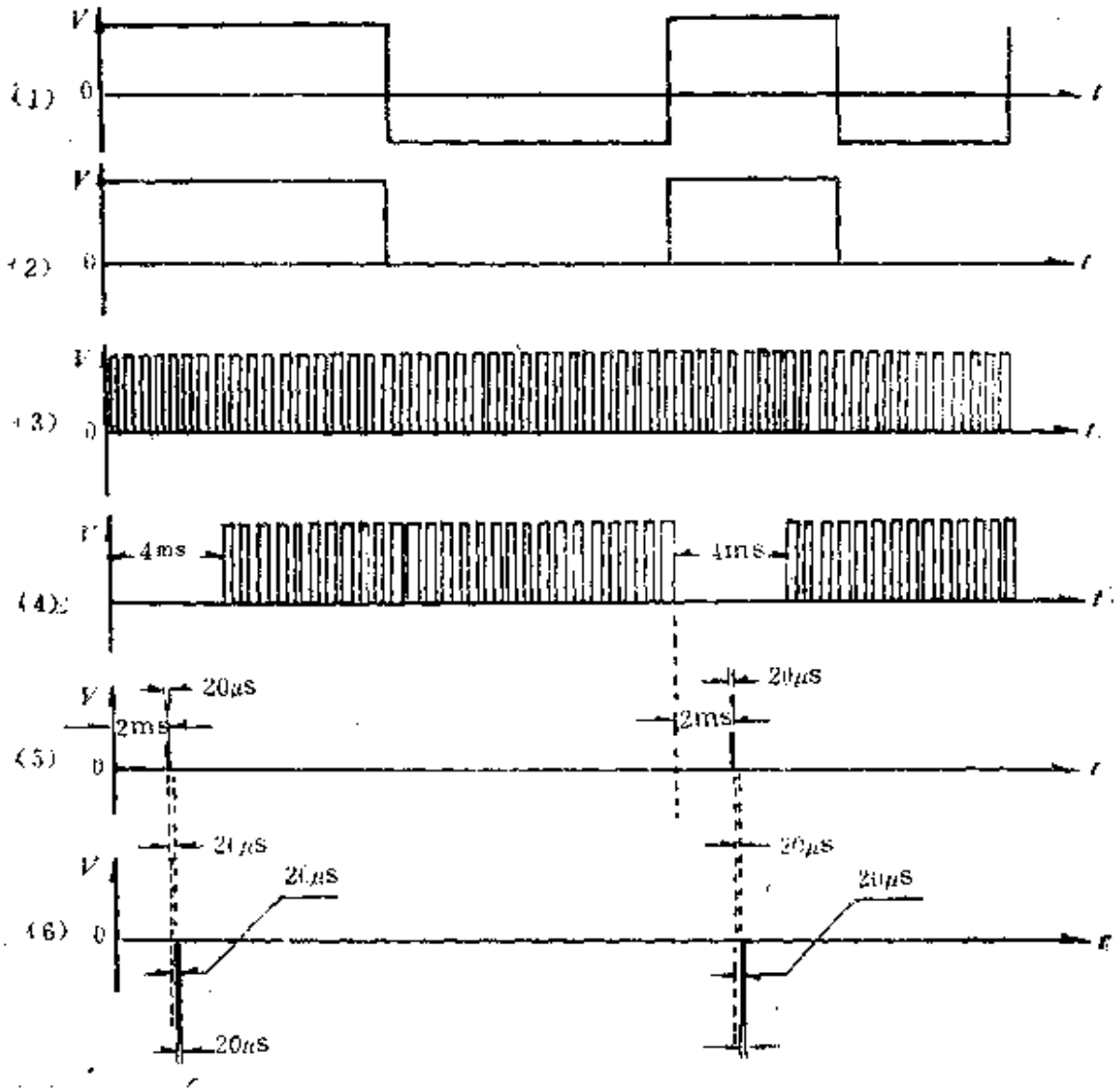


图 2—26 流量电路输出波形图

为了检测仪器的工作状态并对仪器进行刻度，流量测量部分设有流量刻度信号发生器，对流量进行5Hz/s，10Hz/s的刻度调整。刻度信号发生器接到流量部分B端，当地面仪器K_1接到输入B端时，即对地面仪器进行流量刻度。

由于在涡轮周期时间T的范围内，不管周期时间大小均减掉4ms的时间单位，则会造成漏记，对涡轮转速产生转换误差。这种误差在涡轮转速越高时越显著，因此在计数器中需要补码，即

在清“0”时使计数器的某一级置“1”，用以弥补在间隔时间4ms内漏记掉的时钟脉冲。如本仪器时钟信号为2000Hz/s，则4ms的时间间隔漏记八个时钟脉冲，因此在计数器清“0”时，唯独使计数器中2^3这一级置“1”，以后任何涡轮周期所变换的数码量计数器均从2^3开始进行记录。这样就弥补了漏记掉的八个时钟信号。

3. 测速测量原理

测速测量原理框图见图2—27中虚线框内（虚线外为仪器外部电路）。

光电传感器的转动部分由两个同型号的自整角机及孔盘组成。当装在井口滑轮上的自整角发送机被电缆运行带动转动时，与其同步的地面仪器中装有孔盘的自整角接受机也与其同步转动，这样就把电缆的运行速度变换成孔盘的转动速度。把聚焦的一束光投射在孔盘上，经孔眼反射回来的光投射在光电传感器中光电管的光电基极，这样就把孔盘上的每角一个孔都转变成电信号。电信号经放大，整形后，由泵电路变换成与孔盘转速（即与电缆运行速度）成正比的直流电位差输出，供记录仪进行流速记录。

为了检测测速电路的工作状态和对记录仪器进行线性刻度，同样在本级测量电路中设有测速刻度信号发生器，分别有500m/h、1000m/h的标准信号输出。当K_2置于D档即为测速刻度。

（四）现场测量

1. 测井程序

（1）光点或记录笔位置　测井前应确定光点或记录笔位置，用机械或电调零的办法使1，2，3道检流计或记录笔分别置于12cm，0cm，1cm处。并在施工记录上填好表（表2—5）。

（2）下放下井仪器　上述工作完毕后，井口紧好防喷盒，下放电缆，同时给井下仪器供电，观察井下仪器在下放运动中的工作状况，并观察涡轮是否卡、堵，仪器在井下是否遇阻。

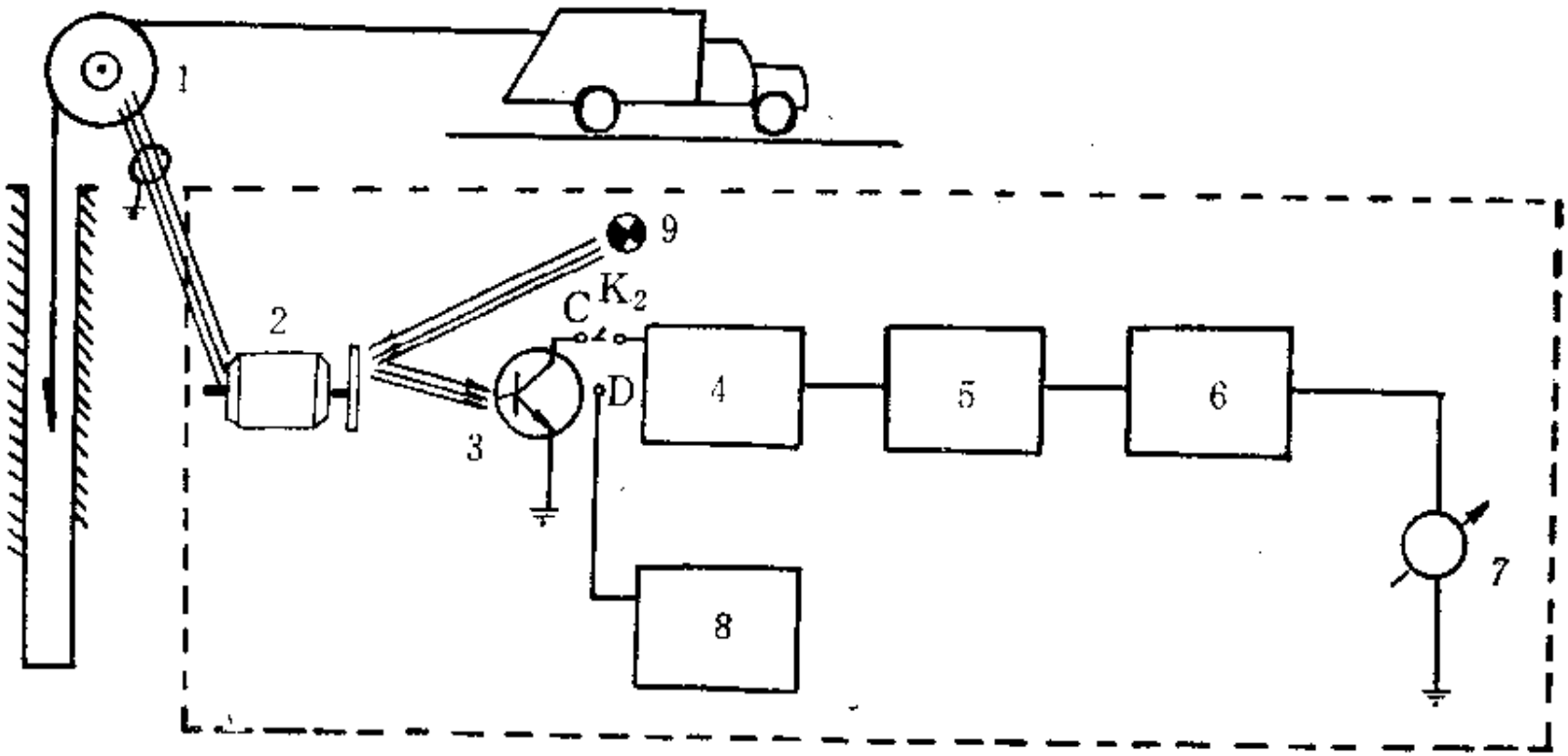


图 2—27　地面仪器测速测量原理框图

表 2—5

井号：　　日期：

测量项目	光点位置	测量道
流量	0	2
测速	1	3
磁性定位	12	1
电缆记号	14	

（3）测前刻度　装好照相纸或记录纸，挂上比例，用自备马达走部分相纸或记录纸，然后打开流量计面板电源开关L—S，用1：1光点或记录笔记录流量测程为50mV/cm；测速为25mV/cm。深度比例为1：200，刻度线在相纸或记录纸上记录5cm。具体操作步骤如下：

1）照零线：使连续流量计面板选择开关L—S_3、L—S_4都置于刻度2位置。此时第二道测程50mV/cm光点为0cm处，第三道测程25mV/cm光点为1cm处，挂上深度比例1：200，打开自备马达，使两条零线均在相纸或记录纸上记录5cm长。

2）照刻度线：测程如前不变，使流量计面板选择开关L—S_3、L—S_4分别置于刻度1位置。调节L—RS_1、L—RS_2使第二道光点或记录笔（流量）偏转3.3cm，第三道光点或记录笔（测速）偏转3cm处。然后挂上1：200深度比例，打开自备马达使光点在相纸上跑5cm。

以上测前刻度完成后，应将情况填入表2—6。

（4）在射孔层顶部停车　当仪器下出油管喇叭口，距射孔层顶部5m时，操作员通知绞车司机停车。

（5）转入正常注水　绞车司机把车停稳后，关掉套管闸门，打开注水闸门并调节注水闸门A，使油压表指针指示予定的工作制度压力位置，装上防喷盒排液管并检查磁性记号位置是否正确，安装是否可靠。

（6）稳定注水　调整到欲测工作制度后，应稳定一小时，

表 2—6

井号　　日期

刻度项目	比　例	偏转，cm	测　程	测量道
流　量	5Hz/s	5	50mV/cm	
	10Hz/s	10	50mV/cm	
测　速	500m/h	2	25mV/cm	
	1000m/h	4	25mV/cm	

在此期间要观察压力的变化，如压力有变化应及时调整，稳定后方可测量。

（7）正式测量

1）记录停止电位差　给下井仪器供电，将连续流量计面板测量选择开关L—S_3置于测井位置，挂上深度比例（1∶200），打开自备马达，使第二道光点（测程为50mV/cm）在相纸上或记录纸上跑5cm。

2）记录停止转速　给下井仪器供电，打开CWJ-2型产量计面板电源开关（或频率计电源开关），记录30s涡轮转速，共记录两次，然后把两次结果填写在测井施工记录表2—7上。

表 2—7

井号　　日期

方　法	转 / cm	时间 / 距离	测点深度
计　数		30s	
照　像		5cm	

3）下放仪器　上述工作完成后，通知绞车将仪器下放至射孔井段底部10m，注意观察仪器工作情况以防止井底的沉积物造成井下仪器的卡、堵。

4）测量开始应注意的事项　当仪器停在射孔井段以下10m时，将地面仪器测量选择开关L—S_3与L—S_4分别置于测井。测速

位置(此时井下仪器也在供电)，以稳定的速度(一般在1200m/h)上提，即可进行照相或记录笔记录。测量时务必保持绞车提升速度的稳定，中途不允许改变测速。测量开始时流量的光点开始向正的方向偏移，很不稳定，应待光点稳定某一值后方可正式记录。

5）当流量曲线光点（或记录笔）稳定在某一值时，打开第一道、第二道、第三道的测量开关（分别置于500mV/cm、50mV/cm、25mV/cm），挂上深度比例1：200，就可以进行正式记录。对于整个吸水层的测量有三点必须注意：

①起测后，当流量电位差稳定在某一值进行记录时，要注意转数表指示的实际深度。此刻井下仪器不可进入有吸水层的位置（无零流量操作除外）。

②起测后，当流量电位差稳定在某一值时，应串加刻度补偿，使光点偏转回1cm处，并在施工记录表2—8上填写这一零流量补偿电位差的毫伏数。

③随着井下仪器在吸水层底部逐步向顶部运动、注入量不断增加，涡轮转数亦不断增加，流量电位差亦增高，光点向正的方向偏转。当光点偏移至14～16cm处时，应串加刻度补偿，使光点偏回至4～6cm处。补偿值视井的注入量而定。例如，仪器在油层顶部所记录的停止电位差为ΔU_1；在底部记录的电位差为ΔU_0，则总电位差应是$\Delta U_1+\Delta U_0=\Delta U$，所以原则上应是$\Delta U=\Delta U'+\Delta U''$，式中$\Delta U'$是所记录的流量电位差，$\Delta U''$是补偿记录的流量电位差。

④完成整条曲线测量时，只允许有两次串加刻度补偿，一次起始零流量补偿，另一次为测量中间补偿。如果由于井本身注入量过高，在测量中间补偿一次还不能记录下全井电位差的毫伏数时，应改换测程为125mV/cm，重新测量。

⑤记下补偿时的井下仪器位置，在施工记录表2—8上填写上测量中间补偿电位差毫伏数。

⑥由于零流量补偿与测量中间补偿均用一只极化刻度补偿

表 2—8

井号　　日期

项　目	补偿 mV	井段 m	量程	测量道
零流量			50mV	2
测量中间			50mV	2

器，所以在填写表2—4的补偿值一栏时，测量中间补偿值应填写上极化刻度补偿所指示的总补偿电位差毫伏数。如零流量补偿值为100mV，测量中间补偿400mV（绝对值）测量中间极化刻度补偿器指示为：100mV＋400mV＝500mV。

6）测后，停止电位差和转速的记录　当井下仪器提升至全部射孔层顶部10m以上层段时，记录停止电位差和记录停止转速。方法同1）、2）。

7）　测后刻度　记录完停止电位差及停止转速后，即对地面仪器刻度，方法同测前刻度。

8）曲线测完后，关掉地面仪器的电源开关L—S_1，关掉频率计数字电压表的电源开关。示波器及井下供电开关不关，以便观察井下仪器工作状况，防止遇卡。

2. 测后井场拆除

（1）关井放压　测量完成后，使注水井关井排液释放压力。

（2）上提仪器的深度监测及操作

1）当水井排液量显著减少时，操作员即通知绞车司机上提井下仪器。此时由于井下仪器在油管喇叭口以下，所以起速一定要慢。操作员根据转数表的实际深度，要准确的判定井下仪器何时进入油管喇叭口，何时仪器全部进入油管，通过示波器波形观察确定仪器在进入喇叭口有无遇阻。

2）当仪器全部进入油管后，操作员立即通知绞车司机快速上提仪器。

3）当仪器提升距井口还有100m时，操作员通知绞车司机减速，换挡慢起。

4）当仪器提升距井口还有50m时，停车拆防喷盒。

5）防喷盒拆开后，用手扶防喷盒，慢速上提仪器直到井口。

6）拆除连线、清洗仪器，拆除井口安装，收回各种仪器连线，整理仪器。

（3）拆除井口安装后，注水井转入正常注水

（五）资料解释

1. 解释的理论基础

已知连续流量计的理论方程为：

$$N=K_1Q+K_2V-b$$

由上式看出，地面仪器记录的涡轮转速由两部分组成，一部分是流体的流量Q造成的；另一部分是由测速V造成的。两者之和为地面仪器记录的总转速。在测井过程中，测速始终保持稳定，因此可把由测速造成的转速看成是一个常数，设它为N_0。即：

$$N_0=K_2V-b$$

将N_0代入上式得：

$$N=K_1Q+N_0$$

$$N-N_0=K_1Q$$

在测井曲线上，由射孔井段以下测得的涡轮转速为测速形成的，即为N_0。在射孔井段之上测得的总流量转速即为N。设$N-N_0=N'$代入上式，得

$$N'=K_1Q \qquad (2—11)$$

上式说明总流量转速和零流量转速之差与井的流量存在着正比关系，因此我们就可以在总流量与零流量之间，按内插法确定任一点的相对流量。

2. 解释方法

（1）涡轮转速的确定　涡轮转速就是从所测得的测井曲线上读出零流量、合层流量、总流量的涡轮转速。测井曲线测得的是电位差，所以确定涡轮转速就是把测得的电位差换算为涡轮转速。

测井曲线的图头上有流量刻度。流量刻度是指从零线到刻度线偏转的距离所代表的电位差值（mV），也就是单位时间涡轮每转一转所代表的电位差（mV）。例如：刻度5Hz/s、10Hz/s光点或记录笔偏转5cm、10cm，测程为50mV/cm，则刻度电位差为：

5Hz/s 代表5cm×50mV/cm

10Hz/s 代表10cm×50mV/cm

1Hz/s 代表50mV

也就是说当涡轮转速为1r/min时，地面仪器转换出电位差为50mV，对测井来说，当测程为50mV/cm时，地面仪器光点或记录笔每偏转1cm，就代表了井下涡轮有1Hz/s的转速，按照这个原理，我们就可以在测井曲线上读出总流量，测量流量及零流量的涡轮转速。

（2）求分层相对吸水量的一般公式　所谓分层相对吸水量，就是各小层吸水量占全井总注入量的百分比。公式为：

$$\beta_n=\frac{\Delta N_n}{N'}\times 100\% \qquad (2-12)$$

式中　β_n——分层相对吸水量，%；

N'——总流量时涡轮转速，r/min；

ΔN_n——分层流量的涡轮转速，r/min。

ΔN_n与第一章中自喷井找水测试中介绍的分层脉冲数概念相似。它指第一合层涡轮转速与第二合层的涡轮转速之差。即：

$$N_1'-N_2'=\Delta N_{12}'$$

（3）求分层绝对吸水量的一般公式　分层绝对吸水量是指小层的实际吸水量，其公式是：

$$Q_n=\beta_n\cdot Q_0 \qquad (2-13)$$

式中　Q_n——分层绝对吸水量，m^3/d；

β_n——分层相对吸水量，%；

Q_0——井口测得的全井总注入量，m^3/d。

（4）电缆运动速度的确定　电缆运动速度是指在所测得的测井曲线上确定测量时电缆运动速度。它同涡轮转速确定方法是

一样的，只不过速度测量的测程用25mV/cm，速度刻度用500m/h，例如当测速刻度曲线刻度光点从零线到刻度线之间偏转距离为2cm，则光点偏转每cm代表实际测速为250m/h，这样在测井曲线上利用速度刻度光点或记录笔偏转距离即可确定电缆速度。电缆速度的确定在解释上意义很大，它可以对曲线进行速度校正，如果没有零流量或总流量转速时，可利用测速确定零流量及总流量的光点或记录笔位置。

（5）没有零流量及100%流量的解释

1）由于某种原因没有测到零流量，或者流量一直持续到井底，没有明显的零流量位置，此时要确定零流量位置可用两种方法：

①相对解释零流量转速　在测井时，沿井轴在不同深度上的各点上读出停止转速（停止转速，即仪器停在各点进行点测时的涡轮转数），另外还要在连续测量状态下查得不同深度各点相对应的涡轮转速。求出两种转数差的算术平均值，再减去a值，即为零流量转速。即：

$$N_0=\frac{\sum^{m}(N_{测}-N_{停}-a)}{m} \qquad (2-14)$$

式中　$N_{停}$——某点的停止转数；

$N_{测}$——连续测量转数；

m——共测量的点数。

式中对于同一涡轮a为常量。

②用电缆速度刻度曲线确定零流量转速　当进行绝对解释时，零流量转速可用电缆速度刻度曲线确定。根据测量时使用的电缆速度，直接从刻度方程曲线上查出零流量转速。

2）在不可能测得100%流量的情况下，为了确定100%流量的转速，可根据井口总流量在流量刻度曲线查得涡轮转速，然后再加上该曲线零流量的涡轮转速，即得到100%流量的转速。

3．影响因素及解决方法

由于连续流量计是在运动条件下测量，速度的抖动，井口滑轮及井架的颤抖、都会造成曲线的抖动、特别是套管损坏及长期注水造成井壁严重腐蚀等会使套管内径发生变化，反映在测井曲线上则呈现锯齿状态。这种影响将给曲线解释结果带来一些误差，可采取平均值法处理，以减小解释误差。

（1）摆动处理　图2-28测井曲线呈现锯齿状，但具有围绕一个值在往返摆动的特点，这个值我们称为平均值，以该值读出涡轮转速。

在射孔井段，井径值必然增大，根据经验在夹层中取平均值确定平均线。

（2）井径的校正　当流量一定，流速与套管半径的平方成反比。即：

$$V_1=\frac{Q}{\pi R^2_1} \qquad V_2=\frac{Q}{\pi R^2_2}$$

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{R^2_2}{R^2_1} \qquad (2—15)$$

式中　R_1、R_2——套管半径，mm

V_1——R_1处的流速；m/min

V_2——R_2处的流速。m/min

计算证明，当井径变化1mm时，流速变化1.5%。因此在进行精确测量时，必须同时进行井径测量。根据井径校正图版，把井径变化后的流量校正回来。当在一口井测量井段内套管内径不变时，一般情况下是采用夹层取平均值方法求涡轮转速。主要是夹层因射孔造成的井径变化小，夹层套管腐蚀也相对均匀。

（3）流量校正　套管中的流体，因流速不同存在紊流和层流的两种运动状态。而流态取决于雷诺数的大小。即：

$$Re=\frac{\rho V D}{\mu} \qquad (2—16)$$

式中　ρ——流体密度，g/cm^3；

V——流速，m/min；

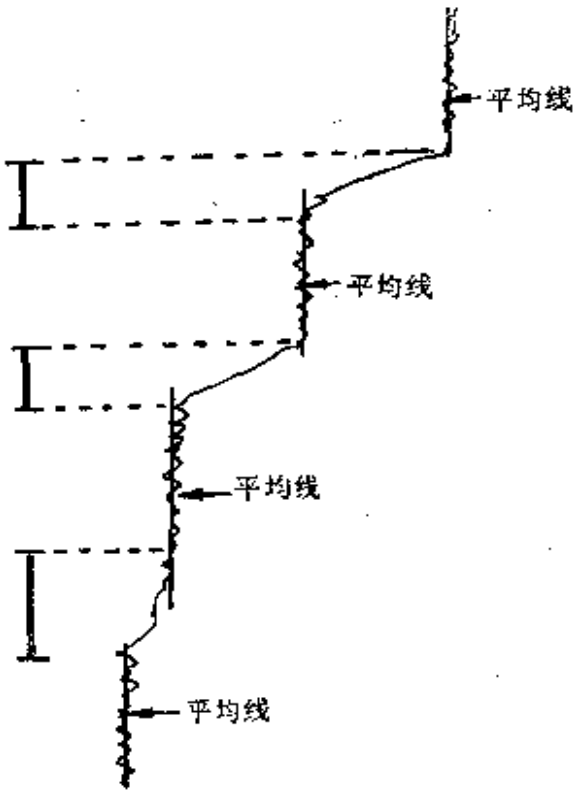


图 2—28　流量曲线抖动取平均值示意图

D——管子的直径，mm；

μ——粘度，mPa·s；

当$Re<2000$时为层流；$Re>4000$时为紊流；$2320<Re<4000$时为过渡状态，流态不稳定。

以1/2″套管为例，当流体为单相水时，流量为17m³/d，流速为1.58cm/s以下为层流，流量为34m³/d，流速3.17cm/s以上为紊流。

连续流量计测量的是井内流体的中心流速，即层流和紊流速度，而解释中应用的是平均流速。由实验可知，平均流速与层流和紊流流速之间的关系为：当出现层流时，层流在管中的中心流速为平均流速的2倍，见图2—29（a）。当出现紊流时，其中心流速为平均流速的1.2倍，见图2—29（c）。

由于层流、紊流、平均流速之间存在着很大差别，在作相对解释的条件下，就必须进行校正，以平均流速确定涡轮转速。设，

平均流速$=\overline{V}$，涡轮转速为$\overline{N'}$；

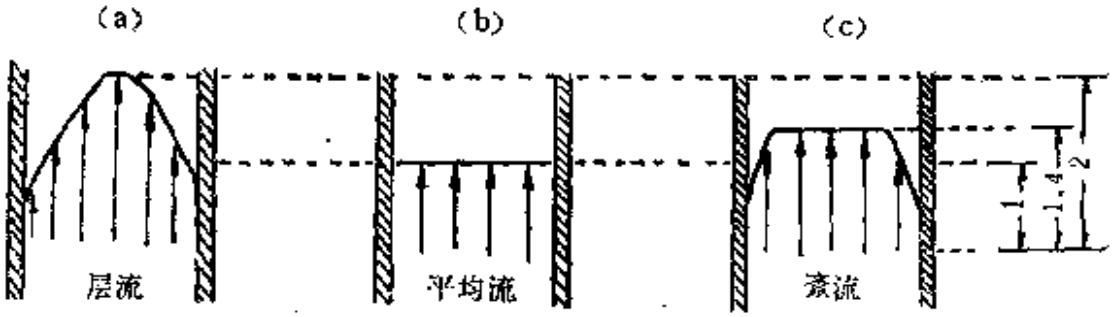


图 2—29 各流速之间关系图

层流流速$=V_a$，涡轮转速为N_a；

紊流流速$=V_c$，涡轮转速为N_c；

据$Q=\overline{V}S$

当管径一定时，S为常数，则涡轮转速为：

$$N'=KQ$$

即

$$\overline{N}'=K\overline{V}S$$

由于式中K和S为常数，因此当出现层流时，其涡轮转速为：

$$N_a=KSV_a$$

因

$$V_a=2\overline{V}$$

所以

$$N_a=KS2\overline{V}$$

则

$$\overline{N}_1=\frac{N_a}{2}$$

所以解释时要用所测量的涡轮转速的1/2计算流量。（对于$5^1/_2''$套管，当壁厚为7mm时，应用范围在17m³/d以下）

当出现紊流时，$\overline{N}'=\frac{N_c}{1.2}$

（对于上述套管，应用范围在34m³/d以上）。

对于在层流和紊流间的流速校正，目前尚无实验结果及参阅资料。因为此时流动状态不稳定，在上述条件下，既使按流量从17～34m³/d的流速，校正系数从1.2～2之间均匀校正，亦不能代表实际流动状态。尚待进一步实验做出校正图版，见图2—30。

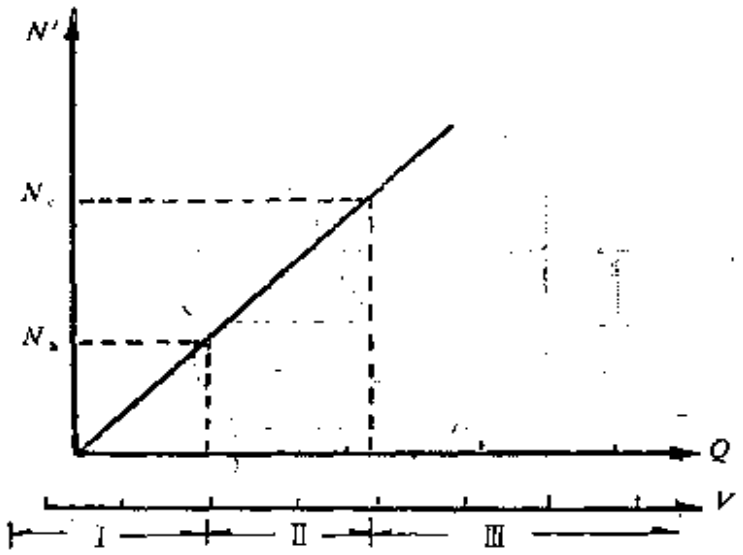


图 2—30　流速校正示意图

图中Ⅰ区为层流校正区，所测涡轮转速为$\frac{N_c}{2}$；Ⅲ区为紊流校正区。所测得的转速为$\frac{N_c}{1.2}$；Ⅱ区为过渡区。

对于不同管径的流速校正系数是不同的，因此必须根据管径的不同，选择不同的校正图版进行校正。

国外常用井下校准法进行流态校正。井下校准法是确定紊流及平均流速的校正曲线，这样可根据各测点的真实流速而获得的涡轮转速直接求得各测点的流量。步骤如下：

1）在测量井段内选择井径为均匀的一段作测量剖面，以两种以上不同测速在此测量剖面上获得两种以上不同测速下的涡轮转速。见图2—31中的A，B。

2）在以x轴代表测速，y轴代表涡轮转速的直角坐标上，标出各次测速和对应的涡轮转速。标出A、B两点。见图 2—32。

3）连接A、B两点成一直线（在多个测点时则取多个测点的平均值），然后经P点做A、B的平行线PC（图中虚线部分），P点是根据井下粘度而定的实验数据，在图 2—31 中是指粘度1mPa·s状态下的支点。因为在紊流时有中心流速较平均流速高

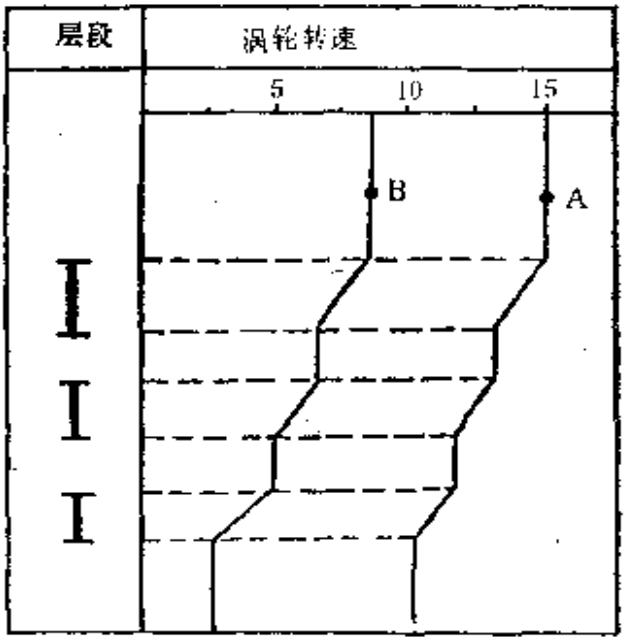


图 2—31　井下流态校正示意图

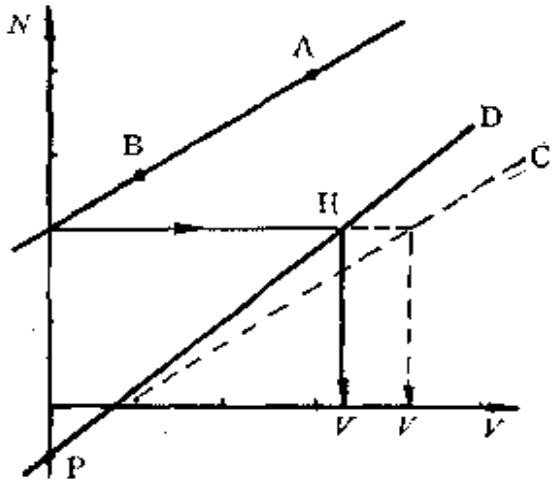


图 2—32　流态校正方法示意图

1.2倍的关系，所以对PC线要进行斜率校正。校正方法是取图2—31中与$V_1=0.38V$，与涡轮转速的相交点H，连接P、H两点，得一条直线PD，PD线即为紊流与平均流速的校正曲线线。

4）当PD线确定之后，就可把不同深度位置上测得的涡轮转速，转换成对应流体的运动速度。从而根据$Q=SV$的关系式确定该点的流量。

当井径变化时，就必须另行确定响应曲线。

4. 解释步骤

（1）校深

1）计算总零长

① 流量计零长

$H_{流}$＝电缆零长＋流量计零长＋套补距－记号高

② 磁性定位器零长

$H_{磁}$＝电缆零长＋定位器零长＋套补距－记号高

其中，流量计零长为3.62m；磁性定位器零长为1.91m。

2）深度校正 用射孔前测得的磁性定位曲线，校正连续流量计同时测得的深度。

（2）确定涡轮转速

1）坐标确定 坐标确定是指涡轮转速-电位差的K_V值，即当涡轮转速为每秒一转（1r/s）时，地面仪器转换的电位差毫伏数，称为刻度常数。

$$K_V=\frac{U_0+U_K}{A} \qquad (2—17)$$

式中 K_V——刻度常数，mV(Hz/s)；

U_0——零点补偿电位，mV；

U_K——刻度电位，mV；

A——仪器涡轮转速，r/s。

刻度电位是指当仪器以5r/s的转速度进行刻度时，地面仪器转换的电位差。

2）确定零流量转数

$$N_0=\frac{U_0+U_1}{K_V} \qquad (2—18)$$

式中 N_0——零流量转速，r/s；

U_0——零点补偿电位，mV；

U_1——在零流量转速下地面仪器所转换出的电位差，mV；

K_V——刻度常数，mV(Hz/s)。

3）确定总流量涡轮转速（百分之百流量转速）

$$N=\frac{U_0+U_*}{K_V} \qquad (2—19)$$

式中 N——在总流量下涡轮转速，r/s；

U_*——在总流量涡轮转速下，地面仪器转换的电位差mV。

（3）解释 相对吸水量及绝对吸水量公式前面已有介绍。解释时应参考多种方法，采取综合解释。连续流量计测井曲线的解释通常需参考井温、井径、声幅等资料，才能得出较正确的结果。

5. 曲线验收标准

（1）按图头内容填写图头，要求在技术说明栏内填写该仪器的a值及总流量的停止转速。

（2）在备注栏内填写第几工作制、井口注入量及井口压力。

（3）测井原图上要注明零点补偿mV数，零流量补偿mV数及某一深度下的补偿值。

（4）测速稳定，不超过±10%。

（5）每种工作制度需有2～3条曲线做为重复资料。

（6）图上测前、测后刻度线要清楚，并加注明。

（7）深度记号清楚。

（8）在一张记录纸上至少要有一个明显的电缆深度记号。

（9）零流量曲线的记录深度要求比射孔层段底部深度深5m。总流量曲线的记录深度不少于射孔层位以上5m。

（10）停止转速换算成流量，要与井口注入量相对应。

（11）在总流量上测得的电位差换算成转速加上值a，要与停止测量时的转速相对应。

（12）测前测后零线漂移≤15mV。

（13）一般要求深度比例为1：200，特殊要求时可用1：50记录曲线。

三、水井电磁流量计测井

注水井电磁流量计是胜利油田胜利采油厂研制并在注水井应用的一种点测流量计。该流量计是利用电磁感应原理，测量管道中各种导电流体流量的仪器。它主要用于注水井分层流量测试，测试结果可作定量解释。

1. 仪器的组成

全部仪器由以下四部分组成：

（1）ZLJ-1型井下电磁流量计；

（2）ZDL-1型地面记录仪；

（3）LC-1型流量处理器；

（4）MX-18型打印机。

2. 测量方法

使用ϕ5.6mm单芯电缆，在正常注水状态下带压测试。测量时可一次打印出日期、井号、层号、总流量及分层流量等数据。

3. 方法优点

（1）不受密度、粘度和水质影响。

（2）进出口管道只要求很短的直线段。

（3）压力损失小。

（4）井下仪器无活动部件，测井成功率较高

4. 井下仪器的主要技术指标

测量范围	2～300m^3/d
测量误差	≤±2%
工作温度	≤90℃
仪器外径	40mm（探头部分44mm）
仪器长度	900mm

第三章　工程测井

工程测井（即井下技术状况监测）是生产测井的重要组成部分。它主要包括：(1)固井质量检查；(2) 管柱深度检查；(3) 射孔质量检查；(4) 套管井径变化、腐蚀情况，套管变形、破裂、错断和漏失情况检测；(5) 管外窜槽位置检查；(6) 套管补贴效果检测；(7) 出砂层位及防砂检查；(8) 作业管柱正确与否检查；(9) 工程事故处理等。

我国各油田在多年生产实践中，研制并应用了二十余种工程测井项目，并开展了井下技术状况检查，为井下作业、修井及措施效果检测提供了大量可靠资料。为提高各种作业的有效率，恢复油水井的正常生产作出了应有的贡献。

目前我国各油田用于工程测井的仪器有近30种，除部分是引进国外仪器外，绝大部分是我国自己研制的。

本章着重介绍现用国产工程测井仪器的基本原理、主要技术性能和用途。

一、小直径磁性定位器测井仪

1. 用途

该仪器可通过油水井管柱，在管柱内进行磁定位测井，所测资料可确定油管接箍、各种类型封隔器深度，各种井下工具位置，主要用于检查管柱结构及深度，也常与其它仪器组合在一起用来控制深度。

2. 仪器结构原理

小直径磁性定位器如图3—1所示。

仪器由外壳、永久磁钢、绕组和压力平衡管组成。磁钢和绕

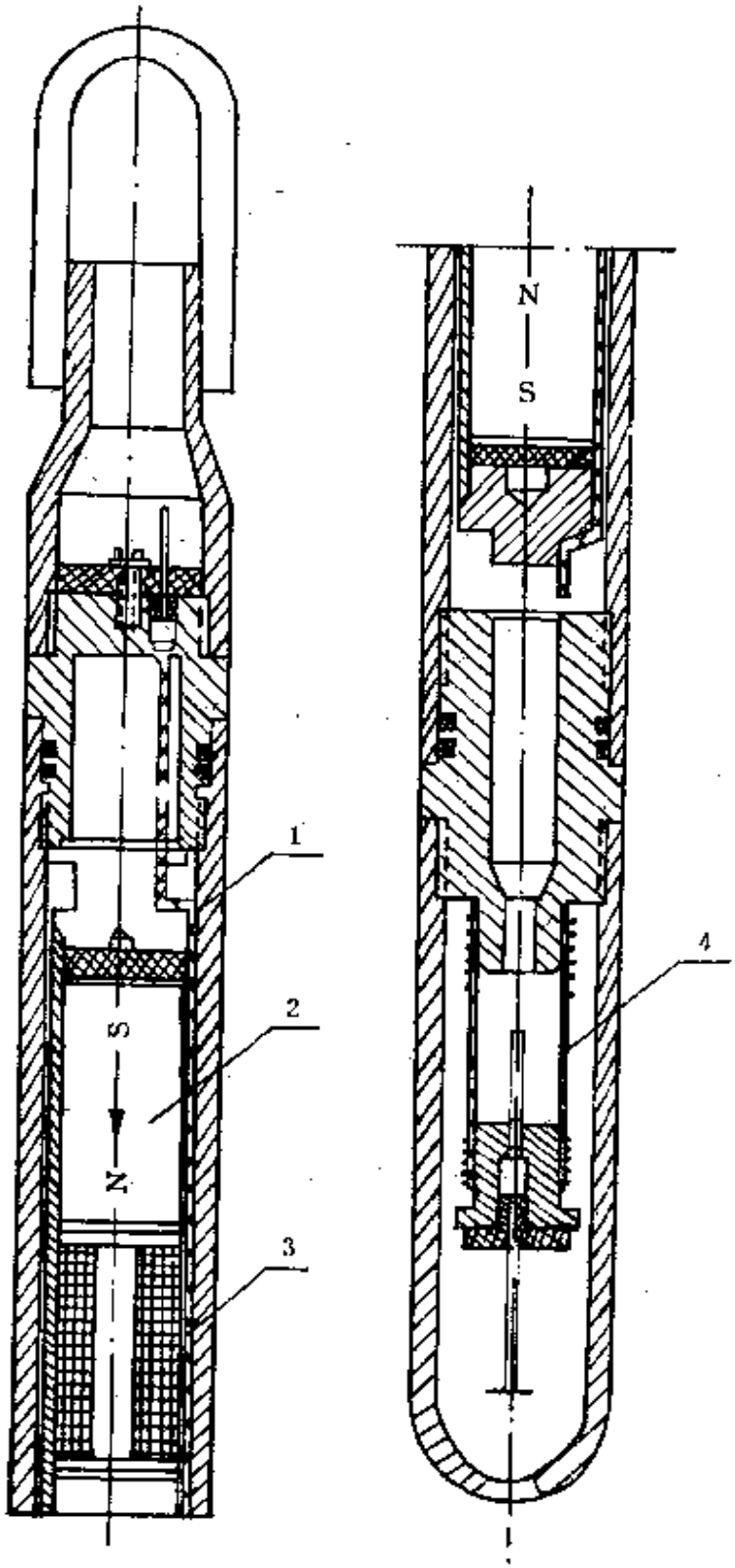


图 3—1　小直径磁性定位器结构图

1—仪器外壳；2—磁钢；3—线圈；4—平衡管

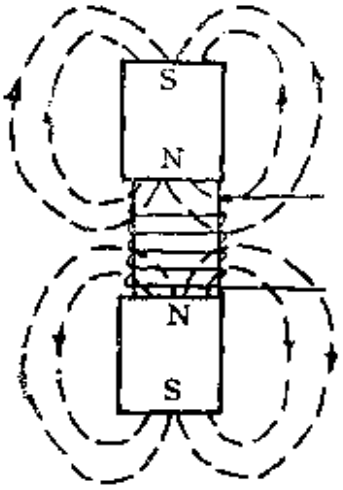


图 3—2 小直径磁性定位器原理示意图

组按一定顺序排列在非导磁的外壳中，并用毛毡或橡胶垫圈挤紧，起固定磁钢和绕组及防震缓冲作用。在绕组两端以同极性相对的方式排列两个永久磁钢，并产生一个恒定磁场，如图3-2所示。压力平衡管的作用是当磁性定位器下井时，周围压力通过橡皮管壁传给内部，给变压器油加压，并通过变压器油把外部压力传给仪器内壳达到压力平衡。

当仪器沿井身移动时，由于管柱周围介质磁阻（油管接箍、封隔器等）随深度发生变化，使通过绕组的磁力线重新分布，磁通量密度发生变化，在绕组产生感应电动势，电动势大小可根据电磁感应定律为：

$$\varepsilon_i = -\frac{d\phi}{dt}$$

即感应电动势等于磁通量和时间变化率的负值。其大小与介质磁阻变化、测速、磁场强度及绕组数据有关。通过测量线圈闭合回路中感应电流产生的电位差大小，即可知道管柱各部分的位置。

3. 仪器的技术指标

长度	400mm
外径	36mm
耐压	16MPa
绝缘电阻	$>2M\Omega$
永久磁钢磁感应强度	$>700\times10^{-4}T$
仪器重量	约4kg

4. 测井工艺

可根据油水井的具体情况，采用防喷密封测井或敞口测井。当所测磁性定位曲线特征标志变化明显，能够与干扰造成的假异常区别开，即可作现场解释。

5. 资料解释

小磁性定位器测井曲线的解释比较简单，通常作法是根据本

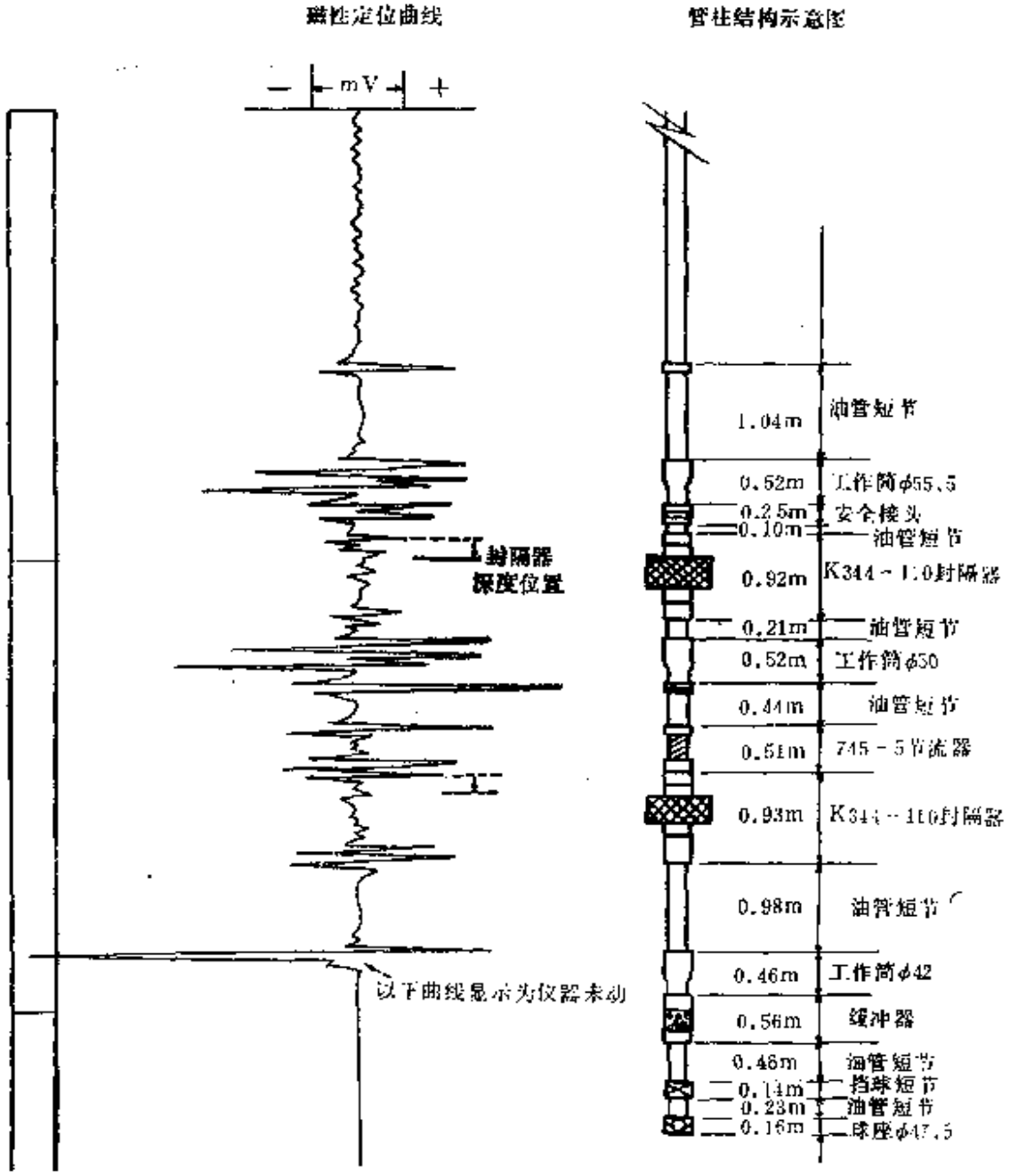


图 3—3 磁性定位器检查管柱示意图

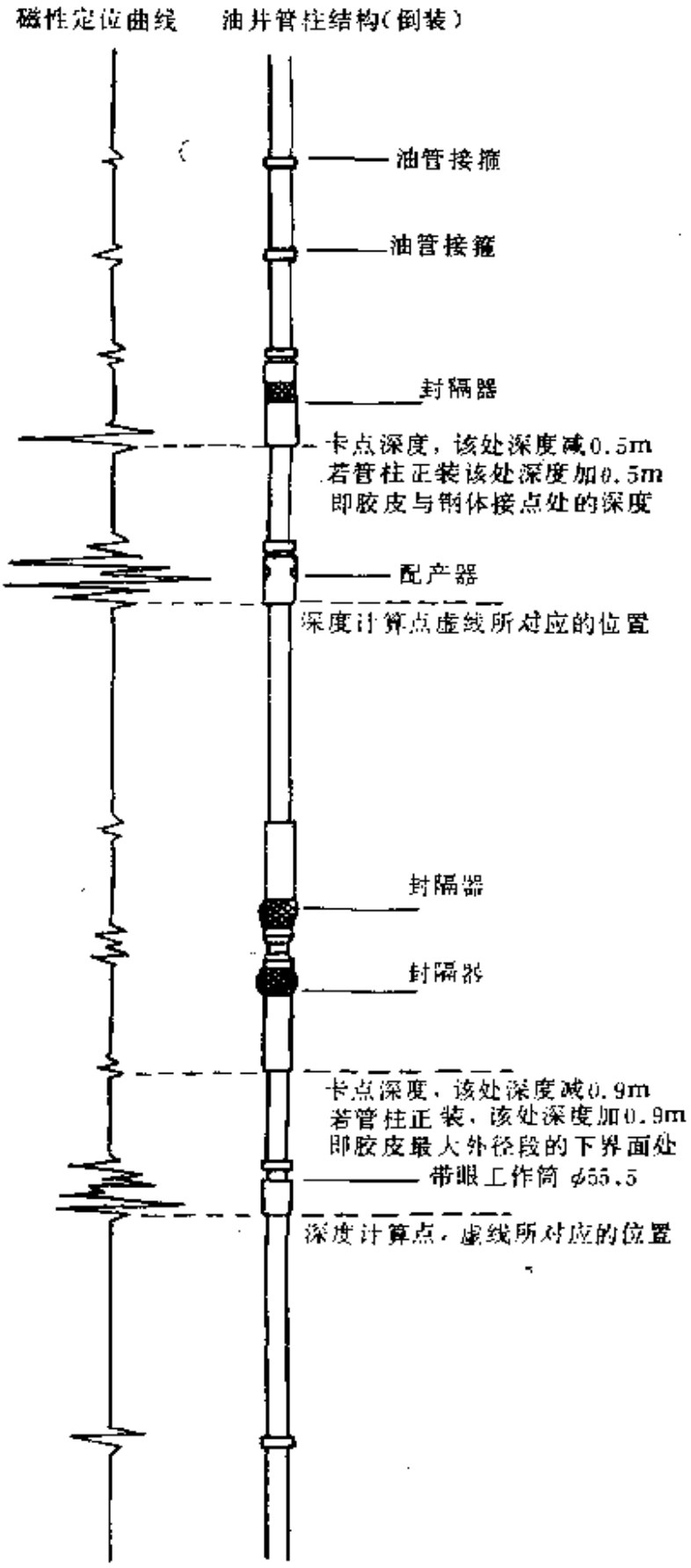


图 3—4　磁性定位器地面试验曲线

油田油水井管柱类型，先在地面进行模拟试验，测出管柱各部件磁性定位曲线特征和形态。将井下实测曲线同模拟曲线进行对比，即可确定井下管柱各部分的实际深度。用测井解释出的结果和作业施工方案比较，可检验作业质量。

图3—3和图3—4是两条模拟曲线确定管柱位置和曲线特征示意图。

实际应用中采用1/50深度比例磁定位曲线，可较准确的确定井下管柱各部分深度，特别是封隔器卡点深度。

二、微井径测井仪

1. 用途

测量油、水井套管各部位平均内径，给出套管内径变化及接箍位置。可以检查套管变形情况、射孔深度。与磁测井及井下超声电视资料配合，可以判断套管腐蚀及损伤情况。

2. 结构和工作原理

微井径仪是由普通井径仪改进的。图3—5和图3—6是其外形图。

微井径仪的腿比井径仪的腿短，末端有一个可滚动的小轮。为使腿移动灵活，起下方便，把连杆外围的弹簧适当缩短，并采用退火的办法降低其弹力。

微井径仪有四根相同的井径腿，位于通过仪器轴而互相垂直的两个平面内，每根井径腿由长臂、短臂和滚动小轮组成。短臂上端的偏凸轮通过支点和仪器连接。偏凸轮与连杆接触，连杆周围套有弹簧，弹簧压连杆，连杆把井径腿撑开，使井径腿紧贴套管内壁。当套管内径增大时，井径腿靠弹簧的力量撑开；当套管内径缩小时，由于受套管壁挤压，井径腿收缩，弹簧被压紧。因为井径腿永远紧贴套管内壁，所以井径腿与套管接触点两条对角线的平均值就是该位置的套管内径值。井径仪连杆上端有一个滑键，滑键的端点与线绕电阻接触，当套管内径发生变化时，井径腿

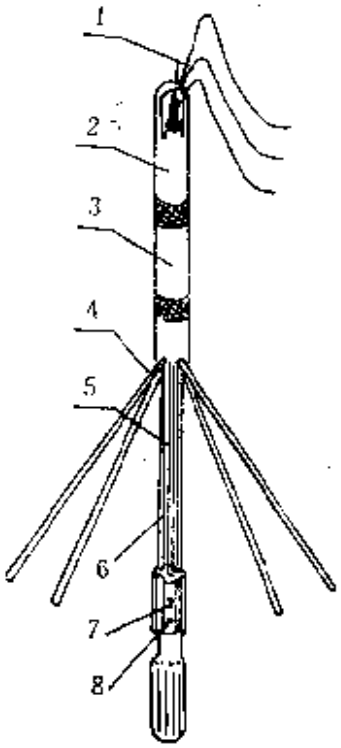


图 3—5　井径仪外形图

1—引线；2—仪器帽；3—测量部分；4—井径腿；5—压力平衡器；6—支柱；7—炸药孔；8—起爆引线孔

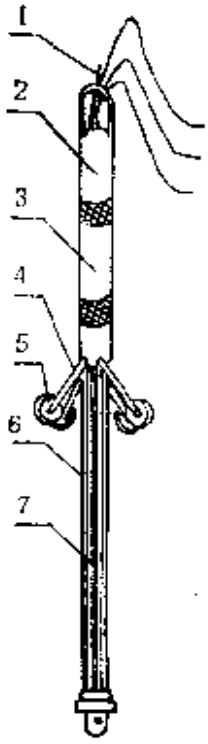


图 3—6　微井径仪外形图

1—引线；2—仪器帽；3—测量部分；4—井径腿；5—滚动小轮；6—压力平衡器；7—支柱

便随之撑开或收缩，推动连杆上下运动，与此同时滑键也在线绕电阻上移动，因此电阻R是不断随着套管内径d的变化而变化。通过对偏凸轮弧度的设计，可以使电阻的变化（ΔR）与套管内径的变化（Δd）成正比关系。即：

$$\Delta R=\beta\Delta d$$

式中β为比例系数，其数值与仪器结构有关，物理意义是指井径变化单位长度相应电阻值的变化量。

这样，只要知道电阻值的变化ΔR，便可以计算套管内径。图3—7是微井径仪的工作原理示意图。

3. 测量电路

微井径仪测量电路的基本原理是把井径的变化通过电阻的变化，转变为电位差的变化，然后记录其电位差ΔU。测量电路通常有电阻式和电桥式两种。

（1）电阻式测量电路

电阻式测量电路如图3—8所示。由四个可变电阻R_2、R_3、R_4、R_5串联起来，四个箭头分别代表R_2、R_3、R_4、R_5上的滑键。固定电阻R_1（3kΩ）用于稳定供电电流。当AB供恒定电流，当各电阻的滑动头分别位于R_2右端和R_3、R_4、R_5的左端时，MN之间的电位差为零，这时的井径（d_0）称为起始井径。当井径由d_0变为d时，各电阻的滑动头分别在R_2、R_3、R_4、R_5上移动一段距离，这时MN之间的电阻变化为ΔR，电位差为ΔU_{MN}，于是：

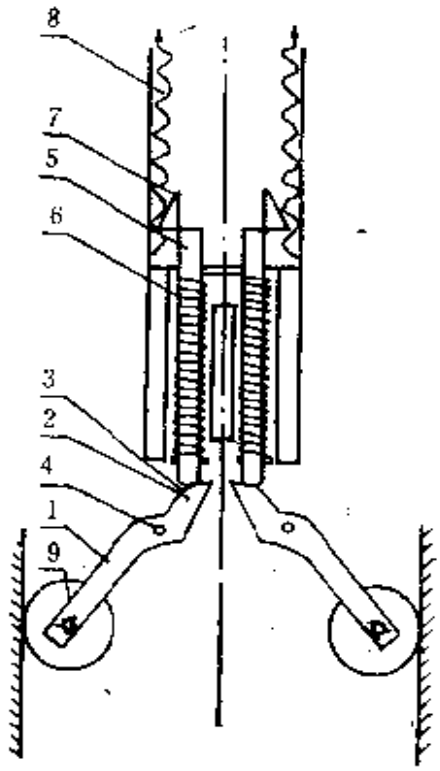


图 3—7　微井径仪工作原理示意图

1—长臂；2—短臂；3—偏凸轮；4—支点；5—连杆；6—弹簧；7—滑键；8—电阻；9—小轮

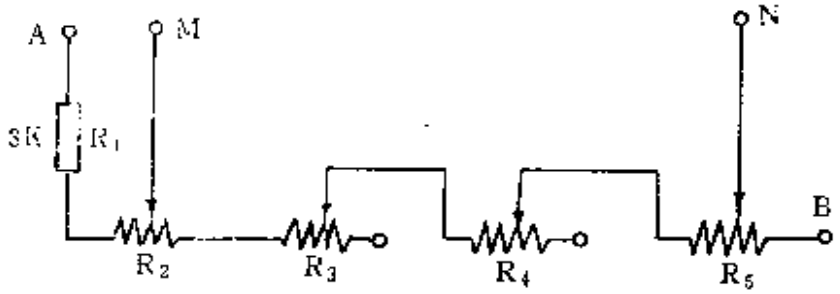


图 3—8　电阻式测量电路示意图

$$\Delta U_{MN}=I\cdot\Delta R=I\cdot\beta\cdot\Delta d=I\cdot\beta(d-d_0)$$

令

$$K=\frac{1}{\beta}$$

则

$$d=d_0+K\frac{\Delta U_{MN}}{I} \qquad (3—1)$$

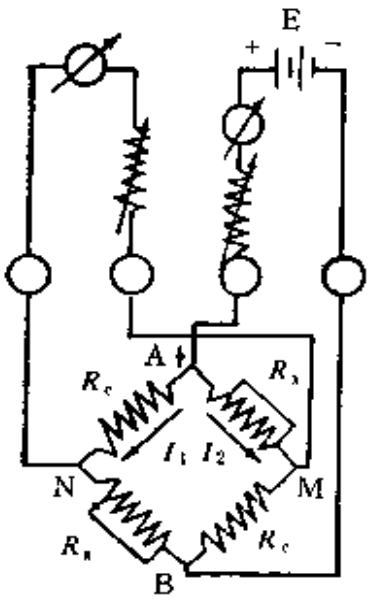


图 3—9 格式测量电路示意图

式中K为仪器常数。它和仪器结构及电路联接方式有关。其物理意义是电阻每变化1Ω井径的变化值。

从上述公式可知，只要测出MN之间的电位差，就可以求出套管内径值d。

（2）电桥式测量电路

电桥式测量电路由两个阻值相等的固定电阻R_c和两个阻值相等的可变电阻R_x组成一个惠斯登电桥。见图3—9。

当给电桥通一恒定电流I时，则电流从E到A再分成两路流向B点，最后返回电源的负端。电流$I_1=I_2=\frac{1}{2}I_0$，套管内径为d_0时。$R_c=R_x$，$U_M=U_N$，MN之间的电位差为零；当套管内径从d_0变为d时，R_x也发生变化（随着套管内径的增大，R_x逐渐变小），而且两个R_x的变化值相等，各为$\Delta R=R_c-R_x$

因为
$$U_M=U_A-\frac{1}{2}R_xI$$

$$U_N=U_A-\frac{1}{2}R_cI$$

所以
$$\Delta U_{MN}=U_M-U_N=\frac{1}{2}(R_c-R_x)=\frac{1}{2}\Delta RI$$

将$\Delta R=\beta\Delta d$代入上式得：

$$d=d_0+\frac{2}{\beta}\frac{\Delta U_{MN}}{I}$$

令$K=\frac{2}{\beta}$，则$d=d_0+K\frac{\Delta U_{MN}}{I}$

式中 K——仪器常数。

两种电路所得结果是一致的，由于K和d_0都是常数，电流I又是已知的，所以只要测出电位差值就能确定套管内径d值。

4．微井径的校验

（1）校验目的　应用公式$d=d_0+K\frac{\Delta U_{MN}}{I}$求井径时，除需要测量电位差$\Delta U_{MN}$和下井电流外，还必须知道$K$和$d_0$值，对微井径仪定期校验的目的就是为确定$K$和$d_0$值。此外，仪器在使用过程中，更换零部件后，$K$和$d_0$值就会发生变化，所以仪器每次检修后，都要重新校验$K$和$d_0$值，以保证测量井径数据的准确可靠。

（2）校验方法　微井径仪的K和d_0值是通过作电位差-井径（ΔU-d）校验曲线来确定的。作法如下：

1）把微井径仪的供电引线A、B和测量引线M、N分别和测量仪器接好。

2）把已知标准尺寸的不同套管短节依次套在井径腿上，井径腿要紧贴短节内壁，并位于同一水平面。

3）给仪器供固定电流（一般为3～6mA，最大不得超过10mA），并测量MN之间的电位差ΔU_{MN}。

4）将测量数据依次点在ΔU—d坐标上，连接各点作直线，即ΔU—d校验曲线。见图3—10。

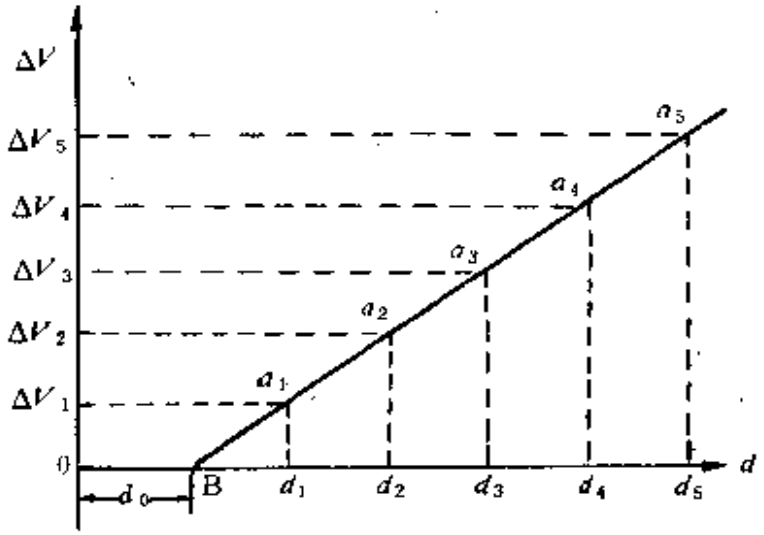


图 3—10　ΔU—d校验曲线

5）校验曲线与横坐标交于B点，因此时$\Delta U=0$，所以$d_0=$OB。在校验曲线上任取两点$a_1(d_1, \Delta U_1)$、$a_4(d_4, \Delta U_4)$，根据

求井径公式得出：

$$d_4=d_0+K\frac{\Delta U_4}{I}$$

$$d_1=d_0+K\frac{\Delta U_1}{I}$$

$$d_4-d_1=K\frac{\Delta U_4-\Delta U_1}{I}$$

所以

$$K=\frac{I(d_4-d_1)}{\Delta U_4-\Delta U_1} \qquad (3—2)$$

6）为检查仪器性能，可改变供电电流（最好与第一次电流值成整倍数），再作一条校验曲线，两条曲线求得的d_0值误差应小于±1mm。

7）校验点在坐标上的分布应在同一条直线上，若个别点不在这条直线上，不能超过允许值的2%，否则需重校。

8）校验时工作电流必须稳定，仪器绝缘良好。地面仪器的线路电阻要准确，使用补偿器时补偿值必须精确，井径阻由小到大或由大到小缓慢变化时，可变电阻变化要均匀，无跳动现象，每次校验点数不得少于5个。

5．测井工艺

微井径仪测井工艺比较简单。因仪器外径较粗，只能在套管井内测量，如测油水井井径变化或检查射孔层段位置，必须起出油管或注水管柱，压井后或停注后敞口测量。

仪器下井前，必须根据使用的地面测量仪器操作规程，用标准井径规对仪器进行刻度，所求d值和标准值误差不超过±1mm。测井时仪器测速不超过800m/h。测量结果在非套管变形井段应与套管标称值（如$5^1/_2$″套管内径约124mm）接近，其误差不得超过±2mm）。

6．测井资料解释应用实例

图3—11是一口井检查射孔层段的解释成果图。

该井是一口用无枪身射孔弹的射孔井，以图上可以看出，该

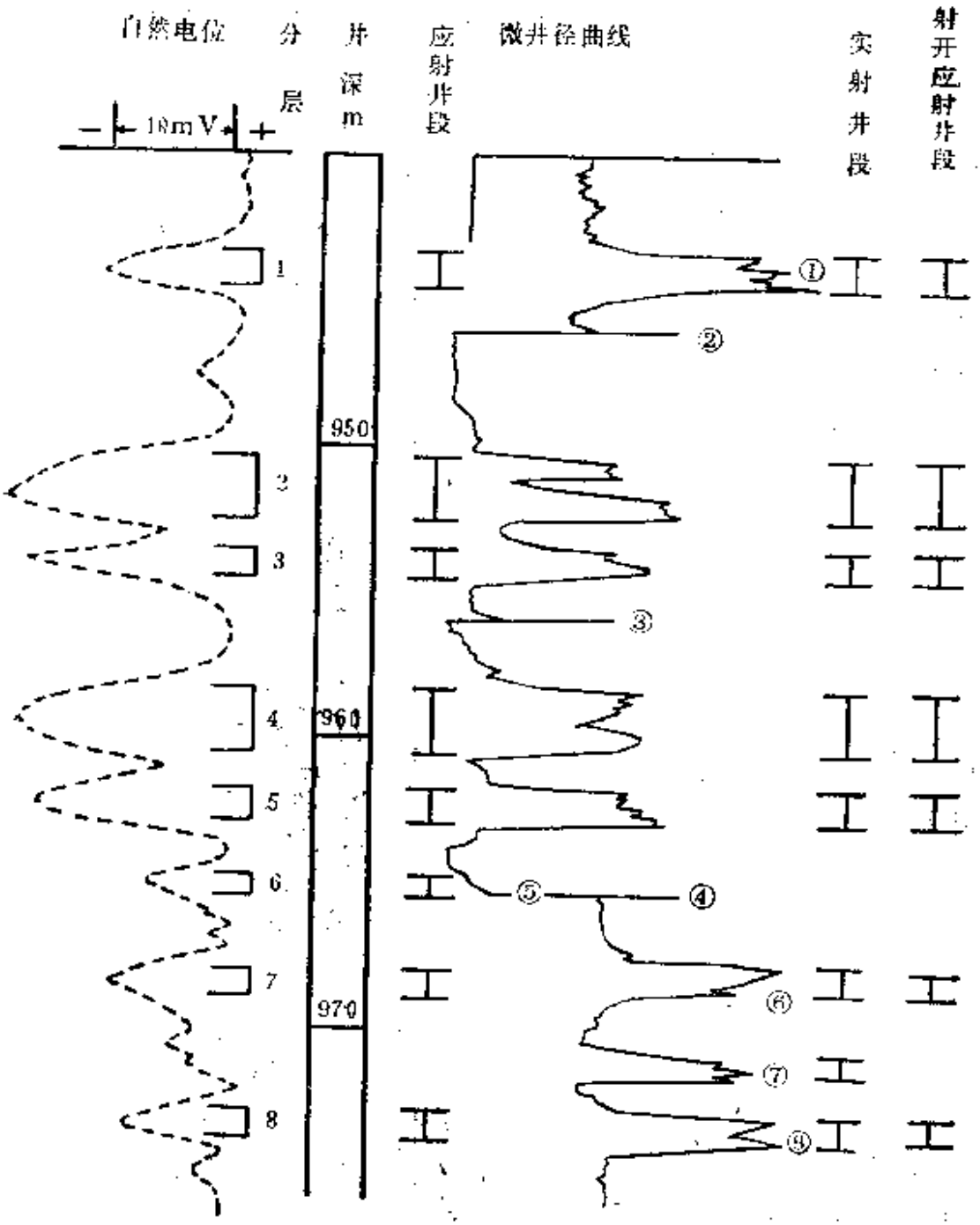


图 3—11　微井径曲线解释成果图

井⑤未射开，⑦层误射。②③④接箍位置显示清楚。

三、过油管两臂井径仪

1. 用途

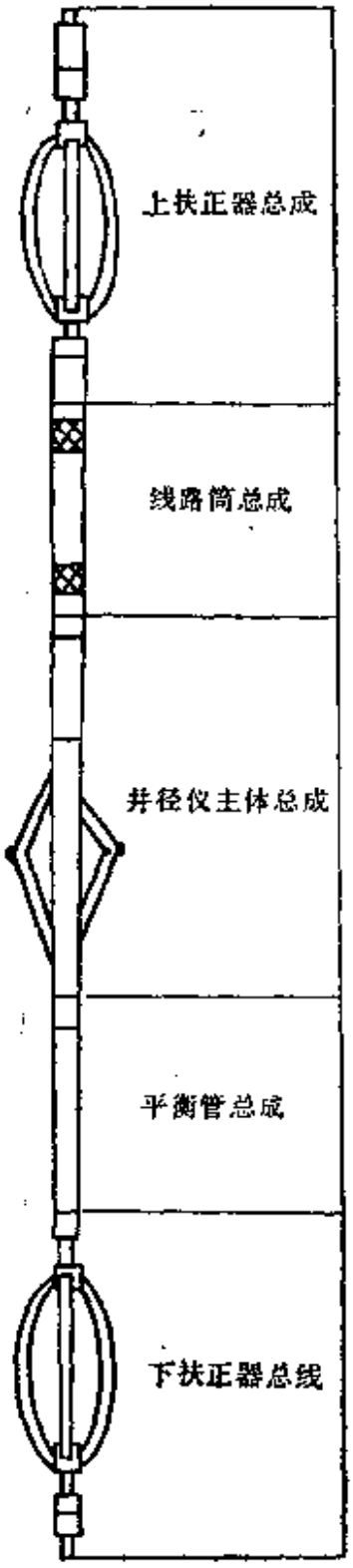


图 3—12　过油管两臂井径仪结构示意图

可通过油管下井，在套管内检测井径变化，用来确定射孔井段及套管变形位置。

2. 结构和工作原理　两臂过油管井径仪共由五部分组成，自上而下分别是：上扶正器总成、电路筒总成、井径仪主体(探头)总成、压力平衡管总成和下扶正器总成。其结构外形见图3—12。

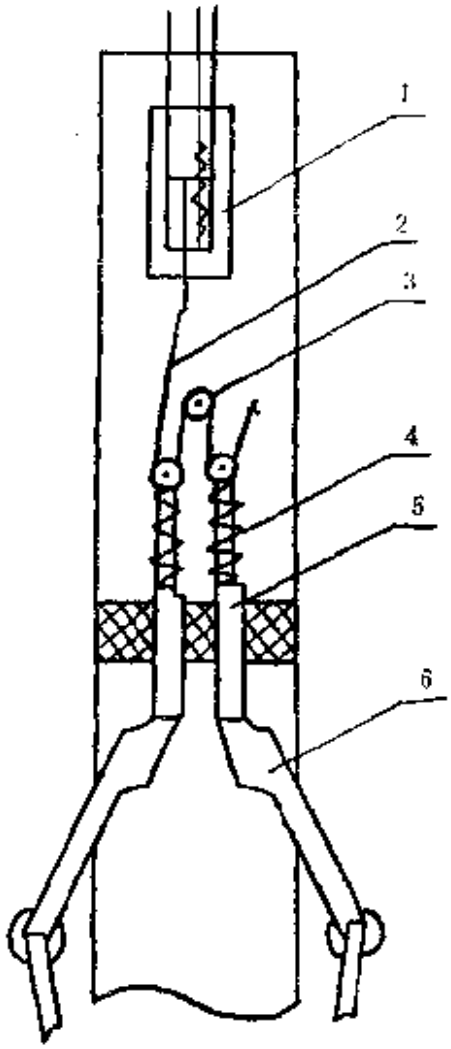


图 3—13　过油管两臂井径仪测量原理示意图

1—拉杆电位器；2—钢丝绳；3—滑轮；4—弹簧；5—拉杆；6—井径腿

由于仪器装有上下扶正器，井径腿装有拉杆而形成灯笼形，具有导向作用，使得仪器能够顺利起下和测量，即使是在套管有严重变形或断裂的井中，也能较顺利的起下和测量，而不易遇阻和遇卡，提高了测井成功率和施工安全。

过油管井径仪的工作原理是把套管内径的变化转换成井径腿的机械位移，靠井径腿的弧面转变成推杆的垂直运动，然后通过钢丝绳和滑轮组带动拉杆电位器变化，并控制井下仪器的频率转换电路转换成频率的变化，通过电缆传输到地面，供地面仪器记录成曲线。井径值和频率之间有较好的线性关系，因此，只要测得频率值就可以计算出井径值。通过刻度，可直接将频率数转换或井径值并记录出曲线。其测量原理见图3--13。

3. 主要技术指标

外径	44mm
长度	3535mm
耐温	＜80℃
耐压	20MPa
传输电缆芯数	单芯
探测臂(井径腿)	2个
适用套管尺寸	3～7in(76.7～177.8mm)
仪器分辨率	＜1mm
测量误差	≤±1mm

四、十臂过油管最小井径仪

1. 用途

用于检测套管变形井段，确定套管变形位置和最小井径值，为研究套管变形规律和油水井大修提供可靠依据。

2. 仪器结构和测量原理

(1) 仪器结构　过油管最小井径仪是由上扶正器总成、电路筒总成、井径仪主体总成和下扶正器总成四部分组成。各总成

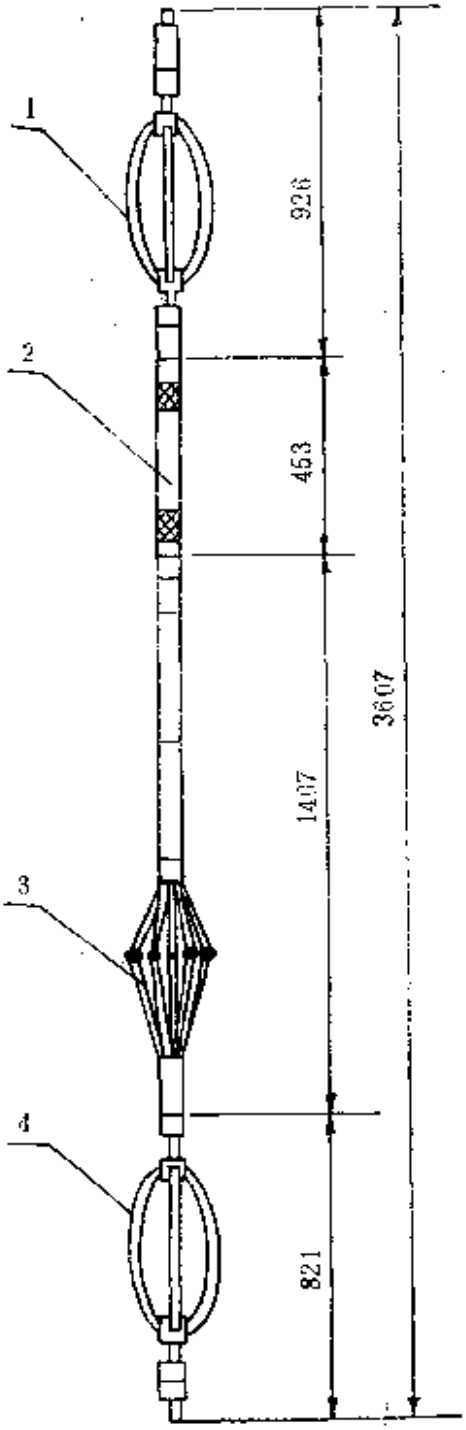


图 3—14 过油管十臂最小井径仪整体结构示意图

1—上扶正器总成；2—线路筒总成；3—井径仪主体总成；4—下扶正器总成

之间用带有螺纹的滑环连接，仪器和电缆头也采用滑环连接，各连接处均有"O"型胶圈密封。整机结构见图3—14。

（2）测量原理 十臂过油管最小井径仪的基本原理是在50mm直径的仪器主体上，安装了十个测量臂，分作两组，一组五个臂，同时作用在一个传动推杆上。五个臂是连动的，只要一个臂收缩，其它臂全收缩。另一组五个臂也是如此。十个测量臂分别作用在两个传动推杆上，每36°就有对称的一对。其中任一对探测臂接触到套管变形点的最小内径，就可以推动传动推杆，带动钢丝绳，推动拉杆电位器改变电位差，使输出脉冲频率发生变化，地面仪器可直接记录井下套管内径的变化。由于十臂最小井径仪设计了十个探测臂，不论套管在哪个方向变形，总有一对探测臂测到变形部位。例如$5^1/_2$″套管。内径是125.7mm，（壁厚按7mm算）周长是395mm，在内径每40mm的范围内，便有一个探测臂。这样就提高了测量最小内径的可能性。其

测量原理见图3—15。

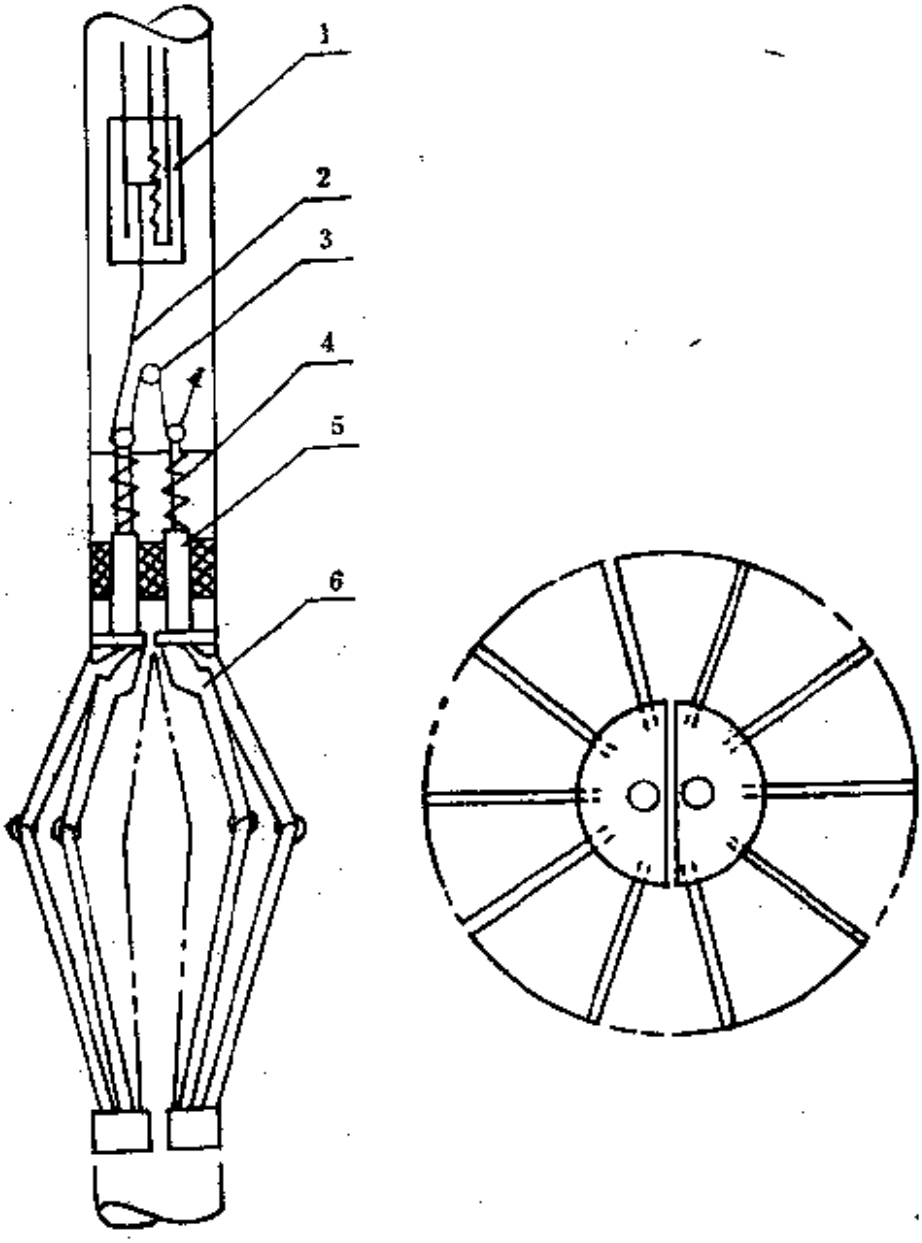


图 3—15 十臂最小井径仪主体结构及传动原理示意图

1—拉杆电位器；2—钢丝绳；3—滑轮；4—弹簧；5—推杆；6—井径腿

3. 主要技术指标

测量范围	3～7in套管
仪器分辨率	≤1mm
测量误差	≤±1mm
测速	600～800m/h
工作温度	≤70℃

最高耐压	20MPa
仪器尺寸	ϕ50mm×3607mm
井下仪器供电	直流45V，35mA
输出频率	1000～3000Hz
井径腿数	10个

五、八臂井径仪

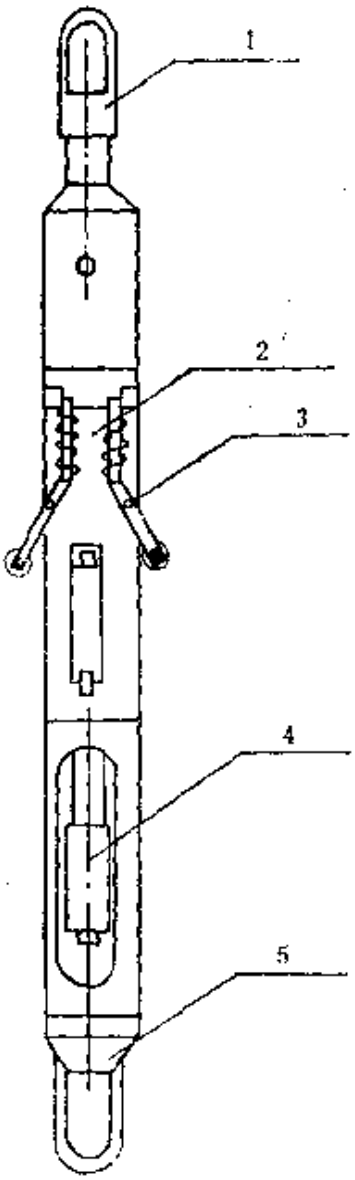


图 3—16 八臂井径仪结构示意图
1—打捞帽；2—活塞缸；3—测量臂；4—继电器；5—尾帽

1. 用途

一次下井可同时测出互成45°的四条井径曲线，可近似给出井下任一位置的套管截面，是一种比较好的套损检测仪器。也可用于检查射孔井段，检验套管补贴效果。

2. 仪器结构和测量原理

(1) 井下仪器结构

井下仪器主要由打捞帽、紧固环、过渡短节、电位器固定架和定向柱、活塞缸、推杆及弹簧、测量腿、工艺短节、压力平衡管、连接短节、继电器及其动作机构，尾帽等组成。其结构见图 3—16。仪器主体是在一个圆筒式结构上安装八个向外张开的测量腿。仪器头尾是带挂钩的打捞帽和尾帽，使仪器与电

缆、加重杆连接。仪器各部用螺纹连接并用顶丝防止螺纹松退。

电桥密封筒和活塞缸内灌满变压器油，通过压力平衡管传递压力，使活塞缸与井筒压力平衡，保证推杆正常工作。测量腿凸轮设计成圆弧状，保证推杆的垂直位移正比于测量腿的径向位移。圆弧中心到凸轮固定轴中心的距离叫短轴，凸轮固定轴中心到小轮轴中心的距离叫长轴，两者之间的比称为测量腿的机械传动比。它的大小和电位器电阻丝绕组间距共同决定了仪器的分辨能力。八臂井径仪测量腿的机械传动比是22÷112≈0.196，与微井径仪测量腿的机械传动比(≈0.2)比较接近。

与微井径仪不同，八臂井径仪测量腿不是安装在活塞缸上，而是安装在工艺短节上。

为了解决一般井径仪钢丝绳变形、断线及随动系统传动滞后等问题，八臂井经仪采用了点面接触法来代替通用的钢丝绳连接方式。主要方法是在拉杆电位器的杆上安装上一个平底连接套，在连接套的下方装一压簧，在推杆上安装半球形的连接头，利用连接头、连接套和压簧来传送井径大小的变化。另外在推杆上部套上螺纹，用小螺母把中心触点的模块和拉杆电位器固定起来，从而解决了拉杆与滑块间隙大的问题。其机械传动图如图3—17所示。

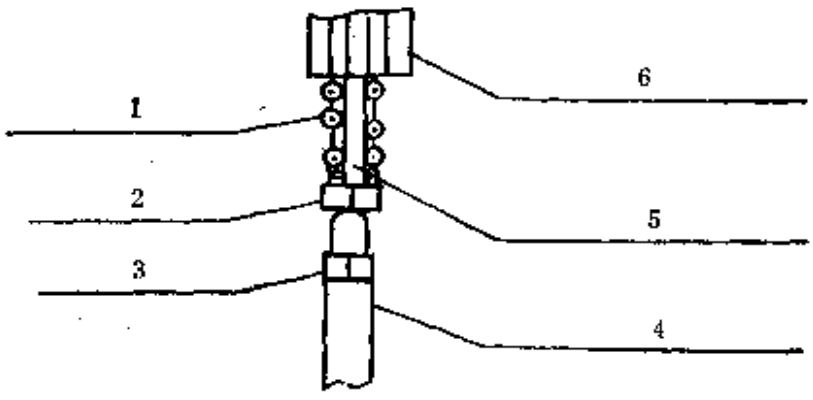


图 3—17 八臂井径仪机械传动示意图

1—压簧；2—连接套；3—连接头；4—井径腿柱杆；5—拉杆电位器拉杆；6—拉杆电位器外套

（2）仪器测量原理　在井下仪器同一截面上均匀地安装八条相同的测量腿，每条测量腿由凸轮、井径腿、小轮、小轮轴等组成。在活塞缸里正对每个测量腿凸轮的上方安装了八个推杆和八个推杆弹簧，推杆顶着凸轮，每个推杆又和一个拉杆电位器的电刷轴连在一起。靠推杆、推杆弹簧的弹力使测量腿伸开，小轮紧贴套管内壁运动。这样，对称两条测量腿象一个内卡尺，它们的小轮外沿间的距离就是一条套管内径值。测量腿凸轮的设计使得测量腿小轮沿套管径向上的位移转变成推杆的轴向位移，并且

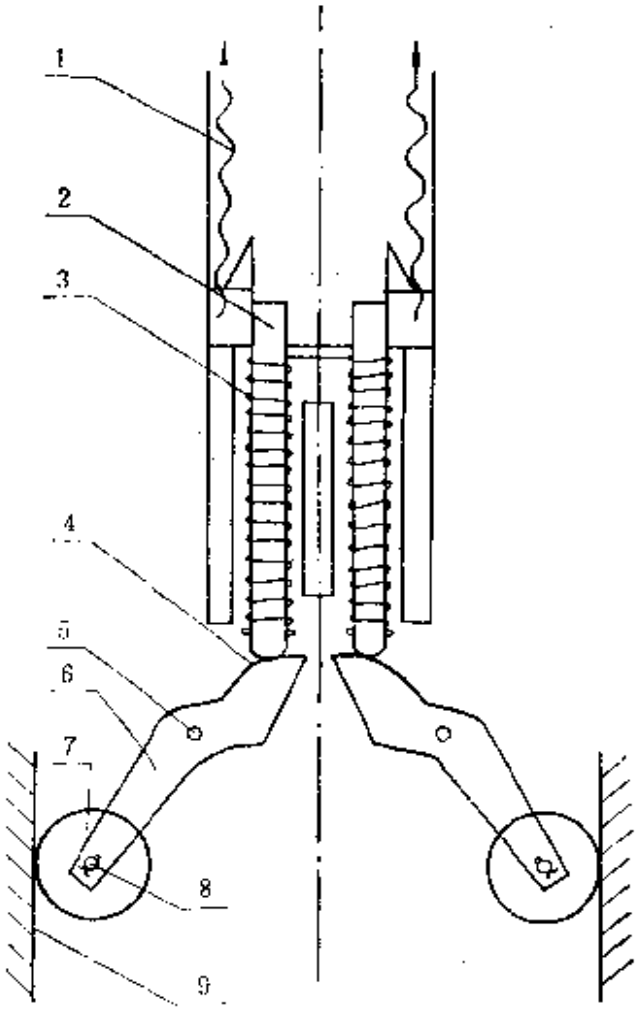


图 3—18　八臂井径仪工作原理示意图

1—拉杆电位器；2—推杆；3—推杆弹簧；4—凸轮
5—支点；6—井径腿；7—小轮；8—小轮轴；9—套管

是线性转变。推杆直接带动拉杆电位器电刷轴上下移动，使电位器电阻值发生变化，最终以直流电位差大小代表套管内径的大小。通过记录仪直接记录出四条套管内径曲线。其工作原理见图3—18。

八臂井径仪采用恒流源供电，可以保证井下仪器电流恒定，同时简化了井下仪器电路，使测井成功率和测井资料质量大大提高。地面和井下仪器电路原理见图3—19。

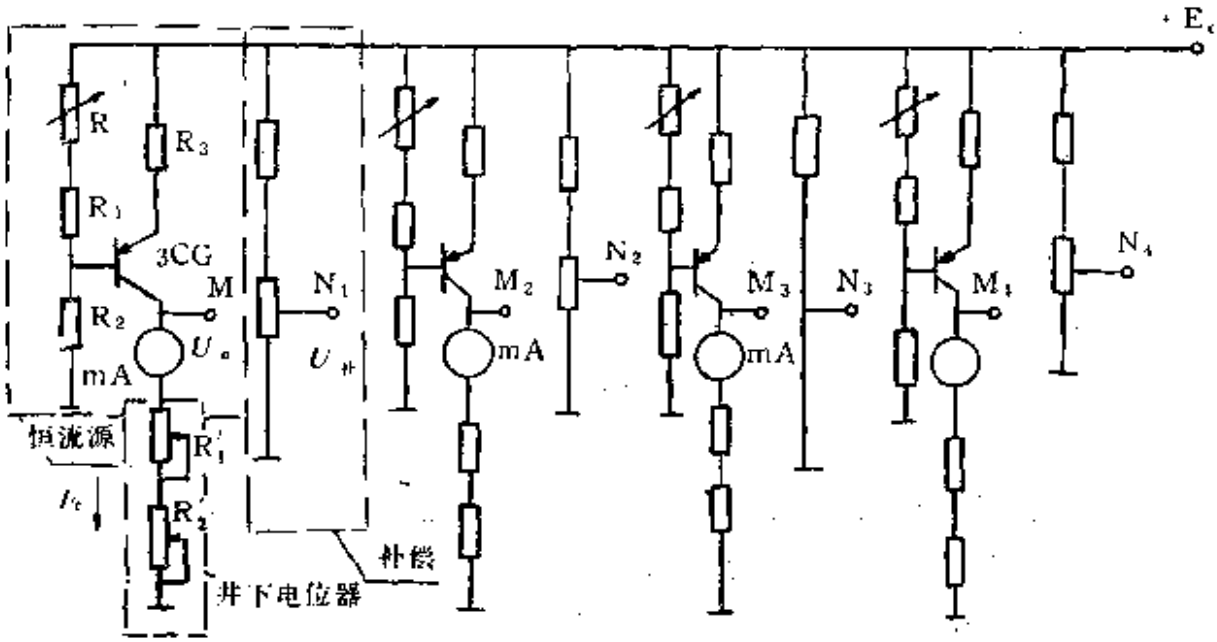


图 3—19　恒流源八臂井径仪电路原理图

通过R_1、R、R_2、R_3和一个3CG小功率管组成一个恒流源电路，给井下仪器供一恒定电流，其大小由电位器调节。恒流稳定性能较好，当供0.5mA的情况下，井径腿由最大变为最小时，电流变化小于2μA。

由图上可知，输出电压$U_0=I_c(R_1'+R_2')$，当井径由大变小呈线性变化时，由于R_1'和R_2'的中心触点上移，总输出电阻也呈线性减少，因此在电流I_c恒定的情况下，输出电压呈线性减小，反之，输出电压则呈线性增加。从而有d和输出电压ΔU的线性关系，并遵循下面公式：

$$d=d_0+K\frac{\Delta U}{I_c}$$

式中 K——仪器常数，cm/Ω；

d——测量井径值，cm；

I_c——恒流源的供电电流值，mA；

d_0——$\Delta U=0$时的井径值，cm。

3. 主要技术指标

外径	80mm
长度	1300mm
耐温	＜60℃
耐压	20MPa
使用电缆芯数	七芯
井径腿数	8个
适用套管尺寸	3～7in(76.7～177.8mm)
仪器分辨率	＜1mm
测量误差	≤±1mm

4. 现场测量

下井前首先要对仪器进行刻度，其方法是以12cm井径刻度规作为起始值，用补偿器抵消掉12cm井径值所产生的电位差，使其送入测量道的电位差为零。然后换14cm井径刻度规，选择适当测程，使各测量道偏转值为10cm，满足横向比例为2mm/cm。其步骤是：

（1）连接好仪器并将仪器的输出线分别与地面仪器上的交叉接线板与输入道对应的缆芯线和测量道的M插孔联接，对应每道的补偿器分别与测量道的N插孔联接，供电接A、B插孔。

（2）将四个测量道零点分别调至记录纸或相纸的2cm，4cm，6cm、8cm位置。

（3）给仪器套上12cm的刻度规，并开始给井下仪器供电。电流大小控制在0.6mA左右。

（4）调节无刻度补偿器，将仪器供电后套入12cm井径规引起的偏转值全部补偿掉，并使四个测量道的光点或记录笔仍回到原来的2cm，4cm，6cm，8cm起始零线处。

（5）给仪器套上14cm的刻度规，使记录仪的光点或记录笔达到12cm，14cm，16cm，18cm，满足横向比例为2mm/cm。

（6）再给仪器重新套上12cm井径规，此时记录仪的光点或记录笔应返回2cm，4cm，6cm，8cm的零线处，允许误差为±0.1cm。如超过允许值，应检查井径规扶正情况，并重新刻度，直到误差在允许范围内便可正式下井测量。

（7）测井时应注意仪器不能用电缆外皮作地线，以免自然电位干扰，公共线B不能接地。另外由于井下仪器四道阻值很接近，所以仪器接电缆前必须把电缆缆芯量出来，以免接错。

5．测井资料解释应用实例

八臂井径仪一次下井可测出互成45°角的四条井径曲线，可根据这四条井径值作出井下任一深度井的横截面图。通过作图可直观的看出变形井段的椭圆度，为井下作业和修井提供依据。图3—20、图3—21是大庆油田某井实测八臂井径及其变形点所作的套管横截面图。

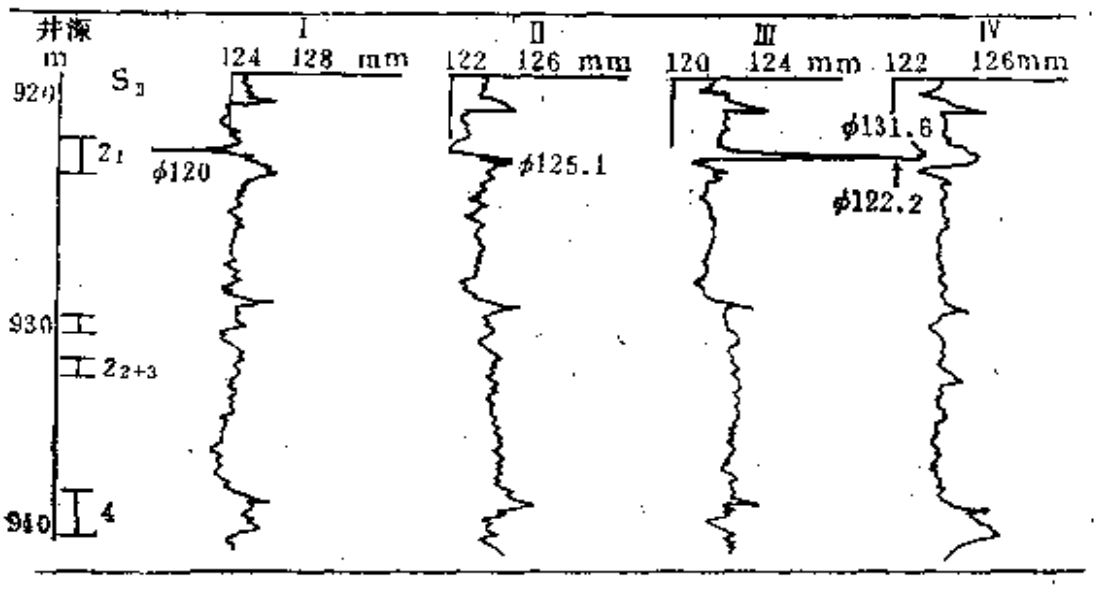


图 3—20 八臂井径仪实测曲线图

八臂井径仪由于没有方位指示，作出的图形无方位概念，不知变形点受力方位。这是八臂井径仪今后改进的方向。

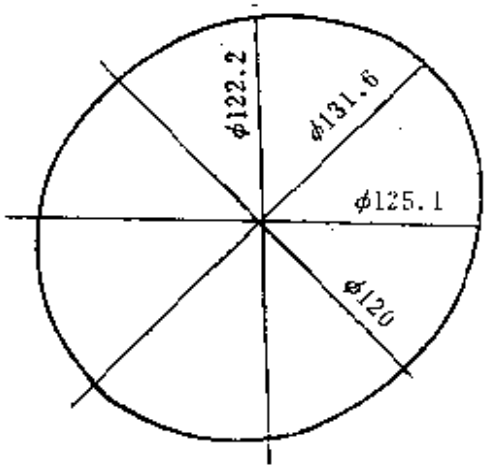


图 3—21　921.7m处套管变形截面解释图

六、过油管x-y井径仪

1. 用途

仪器克服了两臂和十臂井径仪由于井径腿不能收拢造成的下井困难问题、一次下井可测量互成90°角的两条井径曲线。可用于套管损坏及变形情况的检查，也可用于检查射孔井段套管膨胀情况，从而对射孔层段是否射开作定性判断。

2. 仪器结构和工作原理

（1）仪器结构　过油管x-y井径仪主要由扶正器总成、井径腿收放总成、测量总成、测量臂（井径腿）总成，以及收腿拉板等部分组成。图3-22是它的结构示意图。

（2）测量原理　仪器下井前给电机供电，使电机旋转，并通过滚动螺杆，把电机的横向转动变成传动轴的向上运动，传动轴带动拉板，拉板拉动滑块上移，压缩井径腿弹簧，同时通过连杆和曲柄带动测量臂逐渐收拢。当测量臂完全收拢时，行程开关自动切断电源，电机停转。然后将仪器下到测量井段底部，给电机供电，使其反转并带动上述传动机构反方向运动。此时四条测量腿在大小弹簧的作用下，逐渐张开，测量端与套管内壁紧密接触。当测量腿完全释放时，行程开关自动切断电机电源，然后匀速上

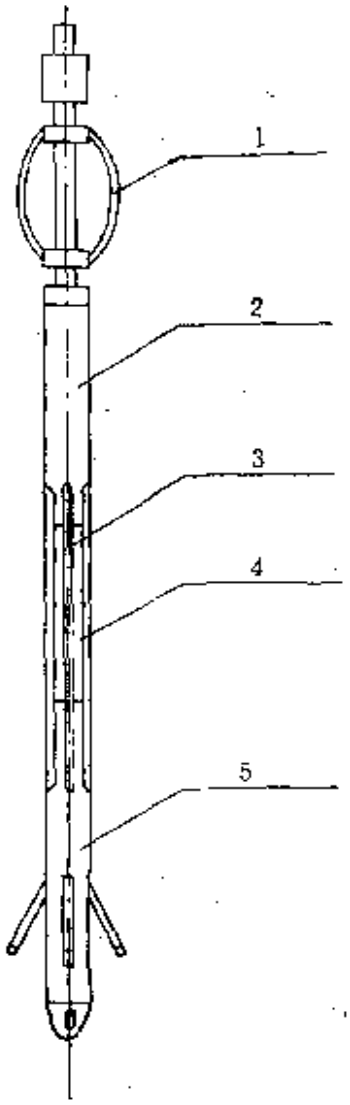


图 3—22 x-y井径仪结构示意图
1—上扶正器总成；2—井径腿收放总成；3—拉板；4—测量总成；5—测量臂总成

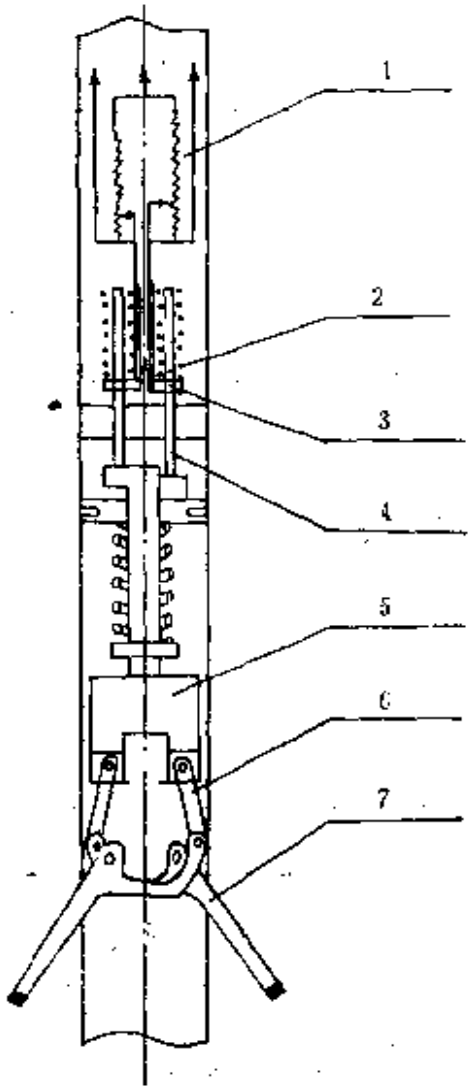


图 3—23 x-y井径仪测量原理图
1—拉杆电位器；2—弹簧；3—连接盘；4—传力杆；5—滑块；6—连杆；7—测量臂

提仪器。井径的变化使测量臂产生横向机械位移。x-y方向的测量臂通过各自带动的曲柄连杆及滑块机构，把测量臂的横向位移变成传力杆的纵向位移。传力杆通过联接盘直接带动两个方向的拉杆电位器。这样就将井径的变化变成了拉杆电位器电位差的变化，将变化的电位差通过缆芯传到地面记录仪进行记录，可直接获得两条井径变化曲线，见图3—23。

3. 主要技术指标

见表3—1。

表 3—1 x-y过油管井径仪主要技术指标

指标内容	中深井x-y井径仪	深井x-y井径仪
外径	50mm	50mm
长度	1.94m(加扶正器2.74m)	2.05m
测量范围	76.7～177.8mm(3～7in)	76.7～177.8mm(3～7in)
测量误差	≤2mm	≤2mm
非线性误差	<±2%	<±2%
重复误差	<0.8%	<0.8%
分辨率	<1mm	<1mm
耐温	80℃	155℃
耐压	20MPa	60MPa
信号传输	四芯或三芯直流	四芯或三芯直流

4. 井下仪器的测量和测量臂收放系统

(1) 测量系统　测量系统的主要作用是将滑块的纵向位移通过传力杆、联接盘，带动电位器，转换成电位差的变化，经缆芯传到地面记录仪记录。其结构见图3—24。

拉杆电位器是x-y井径仪的主要部分，由它把测量臂的横向位移（即井径大小）转换成输出电位的变化，所以对拉杆电位器的性能要求较高。首先应具有较小的非线性误差，其次要求分辨率要高，温度性能稳定，机械配合间隙小，耐用、灵活等。x-y井径仪采用的是塑料外壳拉杆电位器。其主要性能如下：

外径　　10mm（无外壳）

行程　　36mm±1mm

零位电阻　　R=0.5kΩ左右

最大电阻　　R_{max}=5kΩ，±0.5kΩ

非线性误差　　<±1%

最高工作温度

$T_{max}=180℃$

拉杆电位器是用线径为0.03mm电阻丝绕制而成，1mm可绕32圈，从理论分析可知，井径值在75～180mm变化时，井径变化1mm，电位器变化为：

$$\frac{S_{25}-S_{23}}{180-75}=\frac{22.07-6.19}{105}$$

$=0.15mm/mm$

所以拉杆电位器移动一圈（即0.03 mm），相当井径变化$\left(\Delta\alpha=\frac{0.03}{0.15}=0.2\right)$ mm/圈，这说明拉杆电位器具有很高分辨力，在不考虑传动损失的情况下，能分辨0.2mm井径的变化。

测量系统采用恒流源电路，其测量原理框图见图3—25。

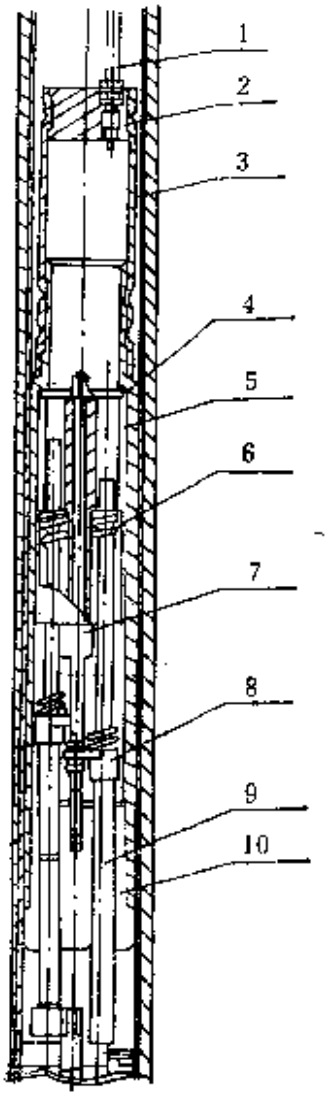


图 3—24 x-y井径仪测量系统结构示意图

1—引线柱；2—密封塞；3—压力平衡管；4—外壳；5—电位器固定架；6—复位弹簧；7—电位器；8—联接盘；9—传力杆；10—双孔缸体

x和y道恒流源通过电缆分别为井下仪器x测量臂、y测量臂、拉杆电位器供电。然后在恒流条件下，分别记录随井径变化的ΔU_1、ΔU_2。

（2）测量臂收放系统

1）结构和工作原理

①结构　测量臂收放系统传动机构由11部分组成，见图3—26。

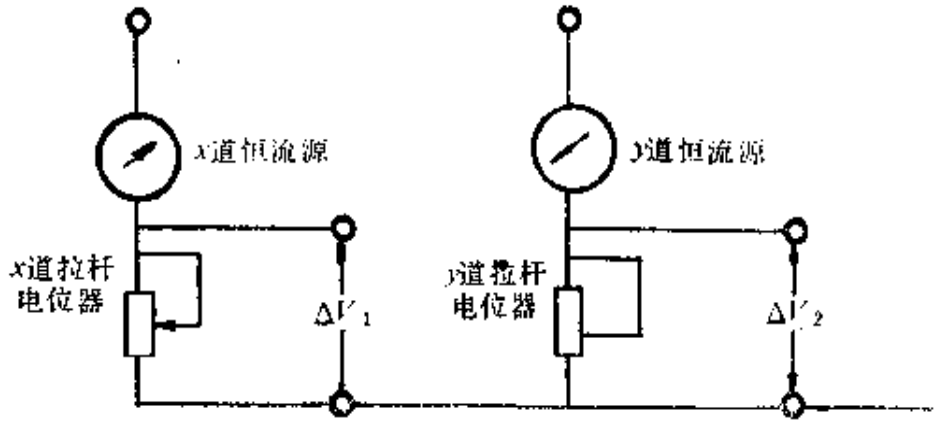


图 3—25　x–y井径仪恒流源供电电路原理图

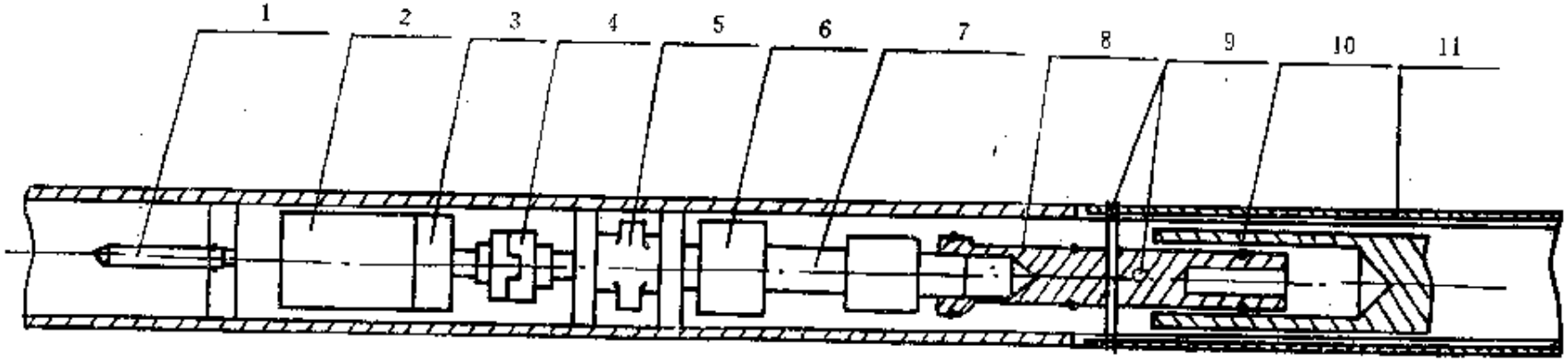


图 3—26　测量臂收放传动机构图

1—引线塞；2—电机；3—减速器；4—联轴节；5—行程开关；6—自锁装置；7—滚动丝杆；8—传动轴；9—轴销；10—压力平衡帽；11—拉板

②工作原理　当测量臂需要收拢时，供电电源通过引线塞、行程开关引入电机，使电机启动旋转，产生转矩M，再经过连轴节、行程开关主轴，自锁装置传到滚动丝杆，使其旋转，带动传动轴向左移动。通过拉板拉动滑块，压缩测量臂大小弹簧，使测量臂逐渐收拢，当测量臂完全收拢后，行程开关切断电源，使电机停止转动，测量臂收拢停止。

测量臂放开与收拢过程相反，即电机反转，以上传动机构向相反方向移动，测量臂在大小弹簧的作用下张开。当完全张开时，行程开关切断电机电源，使电机停转，放腿结束。在测量过程中。测量臂收拢机构不影响滑块的上下运动。不影响井径的测量。

2）收放电机及电机控制电路　电机是测量臂收放机构的心脏，对其性能要求较高，尤其是电机的效率和外形尺寸。

x-y井径仪电机的主要技术指标如下：

最大外径	36mm
长度	150mm（加减速器）
额定电压	110V（直流）
额定电流	0.3A
最大转矩	M_{max}=80000g·cm
绕组直流电阻	123Ω
经减速器输出转速	9r/min

考虑到仪器的整体应用性能，要求收拢电机只能用一根缆芯完成收腿和放腿动作。同时还考虑到，当地面误操作时不会给收拢机构造成损失，专门为电机电路设计了行程控制开关与二极管电路。其电路原理如图3—27所示。

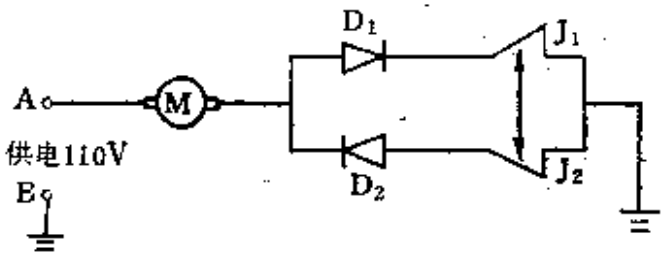


图 3—27　x-y井径仪电机行程控制开关图

若A点供正电为收腿，供负电为放腿，若起始位置为井径腿放开状态，这时行程开关常闭触点J_2在行程开关推力作用下处于打开位置。这时如果使测量臂收拢，只能从A端供正电，B端供负电，此路才能通过电机M和二极管D_1。行程开关常闭触点J_1由地线回到B端，电机才能旋转，产生收拢运动。此时A点如供负电，电路不通，因为此时井径腿处于放开极限位置。若电机再继续旋转的话，就会使传动机构的各部件损坏。当测量臂完全收拢时，行程开关将J_1断开，使电机停止旋转，通过井下仪器二极管与行程开关相互配合，解决了井下电机通电时间，极性转向控制问题。也使地面操作大为简化。但此线路控制的关键就是行程开关两常闭触点J_1、J_2，因此在设计上充分加以考虑。在触点的容量上和接触弹力上较一般同体积的开关要大得多。以保持可靠的动作与接触。

5. 地面控制面板

x-y井径仪地面控制面板主要有以下功能：

（1）分别给x道、y道供电，即双道恒流源电路。

（2）给测量臂收拢机构供电，控制测量臂的收拢和张开。

对双道恒流源电路要求线路性能稳定，操作调节方便，可靠耐用。

对测量臂收拢机构，电源要求电机软启动（电压逐渐上升到额定值）。正负极性改变方便，操作简单。地面控制面板电路原理见图3—28。

双道恒流源电路为精密基准低噪声缓冲式电流源。x、y道相同。本电路采用交流供电，交流电源经变压器整流稳压后得到较稳定的12V直流，供运算放大器和晶体管。运算放大器采用单电源供电方式。本电路性能稳定，不管环境温度或电源电压在较大范围内如何变化，输出电流总是保持稳定。

以x道为例，其恒流原理如下。见图3—29。

图中R_L为负载电阻，即井下仪器x测量道拉杆电位器。R_c为供电电流调节，运放的正向输入端接基准电压U_2，负向输入端接

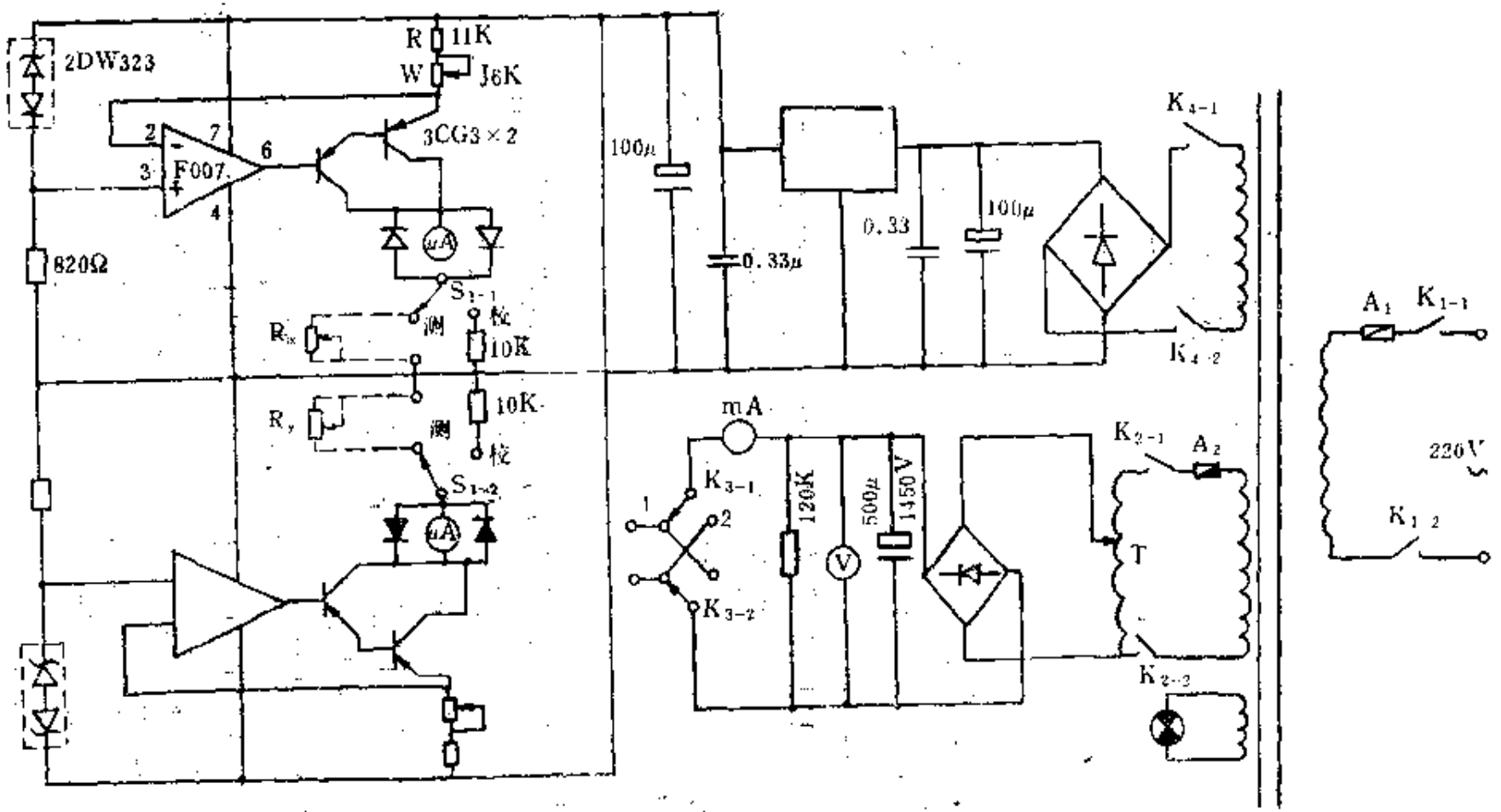


图 3—28　*x-y*井径仪地面控制电路原理图

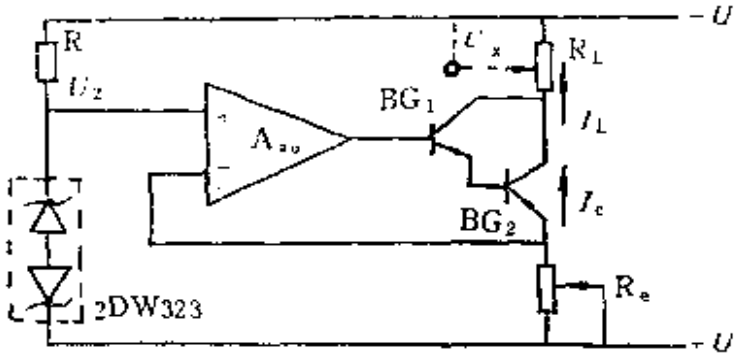


图 3—29　x道恒流源简化原理图

负反馈电压，由于全部输出电压百分之百的反馈到反相输入端，因此反相输入端与晶体管BG_2发射极同电位。此时运放是工作在射极输入器状态。

电机供电电路较简单，为安全起见，采用隔离降压变压器与自耦调压器T来保证供给电机所需要的额定电压。K_3为收放测量臂换向开关，若K_3触点1为收腿，将开关搬向2位置即为放腿。操作较简便。

6. 测井工艺

过油管x-y井径仪同两臂、十臂过油管井径仪一样，可通过油管下井，测量套管井径变化。因此该仪器施工时，可不起下油管，采用防喷盒密封或敞口测井均可。

仪器的刻度和测井方法同八臂井径仪。

7. 测井实例与解释方法

过油管x-y井径仪一次下井可测得互成180°角的两条井径曲线，可根据两条曲线的变化，近似作出井下套管任一深度的横截面图，可直观显示套管变形井段，也可以用来检查射孔深度。可根据x-y曲线异常幅度的半幅点，划分出射孔井段，对照射孔方案给出的应射井段，划分出实射井段，可看出射孔深度误差，也可检查是否发生误射孔。

图3—30是大庆油田拉8-2318井应用x-y井径仪检查射孔深

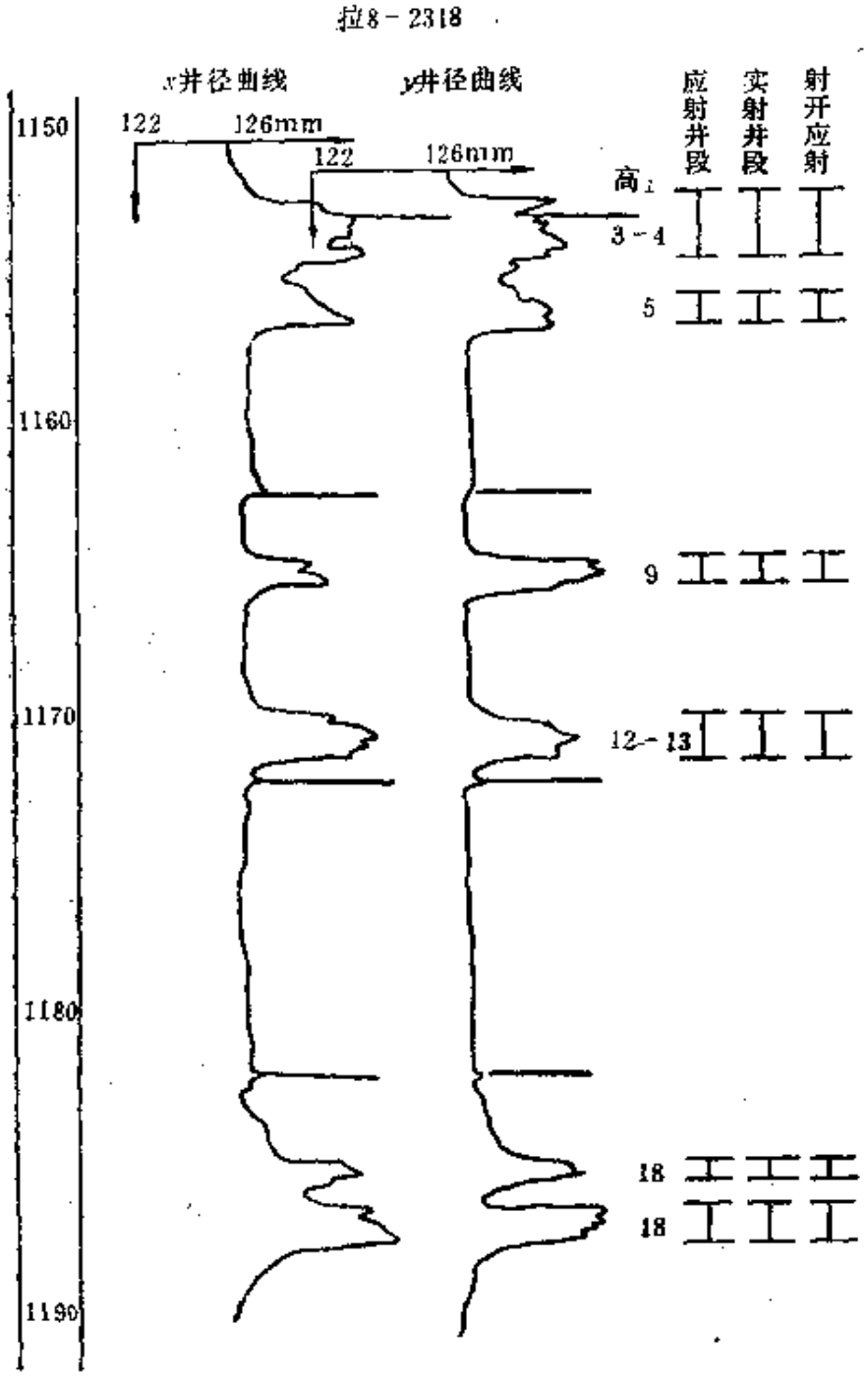


图 3—30　x-y井径仪检查射孔深度曲线图

度实例。从曲线可以看出该井射孔井段和接箍曲线显示明显，所有应射井段都全部射开。

七、CZJ型磁测井仪

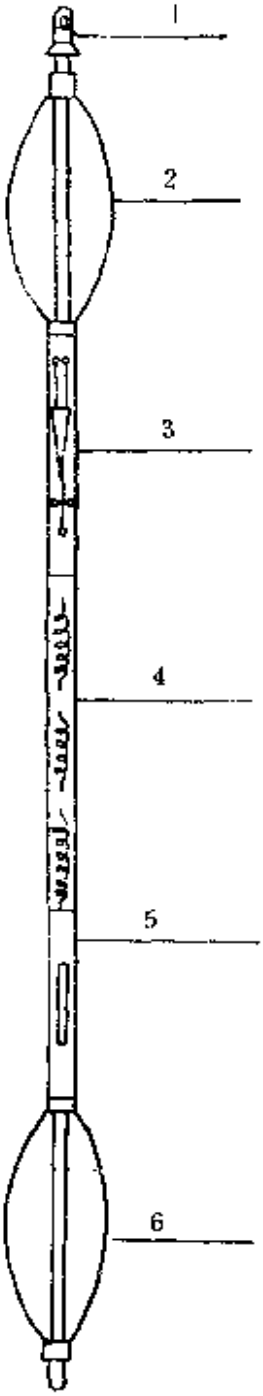


图 3—31 CZJ型磁测井仪结构示意图
1—仪器头；2—上扶正器；3—线路筒；4—线圈系；5—压力平衡总成；6—下扶正器

1. 用途

CZJ型磁测井仪是一种套管检测仪器，它利用非接触型涡流传感器探头，完成对金属套管的检查。一次下井可测得反映金属套管壁厚变化的重量和套管内径变化两个参数。通过对重量和井径两个参数的综合解释，可确定套管内部和外部腐蚀状况和破损程度。可用于：

（1）检查套管内外腐蚀及穿孔情况；

（2）检查射孔井段；

（3）检查套管破裂及变形；

（4）检验套管补贴效果；

（5）用于检测套管变化的时间推移资料。

2. 仪器结构 CZJ型磁测井仪主要由线圈系统、电子线路系统、压力平衡系统及上、下扶正器、仪器头等部分组成。其结构示意图见图3—31。

3. 工作原理

（1）重量测井原理

重量测井系统是由工作于低频的涡流传感器及电子线路组成。仪器中有发射和接收两个线圈。（见图3-32）。并供以16Hz的低频交流电，交变的电磁波在套管中传播时，将产生感生电流，并在导体中形成闭合迴路，称为涡流。在铁磁材料中，由于涡流效应将电磁波的振幅衰减并产生时间滞后效应。在接收线圈中产生的感生电流与发射线圈的原生电流间将产生相位差。其相位差大小与周围套管的厚度和材料的特性有关。相位差和套管壁厚之间有如下关系：

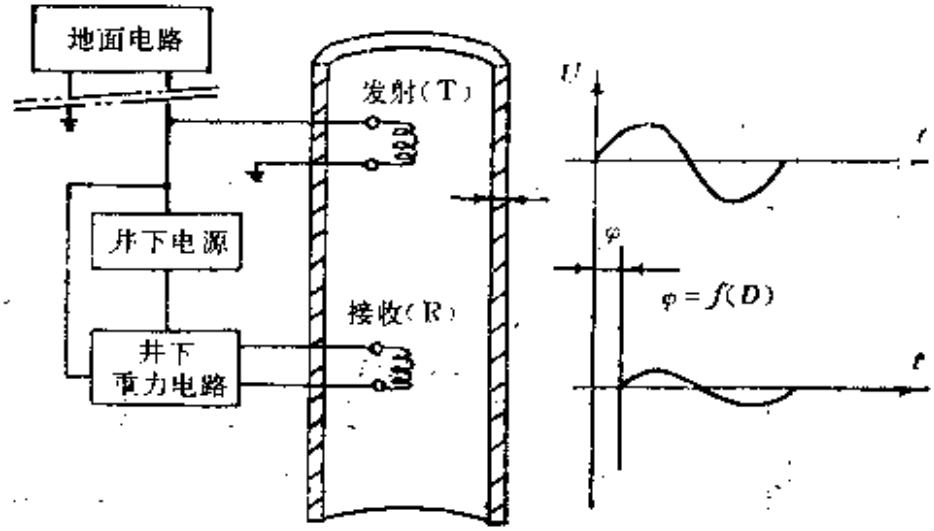


图 3—32 磁重量测井原理示意图

$$\Delta\phi = 2\pi D\sqrt{\frac{\mu_r f}{10^7\rho}} \qquad (3—3)$$

式中 $\Delta\phi$——相位差；

μ_r——套管相对磁导率；

f——电源频率；

ρ——套管电阻率。

当套管材料不变，电源频率不变时，相位差是套管壁厚的单值增函数。因此，重量测量反映套管壁厚变化。

同一种套管，相位差和套管壁厚有很好的线性关系；不同规

格套管，磁导率不同，$\phi=f(D)$ 关系曲线斜率也不同。见图3—33。

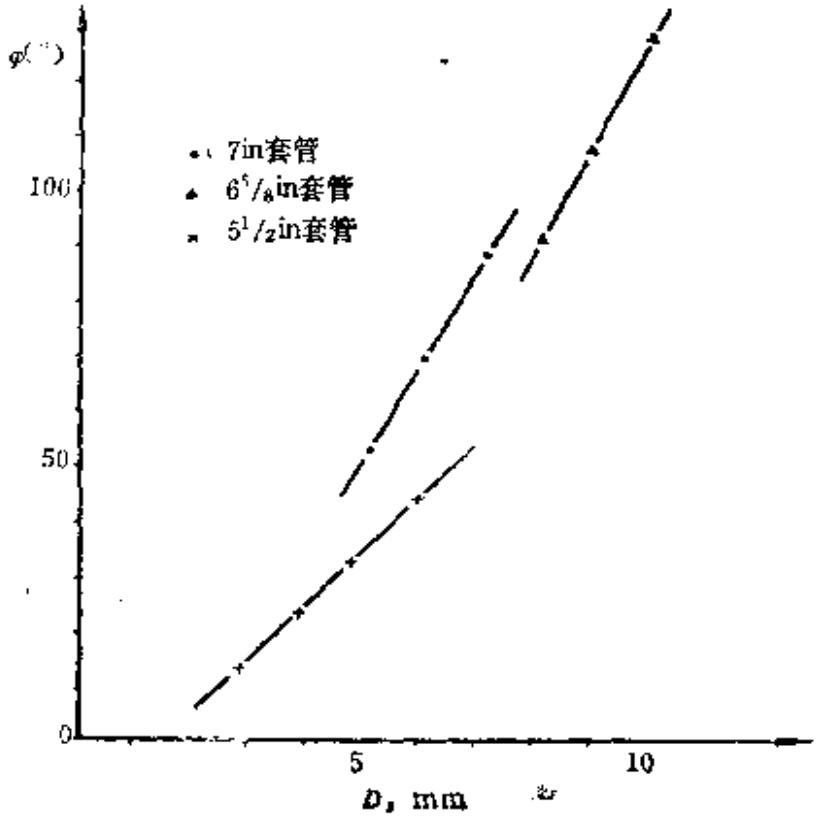


图 3—33　套管壁厚与重量测量值关系曲线

（2）井径测量原理　磁井径仪是一种非接触型井径仪，它不受井内液体、套管积垢、结蜡及水泥附着物的影响，是用于测量金属套管内径的一种仪器。磁井径测量系统是由一个工作于 20kHz高频的涡流传感器线圈。20kHz 振荡电源和负反馈放大器三部分组成。图3—34是磁井径测量电路原理示意图。

由于高频电流的趋肤效应，高频交变电磁波将在套管内壁形成涡流，涡流损耗的反射效应使线圈阻抗变化。当套管的材料和仪器参数不变时，线圈阻抗的变化是线圈至套管内壁间的距离的单值增函数。仪器采用谐振调幅法测量，它可明显地将套管内径变化而引起的线圈阻抗变化，转换为放大器输出幅度的变化。

4. 主要技术指标

井下仪器外径　　89mm

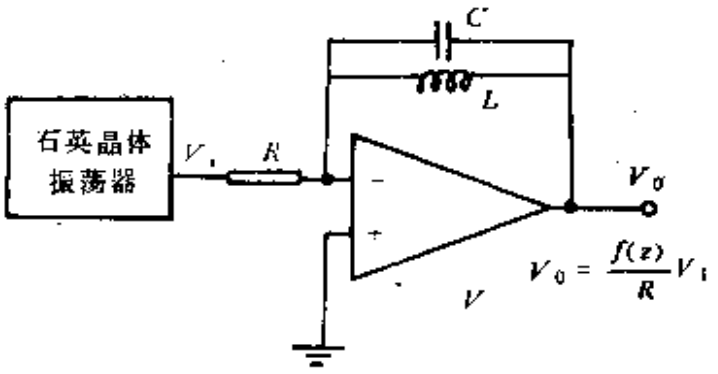


图 3—34 磁井径测量原理电路示意图

井下仪器长度	4.27m
井下仪器重量	72kg
地面面板尺寸	
CZJ-1型	480×153mm（为 SD-81 生产测井仪插入单元）
CZJ-2型	460×280mm（为 JD-58 1多 线 测井仪插入单元）
信号传输	用三芯或六芯电缆
耐压	≤20MPa
耐温	≤70℃
使用范围	井下仪器备有三种间距适用于$4^1/_2$～7in套管测井
长间距	L_{RT}=500mm，用于7in套管井
中间距	L_{RT}=400mm，用于$5^1/_2$～$6^5/_8$in套管井
短间距	L_{RT}=300mm，用于$4^1/_2$in套管井
分辨能力	
重量	±0.2mm
井径	±1mm
测速	≤800m/h
电源	220V，50Hz，耗电≤50W

5. 测井资料解释及应用实例

磁测井仪通常配合其它测井方法检查套管变形、破裂或腐蚀等，利用磁重量曲线半幅点能准确找出套管破裂或变形腐蚀的界面。图3—35是应用磁测井仪检查大庆油田南3-3-49井套管变形、破裂的一口井实例。

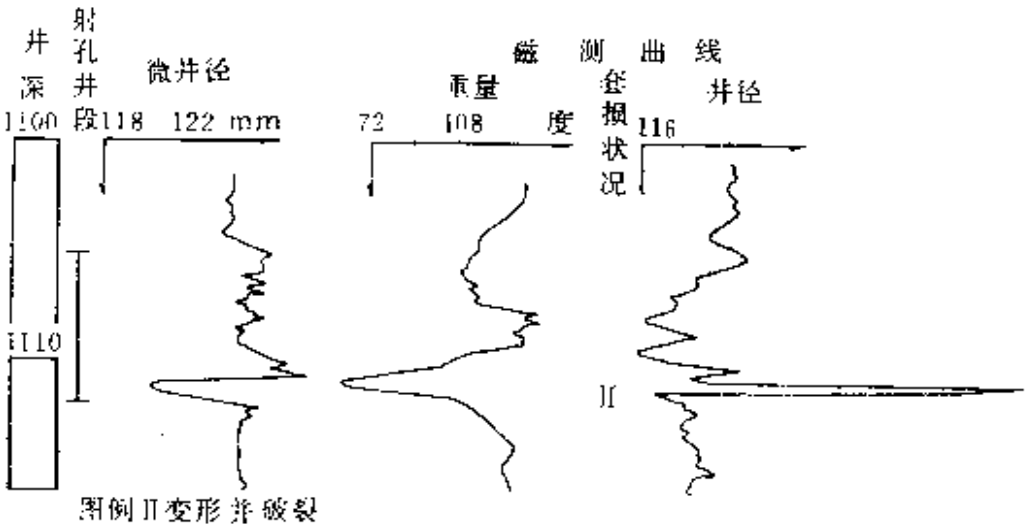


图 3—35 大庆南3-3-49井检查套管变形破裂实测曲线

八、CC89-155A型磁测井仪

CC89-155A型磁测井仪是四川石油管理局重庆仪器厂在CZJ型磁测井仪器的基础上，提高了仪器耐温、耐压指标后，正式定型生产的仪器。该仪器结构和工作原理和CZJ型仪器相同。下面只介绍仪器的主要技术指标。

1. 井下仪器主要技术指标

外径	89mm
长度	3.32m（不包括上下扶正器）
耐温	155℃
耐压	89MPa

重量	80kg（不包括上下扶正器）
供电方式	16Hz到达仪器头的幅度80～90VPP
信号	电磁壁厚16Hz正尖脉冲
	电磁井径20kHz正弦波

2. 地面仪器

外型尺寸	480×400×153mm
适用温度	0～50℃
仪器供电	220V±5V，50Hz工业交流电
仪器输出	16Hz信号，幅度160～200
	V_{pp}正弦波
磁重量	直流电位差
磁井径	直流电位差

3. 整机性能

电磁重量分辨率	0.1mm
测量误差	±2°
磁井径分辨率	0.2mm
最大测量误差	±2mm

九、井下超声电视测井仪

1. 用途

井下超声电视测井仪是利用超声波传播特性和井壁对超声波的反射特性原理制成的一种研究井身剖面的测井仪。在裸眼井内，可拍摄石灰岩等坚硬地层井壁的照片，了解岩石缝洞分布情况；在套管井，可拍摄套管内壁照片，了解射孔或套管损坏情况，为油水井大修提供依据。由于该仪器能给出井壁展开的照片，资料直观，便于分析判断，因此是检查井壁状况的较理想仪器。常与微井径仪、磁测井仪等方法配合使用。

2. 工作原理

由超声波的性质可知，将具有一定重复频率的电脉冲加在晶

体换能器上，使换能器产生超声波，当探头位于井轴中心时，发射声波垂直井壁入射，探头接收反射回波。反射回波强度取决于井壁和井内液体声阻抗的比值。声强反射系数为：

$$\beta=\left(\frac{\rho_1V_1-\rho_2V_2}{\rho_1V_1+\rho_2V_2}\right)^2 \qquad (3—4)$$

式中 ρ_1、ρ_2分别为井内液体和井壁介质的密度；V_1V_2分别为井中液体和井壁介质的声速。不同介质反射系数不同，井壁上粗糙程度，洞缝的存在都影响反射系数，即井壁状况控制回波信号强弱，再用该信号控制地面仪器萤光屏的亮度。当井壁光滑时回波强，萤光屏显示为亮点；当井壁有缝洞缺陷时，萤光屏显出暗点。

旋转探头对井壁进行水平扫描，每转一周，即环视井壁一次，在萤光屏上扫描为一条线，井壁状况将以明暗显示出来。移动探头，在水平扫描同时进行垂直扫描，在萤光屏立即可显示出反映井壁的图像，可用相机将有用的图象拍摄成井下电视照片，作为资料保存。

3. 仪器结构

超声波电视测井仪分井下和地面两部分，现在应用的井下仪器有外径为80mm和46mm的两种。

井下仪器主要由换能器、电机、减速箱、电路筒、压力平衡管、扶正器等部件组成。仪器结构如图3—36、图3—37所示。

井下仪器各部分的作用如下：

(1) 弹簧扶正器 仪器设有上、下两个灯笼式弹簧扶正器，其作用是扶正仪器于井轴中心，保证探头垂直于井壁发射和接收超声波。

(2) 电路筒 内装井下控制电路。

(3) 平衡压力管 为丁晴胶管，内充变压器油，在井下保持内外压力平衡，保证电机和减速箱运转正常，不受井内液体侵袭。

(4) 电机 用于驱动探头，该电机为单相电容运转式电机，

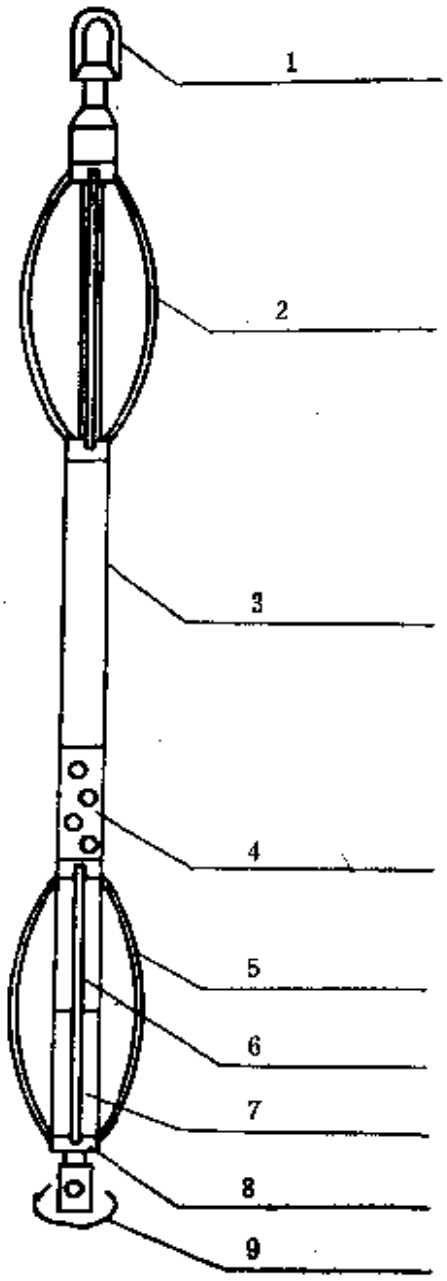


图 3—36 ϕ80超声波电视测井仪结构图

1—打捞器；2—上扶正器；3—电路筒；4—平衡压力管，5—下扶正器；6—电机；7—减速箱；8—动密封；9—换能器

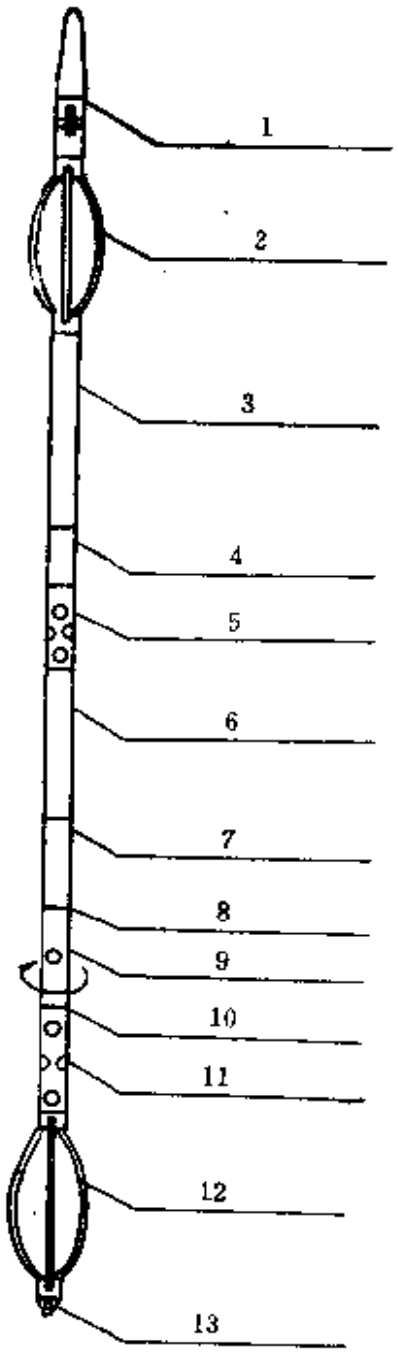


图3—37 ϕ46超声波电视测井仪结构图

1—电缆密封接头；2—上扶正器；3—电路筒；4—电容筒；5—上平衡压力管；6—电机；7—减速箱；8—上动密封；9—换能器；10—下动密封；11—下平衡压力管；12—下扶正器；13—尾帽

供电380V、功耗110VA、输出功率35W，用电容1.5μF/1000V，主绕组108Ω，付绕组148Ω。

（5）减速箱　用于降低电机的转速，使驱动探头的输出轴转速为3Hz/s或6Hz/s，该减速箱为少齿数差星形结构的减速机构。

（6）同步脉冲发生器给地面仪器以水平同步扫描同步信号，由磁钢和干簧管组成。

（7）机械密封组件　探头裸露时，用于密封电机及减速箱，并保证输出轴正常运转，使用F01-20型产品，静环为青铜，动环为硬质合金钢，耐磨且工作可靠。

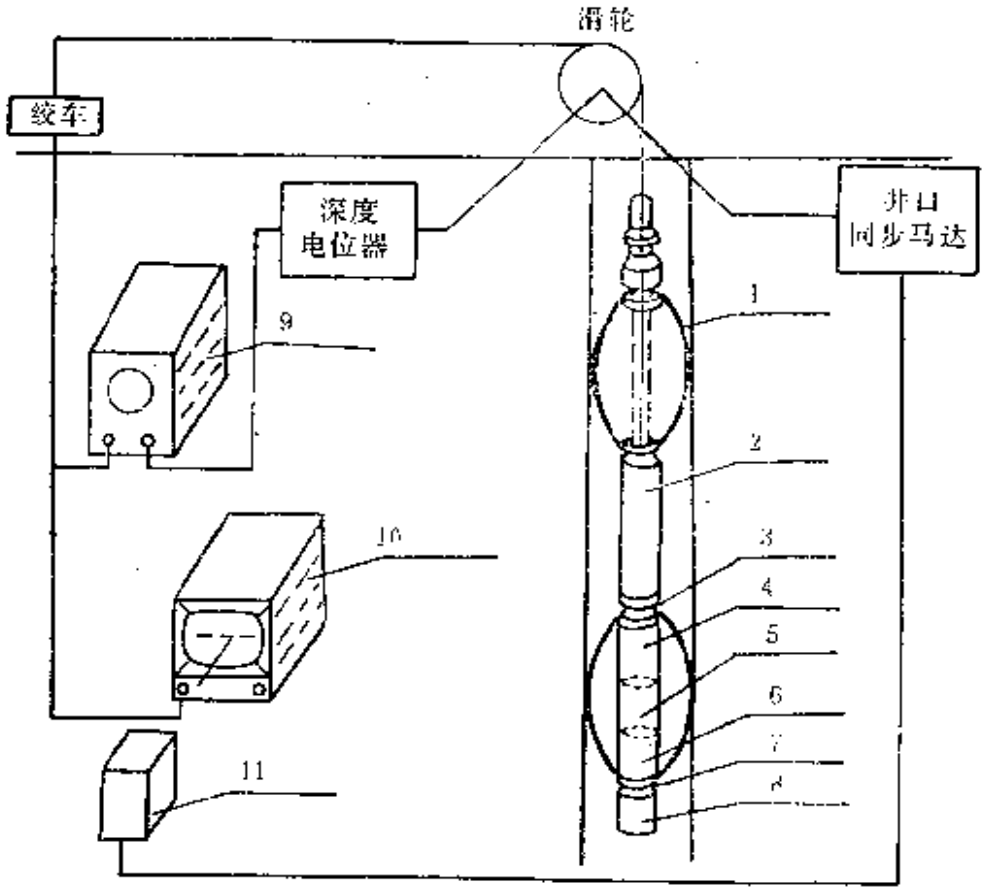


图 3—38　超声电视测井和仪器整体联接示意图

1—扶正器；2—电子舱；3—平衡压力管；4—电机；5—减速器；6—同步脉冲；7—机械密封组件；8—换能器；9—监视器；10—照相记录器；11—照相装置

(8) 声电换能器　一般用PZD-5或SF-1型锆钛酸铅压电晶片，频率为2MHz。

地面仪器的任务是给井下仪器各部分供电、显示和记录视频信号，并按不同深度比例将信号进行照相记录。地面仪器包括地面监视器，照相记录仪，供电面板和深度面板。

井下和地面仪器的测井和仪器联结示意图见图3—38。

电路工作原理方框图见图3—39。

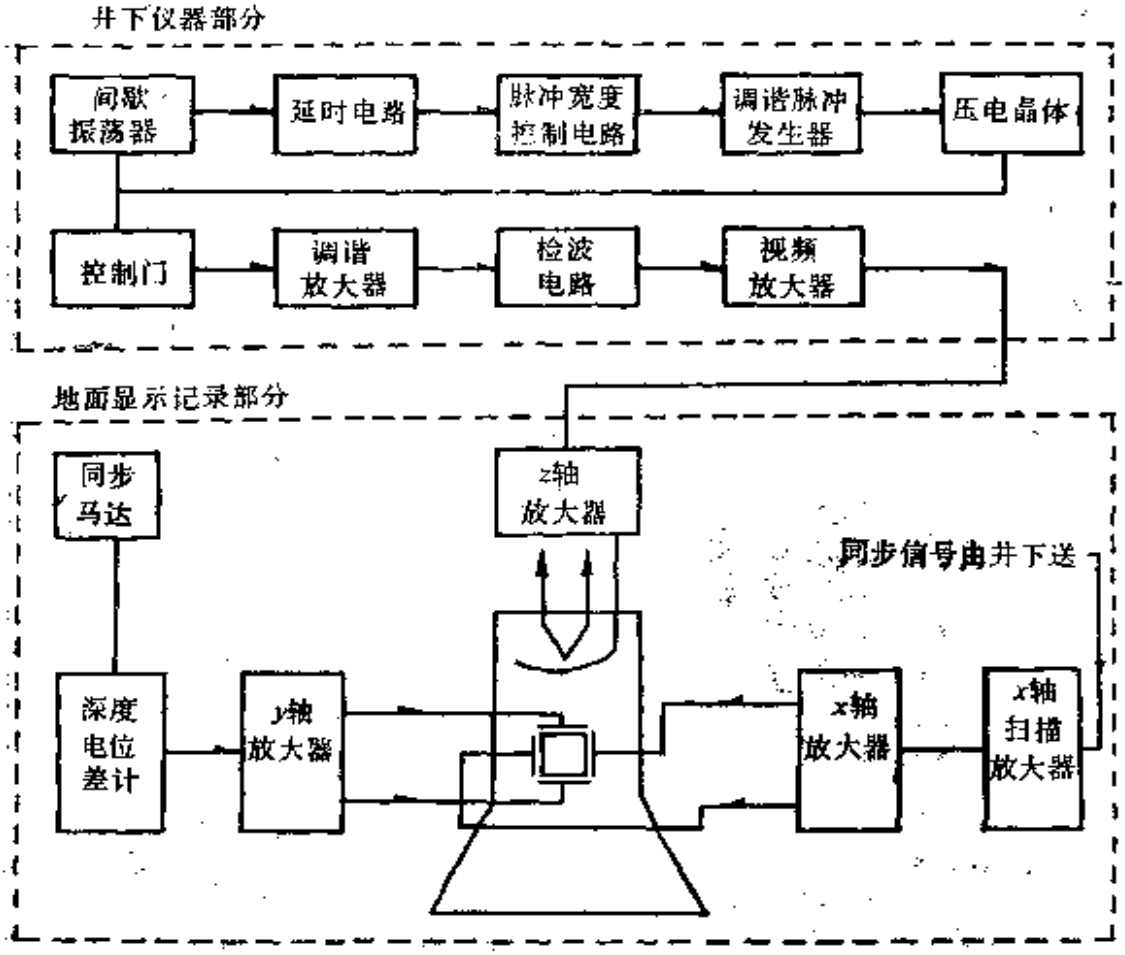


图 3—39　超声电视仪器电路方框图

4. 应用条件和主要技术指标

(1) 应用条件　可在注水井和井内没有游离气的油井内进行测井。井筒内的介质为油、水或泥浆均可。但泥浆密度必须小于1.2g/cm^3，固相粒度小于44μm。

(2) 主要技术指标　见表3—2。

表 3—2　超声电视测井仪主要技术指标

参　　数	φ80超声电视测井仪	φ46超声电视测井仪
换能器工作频率，MHz	2(重复频率3KHz)	2(重复频率4kHz)
换能器转速，r/s	3	6
耐温，℃	100	70
耐压，MPa	40	16
外径，mm	80	46
长度，mm	2950	4800
测速，m/h	60～100	120
深度比例	1:50，1:100	1:50，1:100
分辨能力，mm	纵向裂缝 2 孔眼φ8	纵向裂缝1.2 孔眼φ8
仪器重量，kg	54	34

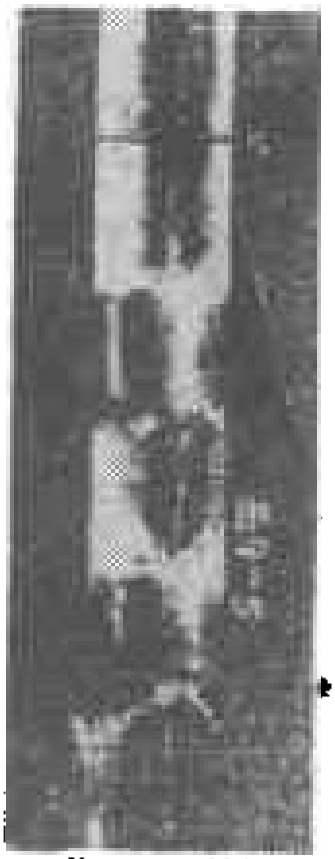


图 3—40　井下电视拍摄的西9-5井水平错断照片

5. 测井资料解释应用实例

井下超声电视测井可通过所拍摄的照片上图像特征，直观的判断套管变形、破裂、孔洞、错断、腐蚀、裂缝等，此外还可确定套管接箍位置、射孔孔眼以及套管技术状况等。

图3—40是大庆油田西9-5井井下超声电视拍到的套管水平错断的照片。

十、井壁超声成像及彩色图像处理系统

井壁超声成像及彩色图像处理系统是在井下超声电视测井仪基础上研制成功的新一代仪器。该系统由井下仪器、车载地面仪器及室内伪彩色图像处理系统三部分组成。

井下仪器外形、结构同井下超声电视测井仪，参看图3—36。

1．用途

比超声电视测井仪能更直观，更全面给出套管损坏的类型、损坏程度等立体和平面照片，为套管损坏井检查和油水井大修提供更直观可靠的资料。

2．工作原理

（1）系统工作原理　如图3—41所示，井下仪器通过绞车电缆下到欲测井段，对井身内壁进行探测。由七芯电缆的缆芯将所测信号传送到地面。地面仪器把通过电缆传送到地面的信号加上深度码进行处理后，送到录放相机，录放相机把所测信息记录在录相带上，作为永久记录。在现场可通过地面监视器把记录

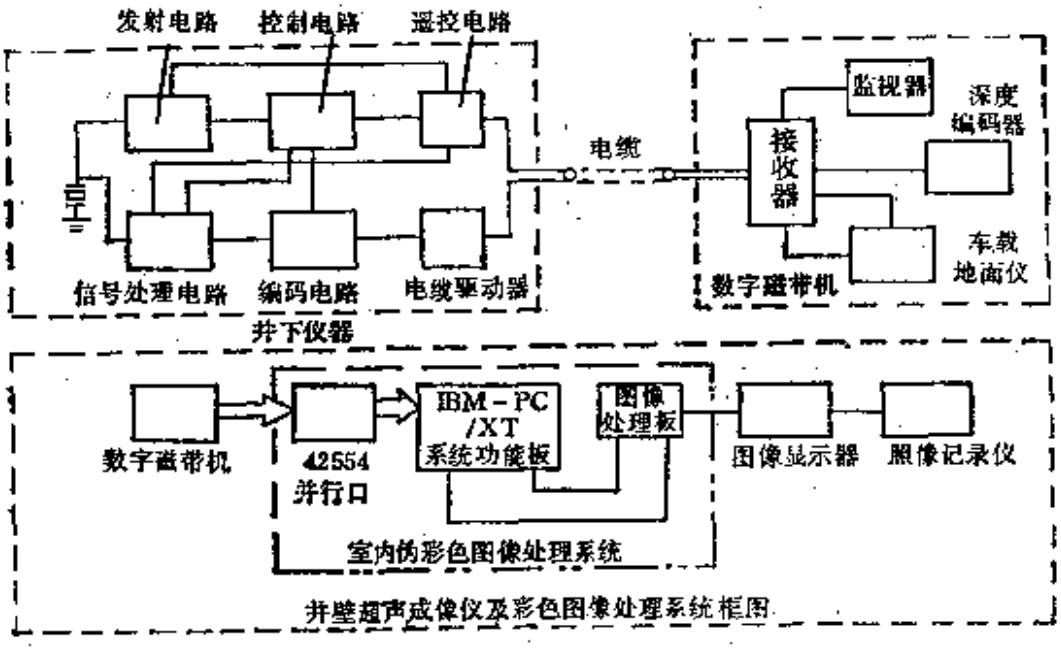


图 3—41　井壁超声成像仪及彩色图像处理系统原理框图

的信息回放出来。在室内可通过地面接收机把信号送入微机系统。微机系统由PC主机、CRT终端、中分辨率显示器、图像处理板构成。它对井壁信息进行自动处理、分析、成像，然后用普通相机或连续摄影机拍照，最终给出井壁图像的硬拷贝照片。

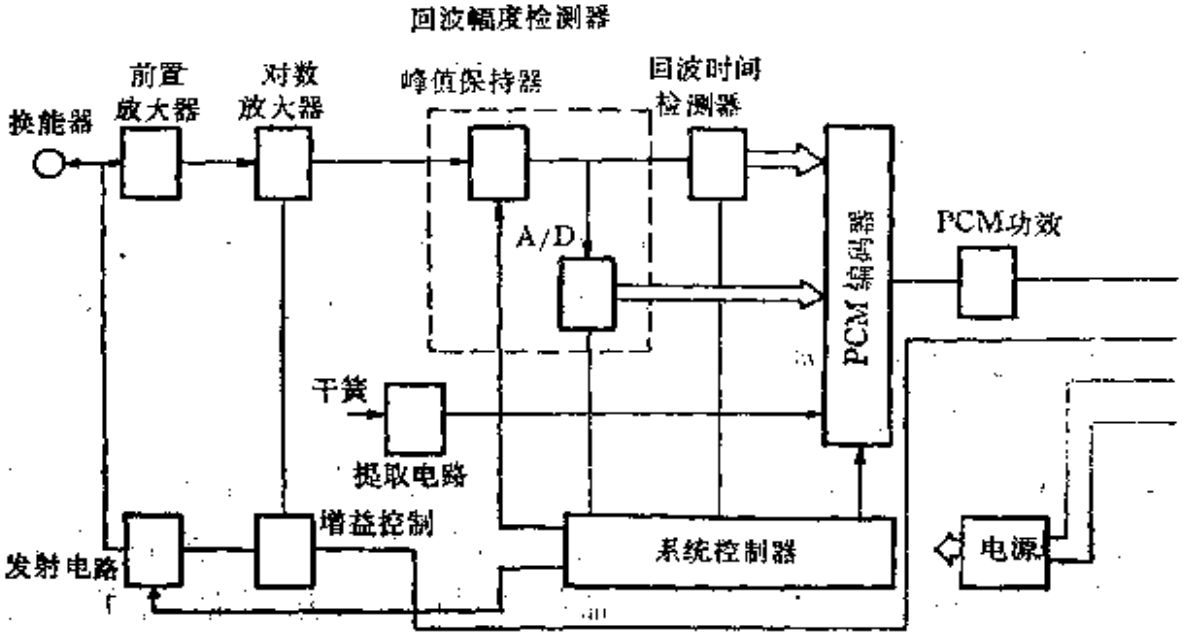


图 3—42 井下仪器工作原理框图

(2) 井下仪器工作原理 如图3—42所示，井下仪器的超声换能器由电机驱动，以6r/s速度旋转，超声换能器每转一周向井壁发射510个点的超声脉冲信号。信号处理电路将接收到的回波经幅度检测电路和时间检测电路处理后，送至编码电路。同时，电机同步检测电路将电机同步信号检测出来，送编码电路。编码电路将三路信息进行数字编码后送电缆驱动器，通过电缆送到地面仪接收机。操作人员在地面可通过遥控开关选择合适的发射功率和电路增益。

(3) 地面仪接收机工作原理 如图3—43所示，地面仪将井下仪器通过电缆送来的信号进行滤波处理后送码字检测电路进行码字识别，并将深度信号插入井下送来的数字信号中（深度信号采样间隔为1脉冲/10cm）进行编码后送磁带机记录。在同步再生各功能块时序控制器产生的时序控制信号控制下，信号分离电路

将幅度信息和时间信息、电机同步信息分离出来。幅度信息和时间信息可通过一个选择开关切换选择，将选定的信息送D/A变换器，变成模拟信号，送入地面仪器监视器，同时将电机同步信号送监视器，在现场或室内进行实时显示或回放显示。

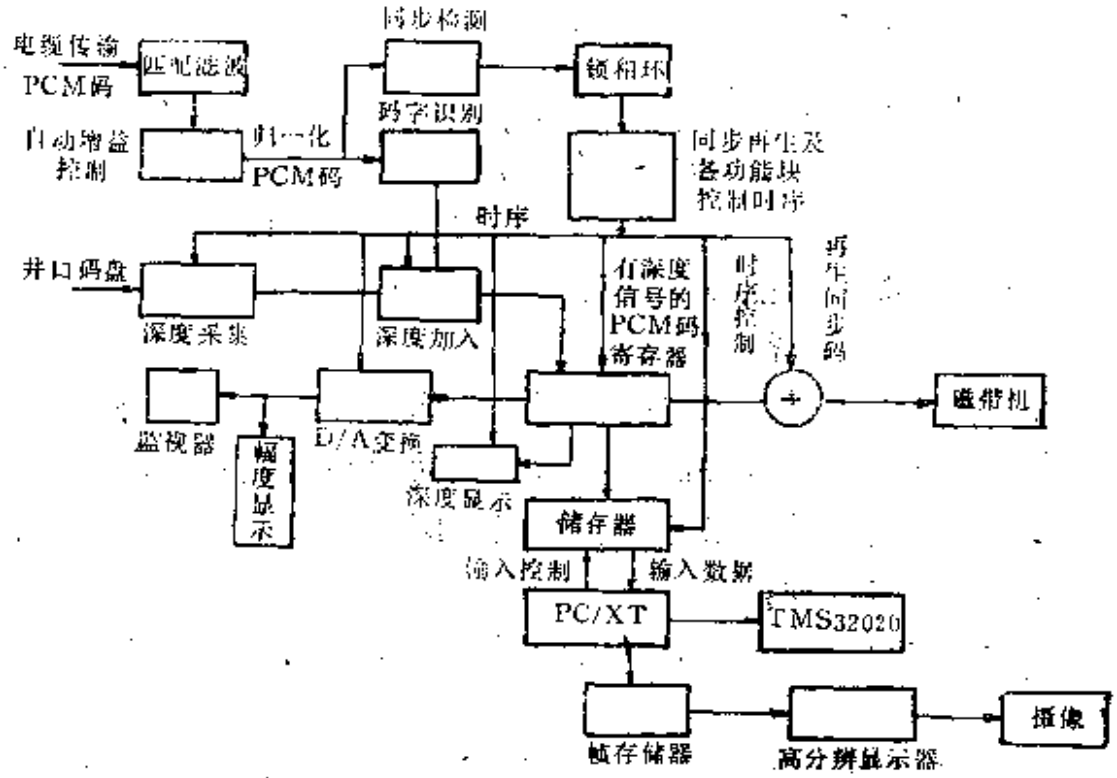


图 3—43　地面仪接收机工作原理框图

（4）室内图像处理系统原理　如图3—41所示，该系统由一台微机和图像处理板，一台中分辨率彩色显示器、一台CRT显示器构成。磁带机把现场测井记录的数据送入图像处理系统。计算机读取信号时，可分单幅读取，也可连续读取。

微机将读取的数据存入硬盘，在进行图像处理和图形处理时，将硬盘内所存数据取出，处理后的数据送图像显示器显示。

3. 主要技术指标

井下仪器外径　　89mm

井下仪器耐温　　80℃和120℃两种

井下仪器耐压　　30MPa和60MPa两种

分辨能力

介质为清水时：

在幅度图上对裂缝的分辨能力　　≥1.2mm

在时间图上对裂缝的分辨能力　　≥4mm

在横截面图上对裂缝分辨能力　　≥8mm

对孔洞的分辨能力（测速＝60m/h）　≥ϕ9mm

介质为泥浆时（相对密度≤1.6，粘度≤20s）：

在幅度图上对裂缝的分辨能力　　≥4mm

在时间图上对裂缝的分辨能力　　≥12mm

在横截面图上对裂缝的分辨能力　　≥12mm

对孔洞的分辨能力（测速＝60m/h）　≥ϕ12mm

4. 测井资料解释应用实例

该系统由于采用了先进的计算机图像处理技术，可将现场测得的井身内壁信息以各种图形显示方式为用户提供直观、逼真的假彩色照片。其形式有立体图、纵截面图、横截面图、幅度图、时间图和井径图六种。

下面用大庆喇 11-2916 井实测照片，说明上述各图的特点及用途。

（1）立体图　立体图是显示井身内壁形状的主图，如图3—44所示。从图中可以看出该段套管内壁损坏和变形的实际情况，确定套管损坏类型。显示器上的立体图形可任意360°旋转显示，以便将套管损坏部位显示在最佳位置。

（2）纵截面图　该图相当于顺井轴方向将井内壁切成以井轴心线为对称轴的纵向剖面图，如图 3—45 所示。该图有以下特点：

1）突出了井内壁的纵向剖面轮廓；

2）可解释出套管沿井身轴向变形的尺寸；

3）可解释出套管变形后偏离轴线的尺寸；

4）能更清晰的看到套管弯曲变形的程度。

纵剖面图也是立体图的辅助说明图。

（3）横截面图　如图3—46所示，从该图上可以看到套管内

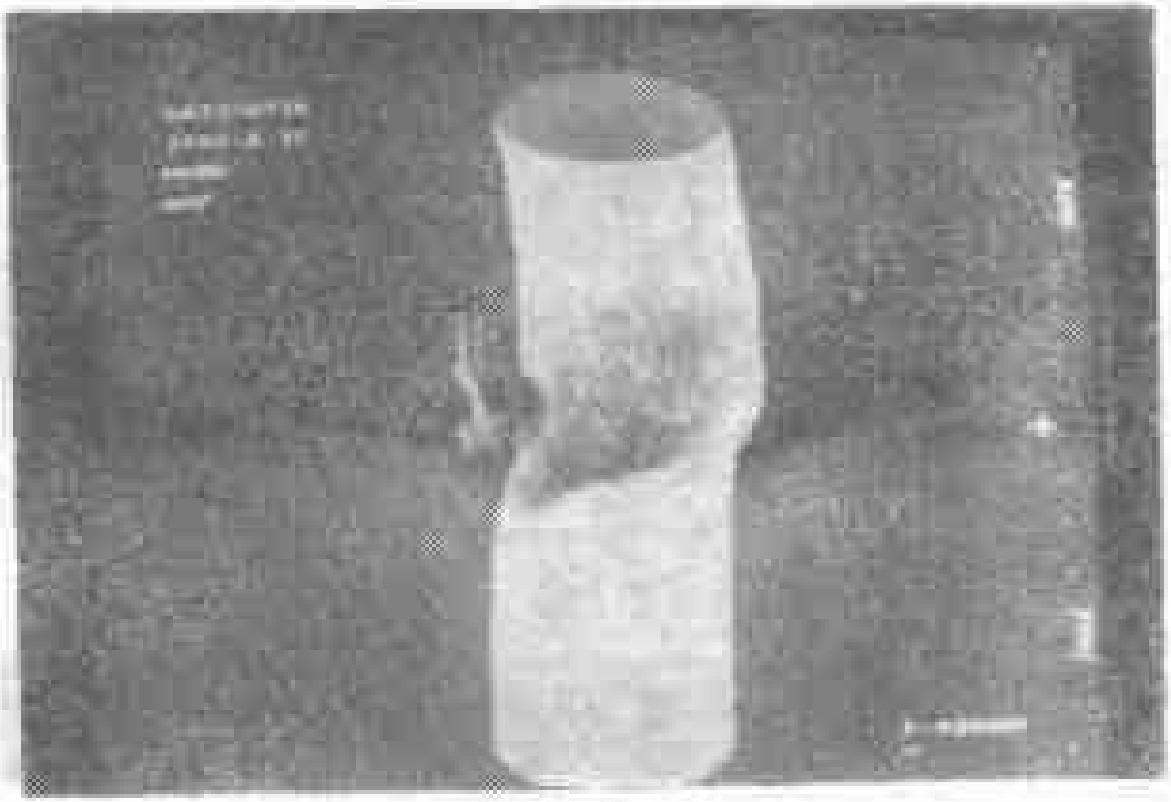


图 3—44 胫骨侧环立体图

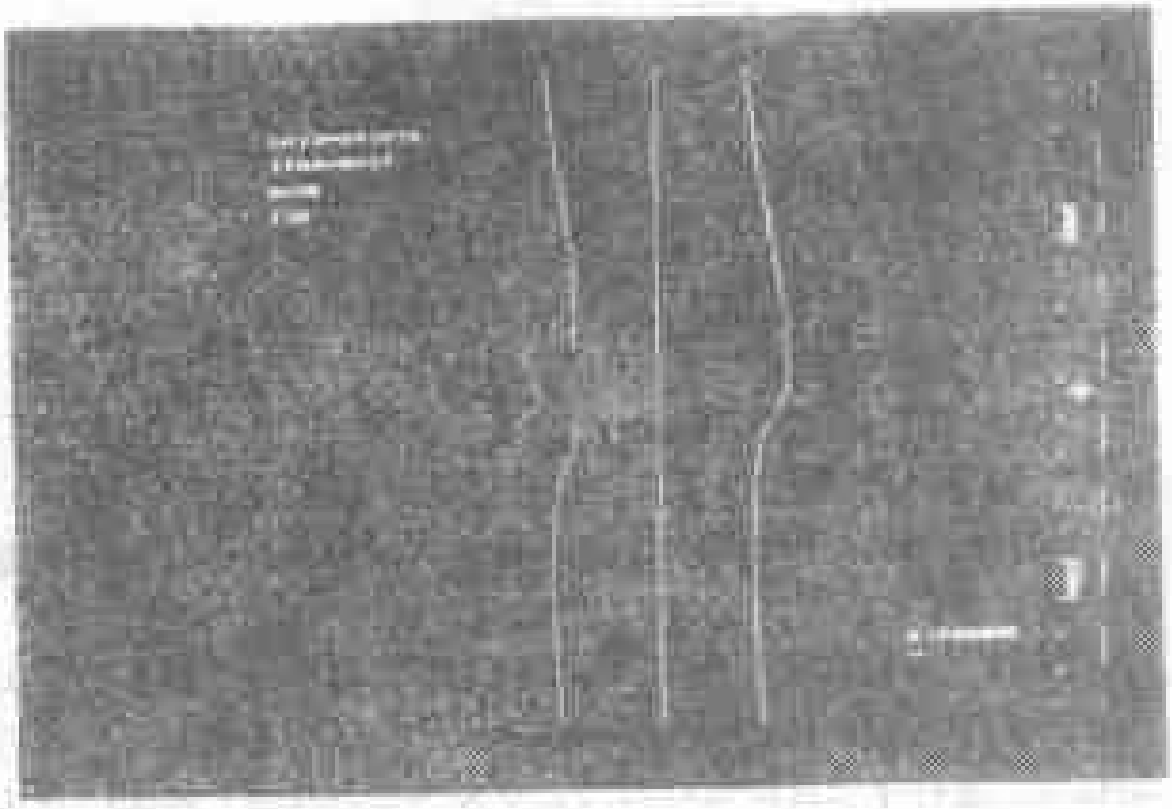


图 3—45 纵断面图

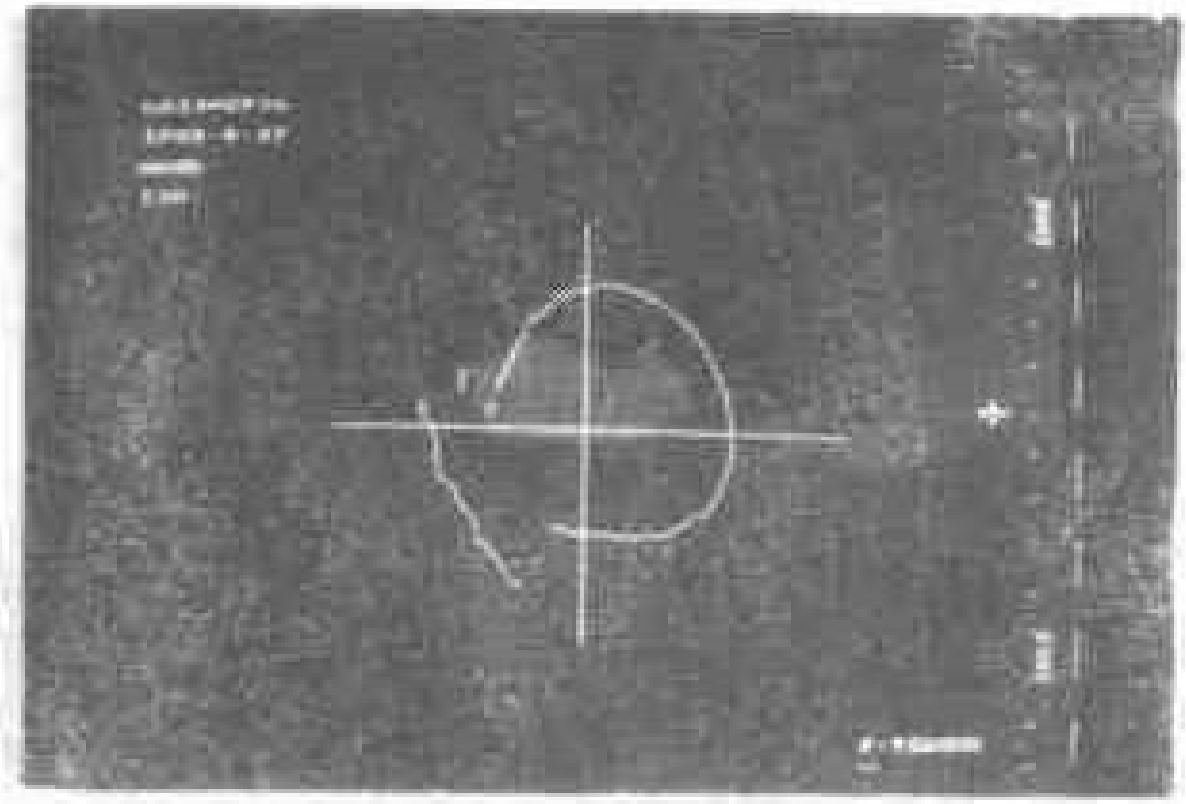


图 3—46　横截面图

壁任意截面的横端面形状，通过键盘控制选择被测井段的任意深度，将其横截面显示在屏幕上，亦可将破损部位360°任意旋转，显示在图像画面的最佳位置。从该图上可以得出以下结果：

（1）可解释出套管截面变形尺寸；

（2）套管截面变形形状；

（3）套管破损部位孔洞或裂缝是否与外壁连通。

横截面图是立体图的辅助说明图，可以帮助对套管损坏情况更透彻了解。

（4）井径曲线图　如图3—47所示，它以曲线形式给出最大井径、最小井径、和平均井径三条曲线。但井径曲线都是井内壁半径值。这些半径曲线可以与其它井径测井曲线进行对比，作为综合解释时的参考资料。

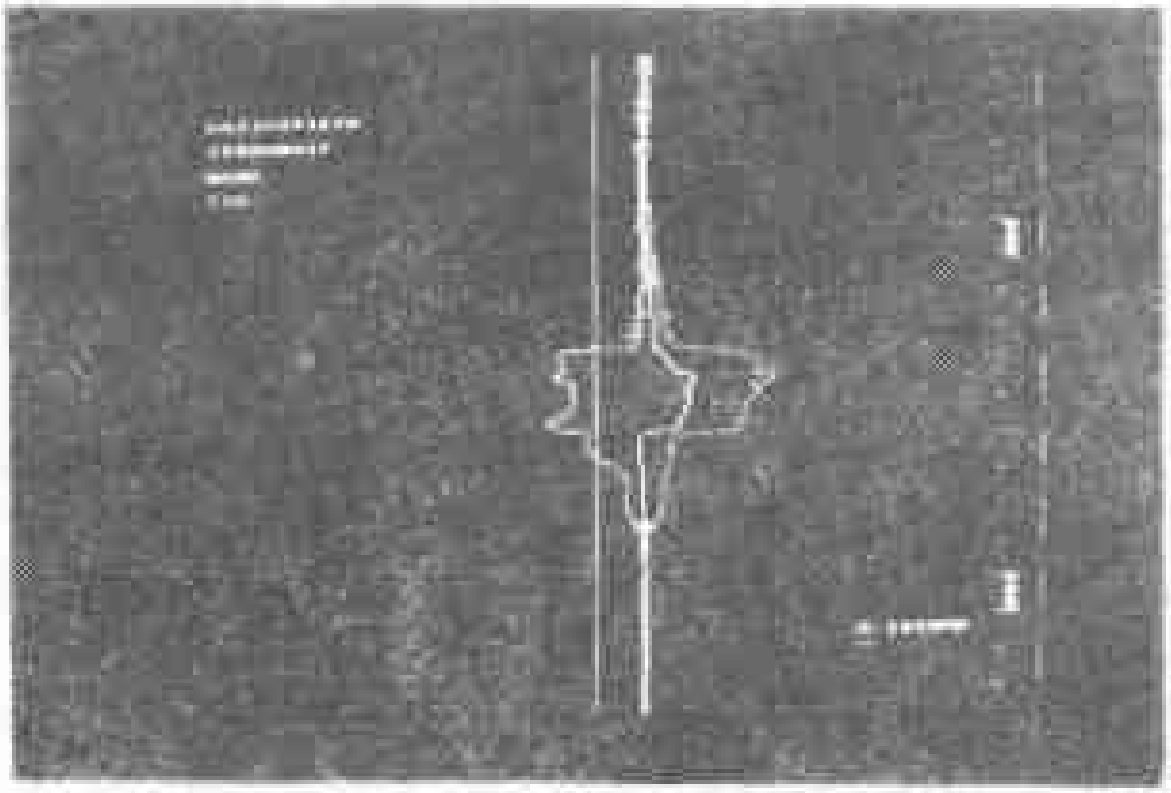


图 3—47　井径曲线图

（5）幅度图　幅度图是井内壁剖面展开图，它作为立体图的背景图形式显示在屏幕上。如图3—44所示。幅度图上包含的信息十分丰富，较暗的阴影表示回波信号弱，较明亮的图案表示回波信号强，主要有以下作用：

1）在裸眼井可看到裂缝的走向，计算出孔隙度。

2）在套管井中可计算出变形部位的面积，确定裂缝的走向和孔洞的分布情况。

幅度图也是立体图的辅助图。

（6）时间图　时间图也是井内壁剖面展开图。它作为截面图、井径图的背景图显示在屏幕上，如图 3—45 左边所示。图上亮的部位表示井径值大；暗的部位表示井径值小，参照其它图像可计算出孔洞的尺寸。

综上所述，该系统所提供的图形资料比较丰富，对不同的套管损坏及变形情况可利用这六种图形显示方式来准确的确定其类型，解释计算出地质和工程上所需要的数据。

十一、方位井径仪

1. 用途

方位井径仪既能测量套管井径变化，又能确定套管变形方位，因此该仪器可用成片套管损坏区检测套管变形方法，研究套管变形机理。它能够通过 $2^1/_2''$ 油管下入套管中，一次下井可测出套管井径和井径变化方位两条曲线。

2. 仪器结构

方位井径仪是由 x—y 井径仪和 JTL-50 型陀螺仪组成。其结构见图3—48。

（1）方位仪主要由以下四部分组成：

1）三相电容和电感组成的滤波器及由变压器、整流滤波电路、稳压单元组成的井下二次电源。二次电源供方位测量用。

2）水平修正系统和方位测量。修正系统包括修正摆、积分电路、极化继电器、伺服电机等部件。陀螺外框架连着方位电刷，方位电位器与外壳固定。

3）陀螺仪系统，主要

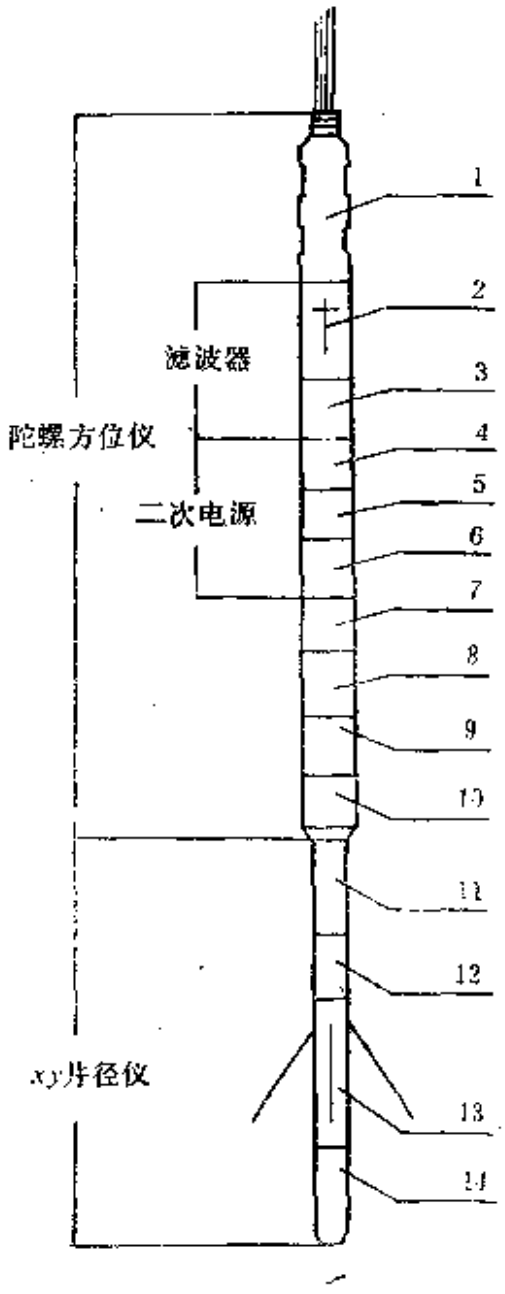


图 3—48 方位井径仪结构示意图
1—仪器头；2—电容；3—电感；4—变压器；5—整流滤波；6—稳压单元；7—修正电机及方位电位器；8—陀螺电机；9—减速箱及锁紧电机；10—继电器；11—两块印刷电路板；12—马达总成及两个电位器；13—四只井径腿；14—弹簧

由陀螺外框架、陀螺室与陀螺电机组成的三自由度方位陀螺仪。

4）锁紧系统电机、减速箱、升降拔杆、继电器等组成。

（2）井径仪主要由两部分组成：

1）上部分包括两块印刷线路板，两个电位器及控制电机总成。

2）下部分包括井径臂、电位器传动装置、拉杆和使每对井径臂与其相应的电位器配合的弹簧。

（3）地面仪器主要由三部分组成：

1）陀螺三相电源输出400Hz三相交流电，同时输出24V直流。

2）井径仪电源，包括300V，±12V和±24V。

3）NIM机架，包括方位仪测量面板、井径仪控制面板、两个频率计和一个对数板。

3. 仪器工作原理

测量前使方位仪的母线与井径仪的一条腿的中心线在同一直线上，这样方位仪测得的母线方位，就是井径仪一条腿的方位。当井径测出套管变形时，同时测出了互相垂直的两个套管内径的方位。根据这两个套管内径的大小，可以解释出套管变形的方位。

4. 主要技术指标

仪器外径	井径45mm
	方位54mm
仪器长度	井径1230mm
	方位1560mm
	全长2790mm
测量范围	井径ϕ70～180mm
	方位0°～350°
测量精度	井径±2mm
	方位±10°
方位漂移	每小时不大于12°

环境温度	−10～+45℃
耐压	19.6MPa

十二、铅模打印方位测井仪

1. 用途

用于确定套管变形点或部位的方位，常用于检测成片套管损坏区套管损坏方位，研究套管损坏的机理。

2. 仪器结构和方法原理

将JTL—50型陀螺测斜仪的尾部定位连接投捞器，投捞器主爪轴线与仪器外壳的母线在一条直线上，因此仪器测出的方位就是投捞器主爪的方位。见图3—49。

铅模上定位连接635-2型偏心配水工作筒，中间加一油管短节，见图3—50。

工作筒上接打印管柱至井口，将仪器和投捞器通过油管下入偏心工作筒，投捞偏孔中堵塞器时，测出偏孔方位。将铅模、工作筒及油管起出地面，偏孔方位投影到铅模上，从而可求出铅模印痕方位。

3. 仪器主要技术指标

外形尺寸	ϕ50×1700mm
测量范围	0°～360°
测量精度	±6°
方位漂移	<12°/h
耐　　温	45℃
耐　　压	20MPa

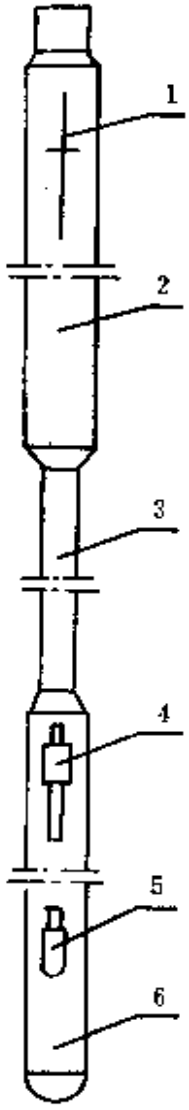


图 3—49 井下仪器结构示意图
1—测量特定线；2—陀螺测斜仪；3—加重杆；4—主爪；5—导向爪；6—投捞器

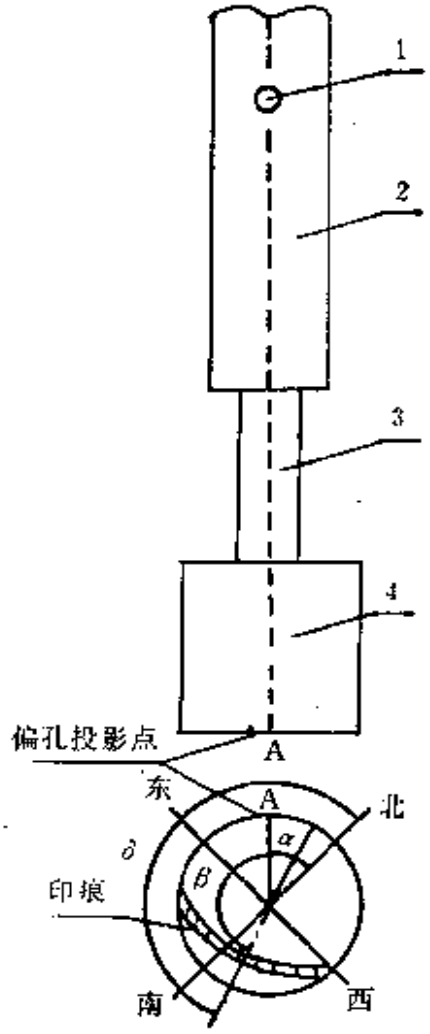


图 3—50 铅模印痕方位示意图
1—偏孔；2—偏心工作筒；3—油管短节；4—铅模；印痕方位角$\delta=\alpha+\beta$，α—测量偏孔方位角；β—偏孔投影点与印痕中心线夹角

十三、大庆油田工程测井系列

通过多年的实践，大庆油田针对不同套管损坏的类型及需要解决的井下技术问题，总结出一套工程测井系列，在实际应用中见到了较好的地质和工程效果。可推荐给各油田参考借鉴。

表3—3给出了工程测井系列表。

表3—3　工程测井系列表

测井目的	工　程　测　井　系　列
油井正常生产条件下的检测	过油管井径　过油管2臂井径　过油管10臂井径　过油管X-Y井径
套损方位	陀螺定向仪　方位井径仪
射孔质量	微井径或40臂井径(限流射孔用)过油管井径，过油管X-Y井径
套管腐蚀	超声电视、磁测井、8臂井径、40臂井径
变　形	截面变形：8臂井径、40臂井径、井下电视 弯曲变形：测斜、8臂井径
破　裂	8臂井径、40臂井径、井下电视、磁测井
错　断	8臂井径、40臂井径、井下电视、磁测井
外　漏	8臂井径、40臂井径、井下电视、磁测井，加测噪声或连续流量计
套管补贴	补前：连续流量计、40臂井径、8臂井径、井下电视 补后：8臂井径、井下电视
找管外窜槽	噪声、径向微差井温、同位素示踪
同井质量	声幅和声波变密度测井
管柱下深	小磁性定位器测井

第四章　C/O能谱测井

一、C/O能谱测井主要用途

C/O能谱测井是一种核测井方法，它通过测量快中子与地层元素原子核发生碰撞产生的非弹性散射伽马射线来了解地层中的油水分布和其它元素的分布。其用途有以下几方面：

（1）在新开发区已下套管井，在较高孔隙地层可划分油水层，确定地层饱和度。

（2）在老开发区已下套管的调整井中确定水淹层和剩余油饱和度，为编制射孔方案提供依据。特别在完井后较长时间射孔投产的井。

（3）在三次采油地区，确定目的层的剩余油饱和度，为注聚合物合理选层提供依据。

（4）在注水开发的多油层合采的油井中寻找漏掉的油层或剩余油饱和度较高的油层，为调整挖潜提供依据。

（5）通过对一个地区或区块的几口监测井的定期C/O能谱测井进行剩余油饱和度监测，可了解一个地区或一个区块一个或几个主产层剩余油饱和度变化，为区块调整及合理开发提供依据。

（6）通过一个区块多井的C/O能谱测井，可划出一个或几个主力油层的剩余油饱和度平面分布图。为调整井布井方案提供依据。

二、C/O能谱测井工作原理

C/O能谱测井的基础是快中子非弹性散射理论。由快中子非

弹性散射理论可知，当14.1MeV的快中子射入地层后，首先与地层元素原子核发生非弹性散射而损失其大部分能量，并放出具有一定特征能量的伽马射线，然后由于弹性散射使其继续损失能量。经过10^{-6}～10^{-3}s之后，几乎所有的中子都变成热中子，发生热中子俘获反应，以后还会发生活化核反应。因此，当脉冲中子源以重复的频率向地层发射快中子时，在最初10μs产生的伽马射线主要是非弹性散射引起的，随后便是俘获伽马射线，1000μs以后产生的伽马射线相当于活化核反应产生的伽马射线。

图4—1是中子轰击原子核所诱发的伽马射线时间分布关系图。

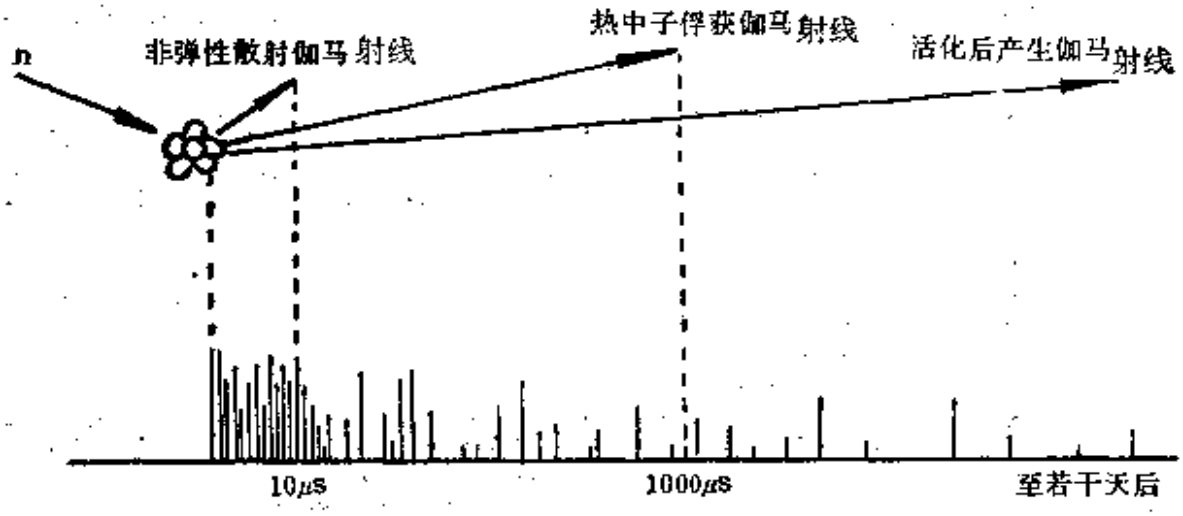


图 4—1 几种伽马射线的时间分布图

能谱测井是测量快中子与地层元素原子核发生碰撞产生的不同能量的非弹性散射伽马射线（即能谱）。不同元素原子核产生的非弹性散射伽马射线能量（能谱）是不同的。通过对其能量与强度的分析，可以找出参与反应原子核的存在及其含量。基于这一原理，由于石油中含有大量的碳，而水中又含有大量的氧，同时，碳氧原子均具有足够大的非弹性散射截面和不同能量的伽马射线。见表4—1。这就提供了分别选取碳和氧来作为油层和水层指示元素的条件。用“C”特征伽马射线总计数N_C相对于“O”

特征伽马射线总计数N_0之比，C/O来划分油层、水层或判断水淹层及水淹等级。C/O值越大，则表示地层含油越多，并能相应地计算出含油饱和度。为了区分由于岩石骨架成分所引起的C/O变化，还需要引用Ca/Si或Fe/Si，来综合解释。一般来说，小的Ca/Si和大的C/O则意味着油层的存在。这即是C/O能谱测井的基本原理。表4—1还列出了油砂岩层和水砂岩层中主要元素的含量及其中子截面。

表4—1　油水砂岩主要元素含量及其截面

元素	非弹性散射能 MeV	非弹性散射截面 b	俘获截面 b	单位体积内各种元素原子核数 $N10^{22}/cm^3$		宏观非弹性散射截面 Σi $10^{-4}cm^{-1}$		宏观俘获截面 Σa $10^{-4}cm^{-1}$	
				含油砂岩	含水砂岩	含油砂岩	含水砂岩	含油砂岩	含水砂岩
O	6.13	0.104	<0.002	0.4899	0.5998	50.94	61.75	0.1	0.1
Si	1.78	0.13	0.160	0.2457	0.2415	3.94	31.91	39.31	39.33
H	0	0	0.332	0.2270	0.2134	0	0	70.86	70.86
C	4.42	0.353	0.004	0.1089	0.0008	38.44	0.28	0.42	≈0

从表4—1可以清楚地看出，从地质角度上考虑，含油砂岩中碳的含量多；而含水砂岩中氧的含量多于含油砂岩。从核物理角度上看，碳氧两元素与快中子碰撞时都具有较大的非弹性散射截面（碳元素为0.353巴，氧元素为0.104巴），放出较高能量的伽马射线（碳4.43MeV、氧为6.13MeV），而且其能量差别较大。

三、井下仪器

1. NP-3型C/O能谱测井仪

NP-3型C/O能谱测井仪和整个测井系统结构简图如图4—2所示。

在脉冲中子源部分，使用了西安石油勘探仪器总厂生产的L-NA型冷阴极中子管，它利用氘氚反应产生能量为14.1MeV的快

中子（D＋T→2He⁴＋n），与之配合使用负的125kV高压电源是采取提高倍压级数，增大内阻的方法，省去了限流电阻器，它成功的对D离子进行加速，而中子脉冲的宽度、频率是由中子管控制电路来控制，其半极大值的宽度近似为9μs，重复频率是7000Hz/s，平均产额是1～2×10⁷n/s。

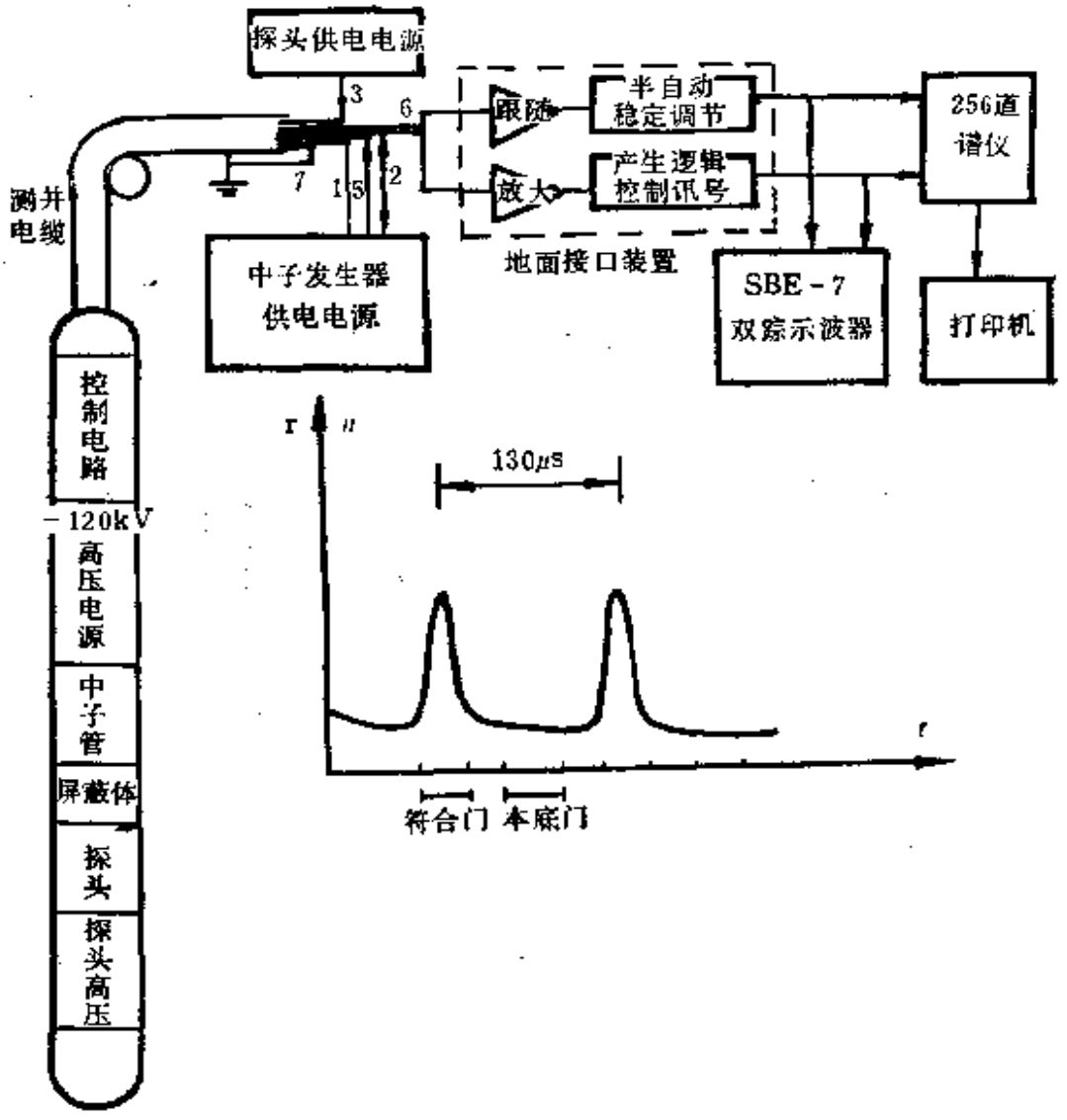


图 4—2　NP-3型C/O能谱测井系统简图及伽马射线时间分布

伽马射线探测器是由ST101A型ϕ50×60mm的碘化钠〔NaI(Tl)〕晶体与GDB51G型光电倍增管组成。用铁铅组成的屏蔽体来阻挡中子打到探头上。

NP-3型C/O能谱测井仪只能进行点测，不能进行连续记录。

现已被NP-4型、NP-5型连续C/O能谱测井仪所取代。

2. NP-4型C/O能谱测井仪

NP-4型C/O能谱测井仪是在NP-3型仪器的基础上，通过改进屏蔽体结构、加大探测器晶体尺寸及改进—120kV高压电源设计三项措施，使仪器“C”、“O”道计数之和达到10万脉冲/min，比点测仪器40000脉冲/min的计数率大大提高，从而超过了从点测到连续测量的基本条件(大于5万脉冲/min)实现了C/O能谱测井的连续记录。

(1) 改进中子源和探测器屏蔽结构　合理的屏蔽结构可以减小中子源直接幅射和井眼对测量的影响。通过对铅、铁、钨镍合金三种材料及多种屏蔽角的实验，最后选用大角度的钨镍合金屏蔽体，其50cm源距的测井灵敏度δ（纯油纯水层碳氧比读数的相对变化率），与57cm源距相当，而计数率比后者提高75%。

表4—2是屏蔽效果对比表。表中数据是在20cm井径，孔隙度20%的纯石英砂油水层模型井中测量的。其中灵敏度δ是仪器在油水层中C/O值的相对变化量。

表 4—2　灵敏度δ对比表

材　料	屏蔽角	源　距，cm		
		43	50	57
铁	30°	8.6%	9.4%	10.6%
铁	180°	9.6%	10%	10.8%
钨镍合金	180°	10.2%	12%	11%

(2) 采用大晶体　NP-3型仪器所用探头NaI(Tl)晶体尺寸是ϕ50×60mm为提高计数率，NP-4型采用ϕ50×100mm的NaI晶体，其体积大约增加了67%，计数率也相应的增加。

采用大晶体后，能量分辨率会下降，影响谱线上特征峰的清晰度，采用高质量晶体，并在电路上提高指标后，保证了NP-4型仪器所测谱的清晰度。图4—3是用ϕ50×100mm晶体在模型井

中实测的油水层谱线。

（3）－120kV电源设计改进　NP-3型仪器的－120kV电源在中子管高产额时稳定性较差，易出现逆变器停振，分析其原因主要是负载特性差。NP-4型仪器在以下三方面进行了改进：

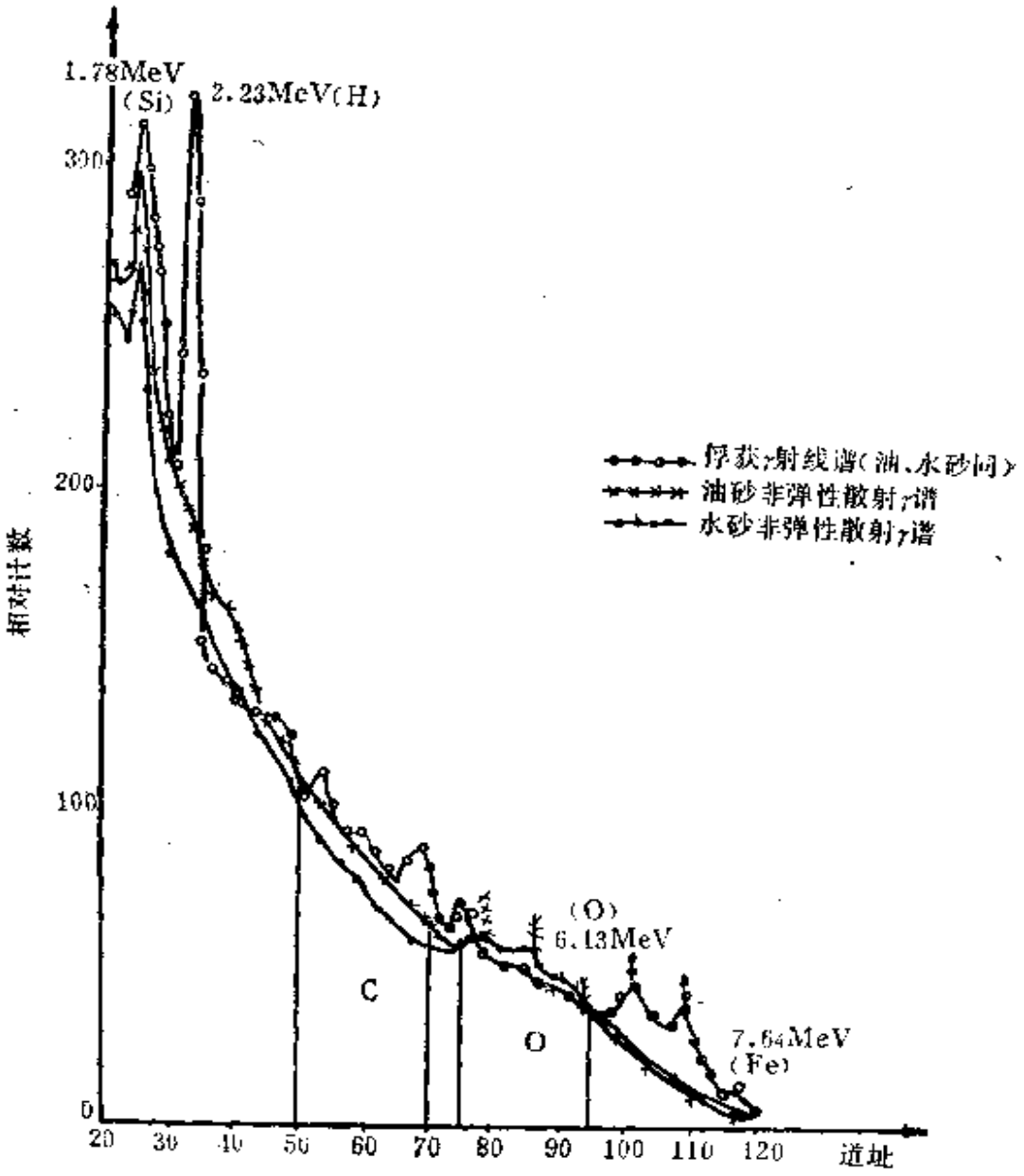


图 4—3　孔隙度30%砂岩实测谱曲线图

1）在保证高压绕组可靠绝缘的前提下，改进逆变器的绕制工艺，降低绕组的分布电容，改善逆变器的起振条件。

2）调整逆变器负载线，提高逆变效率，使其由原来的30%

提高到60%，这样总功耗下降，可靠性也相应的提高了。

3）采用自制高压电容代替瓷片电容制造高压倍加器。克服了瓷片电容随温度升高电容量急骤下降的缺点。自制高压电容器采用聚酯薄膜（100℃以上采用聚四氟乙烯薄膜）作绝缘材料，其介电系数和抗高电压的强度都较稳定。

由于NP-4型井下仪器采取了上述三项改进措施，仪器的"C"、"O"道净计数率之和在模型井中达到了10万脉冲/min稳定工作，大大提高了原设计指标，实现了连续测量。

3. NP-5型C/O能谱测井仪

NP-5型井下仪器是在NP-4井下仪器基础上，在探测器部分加上金属保温瓶，从而提高了仪器的耐温指标。

金属保温瓶是成都机械设计院研制的，使用金属保温瓶后，在探测器耗散功率为3W，在井下温度120℃条件下，连续工作8小时，瓶内温度不超过60℃。从而可保证仪器在120℃中深井的正常测井。

4. 井下仪器结构

图4—4、图4—5分别是NP-4型、NP-5型C/O能谱测井井下仪器结构示意图。

NP-4型仪器采用一节3.5m长的合金铝外壳。仪器骨架由中子管阳极脉冲发生器及自控电路、充满电容器油的－120kV高压电源及中子管的高压绝缘密封薄壁筒、屏蔽散射体和探测器等部分顺序连接构成。详见图4—4。

NP-5型仪器结构与NP-4型不同之处，是把探测部分放在金属保温瓶内，详见图4—5。

5. 井下仪器的脉冲线性传输电路

为实现C/O能谱井下仪器脉冲的线性传输、克服由传输电路放大器、电子开关和电缆可能产生脉冲幅度谱的畸变，NP-4和NP-5型井下仪器采用了如图4—6所示的电路逻辑框图。

图中A_1是线性放大器，A_2是饱和放大器，A_3是输出推动级。探头信号经A_1放大后分成两路：一路在开关K_1、K_2控制下给展

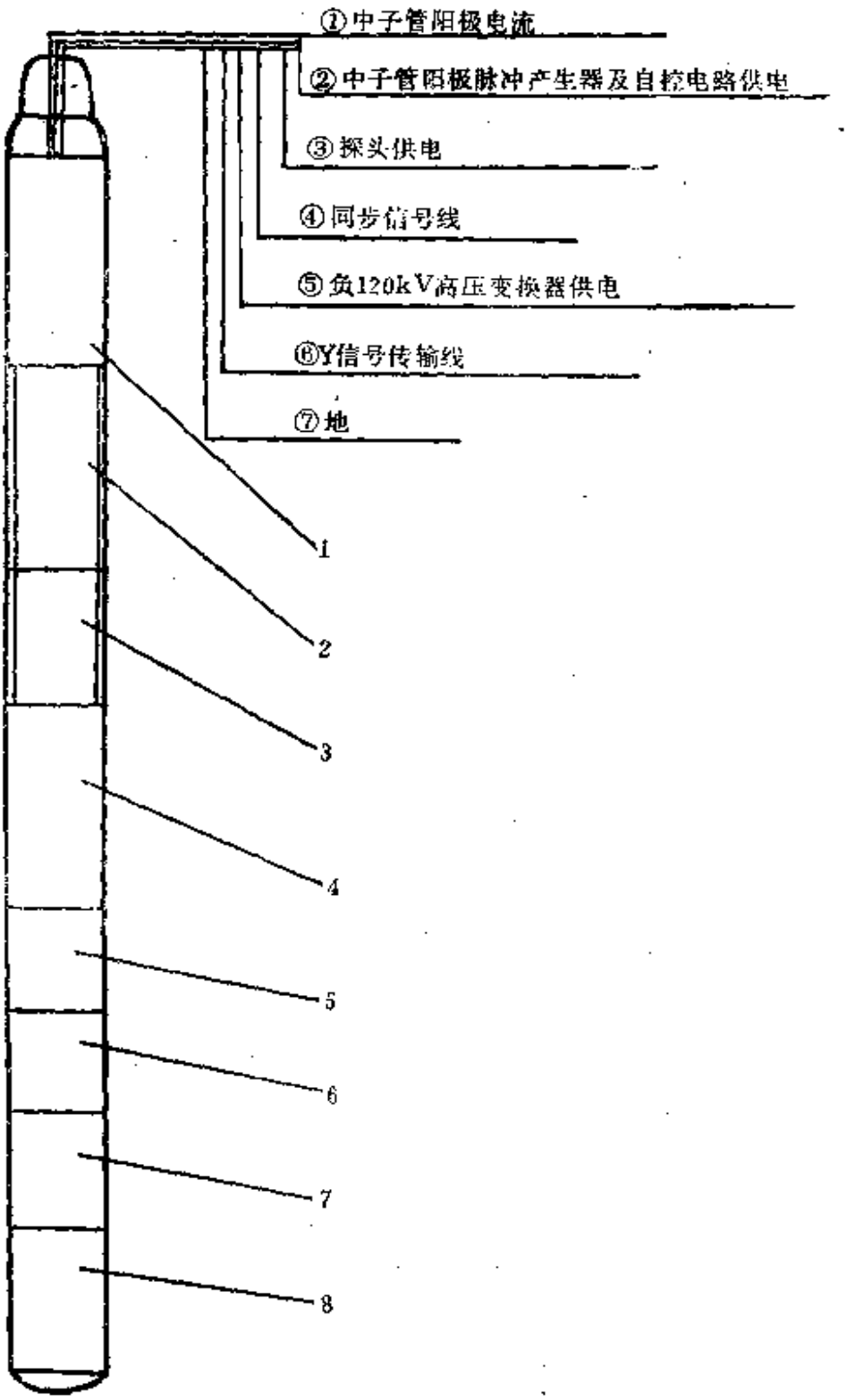


图 4—4　NP-4型C/O能谱井下仪器结构示意图

1—中子管阳极脉冲产生器及自控电路；2——120V高压电源；
3—ZM60氘-氚反应中子管；4—屏蔽体；5—NaI（Tl）晶体探测器；
6—GDB-51光电倍增管；7—γ信号传输电路；8—1000V高压探头

宽电容C_7充电，信号展宽后经A_3送至电缆输出；另一路经A_2增幅，受与门控制后启动单稳电路DW_1，DW_1输出宽为1μs的负脉冲，使开关K_1管截止，信号经二极管向电容C_7充电，同时DW_2输出宽为5μs的负脉冲使开关K_2管也截止，这样由A_1输出宽度约1μs的脉冲就被展宽为5μs了。

DW_1输出脉冲的后沿启动DW_3，使其输出宽为15μs的负脉冲去关闭与门。这样电路每送出一个脉冲，关闭15μs，就可以有效地防止脉冲在电缆上重叠。同时，信号被展宽，传输衰减大大减小，有效地提高了接收端的信噪比。

与门另一个输入端受双稳态SW控制。同步脉冲使双稳电路置“0”，关闭与门，中子管电离前沿使双稳置“1”，这样电路在同步——电离前沿期间被封锁（即前封锁——发射中子之前的封锁），可以保证非弹性散射γ脉冲优先被送出。

电路控制的逻辑过程可

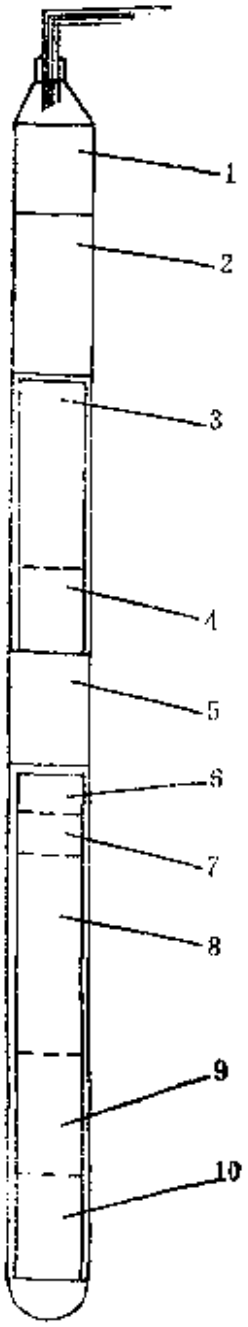


图 4—5 NP-5型C/O能谱井下仪器结构示意图

1—井下供电变换器；2—中子管阳极脉冲及控制电路；3——120kV高压电源；4—MZ型氘-氚反应中子管；5—屏蔽体；6—NaI（Tl）探测器；7—GDB-59光电倍增管；8—探头高压及传输电路；9—吸热剂；10—绝热体

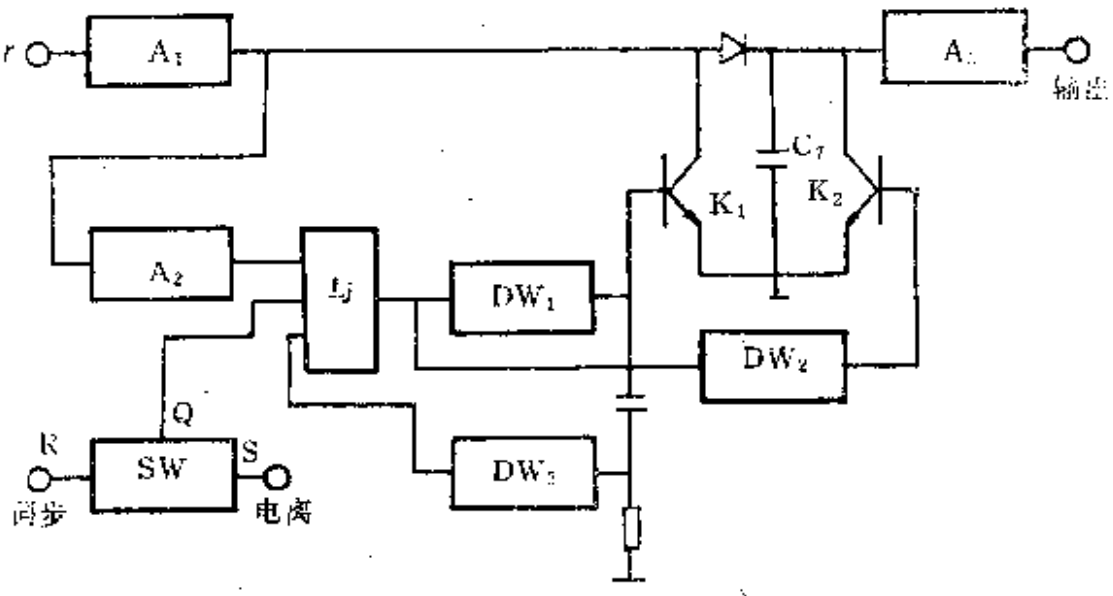


图 4—6　脉冲线性传输电路逻辑框图

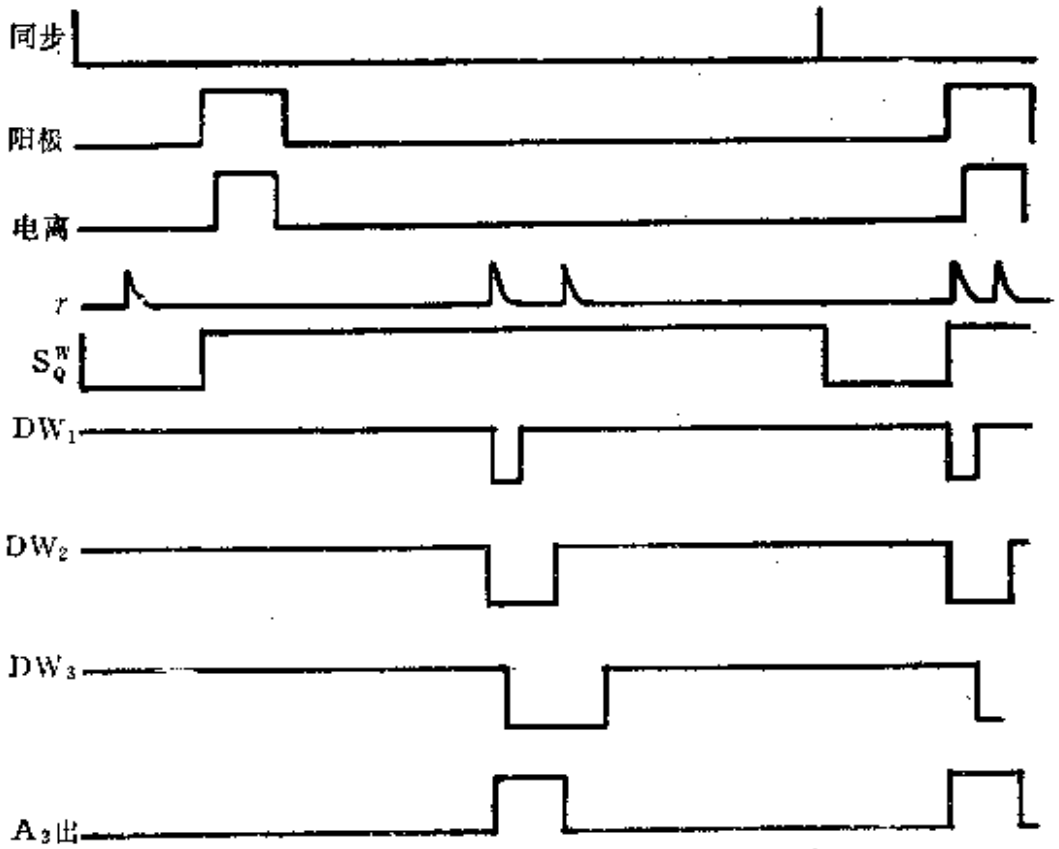


图 4—7　脉冲线性传输时序图

见图4—7。电路原理图见图4—8。

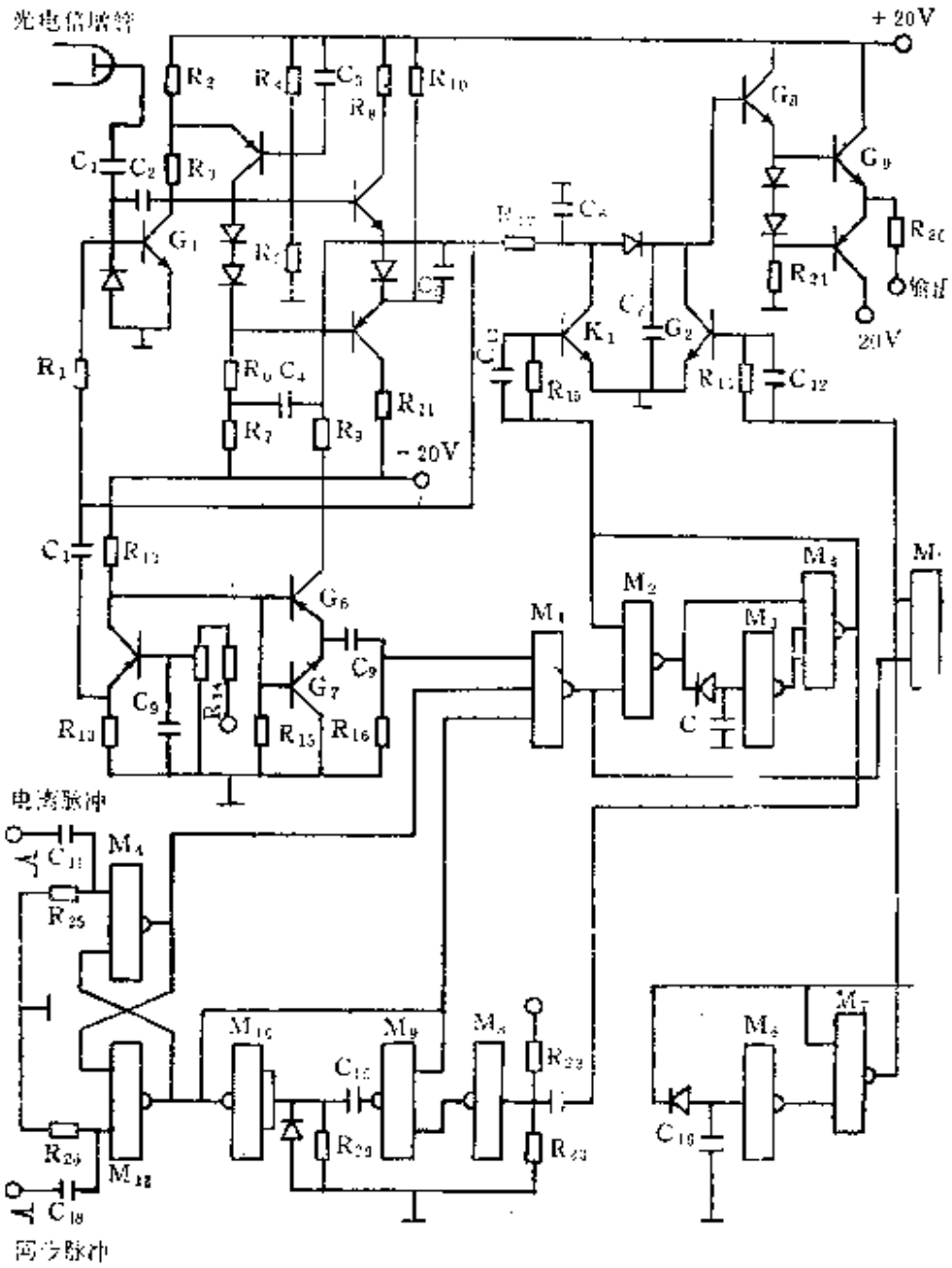


图 4—8　NP-4型井下脉冲线性传输原理电路图

6. 井下仪器的主要技术指标

NP-3、NP-4和NP-5型C/O能谱测井仪的主要技术指标见表4—3。

表 4—3 C/O能谱测井仪主要技术指标

项　　目	NP-3型	NP-4型	NP-5型
仪器直径，mm	102	102	102
长度，mm	5.4	3.65	4.70
重量，kg	80	80	115
额定温度，℃	65	65	120
额定压力，MPa	20	35	50
测速，m/h	点测	40	40
探测器尺寸，mm	ϕ50×50	ϕ50×100	ϕ50×100
源距，cm	55	52	52
信号传输方式	模拟	模拟	模拟
(C+O)净计数，min^{-1}	≥20000	≥60000	≥50000
ϕ=35%油水砂C/O差值	≥0.25	≥0.25	≥0.25

四、地面仪器

C/O能谱测井地面仪器的研制和生产是由大庆油田和北京核仪器厂共同协作完成的。目前在生产上使用的共有两种型号。

第一代NP型C/O能谱测井仪选用了TRS-80微机作主机。系统功能大部分由硬件完成，微机只完成简单的数据运算、记录和显示。生产实践证明，该仪器性能稳定可靠，所测资料地质效果好。其主要问题是计算机功能不强，软件开发不够，硬件繁杂，操作不太方便。

第二代MZ-88型C/O能谱测井仪采用了IBM-PC-XT兼容机作为仪器主机，新设计了数据采集接口与微机配合，构成了完整的C/O测井微机多道分析及数据采集、分析、显示、记录系统。系统的软件功能加强，硬件简化，其主要优点如下：

(1) 可靠性好，测井成功率高。两年来测井100余口，因地

面系统故障仅一次。

（2）实现了全谱记录，降低了对井下仪器幅度稳定性要求，提高了数据处理的精度。这是引进的国外同类仪器所不具备的。

（3）灵活的本底处理方式，对不同的地层条件可用不同的本底系数处理。加上有全谱记录，不但在井场上可以灵活地进行处理，还可在室内回放进行精细的处理，保证取得最好的效果。

（4）操作简单，维护方便、造价较便宜。

（5）有双计算机配置，有利于野外施工，提高了测井一次成功率。

（6）有较完善的报警系统，保证了测井质量和测井安全。例如低计数率报警、超测速报警、仪器近井口报警等。

（7）FCOR、FCOPRK程序采用树状结构、结构清楚、各部分功能采用专用功能键或菜单方式工作，参数设置采用人、机对话方式，便于操作。

（8）测井时各种谱（总谱、俘获谱、非弹性散射谱）、各种比值曲线显示灵活、方便、直观，便于操作与监视测井质量。

鉴于MZ-88型仪器比NP型地面仪器有上述明显的优点，因此本部分只扼要介绍MZ-88型地面仪器。

1. MZ-88型地面仪器的工作原理

地面仪器通过七芯测井电缆向井下仪器供电，脉冲中子源的高压倍加器产生－120kV高压加到中子管的靶极上，阳极脉冲电路以10kc/s的频率产生高压阳极脉冲。中子管在－120kV高压、阳极脉冲的作用下，以10kc/s的效率发射中子脉冲，14MeV的脉冲快中子与周围介质相互作用，产生快中子非弹性散射γ射线和热中子俘获γ射线。探测器将γ射线转换成与γ能量成正比的电脉冲，放大器将脉冲增幅后，在一系列时序逻辑控制下，经ADC量化的γ脉冲数据被分别记入两个寄存器（总谱和俘获谱），接口系统将谱数据送入计算机进行运算、显示和记录。

图4—9是仪器的原理方框图。

2. MZ-88系统的硬件组成

/ MZ-88C/O能谱测井地面系统主要由数据获取、数据处理、

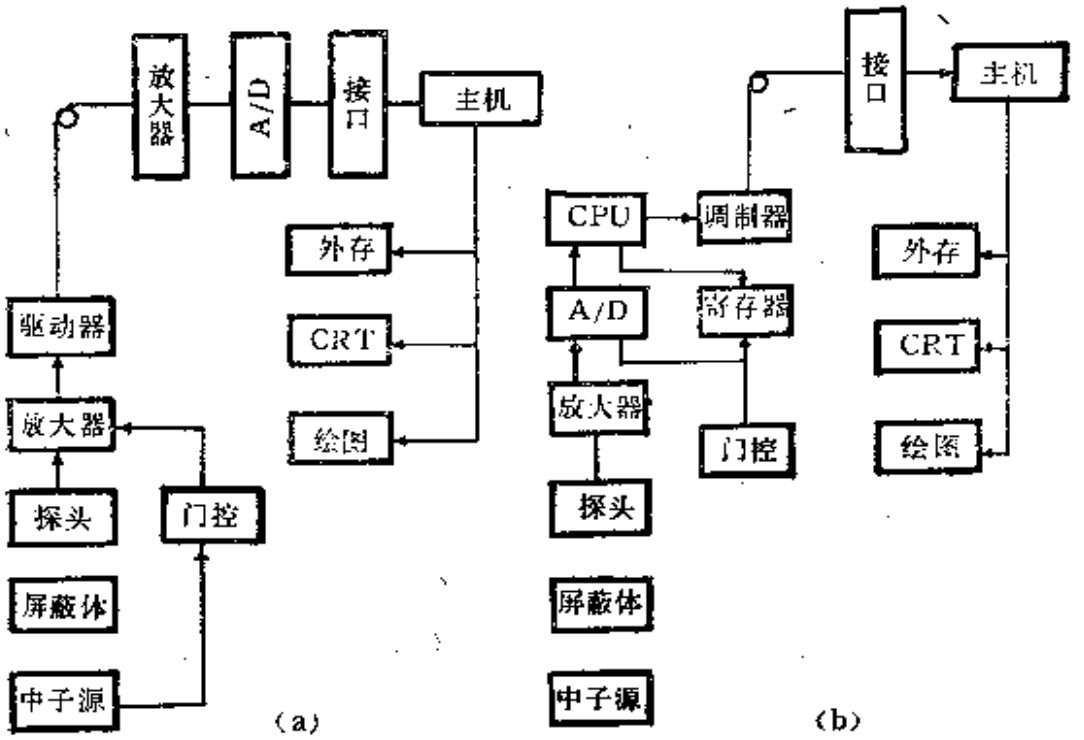


图 4—9 C/O能谱测井仪器原理框图

(a) —模拟传输；(b) —数字传输

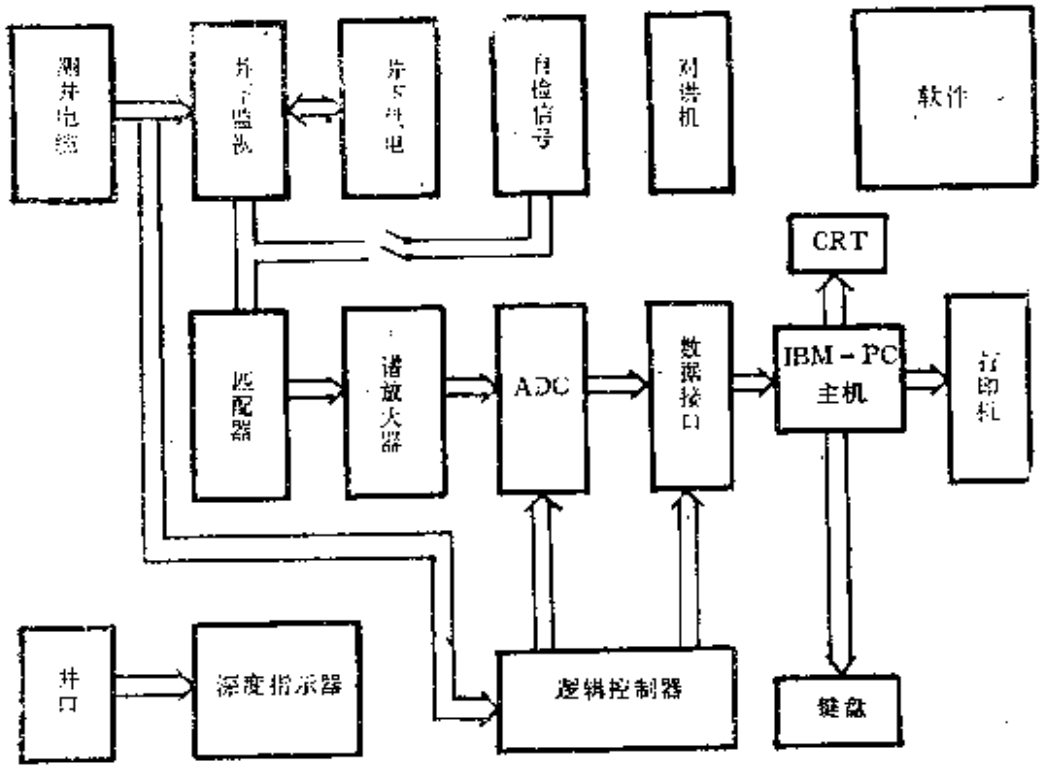


图 4—10 MZ-88型仪器系统框图

外围设备及相应的软件组成。

MZ-88地面仪器的系统框图见图4—10。

整个系统在结构上采取了多级减震、防震措施。计算机硬盘选用了抗震能力达60g的抗震硬盘系统。计算机采用了双主机配置，可方便地通过开关互相转换。系统中采用了个人计算机、单板机和大规模集成电路，使整个系统达到了80年代先进水平。

（1）井下监测器　井下监测器作为井下探头与地面仪器的转接部件。井下来的信号和到井下的供电系统通过后面板的插座，经开关与前面板的高频信号插头对应，由开关控制与井下信号的接通和断开。这样既易于用示波器观察，又可方便地判断故障的所在。

（2）匹配器　匹配器由表头显示井下的电离信号，同时完成长电缆与放大器之间的匹配连接，提高了γ谱的分辨率。

（3）数据接口　数据接口完成数据存贮、向计算机通讯等功能，它由地址锁存器、存贮器、8255可编程并行接口及各种控制电路组成。简化示意图见图4—11。

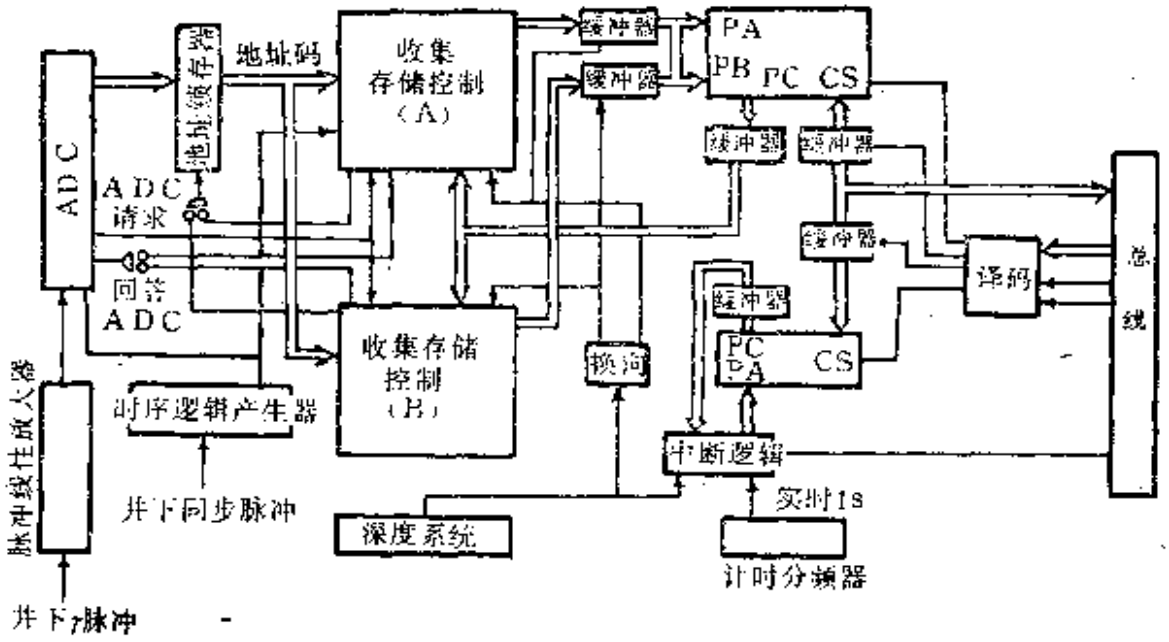


图 4—11　数据接口简化逻辑框图

1）工作原理　匹配器接受的信号经放大器放大后，送入ADC中，信号在ADC中进行变换结束后，产生地址码和存贮请求信号。地址码在打入信号作用下，进入地址锁存器，作为存贮器的地址码。存贮请求信号启动存贮时序，时序如图4—12所示。

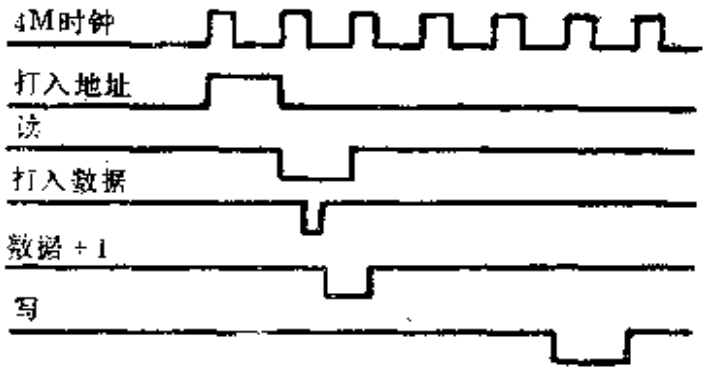


图 4—12　数据存贮时序图

在读信号时，将地址选定的存贮器单元中的内容读出，并在打入数据信号作用下送入数据暂存器，在其中进行＋1后，再写入存贮器原来单元中。当测量到达预定时间后，通过程序中断方式，将存贮器中的数据通过8255传送到计算机内进行处理和显示。数据传送完毕后，将存贮器清零，以便再次获取数据。

2）存贮控制　双存贮控制简化框图见图4—13。开始由存贮控制A从ADC获取数据，当测量到达一定时间后，通过换向控制，使收集存贮控制（B）从ADC获取数据，而存贮控制（A）中已获取的数据，通过微计算机的中断程序，把数据取到计算机中进行显示处理。数据传送完毕后，对收集存贮控制（A）中的数据清零。待测量时间进到下一个预定值时，存贮控制（A）开始收集，存贮控制（B）向计算机传送。

3）中断逻辑　接口和计算机之间的数据传送方式有三种：一种是程序传送，第二种是直接存贮器存贮，第三种是程序中断传送。第一种方式接口硬件电路简单，但传送速度慢；第二种方式传送速度快，但接口硬件电路复杂；第三种方式性能适中，由于

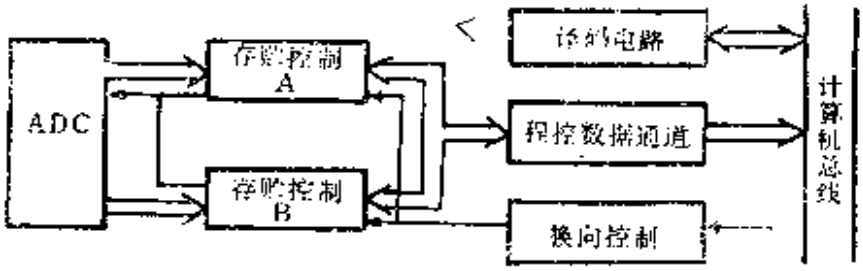


图 4—13　双存贮控制简化框图

采用了双存贮器切换工作方式，对传输速度的要求相对不高，所以采用了程序中断传送方式。其中包括实时1秒中断10秒中断和深度到位中断三个中断源。

4）通讯　计算机和数据获取接口之间的通讯，主要是采用可编程的8255并行接口片子及其相应的译码电路、软件来完成的。它可完成中断程序通过8255并行接口片子，把接口中获取的数据传送到计算机中，以及计算机向接口发出的各种控制指令。

（4）逻辑控制器　逻辑控制器由井下来的同步信号触发，完成一系列的逻辑动作，使ADC数据接口在其控制下完成非弹性散射谱和本底谱的测量任务，并将其送入相应存贮空间。

逻辑控制时序见图4—14。



图 4—14　逻辑控制时序图

四种控制信号的宽度任意可调，并可互相衔接，同时给出存贮分区信号。井下的同步信号经数千米电缆传送波形变差。逻辑控制器的信号输入端先对信号进行了处理，以便去掉干扰脉冲，然后进行放大，甄别成形，保证了同步信号不混、不丢。成型电路选用了高精度金属膜电阻和高稳定度电容，保证了成型脉冲的

精确度。

（5）MZ-88 C/O能谱测井系统中还包括三组向井下仪器提供直流的电源系统。高稳定度，低噪声的γ谱仪放大器，分析死时间小于10μs的快速ADC变换器及深度指示器。其中的深度指示器完成深度记录显示功能，并可实现超速报警，低计数报警和离井口30m报警。线路上采用了Z-80CPA、PIO、CTC作为主控单元，固化了EPRON做为TBUC程序执行程序。

3. 系统的软件（FCOR、FCOPRX）

软件包括数据获取及实时处理程序FCOR；数据回放处理及打印程序FCOPRX。这些程序可在IBMPC/XT、长城0520CH及其兼容机上执行。用于获取、显示、处理C/O能谱测井数据。FCOR软件可以完成全部测井数据的采集、实时处理，并能将处理后的能谱数据、测井曲线进行显示和存盘记录。FCOPRX软件完成数据的回放处理，包括曲线光滑、打印C/O等六条曲线及相应测井深度等原始数据和测井报告单。FCOR和FCOPRX软件分别用8088、8087宏汇编语言和FORTRAM77语言编程，运算速度快，使用方便。

（1）功能

1）数据获取 FCOR软件支持MZ8830数据获取接口获取n-n′γ，nγ谱数据，可设置C，O，Si，Ca，H，Fe等元素的能窗参数；可在测井报告单上给出井号、油田、地区、省、钻头尺寸、套管尺寸、泥浆类型及密度、井深、采样间距等资料。用户可通过设置H峰，Fe峰自动完成谱的能量刻度，求出C，O，Si，Ca等各种能窗的道址；本软件还支持测井数据按井深度自动拼接。

数据从接口到计算机采用中断方式，由于采用双存储器交替采集和传送数据，所以在中断传送数据时，不影响系统获取数据的功能。

2）数据实时处理 在系统进行C/O能谱测井数据获取时，FCOR软件可对获取的数据进行实行处理。每10cm地层求一次n-n′γ净谱，按刻度仪器时确定的本底因子扣除本底；计算非弹性

散射γ总计数N_i和C、O、Si、Ca各能窗的计数。计算nn′γ谱中的C/O、Ca/Si值和俘获谱（nγ）中的Si/Ca、Fe/(Si+Ca)H/(Si+Ca)等值，并给出N_i/N_c值。

3）数据显示　数据显示包括nn′γ、nγ谱和C/O，Si/Ca等曲线的实时显示和抽样回放显示。谱显示包括总谱IS、俘获谱CS和净非弹性散射谱N_s。用户可以随时从三个谱中抽取两个同时显示，屏幕上同时给出IS、CS或MS的标志。两个谱都有左、右光标，屏幕下方显示出光标的道址及计数，坐标刻度值等。

曲线显示包括C/O、Ca/Si、N_i/N_c、Si/Ca、及H/(Si+Ca)等。同时显示相应曲线的名称、坐标刻度、起始、终点刻度值。数据获取时，曲线纵向满量程后，曲线可在屏幕上自动滚动，不断由新数据取代老数据，在数据回放显示时，可手动使曲线在屏幕上滚动。整个数据显示有三个画面，用户可同时观察曲线和谱线，可以单独扩展观察曲线，亦可观察谱线的扩展显示。曲线显示如取10cm一个点，则屏幕上可同时显示50m井段，采用滚动方式可观察全井曲线。记录在盘上的谱和曲线可抽样回放显示。

4）数据存取　FCOR软件可以实时记录获取的谱数据和经过处理的测井数据。

FCOR软件实现两个256道（前256道与总谱数据，后256道与俘获谱数据）谱的存取，在测井过程中每20cm记录一次谱。FCOR支持最长的测量井段为200m（按每次取2张谱，共2000张谱）。所有数据均可调入内存显示或处理。

在野外测井时，程序可实时处理数据并把处理结果存盘。记录内容包括C、O、Si、Ca、Fe、N_i、N_c各能窗数据；C/O、Si/Ca、Ca/Si、N_i/N_c、Fe/(Si+Ca)、H/(Si+Ca)等曲线数据，每10cm连同井深一并存盘一次。记录在硬盘或软盘上的数据可随时调入计算机显示。

5）其它功能　除上述功能外，FCOR程序还有低计数率报警（C+O总计数低于60000脉冲/min）；手动计算刻度井C、O窗净计数及C/O值功能；对谱曲线进行三点或五点平谱处理功能

和根据磁记号中断，以进行深度校准的功能。

6）数据回放处理和打印（FCOPRX） FCOPRX软件可实现对C/O能谱测井数据的回放处理和打印。程序可对各测井曲线进行五点光滑处理，打印测井报告单（如井号、油田、地区、省、日期、测井参数及操作员、资料检验员等）。测井曲线以及

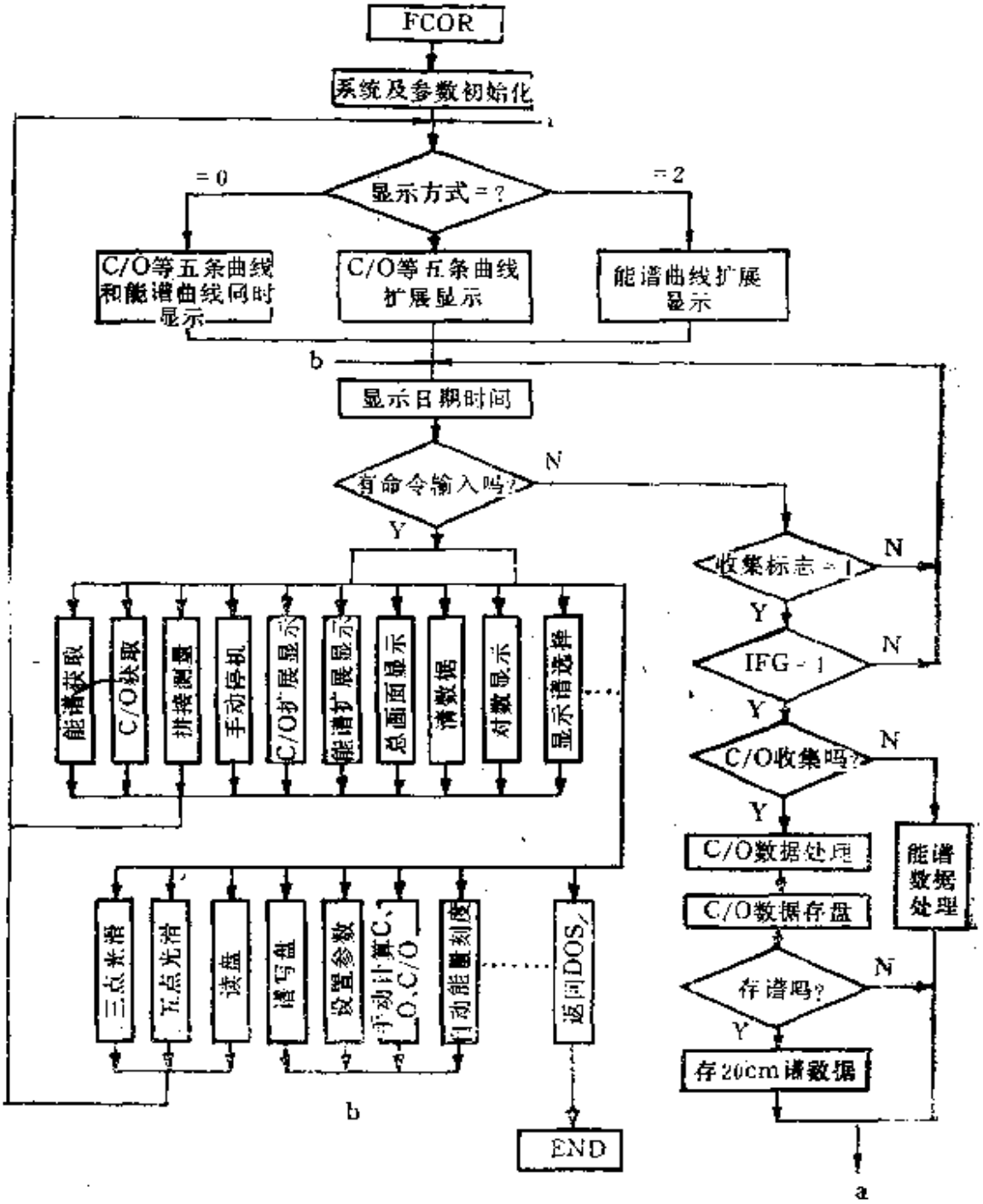


图 4—15 FCOR程序框图

测井曲线的原始数据表。

（2）程序结构与框图　FCOR和FCOPRX程序均采用树状程序结构，框图分别如图4—15、图4—16所示。

FCOPRX程序采用 FORPTRAM77 调用 8088 汇编程序模块的方法，提高了打印速度，程序采用菜单方式让用户选择功能，操作简便。

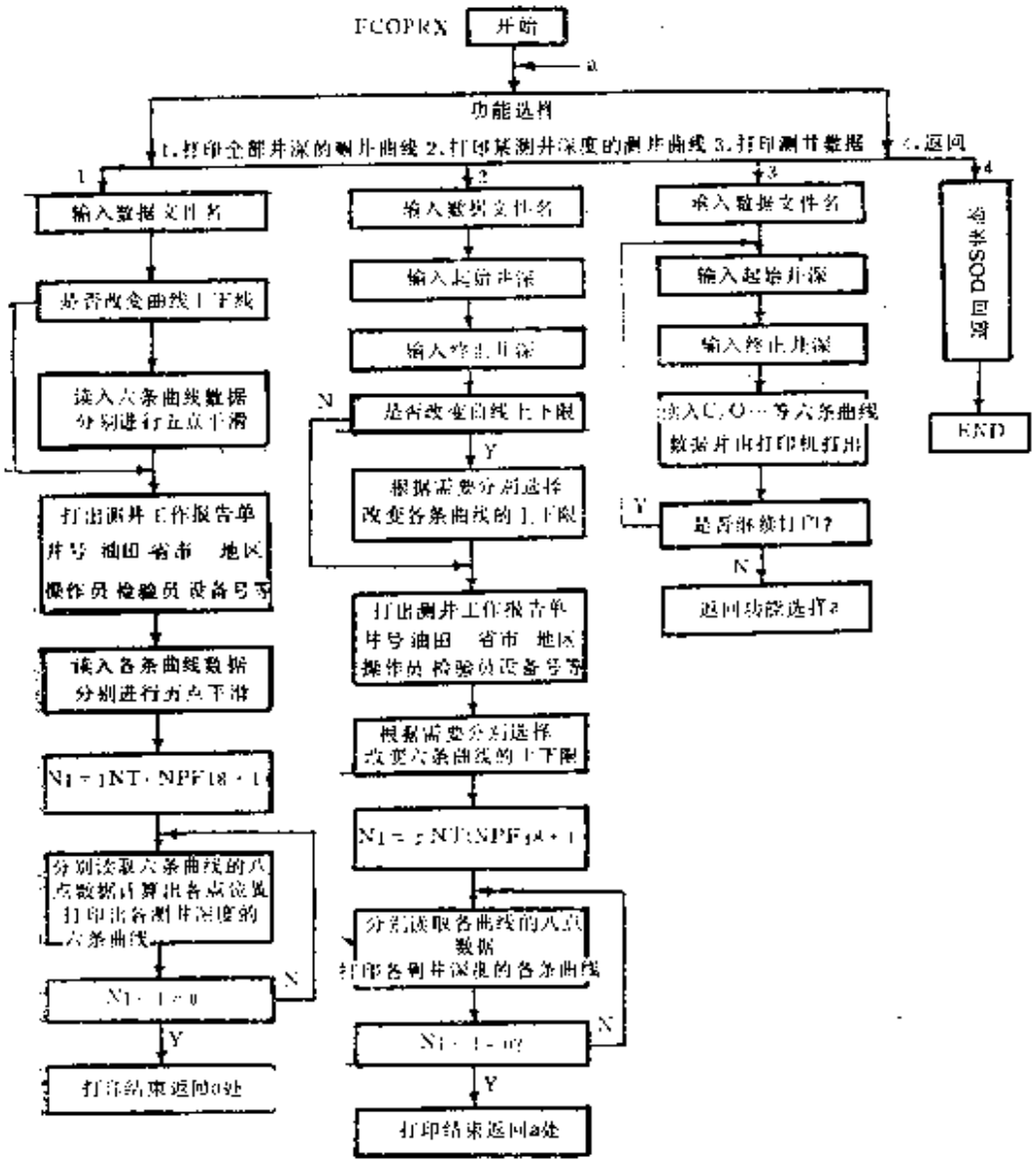


图 4—16　FCOPRX程序框图

选用的IBMPC/XT机以Intel 8087为CPU，虽然它包括了一些算术逻辑运算指令，扩大了存贮量，但缺少高级数学运算指令，为提高数据处理能力，本系统配置了Intel8087协处理器，其运算

在8个80位堆栈式数据寄存器中完成，能用硬件电路实现多种复杂的数学运算，大大扩展了指令系统。FCOR程序采用8087与8088宏汇编混合编程的方法，大大提高了本系统的数据处理速度，使其在获取数据的同时，可以实现实时处理、实时显示和实时记录存盘，并可以随时输入键盘命令。

4. 系统主要技术指标

（1）单APC 以符合/反符合方式工作，脉冲分析死时间不大于10μs；系统线性范围为0.1～8V，积分非线性≤0.1%；对随机脉冲频率响应＞20kc/s；系统稳定性：±1道/5℃，8小时稳定性≤±1道。

（2）系统的环境适应性：保存温度以计算机使用说明书为准；工作环境温度为10～30℃。

（3）适用电源：220V±10%，系统连续工作时间不少于24小时。

（4）抗震：三级路面，车速不大于40km/h，行驶200km后整机工作正常。

（5）记录：测量井段全谱记录及比值记录均可，采样间距为全谱记录20cm，比值记录10cm。

（6）显示：谱显示包括谱线名称、光标、采样深度；曲线显示井段为50m滚动方式，一次显示3条。

（7）打印：可打印测井报告单及测井曲线；曲线包括C/O、Si/Ca、N_i/N_c等六条，操作者还可以在谱线上任意开窗取值打印。

（8）本底系数由操作者根据地区地层情况设置。

（9）有谱能量刻度和校正功能及测速、深度、计数率等报警功能。

五、测前刻度和测井工艺

NP型C/O能谱测井仪在测井前首先在室内孔隙度为35%的

纯油砂和纯水砂模型井中刻度。到井场仪器下井后，正式测量前进行H、Fe峰位刻度，并存入计算机内。

地面仪器可同时打出C/O、Si/Ca、Fe/(Si+Ca)、H/(Si+Ca)、N_i/N_c等多条曲线。

C/O能谱测井的优点是：可以在已下钢套管的井中进行测量，几乎不受地层水矿化度的影响。

C/O能谱测井的弱点是：探测范围小，只有约30cm。因此，该方法在下套管后经过一段时间，让泥浆侵入带消失后再测井比较有利。由于该方法探测深度浅，因此套管尺寸，井内流体性质、水泥环等对测量结果影响较大。

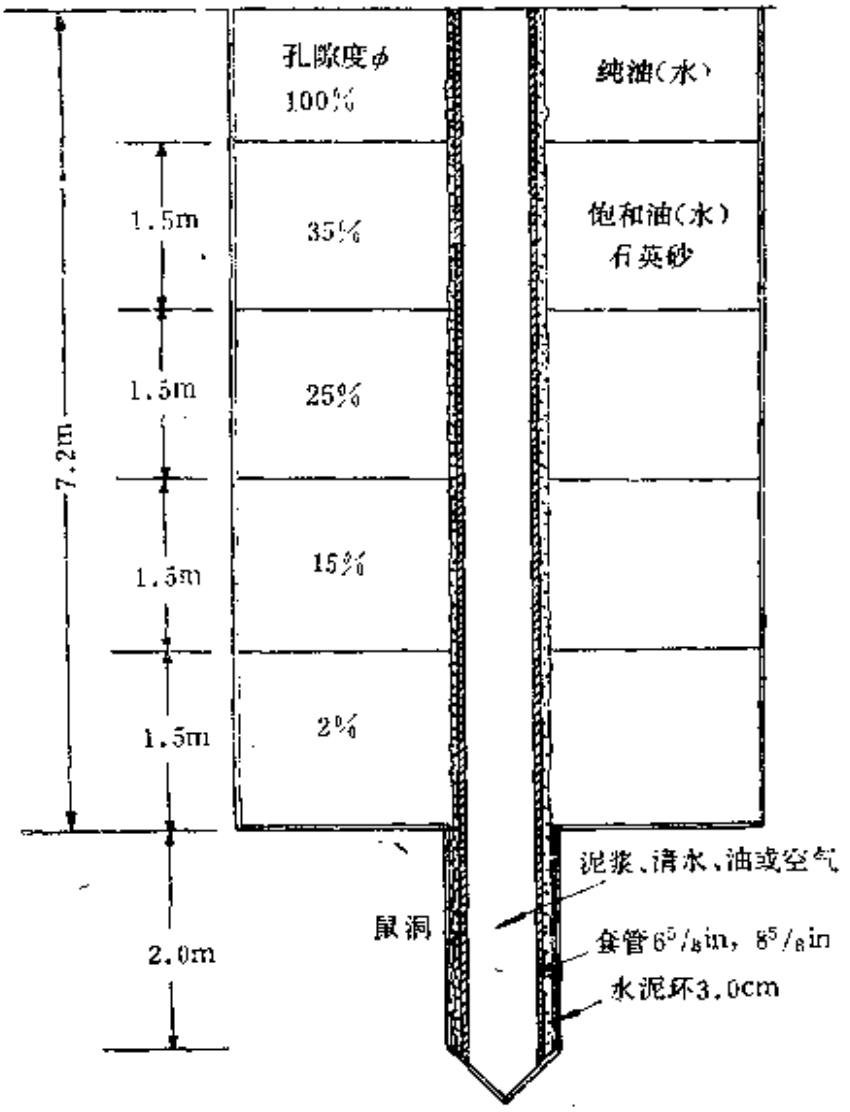


图 4—17　C/O模型井结构图

为消除或减小上述影响，可用C/O能谱标准刻度井对仪器进行刻度。测井前，先把仪器放入和待测井井眼条件相同的标准刻度井内进行刻度。刻度井也可用来观察仪器的稳定性和一致性，也可用于测井方法研究。

大庆油田共建造了十口C/O标准刻度井，共计五十一个地层。有$5^1/_2$″、$6^5/_8$″和$8^5/_8$″三种直径的钢套管；2%、15%、25%、35%和100%五种地层孔隙度；有3cm、4.5cm和6.0cm三种水泥环厚度；有25%、50%、75%、100%四种含油饱和度。地层厚度通常为1.5m，为研究薄层响应，还设置了0.4m的纯含油层。图4—17为C/O模型井结构图。

C/O能谱测井工艺较简单，由于仪器外径粗只能在套管内进行测井。在未射孔井井内介质泥浆、清水均可，但必须保证仪器起下通畅，在已射孔井测井，必须保证井内或井壁无油污，最好洗井后测井，资料较可靠，特别是高含水油井测前洗井是非常必要的。

由于C/O能谱测井测速很低，通常低于40m/h，测井时必须使用低速绞车。

六、测井实例与测井解释

C/O能谱测井曲线的解释国内常用的有两种方法：

1. 适用于大庆油田砂泥岩剖面、低含钙地层的解释公式

解释公式是应用理论推导结合标准井刻度值建立起来的。即：

$$S_o=\frac{\Delta(C/O)[m(1-\phi)-\phi]}{\phi[K+\Delta(C/O)]} \qquad (4-1)$$

式中 S_o——含油饱和度；

ϕ——孔隙度（用其它测井方法获得）；

$\Delta(C/O)$——为(C/O)测量值与(C/O)纯水层值之差；

m——与地层矿物成分有关的系数，大庆油田$m=$

1.452；

K——仪器常数，与仪器尺寸、井眼条件等有关，它由标准刻度井测量值获得。

$$K=\frac{\Delta_0(C/O)\cdot m_0(1-\phi_0)}{\phi_0}$$

式中 $\Delta_0(C/O)$——与待测井井眼条件相同的标准刻度井中纯油层与纯水层的C/O差值；

m_0——考虑了标准刻度井由纯石英砂构成的系数，$m=1.589$；

ϕ_0——标准刻度井中地层孔隙度，$\phi_0=35\%$。

2. 胜利油田的“多功能C/O测井解释系统”

该解释系统应用了德莱塞阿特拉斯公司的解释模型，调整了系数后得到以下经验公式：

$$S_0=\frac{C/O+0.8Si/Ca-L_w}{\Delta(C/O)} \qquad (4-2)$$

式中 L_w——Si/Ca为零时水线在C/O轴上的截距，可根据该地区水层的C/O能谱测井数据获得；

$\Delta(C/O)$——纯油层与纯水层C/O差值。

这种解释方法适用于岩性比较复杂的地层。图4—18是胜利油田孤东观1井应用胜利油田“多功能C/O解释系统”处理C/O测井成果图。该井应用了大庆NP-5型C/O能谱测井井下仪器和引进美国德莱塞阿特拉斯2721井下仪器同时测井。

3. 定性直观解释方法

在上述两种定量解释方法运用之前，都可采用C/O和Si/Ca反向复盖方法，定性判断地层含油水状况。先将Si/Ca反向，再让它在明显的泥岩层段与C/O曲线重叠，凡C/O曲线与反向Si/Ca曲线有包络的层段，就是含油层位。原则上包围面积越大，地层含油越多。但也并不意味着含油饱和度S_0高，因为还受孔隙度ϕ的控制。这种定性快速判断的优点除直观明了外，还消除或减小了地层含钙的影响。

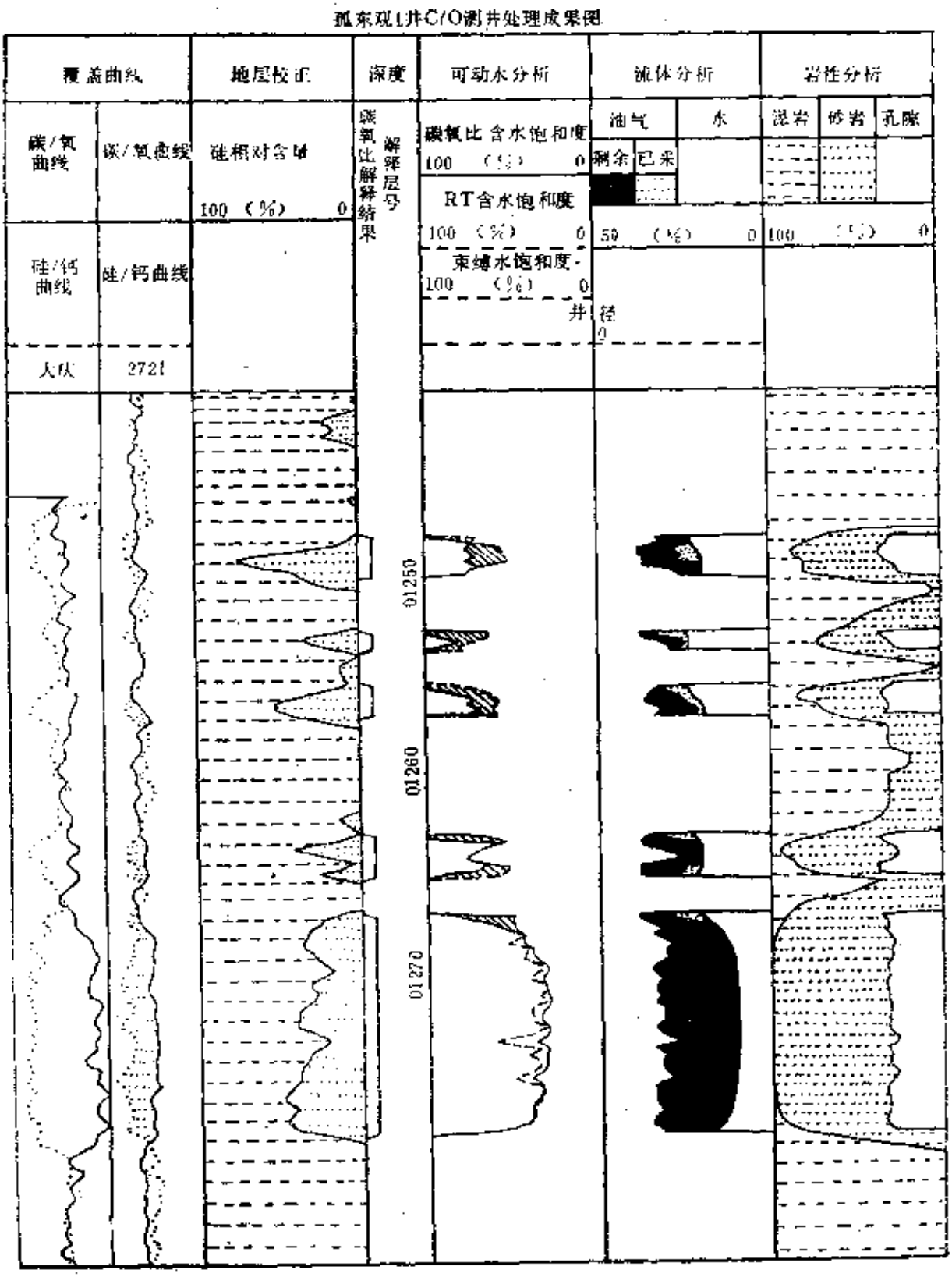


图 4—18 胜利孤东观1井C/O测井处理成果图

第五章　生产测井地面仪器

本章主要介绍我国生产的生产测井专用地面仪器SD-81和SD-2两种仪器的基本原理和主要技术性能及操作方法。

一、SD-81生产测井地面仪器

（一）仪器用途

SD-81生产测井地面仪器是生产测井专用仪器。它配合各种生产测井井下仪器，可以进行点测和连续测量两种方式的自动记录。点测方式可以自动打印测点深度和各种井下流体参数；连续测井采用明记录方式，可同时记录四条不同参数的曲线。仪器的主要用途如下：

（1）点测方式进行产液剖面测井时，可以记录以下数据

1）合层产液量；

2）合层持水率；

3）井下流体参数转换成频率模拟量后都可以记录（如温度压力等）。

（2）连续测井曲线记录系统适用于各种连续测井

1）不附加专用测井面板，可直接与直流模拟量输出的井下仪器配合进行以下测井：

①　电阻率测井；

②　井温测井；

③　井径测井；

④　接箍测井。

2）配合专用面板可进行以下测井

①磁测井；

②放射性测井；

3）声波测井。

（二）整机技术指标

（1）仪器可在温度10～40℃环境下正常工作。

（2）仪器车可在车外环境温度－30～＋40℃条件下，保证车内温度为20℃±5℃。

（3）连续测井记录系统

1）记录纸有效宽度20cm；

2）记录道数为四道；

3）有时标记号，（也可用手打记号）及深度记号辅助笔各一支，时标记号每分钟三个；

4）测程范围（微调衰减器在零值时）见表5—1。

表 5—1 SD-87型生产测井地面仪测量范围

测程	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
电压常数 mV/cm	0.5	1	2.5	5	10	25	50	100	250	500
满量程	10mV	20mV	50mV	100mV	200mV	500mV	1V	2V	5V	10V
输入阻抗	5K	10K	25K	50K	100K	250K	500K	1M	2.5M	5M

5）微调衰减器可在各挡满量程进行微调衰减。

6）深度比例挡数为1/500，1/200，1/50，1/20四档，各档走纸误差1%。

7）校验电阻有0.01，0.02，0.05，0.1，0.2，0.5，1，2，5，10，20Ω共11挡。

8）AB供电

①直流：稳压＞90V，100mA，

不稳压95V，300mA；

②交流（方波）：频率可调范围12～42Hz

稳压 100V，100mA

不稳压 300V，200V，300mA，连续工作不大于 2h。

③激发电位供电（正或负半周方波）

300V，200V，600mA（电流表指示×2），连续工作时间不大于2h。

9）刻度补偿器二道，每道输出电压0.5～499.5mV；（当电流指示5mA时），误差±1%，零位电压<0.2mV。

10）各道入口并联电容为0，1，2，3，4，5，6，7，10，13，15，20，25μF共十一挡。

11）交直流变换器一道。

12）交流滤波电容为5，10，15，20，30，50，70，100，120，150，200μF共11挡。

13）高阻扼流圈2只，每只电感量＞100H直流电阻为3kΩ。

14）记录笔零点定位，在满量程内可以任意调节。

15）有自动倒纸装置。

16）工作电源：220V，50Hz，可调范围±10%，消耗功率300VA。

（4）点测记录系统

1）测量范围：0～99999五位数字。

①涡轮计数道：0.5Hz～100Hz，±1个数；

②持水率计数道：100Hz～100kHz，±1个数。

2）闸门时间：1s，10s，60s三种。

3）机内晶体振荡器性能：振荡频率为1MHz，频率稳定度（预热半小时）：

①当环境温度在－40～＋70℃内变化时，$<5\times10^{-6}/d$；

②在车内温度（20℃±5℃）时$<1\times10^{-6}/d$。

4）输入波形：正弦，脉冲，三角波。

5）输入幅度

①涡轮测量道：当$f=0.5$Hz时，不<5mV；

②持水率测量道：幅度不小于1V。

6）K值运算范围：1～999可任意预置。

7）数值显示范围：1～99999可任意预置。

8）可逆计数：手动控制“＋”、“－”键。

9）操作方式：手动、自动或打印回答指令。

10）显示时间：手动调节时间最长10s或“∞”。

11）编码输出：8421码，0～99999五位。

12）打印位数及字符：12位，每位16个符号：0，1，2，3，4，5，6，7，8，9，－，＋，C，mV，V。

13）最高打印速度：10行/s。

14）行距、位距及纸宽：行距约4.5mm，位距为4mm，纸宽70mm。

（5）深度面板

1）显示深度范围：0～9999.9m。

2）编码输出：8421码

3）误差：±0.1m

4）深度预置：0～9999.9m任意

5）清零方式：手动

6）深度控制方式：自动加减

（6）辅助电源

1）找水仪用电源

①50Hz半波：电压200～400V，最大电流1A，不稳压

②直流不稳压：电压158～438V，最大电流1A。

③交流不稳压：电压158～438V，最大电流3A。

2）20～300V稳压电源，最大电流500mA，工作方式为恒流、恒压两种。

（7）仪器外形尺寸　高1600mm×宽1150mm×厚600mm。（JJZ4-1型四笔记录仪在仪器左边的工作台上）。

（8）仪器总功耗＜1kW。

（三）仪器电路结构和工作原理

1．整机电路原理

整机电路原理方框图见图5—1。

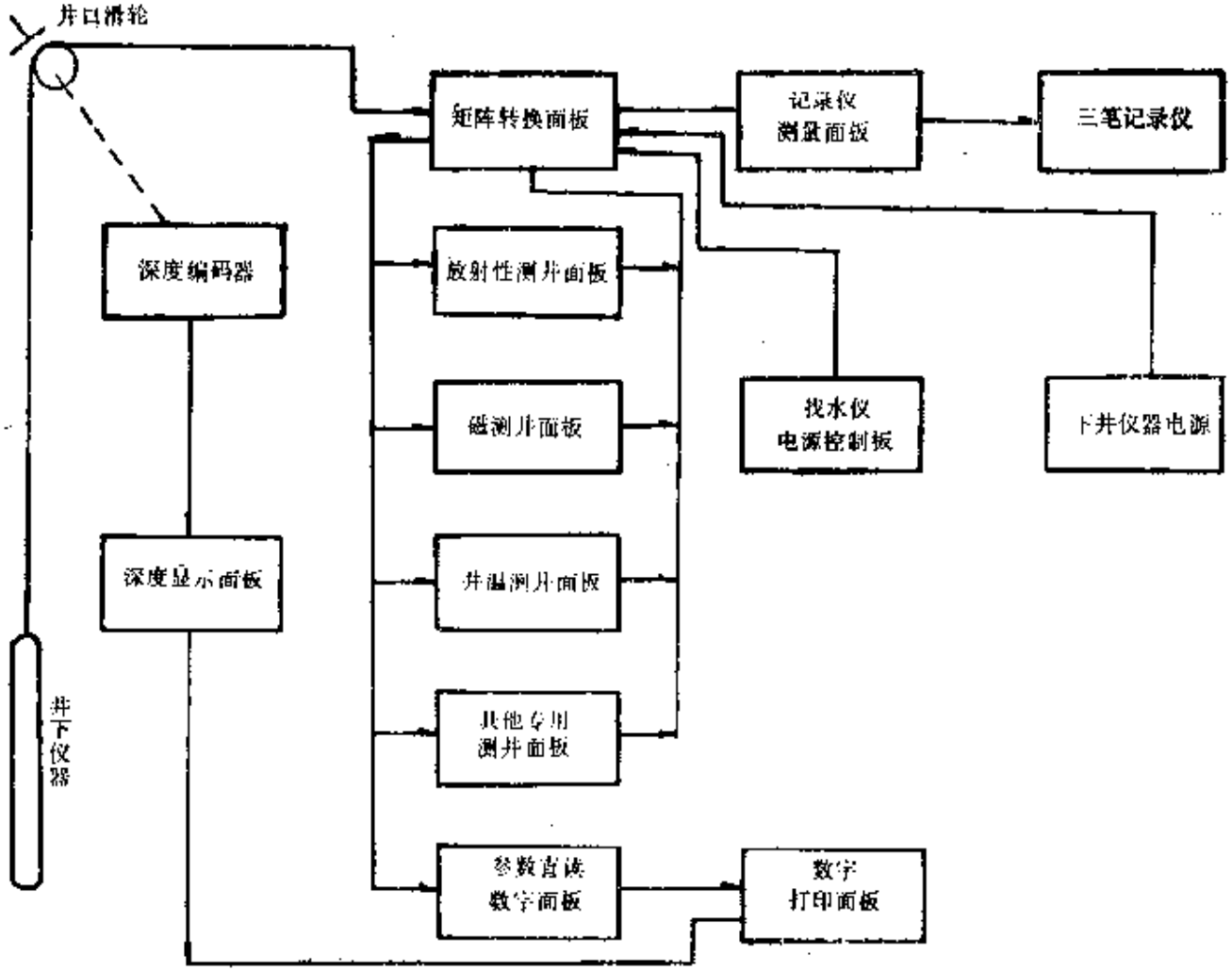


图 5—1　SD-81电路原理方框图

2. 连续测井曲线记录系流工作原理

SD-81采用自动平衡原理进行显示记录，输入阻抗较同类型仪器大大提高，使外线路电阻（接地电阻）变化较大时，也能较真实地反映所测曲线幅度，减少测量误差。记录仪主要分测量、供电和记录纸传动系统三部分组成。其工作原理方框图见图5—2。

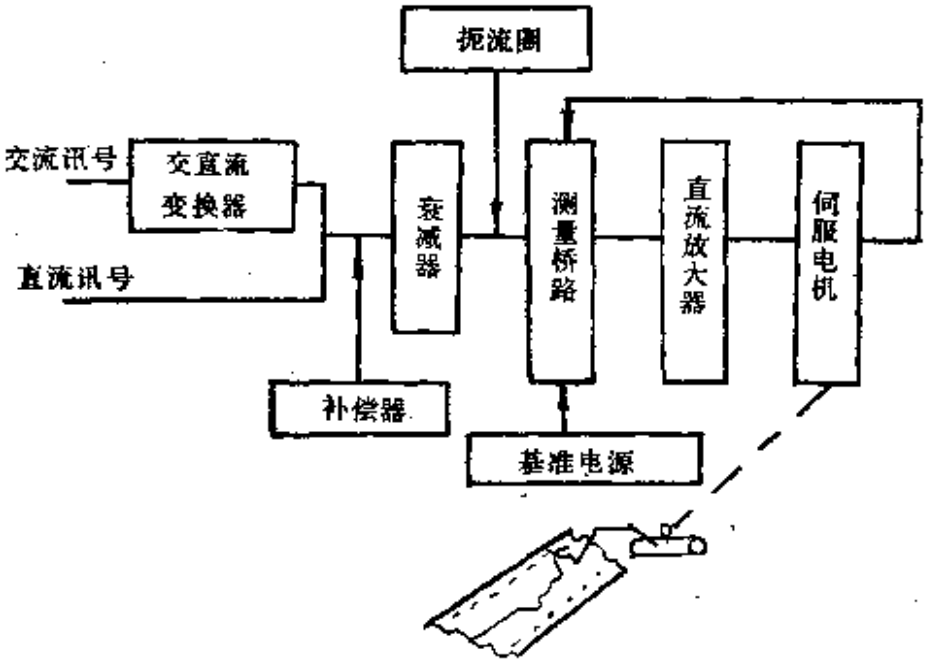


图 5—2 记录仪工作原理方框图

（1）测量电路 测量电路由桥式电位差计线路组成，见图5—3。电位器R_{W3}的滑动触点用伺服电动机带动。

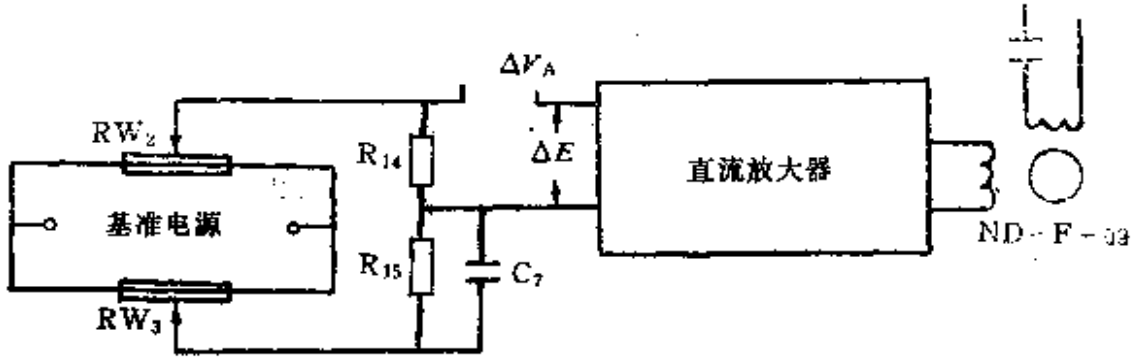


图 5—3 电子电位差计工作原理图

测量电位器R_{W2}和测量电位器R_{W3}组成的桥路由一稳定的基准电源（6V）供电。电源线路如图5—4。

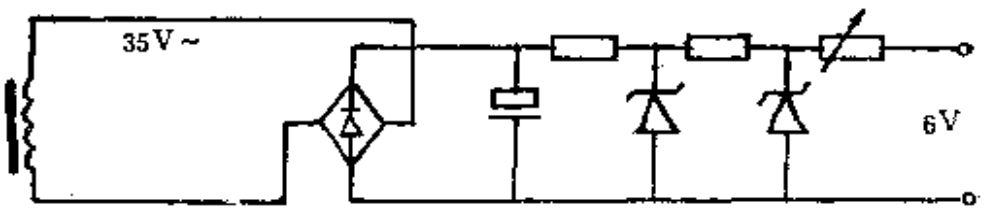


图 5—4 基准电源原理电路图

被测信号电压与桥路对角线上的电压相比较后，产生偏差电压ΔE送入放大器，从而由电动机带动R_{W3}上的滑动触点，使桥路趋向平衡，于是R_{W3}和R_{W2}对角线上的电压即为外界的被测电压。显然仪器的精度除了决定于基准电源电压稳定度和放大器的灵敏度外，还取决于测量电位器的线性度。本仪器采用带轴承的多圈螺旋式电位器WXS-11型，其线性度为±0.2%。

相敏放大器是一个独立的单元，型号为JF-32C，线路原理如图5—5所示。

测量输入线路包括测量衰减器，刻度补偿器，高阻扼流圈。

测程衰减器共三道，每道都由11个金属膜电阻和一个47K电位器及一个单元十一掷开关组成。其电路如图5—6所示。

测井时横向比例由$N=K\frac{R_0}{L}$式求出，如需改变L值，可以通过改变R_{W1}进行微调。但在校验时，R_{W1}必须调到零位。

刻度补偿器有二道，每道由三个单刀十掷开关和27个线绕电阻接成电位差输出的线路。如图5—7所示。电阻的精度为0.5%级。S_6为电位换向开关。表头0～10mA为2.5级，5mA（红线指示）1%级。RW_6为电流调节电阻。

高阻扼流圈有二个，以0.08mm的高强度漆包线绕在截面为10×12.5mm²的坡莫合金片芯上，外壳有二层屏蔽。扼流圈的直流电阻约3kΩ，电感大于100H。

刻度补偿器串在输入线N端，高阻扼流圈串在输入线M端，都由转换开关接入。

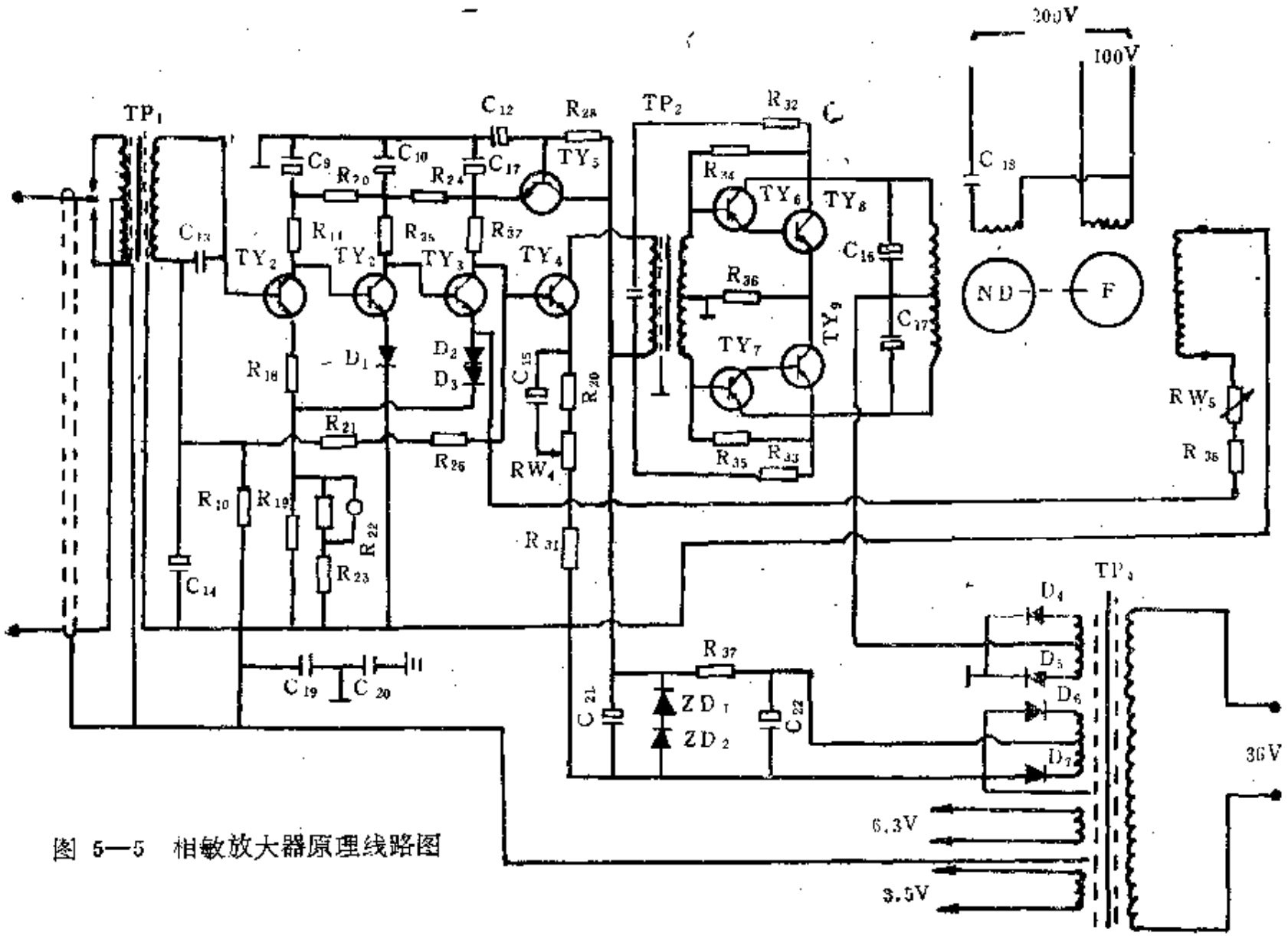


图 5—5　相敏放大器原理线路图

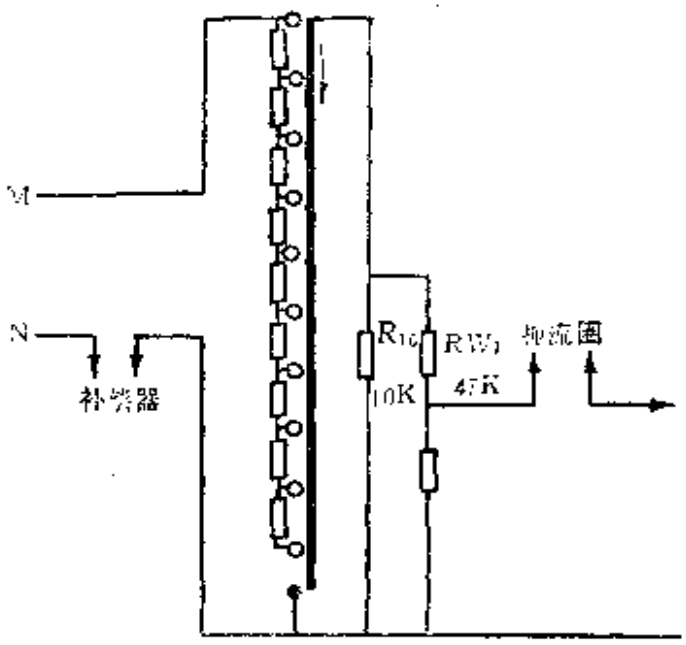


图 5—6　测程衰减器电路图

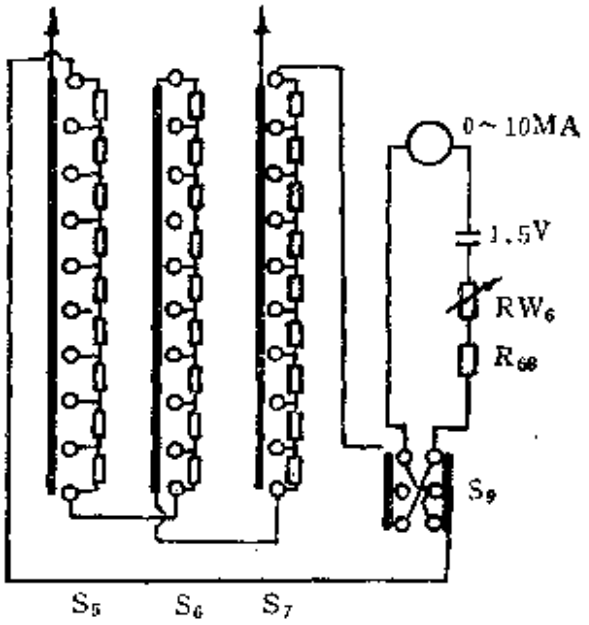


图 5—7　刻度补偿器电路图

(2) 供电电路　仪器电源由220V工业电供电，经变压 后，分别送入各道线路。其中一部分经过整流器和稳压器后，得到平滑的直流电，由供电面板A、B端输出，作为下井直流供电 的 电源。

将直流电再经过逆变器变成方形波的交流电，由A、B 端 输

出，作为下井交流供电的电源。

在交流供电电路中，串一个二极管，用换向开关输出正或负的半周方形波，是供作激发电位法用的半波电源。

供电电路方框图如图5—8所示。

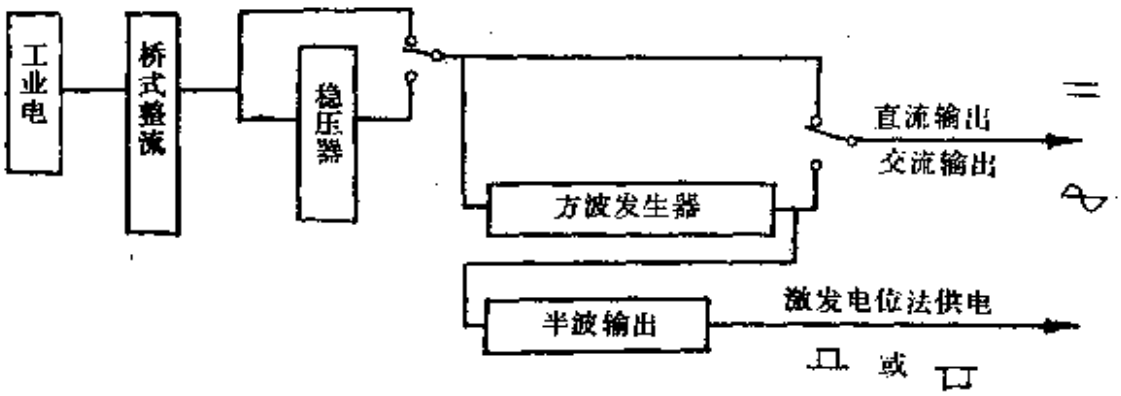


图 5—8 供电电路方框图

（3）记录纸传动系统 记录纸传动动力用二组电动机驱动。当测井记录时，由井口滑轮上的BD501型自整角机复送带动控制箱中的BS-501型自整角机通过连接轴接变速箱进行摺纸，深度比由电磁离合器进行控制，深度比有1/20，1/50，1/200和1/500四种。当调试仪器不用井口滑轮同步驱动时，在记录仪中有ZYW_2永磁直流电机，由涡轮涡杆，单弹簧离合器带动变速摺纸系统。这两种电机的选用由记录仪上的一个“测量—走纸”开关控制。

走纸系统还设有倒纸机构。将离合滑块（在记录仪前面左边）向外拉出即可倒纸。

3. 点测参数直读数字记录系统工作原理

参数直读数字面板是为产液量和持水率两个参数设计的。也可以适用于其它记录以频率量传输的参数。

（1）参数直读数字面板 参数直读数字面板原理方框图见图5—9。

整个电路由三部分组成：

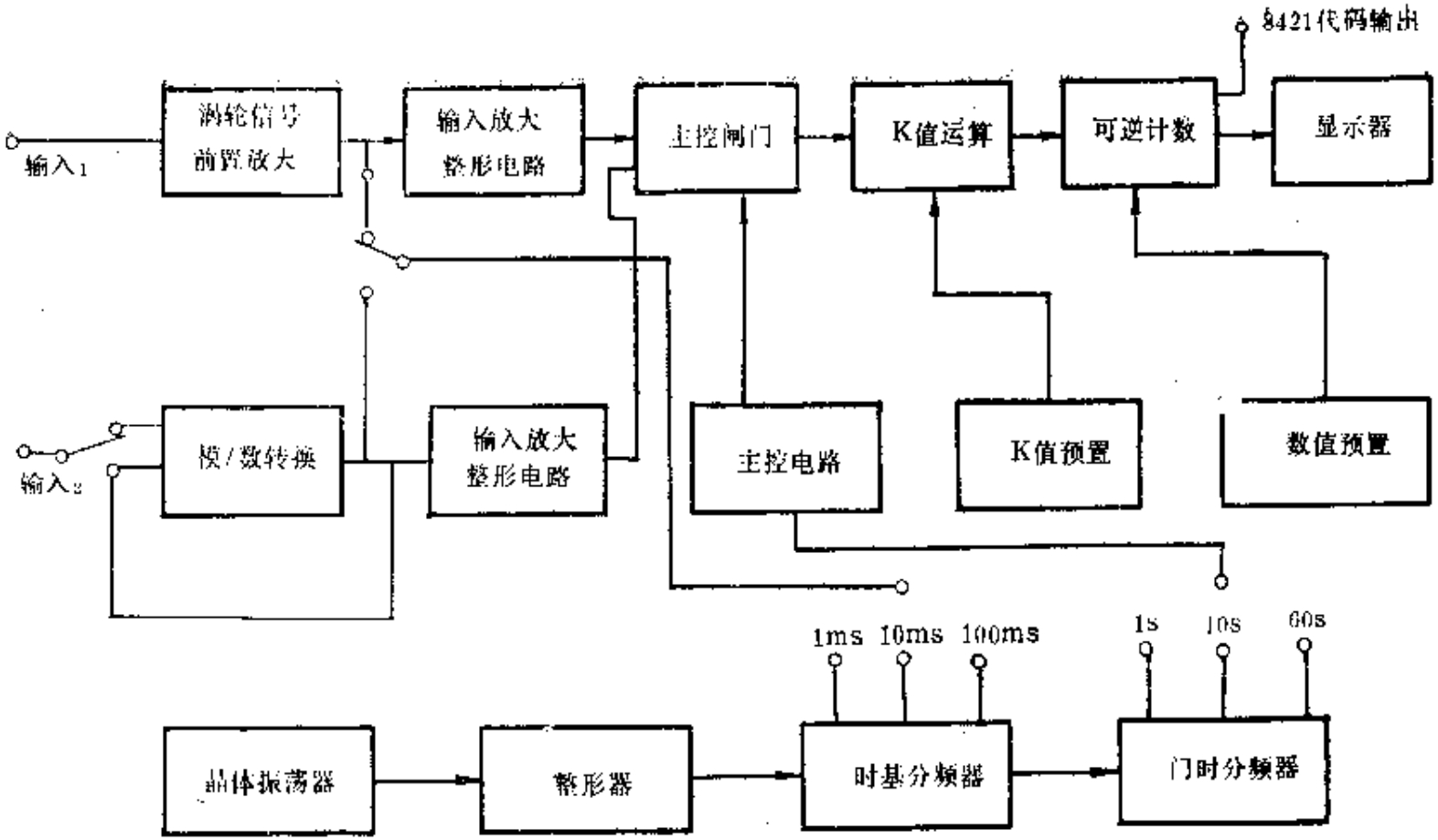


图 5—9 参数直读数字面板原理方框图

1）前置放大器和整形电路；

2）主控电路；

3）K值运算和计数电路。

后两部分电路公用。输入信号经涡轮前置放大器和放大整形或另一道持水率前置放大整形后输到主控闸门，形成的脉冲宽度为0.5μs。控制闸门的门时信号由晶振（1MHz）分频产生1s，10s，60s的门时信号，经与非门选择后加到主控闸门。整机的采样过程由主控电路控制。在主控闸门开放的时间内，计数器则通过主控闸门的信号进行计数，并显示出测量结果。信号进入计数电路之前，可以根据需要进行K值（1～999）运算。计数信号具有可逆计数功能和数值予置功能，显示的数据以8421码传输到数字打印面板，并给出打印指令。

（2）深度数字显示面板　点测参数数字记录，需要同时打印出测点深度，为实现深度数据自动打印记录的目地，SD-81设计了深度数字显示面板。该面板由深度编码器和深度显示电路两部分组成。整个电路的工作原理见方框图5—10。

由井口电机上的编码盘产生两行光脉冲信号，照射到两个光敏三极管上，并转换成电脉冲。这两行脉冲波相位差90°。A道脉冲经放大整形加到上提下放鉴别器，B道脉冲经放大整形后再延时，加到上提下放鉴别器，鉴别器根据A、B脉冲的相位关系输出上提或下放电平，加到可逆计数器的加减逻辑电路，控制计数器加或减。B道延时后的计数脉冲经二分频到五位可逆计数器计数。在测点位置，测井深度就显示出来了。

通过深度预置拨盘，可将经过电缆深度记号拨正的深度置入计数器，以校正井下仪器深度。点测深度数据以8421代码输出给打印机打印记录。

（3）数字打印面板　数字打印面板由上海电表厂生产的LY_4型数字打印机改装。有关LY_4型数字打印机性能可参考该机使用说明书

打印机可以接受由参数直读数字面板来的打印指令打印。记

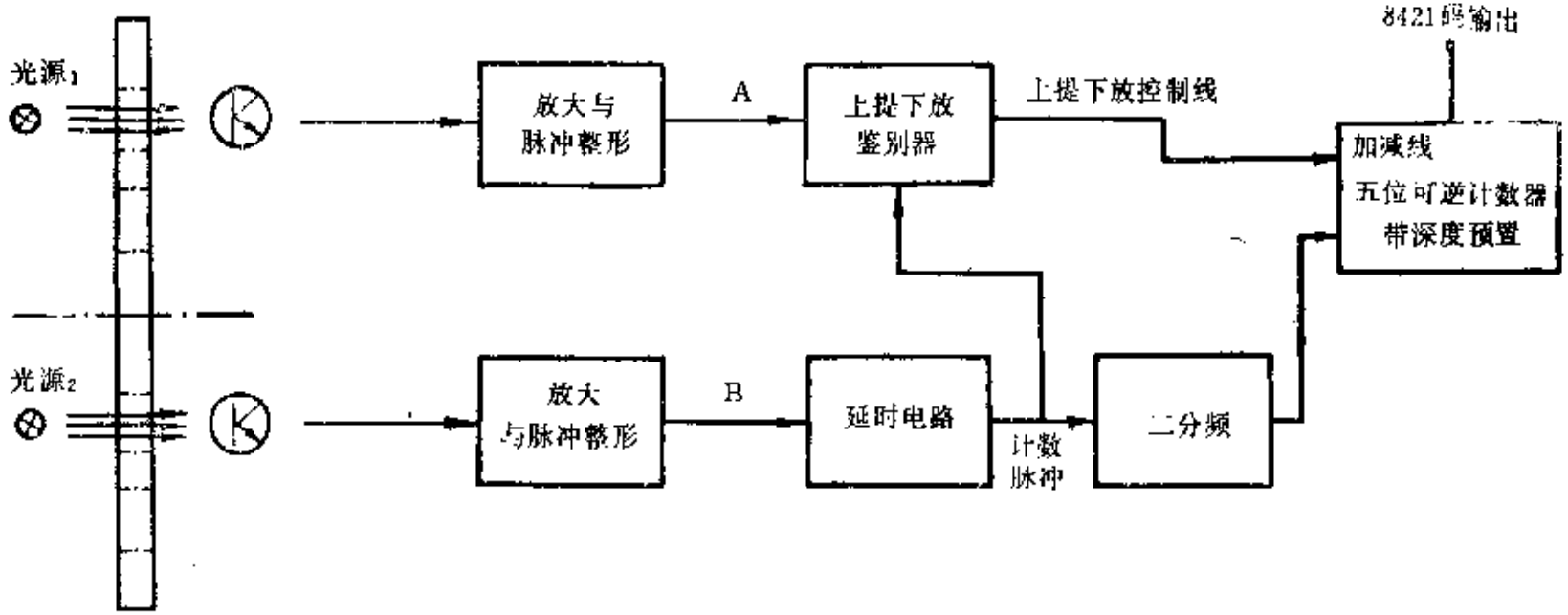


图 5—10　深度数字显示面板方框图

录的格式见图5—11。

1 2 3 4 5 6	7	8 9 10 11 12	位数
1024.3	—	00193	
1024.3	—	00192	
1024.3	—	01054	
1024.3	—	01054	

图 5—11 数字打印的记录格式

打印记录纸上的前6位代表测井深度，单位是m；后5位代表测量参数值（产液量，m^3/d）或持水率的频率数。中间用“—”符号分开。

（4）矩阵换接面板 为了便于电缆和面板输入和供电的连接，各面板输出与四笔记录仪连接采用了两块矩阵接插板。行列是8×16。入口与电缆缆芯连接，出口连接四笔记录仪各测量道。入口设有继电器控制“工作”和“安全”位置。“工作”位置仪器入口与电缆接通。“安全”位置电缆缆芯接地，仪器入口电路开路。供电通道设有继电保护。

（5）直流稳压电源 输出电压20～300V，输出电流0～500mA，可以恒压输出，也可以恒流输出。电压20～300V连续可调；面板上有三个控制旋扭：恒压恒流控制、电压粗调和电压细调，操作方便可靠。

（6）集流型找水仪泵、阀供电面板 该面板上设有集流型找水仪使用的各种供电电源，其中泵电源采用半波交流电，电压从158～438V，间隔为70V。电流最大1A（有效值）。阀供电电压是直流240～400V，电流最大1A。取样继电器供电电压为直流240～400V，最大电流3A。

（四）仪器调校与测量操作方法

1. 连续测井曲线记录的仪器的调节与操作方法

（1）测量前的准备

1）连接好仪器车外部的所有联结线，包括：

总电源线，接220V交流电源；

仪器车到绞车滑环的七芯线；

仪器车到井口马达的十二芯线；

仪器车到井口的深度码信号线；

仪器车到绞车电缆记号线；

仪器车到绞车的通话线；

井下仪器插上电缆插头。

2）安装记录纸　首先在记录纸两端装上支承端盖，打开走纸机构顶盖，将装有支承端盖的记录纸按图5—12所示方向倾斜地套在右支承轴上，并在记录纸的轴向加力，使右支承轴向右压缩，然后将记录纸放平，慢慢地把记录纸的左支承轴孔套在左支承轴上，并把记录纸按图示方向引出。

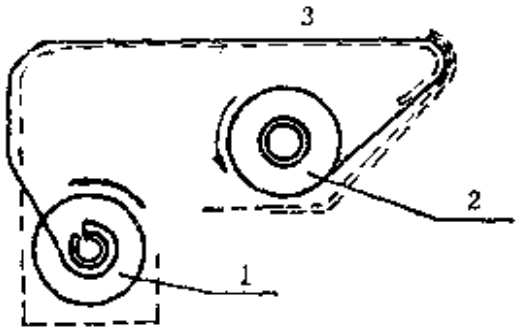


图 5—12　安装记录纸示意图

1—收纸筒；2—记录纸卷；3—记录纸

把收纸筒取下，将引出的记录纸插入收纸筒的槽内，并捲上二至三圈。但必须很小心，不能靠在一边，然后按以上同样方法装上。不同之处是收纸筒的右支承孔带有凹槽，必须与带有凸块的支承轴相啮合。起带动收纸筒旋转收纸的作用。安装时必须注意啮合良好。

灌注记录笔墨水。为了保持导轨的清洁，要求把记录笔取下在外边灌注。在装记录笔时，必须对准孔位，旋紧六角螺帽，这样就能保证记录笔的上下活动灵活，又不左右偏摆，标记笔墨水灌注的方法与上述相同。

（2）直流测量时的调整和操作

1）插上选定记录道的放大器（注意放大器与地绝缘良好），记

录台上“深度比例”开关放在“0”档，“走纸-测井”开关搬到“走”位置，供电面板上电压选择开关拨到直流电压90V，电流选择开关拨到直流0.1A三个细调和一个粗调开关都向逆时针方向旋转到底，AB供电开关推向校验位置，校验接线柱与控制面板上选定的记录道MN用联线接通。“测量”开关搬到“短路”。

2）打开电源开关，调整记录笔的零点位置，如记录笔有抖动现象，试将放大器灵敏度调低一些，然后把“深度比例”开关搬到1/500位置，短路开关推向测量，按下抬笔架，调节电流粗调旋扭，输入校验信号，观察记录笔左右运动情况是否灵活平滑，有无卡轧或抖动现象，放大器的灵敏度、阻尼度是否符合要求，以及笔尖出水情况等。若记录笔有卡轧现象，可从机械传动部分找原因，如因干扰引起抖动现象，可调节入口滤波电容消除。

3）仪器调整后，确定供电电流及测程衰减挡，将“校验”开关搬到“AB”，拆下校验联线，接上电缆，并将“走纸”开关拨向“测井”位置，即可进行电缆下井试测，以观察被测信号幅度是否超过量程或衰减过大，从而进行调整测程档和横向比例。

在试测过程中，也可将抬笔架抬起，“深度比例”搬到“0”档，以节省记录纸。

试测满意后，即可进行正式记录。

（3）交流测量时的调整和操作　在直流调整的基础上，进行以下步骤：

1）将供电面板上的电压和电流选择开关都选择在交流档上，但注意电压选择开关必须在接通电源以后再从“0”拨到选定的位置。

2）被测讯号先接到变换器的输入端，再从其输出端接到控制面板上MN接线柱。

3）输入信号选择开关搬到中间位置。

4）频率调节开关搬到较高档数。

5）滤波电容开关拨在中间某一档位置。

6）控制面板上MN入口滤波电容可以改变记录笔的阻尼度

和消除抖动现象，调到最佳状态为止。如记录笔有缓慢的左右扭动。可改变频率消除之。

2. 点测参数直读数字记录的调节和操作方法

（1）深度系统

1）接通电源开关，深度显示的数字管亮。

2）下井仪器下入防喷管，按“置零”按键，显示0000.0m。

3）仪器下井过程中，注意深度显示是否增加。

4）仪器下过工作筒前，注意记录仪上的电缆记号，找到预定的记号后停止下电缆。

5）根据电缆深度记号和总零长计算出仪器深度。

6）将深度面板上的深度预置发盘放到仪器的深度值，按“置位”按键，深度显示出仪器深度，深度校正完成，然后将仪器下到目地层。

（2）点测参数直读数字打印系统

1）测量前的准备

①地面仪器总电源接通后，可先将电源开关接通，再做井场准备工作。连续通电半小时以后，晶体振荡器可以达到高稳定度

②进行自校

按下按键：“刻度”、“加线”、“产量”或“含水”、“闸门时间”（1s，10s，60s选择），时标（1ms，10ms，100ms）。

K值拨盘拨到1的位置，预置数拨到0的位置，按“置K”键和按“置数”键，显示时间调到长短合适。仪器将显示表5—2所

表 5—2

时标	门时		
	1s	10s	60s
1ms	01000	10000	60000
10ms	00100	01000	06000
100ms	00010	00100	00600

列数值

③打印机装纸　如打印机内存有一段旧纸，换纸时可参考原装纸路线进行换打印纸。如打印机已无旧纸，装新纸时必须拉开抽斗式的机械部分。机械部分示意图见图5—13。装纸方法如下：用手指向上按装在把手下面的按板，同时，向外拉把手，即能将本仪器机械部分取出。将记录纸的一端剪成三角形，用手将纸沿着压板的下面穿过导电杆引向橡皮轮与滚轮之间，然后用另一手旋橡皮轮一端的旋扭，使纸沿着平面经过色带下面，穿出窗

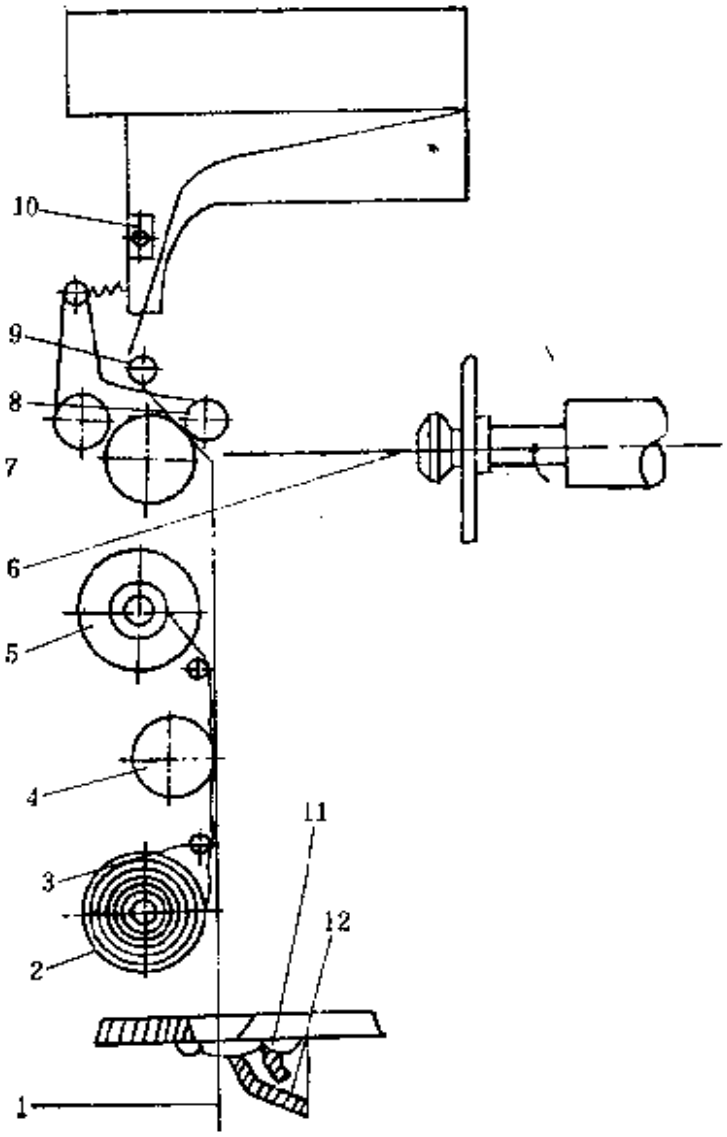


图 5—13　打印机机械部分示意图

1—打印纸；2—色带；3—压带轴；4—字码轮；5—色带盘；6—旋钮；7—橡胶轮；8—滚轮；9—导电杆；10—压板；11—按板；12—把手

口，最后将记录纸垂直插入贮纸箱内。将机械部分插入仪器内，在未全部推入前稍用力即能自动锁上，即与仪器部分联结好。

仪器在记录纸用完之后能自动停止打印，不要误认为是机器故障，重新装上纸后即能恢复正常工作。

2）测量产量和含水率

测量产量操作

①仪器到达预定测点深度后，接通泵电源开关3～4分钟，电流值约0.6A。

②按下“工作”键，闸门时间“10s”键和“产量”键，K值预置放到“1”；“显示时间”调到适当位置；数值予置放在“0”。

③数字管自动显示出涡轮转速，用它来观察集流器是否密封，然后再用泵打一分钟，若转速不再增加，说明集流器已密封。

④将K值预置到涡轮规定值，时间闸门放到60s，接通打印机电源。

⑤此时仪器将自动显示和打印该测点产量，并同时打出测点深度，按操作规程重复记录三个以上数据后关掉打印机。

测量持水率操作

①按下“含水”按键，闸门时间改为“1s”，K值预置为1，数值预置为0。

②取样“起动”和“保持”开关放在“起动”位置，接通取样继电器电源，立即将“起动”位置转到“保持”位置，15秒后关断取样开关。

③将显示时间调到5秒显示一次，关断取样开关后，观察面板显示的频率数值是否正常，可以重复取样2～3次，观察重复性。

④接通打印机电源开关，打印机将每5秒自动打印面板显示的频率值，连续打印12次之后将闸门时间改为“10s”，此时打印机每隔20秒打印一次，连续记录15～20分钟。

⑤阀“起动”和保持开关搬到“起动”位置，接通阀开关，然后立即将阀“起动”转向“保持”位置，注意观察涡轮转动，若涡轮已停止，说明集流器已不集流，仪器可以下到下一个测量点位置。

含水测量道也可以测量其它以频率方式传输的参数，例如温度、压力等。详细步骤见仪器说明书或操作规程。

二、SD-2微机数字测井系统

SD-2 微机数字测井系统是大庆石油管理局生产测井研究所与上海地质仪器厂共同研制的，我国生产测井专用的第二代地面仪器。

SD-2微机数字测井系统是在原 SD-81 生产测井仪器的基础上改进成功的。系统保留了原 SD-81 辅助测井面板如电源、示波器、深度系统和矩阵接线面板情况下，实现一般常用的生产测井井下仪器的数据采集、处理、显示和实时打印。

（一）系统主要用途

该系统可以完成油水井动态测井、工程测井及其它测井等多种生产测井项目。详细情况见表5—3。

SD-2微机数字测井系统可以完成的生产测井项目还可以扩展，只要信号的传输形式相同，适当修改软件就可以配接。

表 5—3　SD-2可完成的测井项目、内容及用途表

分类		测井项目	主要内容	主要用途
动态测井	水井	水井连续流量计	流量曲线、测速、电缆深度记号	分层注入量
		同位素测吸水剖面	自然伽马基线、同位素曲线、接箍、电缆记号	分层配注条件下分层注入量

续表

分类		测井项目	主要内容	主要用途
动态测井	测井	73型找水仪系列环空找水仪	点测流量、含水率	分层产量、含水率
		三相低能源含水率/密度计	点测产量、含水率密度	分层产量、含水率、含气率
		连续流量计	流量曲线、测速电缆记号	分层流量
		压差式密度计	密度曲线电缆记号	密度剖面、综合解释用
		环空压力计	流压曲线、密度曲线、电缆记号	流压、密度剖面
		井温仪	井温曲线、微差井温、电缆记号	定性解释和温度参数
		含水率计	持水率曲线电缆记号	持水率剖面综合解释
工程测井	井径系列	微井径仪	平均套管内径曲线电缆记号	接箍位置套管平均内径
		x-y井径仪	x-y方向二条井径曲线	套管变形和内径接箍位置
		二臂过油管井径仪	井径曲线电缆记号	检查射孔井段
		十臂最小井径仪	最小井径曲线电缆记号	套管变形
		四十臂井径仪	最小最大井径曲线电缆记号	套管变形孔眼检查
	套管壁厚	磁测井仪	井径和壁厚曲线电缆记号	套管腐蚀、破裂错断等
其它		自然伽马测井	自然伽马曲线、接箍曲线、电缆记号	地层对比较深
		中子-中子测井（中子-伽马测井）	中子-中子曲线电缆记号	确定气层位置
		磁性定位器	套管接箍曲线电缆记号	定位

（二）通用测井接口输入信息类型

输入到通用接口的信息共分四种类型：

1．直流模拟量

以直流模拟量代表某一物理量。例如井径测井，$D=D_0+K\frac{\Delta V}{I}$，其中$D_0$、$K$和$I$是常数，测量的$\Delta V$是直流模拟量，经计算可得井径$D$。一般函数关系是线性的，也可以是非线性的。

直流模拟量类型的信息除了一般井下仪器外，还有两种测井必备的信息：磁性定位器的套管接箍信息和电缆深度记号信息。亦属于直流模拟量类型，只是频率很低。

2．低频0.2～100Hz周期性信号

这种信号来自涡轮变送器。如产量计和连续流量计涡轮产生的信号。集流型产量计频率范围为1～100Hz，连续流量计频率范围为0.2～10Hz。

3．频率模拟周期性信号

这种信号来自压力计、井温仪等大部分仪器，频率范围从250Hz～10kHz脉冲波形。

4．脉冲随机性模拟信号

这种信号来自核测量仪器，如自然伽马、中子-伽马、中子-中子测井仪等。频率范围3000～5000脉冲min，要求地面仪器有较高的分辨力，一般要达到$<5\mu s$。

（三）测井方式

目前测井方式有点测和连续测井两种。点测方式大都用于集流型仪器，可以使用较长的测量闸门时间来保证测量精度；要求连续测井方式的测井仪器测速、采样间隔和帧时间三者可以用下列公式表示。当计算机处理时间可以忽略时，最高测速：

V＝采样间隔/帧时间

测井时，闸门时间必须小于采样间隔所用去的时间，不然将会超速。

本质上，点测方式和连续测井方式没多大区别，仅采样方式

不同，前者是按时间采样，后者是按深度采样。

（四）测井资料的显示、存储和硬拷贝

点测资料、原始数据和物理量可以在显示屏上监测，最终以表格形式快速直观解释，并用软盘存储原始数据。

连续测井资料在显示屏上滚动显示并监测深度、测速、原始数据、物理量，并有横向比例标尺。打印机实时打印测井曲线和测井图规定的格式。测井结束后，测井数据由内存转储到软盘。

（五）测量道数和精度

测量道数要求同时测量七道，数据转换均为16位，测量精度与合理选择信号覆盖范围有关，地面仪器分辨力为$1/2^{16}$。

深度测量道占三个字节，总共24位，最大记录深度为9999.9975m，分辨力为0.25cm。

通过电缆磁性记号校正，相对于标准井的深度误差≤0.2m；深度系统的绝对误差＜±0.05%。

最后有一个字节为状态字，检测上提下放，是否超速和显示采样间隔。

（六）系统的总体结构

系统的总体结构由硬件和软件两部分组成。

1. 硬件的组成

SD-2的硬件除电源、示波器、矩阵接线板外，主要由以下几部分组成：

（1）深度系统；

（2）测量接口面板；

（3）IBM-XT-286主机（带20MB硬盘和双软：1.2MB和360KB）；

（4）640×200彩色显示器；

（5）M1724打印机。

系统硬件框图见图5—14。

系统的电源、示波器、矩阵接线板、深度接口面板和测量接口面板及其它备用面板安装在小型机柜上。计算机主机、显示器和

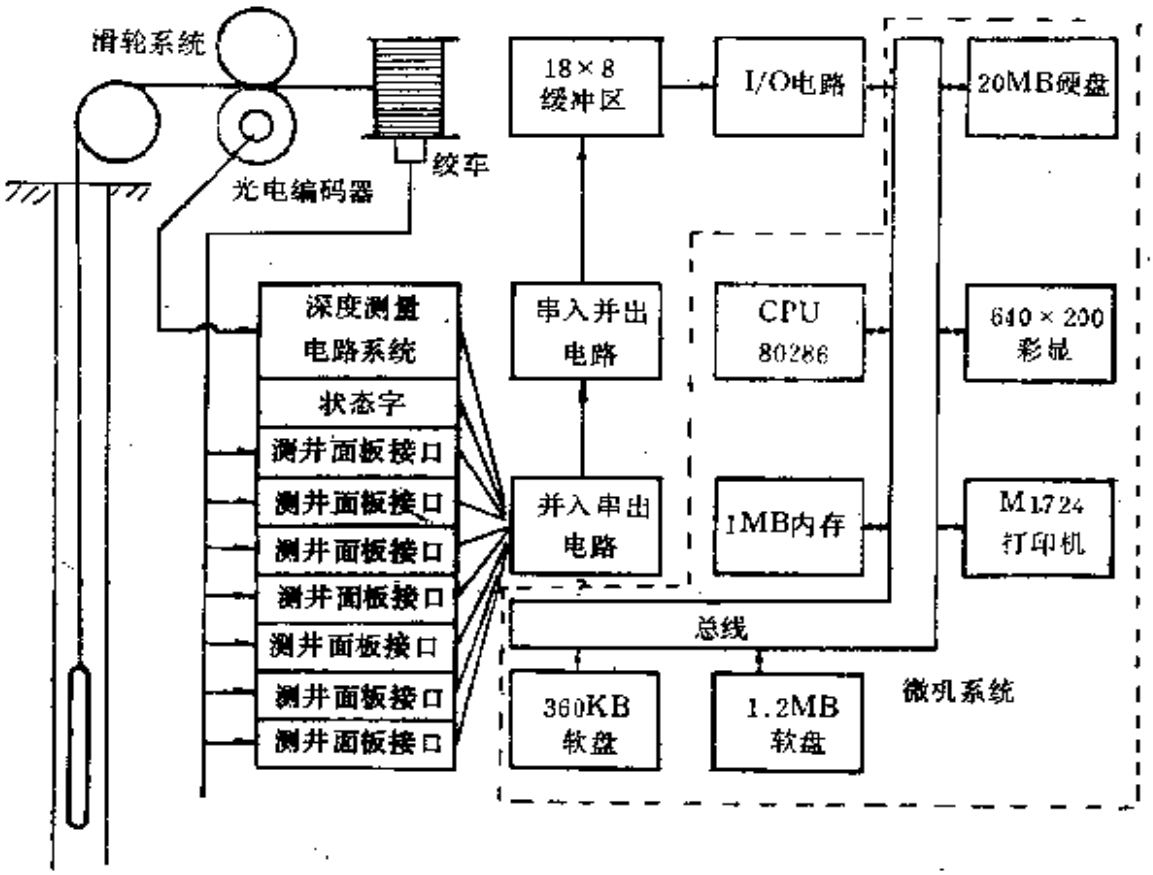


图 5—14　系统硬件流程框图

打印机则固定在机柜旁边的工作台上。全部硬件则安装在一个带有空调的密封车厢内。

深度系统包括深度滑轮测量装置和深度接口面板两部分。深度滑轮测量装置由滑轮、光电编码器和支架组成。整个装置安装在绞车盘绳器支架上。测井时，装置随支架移动并可上下浮动。车辆行驶时，装置可以放下固定紧。

滑轮周长设计为1m，精度为±0.05%。滑轮直径设计为 318.3 mm，±0.05mm。双轮结构，两轮安装在铝质支撑板上，一轮固定安装，另一轮滑动安装，加有弹簧力，使它压紧电缆以免滑动。

光电编码器由测量轮带动，电缆每移动 1 m，光电编码器产生双相3600个脉冲，双相之间有90°相位差。上提和下放电缆时

产生的波形见图5—15。

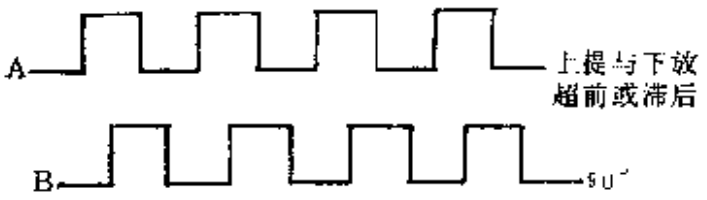


图 5—15　光电编码器波形图

深度接口面板有以下功能：

（1）深度显示

显示范围：　　0～9999.9975m；

最小分辨码值：　　0.0025m；

电缆上提与下放深度码控制：自动。

（2）深度预置与清零　预置范围：0～9999.99m；

（3）采样深度码值字长三个字节、24位；

（4）采样深度间隔0.25cm，0.5cm，1cm，1.25cm，2 .5cm，5cm和10cm七种；

（5）深度校正系数　系数范围：9900/10000到9999/10000；

（6）状态字　监视采样间隔和电缆上提下放；

（7）超速指示　深度系统的原理框图见图5—16。

（七）软件的组成

微机数字测井仪的软件由以下部分组成：

（1）系统软件：操作系统软件$DOS_{3.2}$和$CCDOS_{3.2}$；编译BASIC和汇编语言，诊断软件。

（2）测井应用软件。

（八）系统测量原理

由硬件的组成可以看出，整个微机数字测井系统由三个主要部分组成，即测井深度系统、测井数据采集接口面板和标准微机系统。（见图5—14）。

当用于点测方式时，不采用深度采样，而改用时间采样，记录下测井深度数据和测井信息数据。以后再进入总线，在软件控制下，由计算机处理，显示打印所需格式，测量完成后，数据存

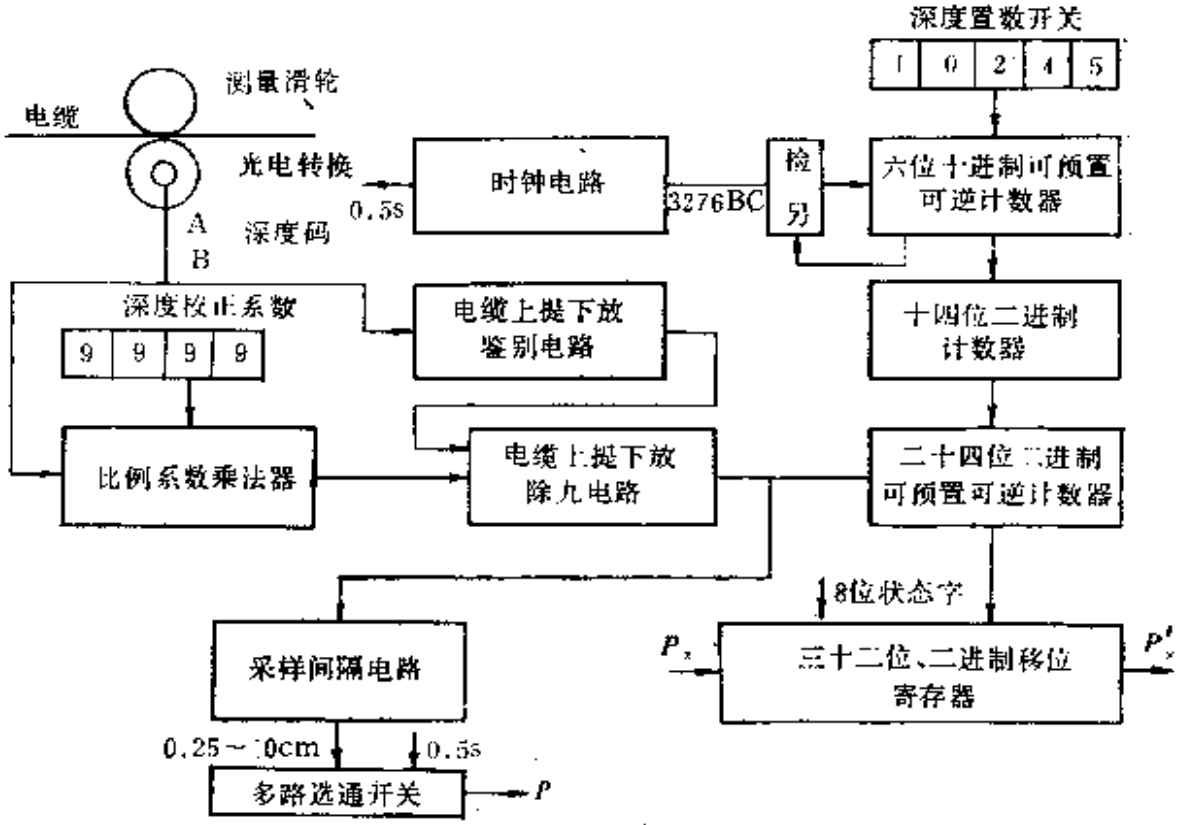
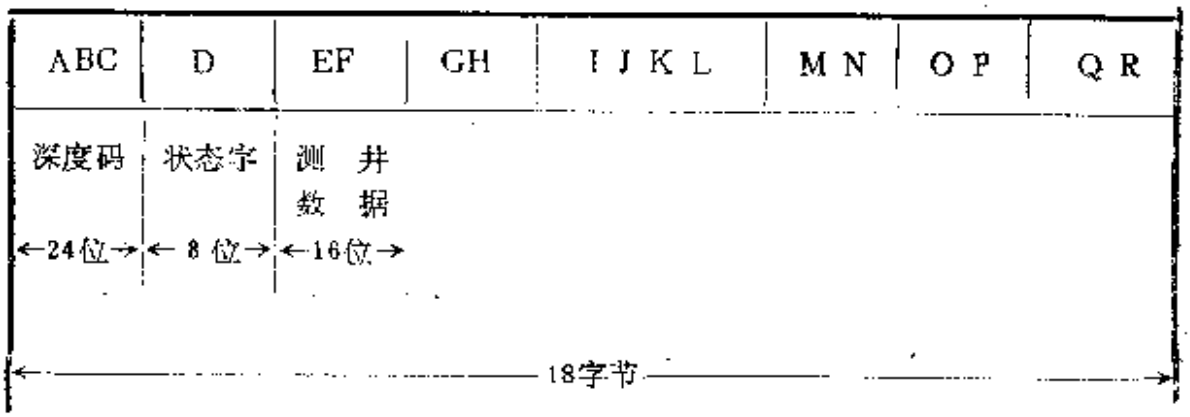


图5—16　SD-2深度系统流程框图

盘。

当用于连续测井时，来自井下仪器的测井信息可以同时进入七个测量道（根据需要而定）。不同的信息方式，采用不同的测井接口面板。信息进入接口后，经预处理，然后数字化，以二个字节（16bit）表示。七个参数并入串出后共14字节。另一方面测井深度子系统产生的深度码共三个字节，另外有一个字节作状态字。这样总计18个字节组成一个帧，每一帧的信息传输格式为：



一帧信息组成

深度子系统可产生采样间隔脉冲，采样时，一帧信息串出，进入18×8数据缓冲区。经I/O口进入总线。原始数据经CPU进入内存数据区，另一方面在软件控制下，经计算处理到显示测井曲线，同时打印机打出测井曲线。

（九）整机技术指标

使用环境指标：

温度	0～40℃
振动	适用于土路行驶条件下的振动
电源	单相380V AC或220V AC

深度系统技术指标：

测井深度测量范围	0～9999.9975m
深度分辨力	0.25cm
相对误差	±0.05%
绝对误差	±20cm
深度预置范围	0～9999.9m
予置值分辨力	0.1m
电缆上提下放	
深度测量和显示	自动
深度比例尺	1:10，1:20，1:50、1:100，1:200，1:500和1:1000

测量通道技术指标：

测量道数	七道（可扩展）
测量道计数容量	16bit
最高分辨力	$1/2^{16}$计数
测量误差	＜±1%

测量图纸技术指标：

深度走纸误差	＜±1%
横向标尺误差	＜±1%

第六章　引进国外生产测井设备仪器简介

为迅速发展我国生产测井技术，赶超世界先进水平，自1978年以来，已陆续从美国德莱赛-阿特拉斯测井公司、吉尔哈特测井公司、施伦贝谢测井公司以及康拍特测井公司引进了3600，3700，CSU，DDL-Ⅱ，DDL-Ⅲ，AT*以及mx-60，mx-240等多种生产测井设备和井下仪器。这些设备和仪器在全国各油田的应用，对推动我国生产测井技术的发展，起到了一定的作用。

本着引进、借鉴之目的，下面对主要的引进设备及井下仪器的性能和主要技术指标等作扼要介绍。

一　CP-1型生产测井仪

CP-1型生产测井仪是美国德莱赛-阿特拉斯测井公司70年代生产测井装备，属3600系列。

CP-1型生产测井地面仪器是模拟记录仪，它将测井信息通过电子电位差计上的多笔记录仪直接记录在专用记录纸上，从而直接获得测井成果。声波变密度全波信息，是由专用照相机，将示波仪上显示的全波波列曲线，记录在照像胶片上，冲洗后获得声波变密度曲线。

CP-1型仪器和绞车同装在一台"万国"牌载重汽车上，采用单芯电缆，并配有波文公司的井口防喷装置(最高耐压可达80MPa)。适用于不压井作业。

配套的专用测井井架车最大伸长高度可达15m。可满足各种井下仪器测井要求。

CP-1型生产测井井下仪器每种都有一系列产品，本部分只介

绍我国引进的七种井下仪器概况。

表6—1是引进的七种井下仪器型号和用途。

表 6—1　引进德莱赛CP-1型井下仪器表

序　号	仪器名称和型号	用　　途
1	2104，2111井温测井仪	同时，测梯度井温、微差井温和接箍三条曲线
2	1408M水泥胶结和声波变密度测井仪	检查水泥胶结情况
3	2109　磁　测　井　仪	检测套管壁厚和井径了解套管破裂和腐蚀情况
4	2105连续流量测井仪	油水井注入或产液剖面
5	2404　中子-中子 自然γ测井仪	地层对比找气层
6	2116　流体密度测井仪	井内流体密度
7	728　示踪流量测井仪	测　量　流　量

1．井温测井仪

井温测井仪是以铂电阻为感温元件，经电子线路处理，可记录梯度和微差两条井温曲线，仪器技术指标如下：

外径	$1^{1}/_{2}$in(38.1mm)(加重杆44mm)
长度	78.24in (1.99m)
重量	12.3kg
动态范围	0～176.6℃
深度分辨力	30.48cm
精度	读数的1％
稳定性	额定温度下长时间工作漂移为读数的1％
压力	140MPa
适用井径	2～13^{5}/sin (50.8～346mm)

应用井温测井资料可以检查固井质量，确定水泥顶界深度，评价压裂和酸化效果，确定出气、出水层位，检测套管或油管泄漏位置，测量水井注入剖面及油水井地温梯度。

2. 水泥胶结、声波变密度测井仪

水泥胶结、声波变密度测井是声波测井方法的一种。主要用于检查固井质量，记录沿井身滑行波首波幅度的变化叫声幅测井；记录沿井身全部波列变化的称全波波列测井，简称全波测井。通过电子线路处理，把全波形上半周放大整形，并转换成示波仪上光点宽度或亮度的变化，称作调宽或调辉式密度测井。仪器主要技术指标如下：

外径	$3^{5}/_{8}$in（92.2mm）（扶正器外径为122mm）
长度	$113^{7}/_{8}$in（2.89m）
重量	82kg
分层能力	在测速为548.64m/h条件下，为0.1524m。
精度	自由套管信号的±1%
耐温	0～176.6℃
耐压	140MPa
适用井径	$4^{1}/_{2}$～$13^{5}/_{8}$in（114.3～346mm）

3. 磁测井仪

磁测井是利用套管对仪器中发射线圈所形成的电磁场产生涡流效应，从而使接收线圈中的感生电动势与发射信号相比，产生相位移的原理，通过相位移大小来反映套管厚度变化的一种测井方法。其关系式为：

$$\phi = 2\pi D \sqrt{\frac{f\mu_r}{\rho \times 10^3}} \qquad (6—1)$$

式中 ϕ——相位移，（°）；

D——套管厚度，mm；

f——发射频率，Hz；

μ_r——套管相对磁导率；

ρ——套管电阻率，Ω·m。

通过电子线路处理，将相位移转换成沿井身变化的电位差曲线，从而反映出不同井段套管视厚度变化情况。磁测井仪中还包括一个非接触型井径仪，它同时能测出一条套管内径相对变化曲线。其工作原理是给一个线圈供给高频电流，套管在产生高频趋肤效应的同时，而对高频电磁场起屏蔽作用，屏蔽作用的大小将取决于线圈至套管壁之间的距离（即套管内径）。由于屏蔽作用使线圈电感量降低，因此，电感量的高低可反映套管内径的变化。由视厚度曲线与套管内径变化曲线配合，即可反映套管厚度的变化是在内壁（或外壁）引起的。其仪器技术指标是：

直径	$3^5/_8$in（92mm）
长度	4.75m
重量	125kg
深度分辨力	可分辨最小异常$^1/_4$in孔眼（6.35mm）
精度	± 2 %
耐温	0～132℃
耐压	140MPa
适用井径	$5^1/_2$～$9^5/_8$in（139.7～244.5mm）

4. 连续流量测井仪

连续流量计是一种测量流体中心流速的涡轮型仪器，它用上下两个扶正器使涡轮居中，经过油管下入套管，测出一条沿井身变化的流体流速曲线，从而换算出分层吸水量或产液量。仪器技术指标如下：

井眼条件	井径大于2in（50.8mm）流体，内不能含有碎片，只适应高流量测量
仪器技术规格	
直径	$1^3/_4$″（44.45mm）
长度	60.96cm

耐温	0～176.6℃
耐压	105MPa
测量特性	测量转速（转数/min）需用井眼校正图版来确定流体体积，精度取决于体积、井眼大小和流体的均匀程度
刻度	采用产量或注入量在100%流量条件下进行测量

5．自然伽马、中子-中子测井仪

自然伽马测井是沿井身测量地层自然放射性强弱，从而研究地层沉积环境，确定地层泥质含量和进行地层对比的一种测井方法。中子-中子测井是通过对热中子的记录，来分析地层对快中子减速能力的大小，从而探测出地层含氢量的高低，并可确定地层孔隙度、划分油气界面，判断层内流体性质（如气层或高矿化度水层）的一种测井方法。仪器技术指标如下：

直径	$1^{11}/_{16}$in（42.86mm）
长度	4.75m
重量	25kg
接头尺寸	$1^{3}/_{8}$in（34.93mm）
动态范围	自然伽马0～1500API单位 热中子从0～6000API单位
分层能力	划分地层界面的最小厚度为0.6m
精度	API单位在±5%以内
稳定性	额定温度下最大漂移为最高计数率的±5%
可靠性	测井成功率95%
耐温	200℃（实际测井≯130℃）
耐压	119MPa
适用井径	$2^{1}/_{2}$～20in（63.5～508mm）

6．流体密度测井仪

流体密度测井仪是根据放射性射线探测密度的原理，用强度

为600mCi的铱^{192}(Ir^{192})伽马源（半衰期为72d），沿井身测出一条连续的流体密度曲线的测井方法。仪器技术指标如下：

外径	$1^3/_4$in（44.45mm）
长度	60.96cm
重量	9.52kg
接头尺寸	$1^3/_8$in（34.93mm）
动态范围	伽马射线5000～150000脉冲/min
深度分辨力	定点测量为0.4572m
可靠性	测井成功率＞98%
耐温	0～204℃
耐压	最高105MPa
适用井径	2～$13^5/_8$in（50.8～346mm）

7. 示踪流量测井仪

示踪流量测井仪是根据放射性同位素跟踪的原理，在仪器上设有固定距离的两个探测器，同位素在井下射出后，记录流过两个探测器的时间，从而确定井内流体速度的大小，并换算出体积流量的一种测井方法。同位素可采用短半衰期的碘^{131}，钡^{131}，铟^{113}等。仪器的技术指标如下：

外径	$1^1/_2$in（38.1mm）
接头尺寸	$1^3/_8$in（34.93mm）
动态范围	伽马射线从100～30000脉冲/min
深度分辨力	正常测井速度时为30.48cm
精度	测量值的2%
稳定性	额定温度下长时间工作 最大漂移为2%
可靠性	测井成功率＞96%
耐温	0～148.9℃
耐压	140MPa
适用井径	2～$13^5/_8$in（50.8～346mm）

示踪流量计测井仪两个探头之间的距离可根据测井要求而

改变。

二、DDL-Ⅲ数控测井系统

DDL-Ⅲ（Direct Digital Logging System）直接数字测井系统是美国原吉尔哈特公司开发的新一代产品，该系统由计算机控制，具有裸眼测井、生产测井及射孔功能。该系统设计结构简单，操作方便。测井过程的大部分操作是在计算机的控制和监视下完成的，因而操作失误最小。

系统把从测井仪器来的多路模拟信号和脉冲数字信号转换成适于计算机运行处理的兼容数字格式。测井数据记录在计算机的各类盒式磁带或九轨磁带上，测井信号同时由计算机处理成符合API标准的三轨测井曲线，在CRT记录仪上记录显示在不用洗相的干式相纸上或回放在干式胶片上。

存储在盒式磁带上的测井信息，可由计算机在现场分析处理，并以深度为坐标，绘制成缩小的清晰图形。

1. 机械设计特性

DDL-Ⅲ系统安装在一台“万国”牌重型汽车上，见图6—1。车上安装两台发电机，以给仪器和空调机供电。绞车系统

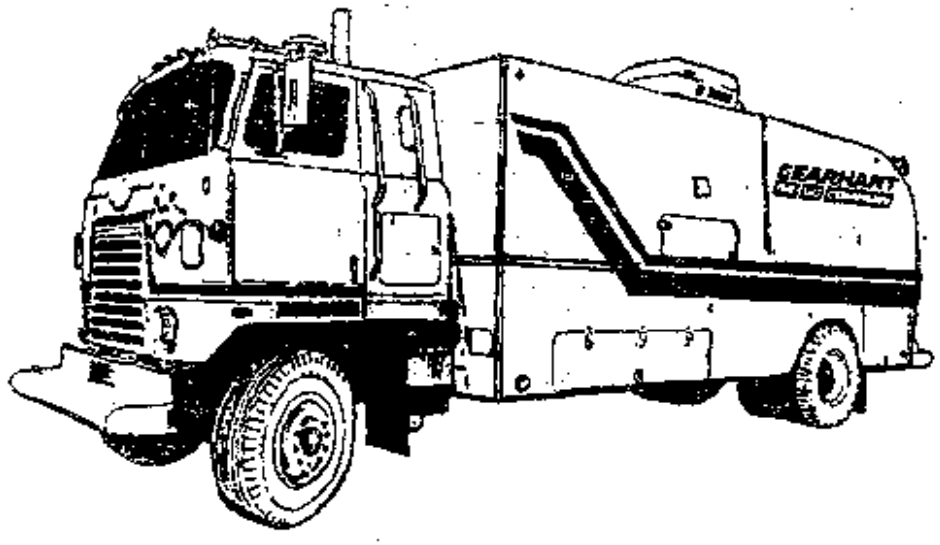


图 6—1　DDL-Ⅲ系统全车外貌图

安装在车的后部，绞车采用液压传动，滚筒上装有直径5.6mm的单芯电缆，电缆耐温达200℃。

井口吊车用于无井架的滑轮安装及防喷装置安装。吊臂升高可达22.5m，全伸臂可吊升3000kg，有主吊钩和副吊钩。

DDL-Ⅲ地面记录系统外貌如图6—2所示。左边机柜(a)包括盒式磁带机设备、实时显示器、接线板、HP-150终端、仪器输入/输出控制器和A900中央处理机（CPU）。

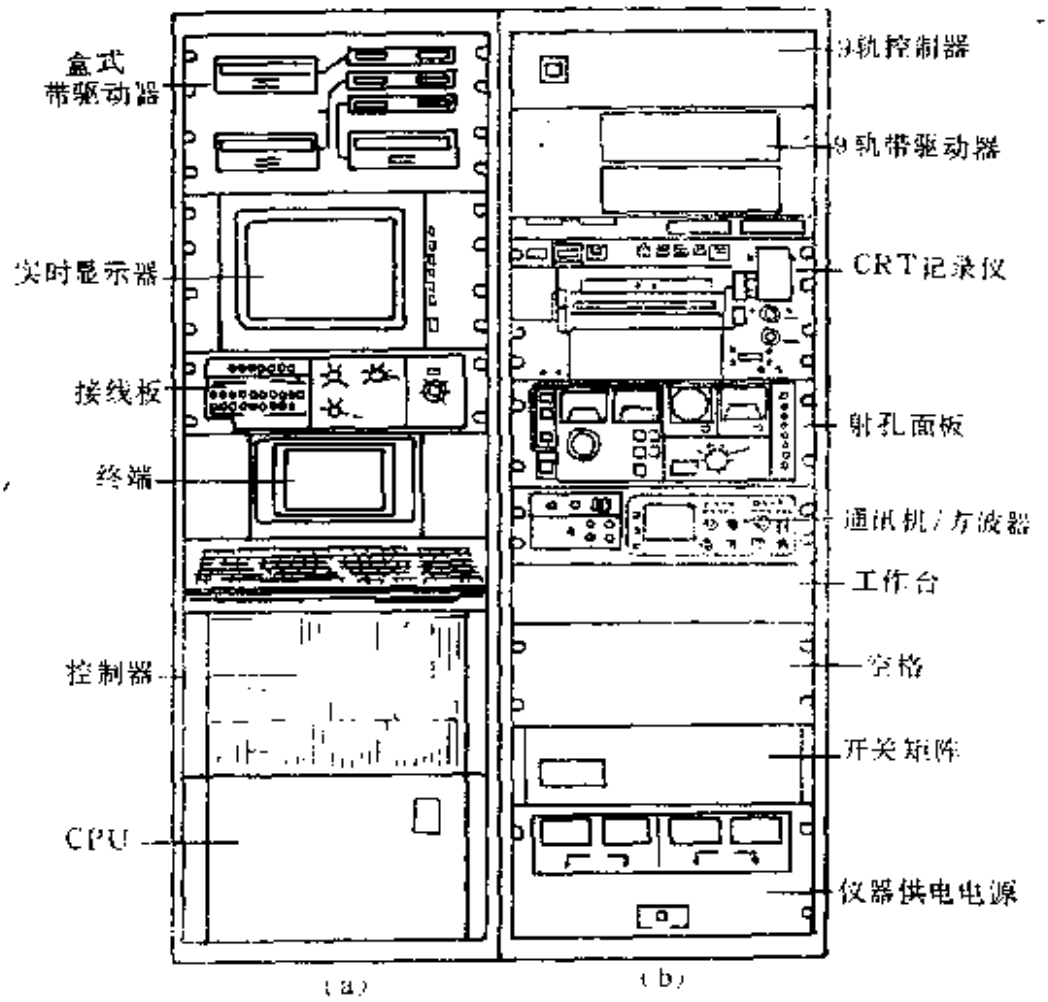


图 6—2 DDL-Ⅲ地面记录系统外貌图

右边机柜（b）包括九轨磁带控制器及磁带驱动器、CRT记录仪、射孔面板、通讯机/示波器、工作台、矩阵开关和井下仪器供电电源。

上述各面板是装在机柜的滚槽上，面板之间连接电缆与电缆

连接器一起装在机柜后面，这些电缆和连接器随时可取下，以便取下面板或取下面板维修。

2. 电子设备特性

DDL-Ⅲ系统由计算机和为DDL-Ⅲ操作所需要的接口装置组成，如图6—3所示。

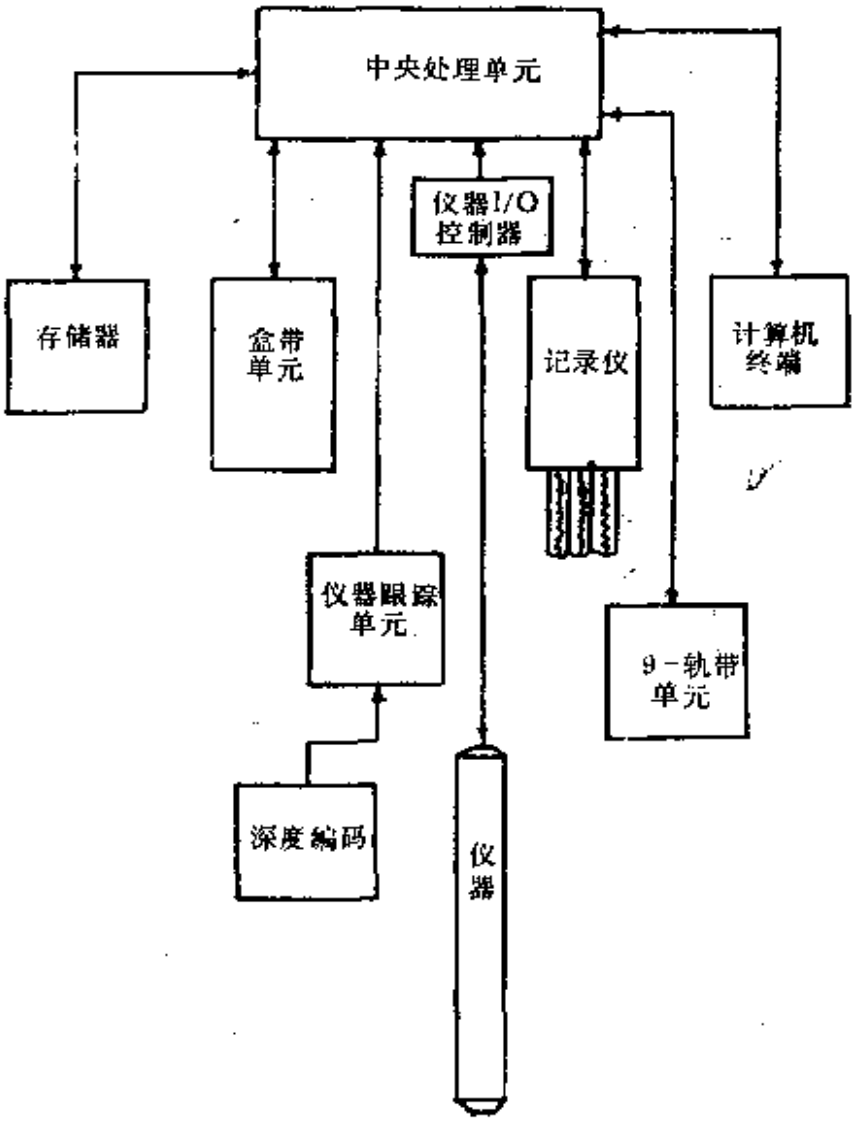


图 6—3 DDL-Ⅲ系统框图

方框图表示连接计算机的各种装置，包括存储设备、CRT记录仪、计算机终端、井下仪器、深度编码器、磁带驱动设备和仪器跟踪设备。信息的传送有两个通道，即从计算机到接口设备，从接口设备到计算机。

仪器信息是进入到计算机处理，而仪器在系统供电后只由计

算机指令操作，处理后的仪器信息送到CRT记录仪，在这里产生测井曲线。记录仪由计算机指令操作，并给计算机发出返回状态信息。

磁带驱动设备（包括三个盒式带和一个九轨带驱动器）给计算机加载程序，并在第二个设备上计算机命令，记录测井数据。

电缆深度和电缆运动时张力数据通过仪器I/O控制口 供给计算机。

所有这些动作均编入装在计算机存储器的程序，由操作员通过计算机终端完成。

系统中测井信号的计算机处理包括由以前在不同测井面板中模拟电路实现的所有函数功能，每一种仪器的程序指示计算机如何处理测井数据，测井信号标定，转换及校正。上述工作不需要操作员输入，计算机处理数据最终由磁带机和CRT记录仪变换使用。

（1）程序加载 CPU掌握所有测井数据，并控制测井系统中不同接口的操作，任一项有价值的测井服务程序，包括这些接口之间正确通讯的地址和指令。计算机的输入和输出信号通过控制器通讯，这些控制器电路详细介绍在DDL-Ⅱ子系统的文件中。

“程控测井”的概念简单表示在图6—4的方框图中。测井程序包括基本系统操作指令，并装载到计算机存储器中。操作者通过附加或调整程序信息到计算机内存，使程序控制能完成特殊工作。计算机通过接口和控制设备控制全部测井操作，操作顺序是预先确定的。

典型测井操作时，计算机的其它主要功能如下：

1）电源和信号在测井仪器与系统间的传输，由计算机自动控制进行。

2）仪器的地面和井下刻度，由操作员操作指令控制进行，刻度结果由CRT记录仪复制。

3）在实际测井中，仪器信号被处理、转换成精确的标定值，

处理和转换的测井数据由CRT记录仪将测井曲线记录在于式相纸上，并实时显示，允许操作员连续监视。

4）测井数据记录在数字测井磁带上，并可重放和制作永久性胶片记录。

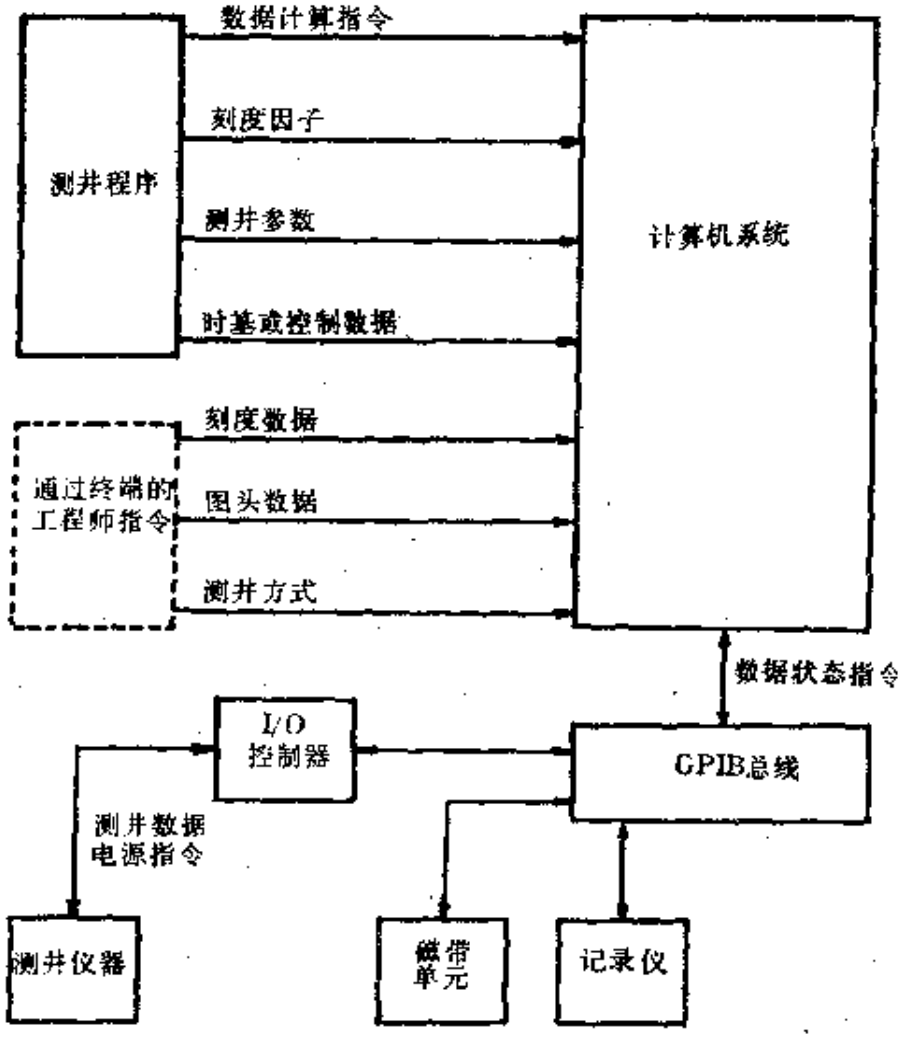


图 6—4 DDL-Ⅲ程控测井框图

（2）数据存贮 见图6—5。DDL-Ⅲ能贮存大量的测井数据，可以两种形式存贮：对未被处理的测井数据暂时寄存在计算机存储器内，处理后存储在磁带上备用。

模/数转换处理的原始精度（分辨率被保存着，因这些转换的数据记录在计算机磁带上。测井数据带可由计算机处理，用CRT

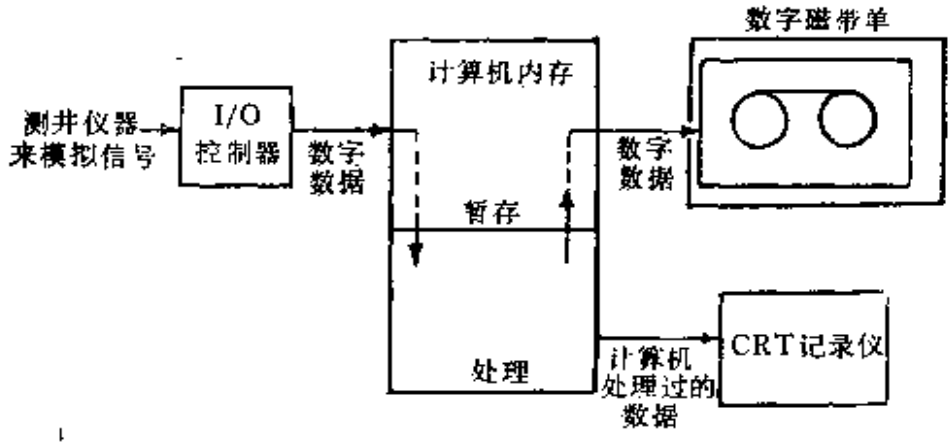


图 6—5 DDL-Ⅲ数据存贮框图

记录仪回放，并可在井场进行复制。测井数据也可以转换，并记录在工作标准LIS格式的九轨磁带上。

（3）数据信号转换成测井曲线 见图 6—6。经计算机处理的信号可直接转换成高质量的胶片或纸记录测井曲线。记录操作由计算通过程序指令完成，CRT记录仪把计算机产生的数据转换成一束光线，CRT光束在每一次扫描期间射到图或纸上的1650个独立数据点上，标度尺、深度格、曲线、图头和深度信息由一系统控制这样的扫描产生，信号的处理类似于电视扫描系统。

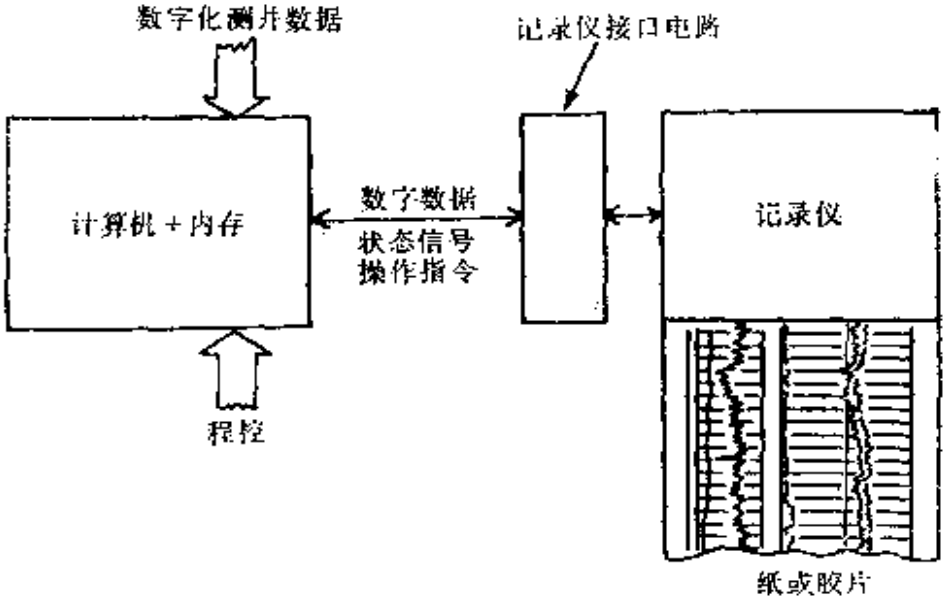


图 6—6 数字转换测井曲线框图

（4）系统升级　计算机程控测井使增加新的测井项目非常简单。见图6—7。新测井仪器一出现，就准备好新的程序。把新的测井面板(硬件)插到测井系统中，同时，操作者增加新程序带（软件）到系统的磁带“库”中。

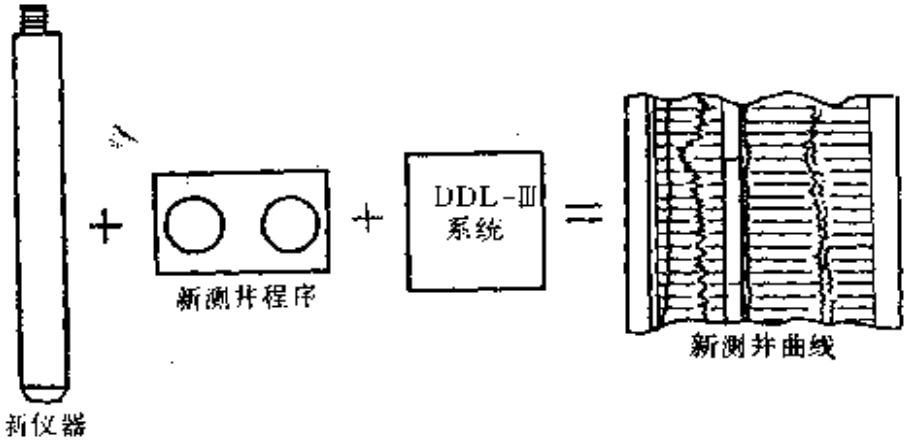


图 6—7　DDL-Ⅲ系统升级框图

（5）测井分析和计算　测井分析指由DDL-Ⅲ系统产生的典型测井曲线上的信息位置和在不同显示方式中大部分通用信息。

图6—8是一口典型测井曲线图，该曲线包括图头信息，标尺说明、自然伽马，磁定位，声幅及全波信号。

图头包括所显示测井曲线的仪器参数，这个信息给出3ft(0.91m)和5ft(1.52m)接收的仪器参数，它包括地层传播界限、自由套管门、自由套管幅度、自然伽马和中子转换因子、总胶结幅度、自由套管窗口和在回放情况下的显示偏移数值。当一参数被计算机用来计算胶结指数时，在编辑指令之前将有一个星标(*)。井深在中间空白位置显示。

在每一次测井的开始和结束，显示曲线名、线型、测量单位、时间、日期、标度尺和所用仪器。现给出一例，道排列如下。

道1：显示自然伽马，实线，标度为从0到125API单位；

道1：用于显示磁定位，实线，标度值从－0.8到＋0.1mV；

道2：用于显示已刻度的放大了的幅度信号 实线，标度从0～100mV；

道 3：用于显示已刻度的放大了的幅度信号（放大 5 倍），点线，标度从0～20mV；

道 4：用于显示地震谱或全波信号，波形从发射后200～1200μs。

在分析典型曲线中，在460ft（140m）以下幅度为 0mV，表示100%胶结，自由套管由全波信号及幅度偏转指示。

（6）系统操作　在典型测井操作中，DDL-Ⅲ系统完成下列工作：

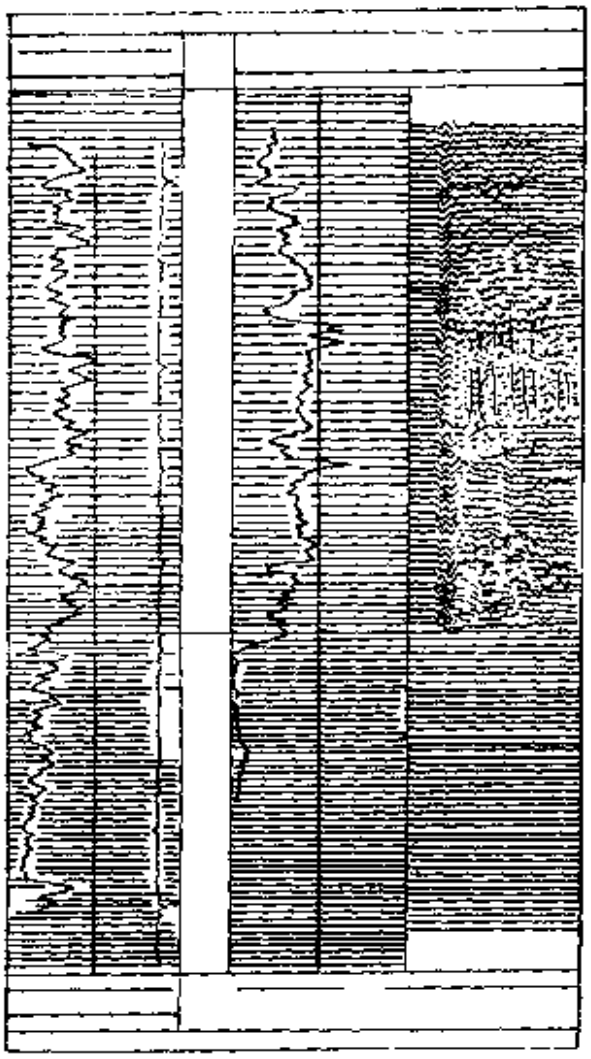


图 6—8　DDL-Ⅲ典型测井曲线格式

1）把模拟仪器信号数字化；

2）把所有数字信号记录到磁带上；

3）在计算机中处理数据；

4）把处理了的数据复制到干式记录纸上或在实时显示器上显示；

5）监视校正仪器速率，校正测井数据的记录，并记录到测井盒式带上；

6）产生声音和指示报警。

测井操作者涉及完成下列工作：

1）系统准备（磁带驱动器、CRT记录仪）；

2）系统刻度和数据输入；

3）把校正信息输入到计算机中。

这些任务要在测井操作前完成。

在实际测井操作中，操作员直接把全部注意力集中在有效的和专门的使用DDL-Ⅱ系统中，并主要完成下列工作：

1）监视校正仪器深度位置，井径操作；

2）提议重复井段测井；

3）观察测井曲线，确定校正打印出的图头信息，曲线质量（标定选择、偏移等）；

4）对报警响应，并作出反应；

5）观察系统和仪器响应的各种指示器；

（7）程序加载。

如图6—9所示，在保证没有其它盒式带在磁带驱动器中后，要求把盒式带装入其中一个驱动设备上（通常用A）（步骤1）；磁带上的内容因此转录到计算机内存中（步骤2）；计算机内存现在含有为系统起动，测井刻度，测井和记录所需要的完整指令。这时，CRT记录已准备装满纸筒的操作（步骤3）。

（8）人工数据输入　如图6—10所示，为附加或调整已加载到计算机内存中的程序，操作者因此要打入附加的数据。有些数据在测井前必须输入，其它数据对基本测井程序可选择改变，以满足特殊情况或用户的需要。数据通过终端键盘输入，每一次输入都从终端显示器上显示（步骤1）。

输入的典型数据有：深度、时间、日期、工作号、仪器系列

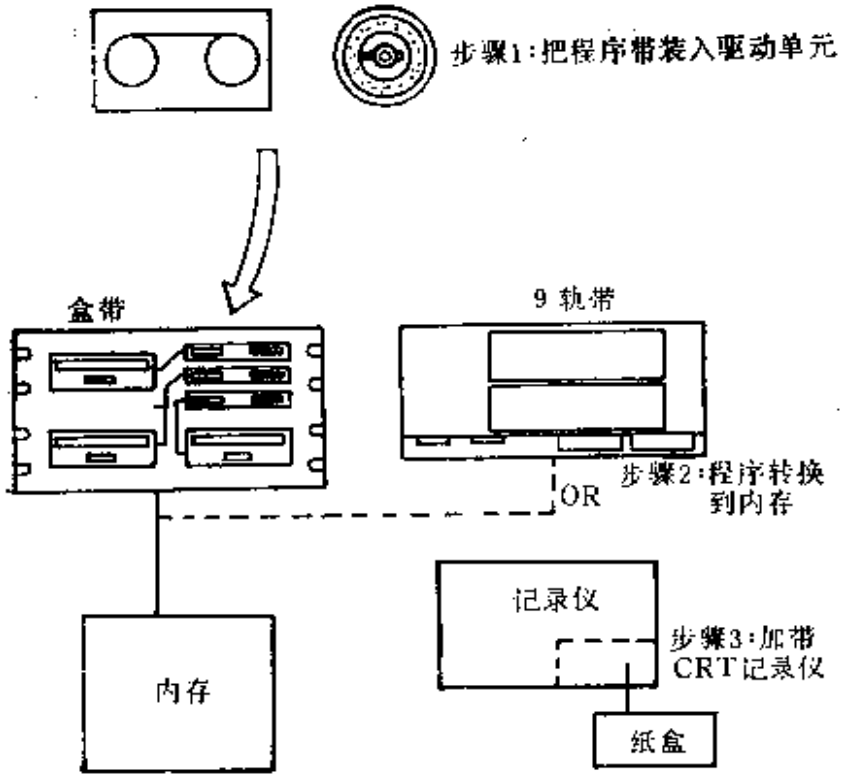


图 6—9　程序加载框图

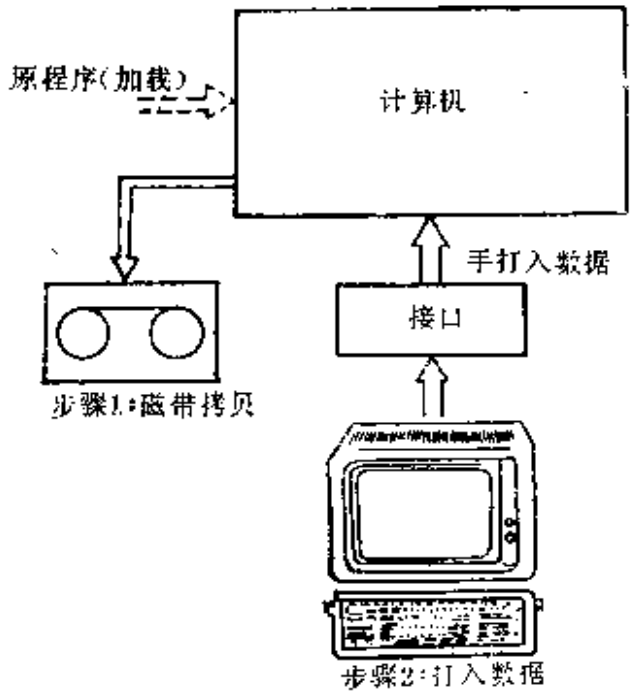


图 6—10　人工数据输入框图

号、标度变化、轨迹控制和地面刻度值。

（9）仪器的电启动　如图 6—11所示，DDL-Ⅲ井下仪器电启动包括下列步骤：

1）完成自测试和程序加载；

2）开关指令发送到接线面板和仪器I/O控制器中；

2）连线后，给仪器供电产生状态信号；

4）从终端读出状态信号；

5）操作员可手工调节电压和电流（计算机一般也可完成）。

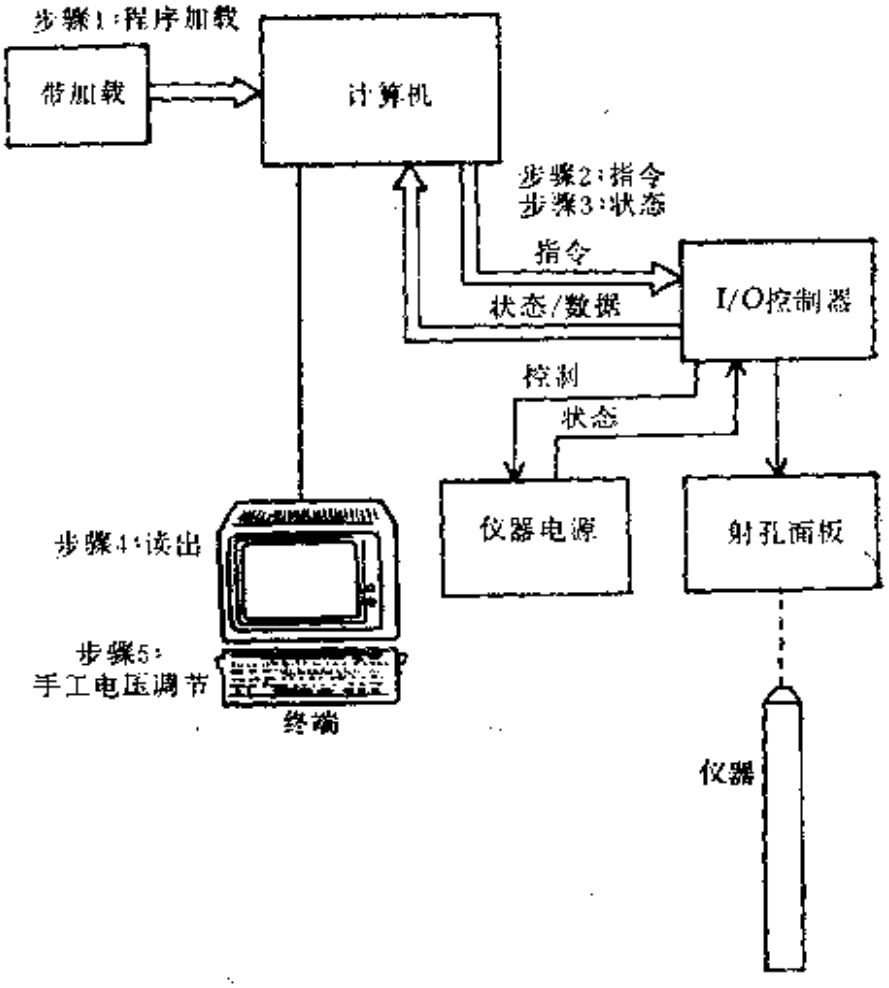


图 6—11　DDL-Ⅲ井下仪器电启动步骤框图

（10）测井　如图 6—12，如果测井操作员在测井中能利用不同比例尺或不同深度比例观察测井曲线，他因此通过打入新的计算数据到计算机内存去调整程序，也可决定改变一个或多个比

例因子，移动某一测井曲线或删去某一段曲线，使深度对齐，或对全部测井曲线或选择某一部分改变其深度比例。测井磁带反绕并回放，产生最终可复制的胶片测井曲线。最后测井结果反映了由测井工程师所作的所有改进。

3. DDL-Ⅲ硬件特性

（1）计算机

型号：Hewleff-Packard A900

CPU：微程序化LSI硬件

数据通道 16位

内存：动态NMOSRAM

容量 2304KB

高速缓冲存储器 4KB

高速缓冲循环时间 133μs

高速缓冲到达率 88%典型值

平均有效存取时间 181μs

动态图形系统 2KB页

校正 7位汉明码

标准I/O接口 IEEE-488

RS-232C

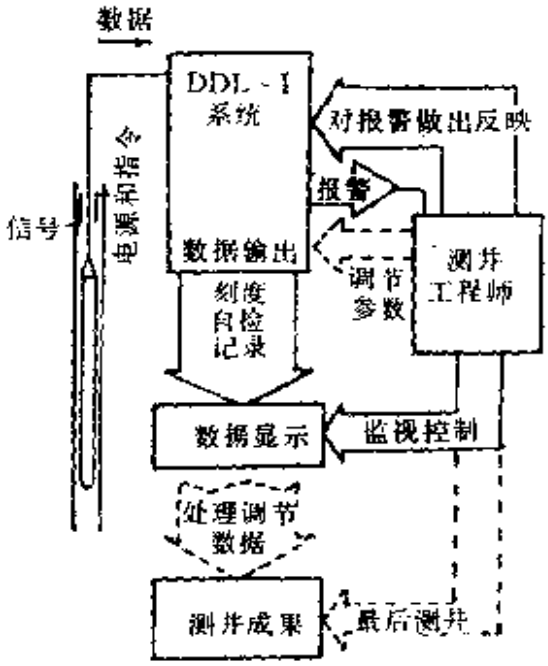


图 6—12 测井过程框图

（2）终端/键盘

型号：HP-150

键盘：全ASCII码、自动转发，N键转台，光标控制

屏尺寸：9in（23cm）对角线，4.5in×5.9in

屏容量：24行×80符

（3）磁带记录仪

九轨：

类型	数字M890640-90-1000-U
数量	1台
带速	100in/s (2.54m/s)
带容量	46MB (2400′)
特点	自测试和写后读检验

盒式磁带驱动器

类型	HP-9144A
数量	3台
带速	60in/s (1.524m/s)
容量	67MB (450′)
特点	自测试和写后读检验

(4) 测井记录仪

类型	CRT光纤型
记录速度	1in/s (2.54cm/s)
记录介质	干银胶片 3M型7858
	干银纸片 3M型7770
有效记录宽度	8.78in
接口	1EEE-488 (GPIB)

(5) 实时显示器

类型	光栅扫描图形CRT
显示屏	对角线12in (31cm) 7.7in×10.1in
操作方式	自动滚动和固定

(6) 射孔/接线面板操作方式

测井：通常操作方式。除DC射孔电源，所有系统都供电源。

准备：电缆缆芯通过电阻接地；仪器I/O控制器可工作，但不能给缆芯供电。

安全：所有缆芯通过电阻接地，120V AC液压和辅助发电机都不工作。

关联：成形系统可用仪器可用的电池测SP和CCL，系统可

用交流电源，电缆通过低能保险丝接到开关阵，低能保险丝能防止在有故障时过大电流通过开关阵。

射孔：成形系统要进行取芯和射孔时，射孔电路工作。

（7）仪器供电

方式：　　计算机控制和监视

单元1：

电压　　0～400V DC

电流　　1A（0～199V）、2A（199～400V）

单元2：

电压　　0～300V DC

电流　　1A

（8）开关阵

方式　　计算机控制

接触器　　方式：湿水银

电流：1.8A

击穿电压：（不接通时）1000V DC

结构：　　8线×48线

（9）仪器深度系统

方式　　与测井曲线参数显示独立的设备

显示　　英制/SI制单位

深度（ft/m）

张力（lbf/kg）

线速度（ft/min或m/min）

（10）仪器I/O控制器

方式　　微处理控制，VME总线结构

接口板　　信号调节器

计数/时间接口

深度接口

声波/地震接口

BATS接口

MVX-B

4. DDL-Ⅱ软件

DDL-Ⅱ测井系统软件目前能完成下列测井项目：

$1^{11}/_{16}$″CBL/GR中子

$3^{1}/_{4}$″CBL/GR/中子/磁定位

组合测井系统

井眼声波示踪系统

径向微差井温系统

40臂井径

$1^{3}/_{4}$″x-y井径

石英压力计

5. DDL-Ⅱ与DDL-Ⅱ性能参数对比

见表6—2。

表 6—2

项　　目	DDL-Ⅱ (HP-1000E)	DDL-Ⅱ (HP-A900)
CPU速度（正常）	10	4.0
内存容量	1/2MB	2.25MB
实时显示器	无	有
9 轨带驱动器	无	1台
9 轨磁带容量	无	46MB
1/4″盒式带驱动器	4	3
1/4″盒式带容量	每台4MB	每台67MB
升级到裸眼井系统	无法	可以

6. DDL-Ⅱ的井下仪器

(1) 种类和数量

DDL-Ⅱ数控测井系统主要用于生产测井，井下仪器共有七大类，22种探头。它们包括：

1) 3.6cm组合仪，包括流量计，流体密度计、压力计、井温仪、持水率计、自然伽马仪、接箍定位器和组合遥控盒；

表 6—3 DDL-Ⅲ井下仪器的主要技术指标

序号	仪器名称	数量	长度 cm	直径 cm	主要技术指标						测量范围
					最高温度 ℃	最高压力MPa	精度	分辨力	重复性	一致性	
1	组合仪流量计	6	60	3.65	190	124	1 in/min	1in /min	1 in/min	1 in/min	0～2000 ft/min
2	组合仪流体密度计	6	27.1	3.65	190	124	0.02 g/cm³	0.01 g/cm³	0.02 g/cm³	0.05 g/cm³	0～1.5 g/cm³
3	组合仪压力仪	4	69.2	3.65	190	124	±34.5kPa	6.89 kPa	68.9kPa		0.686～68.9 MPa
4	组合仪温度仪	6	63	3.65	190	124	±1.1℃	0.06℃	2.2℃	2.2℃	10～204℃
5	组合仪持水率计	6	76	3.65	190	124	±3%持水率	5%	0.03持水率	0.05持水率	0～100%
6	组合仪Y仪	6	83.5	3.65	190	124	0.05(1+z/s)/API		15%	15%	0～4000 Hz/s
7	套管接箍定位器	6	50.8	3.65	190	124					
8	组合仪遥控器	6	103.8	3.65	190	124					
9	$1\frac{1}{2}$-x-y井径仪	2	125.7	4.45	149	69	1%	3.048mm	2.5%	2.5%	4.0～28 in
10	$3\frac{1}{2}$-x-y井径仪	2	138.4	8.89	177	69	1%	3.048mm	2.5%	2.5%	4.5～30 in
11	40臂井径	4	144	9.21	177	69	±1.27mm	0.762mm	2.54mm	5.08mm	4～7″OD
12	噪声温度仪	6	116.3	4.29	149	103	±1.1℃		2.2℃	2.2℃	10～177℃
13	RDT微差井温仪	2	322	4.29	149	103	±1.1℃	0.03℃	2.2℃	2.2℃	176℃ 10～149℃
14	$1\frac{11}{16}$″伽玛中子仪	4	196.7	4.29	177	138			5%	7%	
15	$1\frac{11}{16}$″水泥胶结测井仪	4	381	4.29	177	138					
16	$3\frac{1}{4}$″水泥胶结测井组合仪	2	249.9	8.26	177	138			5%	7%	
17	1″流体识别仪	2	70.6	2.54	177	69	±3%	3%	0.03持水率	0.05持水率	油—水
18	1″温度仪	2	64.6	2.54	177	69	±1.1℃	0.11℃	2.2℃	2.2℃	10～204℃
19	1″放射性示踪仪	2	164.3	2.54	177	69					
20	1″伽玛仪	2	90	2.54	177	69					
21	1″流量计	2	53.3	2.54	177	69	2.6 ft/min				2～4000 ft/min
22	套管接箍定位器	2	62.55	2.54	177	69					

2）井径测井仪，包括$1^3/_4''x$-y井径仪，$3^1/_2''x$-y井径仪；

3）40臂井径仪；

4）噪声-温度仪；

5）RDT微差井温仪；

6）水泥胶结测井仪，包括$1^{11}/_{16}''$伽马中子仪，$1^{11}/_{16}''$水泥胶结测井仪和$3^1/_4''$水泥胶结组合仪；

7） 1″组合仪，包括流体识别仪、井温仪、放射性示踪流量计、伽马测井仪、流量计、接箍定位器。

表6—3是DDL-Ⅲ七种井下仪器，22种探头的名称和主要技术指标。

（2）基本原理和用途

1）36mm组合仪 该仪器用于自喷井产液剖面测试。主要使用流量计、持水率计、流体密度计、井温仪、压力计、伽马仪、接箍定位器和组合遥控盒。一次下井可分别测量流量、密度、持水率和井温四条主要曲线和套管接箍、自然伽马两条辅助曲线。井下仪器可以按任意次序组合，也可以单独测量，但套管接箍必须与其它参数组合使用，以作为深度控制。扶正器将仪器保持在套管中心。仪器系统配置图见图6—13。

通过数字处理和资料解释，可提供井下流体性质、产液量及产液井段。在三相流井内，可先按两相流模型解释，再与手工计算相结合，求出油、气、水的产量。

2）1″（25.4mm）环空组合仪 可用于装有偏心井口的抽油机井内产液剖面测井。组合仪包括磁定位仪、井温仪、涡轮流量计、示踪流量计和持水率计等五种仪器。仪器一次下井可分别测得磁定位、梯度井温、微差井温、持水率、伽马示踪流量、涡轮流量、测速及电缆张力等八条曲线。应用上述曲线可以解决以下问题：

①确定泵体、油管头、射孔层位及封隔器准确位置；

②确定最下出液层底部深度，求得产液剖面；

③在厚层条件下，可定性判断层内产液量变化；

4）在特殊条件下可以判断倒灌和串槽。

3）x-y井径测井仪　井径测井仪是用于测量套管内径变化的仪器。外径44.5mm的x-y井径仪可通过油管下入欲测井段进行井径测量，而外径88.9mm的x-y井径仪，必须起出油管在套管中测量。

x-y井径仪一次下井可以测得互成180°的两组井径曲线，通过对曲线的分析解释，可以近似判断井下套管的椭圆度，找出变形井段，也可以检查射孔井段的井径变化。

x-y井径主要机械特点是可用电机控制井径腿的伸缩。下井前井径腿可收进同仪器直径一致。测量时再把井径腿放开，靠井径腿的弹力测量井径变化。

井径仪采用频率输出，下井前和测井后都需用井径规进行刻度，通过地面记录系统转换，可直接得到井径变化的曲线。

4）40臂井径仪　专门用于检查套管变形、孔洞和

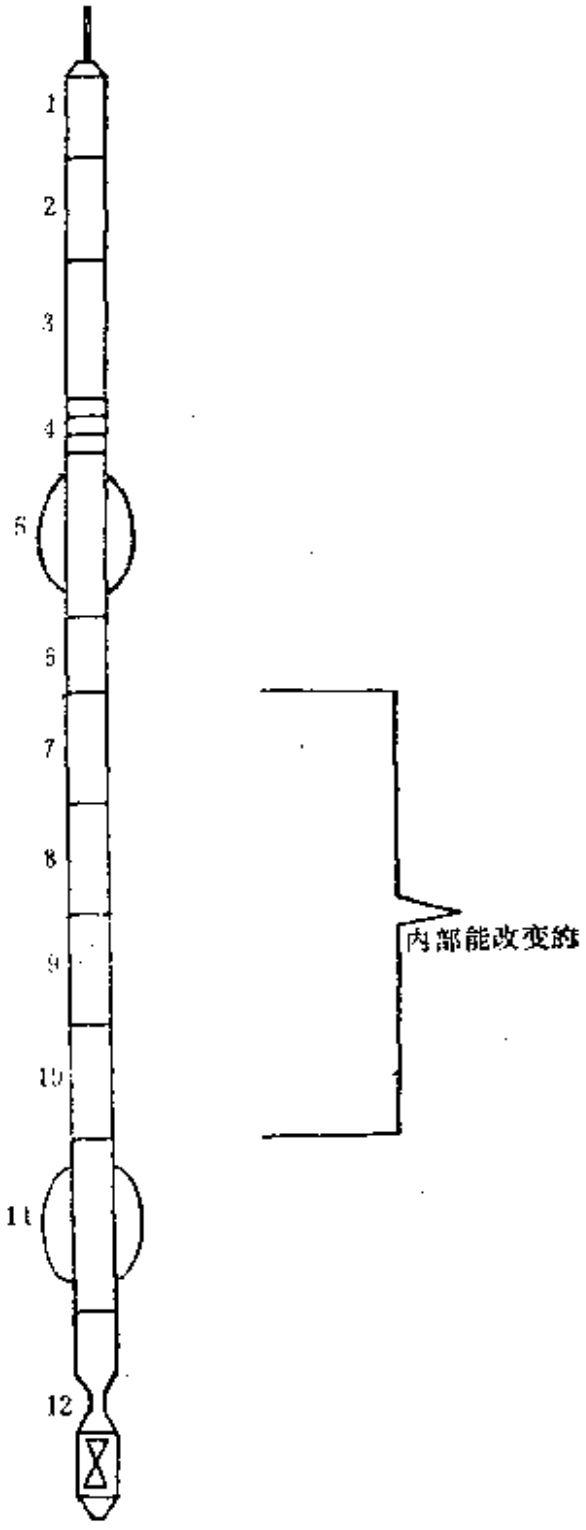


图 6—13　36mm组合仪系统配置图
1—电缆头；2—多用接箍定位器；3—加重；4—万向接头；5—扶正器；6—模拟负载；7—自然伽马；8—井温；9—含水率；10—液体密度；11—扶正器；12—高灵敏流量计

内壁腐蚀的精密仪器。测井时仪器在套管内扶正居中，仪器四周伸出40个探测臂，每一探测臂紧贴套管内套。探测臂和扶正器的伸缩可通过仪器内的微型电机控制。如果在$5^1/_2$″套管内测量，相邻两臂在套管内壁的距离约1cm，任一位置套管内径径向有1mm的变化，井径腿都能探测到并被地面仪器记录下来，并测得套管实际壁厚、套管最小内径，电缆张力和仪器测速等四条曲线。

通过对上述所测曲线解释可获得以下成果：

①套管内壁是否光滑，有无腐蚀现象；

②套管有无大于1cm的孔洞；

③套管有无椭圆变形；

④套管有无微小断裂。

因此，40臂井径仪可用于检查原因不明的出液和漏失问题，压裂前的套管质量检查以及封隔器坐封不好的原因调查等。

40臂井径仪的外形和测量原理见图6—14和图6—15。

5）噪声-井温仪　DDL-Ⅲ数控测井系统配备了噪声井温测井仪，其基本组成是一个高灵敏的声纳探头和一个温度探头。当井下流体流动时，特别是当其流态是湍流时，就会振动而发出声波。这声波的幅度和频率是和流体的成分、流量和流速有关。当井下声波被声纳接收转换为电信号传到地面后，进行频谱分析。通过加密点测的数据连成曲线，可以判断井下出液、出气、出砂及串槽的位置。

应用噪声-井温仪可获得以下数据和曲线：

即：磁定位CCL曲线、梯度井温曲线、微差井温曲线、点测噪声数据和电缆张力曲线。

在一定的测井条件下，根据噪声剖面图并配合井温曲线可以定性判断：

①是单相流动还是两相流动；

②井内是否出砂；

③是否存在管外流动。

6）RDT微差井温仪　RDT微差井温仪又称径向微差井温

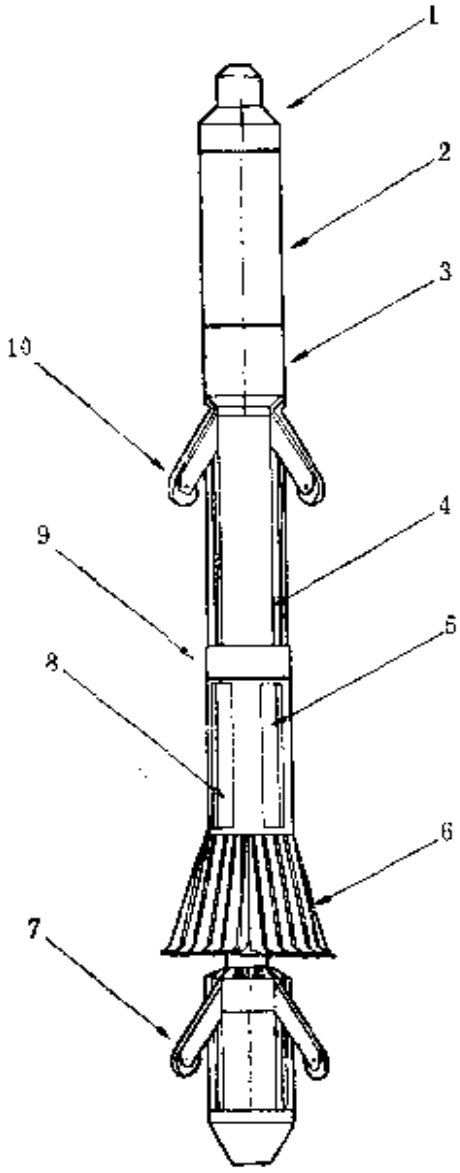


图 6—14　40臂井径仪外形结构图

1—仪器头短节；2—线路筒；3—连接护套；4—机械传动护盖；5—扁平弹簧（在护盖下）；6—传感臂；7—下扶正器；8—弹簧护盖；9—护盖；10—上扶正器

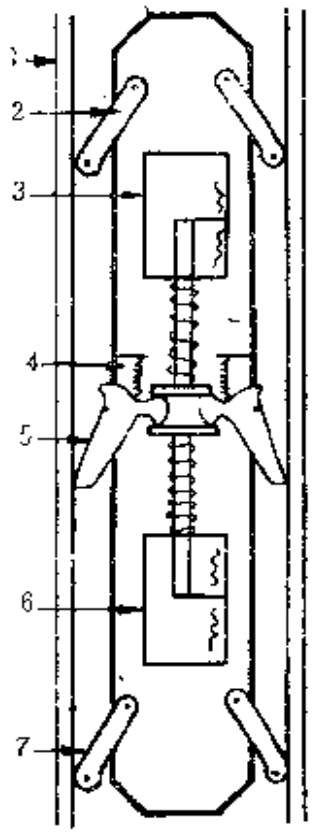


图 6—15　40臂井径仪测量原理示意图

1—套管；2—扶正器；3—最大剩余壁厚电位器；4—压缩弹簧；5—40个探测臂；6—最小内径电位器；7—扶正器

仪。它是DDL-Ⅱ 测井系统中很有特色的一种工程测井仪器，该仪器主要可用于探测套管外串槽。整个仪器主要由磁定位CCL、梯度井温和径向微差井温等三部分组成。

RDT的主要原理是，当套管外水泥环中存在液体流动时，这种

流动的液体会加热或冷却相邻的套管，这导致套管接近串流的一侧温度有所升高或降低。灵敏度较高的一对探测臂在检测这微小温差后，便可确定套管外是否有串流和串流存在的相对方位。

测井时，把RDT仪器下达可能串槽井段，伸开一对探臂，使其紧贴套管内壁缓慢旋转，在旋转三到四周后，停止旋转和收紧探臂，把仪器下到另一预定深度继续测量。

RDT可测得如下曲线。即：磁定位 CCL 曲线、梯度井温曲线和微差井温曲线、径向微差井温曲线、旋转标记曲线、电缆张力曲线。

RDT的使用条件如下：

①不能在射孔井段和套管有严重损坏的井段测量，特别是当套管椭圆变形时，RDT双探测臂难于均匀地贴紧井壁，导致结果失真。

②RDT 可通过油管下井或直接下入套管，但不能下入正在生产的抽油井内。

③RDT测量串槽的先决条件是串槽井段有液体流动，但如果测井时停泵或关井，则同时也会造成串槽井段液体流动的停止，此类串槽则难于测出。

④在某些情况下，测井时地面注入低温液体，是一种有效的探测串槽的工艺手段。

7）水泥胶结测井组合仪

DDL-Ⅱ配备了二种CBL/N/GR测井仪，一种直径是$3^1/_4$″；另一种直径为$1^1/_{16}$″（43mm），可以通过油管下入井内。这两种仪器的自然伽马和中子测井仪在特性上十分接近，但在声波仪器特性上差异较大。

固井声波、中子、自然伽马组合仪一次下井可以测得以下九条曲线。即：磁定位曲线、3ft 声波幅度曲线、3ft 声波时差曲线、3ft变密度曲线、5ft声波幅度曲线、5ft时差曲线、5ft声波变密度曲线、中子-中子测井曲线、自然伽马测井曲线。

声幅测井曲线经室内计算机处理后，还可以计算出一条水泥

胶结指数曲线。

仪器特点：

①由于这二种声波仪器采用了3ft和5ft两种源距的接收器，并且由计算机进行全波采样记录，采样信息多，解释成果比较可靠；

②一次下井可测得全部曲线，提高了测井时效和测井质量；

③全部测井曲线都记录在磁带上，只要原始记录无误，即使刻度参数选择不当，事后仍可用经校正的刻度参数重新计算曲线并获得最佳解释结果；

④用胶结指数评价第一界面胶结质量，比通常所用的声幅曲线评价固井质量更为可信。

应用的有利条件：

①固井后的固井质量检查和射孔所需要的放射性校深测量，特别是油层附近有高压水层的井。

②下入$4^{1}/_{2}$″尾管完井的特殊井。

③3500～4000m左右的深井。

④怀疑有串槽的老生产井。

⑤应用$1^{11}/_{16}$″自然伽马仪器可进行深井同位素吸水剖面测井。

⑥出砂、压裂等辅助性工程井。

应用的不利条件：

①硬地层的首波干扰。

②套管和水泥之间有微环或微间隙存在。

③井眼垮塌严重的井。

④井眼过小或套管偏心导致套管外周围的水泥厚度小于1″（25.4mm）的井。

三、CSU数控测井仪

CSU全称是CYBER SERUICE UNITE，即数控服务系

统。是施伦贝谢测井公司80年代技术，我国共引进了12套地面系统和用于生产测井的17种探头共约 50 支下井仪器及一些辅助设备。

1. 地面测井系统

CSU地面测井系统是以两台小型计算机为中心，和一些外围设备和辅助设备共同组成。整个系统安装在一台万国牌重型汽车上。地面仪器采用两台PDP-11/34小型计算机，内存为256K字节。大部分外围设备和井下仪器接口线路、深度系统都是双套的。测井时除计算机外，其它部分的两套设备同时工作。这样，当一套设备发生故障时，仍能保证正常测井。

CSU系统原理框图见图6—16。

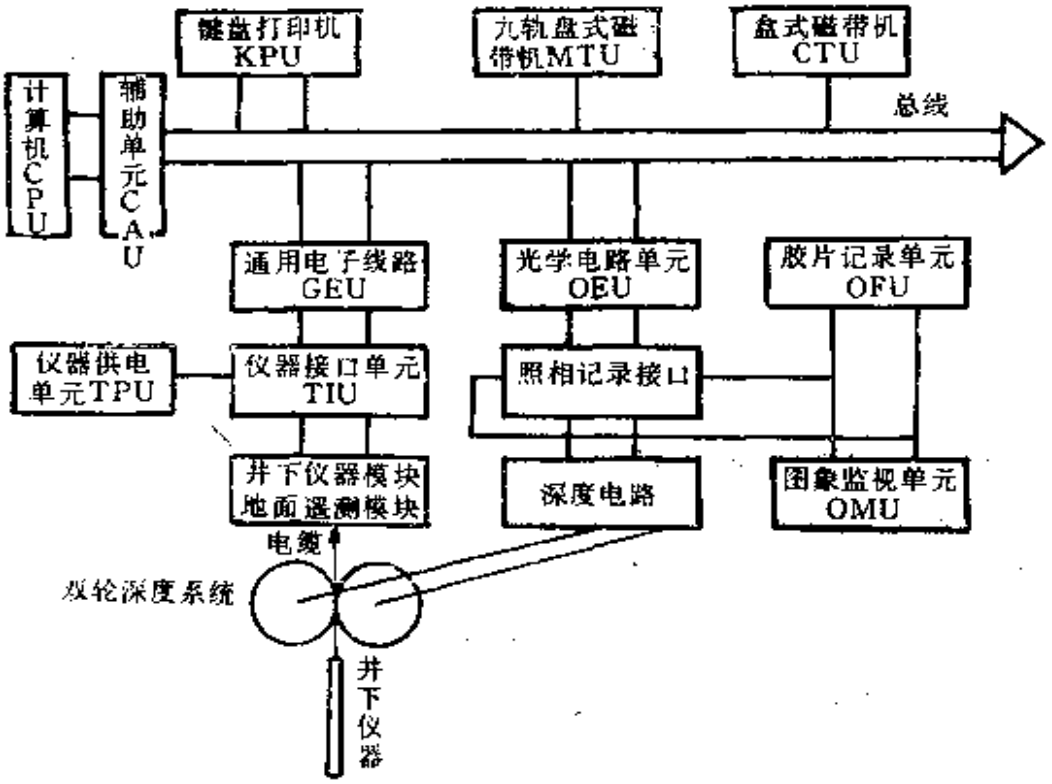


图 6—16 CSU系统原理框图

计算机控制着整个测井过程，并对测井数据进行处理。井下仪器接口单元（TIU）和通用电子线路单元（GEU）为井下仪器与计算机之间提供信号通道，计算机发出的信号也经由GEU和TIU送往井下，控制着井下仪器的工作。TIU还为井下仪器供电

提供通道。

CSU有两套独立的深度系统，测井时可以单独使用其中的一套，也可以两套同时使用取其平均值，精度可达0.03%。

照相记录系统（OFU）采用光导纤维，它把光束聚成直径为0.0025in的光点射到胶片上，使记录的图像更为清晰。每个记录仪可同时记录测井曲线以及深度线、深度码、横向比例尺网格线（有线性网格和对数网格）、各种岩性符号（共有13种符号）、字符、数字和各种标示符等。这些格线、岩性符号、字符、数字等由光学电路单元（OEU）完成。记录胶片由深度脉冲控制的步进马达驱动，深度比例有公制和英制两种，共有12种供选择。两台记录仪可同时记录两种深度比例尺曲线。它允许一次记录16条曲线，光学监示单元（OMU）可随机显示任一记录仪所记录的100ft曲线。OMU还有记忆功能，可以让曲线固定不动，以便于观察。

计算机辅助单元（CAU）是供通信用的，它包括调制解调线路和电缆通讯线路。调制解调线路通过电话、无线电、微波或人造卫星把测井数据发送到计算机中心或另一套CSU，也可以从那里接收信息。电缆通信线路与井下的电缆通信系统（CCS）配合，使井下仪器的组合有更大的灵活性，可以传输更多的测井信息。

键盘打印机（KPU）提供了人机对话的手段。操作员可用它输入命令，输出计算机信息，打印各种表格。本系统共有两个磁带记录单元：一台半英寸九轨磁带机（MTU），记录密度为800BPI；一台CTU1/4″4轨，其中有三个盒式磁带机记录密度为1600BPI。磁带机除记录数据外，还可以输入各种操作程序。

CSU地面仪器可控制井下仪器的操作，如控制声波仪器井下电路增益、伞式流量计集流伞的启闭等，CSU系统还可以进行井壁取芯和射孔作业。

CSU有较完善的诊断程序和自检设备。有一个信号发生器模块，可以产生七种数字信号和两种模拟信号。它与诊断程序配合，

可以诊断仪器的每个部件、每个印刷板。

CSU的地面设备还包括绞车、电缆、发电机、洗相设备、晒图设备等。共有两台发电机：主发电机和备用发电机，功率分别为10kW和6kW。它自带发电机再配以井架车，野外工作能力强，不受任何条件限制。

CSU有较强的现场资料处理能力，可绘制各种交会图、直方图等。对裸眼井或套管井资料作现场快速直观地层评价，如生产测井快速直观解释PLQL，水泥胶结指数快速直观解释等BIQL，热中子寿命测井快速直观解释TQOL等。

CSU数控测井的主要特点：

（1）测井过程是在程序控制下自动完成的，减少了人为误差，操作人员摆脱了繁琐的操作，可集中精力对测井质量进行分析和控制。由于使用了OMU图形监视仪，可随机显示100ft测井曲线，即时监视测井质量。

（2）遥测系统适用于控制裸眼井和套管井多种测井，当研制出新的井下仪器时，只需增加适当的软件和接口，而不必另设专用面板。

（3）在测井过程中可适时地对测井数据进行某些处理，使用户得到满意的测量结果。

（4）采用标准记录格式的磁带，可直接送计算中心处理，并与多数通用计算机兼容。

（5）用计算机进行刻度，一旦发现刻度有问题，可对井下仪器重新刻度，而不必返工重测。

（6）有较完善的诊断程序和自检设备，能随时进行系统的检查，以便及时排除故障，确保仪器工作可靠和测井质量。

2. 井下仪器用途及主要技术指标

（1）生产测井组合仪PLT　PLT（Production Logging Tool）是一种多参数井下仪器，用于测量生产井的产出剖面和注入剖面。该仪器使用井下遥测系统ATC及接口电路PIC，它可以组合7～8种探头并同时测得8～9条测井曲线。

仪器串的组合顺序及用途见表6—4，各探头的主要技术指标见表6—5。

表 6—4 PLT仪器串组合顺序及主要用途

测量方式	仪器名称	代号	主要用途
连续测量	套管接箍定位器	CAL-U	测量套管接箍
	井下遥测电路	ATC-B	实现计算机对井下仪器通讯控制的接口电路内装有自然伽马探测器
	过油管井径仪	TCS-C	测量套管内径
	接口电路	PIC-B	模数转换接口电路
	压力温度计	MTS-D	测量井下压力和温度
	压差式密度计	GMS-S	测量井下流体平均密度
	全井眼流量计	FBS-B	测量井下流体产液量
点测	高灵敏度石英压力计(HMS接在PID上面)	HMS	点测井内各点压力精度达0.5Psi(3.45kPa)分辨率达:0.01psi(69Pa)
	伞式流量计	PBFS	由电动机控制伞的开闭；实现集流式测量

PLT在产液剖面测试时有以下优点：

1）在生产波动时，多参数同时测量可提高综合解释精度。如同时测压力和温度可为气体的体积流量提供校正，井径的变化可为流速的解释提供校正。

2）应用CSU 所测的生产测井组合仪资料可进行现场快速直观解释，简称PLQL（Production Logging Quick Look），它将给出定量解释成果表，并可给出生产或注入井的流量剖面图，在两相流的生产井中，其定量解释成果能给出轻相和重相的流量剖面图。

3）连续测量为多层开采细分层的研究提供资料。

4）点测高灵敏度压力计和集流式伞式流量计可为新井产能推算提供资料。

5）组合仪带有自然伽马和磁定位接箍探头，可为层位和深度校正提供可靠资料。

表 6—5　生产测井组合仪PLT各探头技术指标（仪器外径$1^{11}/_{16}$in）

探头名称	长度 cm	重量 kg	最高温度 ℃	最大压力 MPa	测量范围	分辨率	测量精度	备注
接箍定位器 CAL-U	63	3.17	240	141				
遥测电路 ATC-B	259	8.14	176	141				
自然伽马 GR			176			1API	±7%	在ATC中
过油管井径仪 TCS-C	196	11.16	176	105	2～18in	2.54mm	±1.4%	
高灵敏度石英压力计 HMS-B	156	9.98	150	85	0～12000 psi(82.7 MPa)	0.01psi (69Pa) SEC	0.025% 或0.5 psi(345 kPa)	
接口电路 PIC-A	179	9.52	176	141				
温度压力计	105	4.99	176	106	-25～175℃	0.02℃	0.3℃	线性精度0.5%满刻度
MTS-C					0～20000psi (0～137.9 MPa)	0.1psi (689Pa)	±0.18% 满刻度	
压差式密度计 GMS-C	192	12.70	175	147	0～1.6g/mL	0.005g/mL	±0.03 g/mL	
全井眼流量计 FBS-B	195	5.5	200	141		0.5转	总流量的±10%	
伞式流量计 PBFS	/	/	150	106	8～239m³/d			

PLT生产测井组合仪主要缺点是由于仪器较长（约12m）使用井口压力设备带压测井施工很困难。特别是冬季，对原油凝固点高、含蜡量高及高含水井如无锅炉车配合很难施工。

（2）工程测井井下仪器　工程测井井下仪器主要包括多臂

井径仪、套管分析仪、电磁测厚仪及声波测井仪等四种。

1）多臂井径仪MFCS

①原理特点　多臂井径仪能给出六个半径的测量，三个最大半径和三个最小半径。在裸眼井还可测出方位。见图6—17。

②技术规范

工作温度	−25～175℃
耐　　压	175MPa（25000psi）
测量范围	$4^1/_2$～7in套管（36臂探头）
	7～11in套管（60臂探头）

③精度

内径分辨率	0.254mm（0.01in）
垂直分辨率	
最大	40.64mm（1.6in）
最小	20.32mm（0.8in）

（分辨率是在850m/h测速下的数据）

④稳定性（76.2～31.75mm）

最高	0.762mm（在$2^1/_4$～3in半径套管内相当于0.17%～0.43%）
最低	1.010mm（相当上述尺寸套管内的0.89%～0.57%）

⑤仪器尺寸

半径	89mm
重量	119kg
长度	6380mm

2）套管分析仪（PAT-B）

①原理特点　用上、下共12个电磁传感器阵列的探头信号，给出套管内表面和总厚度变化的定性分析。仪器使用七芯电缆，结构见图6—18。

②技术规范

最大外径	由所使用的极靴而定

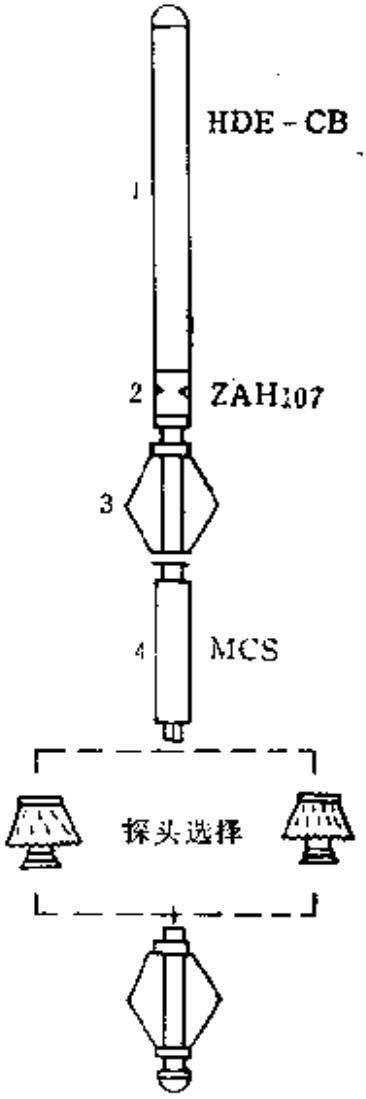


图 6—17 多臂井径仪MFCS结构示意图

1—电子线路；2—接头；3,5—扶正器；4—探头

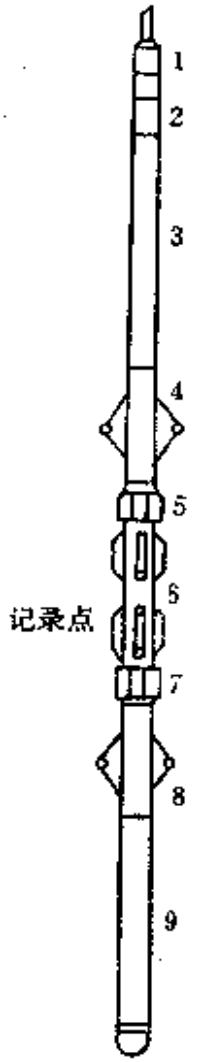


图 6—18 套管分析仪(PAT-B)结构示意图

1—电缆头；2—短节；3—上电子线路；4—扶正器；5—磁极靴(取决套管尺寸)；6—探头部分；7—磁极靴；8—扶正器；下电子线路

长　　度	7773mm
工作温度	−25～175℃
耐压	140MPa
分辨能力（当深度为1/2套管壁厚时）可探测有缺陷最小孔眼	10mm

可探测最小套管锈蚀范围直径

12mm

测量精度

涡流（内壁）　　±15%

漏磁通（壁厚）　　±10%

③测量范围　使用不同的磁极靴适用套管的极限范围见表6—6。

表 6—6　不同磁极靴适应套管规范表

探头型号	极靴最大外径 mm	套管规范 mm
BB	111.3	127～140
BB	136.7	168.3
BB	144.0	177.8
BB	160.8	193.7
CA	183.4	
CA		219.1
CA		244.5
CA		273.1
CA	240.5	

套管分析仪的结构示意图见图6—18。

3）电磁厚度仪ETT-D　电磁厚度仪ETT-D主要用来测量套管内径和壁厚，给出定量的解释成果，确定套管腐蚀、破裂及套管的剩余壁厚。仪器的结构见图6—19。

①说明　ETT-D共有三套线圈系，工作在不同的频率。如下所示：

65kHz　　记录套管内径

6kHz

1.5kHz　　确定套管特性，磁导率和金属电导率

0.375kHz

35Hz

17.5Hz　　确定套特性，即磁导率和金属电导率

8.75Hz

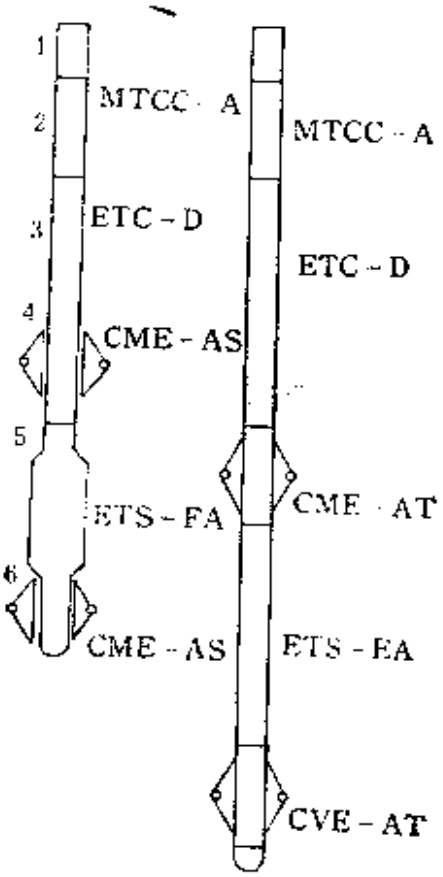


图 6—19 电磁厚度仪ETT-D结构示意图

1—接头；2—遥控电路；3—线路筒；4—扶正器；5—探头；6—扶正器

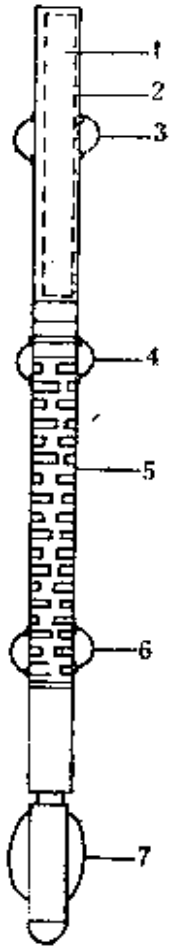


图 6—20 声波测井仪结构示意图

1—电子线路；2—外壳；3,4,6,7—扶正器；5—探头及隔声体

②技术指标

磁井径测量精度	±0.05～±0.025in
套管厚度测量精度（对单层套管）	±25°～±1.5°
耐压	140MPa
耐温	177℃

③测量范围

小探头用于114.3～177.8mm套管

大探头用于193.7～228.6mm套管

4）声波测井仪SLT-N，SLT-J SLT-N为双发射四接收探

头，可给出岩性和孔隙度资料，套管井可提供水泥胶结评价；SLT-J为单发射双接收探头，功能与SLT-N相同，可通过钻杆或油管进行施工，精度不如SLT-N，主要用于水泥胶结评价。

仪器的技术规范见表6—7，其结构示意图见图6—20。

表 6—7 声波测井仪技术规范表

参　　数	SLT-N	SLT-J
测量范围，mm	111.1～457.2	50.8～244.5
精　　度，%	时差±5	±3.09
	声幅±3	±20
工作温度，℃	−25～175	−25～175
耐　　压，MPa	140	140
外　　径，mm	92	43
长　　度，mm	8230	7010
重　　量，kg	190	82

（3）放射性测井仪　引进施伦贝谢测井公司CSU数控服务系统的放射性测井仪器有热中子衰减时间测井仪、自然伽马能谱测井仪及小直径自然伽马测井仪共三种井下仪器。

1）热中子衰减时间测井仪TDT-M（Thermal Neutron Decay Tool）

①原理　测量热中子在地层中从产生到消除寿命的一种仪器，简称中子寿命测井仪。中子寿命的长短与地层中元素的俘获截面Σ有直接关系，俘获截面Σ愈大，中子寿命愈短，反之则愈长。氯元素的俘获截面Σ较大，因此，当地层中含有高矿化度水时，由于水层的Σ值较油层大得多，可利用中子寿命测井划分油、水层。同样道理由于油气层的含氢量不同，Σ值也不同，利用中子寿命测井也可划分油气层，确定油气界面。

②用途

a．在生产井中寻找油气层，在高矿化地层水（约50000ppm）高孔隙度（大于15%）地层的套管井中，中子寿命测井仪可穿透钢管，定量计算出剩余油和残余油饱和度。

b. 用时间推移测井方法监测生产层的含油饱和度变化，评价储集层。

c. 在高矿化度地层可定量划分油水层，低矿化度地层定性划分油气层，也可用于气顶监测。

d. 在低矿化度地层水地区，结合测—注—测施工，可确定地层的残余油饱和度。

$$S_{oy}=1-S_w=\frac{\Sigma_{t2}-\Sigma_{t1}}{\phi(\Sigma_{w2}-\Sigma_{w1})} \qquad (6-2)$$

式中 S_{oy}——残余油饱和度；

S_w——含水饱和度；

ϕ——孔隙度；

Σ_{t1}，Σ_{t2}——不同矿化度溶液注入地层后所测地层俘获截面；

Σ_{w1}，Σ_{w2}——不同矿化度溶液的俘获截面值(取样分析换算值)。

应用求得的残余油饱和度资料不仅能分析注水效率，了解剩余油的分布规律，为三次采油提供依据，同时也可以研究和改进注水开发工艺，提高原油最终采收率。

③技术规范

外径	43mm
探测器	2个
探测器类型	NaI(Tl)
中子管产额	3×10^8
采样方式	井下16门
耐温	175℃
耐压	110MPa

2) 自然伽马能谱测井仪 NGT-D (Natural Gamma Ray Spectrosory Tool)

①用途 主要用于沿井身测量岩石自然伽马强度并按能级分别测量铀、钍和钾含量的一种放射性测井仪器。测量结果可用于研究生油层、寻找页岩储集层、识别放射性积垢等。在油田开发过程中观察油水推进情况，重新评价储集层。

②原理　地层中含有三种最基本的放射性元素铀（U）、钍（Th）、钾（K），这些放射性元素在核衰变达到稳态过程要放射出不同能级的伽马射线，其中铀为2.6Mev、钍为1.76Mev、钾为1.46Mev。仪器设有五个能窗，根据五个能窗计数率通过标准短阵方程计算出铀、钍、钾三种基本元素的百分含量。

③技术规范

外径	92mm
长度	2616mm
测量范围	0～500API
测量精度	U：1.5ppm
	Th：1.5ppm
	K：0.1%
垂直分辨率	500mm
探测深度	300mm
耐温	－25～150℃
耐压	140MPa

3）小井眼自然伽马测井仪PGGT（Powered Gen Gamma Ray Tool）

该仪器与过油管射孔枪、生产井流体取样器组合，称为带枪的伽马测井仪，主要用于层位对比、深度校正和放射性示踪测井。

仪器的主要技术规范如下：

外径	43mm
长度	1245mm
测量范围	0～2000API
测量精度	在550m/h的测速下统计精度为±4%
	（时间常数2s，放射性强度为80API）
稳定性	±5%（在温度为25℃～150℃时）
耐温	－25～175℃
耐压	140MPa

4）生产井流体取样器 PST-C（Production Sampling

Tool)

该仪器可在井下取出给定深度的流体样品，并在保持原始状态（压力）的条件下，分析确定该处流体的压力、油、气、水含

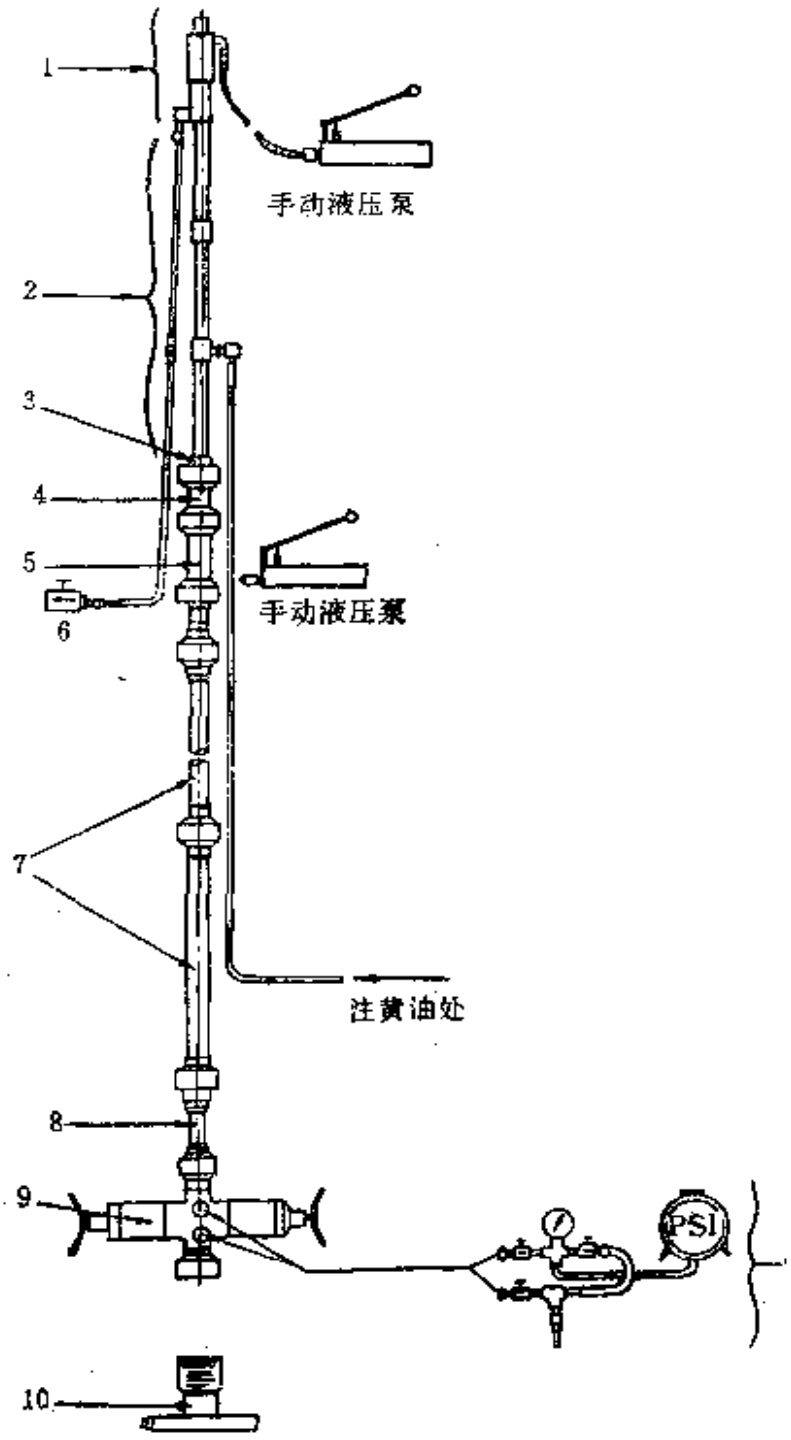


图 6—21 井下压力设备（WHE-A）示意图

1—控制头；2—泄流管；3—流管接头；4—球形单向阀；5—仪器；6—泄流阀；7—防喷管；8—仪器防掉器；9—130P闸门；10—井口

量及物性参数，为生产井的测试和油层产能情况提供第一性资料。仪器下井每次取样656mL，工作温度为 −25～175℃，耐压700 MPa。

5）井口压力设备WHE-A（Wirelene High Pressure E-guipmrnt）

WHE-A是生产井带压测试施工的井口防喷装置，耐压350 MPa，主管内径63.5mm，使用全部立管时，总高度约25m。在生产测井组合仪PLT施工时，WHE总高约20m。整个设备由井口设备和注油液压控制系统两大部分组成。（见图6—21）。装置上设有手动仪器防丢板、液压仪器抓持器、液压全封和球阀等，其各项防喷和防井下落物措施比较完善，用WHE可实现全密闭带压测井施工。其主要缺点是高大笨重，特别是在高寒地区冬季难于施工。

四、AT+数控测井仪

AT+数控测井系统是美国康拍特测井公司推出的一种实用全组合多功能测井系统。它吸收了美、法、加拿大等各测井公司仪器的优点，从高技术、高可靠性出发，结合油田测井实际，设计成一个功能强、组合灵活、扩展容易、小巧玲珑的大型数据采集处理系统。全部地面仪器及绞车等辅助设备安装在一台中型车上。不同的选配，可适应不同的测井目的，全配置可同时用于环空生产测井、过油管组合生产测井、工程测井及裸眼井测井等。

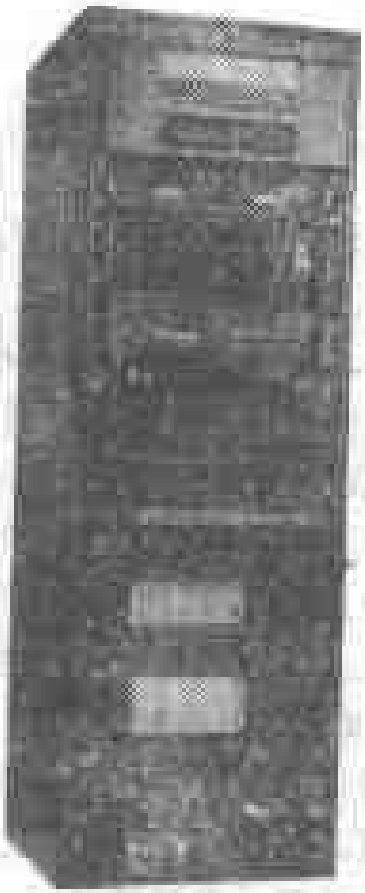
我国各油田共引进了十几套AT+数控测井系统及部分下井仪器，江汉第三石油仪表厂还引进了AT+的制造技术，主要制造用于环空测井、工程测井两领域的井下仪器。包括AT+地面仪器、1″多参数环空测井仪，$2^{9}/_{4}$″水泥胶结组合仪、$1^{3}/_{8}$″噪声测井仪及相应的数据采集、处理、解释软件。

1. 地面仪器

地面仪器采用标准组合机柜结构，测井专用计算机（ATU）



(a)



(b)

图 8—33 AT*地面仪器外貌图

及各外部设备、深度面板等都安装在机柜内，机柜整体气垫防震，操作室封闭空调。仪器外貌见图6—22。

（1）地面仪器配置　地面仪器主机ATU是一个双总线结构的专用计算机，配置不同的井下仪器接口卡，就可以完成不同的测井项目。不同测井项目的选配见表6－ 8。

表 6—8　不同测井项目的地面仪配置表

地面设备名称	环空生产测井	过油管组合生产测井	水泥胶结测井	裸眼测井
ATU（带显示器）主机	√	加FLEXg-TAK接口卡 √	加模拟、数字声波接口卡 √	加LAN裸眼井接口卡 √
GPU 绘图仪	√	√	√	可接2台绘图仪 √
MTU 磁带机	√	√	√	可接2台磁带机 √
DSU 外存贮器	√	√	√	√
DIU键盘	√	√	√	√
MPU电源 TPU多路电源 SPU射孔电源	√	√	√	√
CIU电缆选配 LSU信号选配				√ √
WCU 绞车控制	√	√	√	√
示波器	√	√	√	√
VBU冷却	√	√	√	√

（2）原理　地面仪器原理见图6—23。信号流程见图6—24。

1）测井　当一切准备工作就绪后，ATU 向MPU发出接通下井电源信号，MPU控制300V 电源通过单芯电缆向井仪器供电，

井下仪器的测井信号经MPU缓冲后进入ATU。

2）信号处理　数据来源有两种，一种是直接测井获得的数据（原始数据），另一种是存贮在外设中的数据（回放数据）。回放数据可以是未经处理的原始数据，也可以是经过处理的曲线数据。

测井数据经SCI（测井总线）进ATU的缓冲控制器。一路经

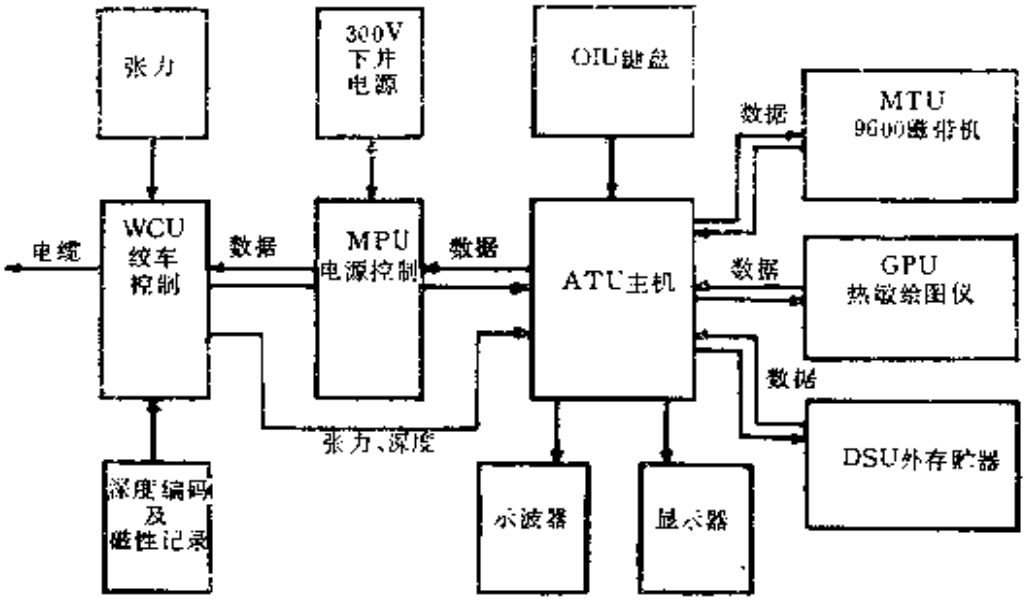


图 6—23　AT*地面仪器原理框图

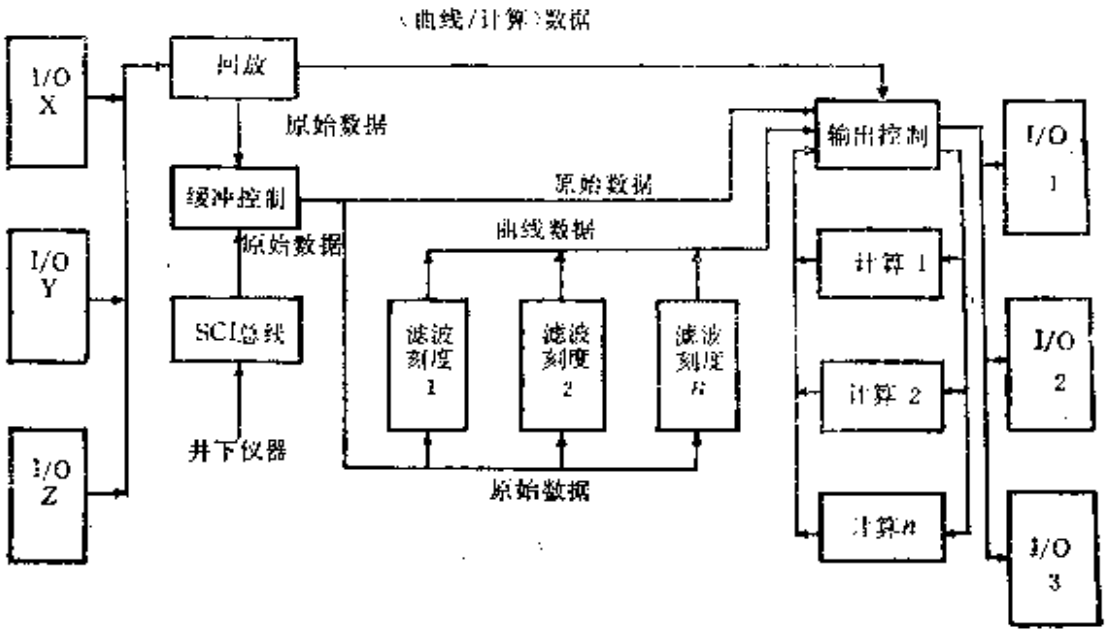


图 6—24　AT*地面仪器信号流程框图

输出控制直接存入外设，另一路经滤波刻度变成曲线数据进入输出控制，或存入外设，或计算处理。

回放数据与测井数据基本类似。原始数据是不能计算的，只有经刻度后的曲线数据才能进行计算。

（3）地面仪器主要单元

1）ATU单元　ATU是AT^+系统的核心，用于数据采集、处理，整个系统控制。32位MC68020微处理器作主CPU，并配有若干16位、8位微处理器子CPU、双并行总线、多任务系统、4M内存、40M硬盘，$3^1/_2$″软驱、640×400等离子显示器，81键专用键盘。

2）GPU单元　GPU是AT^+系统主要硬拷贝输出装置，它提供测井图、交会图、文字及数据表等硬拷贝。它是高尔顿（或罗兰）热敏绘图仪，可使用$8^1/_4$″不透明、半透明卷式或折叠式热敏记录纸，不需要调色剂及化学处理。打印头为热敏点阵式200点/in，最大绘图速度1in/s。

3）MTU单元　MTU是AT^+系统的外部存贮设备之一，用于存贮测井信息（LIS）数据，选用9600肯尼迪磁带机，记录磁道九道，盘式磁带用7″，8.5″，10.5″规格的磁盘，自动装卸，记录容量≥12M bit。

4）DSU单元　DSU是AT^+系统的辅助外部存储设备，可根据用户要求配备成不同形式。标准配置是一台60M bit的流式磁带机，另可选配与PC机兼容的软驱、硬驱。

5）MPU单元　MPU是AT^+系统单芯电缆下井电源控制设备，可提供直流0～300V，0～250mA的双极性稳压稳流电源。有电流、电压监视及短路、断路保护装置。

6）示波器　AT^+系统选用的是双踪、z轴调辉示波器，用于监视井下仪器测量，刻度信号。

7）WCU单元　WCU是AT^+系统绞车控制面板，由卡车12V电瓶供电，自带CPU的专用智能面板，用于深度、张力、速度等测量，以公、英两种单位制显示深度、电缆张力。可配二种编

码器，120脉冲/ft，最大测量张力8000kg。设有深度人工预置及校正。

2. 井下仪器

AT⁺地面仪器配备有各种井下仪器，目前国内引进的井下仪器有1″环空测井仪、$1^3/_8$″噪声测井仪、$2^3/_4$″水泥胶结组合仪及1″测卡仪(自带测井面板)。

(1) 1″环空测井仪　各种参数的环空测井仪可组合一起，同时下井，改变供电电压来控制井下仪器工作，在井筒中，多次起下完成各种参数测试（每次只能测量一个参数）。各下井仪器的技术指标见表6—9。

1) 密度计　利用物质对γ射线的吸收与密度有关这一特性制成的放射性密度计，可用来测量井内流体密度，从而可确定井内分层流体类型、比例，特别是对出气层产气量的测量结果更理想。计算公式为：

$$I = I_0 e^{-\mu L \rho} \qquad (6—3)$$

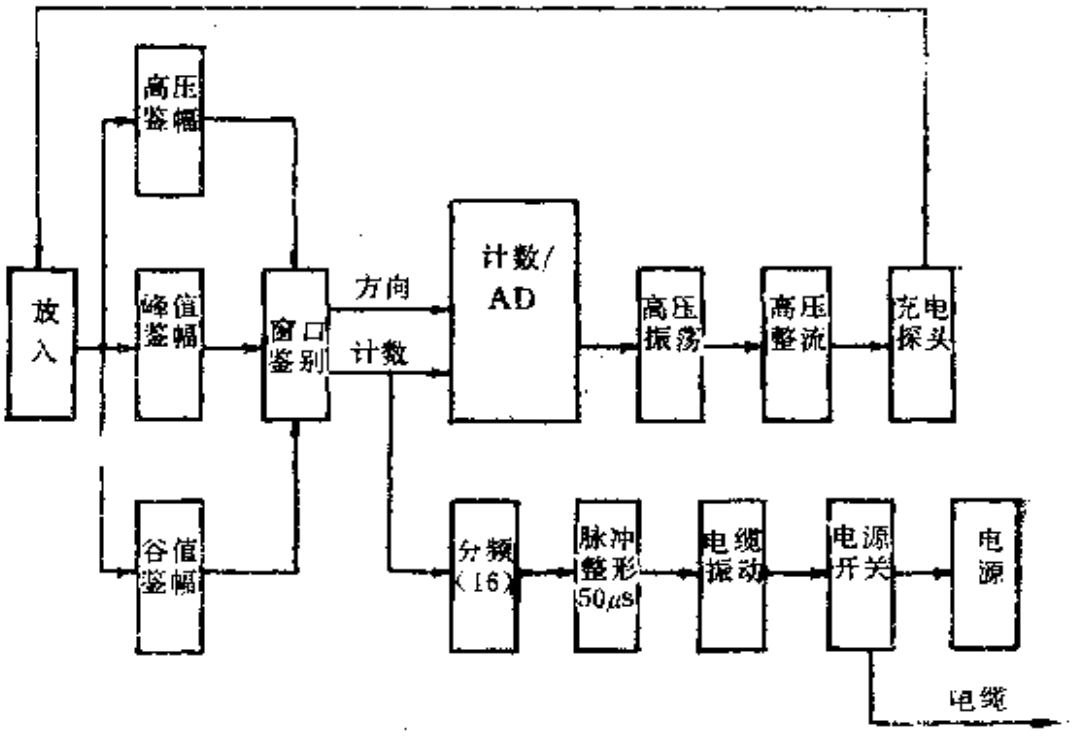


图 6—25　密度计原理方框图

表 6—9 环空测井仪技术指标汇总表

仪器名称	长度 mm	工作电压 V	耐压 MPa	耐温 ℃	分辨率	精度	测量范围	测速 m/h	探头类型	备注
流体密度计	1113	−60	117.2	163	0.01g/mL	0.04g/mL	0～1.5g/mL	≤550	光电倍增管 Cs^{137} 17mCi	
涡轮流量计	1727	−25	103.4	163			2.54～3048cm/s		涡轮	
正负γ仪	1232	−55	103.4	163				180～600	盖革计数管	
温度仪/含水率计	1273	+25/40	103.4	163	0.05℃/2%	±1℃/	−17～163℃/0～50%	≤550	铂电阻/电容	
示踪喷射器	1090	±100	103.4	163					漏斗容量 200	
电动扶正器	1626	±150	100	163						
测井 CCL	508	±25～±150	103.4	163				180～2160	电磁线圈	
射孔 CCL	330		103.4	163				540～2160	电磁线圈	

式中　I——仪器在吸收层的计数率，

I_0——仪器在空气中的吸收率；

μ——流体质量吸收系数；

L——吸收层厚度；

ρ——吸收层介质平均密度。

密度计工作原理见图6—25。

该种密度计的特点是有温度自动补偿功能，计数/(A/D) 转换器可控制高压振荡器振幅，从而改变光电探头高压来改变探头输出信号的幅度。当光电探头因温度影响输出幅度下降时，窗口鉴别器输出的方向脉冲与计数脉冲，通过计数/(A/D) 转换器使高压振荡器的输出幅度升高。反之，当光电探头因温度影响输出信号幅度升高时，高压振荡器输出幅度将下降。

2）温度/含水率计　温度探头为铂电阻，0℃时阻抗为1000Ω，温度系数为0.00375Ω/(Ω/℃)。含水探头为电容。

该仪器可用于测量油水井温度梯度和微差，确定生产井出水层位及含水率。测量原理框图见图6—26。

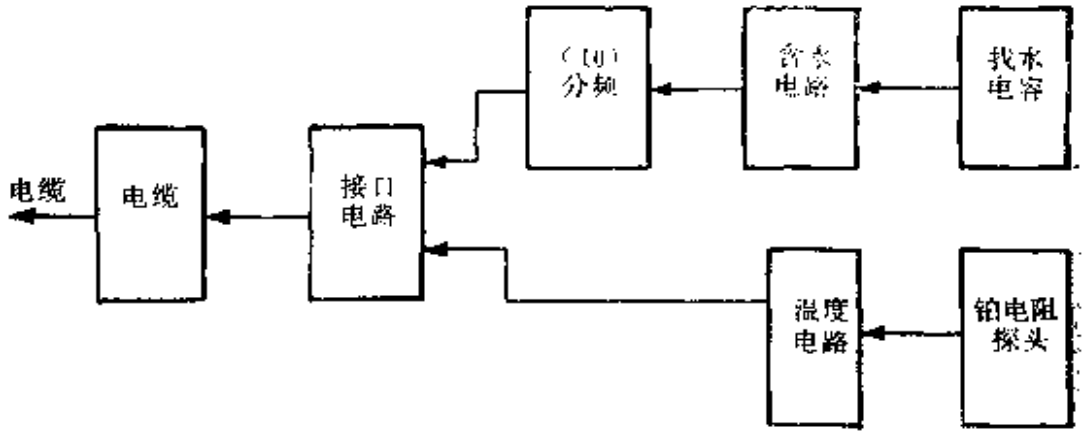


图 6—26　温度/含水率计原理框图

温度测量电路先将探头电阻值的变化转换成直流电压，放大后通过压控振荡器变成脉冲信号至接口电路，含水电路将电容的变化变成频率，分频后也送至接口电路，接口电路受供电电压的控制，当供电电压25V时，温度脉冲被选中，当电压为40V时，

含水信号被选中。

3）流量计　采用无磁性涡轮转换器的流量计，可测量流体流速与流动方向，涡轮叶片共八个，由钛合金制成，上带一个铍铜圆盘。当圆盘随涡轮转动时，将在如图 6—27 所示的接收线圈中产生感应电势。发射线圈由6kHz 交流信号激励。其测量原理框图见图6—28。

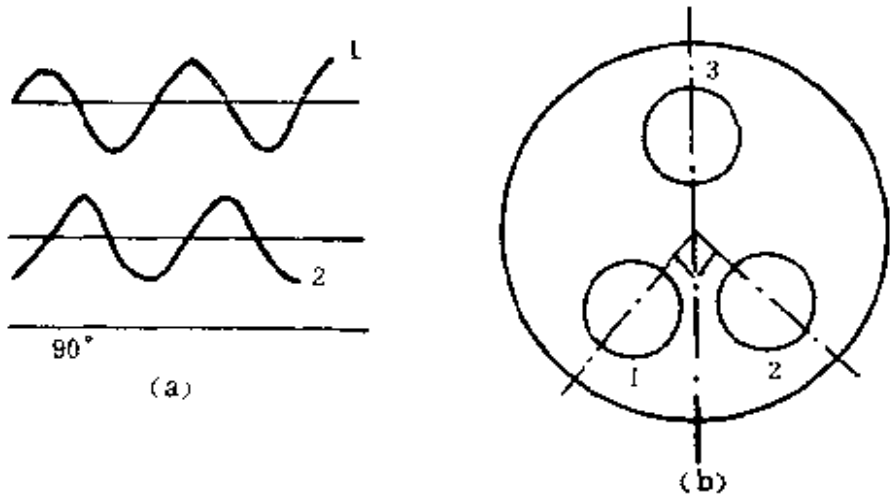


图 6—27　接收线圈相位及线圈平面位置图
(a) —接收线圈信号相位图；(b) —线圈平面位置图；
1，2—接收线圈（夹角90°）；3—发射线圈

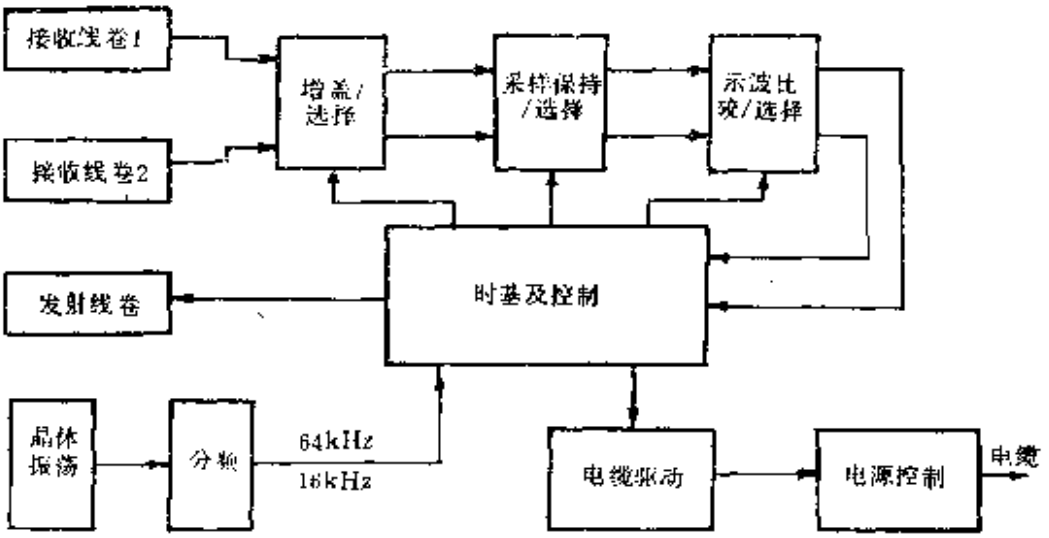


图 6—28　流量计原理框图

时基控制是一个可编程的EPROM器件，它提供整个电路的时序、控制及判断涡轮转向。发射线圈由6kHz交流信号激励，接收线圈输出载有涡轮转速的调幅6kHz信号，经增益、采样、检波、比较后输入控制电路。线圈1和2信号是交替处理，由时基控制电路进行同步控制。最后经判断转向后，由时基控制电路输出代表涡轮正、反转的正、负脉冲，经电缆驱动器传输给电缆。

4）伽马测井仪　伽马仪探头为盖革米勒管，改变仪器连线可改变输出脉冲极性。即同一仪器可接成正、负伽马两种型式。其原理见图6—29。

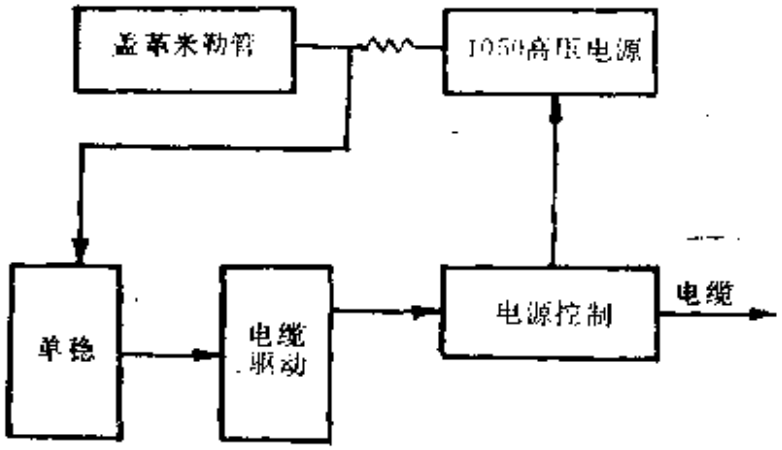


图 6—29　伽马测井仪原理方框图

伽马测井仪主要用作地层自然伽马的测量或示踪喷射器的接收仪器。

（2）1″测卡仪　该仪器不能与1″环空测井仪组合，它自带专用地面测量面板，用于测量钻杆、钻铀、油管、套管的拉伸位移和扭转位移量。仪器收缩后的长度为3040mm，伸开后长度为3620mm。仪器专用面板用于监测井下仪器传送到地面的信号，并记录，以便确定自由点。

（3）$1^{3}/_{8}$″噪声测井仪　可用于确定井内出气、出液、出砂层位及确定管外串槽。其频率范围为200Hz～20kHz，它分成六个记录道。其频率范围和用途见表6—10。

（4）$2^{3}/_{4}$″CBL组合仪　为检查固井质量的仪器，它由套管

表 6—10 噪声测井仪各记录道对应频率

道	频率范围	用途
1	200～20kHz	出液层
2	600～20kHz	出液层
3	1000～20kHz	出气层
4	2000～20kHz	出气层
5	4000～20kHz	出砂层
6	6000～20kHz	出砂层

接箍定位器、伽马仪、声波水泥胶结测井仪三部分组成。磁定位器CCL、伽马仪和声波信号经井下遥测筒处理后，由单芯电缆传送到地面，仪器测井正常组合顺序见图6—30。

1）仪器主要技术指标

耐压　　140MPa

耐温　　163℃

电缆头处电压　　100V DC

发射器个数　　两个

接收器个数　　三个

发射接收器间距　　$T_1$2.5ft$R_1$1ft$R_2$1.5ft$R_3$1ftT_2

2）遥测筒　遥测筒可同时处理五路信号，它与CCL电路同装在一块印刷电路板上。其原理框图见图6—31。

3）声波时序控制　声波时序控制图见图6—32。同步信号周期为256μs。

3．软件

AT⁺系统软件使用方便，修改更新容易，随着系统的不断扩充，新软件可通过软盘、盘式磁带或盒式磁带并入系统。AT⁺采用VERSDOS，它支持多种硬盘及硬盘驱动卡，还支持大多数流行的外设，采用实时多功能系统（RMS），提高了AT⁺系统的灵活性和速度。

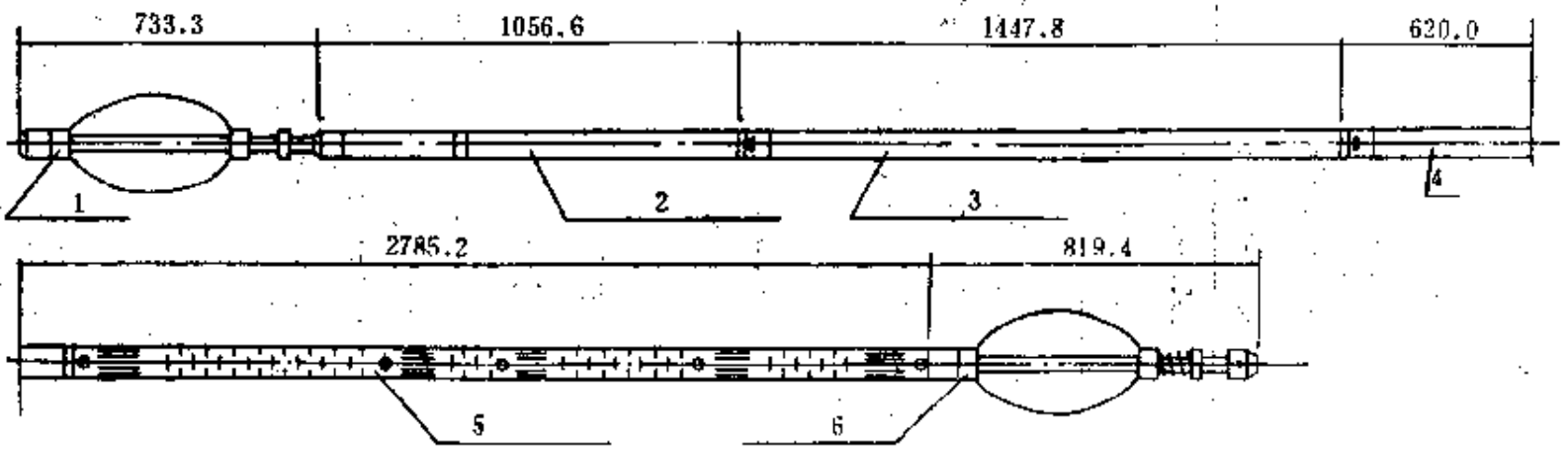


图 6—30　$2^{3}/_{4}$"CBL组合仪结构示意图

1—上扶正器；2—套管接箍定位器/遥测筒；3—伽马仪；
4—声变电路筒；5—水泥胶结仪；6—下扶正器

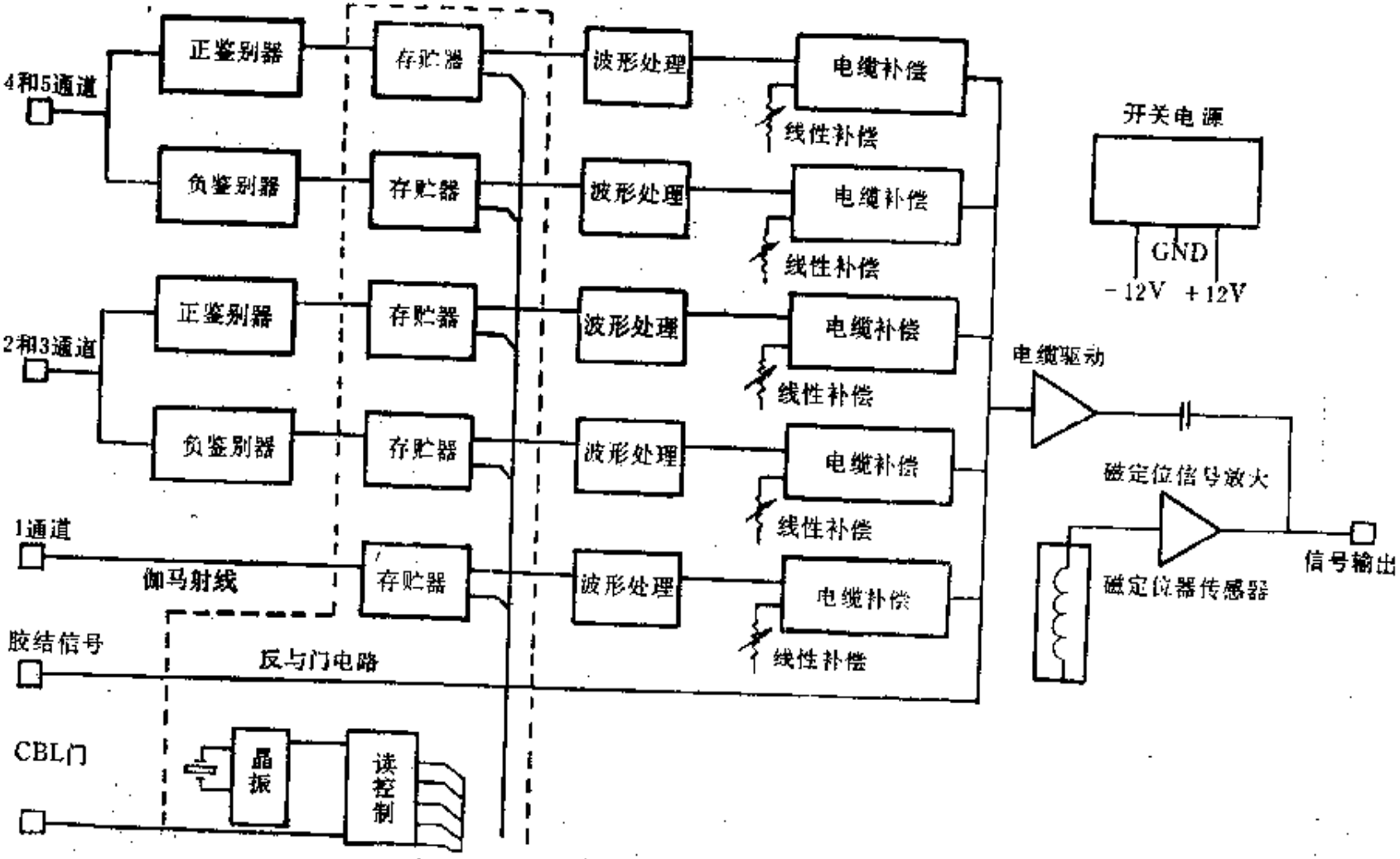


图 6—31 CBL组合仪遥测筒原理框图

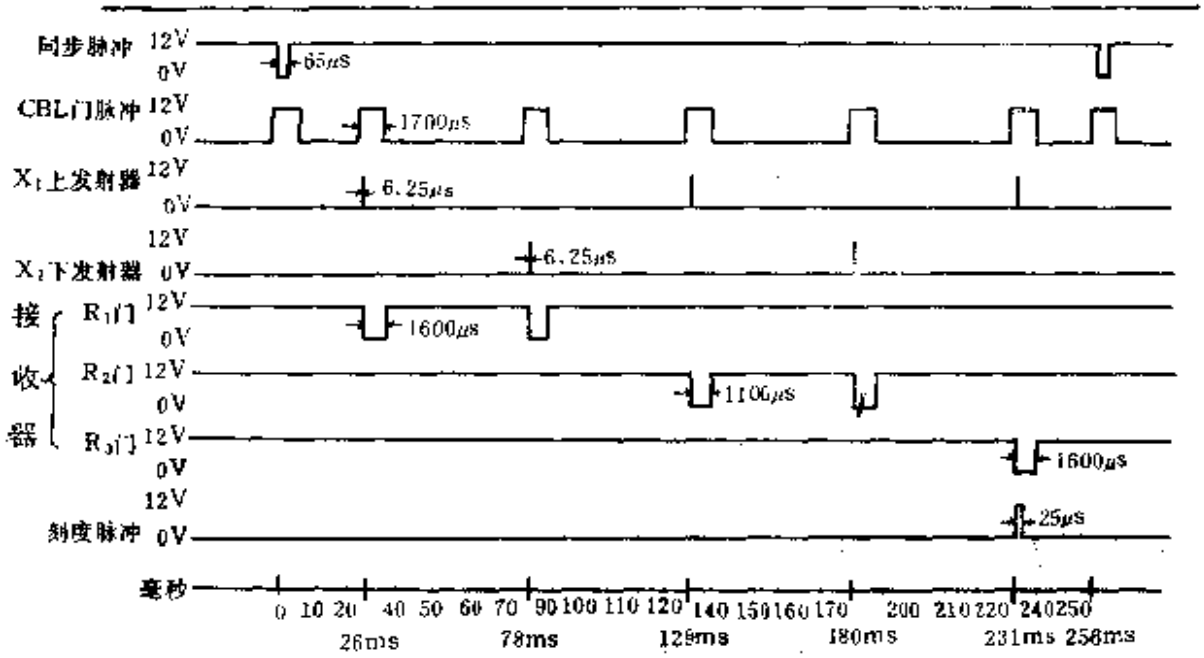


图 6—32 声波时序控制图

(1) 工作过程 系统软件通过自举操作自动装载，开机时，AT⁺系统自动运行固化在EPROM中初始诊断程序，完成对系统的自动诊断。自举和诊断完成后，系统进入程序装载，将硬盘上的VERSDOS装入系统，从此由VERSDOS控制AT⁺。软件启动过程是用一个链文件来启动一系列程序，链文件内容与启动过程一致。包括：综合库、初始化键盘和等离子显示器，执行控制任务、设置辅助窗口、状态窗口和对话控制。

(2) 系统程序 AT⁺系统程序由：测井方式、系统应用、测井应用、诊断、游戏等五部分组成。详见图6—33。

系统程序以菜单式结构，辅以求助屏幕，操作方便。

(3) 测井解释程序 AT⁺生产测井解释程序适应单相、两相及三相流。它接收多种数据输入格式。如AT⁺格式、吉尔哈特LIS格式、施伦贝谢LIS格式等。数据经处理后生成的测井报表与交会图直观方便。

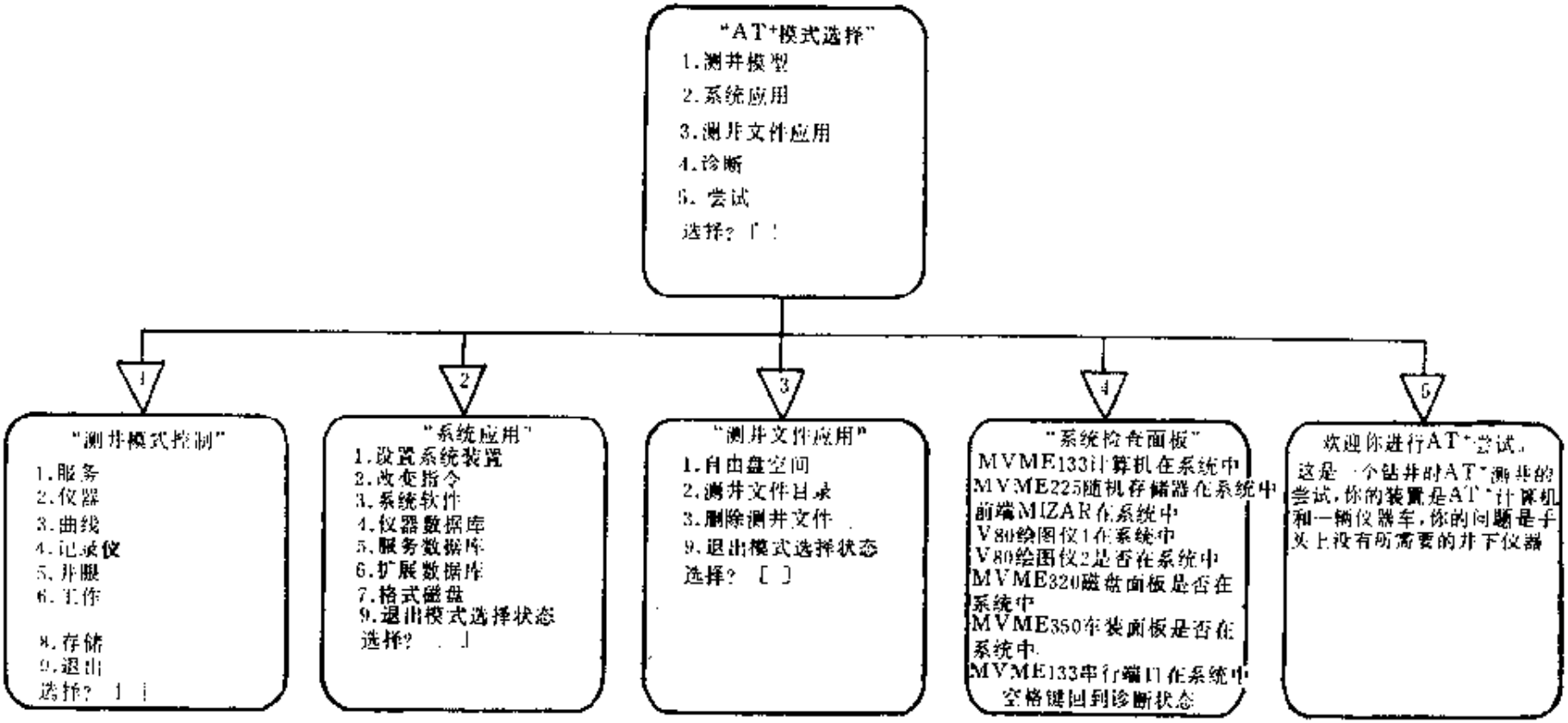


图 6—33 AT+系统程序组成图

附录一　油气水三相模拟装置

油气水三相模拟装置是为生产动态测井各种仪器的标定及研究井内油气水三相流动状态而建造的。

目前我国大庆、辽河和华北等油田都已陆续建成三相流模拟装置，并开展了多项试验研究，为发展我国动态测井仪器和解释技术作出了成绩。

大庆油田1982年建成了两相流模拟装置后，又在此基础上于1989年建成了三相流模拟装置。该装置已开展了三相流模拟试验研究，并对环空三相流测试仪进行了成功的标定。本部分简单介绍大庆油田三相流模拟装置概况。

1. 装置的主要用途

（1）对生产测井使用的各种流量计进行标定。

（2）提供不同含水率（含气率）的油、气、水三相流量混合体积，供标定（刻度）含水率（含气率）计和流体密度计使用。

（3）提供油、气、水三相流的井内流动状态，研究流动状态对测井资料的影响。包括：

1）验证在滑脱条件下，持水率和含水率（含气率）的理论公式；

2）不同仪器测量持水率与滑动速度的关系；

3）绘制各种仪器测量的持水率和含水率关系的解释图版。

（4）研究和标定两相或三相流连续测量的流量仪器测量方法和解释方法。

（5）作为流体力学的一个基础实验装置，研究油、气、水三相（或两相）流在垂直管道中的流动机理。

2. 装置的流程

当进行油、水两相实验时，油泵和水泵分别将柴油和清水打

入高架稳压罐(油罐和水罐)，两罐分别设有溢流口。当液体超过溢流口时，溢流液体流入各自的贮液罐，油罐和水罐的液面保持不变。这样，高架稳压罐给实验提供油和水的稳定压力源。

从稳压罐的罐底分别引出油、水管道，分别接标准涡轮流量计，然后再通入模拟井筒形成混合液。油水混合液的流量和含水率可由阀门控制调节。由于压力稳定，流量也不会变，含水率也能保持不变。

油水混合液通过模拟井筒后，流回油水分离罐，分离后的油，流回贮油罐，重复使用。

分离罐底部的水作为污水被排放掉。

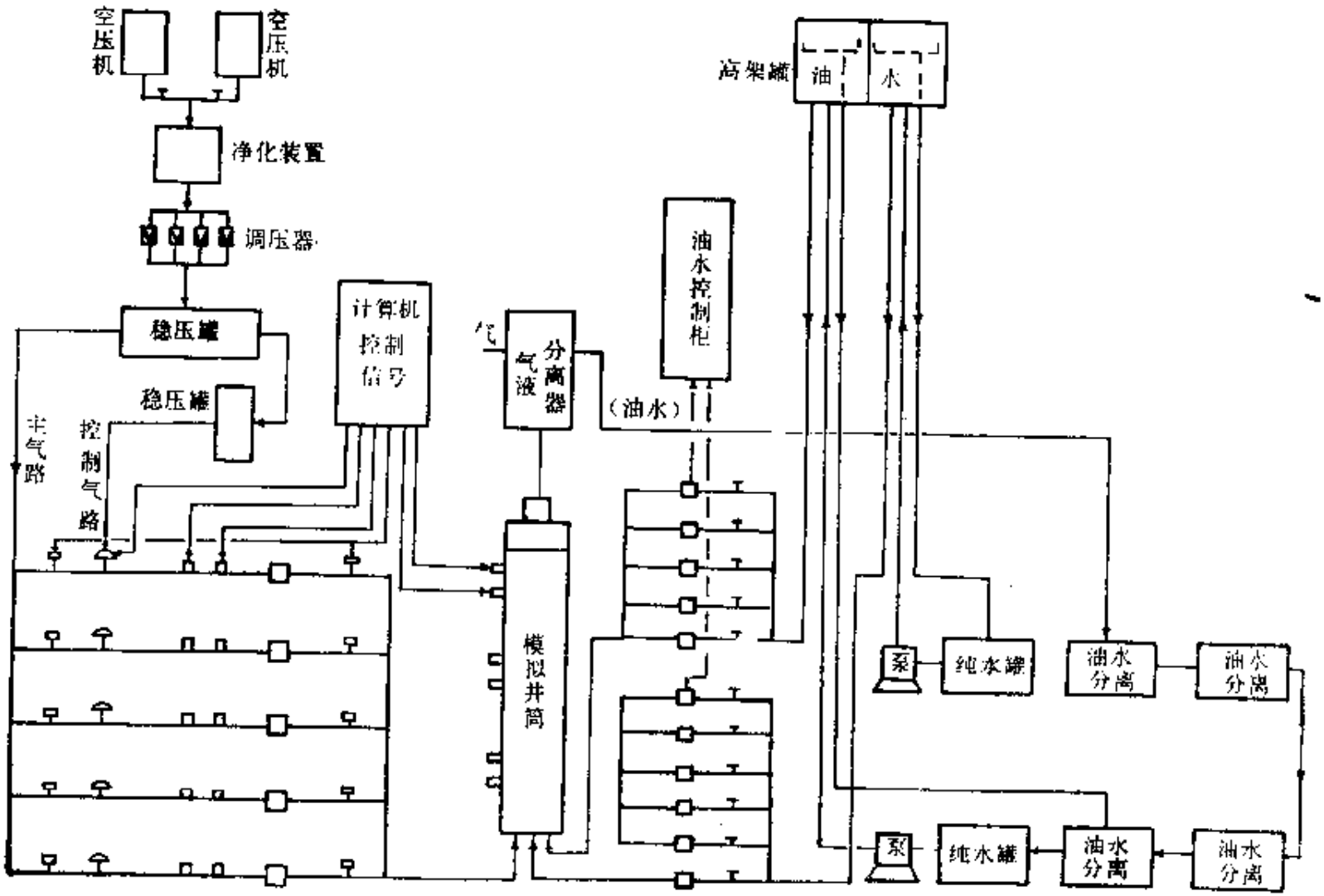
当进行三相流实验时，空气压缩机输出的空气，首先经过空气净化装置，冷却、去杂质及干燥后，经减压器调压进入气体稳压罐稳压，然后经自动调节阀调节气体的流量，音速喷管计量后进入模拟井筒，同经过计量的油水汇合，供以油气水三相流动状态进行实验。

实验后，油水混合液通过模拟井筒后，流回油水分离罐，而气体则直接被排放到空气中去。

详见流程图（附图1—1）。

3. 装置的技术指标

工作环境	常温、常压
工作介质	柴油、空气、净水
流量范围及精度：	
油路流量范围	2.4～1300m^3/d
精度	2.4～14.4m^3/d，±1.0%；
	14.4～1300m^3/d，±0.5%。
水路流量范围	2.4～1900m^3/d
精度	2.4～14.4m^3/d ±1.0%；
	14.4～1900m^3/d ±0.5%。
气路流量范围	6～650m^3/d
精度	±2%



附图 1—1　油气水三相模拟装置流程图

附录二　大庆和胜利油田生产测井系列一览表

附表 2—1　大庆油田生产测井系列一览表

类型	仪器名称		外径 mm	长度 cm	耐温 ℃	耐压 MPa	用途
注入剖面	放射性同位素载体法仪器		38	174	120	58.8	连续测量水井吸水剖面
	水井连续流量计		44		120	58.8	连续测量水井吸水剖面定量解释
产液剖面	73型系列找水仪		48	197	60	15.7	确定生产井的产液剖面，判断出水层及产水能力
	放射性含水率密度计		48	208	45	14.7	同上，可用于三相流解释
	环空找水仪		25	190	80	24.5	测量抽油机井的产液剖面
	压差式密度计		48	350		14.7	连续测量产液剖面，指示出气口，进气口
	生产测井组合仪(CSU/PLT)		43		175	137.8	连续给出产液参数，也可用于注入剖面测量。
评价改造效果	高灵敏度井温仪		46	130	80	19.6	定性判断产层能力，评价地层改造效果
	2104井温仪		38.4	213	137.8	76.6	同上
	2111井温仪		42.9	603	117.1	20.4	同上
油套管诊断工程测井系列	井径系列	微井径	80.0	130	125	58.8	测量三个扇区内井径变化
		x-y井径	80	130	120	39.2	测量相互垂直的两个方向井径变化
		八臂井径	80	214	60	19.4	测量相互成45°角的四个内径值的变化
		小直径两臂	44	354	80	19.6	测任意方向井径值
		十臂最小井径	50	361	70	19.6	了解最小井径变化
		36臂井径仪	92	144	175	172.8	测量三个120扇区的井径变化
		40臂井径仪	92	144	149	68.1	检查套管变形内臂腐蚀，检查射孔质量
	超声电视		80	295	100	39.2	套管损坏处的彩绿相片，逼真反映
	超声电视		46	480	70	15.7	套管变化情况

续表

类型	仪器名称	外径 mm	长度 cm	耐温 ℃	耐压 MPa	用途
油套管诊断工程测井系列	磁测仪	89	427	70	19.6	诊断套管内外腐蚀
	磁性定位器	30,32,36	40	120	16	起定位作用
	磁测井仪（德莱赛）	92	475	132	137.8	检查套管腐蚀
	铅模打印方位	50	170	45	14.7	确定套管变形及损坏方位
	方位井径	54	279	45	19.6	同上
	声波水泥胶结测井仪	92	289	176	137.8	检查固井质量
		42	428	204	117.1	同上
	声波测井仪	92	823	175	137.8	确定岩性孔隙度，评价固井质量
	噪声测井仪	42.8	166	149	68.9	判断管漏和串槽部位
	管子分析仪		777	175	137.8	探测管内外壁损伤
	电磁测厚仪	89	427	177	37.8	检查套管损坏部位及程度
地层参数测井系列	中子-中子测井仪					寻找气液层，划分气液界面
	中子-γ测井仪					同上
	热中子寿命测井仪	43	950	160	117.1	寻找油气层，残余油饱和度、划分油、气、水层
	自然γ测井仪	43	125	175	137.8	地层对比，判断岩性
	自然γ能谱测井仪	92	262	150	137.8	研究生油岩，计算泥质含量
	C/O比能谱测井仪	102	470	120	50	计算剩余油饱和度

附表 2—2　胜利油田生产测井系列一览表

序号	测井目的	测井系列
1	产液剖面	流量、压力、含水、井温、磁定位
2	自喷井产液剖面	流量，压力、含水、井温、磁定位
3	吸水剖面	自然伽马、磁定位、电磁流量
4	残余油饱和度	声波变密度、中子寿命、自然伽马、磁定位
5	剩余油饱和度	C/O能谱测井
6	封隔器下深	自然伽马、磁定位
7	出砂层	自然伽马、磁定位、声幅
8	砂　堵	中子-伽马、磁定位
9	找串槽	自然伽马、磁定位
10	射孔质量、射孔位置	自然伽马、磁定位
11	套管变型	40臂井径
12	固井质量检查	声幅、磁定位
13	压裂效果检查	井温、自然伽马，声幅、声变
14	油井封堵	井温、磁定位
15	水井封堵	自然伽马、磁定位
16	液　面	井温、磁定位
17	井底砂面	自然伽马，磁定位
18	找　水	井温、磁定位