# 第一篇

# 石油井修井基本知识

# 第一章　石油井的概念

石油和天然气是埋藏在地下的宝贵矿产资源，为寻找和开采这些资源，需要钻凿许多地面通往地下油（气）层的岩石通道。凡属进行石油勘探、索取油（气）层地质资料和开采石油、天然气所钻凿的岩石通道，统称为石油井。

为使石油井在油田开发过程中充分发挥作用，取得较好的经济效益，必须十分重视石油井的维护与修理。了解和掌握石油井的钻凿、石油井的完成、井身结构、井的质量等方面的理论知识和工艺技术，对于开发好油（气）田，充分利用油气资源有着极为重要的意义。

## 第一节　石油井的作用

石油井在油田生产上的作用主要有以下几个方面：

(1) 获取石油勘探所需要的地质资料，发现和评价油、气田。

(2) 开采地下油、气层中的石油和天然气。

(3) 检查注水开发油田水线推进情况，检查注水开发效果。

(4) 改造油层。

(5) 进行油层（井）的测试。

(6) 通过某些生产井与报废井往地层里注水、注气。

## 第二节　石油井的钻凿

应用钻井机械设备朝地下岩层钻凿孔眼，并采用一定的工艺技术措施与方法使之构成地面到地下油（气）层通道的工艺过程叫作钻井。

钻凿石油井，目前主要是应用以内燃机或电动机为动力，带动钻井设备与井下钻具钻凿岩石的各种类型的钻机。图 1－1－1 为石油钻井示意图。

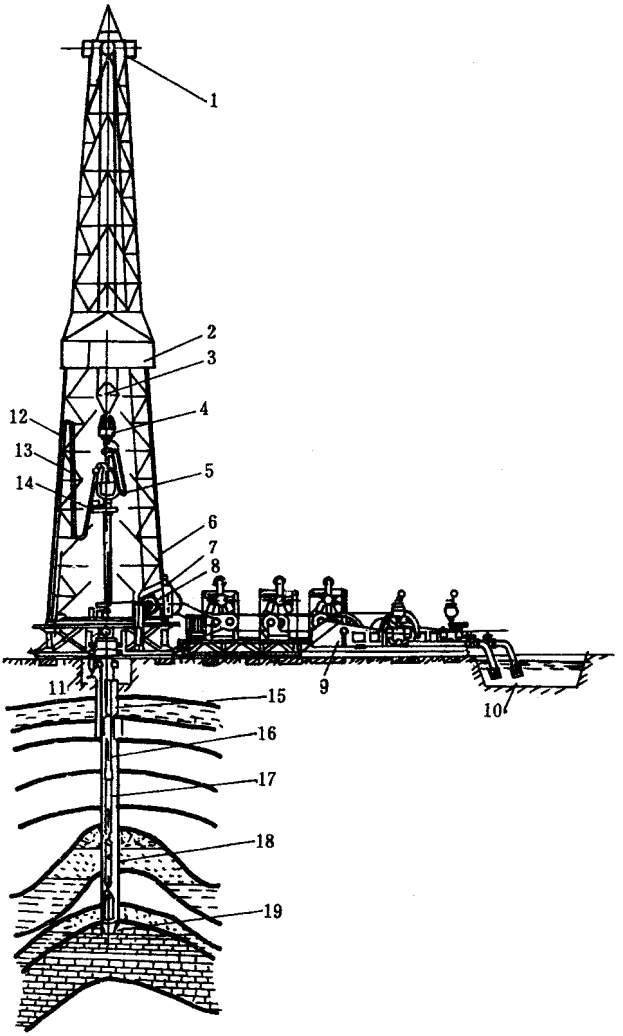



图 1－1－1　石油钻井示意图

1—天车；2—二层平台；3—游车；4—大钩；5—7 水龙头；6—进架；7—绞车；8—刹车；9—钻进泵；10—泥浆槽；11—井口装置；12—立管；13—水龙带；14—旋转短节；15—表层套管；16—钻杆；17—井壁；18—钻铤；19—钻头

钻凿一口石油井的工艺过程，主要由钻前准备、钻进和完钻三个阶段组成。钻前准备包括修筑公路、平整井场、搬迁和安装钻机设备等，目的是完成开钻前的一切准备工作。钻进包括开动钻机、驱动钻具破碎地层岩石、循环钻井液冲洗清理井底、加深进尺钻取岩芯及地质录井等，这是石油钻井的主要工艺过程。当钻机钻达设计井深时，钻进工作即告结束。此时井眼内充满泥浆，并有泥饼保护井壁使之不易坍塌，这样的井眼叫作裸眼井，如图 1－1－2 所示。

裸眼井的顶部叫作井口，底部叫井底。井眼直径的大小叫井径，井眼四周的侧壁叫井壁，井身某一段叫井段，整个井筒叫井身。旋转钻井时，带动井下钻具旋转的转盘中间用来卡住方钻杆的部件称为方补心。方补心顶面是计算井深的起点，从转盘方补心顶面到井底的距离叫完钻井深。石油井的完钻井深是依据所钻井的目的确定的。例如，油田开发井的完钻井深应能保证钻完全部油层；钻油田基准井的目的是了解地质构造、绘制沉积岩剖面、对比地层，因此完钻井深必须钻遇基岩。在正常的情况下，每口井都必须钻达设计完钻井深。完井包括测井、固井、射孔、试油等内容，其任务主要是加固完善井壁、完成井身结构、射开油层等。经过上述三个工艺阶段，一口石油井便钻凿成功。

石油钻井历史悠久，经历了由笨重的人力或畜力为动力的顿钻钻井、机械旋转钻井到用现代工艺技术设备钻井的发展过程。图 1－1－3 为我国古代钻井示意图。早在两千多年以前，我国劳动人民就曾利用钻井方法开采地下矿产资源。明朝（1521 年）在四川嘉州地区钻成一口深 1000 米左右的抽水井，比美国和苏联自称的所谓“世界第一口井”早 300 多年。最早的顿钻钻井效率低，消耗大，钻井深度受到限制。以后，在长期的生产实践中又出现了用机械动力带动的顿钻钻井（图 1－1－4）、用机械动力与电力带动的旋转钻井（1－1－1），加快了钻井速度，钻井深度也大大加深。随着生产的发展和现代科学技术的进步，石油钻井设备和工艺技术也日趋现代化。图 1－1－5 为全液压钻机。全液压钻机的出现，使钻井工艺技术提高到一个新的水平。全液压钻机自动化程度很高，只需二人就能完成全部钻井操作。

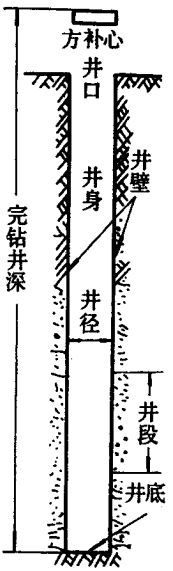



图 1－1－2　裸眼井示意图

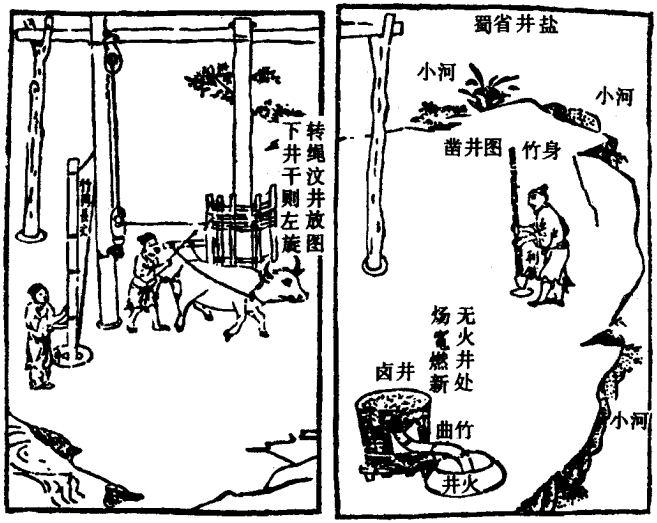



图 1－1－3　我国古代钻井方法示意图

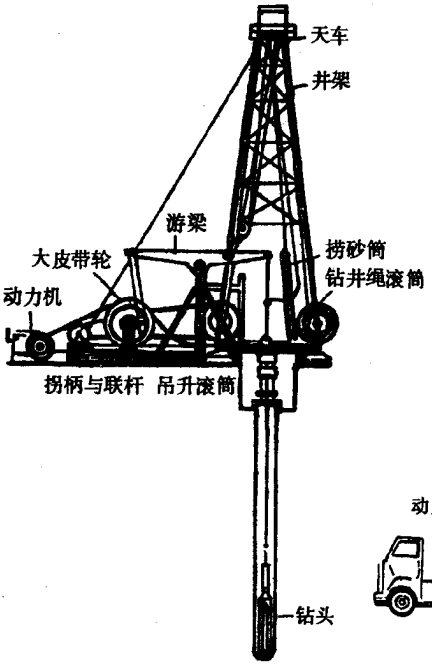



图 1－1－4　顿钻钻井方法示意图

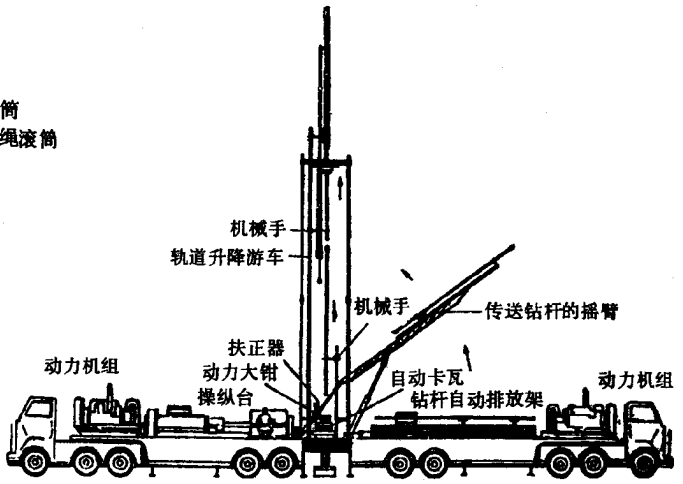



图 1－1－5　液压钻机钻井示意图

当前在世界钻井行业中，应用最多的还是旋转钻井方法。旋转钻井所钻井深已经达到 9000 米以上。但是，由于旋转钻井受到设备、钻具等多种因素限制，难以满足向地层深部勘探和开发的需要。随着现代科学技术的发展，近年来人们又提出了一些新的钻井设想。第一种是熔化及气化法，其基本原理是应用热载体或气体，将地层岩石加热到 1100～2200℃使其熔化。第二种是热胀裂法，把岩杏加热到 370～600℃，使地层岩石表面破裂呈片状剥落。第三种是化学反应法，使用具有高度活性的化学试剂（如氟等）通过化学反应除去岩石。第四种是机械诱导应力法，即给予地层以去除单位体积岩石所需要的能量来清除岩石，如喷丸法、冲蚀法、爆炸法等。这种方法在未来应用的可能性较大。

## 第三节　石油井在修井工程上的分类

石油井维修主要是在油田开发过程中进行的，对象是出现问题或事故的生产井。现将石油井的分类叙述如下：

## 一、根据井的作用分类

采油井（简称油井）：指为开采地下油层中的原油所钻凿的石油井。由于采油井的采油方式不同，又分为自喷井（靠油层本身的能量采油）与非自喷井（靠其它方式采油，如抽油井）。

采气井（简称气井）：指专为开采地下储气层中天然气而钻凿的石油井。

注水井（简称水井）：在注水开发的油田上，为了向油层注水补充能量而钻凿的井。注水井在油田开发中虽然不能直接采出原油，但对保持油层压力起重要作用。

注气井：在注气开发的油田上，为了向油层注气补充能量而钻凿的井。除特殊需要外，一般不专门打注气井，而是把注—水井或采油井改为注气井。这样，既节省了钻井的费用，又可提高生产井的利用率。

水源井：为给注水井，油田工业用水和民用水提供充足水源而钻的井，称为水源井。水源井一般在位于油田边缘、储水量丰富的浅水层钻井。

观察井和实验井：指在油田开发过程中，为了解油层动态、油气水运动规律和变化情况而钻的井。这类井一般既是观察、实验井，又是生产井。

## 二、根据井的深度分类

根据井的深度不同，一般分为浅井、中深井、深井和超深井几种。对于不同类型的井，在进行修井施工时所选用的设备、工具和施工方法是不同的。例如修井井架的选择，浅井可选用两腿固定式井架或车装桅式修井机井架；而深井或超深井，必须选用钻井井架或大型修进机井架。同样，对于不同深度的井在选择修井动力、钻具上亦有明显的区别。因此，按照井的深度进行分类，对于提高施工效率和安全生产有着重要的意义。

当前，世界上还没有一个按照井的深度分类的统一标准。我国布关修井专业会议或部门的一致看法是：井深 500 米 ~ 1000 米为浅井；1000 米 ~ 2500 米为中深井；2500 米 ~ 4000 米为深井；井深超过 4000 米为超深井。

目前，我国多数油田上的井属于浅井或中深井，修井设备、工具和施工方法多是针对中深井而研制和提供的。随着向深层找油找气的发展，深井和超深井将越来越多。为了适应这种新的形势，修井设备和工具必须改进，修工艺必须进一步完善。

# 第二章　石油井的组成

钻井完成裸眼井后，井筒内充满泥浆，凸凹不平的井壁靠泥饼保护使之不易坍塌。这样的井不能进行长期的生产使用。因此，裸眼井要满足于长期生产原油和天然气的需要，就必须组成一定的井身结构、进行固井等工作。

## 第一节　井身结构

所谓井身结构，就是在已钻成的裸眼井内下入直径不同　长度不等的几层套管，然后注入水泥浆封固环形空间间隙，最比利时形成轴心线重合的一组大庆管和水泥环的组合。如图 1－2－1 所示。

### 一、导管

井身结构中靠近裸眼井壁的第一层套管称为导管。导管的作用是：钻井开始时保护井口附近的地表层不被冲垮，建立起泥浆循环，引导钻具的钻进，保证井眼钻凿的垂直等，对于不同的油田或地层，导管的下入要求也不同。钻井时是否需要下入导管，要依据地表层的坚硬程度与结构状况来确定。下入导管的深度一般取决于地表层的深度。通常导管下入的深度为 2 ~ 40 米。

下导管的方法较简单，是把导管对准井位的中心铅垂直方向下入，导管与井壁中间填满石子，然后用水泥浆封固牢。

### 二、表层套管

井身结构中的第二层套管叫作表层套管。表层套管的下入深度一般为 300 ~ 400 米，其管外用水泥浆封固牢，水泥上返至地面。表层套管的作用是加固上部疏松岩层的井壁，供井口安装封井器用。

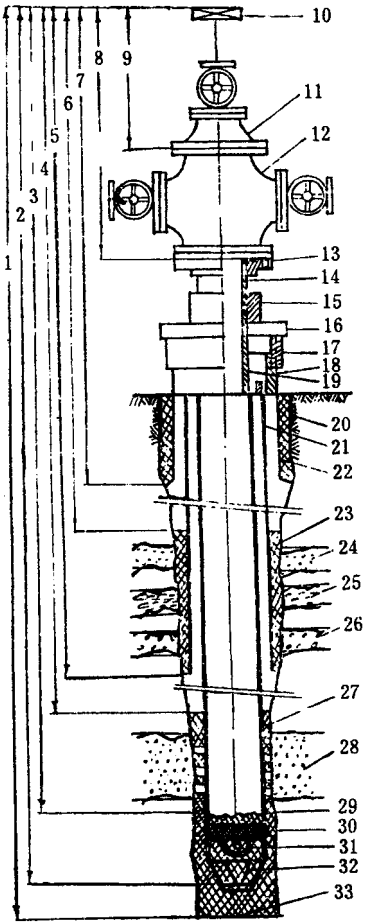



**图 1－2－1　井身结构示意图**

1—完钻井深；2—油层套管深；3—人工井底深度；4—油层套管水泥返高；5—技术套管深度；6—技术套管水泥返高；7—表层套管深度；8—套补距；9—油补距；10—方补心；11—油管头；12—四通；13—套骨头法兰；14—短节；15—套管接箍；16—环形铁板；17—表层套管接箍；18—表层套管；19—油层套管；20—导管；21—技术套管；22—表层套管水泥环；23—技术套管水泥环；24—易塌砂层；25—高含水层；26—气层；27—油层水泥环；28—底部油层；29—人工井底（水泥塞）；30—胶塞；31—承压环；32—管鞋；33—完钻井底

## 三、技术套管

在表层套管里面下入的一层套管（即表层套管和油层套管之间）叫作技术套管。下入技术套管的目的主要是为了处理钻进过程中遇到的复杂情况，如隔绝上部高压油

(气、水)层、漏失层或坍塌层,以保证钻进的顺利进行。下入技术套管的层次应依据钻遇地层的复杂程度以及钻井队的技术水平来决定。一般为了加速钻进和节省费用,钻进过程中可以通过采取调整泥浆性能的办法控制复杂层的喷、坍塌和卡钻等,尽可能不下或少下技术套管。下入技术套管的层次、深度以及水泥上返高度,以能够封住复杂地层为基本原则。技术套管的技术规范应根据油层套管的规范来确定。

## 四、油层套管

油井内最后下入的一层套管称为油层套管,亦叫完井套管,简称套管,油层套管的作用是封隔住油、气、水层,建立一条封固严密的永久性通道,保证石油井能够进行长时期的生产。

油层套管下入。深度必须满足封固住所有油、气、水层。同时,在最下一个油层底部要有一个足够的沉砂口袋(即由油层底部未射孔井段套管和井底所组成的筒状结构),以保证油井能进行长时期的安全生产。因此,油层套管的下入深度一般应超过油层底界30米以上。下入井内的油层套管的技术规范,应以油井的产量和常用修井工具的尺寸来确定。实践证明,下入$5^{1}/2$英寸油层套管可以满足油井日产250~300吨原油的要求。一般井眼直径应比套管外径大2~3英寸。例如,下入$5^{3}/4$英寸油层套管的井眼应当使用$7^{3}/4$英寸钻头钻进。若下技术套管,其内径必须大于$7^{3}/4$英寸,一般应大于1/2~1/4英寸,因为下入的技术套管的直径是由钻头直径决定的。因此在钻井之前,要设计好油层套管直径的尺寸,以及一口井内需要下入几层套管,选用多大尺寸的钻头。

目前常用的井身结构是只下入两层套管。首先用$13^{3}/4$英寸钻头开钻,下入$10^{3}/4$英寸的表层套管,然后用$7^{3}/4$英寸的钻头钻进,下入$5^{1}/2$英寸的油层套管。

# 第二节 固井及其水泥环

## 一、固井

油井钻达设计完钻井深后,为了加固井壁,保护套管,封隔井内各个油、气、水层使之互不串通,便于以后的分层采油,在套管与井壁的环形空间内注入水泥浆进行封固,这套施工工艺叫作固井。

固井的目的和作用是:

(1)封隔住油、气、水层,防止互相串通。

(2)中分隔开油层物性有很大差的油(或气)层,以利于分层开采和分层改造。

(3)封隔住易塌层、疏松地层,以利油井正常安全生产。

（4）加固井壁，增加抗压、抗挤强度，保护井壁，延长石油井的使用寿命。

（5）构成密闭、坚固的油、气流通道，利于采油、采气。

（6）安装井口装置，利于油（或气）井的控制与调节生产，实施油井的技术措施和管理工作。

固井的方法是：当按设计要求下完套管后，从套管内泵入水泥浆。当注够足量的水泥浆后，再用泥浆顶替水泥浆至套管与井壁之间环形空间的一定高度。当泥浆把木塞顶到预计位置的阻流环时，由于木塞（亦有用胶塞的）被阻挡，注入的循环通道被切断（可从泵压突然升高判断），便停止注入。经过一定的时间候凝，便形成了坚固的水泥环。

## 二、固井水泥环

如前所述，当下完各类套管并经过固井后，便在套管与井壁的环形空间形成了坚固的水泥环状柱体，称为固井水泥环。

固井水泥环处于套管与井壁之间，因此，它有两个界面：一个是水泥环与套管外壁的界面，它起到保护套管和封闭水泥环与套管间隙的作用；另一个界面是水泥环与裸眼井壁连结的界面，它起到了密闭水泥环与井壁间隙和支撑井壁，保护套管的作用。由于固井时采用了性能良好的油井水泥，能够紧密地充满套管与并壁环形空间，同时，水泥环的两个界面又贴结得紧紧的，所以固井水泥环起到了封固地层、加固井壁和保护套管的作用。

为了满足某种技术要求和考虑到尽可能地节省水泥，水泥浆从套管注入后，在环形空间中的上返高度不同，此上返高度称为水泥返高。水泥返高的深度等于转盘方补心到环形空间水泥面之间的距离。不同的井别、不同的开发方式和不同性质的岩层，决定了水泥上返高度不同。一般情况下，表层套管的水泥返至地面，而油层套管水泥返高不一定返至地面，而只需返至环形空间的某一个位置就可以了。对油层套管水泥返高的要求是，水泥上返高度必须超过油、气层顶部 100 ~ 150 米。

为了确保水泥浆对地层封固的严密与可靠，固井后，要对固井质量进行严格的检查。一般是用套管试压与声波幅度测井方法检查。套管试压法是：从套管内用泵加液压，观察压力下降来判断固井的质量。一般试泵压力不能低于该井（层）未来工作压力的 1.2 倍。但是也不能超过允许的试泵压力。油田现场常用的试压标准是：在 150 ~ 250 公斤/厘米$^2$ 的压力下观察 30 分钟，压力下降不超过 0.5 公斤/厘米$^2$ 为合格，否则为不合格。声波幅度测井是应用测井仪器在井下发出超声波，经过套管、水泥环折射回接收仪器，用以判断固井质量。

当固井质量良好时，测出的声波幅度值小；如果测出的声波幅度值大，说明有部分水泥或水泥与套管的胶结不佳，固井质量不合格。

当发现固井质量不合格时，要进行二次固井，补注水泥浆，直到再次进行固井质量检查合格为止。

# 第三章 石油井的完成

一口石油井经过钻凿、固井后，还必须进行完井工作。所谓完井，主要包括依据选定的完成方法，做好人工井底，装好井口装置，建立起油、气从油、气层流至地面的通道，为油、气井的正式投产做好准备。

完井工作质量的好坏直接影响到油、气井的生产状况及其寿命，关系到整个油（气）田的合理开发和利用，以至油田的最终采收率。

## 第一节 油井的完成方法

油井的完成方法，是指油井与油层相连通的形式和结构。因此，油井完成方法也叫作井底结构。

油井完成方法依据钻开油、气层和下入油层套管的先后次序，分为先期完成法和后期完成法两种类型。

先期完成法是先下入油层套管再钻开油、气层。先期完成法又有先期裸眼完成法和衬管完成法之分。这类完成法的优点是：油、气裸露面积大，油、气流入井内的阻力小；排除了钻开油、气层时上部地层的干扰，有利于安全钻开油，气层和采取解放油气层的措施；压井液浸泡油层的时间短，减少了泥浆对油、气层的侵害。其缺点是：必须弄清层位，卡准套管鞋位置；难以避免油层出砂和井壁坍塌给生产带来的影响等．因此，先期完成方法的使用有局限性，一般只用于岩性稳定、无气水夹层的单一油层或性质相同的多油（气）层的井．这种方法在碳酸盐裂缝性油、气田上应用较广泛。

后期完成法是先钻开油、气层之后再下入油层套管．主要有射孔完成法、尾管射孔完成法、后期裸眼完成法和贯眼完成法等。采用后期完成法时，由于完井液对油层浸泡时间长，要加强对油（气）层的保护。要采取措施，压稳油、气层．还要保证有良好的固井质量。

下面以常用的几种完成方法为例，介绍各种完成方法：

### 一、射孔完成法

这种完成方法是钻开整个油、气层后，下入油层套管至生产层底部，注入水泥浆固

井。待水泥浆凝固后，进行声波测井和套管试压检验。经检验证实固井质量合格后，下入射孔器对准油层射孔，以这些射开的孔道作为沟通井底与油、气流的通道，如图 1－3－1。

常用的射孔枪型有：子弹式射孔枪，鱼雷式射孔枪和聚能喷流式射孔枪三种。可以根据不同需要选用适宜的射孔枪型。射孔孔眼直径取决于油、气层性质；射孔密度取决于套管强度。一般射孔密度取 6～10 孔/米。子弹射人深度决定于所采用的射孔枪型式。

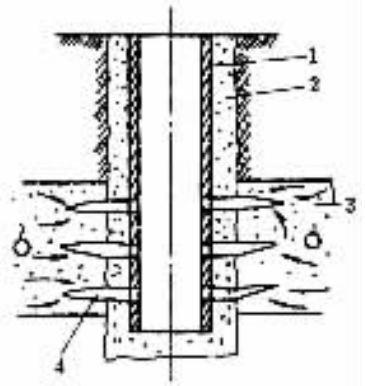



图 1－3－1　射孔完成法示意图
1—油层套管；2—固井水泥环；
3—油（气）层；4—射孔孔眼

射孔完成法在进行射孔时，有选择地在油、气层部位射开孔道，而其余层位仍被油层套管密封住，防止了各个油、气、水层相互串扰，有利于进行分层采油、分层改造和修井作业，避免了井壁坍塌对油、气层的影响。这种方法的适应性强，是我国各油田目前广泛采用的一种油井完成方法。此种方法的缺点是：钻井与固井时泥浆对油层的侵害较为严重；由于射孔孔眼数目，孔径有限，油、气层与井底连通面积小，油、气流入井内的阻力大；有的射孔成功率和准确性还不够高；不易防砂；不适用于裂缝性油、气田等。

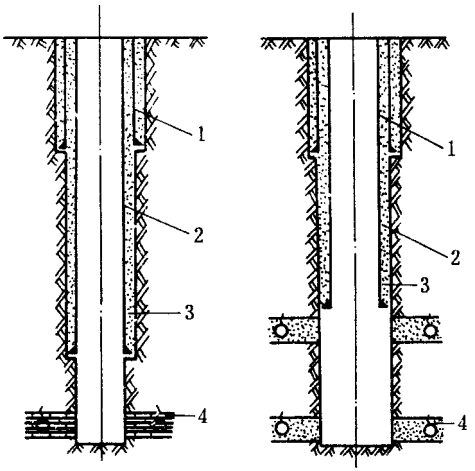
## 二、裸眼完成法

由于钻开油层的方式不同，裸跟完成法又分为先期裸眼完成法和后期裸眼完成法。先期裸眼完成法是当钻井钻至油层顶部后，下入油层套管，注入水泥浆固井。然后，用较小直径的钻头钻开油、气层。若油层底部没有水层时，、还可以再加深一些进尺作为口袋。完井后，油，气层顶部直接与井眼相连通。如图 1－3－2 所示。

后期裸眼完成法是用与正常钻进相同尺寸的钻头钻开油、气层 J 钻达设计深度后再下入油层套管至油层顶部，并对其进行固井，最后裸眼完井。如图 1－3－2 所示。

裸眼完成法的优点是油层全部裸露，油气流有最大的渗滤面积，而且流线平直，

油、气流的阻力小，有利于油、气的开采。同时钻进速度快，成本低其缺点是井底易坍塌，仅适用于碳酸盐类裂缝性油、气层。




a 先期裸眼完成法　　b 后期裸眼完成法

图 1－3－2 裸眼完成法示意图

1—表层套管；2—油层套管；3—固井水泥环；4—油、气层

## 三、衬管完成法

这种方法是当钻井钻至油层顶部时，下入油层套管，注入水泥浆固井。检验固井质量合格后，改换小尺寸钻头钻开油、气层。最后，下入适宜的衬管完井。

下入井内的衬管是用带孔眼的管子做成的。衬管孔眼的形状有圆孔和割缝两种，一般采用带圆孔的衬管。对于出砂严重的油井应采用割缝衬管，其防砂效果好。衬管的长度一般依据油层的厚度来确定。衬管的底部应当做成喇叭口形状，以利于起下作业，防止补管口被撞破。

对于不同的油、气层衬管置于井底的方式应该不同。薄层采用短衬管，衬管直接座于井底，如图 1－3－3 所示。若油、气层的厚度大采用长衬管时，需要使用悬挂器将衬管悬挂于套管下部，并用堵塞器来分隔油层与上部井眼的连通。也可以采用卡瓦式封隔器来代替悬挂器和堵塞器，将衬管悬挂固定在油层套管上，并把油层套管与衬管的环形空间间隙堵塞住，如图 1－3－3 所示。

衬管完成法的优点是油、气流阻力小，有利于油、气层的开采。缺点是不能任意选择油、气层位，不能有效地防止油、气层的坍塌。

为了克服衬管完成法的上述缺点，对于油层较疏松、出砂严重的油井采用了砾石衬管完成法。即是在衬管与井壁环形空间充填一层砾石，以达到支撑井壁防止形成砂堵的目的。如图 1－3－4。

砾石衬管完成法是在钻开油、气层后，用偏心钻头扩眼之后下入衬管，再向衬管与井壁环形空间内充填砾石。可以洗井液为介质用循环的方式把砾石携带至衬管与井壁之间；也可以采用地面预制法，在地面将砾石衬管制成，然后下入井内。

砾石与衬管在油井生产过程中起到了双重的防砂作用，对于岩层疏松、出砂严重的井防砂效果较好。砾石层又具有支撑井壁，防止坍塌的作用。同时，油、气层裸露面积大，油流阻力小，适用于疏松的砂岩油、气层。此法的缺点是施工复杂，对于有夹层水的油、气层不适用。

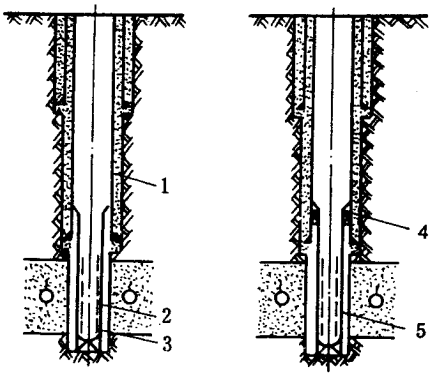



图 1－3－3　衬管完成法示意图

1—油层套管；2—衬管；3—衬管；4—卡瓦封隔器；5—衬管

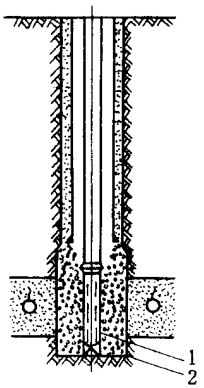



图 1－3－4　砾石衬管完成法示意图

1—衬管；2—砾石

## 四、贯眼完成法

此种方法是用同一尺寸的钻头钻穿油、气层后下入油层套管，油层部分的套管是特制的，带有圆孔或割缝。在油、气层顶部装有钢片做筋的帆布水泥伞，以防止环形空间的水泥浆往下流入油、气层。在水泥伞上部的套管处接有带眼的注水泥短节，其下装有堵头或单流阀，防止水泥浆往下流入油、气层。当固井完毕，经检验质量合格后，将水泥塞与单流阀钻掉，即可沟通油，气层与井底通道而完井。如图 1－3－5 所示。

这种方法的优点是油、气层裸露面积大，油流阻力小，利于开采；油、气层部位的井径与上部地层的井径相同，井身结构较为简单，有利于修井和实施采油工艺技术措施；防砂效果较好。缺点是注水泥时容易损坏水泥伞而污染油、气层；下套管时若遇阻不能通过循环法解除，因为下端有堵头或单流阀；采油过程中遇有油、气层出水不容易进行封堵等。

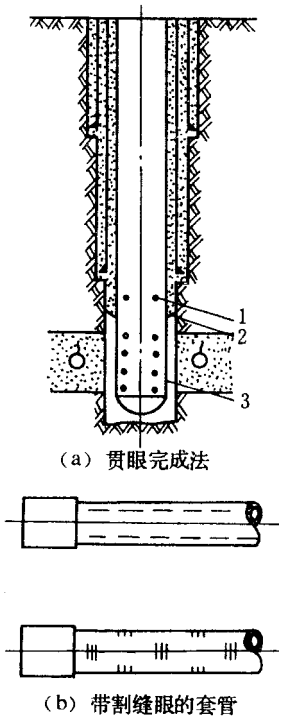



图 1－3－5　贯眼完成法示意图

1—注水泥短节；2—水泥伞；3—带眼套管

# 第二节　完井井口装置

油井完成后，还要安装井口装置才算完成全部建井工作。自喷井井口装置主要由环形铁板、套管短节、法兰盘（上接采油树底法兰）及采油树组成。环形铁板是指两层套管之间加焊的圆形铁板，它的作用是把内层套管与外层套管相连接，使内层套管的重量坐于表层套管，把各层套管连成一个整体。套管短节是为了适应井所处位置和环境而加装的。法兰盘是为加装采油树而设置的。采油（气）树是井口装置的主体部分。

井口装置的作用主要是控制、调节和管理油、气井的生产；悬挂和承托井内油管柱；密封井口和油、套管环形空间；录取资料；确保洗井、诱导油流、打捞、压裂、酸化等修井工作的顺利进行等。

随着采油工艺技术的发展，老式井口装置因笨重、加工制造复杂、不便于操作而逐步被淘汰。目前我国油田上广为使用的是以 $CY_b-250$ 型采油树为代表的一些采油树。在浅井和中深井多采用庆 150 型井口闸、轻型采油树和胜 254 型井口闸等。在采气井上，多采用 $C_Q-250$ 型采气树。由于钻井工艺技术的发展以及多数油田的井中只下入油层套管，老式井口装置采油树油管头已经不用。目前矿场上井口装置通常只有油管头和采油树两大部分。

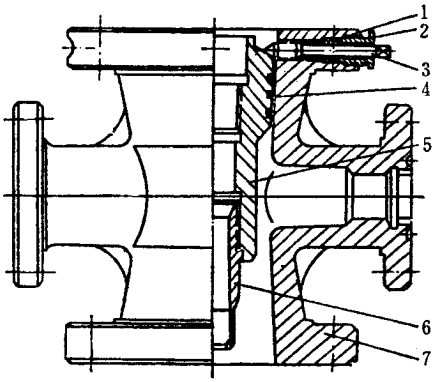



图 1－3－6（a）　$C_Q$－250 型油管头
1—密封圈；2—压帽；3—顶丝；
4—“O”形盘根；5—油管挂；6—油管短节；
7—特殊四通

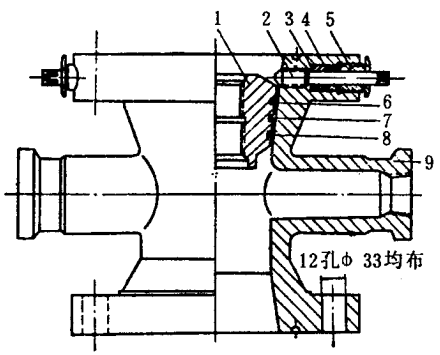



图 1－3－6（b）　－$CY_b$－250 型油管头
1—油管锥管挂；2—顶丝；3—垫片；
4—顶丝盘根；5—压挤 6—紫铜圈；
7—“O”型密封圈；8—紧钢田；9—特殊四通

## 一、油管头

油管头是井口装置的中间部分，它由套管四通与油管悬挂器组成。图 1－3－6（a）为常用的 $C_Q-250$ 型油管头，图 1－3－6（b）为 $CY_b-250$ 型油管头。

油管头内锥面上可以承座油管悬挂器，下端可以联接油层套管底法兰。上端在钻井或修井过程中分别联接所使用的控制器；油井投产时，在其上安装采油（气）树。油管头的主要作用是悬吊油管、密封油套管环形空间。

## 二、采油（气）树

采油（气）树又叫井口闸。

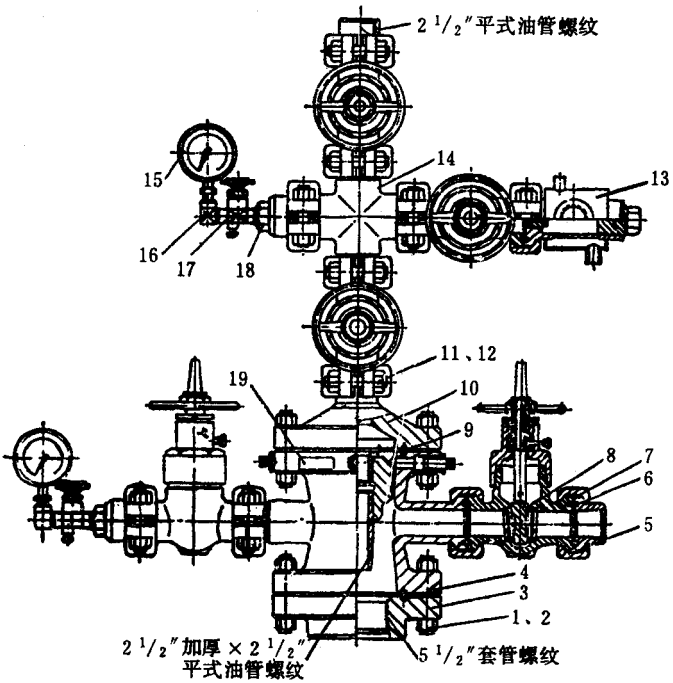



图 1－3－7 $CY_b$－250S723 型井口闸

1—螺母；2—双头螺栓；3—套管法兰；4—锥座式油管头；5—卡箍短节；6—多圈；7—卡箍；8—闸阀；9—钢圈；10—油管头上法兰；11—螺母；12—双头螺栓；13—节流器；14—小四通；15—压力表；16—弯接头；17—压力表截止阀；18—接头；19—铭牌

### （一）采油树

采油树主要由各类闸阀、四通、三通、节流器（或油嘴、针形阀等）组成，安装在油管头的上部。其主要作用是控制与调节油、气流，合理地进行生产；确保顺利地实施压井、测试、打捞、注液等修井与采油作业。

目前，油田上常用的有 $CY_b$－250 型采油树、$CY_b$—254 型井口闸、庆 150 型井口闸等。采气井多用 $C_Q$—250 型采气树。

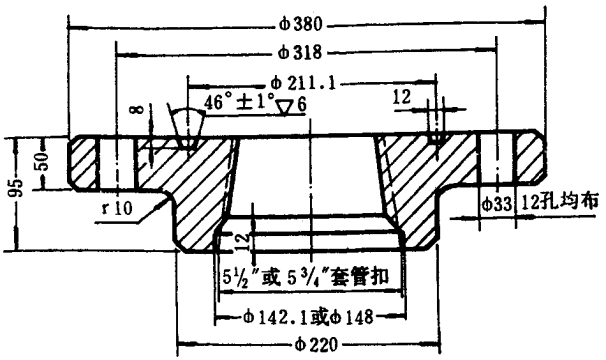



图 1－3－8　$CY_b$－250 型井口闸底法兰

$CY_b$—250 型采油树的结构如图 1－3－7 所示，其主要特点是用油嘴来控制油井的压力和流量。油嘴孔眼每相差 0.5 毫米为一级。一般油嘴孔眼直径为 2～20 毫米，当油嘴孔眼直径超过 20 毫米以上者为特殊油嘴。该采油树耐压 250 公斤/厘米$^2$，能够满足一般高压油井的要求。该采油树井口闸采用特殊四通与油管挂，能满足钻井、完井与修井的多种作业要求。采油树采用卡箍联接，结构简单，重量轻，体积小；拆装方便。该井口闸靠底法兰与油管头套管相连接，底法兰结构如图 1－3－8 所示。

另外，目前油田上较多应用的采油树还有胜 254 型井口闸和庆 150 型井口闸等，其结构分别见图 1－3－9 和图 1－3－10 产所示。

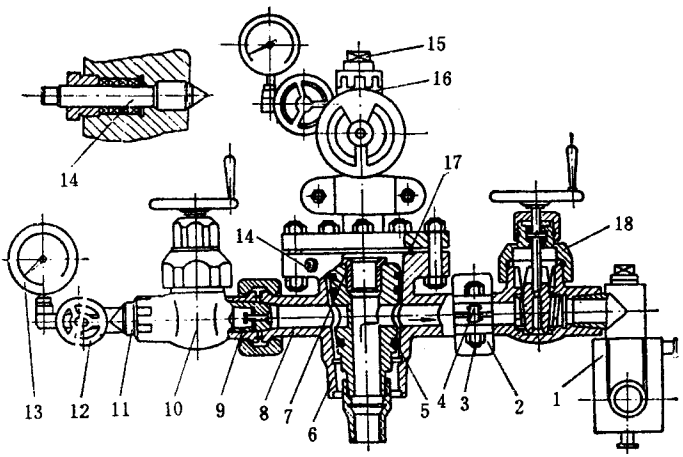



图 1－3－9　胜 254 型井口闸

1—油嘴套；2—卡箍；3—螺帽；4—螺栓；5—“O”型盘根；6—油管分流悬挂器；7—扩丝；8—四通；9—单流阀；10—套管闸门；11—补心；12—压力表截止阀；13—压力表；14—顶丝；15—丝堵；16—清蜡闸门；17—钢圈；18—生产闸门

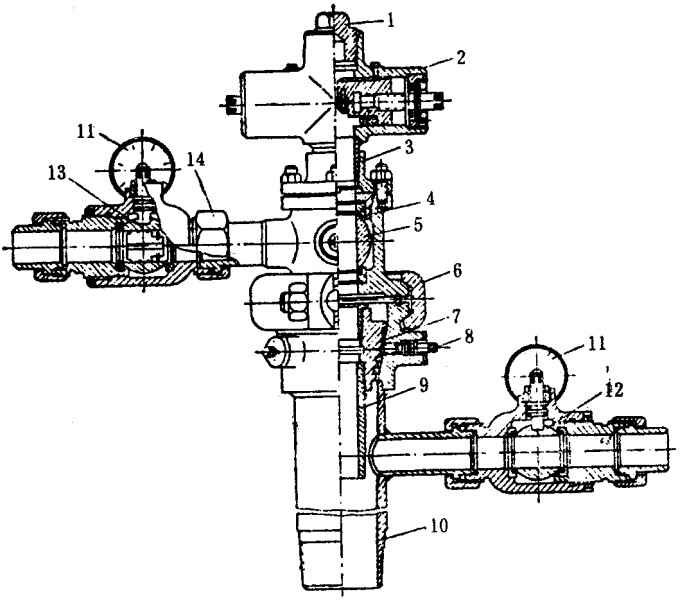



图 1－3－10 庆 150 型井口闸

1—丝堵；2—清蜡闸门；3—连接法兰；4—密封圈；5—球阀（总闸门）；6—卡箍；7—油管悬挂器；8—顶丝；9—油管挂短节；10—套管连接短节；11—压力表；12—球阀（套管闸门）；13—球阀（油管闸门）；14—油壬

由于采油工艺技术的发展和采油工艺技术措施的需要，目前亦应用双管采油与多管采油，于是出现了相应的的井口闸结构形式。例如应用双管进行采油时（分层开采），在油层套管内下入二根油管，下层油管上带一封隔器用来分隔两个油层，对两个油层进行分层采油。其井口闸如图 1－3－11 所示。

油田矿场上常用的采油树技术规范见表 1－3－1。

## （二）采气树

目前国内采气井广为使用的采气树是 $C_Q$－250 型采气树，其结构如图 1－3－12 所示。

$C_Q$－250 型采气树技术规范见表 1－3－2。其特点是：采用锥形油管挂，密封性好；明杆式闸门，能明显看出开关情况；操作使用方便；采用特殊结构形式四通，其两旁的旁通管可以装单流阀（堵头），配备有特殊的装卸工具，便于在不压井的条件下拆换套管闸阀；具有良好的防硫化氢腐蚀性能等。

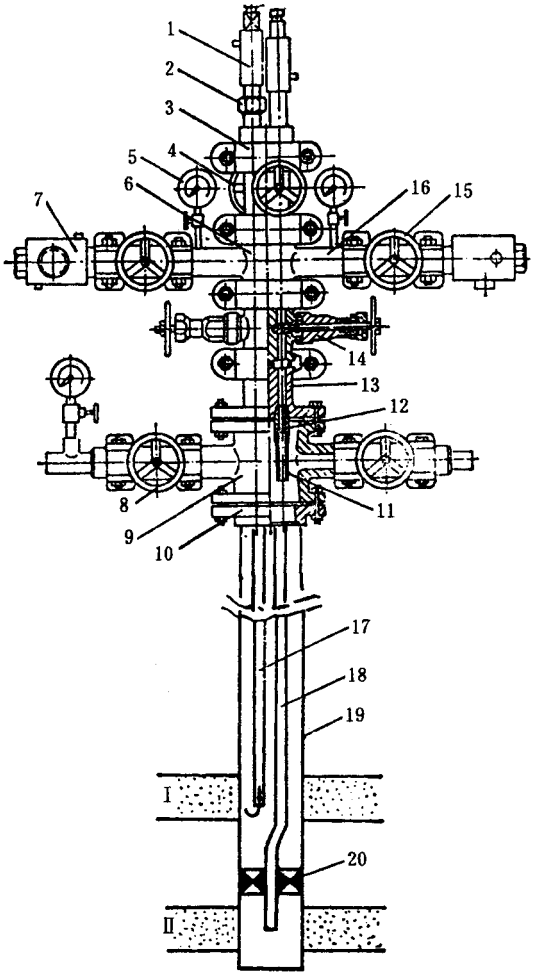



**图** 1－3－11　**双管采油井口闸**

1—**防喷管**；2—**高压油壬**；3—**卡箍**；4—**清蜡闸门**；
5—**压力表**；6—**四通**；7—**油嘴套**；8—**套管闸**；
9—**大四通**；10—**底法兰**；11—**正反扣短节**；12—**油管挂**；
13—**上法兰**；14—**双孔阀**；15—**生产闸门**；16—**双三通**；17—**上层油管**；
18—**下层油管**；19—**套管**；20—**封隔器**

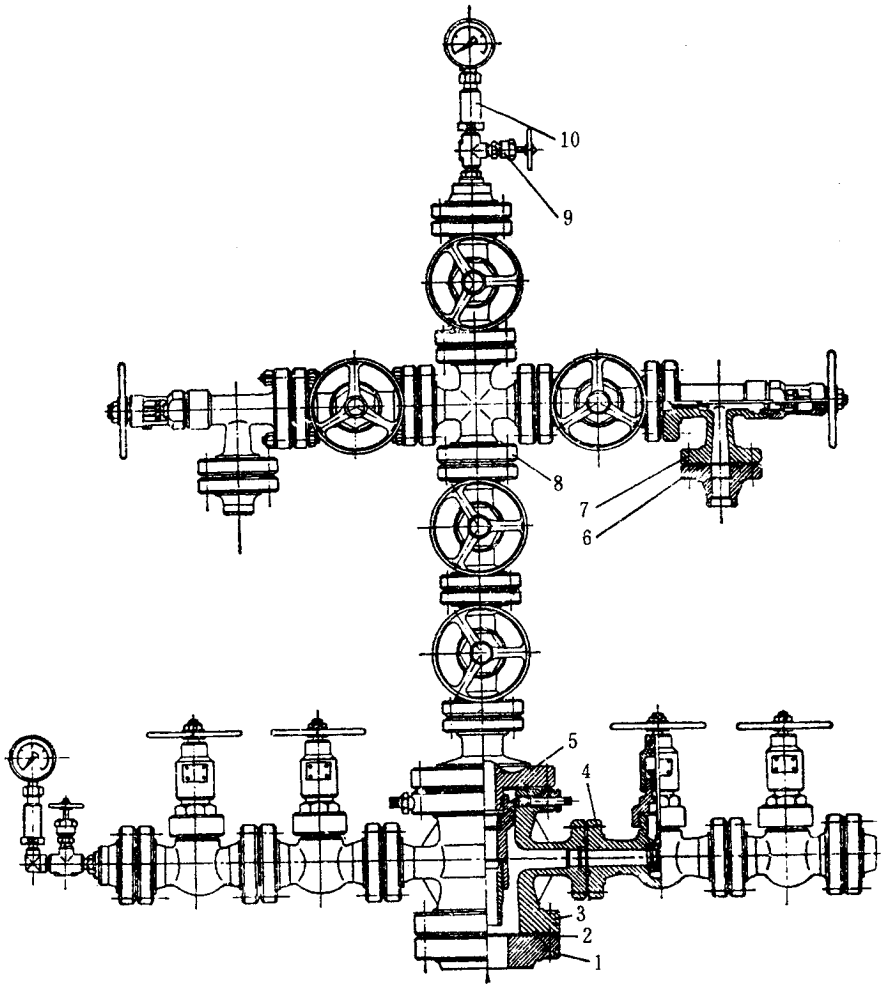



**图 1－3－12 $C_Q$－250 型采气树**

**1—底法兰；2—钢圈；3—油管头；**
**4—闸阀；5—上法兰；6—法兰接头；7—针阀；8—四通；**
**9—截止阀；10—压力**

表 1－3－1　　采油井口闸技术规范

| 型号 | | 试验压力（公斤/厘米²） | | 公称压力（公斤/厘米²） | 联接型式 | 重量（公斤） | 顶丝法兰尺寸（毫米） | | | 闸门 | | 钢圈（毫米） | | 外形尺寸（毫米） | | 通径（毫米） | 油管挂盘根（毫米） | 适用套管尺寸（英寸） | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 强度 | 气密 | | | | 外径 | 螺孔中心距 | 螺孔直径×个数 | 形式 | 个数 | 闸门 | 大四通 | 高 | 宽 | | | | |
| $CY_b$－250 | S692 | 500 | | 250 | 卡箍 | 729 | 380 | 318 | φ30×12 | 闸板 | 6 | 88.7 | 211 | 1750 | 1640 | 65 | 164×141×8.5 | $5^3/4$ | |
| | S723 | 500 | 250 | 250 | 卡箍 | 440 | 380 | 318 | φ30×12 | 闸板 | 6 | 88.8 | 211 | 1397 | 1340 | 65 | 168×148×10 | $5^3/4$ | |
| 胜 254 | | 500 | 150 | 250 | 卡箍 | 380 | 380 | 318 | φ30×12 | 闸板 | 3 | 92 | 211 | 750 | 1290 | 65 | 139×122×8.5 | $5^3/4$ | |
| 庆 150 型井口闸 | | 300 | 150 | 150 | 卡箍 | 152 | | | | 球阀 | 3 | 73（方形） | 190 | 990 | 800 | 62 | | 5 | |
| $CY_b$－80 | | 水压 160 | 80 | 80 | 卡箍 | 305 | 380 | 318 | φ30×12 | 闸板 | 4 | 88.7（73） | 211 | 1400 | 1140 | 65 | 168×148×10 | $5^3/4$ $6^5/8$ | |
| 荣丰－210 | | 420 | | 210 | 法兰 | | 380 | 318 | φ30×12 | 闸板 | 6 | 110 | 211 | 2540 | 1750 | 65 | 140×120×8.5 | 5 $6^5/8$ | 底法兰钢圈 φ270 |

表 1－3－2　　$C_Q$－250 型采气树主要技术性能

| 名称 | 公称通径 | 公称压力 | 强度试压 | 水密封试压 | 气密封试压 | 特殊性能 | 联接形式 | 连接套管 | 连接油管 | 闸阀形式 | 不压井起下最大钻杆 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | （公斤/厘米²） | | | | | | | | | |
| 规范 | φ65 | 250 | 500 | 375 | 250 | 耐 $H_2S$ 腐蚀 | 法兰 | $5^3/4$～$85/8$ 英寸 | $2^1/_2$ 英寸平式或加厚 | 明杆闸阀 | $4^1/_2$ 英寸 |

对于抽油井也需要装一套井口装置，才能够确保抽油井的正常生产及修井和采油工艺技术措施的实施。

抽油井井口装置的作用与自喷井井口装置相类似，由于抽油井井口压力低，所以井口装置的结构比较简单。一般的抽油井井口装置可以利用自喷井井口加以改造，其基本组成是套管三通、油管三通和盘根盒。其中套管三通和油管三通的作用主要是调节生产，便厂修井和工艺技术措施的实施。盘根盒的作用是密封光杆，使抽上来的原油进入输油管道，其结构主要有弹簧、胶皮盘根、盘根盒等（如图 1－3－13a 和 b 分别为单与双盘根盒）。

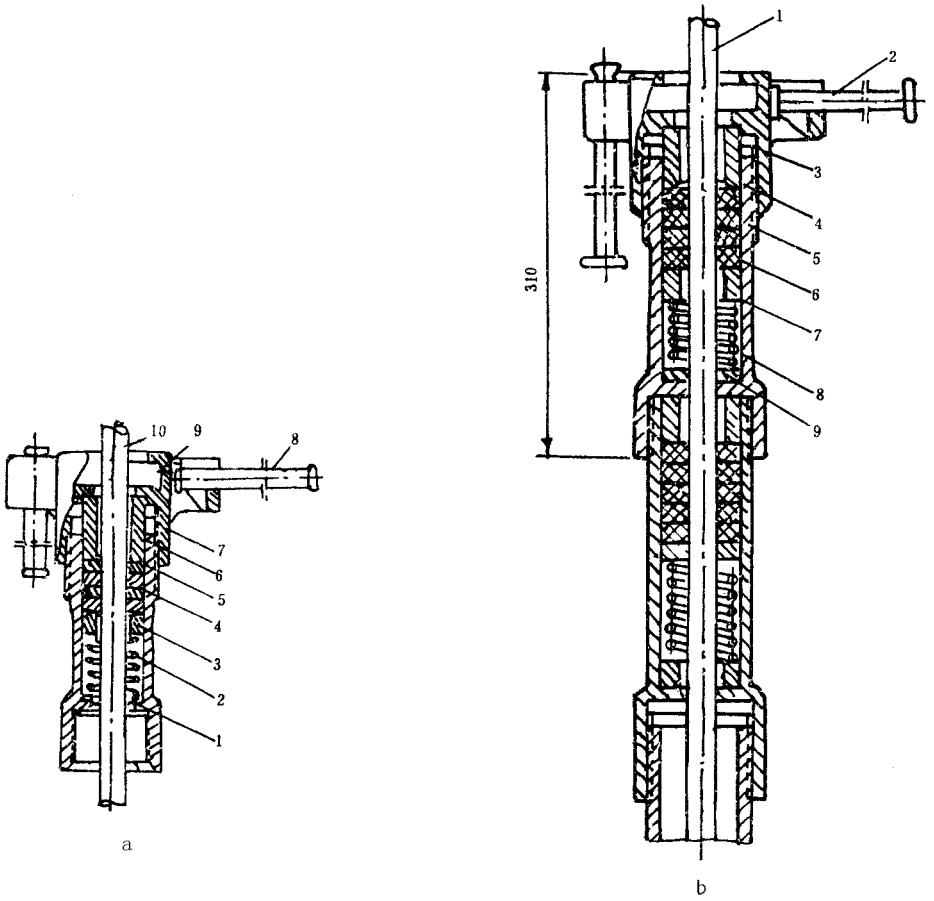



图 1－3－13　抽油井口盘根盒结构

1—弹簧座；2—弹簧；3—下压帽；4—胶皮盘根；5—盘根盒；6—上压帽；7—盘根帽；8—撬杆；9—装机油；10—光杆

由于各油田所采用的流程与供热保温条件不同，抽油井井口装置的构成与连结方法也有所不同。图 1－3－14 所示井口装置是由自喷井井口装置改装的，是邓管流程蒸气伴随条件下的抽油井井口装置。其中油套管连通闸门是收集天然气及冲净出油管线（即扫线）用的。还可以在油套管连通管线上装一个单流阀，以防止原油灌人套管。油、套管压力表，用来观察油、套管压力，判断油井生产情况。

虽然抽油井井口可以根据实际情况来装置，但是无论那种形式的抽油井井口都必须满足如下的基本要求：能测示功图，测动液面、取样、观察压力、操作方便、管理方便等。

# 第三节　石油井常用名词术语

为了很好地掌握石油井的有关结构、组成和特点，必须对一些有关井身结构等方面的名词术语有较明确的了解。对石油井常用名词术语（参见图 1－2－1 和 1－3－15）简要解释如下：

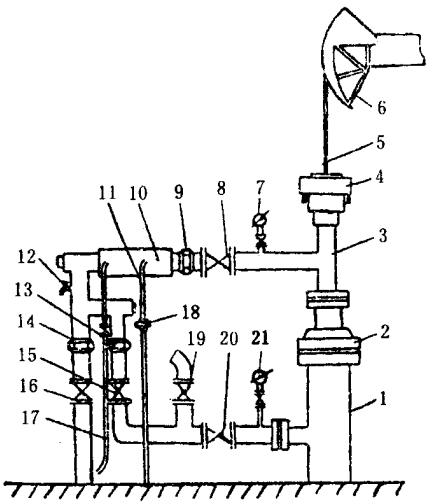



图 1－3－14　抽油井井口装置示意图

1—套管；2—法兰盘；3—三通；4—盘根盒；5—光杆；6—驴头；7—油压表；8—生产闸门；9、13、14、13—油壬；10—油嘴套；11—蒸汽管线（进口）；12—取样闸门；15—连通闸门；16—回压闸门；17—蒸汽管线（出口）；19—试井闸门；20—套管闸；21—套压表

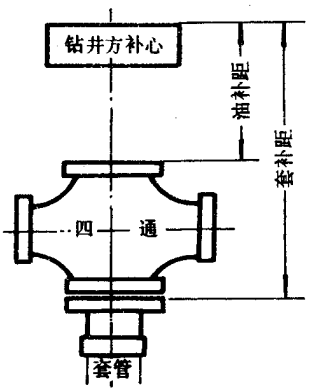



图 1－3－15　油补距示意图

补心高度：指旋转钻井时，转盘的上平面到油层套管头的距离。

补心高差：也叫作油补距，在旋转钻井时，指转盘上平面到套管四通上部平面间的距离。

联顶节方人：转盘上平面到第一根套管接箍上平面间的距离。

套补距：指转盘上率面到套管法兰上平面之间的距离。

完钻井深：也叫钻井井深，是指转盘上平面到钻井完成时钻头所钻至的最后深度之间的距离。

套管深度：是指转盘上平面到油层套管鞋位置的深度。一般套管深度比实际完钻井深要浅些，这是由于在进行固井时，为了保持套管处于铅垂状态、而不使之座于井底的

缘故。套管深度是一般修井工程的深度极限，超越它就将会钻穿套管。除了在进行侧钻、回采下部生产层时可以超越套管深度外，其它情况下是不允许的。

人工井底：相对完钻井底（深）而言的。在钻井固井或试油注水泥塞之后，在套管内留下的水泥塞上平面叫作人工井底。一般情况下指的是油层套管最下面的水泥塞的上平面。人工井底的深度，是用从转盘上平面到人工井底之间距离的深度来表示的。

# 第四章　石油井井口流程

为了保持自喷油（气）井连续正常地生产，在井口装置着控制与调节油气产量和保持连续生产油气的管路、装置及设备等，这些叫作自喷井井口流程。

为了有效地保护油（气）井，保护油（气）层，安全施工安全生产，在进行井下下作业修井或油层改造时，必须对井口流程的设备、性能、作用和技术规范等有较清楚的了解。自喷并井口流程的作用主要有以下几个方面：

（1）合理地控制与调节石油井的油、气产量和油井工作制度。

（2）计量油、气产量。

（3）对油井的产出物及井口设备进行加热、保温、净化及初步处理。

（4）录取油井的油压、套压、产量、井口取样等第一性动态资料。

自喷井的井口流程类型较多。按照井口流程中油（气）汇集的方法、对油（气）计量的先后以及加热方式的不同，所采用的自喷井井口流程的类型也随之改变。常见的自喷井井口流程有以下几种：

## 第一节　热油和水套炉联合加热保温

这类井口流程比较典型的形式如图 1－4－1 所示，为单井加热、混输进站、站内分别计量、热油循环洗井、清蜡井口流程。

这种流程的生产过程是：井内高压油气自油层流至井口，通过总闸门 1、生产闸门 2、油嘴 3 和回压闸门①，沿出油管线进入水套加热炉盘管。加热后，在分气包 5 分出部分天然气供水套炉燃烧用，其余的油气分两路去转油站。一路是经闸门④沿热油来井管线 7 双管混输进站；另一路沿油气混输管线 6 进站。

这种流程为防止暂时关井时地面管线内流体的冻结，从站内泵热油经过闸门⑧、水套炉 4、沿输油管线 6 回站内，构成热油循环保温管路。

水套炉内的热水经闸门⑤、来水管线 11 进入井口房，分两路对井口房内设备进行保温加热后义返回水套炉；构成了循环加热管路。

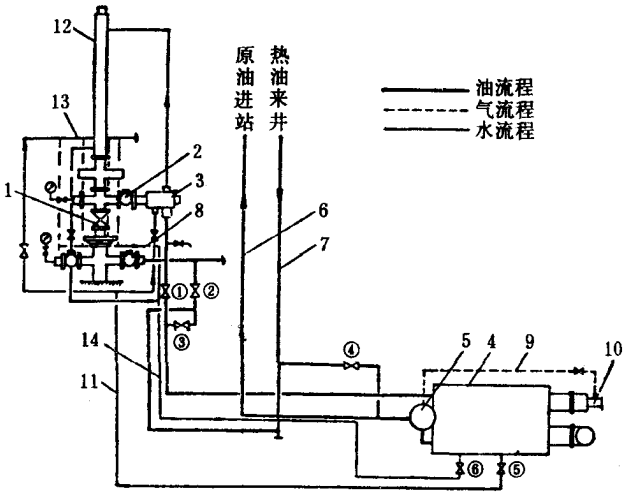



图 1－4－1 单井加热，混输进站，站内分别计量，热油循环洗井，清蜡井口流程

1—总闸门；2—生产闸门；3—油嘴及油嘴保温套；4—火管式水套加热炉；5—分气包；6—出油管线；7—热油管线；8—套管闸门；9—水套炉供气管线；10—火嘴；11—热水管线；12—防喷管保温套；13—井口房散热片：14—井口房回水管线

## 第二节 井口阳近加热保温和油气计量

这种流程典型的形式如图 1－4－2 所示荣丰井口流程。

具体流程是：油、气层的高压流体沿井筒流至井口，经过总闸门 1、生产闸门 6、油嘴、二次生产闸门 3，沿出油管线进入水套的盘管 17，经过加热之后在油气分离器 30 内进行分离，计量。分离出的一部分气体到水套炉火嘴供燃烧；其余天然气沿干线气管线 25 到干线气包，与原油混合后混输进转油站。

单井加热、计量混输的井口流程还有四小井口流程和四微井口流程等。图 1－4－3 为四小井口流程示意图。

在进行井下作业修井施工时，掌握和了解施工井的井口流程，不仅能很好的保护这些井口设备、管路，而且还可以充分利用这些设备与流程，为修井作业提供方便。这样，即能保证作业施工的完成，施工后很顺利的及时投产，提高施工效率和油井利用率，还有利于提高油田开发的经济效益。

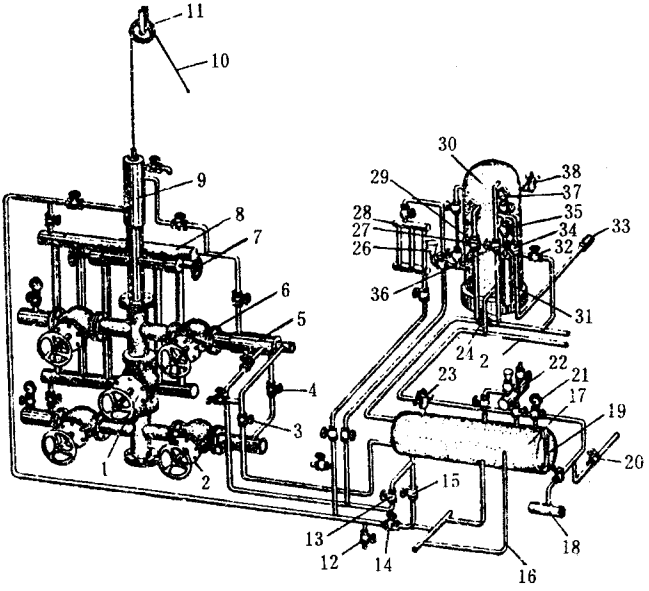



图 1－4－2　荣丰井口流程

1—总闸门；2—套管闸门；3—二次生产闸门；4—油套管连通闸门；5—油嘴保温套；6—生产闸门；7—清蜡闸门；8—井口散热片；9—防喷管；10—清蜡钢丝；11—清蜡滑轮；12—回水放空闸门；13—大循环来水闸门；14—大循环回水闸；15—小循环闸门；16—沸腾管；17—水套及油盘管；18—无烟火嘴；19—水套水位表；20—刚气放空闸门；21—水套气压表；22—加水包；23—水套炉安全凡尔；24—旁通闸门；25—干线气管线；26—加水漏；27—进油闸门；28—分离器房散热器；29—量油玻璃管；30—计量油气分离器；31—小气包；32—出油闸门；33—放宁测气短节；34—放空测气闸门；35—分离器用气闸门；36—平衡闸门；37—分压表；38—分离器安全凡尔

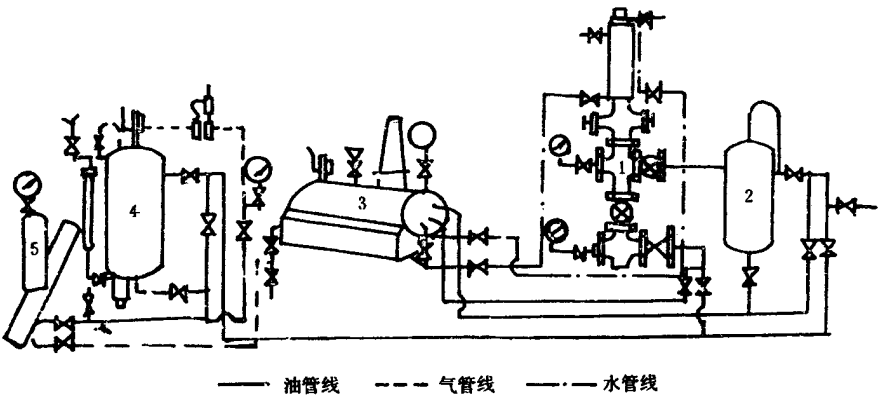



图 1－4－3　四小井口流程示意图

1—四小采油树；2—热油循环用油包；3—水套加热炉；4—计量油、气分离器；5—干线气包

# 第五章 完 井

完井或称油井完成，它是钻井工程和采油工程的结合部，既是钻井工程最后的一个重要环节，又是采油工程的开端，与以后采油、注水及整个油气田的开发是紧密联系的。而油井完成质量的好坏直接影响到油、气井的生产能力与寿命，甚至关系到整个油、气田能否得到合理的开发，因此，必须得到高度的重视。

## 第一节 油 井 完 成

油井完成是指从打开油气层开始，直到将油井投入生产为止的全部过程。它包括的内容有钻开油气层、确定完井方法、安装井口和井底装置等。本节就其中的一些内容做一下概述。

### 一、钻开油气层

钻开油气层是油井完成的首要工序，是钻井过程中的关键一步，这一工作的好坏直接影响一口井的生产能力，关系到是否能够正确迅速取得油层各项资料。

当油层被打开时，油层内的油气压力与井筒中泥浆柱的压力出现相互制约的关系。若泥浆柱的压力小于油层压力，且井口又控制不当时，地层中的油气流就会流入井中，造成井喷等严重事故，若泥浆柱的压力大于地层压力时，则泥浆中的水、粘土颗粒及其它有害物质，会侵入油层造成“污染”，使井筒附近的渗透率降低影响油井产量，有时甚至不出油。因而钻开油层时应根据油层压力的高低和岩性性能，应严格选择压井液，以保证安全生产和不污染或尽可能减少污染油层为准。通常钻高压油层采用密度较大的压井液（性能指标依地层而异），对于压力较低的油层，应适当减小压井液的密度，以免污染油层。

### 二、井身结构与井口装置

#### （一）井身结构

井身结构是指油井钻完后，所下入套管的层次、直径、下入深度及相应的钻头直径

和各层套管外水泥的上返高度等，如图 1－5－1 所示。

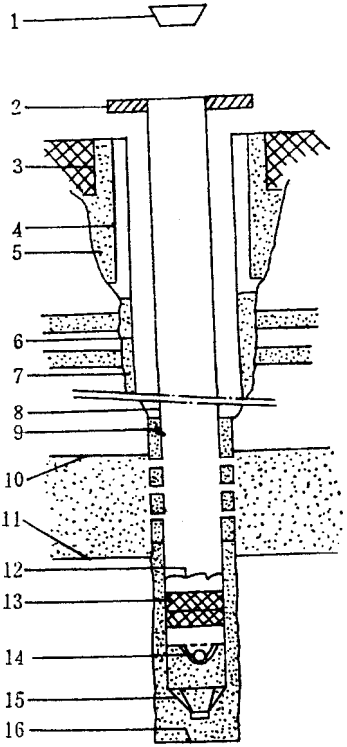



图 1－5－1　井身结构示意图

1—方补心；2—套管头；3—导管；4—表层套管；5—表层套管水泥环；6—技术套管；7—技术套管水泥环；8—油层套管；9—油层套管水泥际；10—油层上线；11—油层下线；12—人工井底；13—胶木塞；14—承托环；15—套管鞋；16—完钻井底

1. 导管

导管使钻井一开始就建立起泥浆循环，保护井口附近的地层，引导钻头正常钻进。下入深度取决于第一层较坚硬岩层所在的位置，通常为 2～40m。导管下部要用混凝土稳固地固定于坚硬的岩层上。所用导管的直径尺寸一般有 450mm（17 $\frac{3}{4}$″）和 375mm（14 $\frac{3}{4}$″）等。

2. 表层套管

表层套管又叫地面套管、隔水层套管，它的作用是用来封隔地下水层，加固上部疏松岩层的井壁，保护井眼和安装封井器。其下入深度取决于上部疏松岩层的位置，一般在几十米到几百米之间。它的直径尺寸有 400mm（15 $\frac{3}{4}$″）和 324mm（12 $\frac{3}{4}$″）等。表层套管外的水泥返至地面。

3. 技术套管

技术套管又叫中间套管，用来保护和封隔油层上部难以控制的复杂地层。下入深度根据复杂层位置而定。它的直径尺寸一般有 335mm（$13\frac{1}{4}''$）和 219mm（$8\frac{8}{5''}$）等。技术套管外的水泥返高，一般都返至封隔的复杂地层顶部 100m 以上，对于高压气层，为了防止天然气窜漏，水泥要返至井口。

4. 油层套管

油层套管其作用是保护井壁，形成油气通道，隔绝油，气、水层，下入深度是根据目的层的位置和不同完井方法来决定的。它的直径尺寸常用 114.3mm（$4\frac{2}{1}''$），127mm（5″），140mm（$5\frac{2}{1}''$），146mm（$5\frac{3}{4}''$），168mm（$6\frac{5}{8}''$），178mm（7″）等几种。油层套管外环形空间水泥返高至最上部油层顶部 100m 以上。

## （二）井口装置

为了引导和控制油，气流的流动方向和流量的大小，在井口必须安装井口装置。它的作用是悬挂油管、密封油管、套管环形空间，控制和调节油井产量，保证各种井下作业的施工，并且便于录取井口压力资料、测压和清蜡等日常生产管理和测试工作。

井口装置通常由套管头、油管头和采油（气）树三大部分组成。

1. 套管头

套管头用来密封各层套管环形空间，承受部分套管柱重量以及安装套管四通、油管头（采油时）或井口防喷器（钻井时）。

套管头按与套管连接的方式可分为法兰式套管头和丝扣式套管头两大类。

2. 油管头

油管头它是井口装置的中间部分，其作用是悬挂井内油管柱、密封油管、套管的环形空间。油管头位于套管头的上面，包括套管四通和油管悬挂器两部分，套管四通的下法兰坐茬套管头的上法兰上，油管与油管挂之间用丝扣连接，油管挂下法兰坐于四通上法兰上。

目前常使用由特殊四通和锥管挂组成的油管头。

3. 采油（气）树

采油（气）树是由各类闸阀、油嘴套、三通、四通等组成。它装在油管头的上面，用以控制油，气流，进行安全、有计划的生产，以及完成测试，注液，压井、清蜡等工作。

目前油井广泛采用 CYb－250 型采油树，气井广泛采用 $C_Q$－250 型采气树。

# 三、影响选择完井方法的因素

在选择完井方法时，应考虑以下几方面的因素：

### （一）油藏特性

油藏特性包括埋藏深度、油、气、水层井段，数：目，厚度，压力系数和温度系数，岩石特性及流体性质等。

### （二）油藏驱动机理和类型

它包括边水、底水和人工注水驱动、溶解气驱、气顶驱和人工注气驱等。

### （三）保护油层减少地层伤害

打开油层时要尽量减少钻井液的伤害，固井时减少水泥浆的伤害以及减少射孔的伤害等。

### （四）采油方式和注入要求

考虑采取自喷、气举，有杆泵抽油，无杆泵采油等不同方式时的影响因素，油井合理采液强度和最大采液量要求，注水或注气最大注入压力和注入量的要求等。

### （五）采用的各项采油工艺措施

进行压裂、酸化等油层改造措施，堵水、防砂，降粘，测试、修井、井下作业等工艺技术方面应该加以考虑。

### （六）热采和其它三次采油的可能性

如进行蒸汽吞吐、蒸汽驱、火烧油层等热采，应根据这些特殊要求选择完井管柱，固井水泥、固井方法等。

### （七）腐蚀问题

井筒内原始存在的腐蚀及以后进行的井下作业措施中可能会引起什么类型的腐蚀等。

### （八）地面环境和气候条件

考虑油气井的地理位置、野外、人口稠密的闹市区、沙漠、陆地、海滩、浅海域、大陆架，深海等各种不同的因素。

### （九）经济性

在完井合理、安全可靠的前捉下，以最少的投资，获得较好的经济效益。

## 四、完井方法

完井方法是指油，气层与井底的连通方式、井底结构及完井工艺。对于不同地层性质、不同类型的井所采取的完井方式是不同的。是不论采用那种完井方法，都需要满足以下几个方面的要求：

(1) 有效地连通井底和油气层，减少油气流动阻力；

(2) 善地封隔油、气，水层，防止层间干扰，满足分采、分注、分层改造的需要；

(3) 防止井壁坍塌和油层出砂，保证油气井长期稳定生产；

(4) 能够进行压裂、酸化等增产措施，便于修井和井下作业及各种井下测试；

(5) 由工艺简便，完井速度高，安全可靠，经济效益好。

不同的完井方式主要区别在于油、气层与井底的连通方式的不同。连通方式不同，其井底结构和完井工艺也不同。而一口井完成之后，其井底结构就不易改变，所以应根据油气层的具体情况及各地实际经验来选定合理而有效的完井方法。下面就介绍几种常见的完井方法。

### (一) 裸眼完井法

裸眼完井法是指在钻开的生产层位不下入套管的方法，裸眼完井法有两种：先期裸眼完井及后期裸眼完井方法。先期裸眼完井法是先下套管然后钻开油层；后期裸眼完井法是先钻开油层，再将套管下至油层顶部。裸眼完井法的最大特点是油气层与井底直接连通，整个油层完全裸露，油层与井底没有任何障碍，所以油气流入井内的阻力很小，如图 1 – 5 – 2 所示。

先期裸眼完井法比后期裸眼完井法具有以下几个优点：

(1) 排除了上部地层的干扰，为选用合适的泥浆钻开生产层创造了条件；

(2) 缩短了泥浆对油气层的浸泡时间，减少了侃浆对油气层的损害；

(3) 钻开生产层后，如遇复杂情况；可以将钻具提到套管内处理，避免了处理过程中对地层的损害和事故的进十步复杂化；

(4) 消除了高压油气层对固井工作的影响，为提高固井质量创造了条件；

(5) 成本低，而且还可转化为其它完 I 井方法。

然而裸眼完井法也有一定的缺点：

(1) 不能解决井壁坍塌和油井出砂问题，不适于疏松地层；

(2) 不能克服生产层范围内不同压力的油、气、水层的相互干扰，不能实现分采、分注、分层改造；

(3) 先期裸眼完井法在下套管和固井时，还未能完全掌握该生产层的真实资料，造成以后生产的被动性；

(4) 后期裸眼完井法不能消除洗井液和固井水泥浆对生产层的影响。

由于以上原因，裸眼完井法的适用范围很小，仅能适用于岩层非常坚固稳定，又无

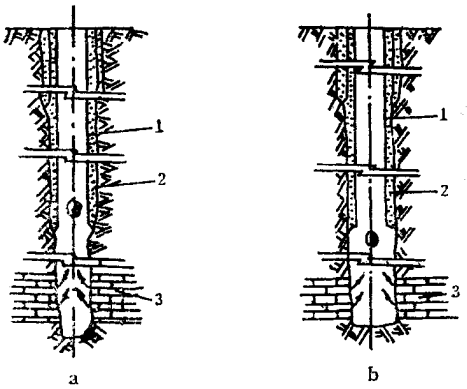



图 1－5－2　裸眼完井法示意图
a—先期裸眼完完井，b—后期裸眼完井
1—油层套管；2—水泥环；3—生产层

油气水夹层的单一油层，或油层性质相同的多油层井。

## （二）射孔完井法

该方法是目前最为广泛应用的一种完井方法。其工艺过程是：钻穿整个油层后，将套管下至油层底部注水泥固井，然后下入专门的射孔枪向油层部位射孔，射穿套管和水泥环并射人生产层的一定深度，为油气流入井内打开通道，如图 1－5－3 所示。

射孔完井方法的优点是：

（1）①能有效地防止层间干扰，便于分层开采、分层注水、分层改造和管理；

（2）有效地封隔和支撑疏松地层，加固了井壁，防止生产层坍塌；

（3）可根据录井资料确定是否下入油层套管，减少了盲目性和浪费；

（4）适应于多油层及开发过程中（特别是中、高含水期）井网层系的调整；

（5）曲可进行无油管或多油管完井。

射孔完井方法的主要缺点是：

（1）由于射孔数目和深度有限，油气层裸露面积少，油气流入井内的阻力较大；

（2）在钻井和固井过程中，油气层受洗井液和水泥浆的侵害较为严重，井壁附近的渗透率降低。

由于射孔完井方法最后是通过射孔为油气打开通道的，因此射孔质量的好坏直接影响到油井的产能，所以在射孔时要根据油层性质确定孔眼直径的大小，选择射孔密度时要考虑套管钢材的强度，而射入深度则由所用射孔枪的类型所决定。有关射孔方面的知识将在第二节里再做介绍。

## （三）贯眼完井法

这种方法是在钻穿油气层之后，把带孔眼的套管下入油层部位。为了固井时保证油

层部位不注进水泥，减少泥浆对油层的污染，在油层顶部的套管柱外面装有紧贴井壁的水泥伞，水泥伞上部的套管上有若干个侧孔，以便挤入水泥浆固井，在下面装倒装的单流凡尔，固井后把它钻掉，如图 1－5－4 所示。

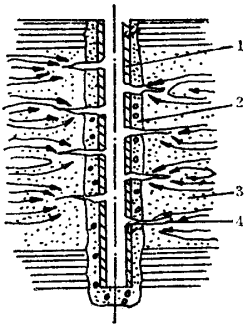



图 1－5－3　射孔完井法示意图
1—油层套管；2—水泥环；3—油层；
4—射开的孔眼

贯眼完井法除了能起一些防油层坍塌的作用外，其它方面与裸眼完井法相似，生产层受到泥浆浸泡时间长，现场较少采用。

### （四）衬管完井法

这种完井方法是先钻至生产层顶部进行固井，然后用较小的钻头钻开生产层，在油层部位下入预先钻好孔眼的衬管（或预先割好缝的衬管）。衬管上端用封隔器固定的油层顶部的套管末端，如的 1－5－5 所示。

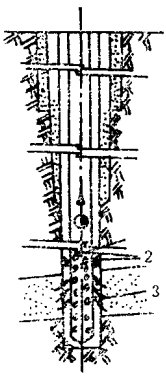



图 1－5－4　贯眼完井法示意图
1—注水泥短节；2—水泥伞；3—带孔眼套管；4—油气层

目前，衬管上的孔眼多采用圆形和梯形两种，圆形孔眼通过油气流的能力较强，但

防砂能力较差；梯形割缝衬管只允许一定数量和大小的砂流入井内，同时较大的砂粒形成砂拱，砂拱不但对油气流的阻力小，而且可以起到防砂的目的。但这种衬管又容易被泥质颗粒堵塞而使油气流入井内的阻力变大。衬管完井法适用于胶结程度差的砂岩油层，具有防砂和防止井底坍塌的作用。衬管完井法防砂是依靠油层自然形成砂拱来实现的，这样不易人工控制，因此在衬管完井法的基础上发展了砾石衬管完井法。

## （五）砾石衬管完井法

砾石衬管完井法也称砾石充填完井法，它是人为地在衬管和井壁之间充填一定尺寸的砾石，如图 1－5－6 所示。

砾石充填法的井底结构，按其施工方式不同，可分为在井内直接充填和地面预制充填两种。前者是先将衬管下入油层部位经过扩孔的井内，然后用携砂液将砾石带入衬管与井壁的环形空间内，后者是预先在地面上将砾石衬管制好，然后下入井内。

砾石衬管完井法有比较好的井底结构，它通过油流的渗流面积大，阻力小，可以防止油层坍塌、出砂和堵死油井，油井寿命较长。但这种完井法工艺较复杂，尚不能实现分采，分注，分层改造，因此在现场上的应用受到一定限制，一般只适应于比较简单的单一油层。

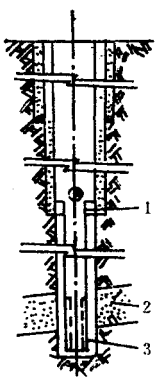



图 1－5－5　衬管完井法示意图
1—封隔器；2—油气层；3—衬管

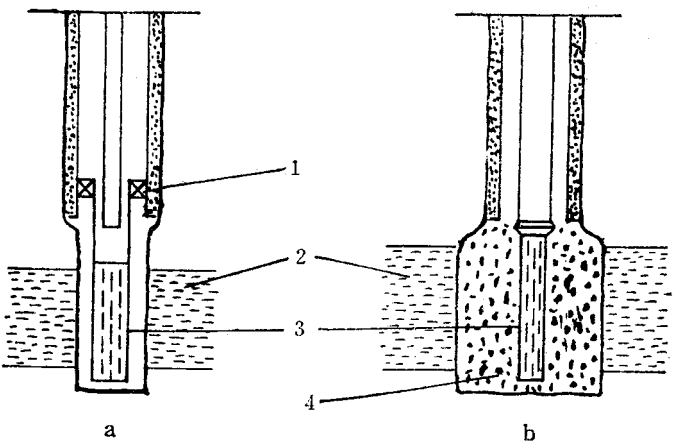



图 1－5－6　砾石衬管完井法示意图
a—地面预制充填；b—井内直接充填
1—封隔器；2—油气层；3—衬管；4—砾石

## （六）绕丝筛管砾石充填完井法

这种完井方法是针对疏松砂岩油藏在开采过程中容易出砂而采用的防砂完井技术。它可分为绕丝筛管裸眼砾石充填完井法（又称管外砾石充填完井法）和绕丝筛管管内砾石充填完井法两种。

1. 绕丝筛管裸眼砾石充填完井法

该完井法的工艺过程是：钻井至油层上部后，下套管固井，换无固相完井液钻开油气层，进行裸眼扩孔，电测，下绕丝筛管及防砂充填管柱，充填砾石，反洗，丢手起防砂工具管柱，最后下生产管柱投产，如图 1－57 所示。

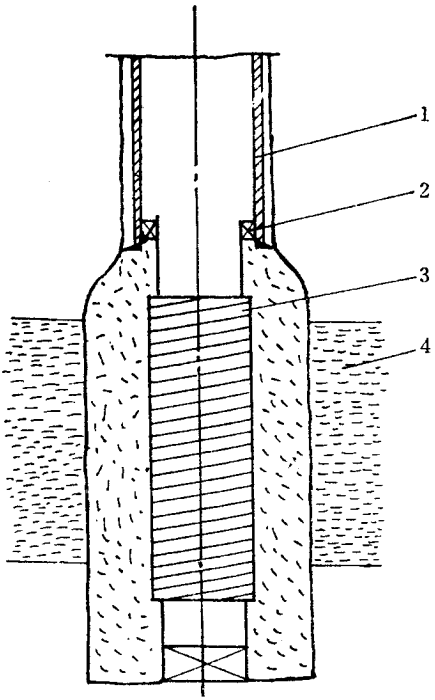



图 1－5－7 绕丝筛管裸眼砾石充填完井法示意图
1—技术套管；2—封隔器；3—绕丝筛管；4—油层

绕丝筛管裸眼砾石充填完井法的特点是：渗流一面积大，无固井及射孔伤害，充填层厚度大，生产压差小，完善系数高，完井后采油指数高、产量高，适应性较强，对稠油井更有利，而且有效期长，一般可达十年以上。但是这种完井方法在进行裸眼段扩孔时工艺复杂，地层易于坍塌，气水夹层难以控制，修井作业难度大，油田中后期的改造调整无法进行。因此使用上受到限制，一般适用于地质条件相对简单的单一油层，厚度在 10m 左右的油层。

2. 阴绕丝筛管管内砾石充填完井法

这种完井法的工艺过程是：钻穿整个油层，下油层套管至油层底部注水泥固井，刮（或洗）套管，射开油层、清洗炮眼，下防砂完井管柱，充填砾．石，反洗、丢手起防砂管柱，最后下生产管柱投产，如图 1－5－8 所示。

管内砾石充填完井法可以选择性地射开地层，避开水，气夹层，也可实现多层充填完井。随着管内砾石充填完井技术的不断提高，优质完井液、射孔液、作业液的广泛使用，扩大套管以外充填区，减少砾石与地层砂混含的高密度挤压充填技术的应用，使得

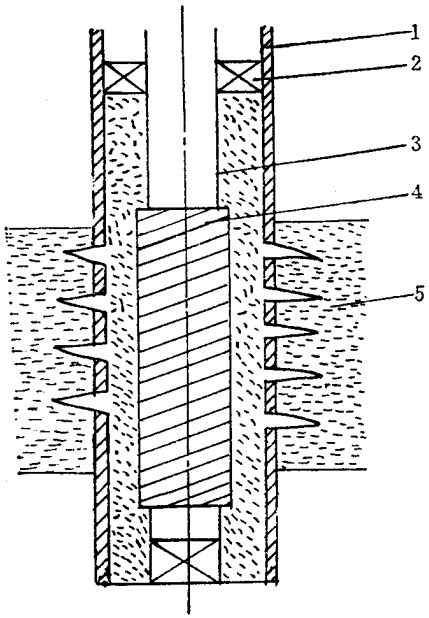



图 1－5－8　绕丝筛管管内砾石充填完井法示意图
1—没层套管；2—封隔器；3—油管；
4—绕丝筛管；5 一油层

油井在采用管内砾石充填完井法后，其采油指数得到大幅度提高。所以目前大多数砾石充填完井法都趋向于管内砾石充填完井法。

### （七）预应力固井完井法

随着国内外对稠油注蒸汽开发技术的不断进步，国内的一些油田已投入稠油资源的开发。但由于注蒸汽热采井的高温条件，若按照普通井常规完井方法的固井作业，套管受到高温作用产生热应力及水泥强度退化，而使套管和水泥环破裂，严重时造成油井报废，为了解决这一工程质量的问题，可以应用预应力固井完井方法，即在下完套管后，预先使套管有一定的拉力，用以抵消注高温蒸汽时套管受热膨胀而产生的内应力，从而避免套管断裂破坏。

目前常用的预应力固井完井法有双凝水泥预应力画井完井法和地锚式预应力固井完井法两种。

1. 双凝水泥预应力固井完井法

这种方法是采取在套管外分别注入两段水泥，下部注入速凝水泥，上部注入缓凝水泥，当下部水泥已经凝固，而上部水泥尚未凝固之前，对套管上提一定拉力，使套管获得预应力舶工艺过程。

2. 地锚式预应力固井完井法

这种方法是在井内预先下入一段同尺寸套管座井底并用水泥封固，打成“ 地锚 ”，

然后再下入需要的套管串与“地锚”回接。回接的办法是在需要的套管串下部接一只套管捞矛，用以捞住地锚头，并按设计需要对套管串施加拉力使之获得一定预应力，然后用高温水泥加 30% 左右石英粉配成的水泥浆固井完井的一系列工艺过程。

地锚式预应力固井方法，它使套管承受的预应力是真实的；而双凝水泥预应力固井时，速凝水泥固结的套管段，没有受到预应力，所以在注蒸汽热采时，仍存在套管断裂的可能。不过地锚式预应力固井，需要甩地锚，必须加深井深，而且还需进行两次固井过程，使得钻井周期和成本都相应增加。

### （八）其它完井法

除以上介绍的几种完井法外，还有无油管和多油管完井法等等。对于一些低产油田常用小钻头钻井，最后下入 73mm（$2\frac{7}{8}''$）油层套管代替油管，直接投产，这种小井眼无油管完井方法可以降低钻井成本和完井费用，因此可以提高低产油井的经济效益。

多油管完井法是在油层套管内下入多根平行油管或同心油管，用以分采多个油层。选择多层完井法可用以满足较高的产量，高速采油以及分层控制的需要。

## 第二节 射 孔

油气田的射孔工作是钻井工程的组成部分，是采用将套管下过生产层的完井方法的一道基本工序。射孔是在油气井固完井后，根据油田开发方案的设计要求，重新打开目的层，沟通油气层与套管内腔的一项工程技术。因此射孔是油田开发的重要步骤，为了能使油气井获得高产能和稳产，就得选择最有效的射孔器，采用合适的射孔工艺来实现。

### 一、射孔器的类型

目前所用的射孔器有子弹式射孔器和聚能喷流射孔器，此外还有水力喷射射孔枪及机械割刀等其它射孔器材。

#### （一）子弹式射孔器

子弹式射孔器的种类很多，它都是利用火药爆炸推进子弹，使它射穿套管和水泥环而进入油层，形成油流通道。

另外属于这一类型的鱼雷式射孔器，是使用特殊子弹（子母弹）的，它是在射入油层后再发生爆炸，产生较大的洞穴和裂缝。

子弹式射孔器的成本低，可以进行选择性发射。在抗压强度低的地层中，使用适宜

尺寸的子弹式射孔器，其射入的深度较深。而在坚硬地层中射入的深度有限。子弹式射孔器容易产生卡弹，损害套管，妨碍封隔器的下入，而且射孔后油流阻力较大，因此目前现场已很少使用。

### （二）聚能喷流射孔器

聚能喷流射孔器是一种无子弹式射孔器，目前已基本上代替了使用多年的子弹式射孔器，而得到广泛应用。它的特点是制造简单，操作可靠，功率大，射入深度大，能适应各种完井工作的需要。

聚能喷流射孔器是根据炸药在爆炸时具有方向性的特点（聚能作用就是利用炸药爆炸方向性）而将烈性炸药做成一定的几何形状，在它射出的方向有一个圆锥形的金属锥斗，称为聚能穴。在穴面上镶有金属片，如图 1－5－9 所示。

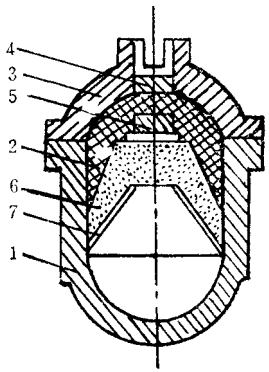



图 1－5－9　聚能喷流射孔器

1—弹壳盖；2—炸药柱内座；3—弹壳底座；4—铅药饼；5—起炸药饼；6—炸药柱，7—金属锥斗

聚能喷流射孔过程是由电发火雷管起爆，引燃起爆索和炸药包中的高速助爆剂，最后主炸药起爆。由炸药产生的高压使金属穴熔化，形成一股类似针状的高密度的细小金属粒子的高速喷流，其压力可达 30000MPa，温度高达 3000～5000℃，喷流速度达 9000～12000m/s。所以，它在穿透套管和水泥环后还能深深地射入地层。

由于这种射孔器不需要很厚的弹药室，也不一定用强有力的枪身，所以可以制成较小尺寸，用于小井眼中射孔。目前使用的聚能喷流射孔器有 57－103 型，67－1 型，45－3 型、WS－51 型，58－65 型等几十种形式，用来满足浅井、中深井，深井的射孔需要。

聚能喷流射孔器经过现场应用证明其穿透能力强，但同时也存在些缺点，在射孔完成之后，孔道中将会充填有射孔弹药碎屑、岩屑，水泥碎块等残留物，在孔道周围会形成一个低渗透的挤压致密层，使其渗透率降低，影响地层流体流向井内，所以在工具及工艺等方面有待于进一步改进。

### （三）水力喷射射孔枪及机械割刀

水力喷射射孔枪是通过对着套管的一个锐孔喷射含砂液体而得到切割套管的作用。其穿透能力将随井内压力的增大而下降，若在液流中加入氮气能明显地增大穿透能力。

机械割刀是应用刀片及磨铣工具在套管中磨铣窗口，使井筒与油层相连通的方法。

由于这两种器材的射孔效率较低，目前较少使用。

## 二、射孔工程技术要求

射孔质量的好坏，直接影响到油井的产能，并且关系到油田开发方案是否能按设计目标得以实施。因此对射孔工程技术有严格的要求，具体如下：

### （一）射孔的层位要准确

根据油田勘探和开发的要求，实际射开油层的部位与设计部位一般不能超过 10cm。为达到这一标准，第一必须有科学的校深方法，第二要有高精度的地面控制仪器。

### （二）单层发射率在 90% 以上，不震裂套管及封固的水泥环

如果在射孔时使套管和水泥环受到损坏，就会造成油气层的互相连通，不利于以后分层采油、采气，严重时会使油气井报废。

### （三）合理选择射孔器

选择射孔器的主要依据是目的层（油气层）的性质及井身的结构（主要是指套管尺寸和、钢级）。

### （四）合理选择射孔工艺要根据油气层的具体情况，选择最合适的射孔工艺。

## 三、射孔工艺

我国在六十年代初只有一种用电缆输送、泥浆压井的射孔工艺，即在井内泥浆柱压力大于地层压力下进行的射孔（通常称为正压射孔），常常会导致射孔孔眼的堵塞，而这种堵塞往往难以清除。随着近几年射孔工艺的迅速发展，出现了在井底压力低于地层压力的条件下进行射孔，即负压射孔。由于负压射孔时，孔眼不会接触外来的流体，初期的冲洗会得到较好的效果，因此能获得较佳的射孔效果。

在进行负压射孔时，井筒中的液柱压力与油气层的压力之差称为负压差，其大小将取决于油气层的性质。一般在射孔时都要根据油气层的类型不同而确定一个合适的负压差，即是说当用负压射孔时，油气层的油气流刚好冲洗干净射孔孔眼，同时又不破坏油气层的原有性质，这时所用的压差值就称为合适的负压差。其选择范围为：对于高渗透油、气层（渗透率在 lOOmd 以上），相应的合适的负压差为 7.0 ~ 14.OMPa；对于低渗透

油、气层（渗透率小于 100md），可选择 14.0～35.0MPa 的负压差。

目前，国内外使用的负压射孔工艺有；普通电缆式过油管射孔工艺，油管传送套管射孔枪负压射孔工艺、正压和反向冲击技术联合射孔工艺等三种，下面分别做个简要介绍。

## （一）普通电缆式过油管射孔工艺

普通电缆式过油管射孔工艺就是用电缆将射孔器、井下仪器通过油管下入井内，并准确送到预先设计的射孔层位，在套管内进行射孔的工艺过程，因此也称为过油管射孔工艺。

过油管射孔使用的射孔器的外径应小于油管内径，并要有较好的穿透能力。目前常用的是 OF－2 型射孔弹，适用于 2000m 以内的浅井，SSW－78 型射孔弹，又叫仿麦克洛射孔弹，可适应于深井使用。

过油管射孔工艺的优点是能在生产井中施工，对于油层薄的一次下井射孔的能实现负压射孔。其缺点是由于射孔器需要通过油管，使所用的射孔弹外径较小，射孔弹与套管之间的余隙较大，因此射入地层深度较浅。对于一些下入双层套管柱和具有双层水泥环的井，如再遇上地层岩石又比较坚硬时，过油管射孔器实际上是不能建立起有效的流动通道的。因此，过油管射孔工艺的应用受到很大的局限。

## （二）油管传送套管射孔枪负压射孔工艺

近几年由国外引进的油管传送套管射孔抱负压射孔工艺，简称油管传送射孔工艺，是一种较理想的射孔工艺，它是用空的油管或部分灌注清水的油管将射孔器下入井内，在井筒内形成较大的负压，使射孔后的回流冲洗力很高，可将孔眼附近的碎屑物及其它污染物带至地面，从而使射孔孔眼的流动性变好。由于所用的射孔器为套管式射孔枪，所以能够选用高性能、穿透力强的聚能喷流射孔器来获得最大的射入深度和孔眼尺寸，以取得最佳的射孔效果。因此这种射孔方法已在国内外得到最广泛地推广应用。

1. 油管传送（无电缆）套管射孔枪负压射孔的工艺过程

在油管上连接有普通的井下封隔器，油管下端连接射孔枪，射孔枪的顶部装有引爆头，然后将整个装置与下井油管联起来，利用油管将射孔器输送到油气层附近，利用放射性测井进行校深，使射孔器准确的对准油气层，然后坐封封隔器，提供射孔所需要的压力差，再装好井口防喷装置，排油管线等之后，进行点火引爆炸药。在射孔器引爆后，在井筒中立刻产生高达 35.0MPa 的负压差，有效地将孔眼附近的岩屑、泥浆滤液及其它污染物随地层产生的流体一起回流至地面，达到射孔孔眼畅通的目的。而射孔后的射孔枪能与油管脱离而落于井底，即释放射孔枪的过程，以后可用钢丝打捞出来。

2. 油管传送负压射孔的优缺点

优点：(a) 施工安全，特别是适用于高压油气井；(b) 能建立起合适的负压差，进行负压射孔，提高油气井的产能；(c) 适应于各种射孔枪进行施工，同时可以实现大层段的一次性射孔（一次可射孔几百米厚的层段），(d) 适用于复杂井的施工，如稠油井、大斜度井等，(e) 与电缆传送射孔相比，其射孔枪不需那么多次下井，这样就减少对套管的磨损。

缺点；(a) 施工中不能及时检查射孔率；(b) 射孔器材在井下停留的时间较长，使其性能降低，影响了穿透能力，用高温炸药又增高了成本；(c) 若点火不引爆时，需重新施工，粮费较长的时间。

### (三) 正压和反向冲击技术的联合射孔工艺

正压和反向冲击技术的联合射孔工艺过程如下：

在井内充满压井液下使用大直径的套管射孔枪进行预先射孔。射孔之后，将接有封隔器韵管柱下入井中，油管端部装有一个易碎的封堵盖，这样可以保证油管中是空的或灌入少量流体，油管柱下到射孔层段以上一定位置后，坐封好封隔器，油管内压差调节到预定值，由井口投下一个冲击棒将封堵盖打碎，这样突然建立起一个。极大的负压差，依靠回流的冲击作用将射孔孔眼冲洗干净，如图 1 – 5 – 10 所示。

这种射孔工艺的优点是射入深度较深，压差很大，孔眼的冲洗效果好，无上顶射孔枪及电缆的危险，而且成本较低，工艺简单。其缺点是对压井液的质量要求较高，要求井筒内液体必须干净，而且与地层岩石和流体要相匹配，封堵盖要根据不同液柱静压选择的合适。

## 四、射孔的现场施工工序

(1) 安装作业井架，并使天车中心与井口中心对正，检查井架、绷绳、绷绳坑、绳套、绳卡等，消除不安全因素。

(2) 通井，以便检查井筒内是否畅通无阻，人工井底深度是否与设计相符，确定该井，能否立即射孔，将井内落入的土块，杂物等捞出或通人井底口袋内，用通井器破坏泥浆切力，通开遇阻井段，为射孔扫清井下障碍，射孔施工中途，若射开井段被碎弹壳等堵塞，造成射孔器下不到待射油层位置时，也应用通井的方法将障碍物通入井底，如果发现井筒内泥浆严重变质或井筒堵塞通井无效时，必须下油管处理泥浆后再进行射孔。

(3) 井口安装防喷装置。该装置包括有 127 ~ 203.2mm (即 5 ~ 8 英寸) 的放炮大闸门或闸板式放炮封井器或全封封井器。

(4) 根据地质设计的要求，井筒内灌注足够的质量、密度符合要求的压井液。

(5) 由射孔队组织实施射孔作业，作业队 (或试油队) 做紧密配合，确保射孔层位的准确及施工的安全。

(6) 射孔过程中应密切注视井口情况，射孔后若井口出现溢流及出气的现象时，可能是井喷的征兆，此时应停止射孔作业，关好防喷器 (或放炮大闸门)，并采取相应的措施。

(7) 井口附近严禁烟火，以防止意外事故的发生。

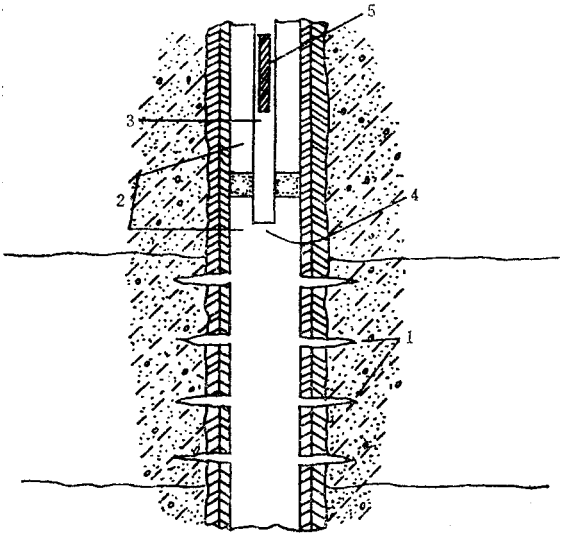



图 1－5－10　正压和反向冲击技术的联合射孔工艺工意图
1—用大直径射孔器预先进行射孔；2—静水液压；3—油管内维持低压；
4—密封剪切封堵盖；5—投入铁棒

## 第三节　油　层　污　染

所谓油层污染就是油层的原始渗透率由于外来因素的影响而降低。

这些外来因素有打开油层时用的完井液、固井用的水泥浆，进行增产措施时用的压裂液、酸化液，作业时用的洗井液和压井液等。

油层污染按其污染性质可分物理性质污染和化学性质污染。前者为各种机械杂质的污染，后者为油层侵入液与油层或油层流体发生化学反应而引起的污染。

### 一、油层污染的机理

油层中油层污染主要是由于外来流体（包括液相和固相）侵入油层，使井筒周围油层渗透率下降，形成低渗透带所造成的。

#### （一）固体颗粒的堵塞

当外来流体中的固相即一些团体颗粒侵入油层中时，颗粒比较大的，进入不到孔隙，中就依附在井壁表面，形成“泥饼”，造成井壁表面渗透率降低。如果地层中有天然裂缝和压裂裂缝，颗粒就会进入到缝隙中去，粘附在裂缝表面，对地层损害很大，颗

粒比较小的固体在流体的带动下，进入岩石孔隙中去，使岩石的孔隙减小，渗透率降低。

## （二）流体造成的堵塞（水侵效应）

1. 使地层中的粘土膨胀

油砂颗粒周围一般都包有极薄的粘土膜，在泥浆水侵入的作用下，油砂颗粒周围的粘土质成份产生膨胀，使油流通道缩小，渗透率降低。

2. 破坏孔隙内油流的连续性

如图 1－5－11a 所示，油层含油饱和度较高时，油流在孔隙内部呈连续状态，孔隙的周围存

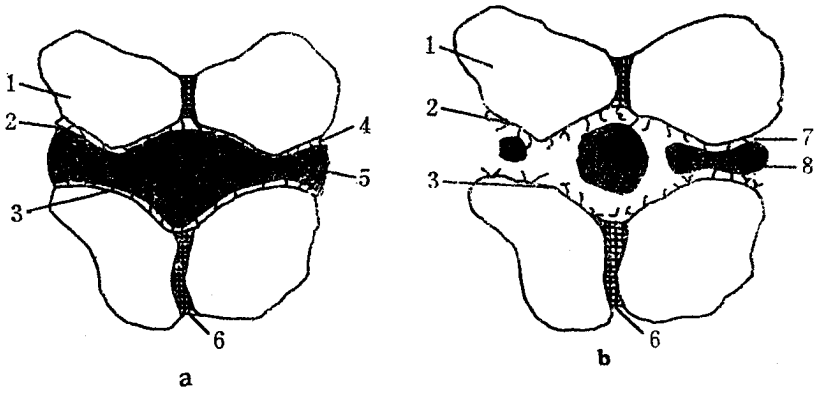



图 1－5－11 水侵对油砂内原油流动的影响

1—油砂颗粒；2—松散微粒；3—剪切面；4—束缚水；5—连续肋婉；6—胶结物；7—侵入的泥浆滤液；8—小油滴

在着束缚水，它能使极微小的松散微粒固定下来，在相当大的油流速度下也不会被冲走。当泥浆滤液浸入较多时，会破坏油流的连续性，使之成为大小不等的油滴，从而将原油的单相流动变为油水两相流动，这样就增大了油流阻力。另外当水成为流动的连续相时，流动的剪切面为砂粒表面，只要流速稍大，就会把原来稳定在颗粒表面上的松散微粒冲走，并在孔道内适当的位置发生堆积，堵塞流动孔隙，从而严重地降低了油层的渗透率如图 1－5－12b 所示。

3. 水锁效应的产生增大了油流阻力

泥浆中的水渗入地层，进入岩石孔隙中去，在地层孔隙的毛细管里形成一段水一段油的结构，如图 1－5－12 所示。

由于油水界面张力的存在，而产生毛细管力，在这种情况下产生水锁疚，油气进入并内必须克服很大的阻力。

4. 在地层孔隙内形成沉淀物

由于外来流体性质和油层流体性质不匹配，在油层中生成固体或絮状沉淀物，而堵

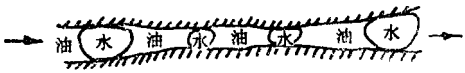



图 1－5－12　水锁疚示意图

塞地层孔隙（属固体颗粒造成的堵塞），降低油层渗透率。

5. 乳化液增大了油流阻力

外来流体侵入地层和油层中原有的水或油发生乳化作用，而形成乳化液，使流体粘度增加，从而增大了油流阻力。

## 二、油层污染对油田开发的影响

这里主要分析一下完井中的油层污染对油田开发的影响。

完井过程中，打开油层时若使用过大的泥浆密度，就容易造成水侵或泥侵，另外失水量过大的泥浆，水容易进入地层占据油层孔道。如果泥浆中存在气泡，也可能发生气侵。上达情况都会造成油层渗透率的下降，在诱导油流时均会影响油气流入井内，给试油和以后开采工作带来困难。对于探井造成油层污染后，则会出现无油气显示的假象，严重地影响到对地层的正碗认识。对于生产井，则可能降低油井产量，污染严重时导致油井不出油，给合理开发油田带来不利的影响。

## 三、油层污染的预防

在完井过程中，可根据具体条件选择并采用以下措施，以预防和减少油层污染。

(1) 针对油、气层的特点，采用合理的完井方法，减少泥浆浸泡时间。

(2) 合理选择泥浆密度，做到压而不死，压而不喷，实现近平衡钻进。

(3) 使用低固相或无固相优质洗井液和添加桥堵剂的完井液，以减少固相颗粒的入侵。

(4) 使用特种洗井液钻开油、气层。

(5) 增加泥浆中钙离子的浓度，以抑制油层中粘土膨胀。

(6) 使用表面活性剂，减少对油层渗透率的影响。

# 第六章 生产测井及其应用

## 第一节 工程测井

为了解井下管柱深度、检查井眼技术状况及施工作业效果而进行的生产测井项目统称为工程测井。工程测井在油水井大修与侧钻作业中的作用主要有以下四个方面：

(1) 检查井下管柱（生产管柱、作业管柱及其他井下工具）结构及深度，确定电缆桥塞坐封位置，指导爆炸松扣、爆炸切割及爆炸开窗施工作业；

(2) 检查套管井径变化与套管变形、破裂、错断及腐蚀情况，确定套管损坏位置、类型及程度，为研究套管损坏机理、修复套管损坏井提供可靠依据；

(3) 检查套管漏失、管外窜槽位置，确定地层出砂、出水层位；

(4) 检查二次固井、尾（衬）管固井质量与堵漏、封窜、堵水及防砂效果。

目前，国内油田用于修井、侧钻作业的工程测井项目有磁测井、接箍测井、井径测井、井温测井、流量计测井、放射性同位素示踪测井、声波测井等，配套仪器达二三十种。国产 SD－2 微机数字测井系统、SSC－93A 生产测井系统与引进 EXCELL－2000、DDL－Ⅲ、CSU、AT＋数控测井仪及 CP－1 生产测井仪均配备有上述工程测井仪器，可以为修井、侧钻及增产措施效果检测提供客观、详实的技术资料，提高施工有效率。

### 一、接箍测井

为保证井下作业位置准确，通常用管柱接箍来控制作业深度，接箍位置可通过磁性定位器来测量，其结构原理如图 1－6－1 所示。

磁性定位器主要是由两个永久磁钢和一个绕组线圈组成，两个磁钢同极相对，中间放置线圈，装在非磁性（如铜）外壳中，并用橡胶或其他非金属材料固定。

当仪器在井内移动经过管柱接箍时，由于管壁变厚，改变了磁钢周围的磁场分布，使穿过绕组线圈的磁力线重新分布，磁通量密度发年变化，并在绕组中产生感应电动势。根据电磁感应定律，电动势大小为

$$\varepsilon_i = -\frac{d\varphi}{dt} \qquad (1-6-1)$$

感应电动势大小与介质磁阻变化、测速、磁场强度及绕组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，即可确定管柱接箍位置。

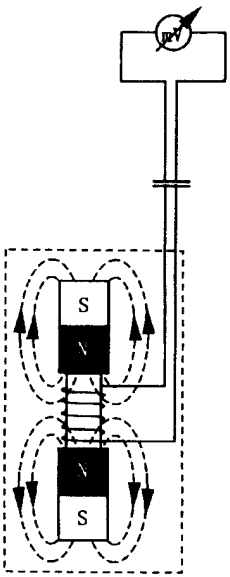



图 16－1　磁性定位器原理图

## 二、磁测井

磁测井仪是一种专门用于检测井下金属套管技术状况的涡流探伤仪器，一次下井可测得套管重量和井径两个参数。通过对重量和井径测量结果的综合解释可确定套管腐蚀状况和破损程度、检查射孔质量及套管补贴效果。

### （一）磁重量测井原理

磁重量测井系统是由低频涡流传感器和电子系统两部分组成，传感器中有发射线圈和接收线圈（如图 1－6－2 所示）。当给发射线圈供以 16Hz 的低频交流电时，套管对发射线圈所形成的交变电磁场产生涡流效应。在铁磁材料中，由于涡流效应使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中的原生电流间将产生相位差。相位差大小与周围套管的厚度和材料特性有关，其关系如下所示：

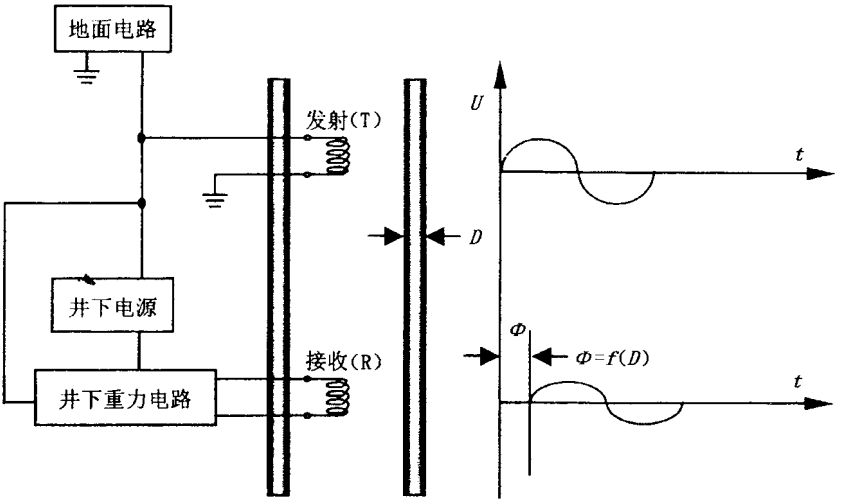



图 1－6－2 磁重量测井原理图

$$\Phi = 2\pi D\sqrt{\frac{\mu rf}{10^7\rho}}$$

式中 Φ——相位差；

$\mu^r$——套管相对磁导率；

f——电源频率；

ρ——套管电阻率；

D——套管壁厚。

当套管材料、电源频率不变时，相位差是套管壁厚的单值增函数，因此重量测量结果反应了套管壁厚变化情况。通过井下重力电路处理，将相位差转换成与之相应电位差大小，即可得到不同井段套管壁变化情况。

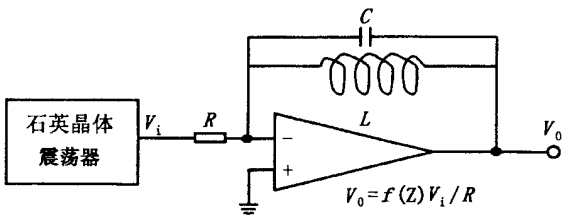



图 1－6－3 磁井径测量原理图

## （二）磁井径测量原理

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 的高频涡流传感器线圈、20kHz 晶体振荡电源谐振放大器三部分组成（如图 1－6－3 所示）。当晶体振荡器给传感线圈供以高频电流时，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，涡流耗损的反射效应使线圈阻抗发生变化。当套管材料和仪器参数不变时，线圈阻抗变化量是线圈与套管内壁间距离（即套管内径）的单值增函数，因此线圈阻抗高低反映了套管内径变化情况。在磁井径测量电路中，采用谐振调幅法，将线圈阻抗变化转换为放大器输出电压的变化，从而达到测量井径的目的。

## 三、井径测井

井径测井在大修作业中的应用主要是为了检查套管内腐蚀、穿孔、裂缝、磨损、径向变形及破裂程度、确定套管损坏位置，为研究套管损坏机理和修复套损井提供可靠依据。

工程测井用井径仪是利用机电控制原理，将井径探针机械位移转换成电桥电阻或电位差，通过放大及地面二次仪表记录出井径曲线，图 1－6－4 所示为国产八臂井径仪工作原理示意图。

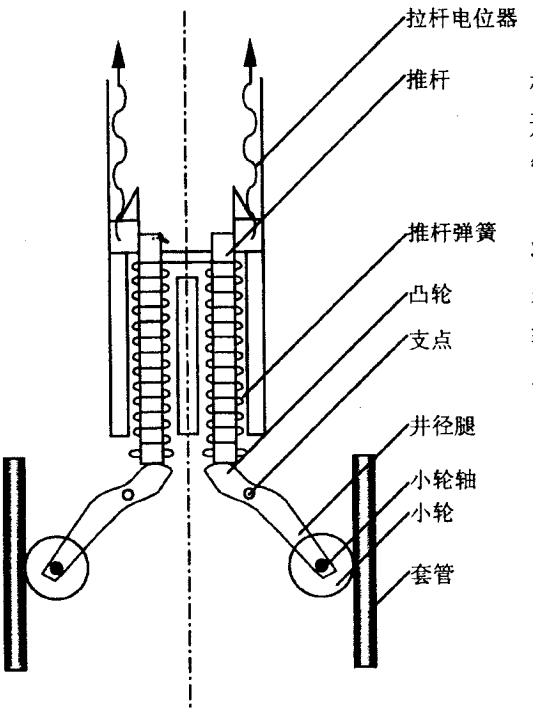



图 1－6－4　八臂井径仪工作原理图

八臂井径仪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。在活塞缸内正对每个测量凸轮的上方安装有八个推杆和推杆弹簧，推杆下顶凸轮，上连拉杆电位器电刷轴。测量腿依靠推杆弹簧的弹力伸开，使小轮紧贴套管内壁运动。同一直径上对称的两条测量腿就象一个内卡尺，其小轮外沿间距离就是一条套管内径值。测量腿凸轮设计使小轮径向位移与推杆轴向位移成线性关系，当推杆带动拉杆电位器电刷轴上下移动时，电位器电阻值发生变化，将测量腿径向位移转变为直流电位差大小，通过地面记录仪直接记录出四条套管内径曲线。

## 四、井温测井

井温测井仪是根据某些对温度敏感的材料或元器件，如铜、铂等随温度变化，其电阻发生变化这一规律，通过测量电阻变化，间接求出井内温度。

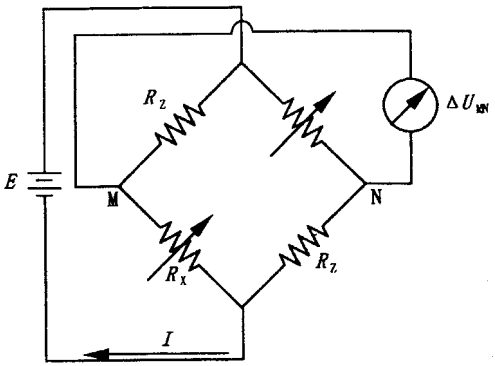



图 1－6－5 井温测井原理图

井温测井电路如图 1－6－5 所示，两个温度系数很大的热敏电阻 $R_{温}$ x 和电阻 $R_z$。构成电桥，电阻 $R_x$ 放在紫铜管内，和井内液体直接接触。在某一温度 $T_o$ 时，$R_x = R_z$，电桥平衡，M 点与 N 点电位相等。当井内温度变化时，热敏电阻 $R_x$ 的阻值随之发生变化，电桥失去平衡，MN 间出现电位差$\triangle UL_{MN}$，$\triangle U_{MN}$的大小与温度变化$\triangle T$成正比，即

$$\triangle T = C\frac{\triangle U_{MN}}{I} \qquad (1-6-3)$$

式中 C——井温仪常数；

I——电桥供电电流强度。

那么此时井内温度丁等于

$$T = T_o + \triangle T = T_o + C\frac{\triangle U_{MN}}{I} \qquad (1-6-4)$$

对井温仪进行校验，求得 $T_o$ 及 C 值，通过测量便可直接记录井内温度 T，沿井身连续测量即可得到一条随井深变化的温度曲线。

当井内出水时，由于地层水进入井筒进行热交换，致使出水层位井温曲线产生异

常，在竽湿点以上表现为降温异常，在等温点以下表现为升温异常。而当套管漏失、管外窜槽时，由于井内液体大量漏人地层，窜漏处短期内难以恢复其地层温度，因而造成井温曲线下降的异常变化。因此可以利用井温曲线确定出水、套管泄漏及管外窜槽位置。

应用井温测井寻找窜漏层位时，先测出井温梯度基线，然后泵入一定量修井液，如漏人地层，则温度变低，再测井温时，在窜漏部位井温曲线将出现异常。将两次测量所得的井温曲线进行比较，找出温差大的井段即为漏失层位。

## 五、流量计测井

目前，油田常用的井下流量计有转子流量计、涡轮流量计及示踪流量计三种，图 1－6－6 所示为转子流量计工作原理图。

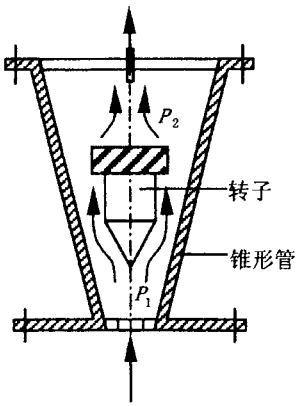



图 1－6－6　转子流量计工作原理图

转子流量计主要是由一个上粗下细的锥形管和一个能上下浮动的转子所组成。当井内流体穿过转子与锥管壁间环隙时，流体受到了节流作用，由于流动速度的增加及摩擦阻力损失等原因，流体的静压力就要降低，这时，转子下面的压力大于上面的静压力，就产生了一个使转子向上移动的力。但是，转子越往上升，它与锥管间的环隙面积就越大，则流速下降，摩阻也下降，因此同一流量所产生的压差就越小。当上浮力与转子重量相同时，转子就稳定在某一高度上。

在地层窜漏层位，由于井内液体漏失使转子位置升高，通过流量计的流量增大，因此可用转子流量计查找地层窜漏层位。

## 六、放射性同位素示踪测井

放射性同位素示踪测井是用固相载体吸收放射性同位素离子，再与水配制成一定浓度的活化悬浮液挤入地层。地层在吸水的同时也吸收活化悬浮液，当载体直径大于地层

孔隙直径时，悬浮液进入地层，载体就滤积在井壁上。因此，井壁放射性同位素射线强度就反应了对应位的吸水能力，在油水井大修作业中可依此寻找套管泄漏及管外窜槽位置、检查封堵效果。

由于地层本身就具有自然放射性，因此在注入活化液之前，应先测一条自然伽马曲线作为基值，以便与注入活化液后测量的伽马射线强度曲线相比较，来了解某个层位放射性强度在注入活化液后有无变化，从而找到窜漏井段。

放射性同位素示踪测井通常使用小直径（$\phi$38mm）闪烁伽马射线测井仪测量地层伽马射线强度，该仪器由闪烁计数器、高压电源及电子线路三部分组成，如图 97 所示。当地层中的伽马射线穿过仪器外壳射人碘化钠晶体后，晶体内产生荧光和磷光。这两种光经光电倍增管放大后转化为电脉冲信号，再经过放大器把电脉冲放大后由电缆传送到地面仪器。

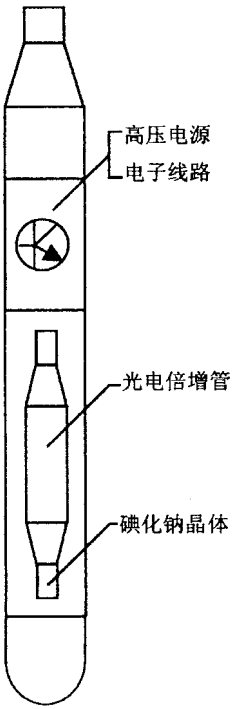



图 1－6－7 伽马射线测井仪结构示意图

## 七、声幅测井

声波在介质中传播时，引起质点振动，其能量被逐渐吸收，声波幅度也逐渐衰减。声波幅度在声波频率一定的情况下，与传播介质的密度、弹性等因素有关。声幅测井就是通过测量沿套管传播的滑行波首波幅度，推断声波能量在套管与管外介质界面上的反

射情况，以检查管外环形空间水泥胶结情况，确定管外窜槽及套管错断位置。

声幅测井使用单发射单接收声波测井仪，如图 1－6－8 所示。测井时，发射探头（声源）发出的声波向各个方向传播，最先到达接收探头的是沿着套管传播的滑行波（套管波）所产生的折射波，其幅度大小与套管波的能量衰减有关。衰减大则折射波幅度小，反之折射波幅度大。套管波的衰减和套管尺寸、壁厚，套管内外介质性质及其分布有关，对某一口油井或水井来说，套管尺寸、壁厚及管内介质基本上是不变的，造成套管波衰减发生变化的只是管外介质性质及其分布。

如果水泥环与套管胶结良好，由于固结的水泥与套管的声阻抗差别比较小、声耦合率大，由声源发出的声波，经过井内介质传播进入套管后，大部分折射进入水泥环中，因而沿套管滑行并折回井内接收探头的声波幅度（反映接收到的声波能量的大小）很小，这样在固井质量好的井段上，声幅测井曲线显示为低值或零值。

当套管外水泥封固不好时，例如某些井段套管外为水或其他流体时，由于流体在声速及密度上与套管差异较大，从套管折射进套管外流体中的声波能量很小，大部分仍反射回套管并沿套管滑行，此时接收探头接收到的声波幅度较大。

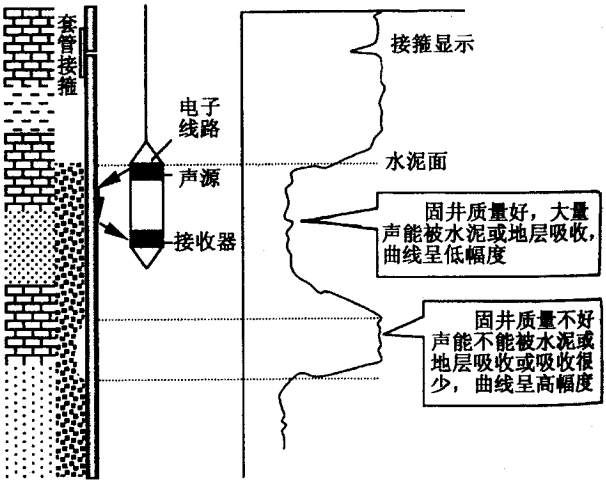



图 1－6－8　声幅测井原理图

声幅测井时，接收探头接收由套管波引起的折射波的幅度，经电子线路把幅度转变成与之相应的电压大小，并通过地面记录仪器，即得到声幅测井曲线。

在油水井大修、侧钻作业中，应用声幅测井可以确定套管开窗及管外窜槽位置，检查二次固井、尾（衬）管固井质量及水泥浆封堵效果，还可用来确定套管错断位置，这是因为在套管错断处，由于套管波严重衰减，在声幅测井曲线上有一个明显的低值尖峰。

## 八、声波变密度测井

声幅测井仅记录声波波列中首波的幅度，因而只能检查套管与水泥环的胶结封固情况。但管外窜漏可能不是由于套管和水泥环胶结不好，而是由地层和水泥环胶结不好造成的，这种窜漏用声幅测井是检查不出来的。

考虑到在井下接收探头接收到首波以后的后续波可能是穿过水泥环，甚至是通过地层传播声波讯号，也就是说，只要对通过水泥环和地层界面以及通过地层传播的声波幅度进行记录，就可以对水泥环与地层胶结情况进行检查。

声波变密度测井就是按时间的先后次序，对井下接收到的整个波列的幅度进行记录，由于记录的是全波列，所以也称为全波列测井。测井时，井下声源每秒钟发出 20 次频率为 20kHz 的脉冲声波，接收装置把经套管、水泥环、地层传播的声波接收、放大，并经电缆传输至地面设备，整个波列的图形如图 1－6－9 所示。前几个波是沿套管传播的，称为套管波。以后几个波是通过水泥环、地层传播的，统称为地层波，其中有能反映水泥环和地层胶结情况的讯号，还有反映地层其他性质的讯号等，最后还有部分通过钻（修）井液传播的直达波。

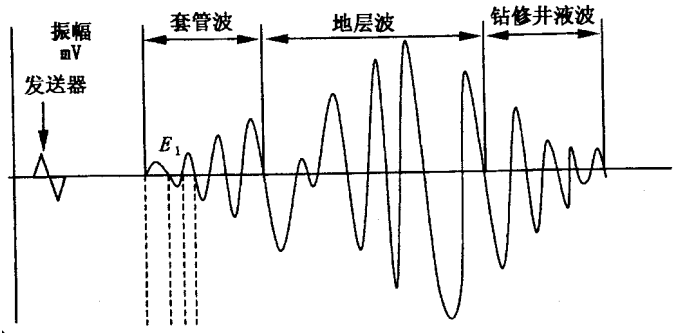



图 1－6－9　声波波列

声波变密度测井地面仪器根据接收到的整个波列的每个波的幅度，将其变换为荧光屏上亮暗程度不同的光点，幅度大的波变成明亮的光点，幅度小的波变成暗弱的光点，然后对荧光屏明暗不同的光点进行照相记录。的介质声速的变化。与普通声幅测井一样，声波变密度测井记录的也是声波讯号的幅度，但它与普通声波测井的差别在于，它不仅记录首波（套管波）的幅度，而且也记录了后续波的幅度变化，这样的记录结果反映了与井轴平行的物理性质不同的各个界面（套管与水泥环、水泥环与地层）上声波幅度的衰减情况。在油水井大修作业中，通过声波变密度测井可以检查水泥环与地层窜漏位置，判断管外出砂层位。

## 九、声波井下电视测井

声波井下电视测井是以超声波束为信息载体，利用超声波在介质中的传播和反射特性，对井壁进行扫描以获得图像的一种测井方法。在套管井中，应用声波井下电视测井可以了解套管损坏或射孔情况，如套管破裂、变形、扭曲、错位、断裂、缩径、扩径、孔洞及裂缝等，为套管损坏机理研究及油水井大修提供依据。

声波井下电视测井原理如图 1－6－10 所示，当探头 T 绕 Z 轴旋转时，换能器向井壁发射声脉冲，并接收从井壁反射回来的声波。反射回波幅度大小取决于井壁表面状况，光滑表面比粗糙表面反射的声波多，套管面比套管孔洞、裂缝反射的声波多。总之，井壁表面的任何不规则性都将改变反射声波讯号的幅度，将此声讯号变换为电讯号通过电缆传输到地面仪器，再根据电讯号幅度大小，调制电视显像管辉度，并进行照相记录，即可以确定井壁声学界面的几何位置，得到井壁声学界面电视图像。当上提探头进行连续测量时，即可得到井壁孔洞、裂缝分布的完整图像。

## 十、噪声测井

上面提到的几种声波测井方法，都是在井下放置人工声源，使之发出声波，然后记录经过井内液体、套管、环形空间水泥或地层传播的声波，并根据接收到的回波讯号判断井下技术状况。

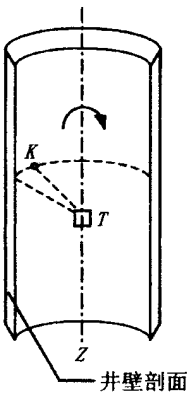



图 1－6－10　声波弊下电视测井原理图

噪声测井不需要在井下放置人工声源，而是直接记录井下自然状态下的声波讯号，因此又叫自然声波测井。当井下液流或气流通过阻流位置时，会出现压力降而发生振动，并以声和热的形式传递能量。因此在井下出液、出气、出砂及窜槽层位，可以观测到明显的声扰动，这种声音称为噪声，其幅度、频率与流体成分、流量和流速有关。

噪声测井用只有一个接收探头的声纳测井仪接收井下自然声波，并通过电子线路将声波幅度转换为电信号传输到地面仪器，进行频谱分析。通过加密点测数据后连成曲线，可以判断井下出液、出气、出砂及窜槽位置。

## 第二节 测 卡

在油水井解卡打捞作业中，处理井下被卡管柱首先必须测出卡点位置，然后才能实施侧扣或切割作业，解除卡钻事故。卡点位置可用测卡仪来测量，也可用拉伸公式来计算。由于大修井井内结构复杂，且受管柱摩阻影响，用拉伸公式计算卡点位置，误差较大。而测卡仪则不受上述因素影响，可准确确定卡点位置和钻具被卡的松紧程度，同时还可与爆炸松扣、爆炸切割工艺组合使用，迅速起出卡点以上管柱，缩短井下事故处理时间。

对被卡管柱来说，在井口施加的轴向或周向外力只能传递到卡点以上，而传递不到卡点以下。测卡仪正是根据被卡管柱这一特点，通过测量井下管柱拉伸位移或扭转位移来确定卡点位置的。

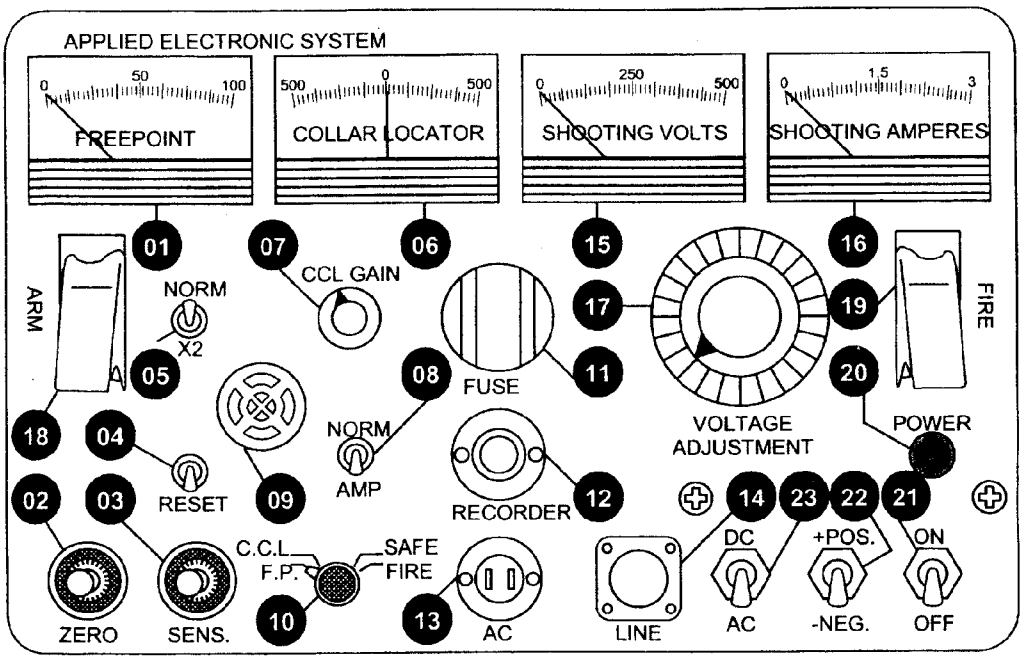



图 1－6－11 测卡仪地面面板

## 一、仪器结构

测卡仪分地面面板和井下仪器两部分，地面面板通过 $5/_{16}$ in（7.9mm）单芯双层铠装置井电缆为井下仪器供给直流电源，同时接收井下仪器传输的电讯号，经处理后显示在面板上。

图 1－6－11、图 1－6－12 所示为 AES 测卡仪地面面板及井下仪器结构。

### （一）地面面板

AES 测卡仪地面仪器是一台便携式组合面板，兼有测卡、爆炸点火、磁定位控制与显示装置，面板上各控制功能如下：

01——测卡表，指示测卡时井下仪器轴向或周向相对位移量，以百分数表示；

02——调零旋钮，每次按下复位开关后转动该旋纽，使测卡表指针回零；

03——灵敏度调节旋钮，调节测卡表指针摆动幅度与井下仪器位移量比值大小，也可用来设置测卡表指针摆幅上限；

04——复位开关，应用电磁学原理使井下传感器复位，复位电压为 110V 直流正电压；

05——摆幅控制开关，当此开关处于“NORM”位时，测卡表指针摆动幅度与井下仪器位移量相当，当此开关处于“X2”位时，测卡表指针摆动幅度相当于井下仪器位移量的两倍；

06——磁定位表，指示井下磁性定位器产生的信号强弱，用以确定管柱接箍位置；

07——磁定位增益旋钮，控制传送给磁定位表的信号强弱；

08——信号输出选择开关，当此开关处于“NORM”位时，磁定位信号强弱仅通过磁定位表显示出来，处于“AMP”位时，磁定位信号不仅显示在磁定位表上，同时转换为声信号，以蜂鸣声指示管柱接箍位置；

09——固体音调发声器，当信号输出选择开关处于“AMP”位时，将磁定位信号放大后转换成声信号输出；

10——工作状态选择开关，选择组合面板工作方式，“F.P.”位为测卡，“C.C.L”位为磁定位，“FIRE”位为爆炸点火，“SAFE”位为安全接地；

11——面板保险管，3A/125V；

12——记录仪插座，用以连接磁定位记录仪；

13——电源插座，用以连接 90～110V、50～60Hz 交流电源；

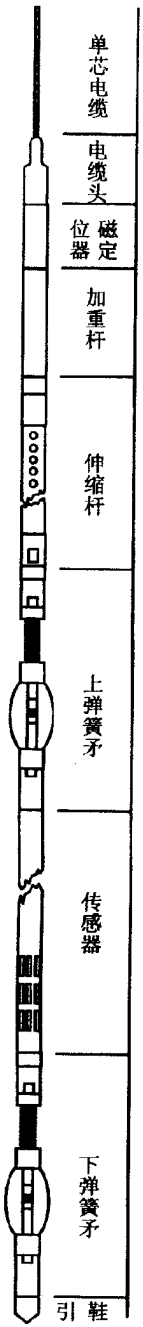



图 1-6-12 测卡仪井下结构

14——信号输入插座，与测井绞车滑环线相连；

15——爆炸电压表，指示爆炸点火时提供给测井电缆的电压大小；

16——爆炸电流表，指示爆炸点火时提供给测井电缆的电流大小；

17——电压调节旋钮，调节爆炸点火电压大小，调节范围为 0～500V；

18——爆炸准备开关，接通爆炸点火电路，并准备好点火电压，但电压并不作用于电缆上；

19——爆炸点火开关，将爆炸电压作用于测井电缆上，通过电缆放电引爆井下炸药；

20——面板电源指示灯；

21——面板电源开关；

22——爆炸电压极性选择开关，当此开关处于“+POS.”位时使用直流正向电压引爆，当此开关处于“-NEG.”位使用直流负电压引爆；

23——爆炸电源转换开关，当此开关处于“DC”位时使用直流电源引爆，当此开关处于“AC”位时使用交流电源引爆，测卡与爆炸组合作业时，只能使用直流负电压。

## （二）井下仪器

井下仪器主要由电缆头、磁性定位器、加重杆、伸缩杆、上弹簧矛、传感器、下弹簧矛及引鞋组成，其中磁性定位器、加重杆和伸缩杆为可选部件。

1. 电缆头

电缆头用来连接测井电缆与井下仪器，中间有导杆与仪器芯线连接，形成闭合回路。

2. 磁性定位器

与测卡仪配套使用的是小直径磁性定位器，接在电缆头下面，用来寻找管柱接箍、校正仪器下入深度。

3. 加重杆

测卡仪所用加重杆是空心的，中间有导线，可与仪器连通成闭合回路其数量与重量根据测井电缆尺寸、井内液体密度及

估算卡点深度来确定，要求既能保证仪器正常起下，又能保证仪器处于自由状态，以利于仪器顺利复位。

4. 伸缩杆

伸缩杆内腔是密封的，腔内有螺旋弹簧导线与仪器芯线相连，通过弹簧弹力使心轴沿仪器轴线上下移动。其作用有二：一是在仪器遇卡时作震击器用：二是测卡时上提半个冲程，将加重杆及电缆重量与弹簧矛分开，以免影的传感器工作。

5. 弹簧矛

弹簧矛连接于传感器上下，其主要作用是将被卡管柱的的向或周向位移传递给传感器，同时扶正和固定传感器。上下两个弹簧矛中间距离为 1.32m，每个弹簧矛是由 4 组弹簧轴周均匀分布，每组有两片弹簧，且用螺钉固定在定位座上。弹簧矛外径通过螺旋压簧来调节，并用中心杆上的定位套与定位环来固定。中心杆内有导线与仪器芯线相连，形成闭合回路。在不同直径的管内测卡时，应选用不同规格的弹簧支座，使弹簧外径满足测卡要求。

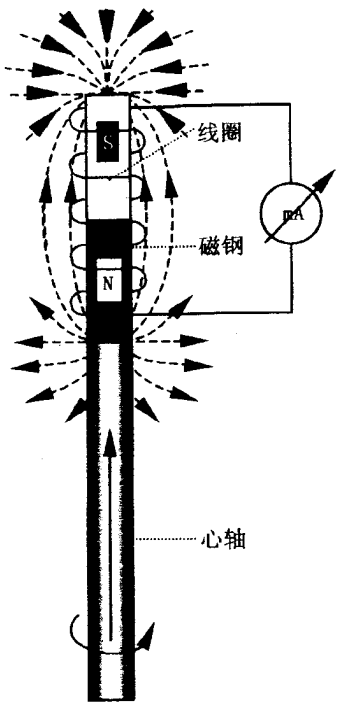



图 1－6－13　传感器工作原理图

6. 传感器

传感器是测卡仪的关键部件，主要由线圈、磁钢及心轴等组成，如图 1－6－13 所示。当心轴随被卡管柱一起转动或拉伸时，磁钢也随之产生一个周向或轴向位移，于是线圈切割磁力线产生瞬时感应电流。由于传感器线圈与面板上的测卡表连接成一闭合回

路，因此根据测卡表指针摆动幅度，就可以准确确定卡点位置。

根据磁场对电流的作用力，只要给传感器线圈供给一直流电压，即可使传感器复位。

传感器线圈保护筒内为一真空密封腔，腔内充满合成油，使传感器内外压力保持平衡，保证传感器工作不受井内液体压力干扰。

7. 锥形引鞋

锥形引鞋主要是将仪器芯线与外壳连通，形成闭合回路，同时保证仪器顺利下至管内预定位置。

## 二、工作原理

依据不同材质的管材在弹性极限范围内受拉或受扭时，应变与应力（或力矩）成正比关系，被卡管柱卡点以上部分受力时，应变应符合上述关系，而卡点以下部分由于力或力矩传递不到则无应变，卡点则位于无应变到有应变的显著变化部位。测卡仪就是根据电磁感应原理，将被卡管柱轴向或周向应变转换为电信号，并通过地面面板接收、放大后显示在仪表盘上，从而测出卡点。

测卡时，由于传感器上下弹簧矛具有一定的抓持力旦支撑在被卡管柱内壁上，从而和被卡管柱构成机械联结。如果测点位于卡点以上，当从井口对被卡管柱施以旋转或拉伸外力时，上下弹簧矛便产生相对位移，传感器心轴及磁钢也随之产生一个相应位移，于是线圈电思量发生变化，产生瞬时感应电流，使测卡表指针摆动一定幅度。当测点位于卡点以下时，由于在井口对被卡管柱施加的外力传递不到卡点以下，测卡表指针不会发生摆动。因此，根据测卡表指针摆动与否，就可以准确确定卡点位置。

## 三、主要技术指标

| | |
|---|---|
| 仪器外径： | 34.9mm |
| 测卡操作电压： | 2.7～10V，直流 |
| 传感器复位电压： | 115V，直流 |
| 最大工作温度： | 246℃ |
| 最大工作压力： | 144MPa |
| 传感器线圈电阻： | 20Ω |
| 待测管柱内径： | 38.1～238.1mm |
| 井下仪器长度： | 3.01～3.39m |
| 伸缩杆冲程： | 381mm |
| 仪器质量： | 18kg |

## 四、测卡操作方法

### （一）组装井下仪器

根据待测管柱内径，在地面调整好弹簧矛外径及弹簧张力，并按图 1－6－12 所示顺序连接好井下仪器。

### （二）调试地面仪表

（1）先将地面面板与测井绞车滑环线连接好，接通面板电源；

（2）将面板工作状态选择开关调至磁定位（C.C.L）位置，用金属体如管钳横扫磁定位表面，模拟磁定位过接箍情形，旋转磁定位增益旋扭，直至蜂鸣声响或磁定位表指针摆动正常，锁定旋扭；

（3）将工作状态选择开关调至测卡（F.P.）位置，用手扭转或拉伸传感器，模拟传感器测卡操作，调整灵敏度旋扭，直至测卡表指针响应最大，锁定旋扭。

### （三）仪器下井

（1）仪器下井前应测得以下两个数据：被卡管柱方余 $L_1$、补心高差 $L_2$。（2）将连接好的仪器放人管柱内，使磁定位中部对准被卡管柱上端面，调整测深指示器回零，下放仪器，深度为 $L_1-L_2$ 时，再次回零，此时磁定位中部在井深零位置处。

（3）将面板工作状态选择开关调至磁定位（C.C.1）位置，下放仪器，每过一个单根，磁定位表指针应摆动一次，并伴有蜂鸣响声；如果井比较深，中途可将选择开关调至测卡（F.P.）位置，观察测卡表指针是否随仪器下放而摆动。

### （四）测卡

（1）先用拉伸法确定被卡管柱大致卡点位置，进而确定卡点以上管柱的重量，并根据管柱类型及规格确定上提管柱的附加力；

（2）将仪器下放到预测卡点处，给被卡管柱施加轴向或周向应力。若测卡表指针不摆动，说明卡点在仪器上面，则上提仪器；若测卡表指针摆至最大位，说明卡点在仪器下面则继续下放仪器选点再测；这样逐点测试，直至找准卡点为止。

## 五、施工注意事项

（1）被测管柱内壁一定要干净，不得有泥饼、硬蜡等，以免影响测试精度；

（2）下井仪器接有伸缩杆时，在施加外力前应将仪器上提 1.5 ~ 1.8m，再下放 0.60.9m，使伸缩杆以下仪器自由锚定在管壁上；

（3）给被卡管柱施加扭转外力时，一般每 300m 钻杆为 1/4 ~ 1 圈、每 300m 油管 1/

21 圈，管径大和壁厚时转动的圈数少些，卡点位置较深时，转动的圈数多一些。

# 第三节 有线随钻测斜仪

有线随钻测斜仪是套管开窗侧钻定向井、水平井常用的一种磁性测斜仪器。在钻进过程中，可以实时测量井斜角、井斜方位角、工具面角（包括磁工具面和重力工具面）及井底温度等参数，从而实现钻头走向的实时监控和井眼轨迹参数的实时测量，以便及时调整轨迹控制方案，使实钻轨迹符合设计轨迹，提高井眼轨迹控制精度与控制效率。

本节以北京普利门机电高技术研究所生产的 DST 系列为例，介绍有线随钻测斜仪结构原理及其操作方法。

## 一、工作原理

### （一）探管坐标系及测量参数定义

探管是有线随钻测斜仪的心脏部件，主要由三个两两正交的加速度计、三个两两正交的磁通门、集成电路温度传感器及相应的电子线路组成。图 1－6－14、1－6－15 所示为探管坐标系及测量参数定义。

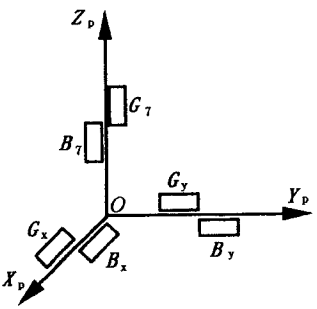



图 1－6－14 探管坐标系及传感器配置

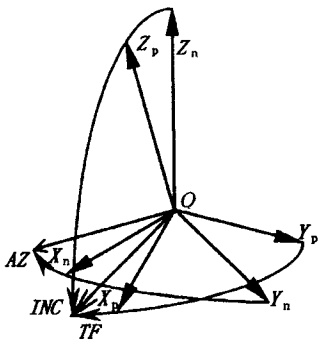



图 1－6－15 INC、Az、TF 的定义

在图 1－6－15 中，INC 为井斜角、AZ 为方位角、TF 为工具面角。

### （二）加速度计

加速度计是一种专门测量重力加速度的传感器，在有线随钻测斜仪中用它来测量井斜角、计算重力工具面。DST 系列探管使用的是磁液悬浮式加速度计，它相当于一个质量弹簧控制系统，如图 1－6－16 所示。

磁液悬浮加速度计由圆柱敏感头和伺服电路两部分组成，圆柱体内充满混有大量磁化物的合成油，林外绕有两个线圈 AC 和 BC。当给线圈通电时，磁性液体中的磁化物聚集在磁钢两极，由这些磁化物把磁钢悬浮起来，使磁钢在圆柱体内作轴向自由移动，且摩擦力很小，起到提高灵敏度和保证阻尼参数的作用。

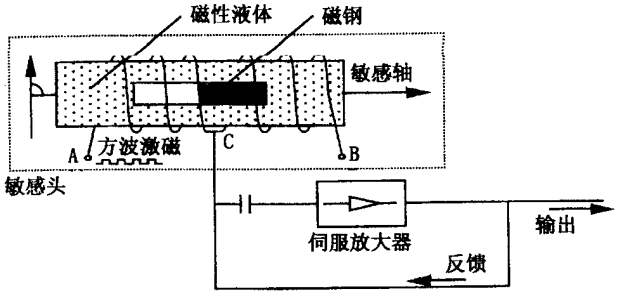



图 1－6－16　磁液悬浮加速度计原理图

当给线圈 AB 通以方波激励，如果 $\alpha = 90°$，即加速度计敏感轴与重力加速度计垂直时，磁钢位于两线圈中间，它在线圈 AC、BC 中产生的感应电动势是平衡的，线圈 AB 中点 C 无电信号输出。如果。$\alpha \neq 90°$，即加速度计发生倾斜，磁钢在重力作用下沿敏感轴下移，线圈 AC、BC 中的感应电动势失去平衡，在 C 点就有电信号输出，输出信号幅度和相位与 $\alpha$ 值有关。将 C 点输出信号放大、校正、解调后再反馈至 C 点，构成一个电弹簧，使磁钢回到中间位置。由于反馈电流大小与所敏感的加速度成正比，通过测量加速度计输出电压大小，即可确定加速度值。

## （三）磁通门

磁通门是一种专门测量地磁场的传感器，在有线随钻测斜仪中用它来测量磁性工具面角、计算井斜方位角。DST 系列探管使用的磁通门传感器如图 1－6－17 所示，由敏感头和伺服电路两部分组成。

敏感头主要是由一对平行放置的磁芯及缠绕在磁芯上的线圈组成，磁芯采用导磁率高、饱和磁感应强度小的磁性材料做成。

给线圈通以方波激励，使磁芯磁化后饱和。如果没有外磁场，绕在磁芯上的探测线圈所感应的电动势 e 只含有励磁电流基波的奇次谐波分量（不含偶次谐波分量），感应电压是对称的，即 $T_1 = T_2$。当外磁场不为零时，感应电动势 e 不仅含有励磁电流基波的奇次谐波分量，而且也含有待测磁场产生的奇偶次谐波分量，感应电压变得不对称，即 $T_1 \neq T_2$。将感应电动势。所含奇偶次谐波经伺服放大器放大、解调后再反馈至探测线圈，反馈电流所产生的磁场大小几乎完全与外磁场相同，但方向相反。由于反馈电流大小与待测磁场强度成正比，通过测量磁通门输出电压大小，即可确定待测磁场强度。

## （四）井斜、方位和工具面角计算

根据 INC、AZ 及 TF 的定义，不难推导出：

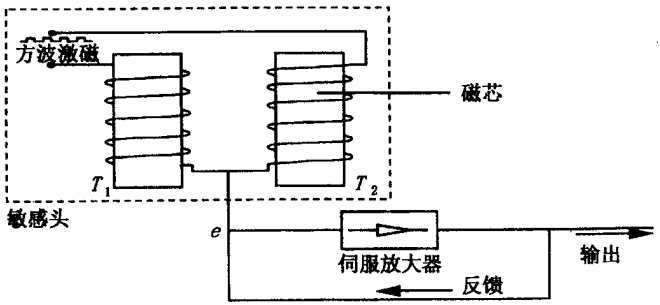



图 1 – 6 – 17 磁通门原理图

$$INC = \text{arctg}\frac{\sqrt{G_x^2 + G_y^2}}{G_z} \qquad (1-6-5)$$

$$TF = \text{arctg}\frac{-B_y}{B_z} \text{或 } TF\ \frac{-G_y}{G_z} \qquad (1-6-6)$$

$$AZ = \text{arctg} = \frac{B_x \sin TF + B_y \cos TF}{(B_x \cos TF - B_y \sin TF)\ \cos INC + B_z \sin INC} \qquad (1-6-7)$$

$G_x$、$G_y$、$C_z$ 和 $B_x$、$B_y$、$B_z$ 是重力场和地磁场在探管坐标系上的分量。

## （五）系统工作原理

DST 系列有线随钻测斜仪按工作原理可分成井下探管和地面数据采集通讯处理器两部分，如图 1 – 6 – 18 所示。井下探管和地面处理器采用单芯铠装测井电缆相连，完成恒流供电与信号传输功能。

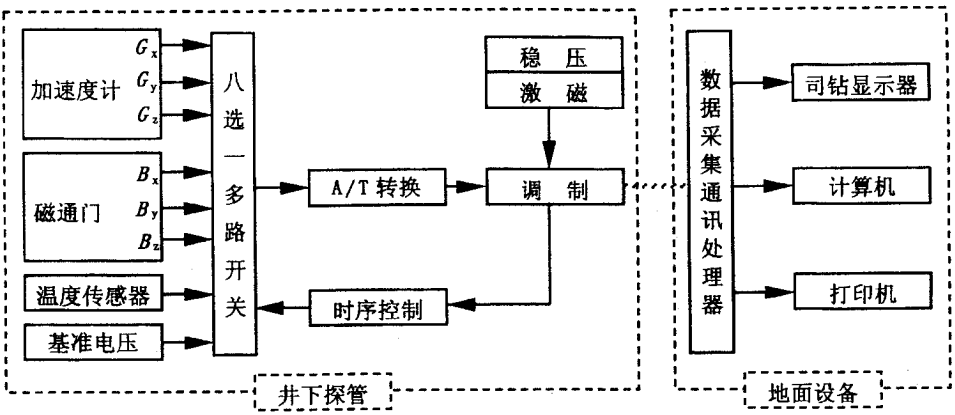



图 1 – 6 – 18 DST 系统工作原理框图

井下探管中的三个加速度计、三个磁通门及温度传感器输出电压和一个基准电压经八选一多路开关依此输入到 A/T 转换器。A/T 转换器将这些电压信号按比例转换成正比

于输人电压幅度的时间脉冲，并按一定时序将数据脉冲发送至调制电路，通过单芯电缆传输到地面处理器。

地面数据采集通讯处理器内有一个信号分离电路，由它分离出数据脉冲，并把这些数据脉冲送至微处理器。微处理器接收分离后的脉冲信号，并将其转换成相应的数字量送至中央处理器进行计算，计算结果显示在计算机屏幕、操作面板或司钻显示器上或送至打印机输出。

## 二、系统组成

DST 系列有线随钻测斜仪按其组件功能可分成四部分，即地面仪器、井下仪器、电缆密封总成及井下辅助设备。

### （一）地面仪器

1. 地面计算机系统

地面计算机是有线随钻测斜仪的控制指挥中心，它接收来自井下探管的脉冲信号并经过分析、处理将其转换成数字量，计算出井斜、方位、工具面、地磁强度、地磁倾角及井底温度等工程参数，显示在司钻显示器、通用计算机屏幕或专用计算机面板上，同时还可驱动并行接口打印机，随时打印出所需工程参数，提供永久的硬拷贝记录。

DST 系列测斜仪配备有两种地面计算机系统，即专用计算机和通用计算机，施工时可根据野外作业环境、施工作业项目及用户需要酌情选用。

专用计算机如图 1－6－19 所示，它是一个以微处理器为核心的单片计算机系统，采用标准工业级以上芯片，可适应恶劣的野外作业环境。其内部电路可分为电源电路和处理器电路两部分，前者为计算机、司钻显示器和探管提供直流电源，并分离井下脉冲信号；后者与探管、司钻显示器和打印机接口相连，其主要作用是采集井下脉冲信号并处理分离后的脉冲信号，控制键板输入和面板显示。

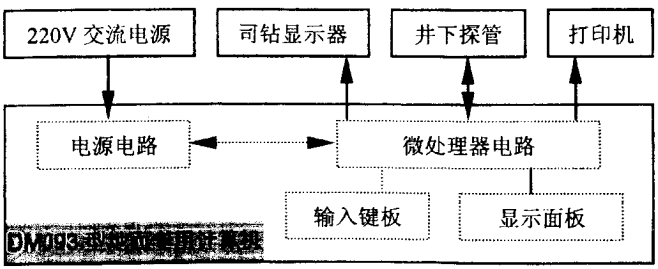



图 1－6－19　地面专用计算机原理框图

地面专用计算机面板控制如图 1－6－20 所示，其上三个四位显示窗可以通过切换按钮国～$S_6$显示左边对应参数，其中前两个显示窗在按下右下角功能键时提示并显示

对应的输人参数，按下回车键即可确认输入。右上角两位显示窗用来显示测斜仪工作状态代码，而电压表则用于指示探管供电电压。磁性工具面和重力工具面工作方式通过面板左侧开关切换。

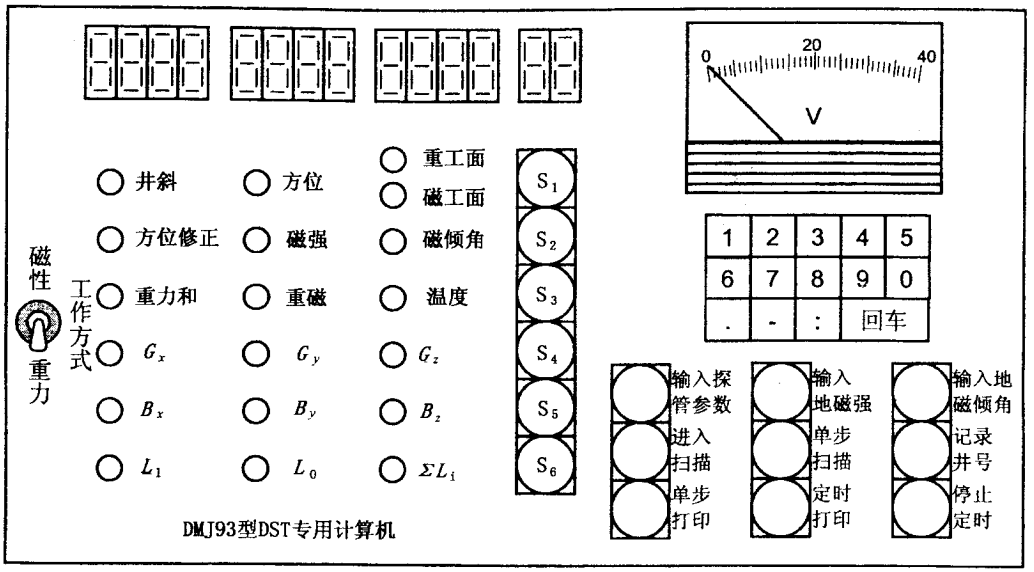



图 1－6－20 专用机面板控制图

通用计算机通过数据采集通讯处理器与井下探管、司钻显示器实现接口连接，如图 1－6－21 所示。数据采集通讯处理器为司钻显示器、探管提供直流电源，并将分离后的脉冲信号转换成数字量输送至 PC 机，利用 PC 机成熟的支持软件，完成数据处理、显示、打印、存储等功能。

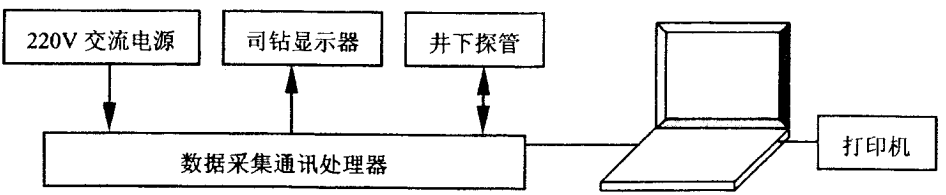



图 1－6－21 地面通用计算机连接框图

2. 司钻显示器

司钻显示器如图 1－6－22、1－6－23 所示，由输入电路、控制电路及采集处理、显示输出电路等组成，它实时接收计算机传输的脉冲信号，并通过译码将其转换成数字量，用三个三位高亮度数码管显示出随钻所需的井斜、方位和工具面角。面板上设有工具面角预制机构和发光二极管度盘指示器，可直观指示出工具面角设置值和实际值，使

司钻可以随时了解井下钻具工作态势，以便及时控制井眼轨迹。

## （二）井下仪器

DST 井下仪器由探管及其保护装置组成，如图所示。下井时将探管装在抗压筒内，通过单芯测井电缆与地面仪器连接起来。一旦接通系统电源，探管传感器将根据井下仪器所处的重力、地磁及温度状态，将井下工程参数以脉冲电信号形式提供给地面仪器进行处理和显示。

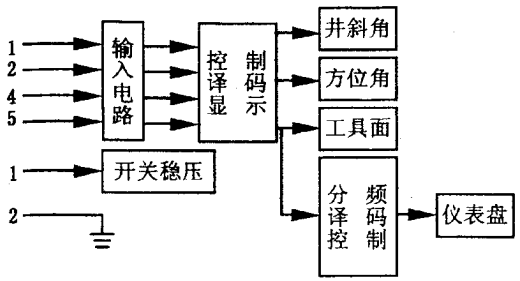



图 1－6－22　司钻显示器工作原理框图

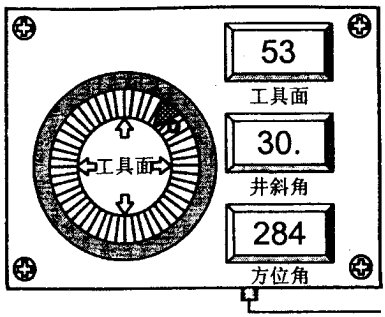



图 1－6－23　司钻显示器面板

1. 探管

探管是有线随钻测斜仪的心脏部件，可划分为测量头和电子柱两部分。测量头有引人工具面基准的 T 形槽头和安装传感器的台体，台体上安装三个加速度计和三个磁通门，这六个传感器的输入轴分别平行于台体直角坐标系，可以测量出重力场和地磁场在探管坐标系上的分量。井下钻具及井眼方向参数就是通过这六个分量计算出来的。由于使用了磁感应元件，工作时需将仪器放在非磁钻铤内，减少井下金属钻具对磁通门传感器的磁干扰，使其能正确测量出地磁场强度。

2. 探管保护装置

探管保护装置主要由电缆头、上堵头、抗压筒、减震器、下堵头、加。长杆及斜口管鞋等组成，其主要作用是使探管免受高压钻井液侵蚀，减轻钻具振动对探管传感器的影响，同时使探管处于非磁钻铤内一定位置上将井下钻具对探管的磁干扰减小到最低程度。

在地面组装井下仪器时，应通过调节减震器调节螺母，使减震器 T 型头与斜口管鞋定位槽保持在一条直线上。

## （三）电缆密封总成

有线随钻测斜仪工作时，井口还必须配备一套电缆密封设备，保证钻掖循环正常。目前，现场使用的电缆密封设备有两种：高压循环头与旁接头。使用高压循环头时，如果要接单根，就必须把仪器起到地面，接单根后再下入井内。但如果使用旁通接头，由

于接头以下电缆在钻柱内，接头以上电缆在钻柱外部，因此可直接将单根接在旁通接头上面，无起出井下仪器，从而大大减少了接单根时间。

旁通接头主要由接头本体、电缆夹板和密封装置三部分组成，如图 1－6－25 所示。接头本体是一个与钻杆相匹配的短节，其上刨有一个凹槽，用孔，与接头内部安装电缆夹板。在凹槽下部本体上，开了一个与密封盘根直径相同的连通，用以穿插电缆。密封时将橡胶盘根割开，套在电缆上，通过压紧螺帽使橡胶变形，从而达到密封电缆的目的。

### （四）井下辅助工具

随钻测斜仪要进行工作，必须有一套与之配套的井下设备，如非磁钻铤（杆）、定向接头、弯外壳螺杆钻具以及固定在定向接头内的斜口管鞋套等。

图 1－6－26 所示为井下定向装置总成，下井前用斜口管鞋将管鞋套装在定向接头内，并把定向键校准在弯外壳划线上，上紧定位螺钉。由于组装井下仪器时已经将探管基准工具面（T 型槽）校准在斜口管鞋定向槽上，因此只要斜口管鞋正确座键，随钻测斜仪所测工具面即为弯外壳弯曲方向。

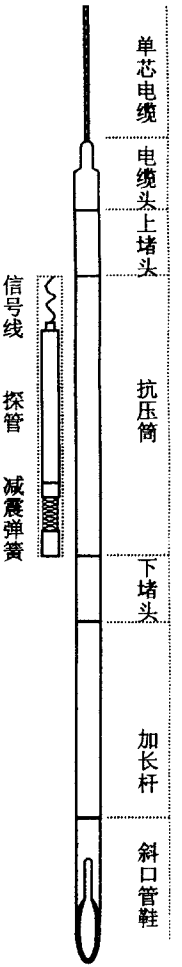



图 1－6－24 测斜仪井下结构

## 三、主要技术指标

### （一）DST 系统性能指标

（1）探管。

直径： 29.5mm、33.0mm、35mm

长度： 903mm、682mm、682mm

（2）抗压筒。

直径： 39mm、42mm、45mm

长度： 1.8m、1.4m、1.4m

耐压： ≥70MPa

（3）工作温度： －20～125℃

（4）测量精度。

井斜角： ±0.3°

方位角： ±2.0°

工具面： ±2.0°

## （二）探管性能参数

**（1）工作环境。**

**振动：** 1.8g，7～200Hz

**冲击：** 1000g，0.5ms

**温度：** －20～125℃

**湿度：** ＜80%

**（2）储存环境。**

**温度：** －10～50℃

**湿度：** ＜80%

**感应强度：** ≤20Gs[①]

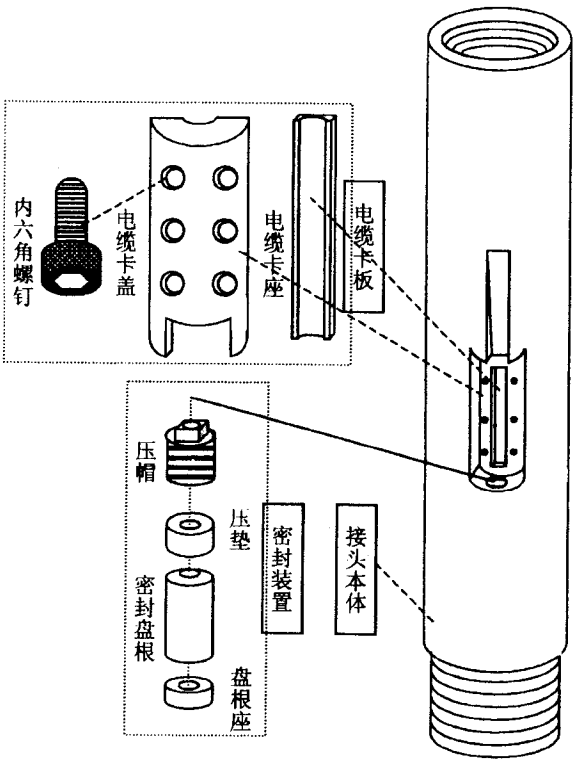



图 1－6－25　旁通接头总成

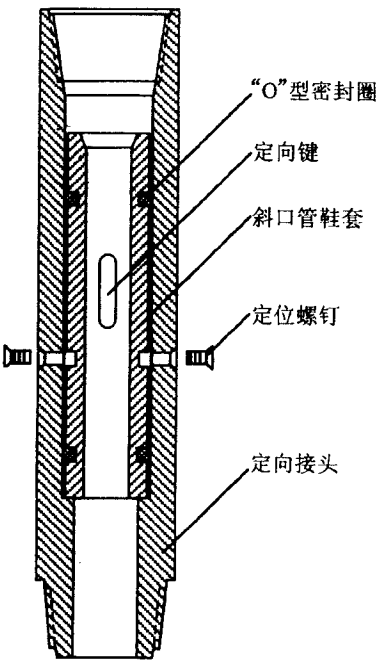



图 1－6－26　井下定向装置总成

## （三）专用计算机性能参数

**工作电压：** 220V ± 15%，50Hz

**工作温度：** －10～50℃

湿度： < 80%
外形尺寸： 380mm × 285mm × 137mm（长 × 宽 × 高）
参数显示： 4 位 × 4 发光数码管
重量： 约 5kg

### （四）司钻显示器性能参数

工作温度： - 10 ~ 50℃
湿度： < 80%
外形尺寸： 327mm × 222mm × 75mm（长 × 宽 × 高）
参数显示： 4 位 × 4 发光数码管
重量： 约 1.5kg
显示器：
工具面 0 ~ 360°（数字分辩率为 1°，度盘分辨率为 5°）
井斜角 0 ~ 99.9°（数字显示分辩率为 0.1°）
方位角 0 ~ 360°（数字显示分辩率为 1°）

## 四、仪器操作方法

### （一）操作准备

1. 单芯铠装测井电缆的检查

（1）用 500V 兆欧表测量电缆外皮钢丝与电缆芯线绝缘电阻值，其值应大于 12MΩ，或用表 R × 10000 档分别测量电缆两端的外皮钢丝与电缆芯线间电阻，万用表指针摆动幅度同，随即回到无穷大。

（2）用万用表 R × 10 档测量电缆缆芯电阻，其电阻率约为 2Ω/305m。

（3）用兆欧表检查测井绞车滑环绝缘性，用万用表检查滑环接触是否良好。

2. 安装天地滑轮

（1）根据井场情况停放好电缆车，注意电缆车摆放位置应以不影响钻工、场地工活动为宜，宜，如图 1 - 6 - 27 所示。一般情况下，绞车滚筒轴线应与滚筒中点至地滑轮轮槽的切线垂直其相对位置如图 1 - 6 - 28 所示。排绕电缆的掠过角不大于 2.5°，即地滑轮外缘到绞车滚筒外缘的距离与绞车滚筒的长度的比值应大于 23。

（2）将天滑轮固定在捞砂滚筒钢丝绳上并吊至天车附近，然后在钻台下安装地滑轮，要使天滑轮、地滑轮轮槽和电缆绞车滚筒中心在同一垂直面内，否则电缆通过天、地滑轮时可能跳槽，造成电缆损坏。

（3）把电缆从滚筒上拉下来，依次穿过地滑轮、天滑轮和旁通接头，然后拉到钻台下面准备做电缆头。

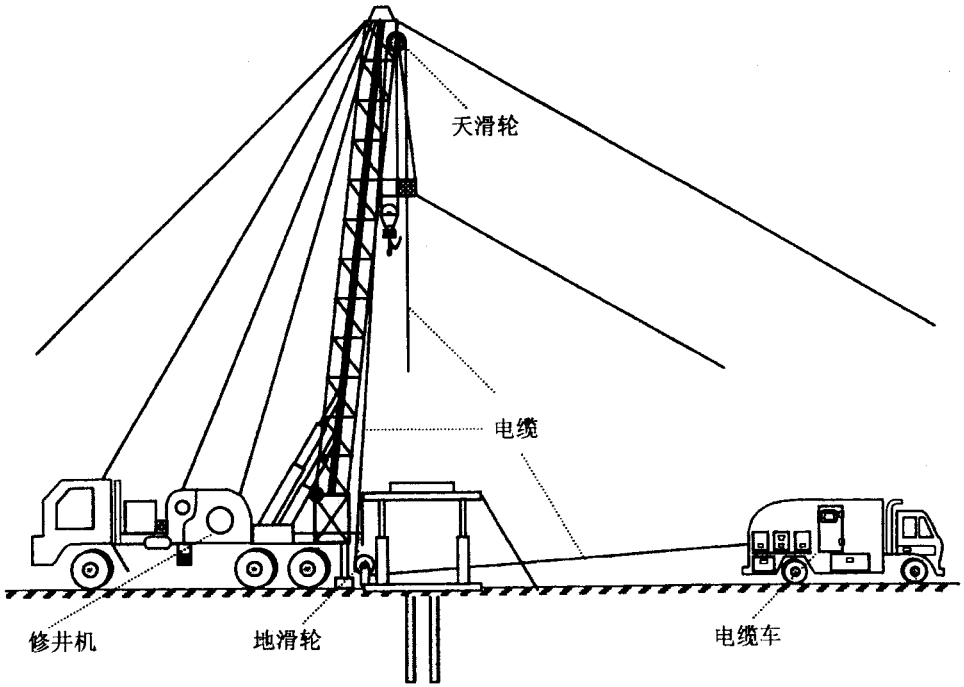



图 1－6－27　井场布置示意图

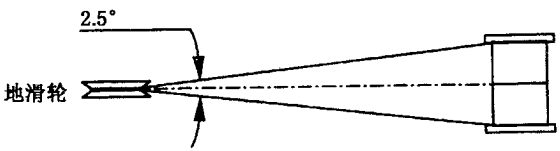



图 1－6－28　测井绞车摆放位置示意图

3. 做电缆头

(1) 从电缆绳帽上卸开两个内六角固定螺钉，取出电缆卡子（卡座、卡套），将电缆穿过电缆绳帽及电缆卡座，并用台钳将电缆夹紧，露出电缆卡座，使电缆伸出卡座 20cm 左右。将电缆外层铠装钢丝贴卡座上沿反弯过来，留下长度与卡座卡人卡套部分相当。将内层钢丝全部贴卡座肩部剪断，用卡套套住电缆芯线，并用专用工具对准卡套（内层铠装钢丝和电缆芯线从专用工具侧孔穿人），用榔头敲击专用工具，使卡套卡到卡座上，直到与台肩对齐，如图 1－6－29 所示。

(2) 将电缆芯线剥去部分绝缘层，穿过转换接头锥形杆小孔，绑：扎牢固后用耐高温绝缘胶带将其捆扎，使其绝缘、密封。

(3) 将电缆卡座总成拉进电缆绳帽内，并转动电缆绳帽上紧绳帽体与转换接头连接螺纹，同时使绳帽上的螺钉孔对准电缆卡座固定槽，上紧定位螺钉，完成后的电缆头如

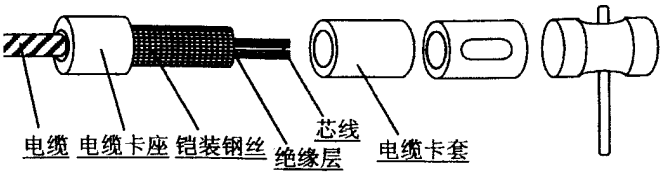



图 1－6－29 电缆卡子组装示意图

图 1－6－30。

(4) 用万用表检查电缆头短路、断路情况，再用摇表检查其绝缘性能。

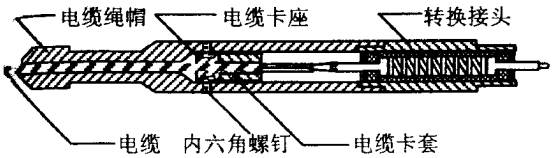



图 1－6－30 电缆头总成

4. 连接地面仪器

(1) 按图 1－6－21 所示连接好地面设备，如果使用专用机系统，则按图 1－6－19 连接。把司钻显示器放在司钻容易看到的位置上，并固定好。

(2) 把探管测试线连接在地面计算机上，然后对探管及地面线路进行测试。

5. 组装井下仪器

(1) 根据无磁钻铤长度，选择足够长的加长杆连接到斜口管鞋上，并用手上紧。选择加长杆的原则是要使磁通门传感器位于无磁钻铤下面 1/3 的位置，保证探管避开磁热点。

(2) 将电缆头、上堵头、探管及抗压筒、下堵头与加长杆相连，连接顺序如图 8—25 所示，连接时要确保探管 T 形槽方向和斜口管鞋上的定位槽方向在同一直线上，然后对探管及全部线路进行测试。

## (二) 随钻测斜

1. 下钻

根据侧钻定向井、水平井造斜或扭方位作业要求连接好下部钻具组合，上紧连接螺纹后用特制扳手将定位接头内的定向键和弯外壳螺杆钻具工具面线调整到同一平面上，并处于高边位置，上紧定向键固定螺钉后与钻杆连接下至井底位置。

2. 下仪器、座键

(1) 用液压小绞车将旁通接头吊至转盘面以上 15m 处，开始下测斜仪。当仪器到达转盘面时，调整仪器深度计回零，继续下放电缆至仪器全部进入钻杆内，再将旁通接头与钻杆和方钻杆接好，上紧旁通接头密封盘根压帽，但不能压人密封盘根。

(2) 开机预热探管，并以 1m/s 的速度下放仪器，虽然是在钻杆内下放仪器，但也要小心，防止遇阻使电缆跳槽、打扭或打结而损坏电缆。同时司钻可上下活动钻具，防止卡钻。当仪器距井底约 50m 时，减慢下放速度，通知司钻将旁通接头提至转盘面以上 1.5m 处，停止活动钻具。

(3) 反复提放仪器开始座键，座键时要保持绞车操作平稳，防止猛提猛放。若连续三次座键时的井斜和方位读数基本相同，且工具面读数误差小于 2°，表明座键成功。

(4) 如果仪器下至大斜度井段遇阻，松开旁通接头上的密封盘根压帽，将电缆密封盘根压入电缆密封盒，再带上压帽。注意压帽不要上得太紧，既要使旁通接头在低压下保持密封，还应使电缆在二定拉力下上下活动自如，然后开泵将仪器送至井底座键。

3. 密封旁通接头

(1) 将电缆夹座放进旁通接头夹座槽内，再将电缆放进电缆夹座与夹盖组成的通孔内；上紧夹盖固定螺钉，将电缆夹在旁通接头上。

(2) 将电缆密封盘根套在电缆上并压进密封盒内，上紧盘根压帽。如果在上紧压帽蹋时感觉很不费劲，则应再加一个或半个盘根。

(3) 松开电缆绞车上的刹车，检查电缆是否被旁通接头密封装置卡住不下滑。当确认电缆被卡住后，开泵试压 3 ~ 5min，压力 8 ~ 10MPa，电缆密封盒不刺不漏即可认为密封良好。

4. 随钻测斜

(1) 将电缆放进方补心开口槽内，开泵钻进。钻进中用尼龙胶带或专用卡子将电缆固定在钻杆上，一般每根钻杆不少于两道，防止电缆打扭而损坏。

(2) 每钻进一单根，停泵复测井斜角与方位角。

(3) 当井斜角小于 10°，应用磁性工具面监测井下钻具钻进方向；当井斜角大于 10°，应用重力工具面监测井下钻具钻进方向。

5. 起出仪器

(1) 起钻至旁通接头全部露出转盘面，卸开电缆夹板并松开盘根压帽，取出密封盘根后再带好压帽。

(2) 以不大于 1.5m/s 的速度上提仪器，当仪器离井口 50m 时，刹住绞车滚筒，卸下旁通接头并吊起，再上提电缆，起出仪器。

6. 田回收仪器

(1) 如果随后还要继续测斜，可将仪器放人地面钻杆水眼内，将旁通接头放在地面不影响施工作业的地方，固定好电缆并关闭地面仪器电源。

(2) 如果不再进行随钻测斜作业，则应关闭地面仪器电源，将电缆从电缆头处切断，依次卸开下井仪器、地面仪器各部分，擦拭干净后装入仪器箱内。然后卸下天滑轮与地滑轮，回收电缆。

## (三) 探管标定

探管使用一段时向后，要进行定期标定，标定时应选取仪器使用地区的标准数据作

为 B、G、D/P 基准数据。DST 系列随钻测斜仪使用了航天惯导系统中常用的误差补偿方法，来扣除传感器零位误差和比例误差，因此在使用过程中无需调整磁通门与加速度计机械轴安装精度，可确保测斜仪测量精度。仪器出厂时，各误差系数存在专用机 $K^2$ PROM 或通用机磁盘内。在系统工作时，计算机调用这些数据进行一系列计算，求得井斜、方位和工具面角。在系统使用一段时间后，传感器误差系数可能会发生漂移，使系统精度下降，这时就必须对传感器误差系数重新进行标定。

(1) 系统误差模型。

$$C_x = A_1 + b_1 G \qquad C_y - A_2 + b_2 G \qquad C_z = A_3 + b_3 G$$

$$B_r = A_4 + b_4 B \qquad B_y = A_5 + b_5 B \qquad B_z = A_6 + b_6 B$$

(2) 探管标定位置和传感器输出记录（见表 1－6－1）。

表 1－6－1 探管标定位置和传感器输出记录

| 序号 | INC | AZ | GHS | $C_x$ | $C_y$ | $G_z$ | $B_x$ | $B_y$ | $B_z$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 90° | | $0°N_G^1x$ | | | | | | |
| 2 | 90° | | $180°N^Gx$ | | | | | | |
| 3 | 90° | | 90° | | $N_{Gy}^3$ | | | | |
| 4 | 90° | | 270° | | $N_{Gy}^4$ | | | | |
| 5 | 0° | | | | | $N_{Gz}^5$ | | | |
| 6 | 180° | | | | | $N_{Gz}^6$ | | | |
| 7 | 90° | 90° | D | | | | $N_{Bx}^7$ | | |
| 8 | 90° | 90° | 180° + D | | | | $N_{Bx}^8$ | | |
| 9 | 90° | 90° | 90° + D | | | | | $N_{By}^9$ | |
| 10 | 90° | 90° | 270° + D | | | | | $N_{By}^{10}$ | |
| 11 | D | 0° | | | | | | | $N_{Bx}^{11}$ |
| 12 | 90° + D | 0° | | | | | | | $N_{Bx}^{12}$ |

(3) 传感器误差系数的计算。

$$A_1 = (N_{Gx}^1 + N_{Gx}^2)/2 \qquad b_1 = (N_{Gx}^1 - N_{Gx}^2)/2$$

$$A_2 = (N_{Gy}^3 + N_{Gy}^4)/2 \qquad b_2 = (N_{Gy}^3 - N_{Gy}^4)/2$$

$$A_3 = (N_{Gz}^5 + N_{Gz}^6)/2 \qquad b_3 = (N_{Gz}^5 - N_{Gz}^6)/2$$

$$A_4 = (N_{Bx}^7 + N_{Bx}^8)/2 \qquad b_4 = (N_{Bx}^7 - {}^{81}_{Bx})/2$$

$$A_5 = (N_{By}^9 + N_{By}^{10})/2 \qquad b_= (N_{By}^9 - N_{By}^{10})/2$$

$$A_6 = (N_{Bz}^{11} + N_{Bz}^{12})/2 \qquad b_6 = (N_{Bz}^{11} - N_{Bz}^{12})/2$$

## （四）系统故障及其排除

DST 系列随钻测斜仪的故障在地面计算机上通过错误代码显示出来，现场工作人员可根据此代码分析井下探管和地面计算机系统可能发生故障的原因和排除故障的方法。

DST 系列随钻测斜仪代码、故障原因及排除方法如表 1－6－2 所示。

表 1－6－2　　随钻测斜仪代码，故障原因及其排除方法

| 序号 | 错误代码 | 故障原因及其捧除方法 |
|---|---|---|
| 1 | 01 | 此错误代码常常出现在探管和计算机预热阶段。在测斜仪工作期间，计算的重力矢量和大于它的理论值的 5% 时，也将出现此代码。建议核对各加速度计修正参数 |
| 2 | 02 | 当由探管测量的交叉轴向（$B_x$、$B_y$ 方向）磁通量 $B_{xoy}$ 对于磁性控制来说太小时，出现此代码。这是因为探管沿磁力线平卧时，X 轴和 Y 轴上的磁通门信号很弱，即处于“非—非”区 |
| 3 | 03 | 当井斜角对于重力高边控制太小时，出现此错误代码。此时计算出的高边工具面角没有精度，计算机应采用磁性控制方式。另外，在仪器预热期间，也可能出现此错误代码 |
| 4 | 05 | 当输入的当地地磁倾角大于 81°时，出现此错误代码，请检查磁倾角 |
| 5 | 06 | 当井眼倾角大于 60°时，且井眼方位在 N20°E 或 N20°W 范围内时，出现此代码，这种情况不属于仪器故肆 |
| 6 | 07 | 当井斜角大于 80°，即接近水平钻井时，显示此代码。不属于故障 |
| 7 | 25 | 当输入的当地地磁倾角理论值 DIP 在 0 ~ 90°或 270° ~ 360°之外时，出现此错误代码。DIP 不应出上述范围 |
| 8 | 26 | 当输入的当地地磁场强度小于 20$\mu$T 或大于 70$\mu$T 时，出现此错误代码。B 值不应超出上述范围 |
| 9 | 41 | 当没有接收到来自探管的脉冲信号时，显示此错误代码。伴随着这个错误代码的出现，蜂鸣器报警，通知操作员计算机没有处理信息，当排除故障后此代码消失 |
| 10 | 42<br>43 | 当从探管接收到各种类型的不正确脉冲时，显示此错误代码。伴随着这个错误代码的出现，蜂鸣<br>器报警，通知操作员计算机没有处理信息，当排除故障后此代码消失 |
| 11 | 44 | 当地面计算机检测到的脉冲序列有两个同步头时，出现此错误代码 |

注：代码 41、42、43 都是一种仪器故障，而且多数都是短路或开路造成的。

# 第四节 电子陀螺测斜仪

上节介绍的有线随钻测斜仪是一种磁性测斜仪器，它通过三个两两正交的磁通门传感器测量地磁场强度来判断其相对于地磁北极的方向，所测方位为磁方位。但如果在套管井内开窗侧钻定向井、水平井，由于套管对地磁场的屏蔽作用和老井套管对侧钻新井眼的干扰，无论是复测原井井斜、测量斜向器斜面方位，还是初始造斜侧钻新井眼，有线随钻测斜仪都缺乏对这些磁干扰的抵抗能力，不能测量到井下工具及井眼的真正方位。在这种情况下，就必须使用陀螺仪测量井眼方位。

陀螺测斜仪方位敏感元件为一两自由度陀螺，它的自转轴相对于惯性空间具有很高的方位稳定性。当其外框架垂直放置时，即使外界磁干扰很大，陀螺仪绕外框架轴仍保持原来的方位稳定。人们就利用陀螺仪这一特点，在已下套管井、离老井很近的新井及存在严重磁干扰的井，用它来准确地测量井眼方位。

本节以 ANADRILL SCHLUMBERGER 公司生产的 DS39—0101—1 地面记录陀螺仪系统为例，介绍电子陀螺测斜仪结构原理及其使用方法。

DS39 定向测量系统是 ANADRILL SCHLUMBERGER 公司陀螺探管系统系列中的一种，可用于测量井斜角在 35°以内的井眼。井下探管和地面控制箱之间由一根单芯电缆连接并供电，探管传感器的输出信号经计算机处理后，在计算机屏幕上连续显示出来。显示的角度包括：井斜角、陀螺和重力工具面角及探管方位角。测量完毕之后，这些角度连同电缆深度和陀螺漂移数据一起，被列表打印出来，并由此定出井眼轨迹坐标。

## 一、工作原理

陀螺探管是 DS39 定向测量系统的核心部件，由两个垂直相交的加速度计、一个两自由度水平陀螺仪、温度传感器及相应的电子线路组成。

### （一）井斜测量原理

DS39 定向测量系统使用的加速度传感器是磁倾计，它是一个固态的、直流闭环的重力平衡传感器。如图 1－6－31、1－6－32 所示，整个磁倾计完整地封装在一个壳体中，其工作用的是标准直流电源，输出一个模拟的直流信号，这个信号正比于倾角的正弦。在水平位置时，它的输出为零；当发生倾斜时，磁倾计的输出变化范围为 0 ~ ±10V。

磁倾计重力传感部件是一个挠性的扭矩平衡系统，主要由位移传感器、伺服放大器和扭矩马达等组成。当磁倾计倾斜一个角度卢时，叶片由于受重力作用，也有朝倾斜方向运动的趋势。这一运动经位移传感器转换成一个电信号，送给放大器放大成电流输

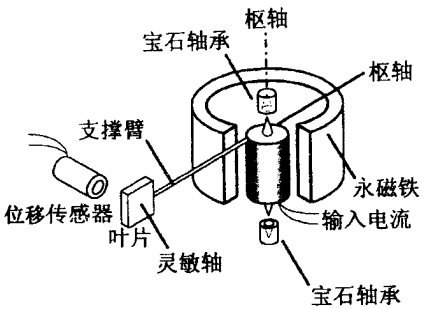



图 1－6－31　磁倾计结构示意图

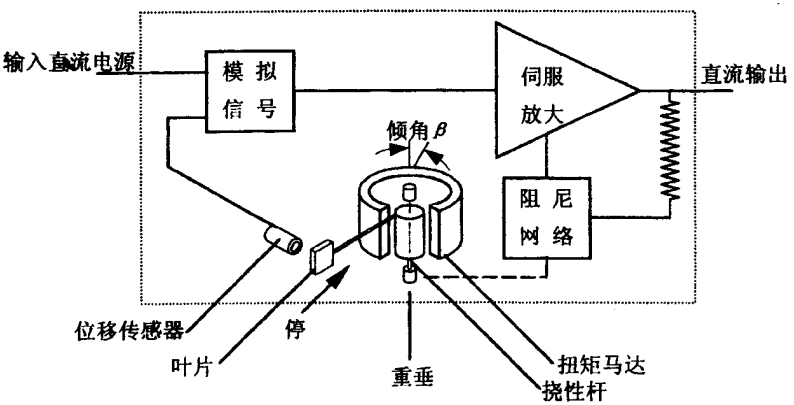



图 1－6－32　磁倾计电原理图

出。这个电流施加到扭矩马达上，在马达上产生一个与原运动大小相等、方向相反的扭矩，迫使叶片回到原来的位置，从而实现了力的平衡。扭矩马达上得到的电流正比于倾斜角，而且流过一个精密的固定电阻 $R_0$。这样电阻只上就产生了一个与倾角成正比的电压输出。当未接通电源时，叶片停留在限制它运动的两边中间的任意位置，当接通电源时，叶片自动回到它的零位。

## （二）方位测量原理

陀螺测斜仪测量方位的原理，主要是根据陀螺仪的定轴性（稳定性），同时利用其进动性使自转轴始终保持在水平位置。

1. 陀螺仪基本组成

两自由度陀螺由转子、内框架和外框架组成，如图 1－6－33 所示，陀螺的转子借助于内框架轴上的一对轴承安装于内框架上，外框架借助于外框架轴上的一对轴承安装于仪器壳体中。自转轴线与内框架轴线垂直相交，内框架轴线与外框架轴线垂直相交，这三条轴线相交于一点，这一点称为框架的支点。陀螺的转子靠电驱动绕自转轴高速旋转，转子连同内框架可以绕内框架轴，转子连同内框架和外框架又可以绕外框架轴转

动。对于转子而言，具有绕自转轴、内框架轴和外框架轴转动的三个转动自由度。对于自转轴而言，仅具有绕内框架轴和外框架轴转动这两个自由度。也就是说，由这两个框架轴给陀螺提供了两个转动自由度。

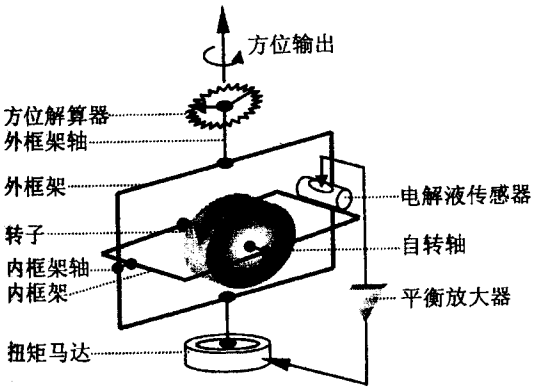



图 1－6－33 陀螺仪测量原理图

2. 陀螺仪基本特性

(1) 进动性。

转子未转时，如果给内框架作用一旋转力矩，且外力矩绕内框架轴起作用，此时转子与内框架一起在外力作用下绕内框架轴转动一个角度。但如果先让转子高速旋转起来，再施加外力，如果外力矩绕内框架轴起作用，则陀螺仪绕外框架转动。若外力矩绕外框架轴作用，则陀螺仪绕内框架轴转动。陀螺转动方向总是与外力矩的作用方向相垂直，这就是陀螺的进动性。

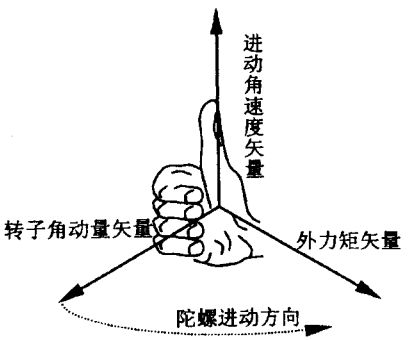



图 1－6－34 陀螺进动方向示意图

转子进动的快慢与转子的转速和外力矩的大小有关，进动旋转方向可按下述规则来确定：先用“右手定则”，四指指向陀螺旋转方向，则拇指指向角动量矢量方向；再用“右手定财”四指指向外力矩方向，则拇指指向外力矩矢量方向；由角动量矢量转到外力矩矢量的方向，即为陀螺的进动方向，如图 1－6－34 所示。

陀螺仪的进动是无惯性的，当加上外力矩时，进动立即出现。当外力矩停止作用时，进动立即停止。外力矩的大小或方向改变时，进动角速度的大小和方向也立即发生变化。

(2) 稳定性。

在实际的陀螺结构中，总是不可避免地存在干扰力矩。例如，框架轴承的摩擦力矩、陀螺组件的不平衡力矩，以及地球自转引起的干扰力矩等。在这些干扰力矩的作用下，陀螺仪同样也要产生进动，这个进动使自转轴偏离原来惯性空间的方位。这种由于干扰引起的陀螺进动叫做陀螺漂移。

陀螺的漂移角速度与干扰力矩成正比，与陀螺的角动量成反比，其表达式为

$$\omega D = \frac{M_D}{H} \tag{1-6-8}$$

从上式可以看出，虽然陀螺在干扰力矩的作用下会产生漂移，但只要角动量足够大，则陀螺的漂移是缓慢的；在某一个有限的时间内，自转轴相对于惯性空间的方位变化是有限的。陀螺的这种抵抗干扰力矩而保持其自转轴相对于空间方位稳定的特性，叫做陀螺仪自转轴的方位稳定性或定轴性。

(3) 陀螺仪测量原理。

陀螺测量机构主要由水平陀螺仪、平衡系统及电动锁紧系统三部分组成，其核心部件是一个由超小型高精度滚珠轴承支承的两自由度水平陀螺。

图 1-6-33 所示为陀螺仪及其平衡系统工作原理示意图，陀螺仪主要由陀螺转子、内框架、外框架、方位解算器及驱动电路等组成，转子轴可以绕内框架轴和外框架轴两个方向转动。陀螺转子高速转动后，不管仪器壳体如何转动或倾斜，转子轴仍在惯性空间保持方向不变，并以此方向为基准来确定井眼方位，通过方位解算器将其转换为直流电信号输出。

陀螺平衡系统由电解液传感器、平衡放大器及扭矩马达组成，扭矩马达的作用是给外框架轴施加一个修正力矩，使内框架沿正确方向进动，保证转子轴在测量过程中始终处于水平状态。扭矩马达由装在内框架旋转平面上的一个电解液传感器进行比例控制，当内框架不处于水平状态时，传感器上的电压就会发生变化，并发出一电信号给放大器电路，由其驱使外框架扭矩马达顺时针或逆时针转动，结果使内框架产生进动，回到水平状态。

电动锁紧系统由一个弹簧加载锁紧杆构成，锁紧杆可与陀螺仪的外框架凸轮相接触，其作用主要是为了防止运输过程中各轴产生震动，减小陀螺仪测量误差。

当锁紧杆接触到外框架凸轮时，内框架先进动到其止点。接着外框架凸轮转动，使外框架人口槽对准锁紧杆轴承。对准后，弹簧加载锁紧杆继续上移，与内锁紧系统接触。一旦接触好，即驱动内框架锁紧系统，直到锁紧杆接触到内框架凸轮为止。然后，内框架凸轮转动内框架，直至转子轴与外框架正交，最后停在凸轮的框架定位槽处。这样，内框架凸轮将内、外框架都锁定在 0°方位输出读数处。

在锁紧/解锁过程中，弹簧加载锁紧杆是靠一个精密铰链制动机构实现伸出、收回

的，圈动机构又是由连接在直流马达上的螺杆轴驱动的。直流马达通过其继电器接收地面“锁紧”和“解锁”指令，实现陀螺仪的锁紧及解锁过程。

### （三）系统工作原理

DS39 定向测量系统主要由井下陀螺探管和地面控制箱及其他辅助设备组成，其中陀螺探管是一根直径为 44.45mm 的有线直探管，由陀螺定向仪和 FSK 传输系统两部分组成。陀螺定向仪内有一个基准定向机构，输出信号可用于井斜、方位和工具面等角度的计算，并配备有锁紧和解锁功能。FSK 传输系统接收来自控制箱的直流电源和锁紧/解锁两种信号，同时测量电缆头电压和探管内温度，并将此数据连同陀螺解算器和加速度电压一起，经单芯铠装测井电缆传输给地面控制箱进行处理。图 1－6－35 所示为系统工作原理框图。

## 二、系统结构

DS39 定向测量系统按其组件功能可分为三部分，即井下仪器、地面仪器及地面辅助设备。

### （一）井下仪器

DS39 定向测量系统井下仪器由探管及其下入、保护装置组成。

1. 陀螺探管

陀螺探管是一根直径 44.45mm、长 3.05m 的有线直探管，探管的机电元件装在一个保护筒内，该筒由 NITRONIC50 管材制成，配有控制短节总成，此短节是用经过热处理 17－4PH 不锈钢制造的。保护筒每端各有两个“O”型密封圈，由其提供对外部环境的双重密封。

陀螺探管由 FSK（移频键控）传输系统和定向陀螺仪两部分组成。

（1）FSK 传输系统。

该系统是一个移频键控（FSK）传输系统，用于接收来自控制箱的 35VX650mA 直流电源和锁紧/解锁两种信号，同时给地面控制箱送回数字式数据。该系统由以下三部分组成，图 1－6－35）所示。

滤波器：通过一根单芯电缆，接收 35VX650mA 电压和锁紧/解锁两种信号，并输出 FSK 信号。

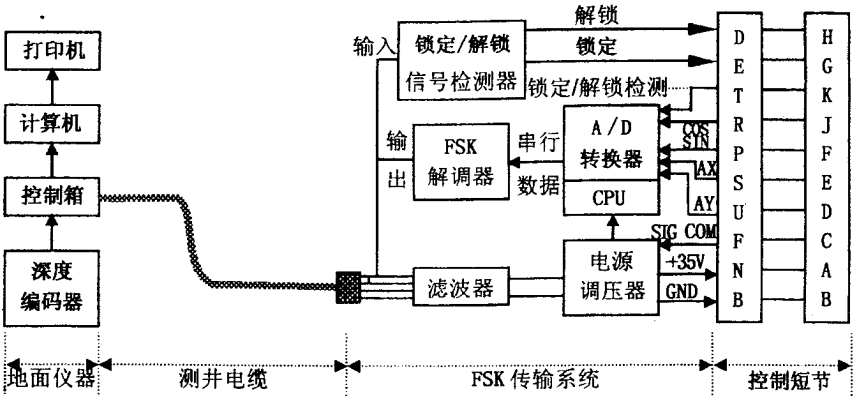
DC/DC 电源变换器：内有一个稳压器（$V_{输入}$ = 35V，$V_{输出}$ = 28.7V），由其对 DC/DC 电源变换器输出的 ± 15V（DC）和十 5V（DX）电压进行稳压。

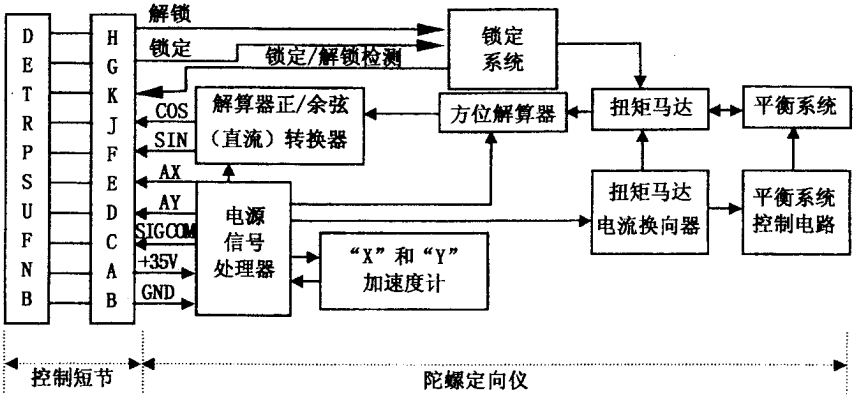
数字部分：包括一个 16 通道 12 数/模换器、探管温度探测器和探管头电压探测器。这一部分还能探测 X 轴和 Y 轴加速度计输出的稳定性，以及陀螺是锁紧还是解锁。

（2）定向陀螺仪。

该陀螺仪由电子接。短节、定向陀螺短节和加速度计短节等组成，如图 1－6－35

所示。




1－6－35　**电子陀螺测斜仪工作原理框图**

**电子接口短节：该接口供加速度计和陀螺仪共同使用，它有一个** AC/DC **电源变换器，变换器配有稳压器（**$V_{输入}$ = 35V，$V_{输出}$ = 28.7V），**由其对** AC/DC **电源变换器输出的** ±15V（DC）**和** +5V（DC）**电压进行稳压。电子接口短节内还配备有为陀螺解算器和加速度计服务的信号调节电路。**

**定向陀螺短节：该短节由** DC/AC **转换器系统、交流平衡系统、电动锁紧系统和定向陀螺组成。定向陀螺安装在短节下段，其内有一个方位解算器，可提供** 360°**方位范围读数。** DC/AC **转换器提供旋转马达和平衡系统扭矩马达工作所需的一切电力，同时转换电源，用来激励方位解算器。测量所需的稳定基准是通过定向陀螺仪的旋转马达建立的，该马达悬浮在框架上，具有如下特性：**

**类型：**　　**迟滞性**

**励磁：**　　330Vms，600Hz，**同步**

**加速时间：**　　5min **达到** 90% **全速**

转速：　　36000r/min（额定值）

启动电流：　　265mA（系统额定值）

工作电流：　　200mA（系统额定值）

加速度计短节：该短节内有 X 轴和 y 轴两个加速度计相互垂直地安装在探管内的支上，随探管外筒一起转动。当陀螺已锁紧时，陀螺马达的旋转轴与探管的瞄准轴垂直，而瞄准轴与 Y 轴加速度计的感应轴成一直线，与 X 轴加速度计的感应轴垂直。

2. 探管下入与保护装置

探管下入和保护装置由上、中、下三节组成，如图 1－6－36 所示，其中下节设备可根据测量或定向作业要求来选择。

（1）上节。

·单芯电缆头总成；

·单芯电缆旋转头总成；

·旋转头配合接头；

·FSK 传输系统保护筒；

·上堵头总戒。

（2）中节。

·控制短节总成；

·定向陀螺仪保护筒；

·下堵头及内减震器总成。

（3）下节。

测量设备：

·1.52m 铝质加长杆（可任选）；

·1.52m 黄铜加重杆（可任选）；

·减震器总成；

·扶正器，需要两个，直径按需要定。

定向设备：

·铝质加长杆或黄铜加重杆（任选其一）；

·斜口管鞋对正减震器总成；

·循环式斜口管鞋；

·插入式斜口管鞋；

·斜口管鞋套；

·斜口管鞋套键；

·扶正器，只需一个，直径按需要定。

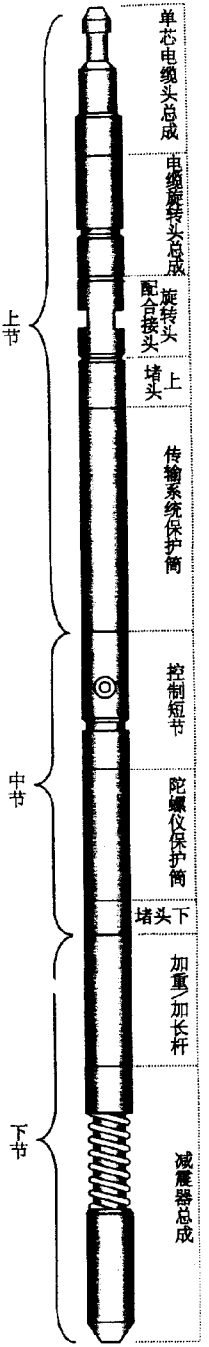



图 1－6－36　陀螺探管下入及保护装置

## （二）地面仪器

1. 控制箱

控制箱在 220V、50Hz 交流电源下工作，其作用是向探管提供 0 ~ 33V、0 ~ 1.25A 的恒定电源，为陀螺仪发送“锁紧”/“解锁”信号，同时接收探管传输的 FSK 信号，与电缆深度指示器输送的逻辑 – 电子脉冲信号合成后，经 RS232 窜行接口传送给计算机。图 1 – 6 – 37 所示为控制箱前面板控制示意图。

2. 功计算机系统

计算机系统由如下硬件和软件组成：

（1）IBM Compatible 便携式计算机。

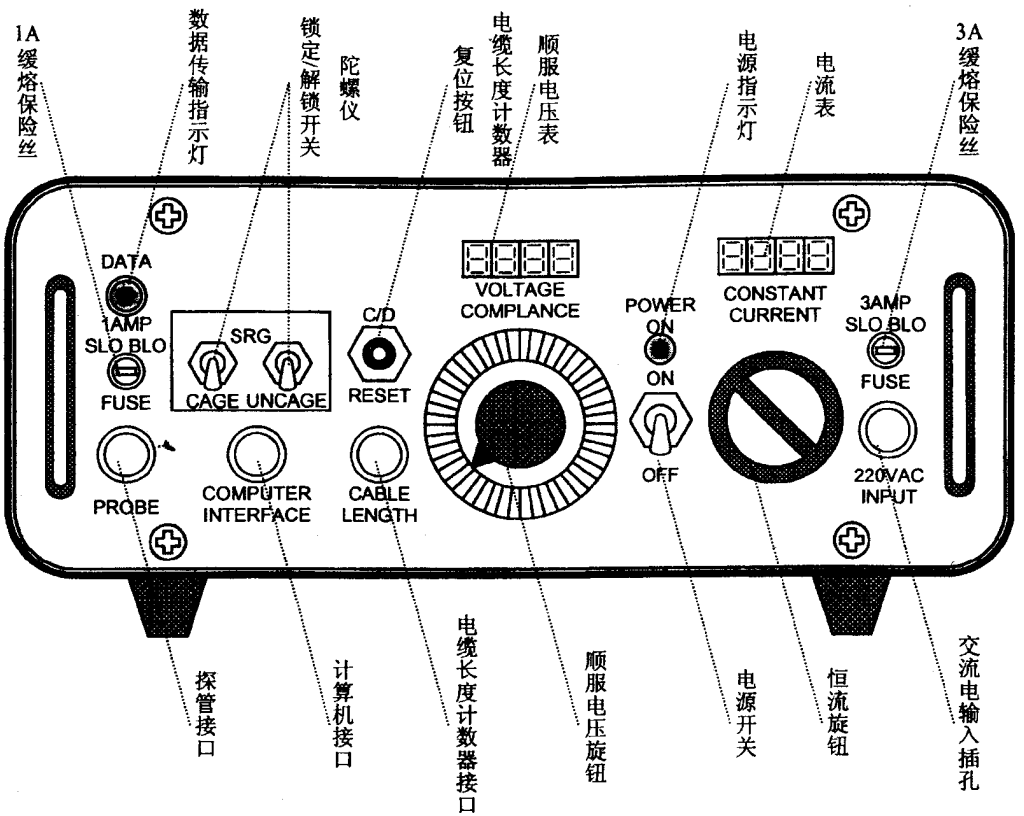



图 1 – 6 – 37　地面控制箱前面板示意图

（2）Cannon. BJ – 10ex 喷墨打印机。

（3）SW03 地面记录陀螺测量系统软件。

测量软件 SW03 解释并处理由地面记录陀螺仪探管测得的井斜和方位数据，操作人员可以选择以预定时间间隔（测点）为间距，或以电缆深度为间距记录测得的数据和陀螺仪的漂移量。这些数据不断地存入计算机磁盘文件中再经计算机处理得出井眼轨迹的直角坐标。处；理时，有 6 种不同的测斜数据计算方法和 4 种不同的陀螺漂移修正方法可供选用。计算机处理后的结果可以列表打印并绘出图表，其中包括漂移报告表和漂移

图。

## （三）地面辅助设备

1. 井口定向装置

井口定向装置由瞄准台和瞄准枪两部分组成，如图 1－6－38、1－6－39 所示。

井口定向装置是专门设计用于井眼测量前、后精确对正陀螺仪的工具。由于所有的陀螺都存在一定的与时间有关的漂移量，此漂移量或多或少取决于诸如地理位置、系统内平衡状态、内外框的相对位置等变量。因此，在井眼测量期间，陀螺的漂移量必须考虑，因为它有时可能是相当大的。为此，在井眼测量前后，都应做基准瞄测，以便准确确定陀螺的漂移量。

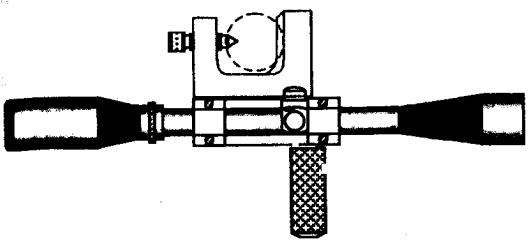


图 8－39 瞄准枪总成示意图

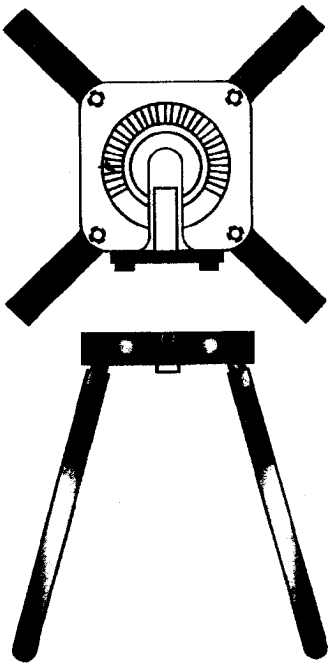


图 1－6－39 瞄准台总成示意图

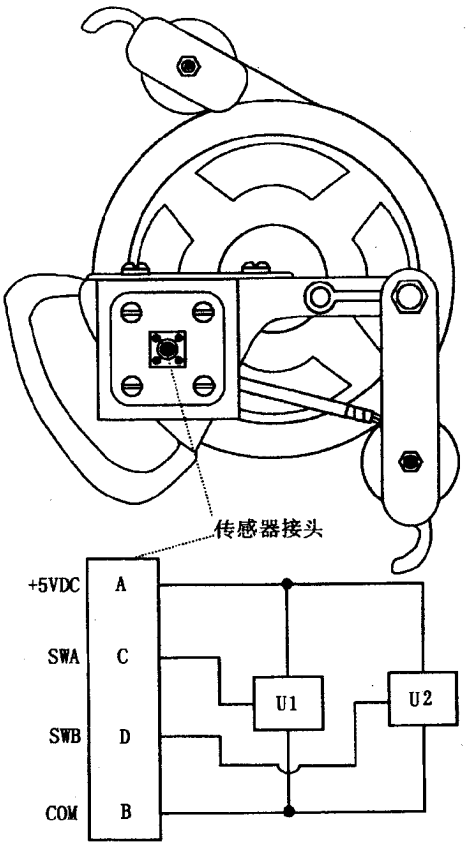



图 1－6－40 电缆深度指示器结构原理示意图

U1、U2 一霍尔效应式传感器

2. 深度指示器

深度指示器为一滑轮测量装置，由滑轮、霍尔效应开关和支架组成，如图 1－6－40 所示。电缆深度指示器通过控制箱面板接口向控制箱输送逻辑电平脉冲信号。若要将电缆深度回零，可按下控制箱面板上的回零按钮。

## 三、主要技术指标

### （一）定向陀螺仪

1. 机械自由度

| | |
|---|---|
| 内框架： | 最小 ± 40°（倾角） |
| 外框架： | 连续 360°（方位角） |

2. 工作自由度

| | |
|---|---|
| 内框架： | ± 35° ~ ± 5°（倾角） |
| 外框架： | 连续 360°（方位角） |

3. 外框架解算器

| | |
|---|---|
| 范围： | 连续 360° |
| 输出电压： | ± 10V（DC）（与角度的正弦和余弦成正比） |
| 灵敏度： | 转动 0.1°就能引起电信号变化 |
| 精确度： | ± 0.5° |

4. X 轴和 Y 轴加速度计

| | |
|---|---|
| 范围： | 0 ~ ± 90° |
| 输出电压： | 0 ~ ± 10V（DC） |
| 灵敏度： | 输出电压与倾角的正弦成正比 |
| 精确度： | ± 0.1°（包括线性误差和磁滞误差） |

5. 电源要求

| | |
|---|---|
| 输入电压： | 33V + 2V（DC） |
| 工作电压： | 28V（DC）（内部调压） |
| 启动电流： | 380mA（额定值） |
| 工作电流： | 350mA（额定值） |

6. 低电流锁紧机构

| | |
|---|---|
| 锁紧/解愦电压： | 15 ~ 28V（13（3） |
| 锁紧/解锁电流： | 0.25A（最大值） |
| 锁紧/解锁时间： | 30s（额定值） |
| 锁紧/解锁断电开关： | 陀螺锁紧/解锁后自动断电 |

7. 漂移

静态和动态漂移： ≤10°/h

8. 旋转马达

使用寿命： 在正常工作条件下至少 500h

9. 环境要求

工作温度： 17 ~ 82℃

## （二）FSK 传输系统

1. 模/数转换器

输入电压： ± 10V（DC）

数字分辨率： 12 位（二进制）

数字精度： ± 1/2LSB

抽样速度： 0.004s/数据组

传输速度： 2.0s/数据组

波特率： 1200

输入通道： 16 位单向通道

2. 电源

电压： 33 ~ 35V

电流： 280mA

3. 环境要求

工作温度： 25 ~ 125C

## （二）控制箱

1. 输入功率

输人电压： 220V（AC）+ 10%，- 5%，50Hz

最大输入功率： 600VA

总电源控制开关： 电源接通时红色指示灯亮

保险丝： 3A 慢熔保险丝（220VAC）

## 2. 输出功率

输出电压： 0—33V（DC）

输出电流： 0 ~ 1.25A

保险丝： 3A 慢熔保险丝

3. 数字显示

探管电压： 0 ~ 30V（DC），由顺服电压表显示

探管电流： 0 ~ 1.5A

. 电压和电流控制

探管电压控制：　可调变压器

探管电流控制：　10 匝线圈电位器

5. 劝输出接口

计算机接口：　窜行 ASCII（RS232）

电缆深度接口：　电平脉冲输入接口

6. 环境要求

工作温度：　0～50℃

工作湿度：　≤90%

## （四）电缆深度指示器

电缆直径：　1.7～15.9mm

传感器：　霍尔效应开关（2 个）

输出信号：　0～5V（DC），启动时为负输出

驱动能力：　一个 TTL 载荷

## （五）计算机系统

1. 计算机

型号：　IBM Compatible

CPU：　486SLC/33MHz

显示器：　VGA

操作系统：　MS DOS6.0、Micrisoft Windows 3.1

RAM：　4MB（最小）

硬盘：　200MB（最小）

接口：　两个窜行接口，一个为鼠标接口，另一个为 RS232 通讯接口

交流电源：　220V/115V（AC），60Hz，可变换外接电源

电池电源：　可充电镍铬电池，由计算机充电，可工作 4h

工作温度：　5～35℃

存放温度：　—20～60℃

2. 打印机

型号：　CannonBJ－10ex 喷墨打印机

接口：　8 位并行接口

打印纸：　A4

交流电源：　220V/115V（AC）、60Hz，可变换外接电源

耗电量：　25W

工作温度：　10～38℃

存放温度： 0～65℃
工作湿度： 10%～90%

### （六）下入工具

1. 单芯电缆旋转头总成
工作温度： 125℃
工作压力： 82.7MPa
旋转能力： 连续
最大轴向抗拉载荷： 998kg
旋转头转动扭矩： 1.35～1.69N·m
2. 44.5mm 下入工具
材质： 17－4PH 热处理不锈钢
工作压力： 82.7MPa

## 四、系统操作步骤

### （一）陀螺探管的组装

1. 上节

（1）按图 1－6－36 所示，依照如下次序进行组装：传输系统保护筒一上堵头总成一旋转头配合接头一单芯电缆旋转头总成一单芯电缆头总成。

（2）将 FSK 传输系统装进保护筒内，再将传输系统插头插入控制短节插孔内，用绝缘胶带缠好接头，避免接头锁紧环松开，然后将控制短节总成拧紧到压力筒上。

2. 中节

（1）卸下陀螺探管上的定位螺钉。

（2）将控制短节插头插入陀螺探管插孔内，将陀螺探管与控制短节连接起来。转动陀螺探管，使定位销对正插入控制短节定位槽内，然后向里推探管，直到探管螺钉孔正对控制短节定位孔，上紧定位螺钉，将探管固定在控制短节上。

（3）用陀螺保护筒套住陀螺探管，并拧紧到控制短节总成上。

（4）插入下堵头及内减震器总成，将其拧紧到保护筒上。

3. 下节

（1）测量：将选用的铝质加长杆或黄铜加重杆接到下堵头上，如果不需要加长杆或加重杆，可直接将减震器总成接到下堵头上，最后将一个扶正器固定到上堵头总成上。

当装上扶正器时，止动环应插装在扶正器弹簧片之间，以便该环能装到陀螺探管上，止动环固定位置距离扶正器底部 5cm，其作用是限制起仪器时弹簧片的膨胀量。

将第二个扶正器固定到下堵头或加长劝口重杆上，然后装止动环。

（2）定向：将选用的铝质加长杆或黄铜加重杆接到下堵头上，如果不需要加长杆或

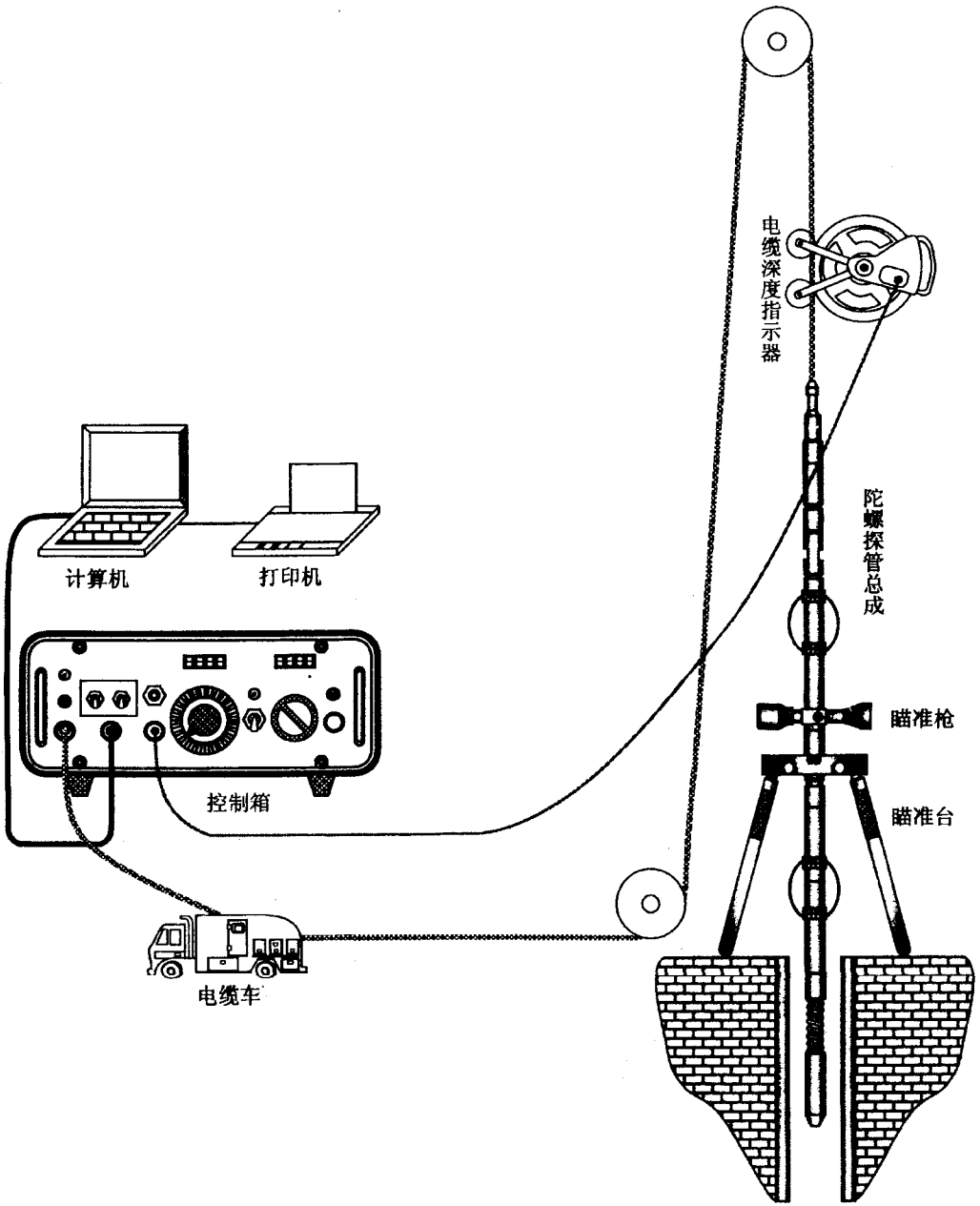



图 1－6－41　定向陀螺仪系统连接示意图

加重杆，可直接将斜口管鞋对正减震器接到下堵头上。再将插入式斜口管鞋或循环式斜口管鞋接到对正减震器上，斜口管鞋上的开口槽中心线应与控制短节上的定位孔对正，要达到这一目的，可先松开对正减震器上的防松螺母，然后转动管鞋直到其中心线与定位孔对正为止。对正后，重新上紧定位螺母。

如果管柱内径允许，可将一个扶正器固定到上堵头上，并装上止动环。由于探管有一定的长度，因此该扶正器可使探管上部与斜口管鞋保持同心。

## （二）地面设备准备

（1）按图 1－6－41 所示，将测井绞车滑环线、电缆深度传输线、计算浓度传输线、计算机通讯接口线连接到控制箱上，同时连接好地面设备电源线。

（2）在距离井口 50m 以外的地方选择固定的参照物，井口和参照物之间应没有视线障碍；井口和参照物之间，或其延长线上必须有可支撑罗盘的位置，且周围 15m 以内无磁干扰。

（3）将瞄准台在井口对正、放平，瞄准台的四条腿一定要牢牢地支撑住瞄准台，以便保持对正。在陀螺处于锁紧状态的前提下，将探管顺着导向槽放入瞄准台内，并用锁紧杆锁紧到位。接着将瞄准枪固定到探管上，借助瞄准枪，将已锁紧的陀螺探管转动到测量基准方位上，这一基准方位可相对于磁北极或任何参照点。

## （三）开机步骤

（1）接通计算机、打印机电源，并运行 SW03 测量程序。

（2）接通控制箱电源，检查电源指示灯是否亮，然后顺时针转动顺服电压旋钮约 20%（顺服电压刻度为百分比），以增加电压。注意在接通电源前，应保证恒流旋钮、顺服电压旋钮逆时针转动至最低位（零位）。

（3）顺时针缓慢转动恒流旋钮，直到电流达到 650mA 为止。如果靠转动恒流旋钮电流达不到 650mA；那么，再增加顺服电压，然后转动恒流旋钮，直到电流达到 650mA 为止。此时，控制箱上的绿色数据指示灯开始闪烁，这表明探管正在送出数据。

（4）运行计算机程序，调出数据记录菜单，检查屏幕上的探管电压读数。如果电压不在 33～35V 范围内，则顺时针转动恒流旋钮，同时观察计算机屏幕上探管电压的变化，直到探管电压回到 33～35V 范围内为止。如果靠转动恒流旋钮得不到合适的电压，那么，再增加顺服电压约 2%，并观察计算机屏幕上的电压变化。重复该步骤，直到电压达到规定范围的上限。

（5）如果计算机屏幕显示陀螺处于解锁状态，按住控制箱“锁紧”按钮 30s，可锁紧陀螺。观察计算机屏幕上显示的陀螺状态，保证陀螺处于锁紧状态。

## （四）陀螺预热和基准定向

（1）陀螺预热应在锁紧状态下进行，预热时间不少于 20min。预热陀螺时最好让其处于垂直状态，并且在井眼内或井口进行预热。陀螺预热好后，可将控制箱上的恒流电流降至大约 620mA，但应保证计算机屏幕上的探管电压始终高于最小值 33V。

（2）按住“解锁”按钮 30s，使陀螺处于解锁状态。

（3）将探管瞄准已选择好的测量基准点，测量基准点是陀螺探管坐入井口时的方位，陀螺仪方位测量精度取决于基准点的测量精度。陀螺探管测取相对于其纵轴的方位

偏差，从而得出基准方位的偏差。当几次测量的结果要相互对照使用时，它们之间的相对精度取决于每个基准方位的测量精度。

## （五）测量操作

在做好井口定向工作之后，就该下井进行测量了。对于陀螺的测量工作，必须注意以下三个问题：一是电缆绞车操作员必须操作熟练，启动、停车及电缆的起下都要求平稳操作。如果刹车过猛、起停过急，将引起剧烈的冲击，使陀螺产生干扰力矩，造成陀螺漂移量增大，影响测量数据的准确性。二是测量技术员必须认真填写陀螺测量现场记录表，表中的各项数据都应详细填写清楚，因为这些数据是验证测量准确度的重要依据。三是程序操作员在测量前必须设置好数据测点及漂移间距，既可以时间为间距，也可以距离为间距，计算机将根据漂移率对测量数据进行适当修正。如果未连接电缆深度指示器，程序操作员应该人工输人对应每个测点的正确电缆深度。具体测量操作可参照下述步骤进行。

1. 下测

（1）将电缆深度指示器、绞车深度指示器同时回零，然后，拿开陀螺仪定向装置，启动电缆滚筒，慢慢下放仪器。仪器最大下放速度不大于 1m/s，并严禁猛刹、猛放。

（2）下放仪器接近第一个测点深度时，缓慢减速至测点位置刹车，输人间隔距离或间隔时间，并进行一次静态漂移检查，然后下放电缆，开始测量。

（3）根据整个测量所需时间，预先设置好漂移检查时间间隔，例如，对总时间为 3h 的测量，每 30min 进行一次为时 10min 的漂移检查。

（4）在下列三种情况下，停止下测：计算机显示的井斜角读数大于 35°时，下测停止；计算机显示的探管温度数据接近 125℃时，停止下测；下放仪器接近井底时，缓慢减速，距井底 20m 时，停止下测。

（5）停止下测或测完最后一组数据后，再进行一次静态漂移检查。

2. 上测

（1）在井口挂上电缆刮泥器后，缓慢上提仪器，速度不大于 1m/s。

（2）上提仪器接近第一个测点深度时，缓慢减速至测点位置刹车，输入负的距离间隔或时间间隔，并进行一次静态漂移检查，然后上提电缆，开始测量。

（3）根据整个测量所需时间，设置好动态漂移检查时间间隔。

（4）测完最后一组数据后，再进行一次静态漂移检查。

（5）上提仪器距井口 50m 处减速，仪器接近井口时，卸下电缆刮泥器。

## （六）测后操作

（1）当陀螺探管起回至地面时，先将其安放到瞄准台内，并固定好瞄准枪，并使瞄准枪对准地面基准方位，记录瞄测方位。

（2）按住“锁紧”按钮 30s，锁紧陀螺。只要有可能，都应先将陀螺方位复位到零，然后再锁紧陀螺。

(3) 在计算机重新计算完所有测点的最终漂移，并且将数据安全地存储到磁盘之后，将控制箱顺服电压旋钮、恒流旋钮逆时针转至最低位，关闭控制箱电源。

(4) 在将陀螺仪从瞄准台上拿开之前，应留出至少 5min 的时间让陀螺停下来。

### (七) 数据处理

1. 数据计算

陀螺探管测出的原始数据由计算机接收并储存，各种参数的计算都要用到这些数据。探管在井内对应每个测点的计算机空间位置也被储存起来，计算机将利用这些测点数据来描述井眼轨迹。

2. 报告打印

计算机打印出的测量结果报告包括如下内容：井眼轨迹数据表、水平投影图、垂直投影图和三维立体图。

## 五、陀螺漂移调节方法

### (一) 漂移检查

(1) 将探管固定到一个合适的校验台上，以便检验其方位和倾角，如果手头没有校验台，可将探管控制短节总成装到瞄准台上，支承陀螺处于垂直状态。在合适角度(10° ~ 15°)设置一个可靠支点，该支点应与陀螺探管的定位销方向一致。

(2) 按照上述操作步骤组装陀螺仪并开机，然后将陀螺解锁。

(3) 转动探管，每次 90°，测取并记录四个读数。由于陀螺探管的垂直程度将会影响测量精度，因此，应尽可能使陀螺仪处于垂直状态。

(4) 重新锁紧陀螺，等 1min 之后再解锁。将探管倾斜一个固定角度，然后查看计算机上的倾角读数，记下读数并与固定角度相核对。

(5) 使探管回到垂直状态，锁紧陀螺。观察计算机上的方位读数，然后解锁。记录解锁后的方位读数，以便进行静态漂移检查。15min 之后，再记录一次方位读数。如果两次读数的差值超过 1.5°，应确定漂移方向是顺时针 (0 ~ 270°) 还是逆时针 (0 ~ 90°)。

### (二) 平衡修正

若要对框架总成进行平衡修正，应在洁净无尘的环境中，卸下陀螺的不锈钢外筒，方法如下：

(3) 重新装上端盖 (不装外筒)，然后给陀螺通电，让陀螺先预热 10min，然后解锁。

(4) 从陀螺支架上设置的检修窗口插入一直径约 2mm 的绝缘棒，轻轻接触内框架总成顶部或底部。当接触内框架总成顶部或底部时，外框架总成会顺时针或逆时针转动，即发生进动 (漂移)。例如，从一个检修窗口接触内框架总成的顶部，会引起外框

架总成顺时针转动，即 0 ~ 270°；从同一窗口接触内框架总成的底部，会引起外框架总成逆时针转动，即 0 ~ 90°。

### （三）漂移调节

（1）为了修正陀螺漂移量，内框架总成上设置有四个平衡螺钉。其中两个位于内框架顶部，从检修窗口可以看见；另外两个位于内框架底部对角线上。当旋转轴处在水平面上时，这四个平衡调节螺钉有些难于接近。若要调节平衡螺钉，可以使内框架总成进行向下或向上进动（方法是轻轻接触外框架总成的左侧或右侧），然后将其固定在此位置上，直到完成调节为止。内框架总成可以用拇指轻轻固定住。9 +（2）若要调节顺时针漂移，可使用一只花键扳手，拧动任意一个调节螺钉 1/4 圈，拧动方向取可能使外框架逆时针进动的方向。如果需要，可重复拧动或反向拧动调节螺钉，直到陀螺漂移率符合标准。

（3）每次完成调节之后，重新锁紧陀螺仪，等大约 30s，再解锁做 15min 的静态漂移检查。如果 15min 内陀螺的漂移量在 1.5°之内，那么锁紧陀螺。然后缓慢地转动陀螺，每次 90°，并在每个 90°方向上重复进行 10min 的静态漂移检查。

## 六、故障诊断与排除输

### （一）方位输出信号杂乱无章或无输出

（1）检查方位解算器是否受污染或者有安装误差；
（2）检查焊头，特别是解算器的接线焊头；

### （二）旋转马达停止运转

检查输出电压。如果有电压，检查旋转马达的线头和外框架总成上的接触电刷。

### （三）锁紧/解锁功能不起作用。（陀螺仪不解锁）

（1）检查电压；
（2）检查继电器；
（3）检查执行机构是否受卡，调节微动开关重新设定锁紧/解锁行程；
（4）检查凸轮是否有污染或变形；
（5）检查锁紧杆滑动面是否平滑。

### （四）加速度计读数杂乱无章

（1）检查加速度计接线情况；

（2）保证加速度计与陀螺的 X 轴和 y 轴对正，y 轴加速度计应与瞄准对正销平行，X 轴加速度计应与瞄准对正销垂直。

### （五）控制箱读数杂乱无章

检查控制箱与探管、计算机及电缆深度指示器之间的所有连接线缆。

## 七、操作注意事项

（1）地面设备应安装在井口附近和测深电缆长度允许的范围内，同时保证设备不受阳光直射和避开其他恶劣环境，并且工作温度保持在 10～45℃范围之内。

（2）在给陀螺通电之前，应保证探管、控制箱、计算机和电缆深度指示器等设备之间的所连接线都已接好。

（3）定向陀螺仪是一件已校准过的精密仪器，为了保持其最佳性能和最大可靠性，操作时必须小心谨慎。在测量前的初始解锁之前，通常先预热 20min；为防止陀螺翻倾，每次启动或停止旋转马达时，都必须将陀螺锁紧；在装卸或运送陀螺探管之前，必须留出至少 5min 的时间让旋转马达停下来。只要有可能，应先将陀螺方位复位到零，然后再锁紧。

（4）无论什么时候，只要探管未通电，其内的陀螺仪就应处于锁紧状态。如果安装探管时陀螺未通电又未锁紧，那么剧烈的移动会造成陀螺严重损坏。当锁紧陀螺时，应采取锁紧—解锁—锁紧步骤，以确保陀螺仪完全锁紧。

（5）无论什么时候，如果陀螺仪已通电并且锁紧，那么，任何剧烈的顺时针或逆时针转动都会对陀螺马达轴承造成严重损坏。所以，每当已通电的探管在垂直状态下作短距离移动时，最好将陀螺仪解锁。

（6）组装陀螺探管总成时，应用合适的润滑脂润滑所有丝扣和“O”型密封圈。

（7）调节探管工作电压时，如果探管温度超过 25℃，那么温度每增加 10C，探管电压的上限将大约提高 0.3V。例如：探管温度为 75℃，则探管电压上限大约为 36.5V。

（8）定向陀螺仪是精密仪器，装有超小型高精度轴承，易受污染。因此，所有的调节工作都应在洁净无尘的环境中进行。

（9）在不考虑地球转动速率的情况下，陀螺仪就是井下的稳定基准。如果将要使用陀螺地区的纬度与上次校准陀螺时的纬度明显不同，那么，就应该重新校准陀螺，以保证漂移量最小。

# 第五节 鹰眼井下视像系统

鹰眼井下视像系统是美国 DHV International 公司根据光学摄像机工作原理开发的一种新型井下视像测井仪器，主要用于观测油气井井内状况。该系统无需专门的同轴电缆或光纤电缆，即可将井下摄像机拍摄的视频图像通过单芯测井电缆传输到地面监视器

上，图像每 3.5s 更新一次。在施工现场即可获得图像打印件，还可记录在录像带上供后期参考。

## 一、系统特点

鹰眼系统具备以下几个特点，可以为油气井大修作业人员提供尽可能清晰的井下视像。

### （一）井下视像电缆传输

鹰眼系统可以使用环线总电阻小于 200Ω、总电容在 1：5mF 以内任意测井电缆传输视频图像，不需要专门的测井电缆或测井设备，是高度便携式的视像系统。

### （二）图像锁定功能

鹰眼系统可以锁定操作人员特别感兴趣的任意井下视像，当监视器上突然出现一幅比较清晰的视频图像时，操作人员只需轻轻按下锁定开关，即可锁定图像，再结合 DVM 测量软件，就可对射孔、槽缝、孔洞、井下落物等进行分析及测量。图像锁定后，接收器不再更新井下视频图像，直至松开锁定开关。

### （三）后灯设计

鹰眼井下工具底部为光源头，摄像机放在具有清晰光学视点的耐高压容器内，摄像机后面有一个 100W 的卤素灯以照亮观察区。灯泡上有一个抛光的反射镜和水晶拱顶用来向前反射光线和保护灯泡。这个独有的“后灯”设计避免了因前灯的阻碍而导致图像不清晰，这在打捞工作中是至关重要的。

### （四）井深、时间与温度显示

鹰眼系统可以测量实时井深，并可将井深数据与日期、时间、仪器内温等数据一起叠加到视频图像上。此外，系统还可通过笔记本电脑或字幕制作器将文字注释添加到录像带上。

### （五）镜头表面活性剂

鹰眼井下摄像机镜头通过涂抹 DHVI 公司 90 年代开发的镜头表面活性剂，成功地阻止了井筒流体中的油粘附在镜头上。

## 二、系统用途

鹰眼井下视像系统主要用来检验井下作业效果、井内总体状况和具体检测要点部位。目前，国外使用井下视频技术，着重于井下分支井完井检验，但也可用于直井、斜

井和水平井中进行必要的检测工作，还可查验井下机械连接是否完好、有无泄露现象发生。

在油水井大修作业中，鹰眼井下视像系统可用于：

(1) 检测油管及套管；
(2) 裸眼井测井；
(3) 清除水垢及堵水效果；
(4) 检测流体入口剖面；
(5) 检测套管破损；
(6) 检测落井物形状。

## 三、主要技术指标

### (一) 井下仪器

| | |
|---|---|
| 外径： | $1^{11}/_{16}$（42.9mm） |
| 长度（不包括加重杆）： | 112in（2.85m） |
| 质量： | 321bs.（14.4kg） |
| 最大工作压力： | 1000psi（69MPa） |
| 最大工作温度： | 225°（107℃） |

### (二) 视频图像

| | |
|---|---|
| 分辨率： | 水平 317 线，垂直 262 线（黑白） |
| 更新速度： | NTSC 制式 3.5s/帧，PAL 制式 4s/帧 |
| 视角： | 在水中为 55°，在空气中为 73° |
| 记录格式： | NTSC、PALVHS 或 Super VHS |
| 照明： | 100W 卤素灯 |

### (三) 传输电缆

| | |
|---|---|
| 类型： | 常规单芯或多芯测井电缆 |
| 最大环线电阻： | 20012 |
| 最大电容： | 1.5mF |
| 最大长度： | 根据环线总电阻及总电容确定，典型：7/32in（5.56mm）电缆 25000ft（7620m） |

### (四) 地面设备

| | |
|---|---|
| 电源/接收器： | 输出，350V，直流（仪器工作电流为 1A 时）输入，120V/240V，交流，50/60Hz |

深度编码器：　12V 直流电源，200 脉冲
监视器：　Sony PVM－97 黑白监视器，9in
字幕发送器：　Fora TG－170
录像机：　Panasonic HS950、VHS
字幕制作器：　Videonics TM－3000

## 四、系统工作原理

鹰眼井下视像系统是一种光学测井仪器，主要由地面接收器、井下摄像机和电子系统及其他辅助部件组成，如图 1－6－42 所示。电子系统为摄像机提供低压直流电源，同时将摄像机陷摄的视频图像通过解调器转换为电脉冲，与温度传感器产生的电脉冲信号一起传至发送器，通过单芯铠装测井电缆传输到地面电原/接收器上装置。接收器内脉冲分离电路将温度信号与视频信号分离，并分别输送至深度面板与视频设备。

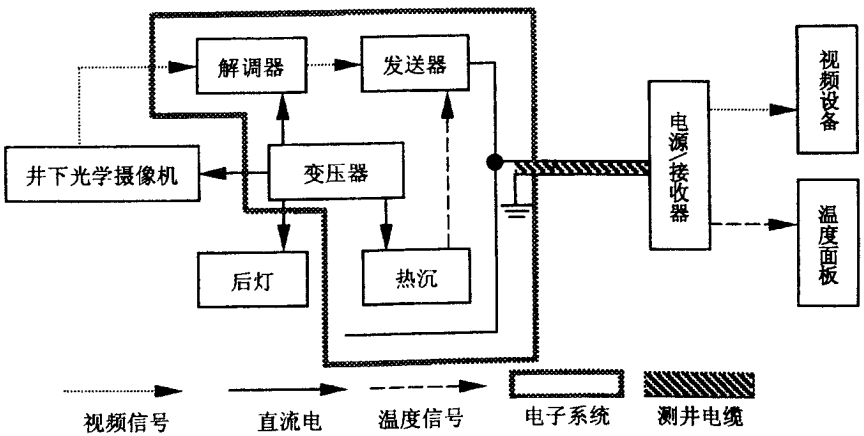



图 1－6－42　鹰眼系统工作原理图

## 五、系统组成

### （一）地面设备

1. 电源/接收器装置

电源/接收器装置为井下仪器供给直流电源，同时接收并处理井下视频信号及温度信号，该装置配备有前后两个面板。前面板控制如图 1－6－43 所示。

01——电源总开关，同时也是一个 5A 的电路保护器，在出现内部故障或外部短路时保护电源/接收器装置；

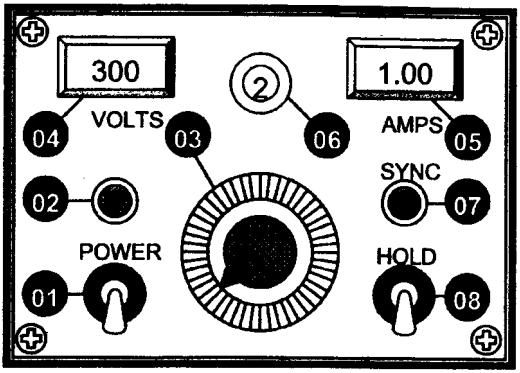



图 1－6－43 接收器正面板

02——电源指示灯，指示接收器电源是否接通；

03——输出电压调节旋钮，顺时针转动旋钮增大电压，反时针转动旋钮减小电压。在接通接收器电源前，要求调节旋钮处于电压最低位；

04、05——电压/电流数字显示器，用来显示电源/接收器输出电压及井下仪器工作电流大小，只有在接通接收器电源后数字显示器才开始工作；

06——复位按钮，同时也是一个直流输出电路保护器，在输出电流超过 2A 时，用来保护输出电路及井下仪器。如果保护器跳闸（按钮弹出），反时针转动电压调节旋钮至最低位，至少等待 30s，待保护器冷却且输出电压读数回零时，按下复位按钮直至按钮嵌入面板内。

07——同步信号指示灯，当接收器探测到井下仪器产生的同步信号时，同步信号灯闪烁一次。仪器工作正常时，每隔 3.5s 信号灯闪烁一次；当同步锁定开关处于开位时，同步信号灯持续发光，表明图像未被更新；

08——同步锁定开关，当同步锁定开关处于开位时，接收器停止更新图像显示，屏幕显示图像为最后一次接收的井下视像，同步信号灯也保持发光状态。当锁定开关转向关值时，接收器开始采集井下数据并在 7s 或更短时间内更新图像显示；

后面板接口如图 1－6－44 所示。

09——交流电源插座，根据系统使用要求，后面板电源配置为。120V 或 240V 交流电源，具体数值大小标志在后面板标签上，交流频率为 50Hz 或 60Hz。要检查咸改变电源配置，打开后面板，在下部电子元件架上找到 8 位负载接线板。配置电源为 120V 时，2、3、6、7 号负载跳线；配置电源为 240V 时，仅有 4、5 号负载跳线。

10——信号输入接口，其中一个为 1/4in 拾音接头插孔，插孔顶尖为正极，外壳接地，适用于大多数测井设备。另一接口为滑环制造厂广泛使用的超高频插孔，中心针头为正极，外壳接地，在同一时间内只能使用其中一个接口。

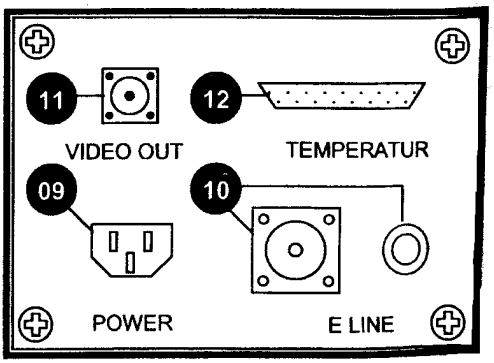



图 1－6－44　接收器背面板接口

11 ——视频信号输出接口，将井下摄像机拍摄的视频图像输送至视频设备。

12 ——温度输出接口，将井下仪器温度数据从接收器传输至深度面板显示，接口之间用 25 针数据传输线相连。

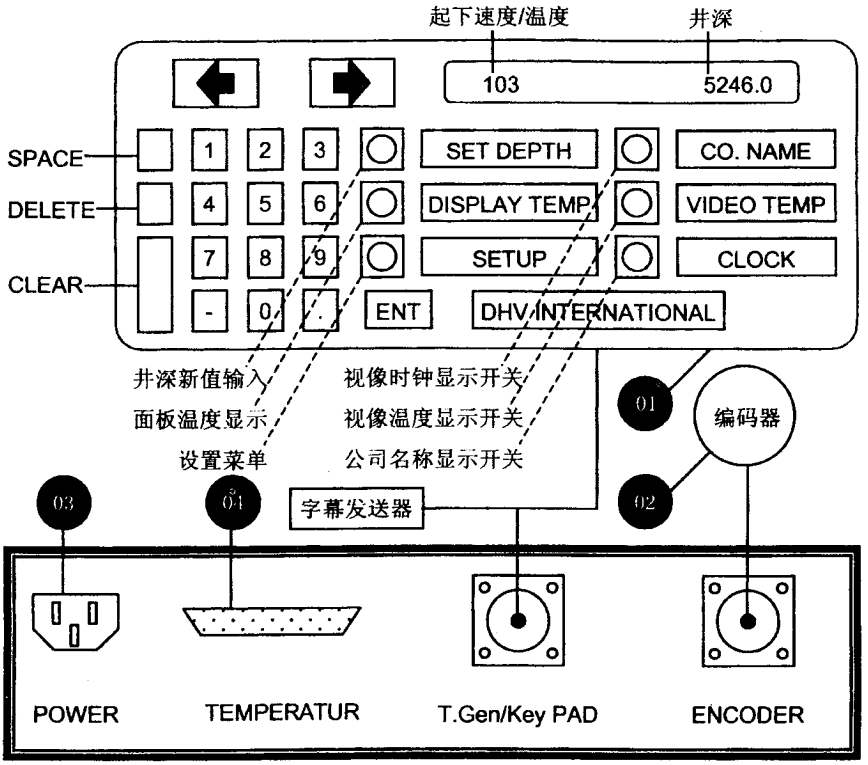



图 1－6－45　深度面板连接

2. 深度面板

深度面板用于井深测量与显示、仪器起下速度显示、仪器内部温度显示及时钟、日期设置与显示，并通过 TG－170 字幕发送器将井深、时间及温度数据叠加到井下视频图像上。

电源开关设置在前面板左侧，同时也是一个电路保护器，在出现内部故障或外部短路时保护面板。当接通面板电源后，电源指示灯亮。后面板连接如图 1－6－45 所示。

01——小键盘控制，深度面板可通过巴尔·布朗公司制造的小键盘来控制，同时也用它来显示实时数据。要想在视频图像上显示实时井深数据，按下小键盘上的回车键，即可启动视像井深显示模式。

02——深度编码器，脉冲频率为 200Hz，使用后面板“ ENCODER ”提供的 12V 直流电源。编码器的安装、固定及其与深度测量轮的连接由用户根据自己使用的测井设备来确定。

03——交流电源插座，使用 120V 或 240V、50Hz 或 60Hz 交流电源。

04——温度输入接口，通过 25 针数据传输电缆（双公接头）与接收器相连。

3. FORA TG－170 字幕发送器

TG－170 字幕发送器可以将井深、温度、时间、日期等信息叠加到鹰眼系统接收的视频图像上。井下视频信号通过后面板 BNC 型视频插孔输入（打开 75Ω 负载开关），叠加后的视频信号通过 BNC 型视频插孔输出。深度面板“ T. Gen/Key Pad ”接口与字幕发送器 RS－232 接口通过 25 针数据传输电缆相连，如图 1－6－47、1－6－48 所示。

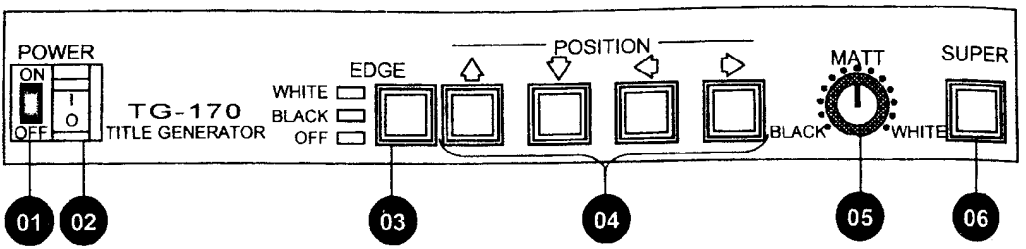



图 1－6－46 字幕发送器前面板

01——电源指示灯；

02——电源开关；

03——边框颜色选择开关，可以为屏幕字符添加白色或黑色边框，或取消边框；

04——屏幕字符移动按钮，按照箭头指示方向移动屏幕字符；

05——字符亮度调节旋钮，逆时针转动旋钮减少亮度，顺时针转动旋钮增加亮度；

06——字符叠加开关，当按下此开关时，发送器将窜行口、并行口输人数据叠加

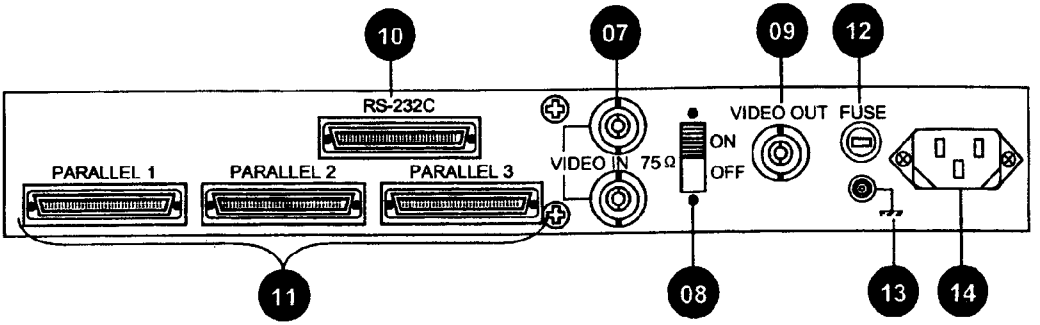



图 1－6－47　字幕发送器后面板接口

到视频图像上；

07 ——视频信号输入插孔；

08 ——75Ω 负载开关，当此开关处于“ ON ”位时，视频信号输入字幕发送器内；

09 ——视频信号输出插孔，将叠加后的视频图像输送至监视器显示；

10 ——RS－232 接口，外部数据窜行输入接口；

11 ——外部数据并行输入接口；

12 ——1A 保险丝；

13 ——接地线插孔；

14 ——交流电源插座，90～264V，50/60Hz。

4. PANASONIC HS－950 录像机（VHS 制式）

使用 HS－950 VHS 制式录像机录制井下视频图像，应注意以下两项设置：

（1）输入频道设置。录像机断电后，不再存储工作时使用的信号输入频道，而重新回到频道选择模式。因此再次接通录像机电源时，应采用频道选择箭头键确定视频信号输入频道。

（2）彩色/黑白显示设置。

录像机色彩显示应设置为黑白模式，否则鹰眼系统录制的图像可能失真或紊乱，而这只有在回放时才能觉察到。

5. SONY PVM－97 黑白监视器。

6. VIDEONICS TM－3000 字幕制作器。

## （二）井下仪器总成

图 1－6－48 所示为鹰眼系统井下仪器总成典型结构，加重杆与扶正器可根据实际需要加入。如果不需要，也可不窜联扶正器。

1. 后灯装置

如果后灯（120V、100W 卤素灯）出现故障，摄像机电源将被切断，建议操作者在每次作业时使用新灯。

灯罩“O”型密封圈应经常更换，特别是长时间在液体介质中工作时。当仪器在空气或其他气态环境下工作时，灯罩及前套筒“O”型密封圈发热比较严重。

2. 扶正器

扶正器内部为直通线路，拆去扶正器并更换内部“O”型密封圈时，必须拆去扶正器连接线路。

3. 电子系统

电子系统内部接线隐藏在电路板内，该线路一般无需维护，但如果使劲拖曳或挤压自由悬挂式 Bendix 插头而造成线路故障时，必须进行现场维修。从 Bendix 插头开始，依此回查插头与电路板上某一已知点连接线，查找故障点位置。

电子系统保护筒通过标准螺纹与电缆头或加重杆相连，电缆头可以是插棒型插头，也可以是香蕉型插头。电子系统线路与保护筒接头内堵头通过凯梅隆推压式密封接头相连接，电子系统接地线通过 8# 环形接地片与保护筒接头上的 8 岼有头螺钉相连接。

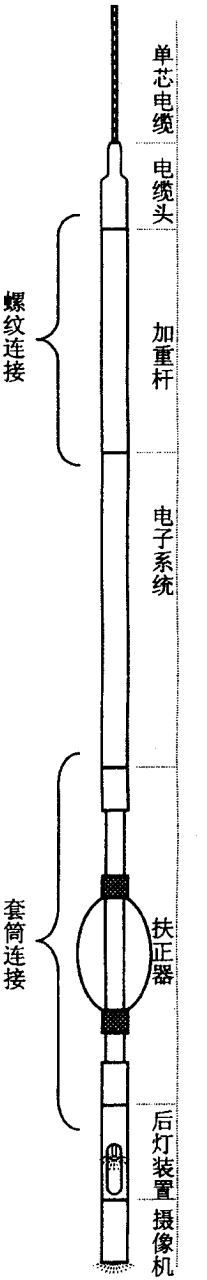



图 1－6－48 鹰眼井下仪器

## 六、系统操作方法

### （一）K 系数设置

K 系数是指编码器每单位长度（英尺或米）脉冲数，测深面板通过计量接收到的脉冲数并除以 K 系数来计算并显示井深。

K 系数设置步骤如下：

（1）进入设置菜单；

（2）设置 K 系数值为 1；

（3）退出设置菜单；

（4）设置井深值为 0；

（5）按测量长度从滚筒上拉出一截电缆；

（6）观察、键盘井深读数并将此读数除以上一步骤拉出的电缆实际长度，即得 K 系数值；

（7）进入设置菜单；

（8）设置 K 系数为新值；

（9）退出设置菜单；

（10）检查 K 系数设置是否正确。

## （二）设备检查

1. 地面设备

（1）从地面设备装运箱内取出接收器、监视器及其他辅助设备，检查设备表面有无明显的机械损伤、电源开关是否关闭。

（2）转动接收器电压调节旋钮，从零位转至最大值，再反时针转回零位，检查旋钮转动是否平滑无阻。检查“HOLD”开关是否关闭。

2. 井下仪器

检查井下仪器装运箱内各部件总成，选取电子系统与后灯总成各一套，安装好卤素灯，并连接好电子系统与后灯总成，为台架测试做好准备。扶正器、压力筒等部件为系统测试备选部件。

## （三）摄像机焦距调整

应用鹰眼系统接收的井下视像调整摄像机焦距是一件困难而费时的事情。为简化焦距调整，系统配置有一根特别的后灯聚焦电缆，其连接如图 1－6－49 所示。将聚焦电缆 Bendix 插头与后灯装置相连、BNC 插头与监视器相连；AMP 四针插头与测深面板编码器接口相连。接通监视器、测深面板电源，就可显示出摄像机摄制的图像。在连接深度面板电缆时，一般都应关闭面板电源。

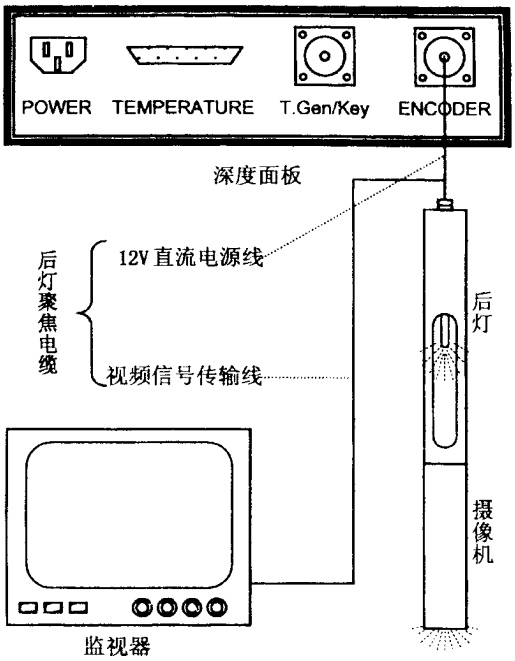



图 1－6－49　后灯聚焦线路连接示意图

## （四）系统组件连接

（1）按图 1－6－48、1－6－51 或 1－6－52、1－6－53 连接好鹰眼系统井下仪器与地面设备。在连接井下仪器时，应在“O”型密封圈上涂抹系统提供的润滑油或其他同等产品。

（2）接通系统各组件电源。

（3）打开地面设备各组件电源开关，检查电源指示灯是否亮起。

（4）将接收器电压调节旋钮逆时针转至零位，接通接收器电源并检查电源指示灯是否亮起、数字电表是否显示、电表读数是否为零（电压读数为 1V 或 2V、电流读数为几毫安，也算正常）；

（5）将监视器“SYNCINT/EXT”开关设置至“INT”位（松开按钮）、“LINE A/B 开关设置至“A”位（松开按钮）；

（6）打开深度面板电源开关，电源指示灯亮灯亮，小键盘显示器发出蜂鸣声并开始自检过程，大约 5s 后显示前次井深及线速度。

（7）接通井下仪器电源，顺时针转动接收器电压调节旋钮，使电流表读数值为 0.5A 左右、电压表读数值大约为 60～70V。“SYNC”指示灯大约显亮 4s 后即开始每隔 3.5s 闪烁一次，表示图像从井下传至地面。最初两三幅图像可能失真或跳跃，但随后即

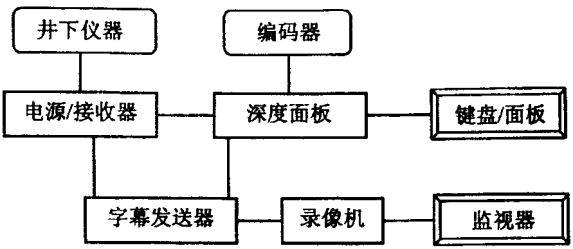



图 1－6－50 鹰眼地面设备连接示意图（一）

恢复正常。

## （五）系统测试

在井下仪器工作过程中，检查地面设备各组件工作是否正常：转动编码器，检查井深是否发生变化；打开小键盘时钟与温度显示，来回移动字符，并通过字幕发送器前面板调节按扭，改变字符亮度；调整监视器亮度与对比度，得到最佳视像；将录像带放入录像机内，试录几分钟，然后回放，检查录像机工作是否正常。

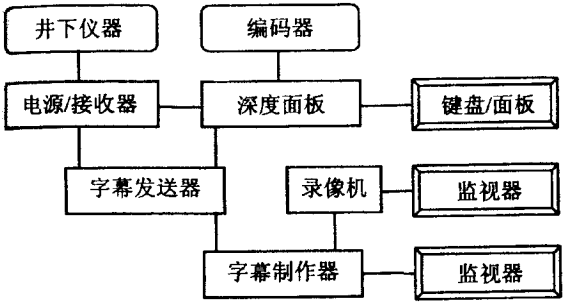



图 1－6－51　腐眼地面设备连接示意（二）

## 七、故障判断与排除

（1）当未接收到井下视像但接收器电源、电流却显示正常，“SYNC”指示灯也正常闪烁，此时应关闭系统电源，仅用接收器与监视器重新连接地面视像处理系统，然后接通井下仪器电源，看看能否得到井下视像。如有，则为地面视频设备某处连接或开关故障，将视频设备与辅助设备相连，查找故障点位置。

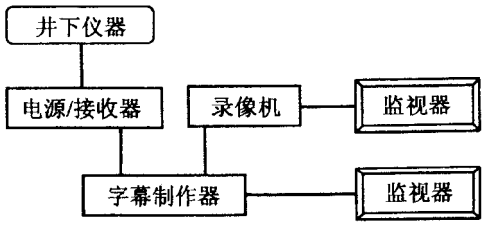



图 1－6－52　鹰眼地面设备连接示意图（三）

（2）如果接收器电压马电流显示正常，但同步信号灯不闪烁，则可能是后灯装置、电子系统或接收器故障，依次更换井下仪器与地面接收器，直至找出故障原因。

（3）如果接收不到井下视像且仪器无电流显示，检查接收器电源指示灯，并依次更换后灯装置、电子系统、地面线缆及接收器，直至找到出现故障的设备部件或连接装置。

（4）如果后灯灯罩出现故障，应拆去摄像机凯梅隆隔护板，弄干背面引线。拆除隔护板，首先应切断灯座背面接线环引线，分离引线以便将其直接拉出。接着，取出卡簧及垫圈，拧开摄像机接头，将隔护座与隔护板分离。然后用螺丝刀松开连接杆螺母，轻轻拆去引线并用接触清洁器将隔护板背面清扫干净。特伏隆绝缘材料的一点小刻痕即可造成后灯装置以后断断续续出现故障，因此操作应特别小心。如果您认为是引线问题，可将其更换。重复上述步骤，即可拆开后灯装置。

# 第七章 试油工艺

## 第一节 概 述

试油是石油勘探方法的重要组成部分，也是检查油、气田开发效果的手段之一。通常所说的试油，包括试油、试气和试水。试油资料成果，是发现油气田、合理开发油气田的重要科学依据。

试油的具体方法是：对油层（有时也对水层）进行射孔，降低井筒内液柱压力使地层中的流体流入井内，进行流体和油层性质的测定。有时，也对已开发油田的某些新油层，以及没有详细研究过的抽层试油。

试油工艺根据油层和油井条件有所不同。石油勘探和开发阶段不同，试油的目的和条件也不同。用一句话可概括为“预探试油找油流，详探试油分层求，开发试油查效果。

### 一、预探试油

当应用地质、地球物理方法找到了地下构造后，其中是否储藏油气还得通过钻井进行验证。预探试油的任务就是在钻井过程中，对可能的油、气层进行射孔、测试，获得有关产油能力、压力、温度、油气水性质及油气田驱动类型等资料数据，初步计算油田储量，作出综合评价，为下一步进行油气田勘探指示方向。

### 二、详探试油

经预探试油证实某一含油构造具有工业开采价值之后，下一步任务是摘清楚油田实际储量，以及各油层的生产能力、物性和变化规律，为合理开发油田提供科学依据。一个油田是由几个或几十个油层所组成的。这些油层厚薄不一，面积大小不同，物理性质千差万别。要准确知道油田的总储量和其特性，就必须把每一个小层情况搞清，掌握每一个小层的储量和特性。这就是详探试油的任务。

详探试油要搞清各油层的以下情况：

（1）掌握油、气、水的边界；
（2）搞清油、气层产神气的能力；
（3）了解油层、气层的压力；
（4）获取原油和天然气的物理性质资料；
（5）确定油、气层有效厚度下限标准；
（6）求取油、气层的有效渗透率；
（7）计算油、气层射孔完善系数。

要经过详探试油，准确计算油层、油层组和油田储量，掌握各油层特性及变化规律，为编制符合地下客观实际的油田开发方案提供资料数据。

## 三、开发试油

欲了解油田开发效果如何，要在不同阶段、不同部位钻一些检查井进行检查，这就需要进行开发试油工作。

例如，大庆油田在开采过程中采用早期内部分层注水，保持油层压力的方针。既然注水，油井必然会见水。由于油层的非均质性，注入水在各油层中推进速度并不一样，油井见水时间有早有晚，见水方向和方式也不相同。有的单层见水，有的多层见水，有的单向来水，有的来水是多方向的。为了掌握油、水在地下油层中的运动规律，需要在不同开发阶段和不同水淹部位钻检查井，逐层试油了解注水开发效果。它的任务是：了解各类油层注水的收效，掌握注水后油层产油能力的变化及水淹层内原油物理性质的变化，为油田进行开发调整提供依据。

我国是世界上最早发现和利用石油和天然气的国家之一。但是，在漫长的时间里石油工业发展缓慢，试油工艺落后。新中国成立后，石油工业的飞速发展，新油田一个个被发现和投入开发，试油任务越来越繁重。原来自下而上的水泥塞单层试油工艺，工序多、耗时长，满足不了石油工业发展的需要。石油工作者革掉了“水泥塞试油”的命，利用封隔器多层试油等新工艺方法，大大缩短了试油时间，满足了取全取准各项资料数据的要求，试油程序灵活，为更快发现新油田、加速油田开发步伐创造了有利条件。

目前，我国已经形成了一套完整的试油工艺，满足了各项试油任务的需要。采用那种试油方法，要与油井和油层客观条件相结合。对不同的油层要采用不同的试油方法。

# 第二节　自喷井试油工艺

靠油井本身能量测试流体性质，获取油、气、水样的工艺称自喷井试油工艺。

由于自喷井靠油井本身的能量就可以使地层中的流体喷出地面，给试油工作提供了极大的方便。因此，它具有工艺简便、资料准确、试油时间短等优点。自喷井试油无须

进行诱流，试油的基本工作就是分隔油层，索取资料。自喷井试油主要有以下几种方法。

## 一、水泥塞试油

水泥塞试油是一种比较古老的方法，除非有某种特殊需要外，在自喷井试油中极少应用。它是每射开一个油层，就对该层进行试油求取资料。试完之后打水泥塞将该层封死，然后射开第二个油层进行试油。这样逐层上返，一层一层地单独进行试油。所以，水泥塞试油又叫作水泥塞单层试油。

进行水泥塞试油时，除试第一层不用打水泥塞外，每上返试一层就必须打一个水泥塞，试完之后还要钻水泥塞。故整个试油工艺过程包括压井、打水泥塞、射孔替喷（或诱喷）和录取各项试油资料等。

### （一）压井

试油中压井的目的是防止发生井喷，确保试油各项施工作业顺利进行。试油井常用的压井液有泥浆和清水等。一般情况下，自喷油层选用泥浆压井，非自喷油层选用清水压井，以保证不发生井喷和井漏为原则－压井液相对密度计算应用如下公式：

$$\gamma = \frac{10P}{H}(1+\beta) \qquad (1-7-1)$$

式中：$\gamma$——压井液相对密度；

$P$——油层压力（大气压）；

$H$——层中部深度（米）；

$\beta$——相对密度附加系数（一般取 0.05～0.1）。

压井方式有正压井（油管进套管出）和反压井/（套管进油套出）两种。正压井进口液体流速大，对油层冲击力强，液体上返速度慢，携带能力弱。反压井则与此相反。选用那种方式应根据实际情况而定。压井之后起出井内油管。如果是底部第一层试油，不用打水泥塞便可以进行射孔试油。以后各层均必须打水泥塞。

### （二）打水泥塞

这是上返试上一层的先决条件。为了节省水泥用量，以及试完该层后处理水泥塞方便，现场采用悬空水泥塞工艺。为了防止打水泥塞时水泥浆与压井液混浆，先特制一个圆木柱，叫作底木塞（如图 1－7－1 所示）。下油管时用油管将底木塞压送到井下预定深度，接着用水泥车泵水泥浆。水泥浆泵完后，紧接着用泥浆把水泥浆替到预定深度，然后上提油管到水泥浆顶面以上，候凝棉小时后探灰面，试压合格即可起油管。

水泥塞灰浆用量计算公式是：

$$V = \frac{\pi D^2}{4} h\beta \qquad (1-7-2)$$

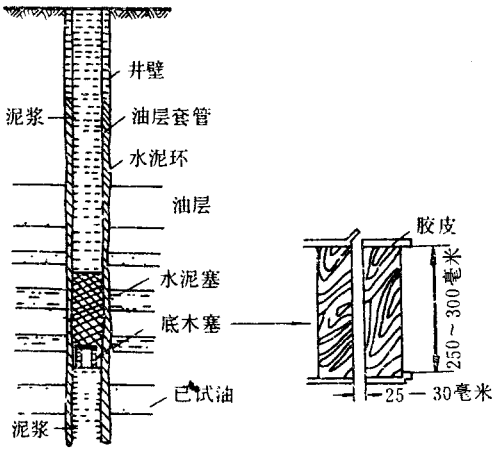



图 1－7－1　打试油水泥塞示意图

式中：V——冰泥塞灰浆用量（米$^3$）；

D——套管内径（米）；

h——设计水泥塞厚度（米）；

β——冰泥附加系数。

水泥附加系数根据水泥塞厚度和地面注灰浆管线长短来确定。替泥浆用量是水泥浆顶面以上油管和地面管线内的容积，要求计算准确。如果泥浆替少了，会有大量水泥浆留在油管内，上提油管后，就会使油管内的水泥浆和油套管之间的泥浆造成混浆。这样不仅降低水泥塞质量，而且会使水泥浆面大大高出设计深度，无法进行试油。相反，泥浆替多了，或者甚至把全部水泥浆替空了，水泥塞就不在设计深度形成了。

## （三）射孔

射孔即是在泥浆压井的状况下，将射孔器下入井筒，按设计要求对准油层部位发射射孔弹，将套管、水泥环直至油层射穿，沟通油流通道，使油层中的油气沿着射开的孔道进入井筒，射孔的位置必须准确，否则会造成对地下情况的错误判断。目前采用磁性定位方法定位，应用聚能射孔弹射孔；完全可以保证射孔质量。

## （四）诱喷

诱喷是试油中一项很重要的工作，它为测试油层索取油样提供了条件。

射孔前，井筒内充满泥浆是为防止射孔后造成无控制井喷。射孔后，为了录取各项资料，设法降低井筒内液柱造成的压力，以便使油、气靠油层自身的能量流入井底并喷到地面，这个过程叫诱喷。

在诱喷工艺中，替喷是既简便又经济的一种方法。自喷井的替喷，就是用比重较小的液体将井内相对密度较大的液体替出来，降低井筒液柱压力，逐步使井底压力小于油

层压力，使油层中的油、气顺利地流到井内，进而充满井筒喷出地面。

根据油层条件和试油要求的不同，可将替喷工艺分为一次替喷和二次替喷。

一次替喷，是将油管柱下到人工井底以上一米左右，用清水一次把井内泥浆全部替出来。然后，上提管柱到油层中部或油层顶部而完井。这种方法应用于自喷能力不强，井底压力不很大的油井中。因为在这样的油井中，一次替喷完之后，尽管还要敞开井口，起出一部分油管，也不致于造成无控制井喷，使试抽工作无法进行。

二次替喷，是将油管柱下到人工井底以上一米左右，替入一段清水，将泥浆替置到油层部位。然后，上提油管至油层中部完井位置，坐好井口。最后，用清水替出油层顶部以上的全部泥浆，便可以进行下步工作了。

替喷中应当注意的是：替喷法只能应用于油层压力高、产量大、堵塞不严重的油层；在替喷过程中要注意观察记录压力、溢出量．返出液性质等；替喷过程中要始终注意安全，替通时出口管线易飞起，对此应特别留意并事先固定牢。替通的显示是：井口压力逐渐升高，出口排量逐渐增大，返出液中伴有气泡，油花，停泵后仍有溢流，喷势逐渐增大等。

替通以后先用套管放喷，当含水小于 10% 并稳定后，即可装上大油嘴，用油管求产。

## （五）试油资料的录取

试油工作的目的是求取试油资料，这是整个试油过程的关键。只有取全、取准全部资料，才算完成了试油任务。现将试油录取资料内容介绍如下。

1. 试油、试气应录取的资料

主要包括以下八个方面的资料。产量资料包括：油气水的产量；油气比；含水百分比；气井最大无阻流量。压力资料包括：井口压力；流压；压力梯度；压力恢复曲线；原始地层压力。产能资料包括：产量与压力关系方程式；指示曲线；采油指数等。井温资料包括：油层中部温度；井口温度；地温梯度等。高压物性包括：油层条件下原油相对密度；粘度；体积系数；压缩系数；原始饱和压力；天然气溶解系数等。地层条件下原油性质资料包括：相，对密度；粘度；凝固点；含蜡量；含硫量等。天然气性质的资料包括：相对密度；组分等。地层资料包括：相对密度；总矿化度；化学成分；水型等。前四项资料通过试井获得。后四．项油气层内流体性质资料，须通过取样，化验分析获得。

2. 自喷油层资料录取

自喷油层射孔诱喷后，靠油层本身能量将原油和天然气推至井底，又从井底举升到地面；自喷井试油按下列方法和要求进行。

（1）油层压力油层压力的高低反映油层能量的大小。试油井的油层压力，代表油层开发前的原始地层压力。测压时，油层压力必须恢复。必须以实测地层压力为准，不能用压力恢复曲线推算。

试油井常用测压力仪器为螺旋式弹簧深井压力计，主要由最高温度室、感压记录、

时钟，绳帽等四部分组成（如图 1－7－2 所示）。

测压方法是把压力计绳帽用钢丝连接牢固，用绞车下入井内接近油层的某一深度，关井测得压力计中螺旋弹簧管应变值图，如图妙 3 所示。然后用压力计校正曲线把应变值换算为压力值。如图 1－7－4。油层压力计算公式为：

$$P_{地} = P + \triangle h \triangle P \qquad (1-7-3)$$

式中：$P_{地}$——袖层中部压力（大气压）；

P——压力计下入深度压力（大气压）；

△P——压力梯度（大气压/米）；

△h——压力计深度至油层中部深度间距离（米）。

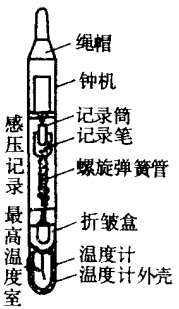



图 1－7－2
深井压力计

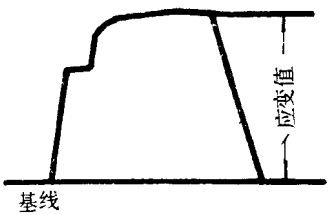



图 1－7－3　地层压力记录

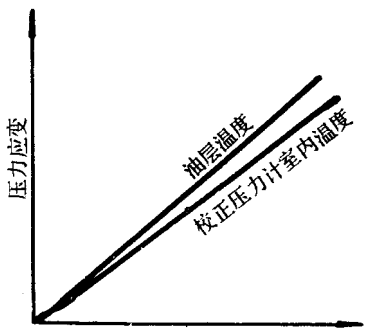



图 1－7－4　深井压力计校正曲线

（2）流动压力　油井正常生产时，油气在井筒中流动，这时测得的油层中部压力叫流动压力。流动压力的大小与井口油嘴直径大小有关。油嘴大流动压力低；油嘴小则流动压力高。测试和计算方法与测地层压力相同。

（3）产油量　这是油田开发的重要指标，必须在油田投入开发前，通过试油把油层的产油量搞得清清楚楚。产油量量测工具和计算方法很多，试油井常用油气分离器玻璃管量油法。油气分离器是钢制圆柱形的油气分离装置，内装分离伞、散油帽等。如图 1

－7－5 所示。根据连通器原理，在分离器一侧装一根玻璃管与分离器底部连通，底部装清水或盐水。分离器内单位面积上油柱重量等于玻璃管内单位面积上水柱的重量。产油量计算公式为：

$$Q_m = \frac{\pi R^2 h_{水}\ r_{水}}{t} \times 86400 \text{（吨/日）} \qquad (1-7-4)$$

式中：$Q_{油}$——产油量（吨/日）；

R——分离器半径（米）；

$r_{水}$——分离器底部水的密度（吨/米$^3$）；

$h_{水}$——量油时间内玻璃管液面上升高度（米）；

86400——天 24 小时的秒数；

t——量油时间（秒）。

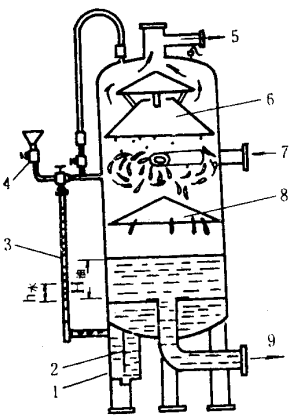



图 1－7－5 玻璃管量油装置原理图

1—小水包；2—隔板；3—高压玻璃管；4—加水漏斗及闸门；5—出气口；6—分离伞；7—进油口；8—散油帽；9—出油口

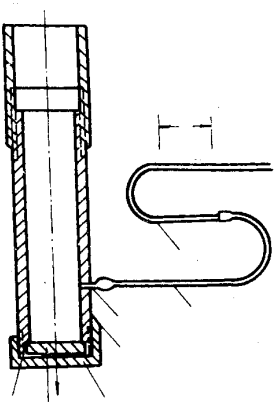


图 1－7－6 压差测气装置

1—压差计；2—胶管；3—测压嘴；4—短节；5—压帽；6—档板；7—胶垫

用体积法求出单位时间内的体积。测出原油的相对密度，便可计算出日产浦量。不论用那种方法求产油量，都要稳定的产油量。如果波动太大，要重复进行计算，以便求出稳定值。

（4）产气量　油层中的流体流到井底，又从井底升到井口。在此过程中，压力和温度不断下降，天然气就不断地从原油中分离出来，成为游离状态的天然气。经过分离器之后，油、气进一步分离成脱气原油和纯天然气。产气量可以从分离器出气管线上测量。试油井常用垫圈流量计测量。垫圈流量计由测气短节和水银压差计配套组成。如图

1－7－6 所示。原理是根据气体流经节流装置时，在孔板前后产生压力差来进行测量的。产气量计算公式为：

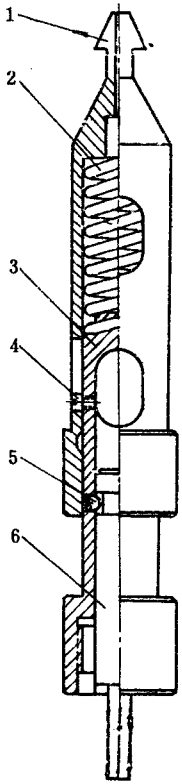



图 1－7－7A　锤击式控制器
1—绳帽及控制器外套；2—弹簧；3—支架；4—定向螺钉；5—钢球；6—顶杆

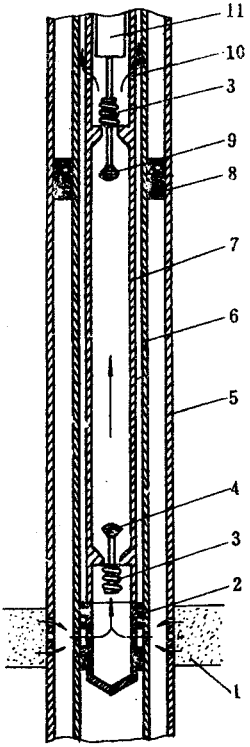



图 1－7－7B　取样器工作原理示意图
1—油层；2—堵塞器；3—弹簧；4—下凡尔；5—套管；6—油管；7—样筒；8—封隔器；9—上凡尔；10—出液孔；11—控制套顶杆

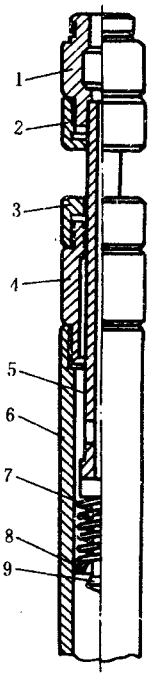



图 1－7－8　座开式取样器示意图
1,4—短节；2,3—压盖；5—顶杆；6—样筒；7—弹簧；8—上凡尔座；9—上凡尔

$$Q_{气} = 0.178d^2 \sqrt{\frac{293}{273+t}} \times \sqrt{\frac{1}{G}} \times \sqrt{H} \times \sqrt{13.6}$$

式中：$Q_{气}$——日产气量（米$^3$）；

d——孔板直径（毫米）；

t——气流温度（℃）；

G——天然气相对密度；

H——U 型压差计水银面高度差（毫米）。

（5）油气水样 自喷油层求产之前，用深井取样器进行高压物性取样，交送实验室进行分析得到原始油气比、饱和压力等资料；预探井试油要求进行系统试井。

深井取样使用取样器进行。取样器按其结构特点不同分为锤击式、座开式和钟机式等。常用的有锤击式和座开式两种（座开式也叫压开式）。锤击式取样器由锤击控制器、上下凡尔和取样筒三部分组成。如图 1－7－7A、B 所示。

工作原理是：用钢丝穿过锤击帽，用钢球将顶杆锁住，上下凡尔被顶杆顶开，仪器通过钢丝在支架内悬吊着。下井时，在仪器下端接上与管柱配套的聚流装置（用 625 同心配产管柱取样时接 625 堵塞器；用偏心配产管柱取样时，接油井测试密封段）。仪器座人预定配产器时，该层液流顶开凡尔，经取样筒、上下凡尔流入管内并继续上流。让其流经一段时间以便冲净取样筒的污物。然后，在井口内将重锤放下。锤击帽经锤击后克服弹簧阻力及摩擦力而下滑，三个锁球进入锤击帽内的扩孔槽内，使顶杆松开。在弹簧作用下上凡尔关闭，取样筒内压力很快升高。当筒内、外压力平衡后，下凡尔亦关闭。上提仪器，则该层液样被密封在取样筒内而取出。

座开式取样器主要由座开控制器、上下凡尔和取样筒三部分组成。如图 1－7－8 所示。座开式取样器与锤击式取样器不同之处在控制部分。使用时，将取样筒下端接一个 625 型配产器堵塞器密封段或油井测试密封段，并在座开控制器的上端接一根加重杆。当下入井内预定配产器工作筒时，加重杆通过顶杆将上凡尔顶开，井内液体通过下凡尔，取样筒从凡尔流过。当上提取样器时，顶杆离开上凡尔，在弹簧的作用下上凡尔关闭，内、外压力平衡后下凡尔亦关闭。至此；取样完毕。

油样：取油样时要求生产正常。同时，要经过排液（或畅喷），将油层附近的泥浆、水泥浆及污水等排净。要求在井底压力大于饱和压力条件下取样，若井底压力低于饱和压力则要换小油嘴。

取得的样品送化验室进行高压物性分析，测定粘度、原始油气比、密度、体积系数、压缩系数、收缩率等。

井口原油取样：由井口取样闸门处取样。取样前打开闸门放净死油。取样后擦净取样筒，贴上标签（标明：生产层位、油压、套压、取样方法、日期、取样前油井情况、分析的目的，以及其它必须注明的问题）送化验室分析，测定相对密度、凝固点、粘度、蜡熔点、含蜡、含胶、含砂、含水、硫、初馏点和馏分等。

水样：取水样方法同油样。送化验室测定 pH 值、矿化度（包括 $SO_4^{-2}$、$HCO_3^{-2}$、$CO_3^{-2}$、$Ca^{+2}$、$Mg^{+2}$、$K^{+1}$、$Na^{+1}$等）。在离化验室很远的外探区，应配备有关仪器，及时测量含盐、含铁、机械杂质等。

气样：常用方法有两种。一种是排水取样法。拿一个干净的细口玻璃瓶，装满水（或饱和盐水）。将瓶口塞紧，倒置于盛水容器内，至瓶顶不见汽泡便可。如图 1－7－9 所示。另一种是取样前，用较大的气流将胶皮筒内空气排出，再通人瓶内取样。取样结束时瓶内留 10～20 毫升水作密封液。塞紧瓶口，倒置，送实验室。气分析项目有：甲烷（$CH_4$）、乙烷（$C_2H_2$），丙烷（$C_3H_3$）、丁烷（$C_2H_{10}$）、二氧化碳（$CO_2$）、硫化氢

（$H_2S$）、一氧化碳（CO）、氮气（$N_2$）等含量。

## 二、封隔器试油

在试油井中一次同时射开几个油层，然后下封隔器，按照试油目的和要求取得各项试油资料的方法，叫封隔器试油。

### （一）封隔器多层试油

就是一次射开几个油层，然后下入由一组封隔器组成的试油管柱（如图 1－7－10 所示），一次作业取得各试油层资料的方法。这种试油方法具有工艺简单、节省时间、降低消耗，避免油层污染等优点，现场广泛应用。

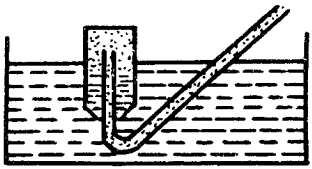


图 1－7－9　排水取样示意图

这种试油方法一般应用在有自喷条件的油层。射孔诱喷后油井能够自喷生产，便可以利用封隔器多层试油管柱下入仪器，求得各项试油资料。如果在已开发井上试油（或为了某种目的取资料），可采取不压井装置下入封隔器多层试油管柱。为了保证试油资料的准确，一定要确保每级封隔器密封牲良好。通过封隔器密封性试验，证实各层封隔器密封良好，取得的分层试油资料才可靠。

1. 测分层地层压力

为了求取各层原始地层压力（或地层压力），利用投捞工具将压力计脱节器下入各层配产器内（最上一层可以不用脱节器）。用测得的测压卡片可以算出原始地层压力。各层地层压力的测试在同一个时间内进行。此法可测分层压力恢复曲线。

2. 测分层产油量

全井总产量在井口测出，分层产量用井下浮子产量计测量。将产量计与堵塞器密封段连接在一起，下入配产器中。根据测试卡片（图 1－7－11）用流量计校正曲线（图 1－7－312）换算似产量。利用自下而上各层的测试卡片，可以得出各层产油量来。具体作法：用分规在测试卡片上量出浮子的位移（即产量台阶的高度），要求误差在 ± 0.3 毫米以内。根据此高度在曲线上查出各层产量值，各层产量相加应等于测前地面全井总产量。若两值不等，则须应用公式校正：

$$Q_{移} = K \times Q_{测}$$

式中：$Q_{移}$——校正后的分层日产油量（吨）；

$Q_{测}$——实测的层段日产油量（吨）；

K——校正系数，$K=\frac{\text{全井地面目产量}}{\text{层段测试产量总和}}$（一般般 K 为 1.4～1.5）。

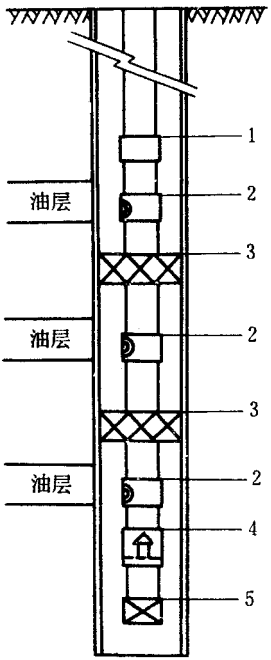



图 1－7－10 封隔器多层试油管柱

1—工作筒；2—DQ653 型偏心配产器；3—DIH752 型封隔器；4—PDQ153 型撞击筒；5—丝堵

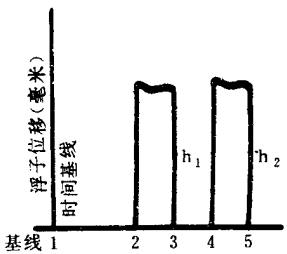



图 1－7－11 浮子产量计记录卡片

1—2：从钟表仪器下至工作筒时间；2—3：测第一台阶所用时间；3—4：上提仪器；4—5：测试第二台阶所用时间

3. 曲分层高压物性取样

要求用小油嘴生产，尽量保持流体具有较高的流动压力，以取得合格的高压物性样品。使用的仪器是锤击或座开式取样器，方法见前述。若取样时流动压力低于饱和压力，溶解气会从原油中逸出，分析结果就不能代表油层状态下的实际情况。这样的资料会给储量计算、评价油田带来困难，甚至造成错误。

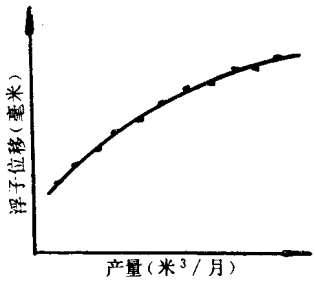



图 1－7－12　流量计校正曲线

## （二）封隔器单层试油

封隔器单层试油实质是用封隔器代替水泥塞进行试油。其工艺与录取资料方法基本同于水泥塞试油，有方法简单、使用方便、节省消耗等优点。这种方法与封隔器多层试油不同之处是一次只能试一层，使用上有局限性。这种方法在油田开发检查井中常用。

## （三）可钻桥塞试油

目前，有些油田采用“可钻桥塞”来代替水泥塞，施工工艺简单，不需要进行打水泥塞与钻水泥塞作业，不需要耗费大量水泥，并避免了打（钻）水泥塞过程中容易污染油层（已射开）及造成井下事故等缺点。

可钻桥塞试油主要由安全接头、水力锚、伸缩加力器和可钻桥塞组成。如图 1－7－13 所示。安全接头可起到安全保障的作用。当下部管柱或设备失灵（或其它因素）造成井下卡钻事故时，可从安全接头部分倒开，以待处理。水力锚的作用是靠水力作用使卡瓦牙卡于套管内壁，防止井底高压油气流上顶桥塞，以固定住下部管柱和桥塞位置。伸缩加力器起到助力和防止过于激烈震动桥塞的作用。可钻桥塞形式多样，但基本上分双向卡瓦和单向卡瓦两种。双向卡瓦由上下两组卡瓦牙组成，每组各 4 片，分别装于桥塞胶筒的上部与下部。8 片卡瓦牙中有 4 片牙齿向下起防掉作用，有 4 片卡瓦牙向上起防顶作用。应用双向卡瓦时，可钻桥塞管柱上部可不必下入水力锚（如图 1－7－13 所示）。单向卡瓦由 4 片卡瓦牙组成，牙齿方向向下，只能起防止桥塞下掉井底的作用（故叫单向卡瓦）。在使用单向卡瓦时，可钻桥塞管柱上部应装水力锚。水力锚牙齿方向向上，以防止桥塞被上顶移动。与双向卡瓦相比，单向卡瓦的桥塞少 4 片卡瓦牙，且又都是同方向的，故卡瓦失灵的机率少，一般使用时不容易出现遇阻遇卡现象。缺点是在桥塞上部必须下一个水力锚，增多了下井工具。在使用单向卡瓦桥塞时，水力锚的操作控制与桥塞另走一液流通道。进液孔在水力锚下部装有一个带眼分水工具。

施工工艺过程是：在油管以下接安全接头、水力锚、伸缩加力器及丢手接头，将可钻桥塞下入井内预定位置。然后进行座封，使可钻桥塞的胶筒密封油管和套管环形空间。上、下卡瓦起到固定可钻桥塞的作用。丢手接头的作用是将可钻桥塞放在井内。安

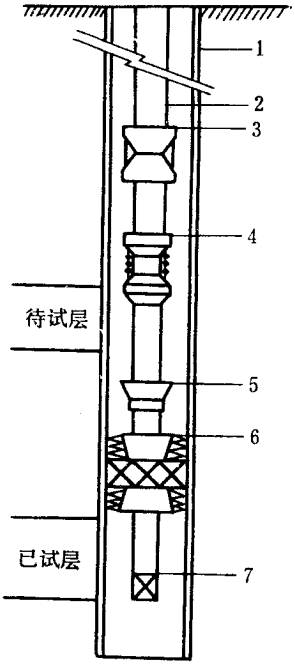



图 1－7－13　可钻桥塞试油

1—套管；2—油管；3—安全接头；4—伸缩加力器；5—丢手接头；6—桥塞式封隔器；7—丝堵

全接头的作用是防止管柱卡在井内。一旦卡钻，可以先将上部管柱取出，以待下步处理。

应用可钻桥塞可以解决以下几项试油技术问题：①代替一般水泥塞进行试油工作。②可作为堵漏措施进行堵漏。③用于高压、小产量井上进行不压井试油作业。④可以实现层间间距较小地层间的封隔。⑤代替深井使用的油气水泥塞。⑥简化分层酸化和分层测试工艺等。

可钻桥塞试油工作结束后，如井底口袋深不影响以后施工及油井生产，最下一级桥塞不必钻磨掉（其它层的均要磨掉）。应用可钻桥塞时，要保证水力锚和安全接头性能良好，上下卡瓦及胶筒密封可靠。同时，要注意钻磨时的安全，严防、井下事故的发生。

## 三、压裂、酸化试油

压裂、酸化本身不属于试油的内容，它是试油过程中的一种特殊技术措施。

所谓压裂、酸化试油，即是在试油之前进行压裂或酸化处理，以达到提高效果的一种综合性试油方法。

酸化原理和工艺方法与第六章所讲的相同。酸化的目的是处理钻井（或修井）中泥浆对油层的污染，使酸液与油层或井壁上的泥浆反应，破坏泥浆的胶体结构，疏通油层孔隙或裂缝，用以恢复油层原来的孔道和渗透性。对那些严重污染的油层，酸化后再进行试油能够了解油层的真实情况。

压裂原理和工艺方法与第五章所讲的相同，对于油层结构致密的油层，一般可先采取压裂措施提高油层的渗透率，然后再进行试油。

## 四、找气、试气

石油和天然气同生于富含有机物质的沉积岩中，能相互溶解。在一定地质条件下它们以油、气藏的形式存在，但在特定的地质条件下，它们又能分离形成单独的气藏、气顶和气夹层。一个油田有没有气顶、气夹层，在开发方式上是有很大的不同的。在详探阶段，查清气顶分布是油田投入开发前的一项重要任务。

### （一）找气

对射孔后不仅出油，同时大量出气的地层，需要在试油过程中把气层找出来，为制定油田开发方案提供依据。

与原油相比，天然气具有重量轻、粘度小、压缩性大、流动速度快等特点。如果射开的油层中有气层存在。油井投产后会出现井口压力（油压）高，产气量大、油气比高、产油量下降、产气量上升等现象。那么如何确定气层位置呢？大家知道，天然气具有很大的压缩性。当它从地层进入井筒时，由于压力突然下降，体积迅速膨胀（吸热），造成气层附近温度下降，形成井温异常。井温测井仪就是利用这个道理找气层的。根据井温曲线可以判断气层所在位置。如图 1－7－14 所示。

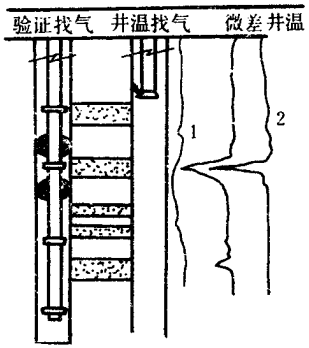



图 1－7－14　找气层示意图

1—小油嘴测气曲线；2—大油嘴测气曲线

### （二）试气

确定出了气层位置后，为了进一步搞清气层的情况，一般都用封隔器把该气层单独卡出来进行试气。试气的方法与单层试油相同。经系统试井，要求取产气量、气层压力：气层温度及成分分析资料等。

## 第三节 低压并试油工艺

油层压力低的油井，称为低压井。所谓压力低，是指该并不能将油气喷出地面。由于油层压力小，在这种井上不存在替喷的问题。为使油，气流入井中，一般都用降低液柱高度的办法（如抽汲、气举和提捞等）进行试油。应用这种方法求取试油资料，称低压井试油工艺。

### 一、抽汲诱喷

#### （一）原理

将油管抽子系在钢丝绳上，用修井机（或钻机）为动力，通过地滑车及井架天车将其下人井内，在油管中上、下活动。上提时，把抽子以上液体排出井口，并在抽子下面产生低压，使油层的液体不断补充到井内来。

一般将抽子下到液面以下 150 ~ 250 米左右，上提时可以在井底产生 15 ~ 25 公斤/厘米$^2$ 的降压。这个压差是很大的，堵在井底附近油层的污物在液流的冲刷携带下，也会被排到井内。这种方法的诱喷程度较替喷大，多用在靠改变井内液体相对密度仍不能达到诱喷目的的油井。如在钻井过程中由于泥浆漏失、失水量严重、泥饼过厚使孔隙堵塞，注水井由于水质不洁堵塞，强烈排液时，均可使用此法。

抽汲效率取决于抽汲强度，抽汲强度大则解堵作用大。抽汲强度又和抽汲速度、抽子与管壁间的严密程度，以及抽子的沉没深度有密切关系。在地面动力及钢丝绳强度一定情况下，沉没深度大了抽汲速度就受到限制。一般情况下，抽汲强度主要取决于抽汲速度。常用的抽汲计算如下：

(1) 抽汲时间指抽子的下放与上起时间，用时钟测定。

(2) 抽出液量用计量池或计量罐进行计量。

(3) 抽子直径用卡钳量取。

(4) 含泥、含砂量用含砂量瓶计量。

(5) 液面深度指井口到井内液面的深度，其值等于：

$$L = S + S_1 + S_2 + S_3 + h \qquad (1-7-7)$$

式中：L——液面深度（米）；

S——抽子接触液面时，钢丝绳进入油管头的长度（米）；

$S_1$——绳帽长度（米）；

$S_2$——加重杆长度（米）；

$S_3$——抽子本身长度（米）；

h——油补距（米）。

（6）见水深度，指肉眼看见井口抽出液体时抽子在井下的深度。即：

$$H_o = H - H_1 = H - Vt_o \tag{1-7-8}$$

式中：$H_o$——见水深度（米）；

H——抽汲深度（米）；

$H_1$——见水前所起钢丝绳长度（米）；

V——啪汲速度（米/秒）；

$t_o$——见水时间（秒）。

见水时间是从上起抽子至井口见到液体的时间。抽汲速度是指单位时间内抽子上起的距离。即：

$$V = \frac{H}{t} \tag{1-7-9}$$

式中：t——抽子上起时间（秒）。

抽汲效率是实际抽出水量与理论计算出水量之比，用百分数表示。

$$\eta = \frac{Q}{Q_o} \times 100\% = \frac{Q}{H_o q \times 100\%} \tag{1-7-10}$$

式中：$\eta$——抽汲效率（%）；

Q——实际抽出水量（升）；

$Q_o$——理论应抽出水量（升）；

$H_o$——见水深度（米）；

q——每米油管内容积（升/米）。

（7）抽汲深度，指抽子人井的深度，即滚筒钢丝绳下。人井中的长度。为了计算方便，设滚筒直径为 D，滚筒长度为 S，钢丝绳直径为 d，滚筒刹车轮径为 L，二层中心的垂直距离为 $h_o$。如图 1-7-15 所示。

根据等边三角形求高公式 $h = 0.866d$ 及等差级数求和公式推导，可得求任意层之总长度 $S_n$ 的公式为：

$$S_n = \frac{(X_1 + X_n)\ n}{2} \tag{1-7-11}$$

式中：$X_1$——第一层可缠钢丝绳长度（米）；

$X_n$——第 n 层可缠钢丝绳长度（米）；

n——层数。

滚筒可缠最多层数 B 的计算：

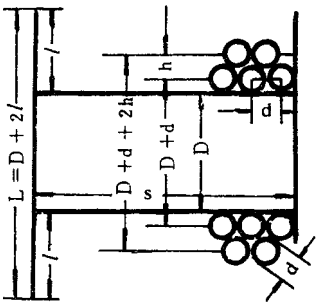



图 1 – 7 – 15 滚筒容量计算图

$$B = \frac{1 - \frac{d}{2}}{n} = \frac{1 - \frac{d}{2}}{0.866d} \qquad (1 - 7 - 12)$$

## （二）抽子

对抽汲用抽子的要求是，抽子与油管壁之间的密封性能好，上提时不漏但阻力又不能过大，容易下放。目前现场应用的抽子有以下几种：

1. 凡尔抽子

如图 1 – 7 – 16 所示，由接头、凡尔罩、凡尔球、凡尔座、中心管、胶皮上压帽、胶皮、胶皮下压帽和紧帽等组成。

凡尔抽子的工作原理：凡尔抽子上接头是梯形扣与加重杆相连接，下井时靠加重杆的重力使之向下运动。这时油管内液体做相对向上运动，通过紧帽（中空且内有丝扣，便于下接打捞矛刺钻头等用）与中心管顶起凡尔球。当抽子上行时，由于自重及液柱压力使凡尔球坐回凡尔座，胶皮在液柱的压力下紧压在油管壁上，抽子内外通道堵死，将抽子以上的液体举至井口。

2. 无凡尔抽子（又称两瓣抽子）

其结构如图 1 – 7 – 17 所示。每一节抽子滑动杆上有一个活瓣（包括胶皮上压帽），可以沿抽子杆上的键槽滑动。另一瓣则被尾堵和半圆挡板（或中间接头和半圆挡板），卡住。

在抽子下放时，活瓣受井内液体和管壁的阻力处于上部位置，与固定瓣错开，液体可以自由通过抽子。当抽子上提时，使活瓣下滑与固定瓣合在一起，堵住油管通道，如同活塞一样将抽子上部液体抽出井口。

3. 水力式抽子

为了提高排液速度，根据水力封隔器的作用原理制成了水力式抽子（如图 1 – 7 – 1 所示）。

工作原理是：当抽子下放时，井液将凡尔球顶至阀罩内，并通过抽子进入油管内。当抽子上提时，凡尔球坐于阀座上，液柱压力通过中心管的三个孔眼传至胶皮筒，靠水

力作用使之与油管密封，便将抽子上部的井液举送到井口。

水力式抽子的胶皮筒不但本身与油管密封，还受到液注重量的压力，受力均匀，密封性良好。胶皮质厚耐磨，可连续工作 8 小时，一次可抽出井液 800 ~ 10000 升。利用水力式抽子，可以大大提高排液速度。

## （三）抽汲过程应当注意的事项

（1）绳帽、加重杆与抽子连接必须牢固。

（2）中井口防喷管不能漏油、气，且长度应大于抽子、加重杆和绳帽的总长度。内径不能小于油管。

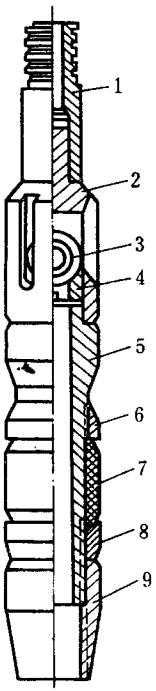



图 1 - 7 - 16　凡尔抽子示意图
1—接头；2—凡尔罩；3—凡尔球；
4—凡尔座；5—中心管；6—胶皮上压帽；7—胶皮；
8—胶皮下压帽；9—胶皮

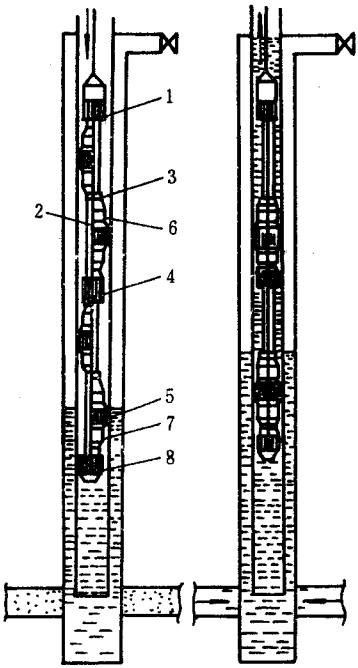



图 1 - 7 - 17　无凡尔抽子工作示意图
1—上接头；2—胶皮滑动杆；3—半圆挡板；
4—中间接头；5—胶皮；6—胶皮上压帽；
7—胶皮下压帽；8—尾堵

（3）抽汲用油管都应通过内径规。管口两端内部加工成 45°倾角，管柱下部应装有

小于油管$\frac{4}{1}$英寸的油管鞋。

(4) 使用修井井架时，地滑车与滚筒中心线应位于一条直线上固定牢（不能用绳套挂在井架大腿上)。

(5) 起下作业时，必须记清滚筒上钢丝绳的层数、圈数，且缠紧排齐。下至最大深度时，滚筒余绳不能少于 30 圈并且作好记号。

(6) 抽汲前必须试下空抽子（无胶皮）或无球（取出凡尔球）抽子，抽子下深至少要等于设计抽汲之最大深度。

(7) 抽汲过程中要经常对所用设备、工具进行检查保养。若发现井喷，应迅速将抽子起人防喷管内。

(8) 抽汲结束（或停抽）时，抽子不能留在井下。

## 二、气举诱喷

如果用清水替喷不成，可改用气举诱喷。气举分正举和反举两种。正举是从油管注入高压空气，推动井液从油管进入油套环形空间，使井底压力急剧下降，造成地层与井底的压差，使地层中油、气进入井筒自喷。反举流程与之刚好相反。

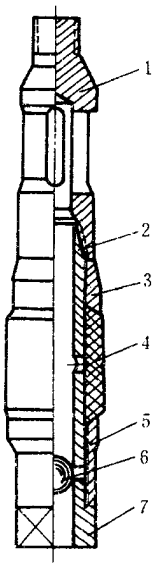



图 1－7－18 水力式抽子

1—阀罩；2—中心管；3—下碗；

4—胶皮；5—下碗；6—凡尔球：7—座阀

一般正举时压力变化比较缓慢。反举压力十分剧烈，容易引起出砂。采用那种方式要依据井的具体情况而定。气举深度除考虑地层及井况外，还取决于压风机的工作能

力。目前多采用 YKn—80 型高压压风机，最大工作压力为 80 公斤/厘米$^2$，能举约 800 米液柱。若油管下深超过 800 米则举不通。对于气举深度超过 800 米的油井，除选用工作压力高的压风机外，还可以采用以下方法进行气举：

（1）将油管下入 800 米深度，举通后放气、抬井口，并且迅速将油管（现场叫抢下油管）加深至预计深度，坐回井口再气举。

（2）下油管至油层中部，在 700 ~ 800 米处装一配产器。先将配产器以上亡举通，再继续向下举，可以不用改换大功率压风机而增加气举深度。

（3）下油管至油层中部，用反举法在压风机压力达到最大之后停举。然后用适当嘴子控制放套管气，在较短时间造成较大的压差，使油、气流入井内达到自喷。

（4）利用气举凡尔气举

使用气举凡尔（图 1 – 7 – 19）气举，应采用反举。当高压气体由套管压人，使油套管空间液面下降至气举凡尔后，气体顶开凡尔球进入油管，使液体气化，相对密度降低，从而喷出井口。

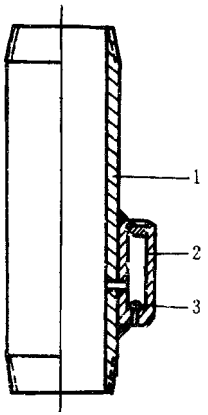



图 1 – 7 – 19　气举单流凡尔

1—油管短节；2—凡尔体；3—凡尔球

气举凡尔一般都是 2 ~ 3 个联用。在液面以下 600 ~ 700 米处接一个较小的凡尔（3 毫米），然后向下每隔 200 ~ 300 米接一个 4 ~ 5 毫米的凡尔。这样做可以不增大设备能力而加深气举的深度。

气举时，管线采用耐高压的硬管线。应对管线进行试压检验，试泵压力为最高工作压力的 1.5 倍。出口管线口应装弯头，并固定牢。压风机应距大罐和井口 20 米以上。排气管应装消声器、防火网。中途修管线（有刺漏现象）时应停车、关井，慢慢放空。一旦发生井喷，应立即停止气举。

## 三、提捞

在井比较深、抽汲效率低时，多采用提捞法试油。其道理是用提捞筒把井内液体一筒筒捞上来，降低井底的压力，使油层中的油能进入进筒中来，以求取试油资料达到试油目的。

提捞筒的结构如图 1－7－20 所示。在现场，一般用钻杆或套管上边焊提环，下边装凡尔制成。制作提捞筒取材方便，制造简单，使用方便，故在低压井试油中应用较多。

提捞前应下大于提捞筒外径的通井规通井至设计深度，并进行试下。试下的速度要慢，以防止套管卡。钢丝绳在距提捞筒 10 米、30 米和 50 米三处要有警告记号，下至最大深度提捞时滚筒余绳不应少于 30 圈。连接部分要经常检查、涂油与保养。提捞筒上部要有倾角。最大外径要小于套管内径 15 毫米．带曲度不超过千分之一。提捞筒下井前要详细检查，记录，并画出示意图。操作要平稳，严防井下落物等。

在低压井采用提捞法试油时，有时会遇到井供液不足的情况。为了求得准确的产液量，可采用定深提捞或探液面上升速度的方法。若地层渗透率太低，还可以先进行喷射、压裂、酸化等技术措施，然后再进行试油。

诱喷之后，要等喷出（或抽出、或捞出）的完全是地层液体（这时两次取样分析基本一致），才可以求取初产量、测静压等。这是因为刚刚替（或诱）喷后井液内夹杂有泥浆、水和污物，故每班要取样两次进行分析。

# 第四节 中 途 测 试

上面所述试油方法，争是在完钻固井后打开油层的试油方法。近年来出现了新的试油方法：即是在钻凿探井的过程中发现油气显示后，立即停止钻进、起出钻头，利用钻杆将地层测验器下到目的层顶部，封隔目的层以上的地层，利用钻杆进行试油求取各项资料。如果测试结果没有油（气），可继续钻探深部地层。这种方法叫做中途测试（或叫地层测验器试油），对加快勘探速度有着，重要意义和作用。

## 一、地层测验器测试

### （一）测试方法

中途测试在裸眼井中进行，所以又叫裸眼试油。根据所用的封隔器类型不同，分为两种方法。

一种是预先可以卡准油、气层的测试。在钻到油，气层前打一个小眼，用锥形封隔器（见图 1－7－21），带玻璃接头（见图 1－7－22）诱喷测试。其测试步骤是：①钻小眼。②通井划眼。⑧修台阶，调整泥浆性能。④下封隔器。其钻具组合为：尾管—封隔器—平衡凡尔—玻璃接头—钻杆。平衡凡尔结构如图 1－6－23 所示。⑤坐封隔器、装井口。⑥打开玻璃接头进行测试。

另一种是卡不准油、气层的测试。（一般是构造的第一口井）在钻井过程中遇有油、气显示时，采用筒形封隔器（见图 1－7－24）带玻璃接头诱喷测试。其测试步骤是：①电测井径。②通井划眼。③循环泥浆，调整泥浆性能。④下封隔器。钻具组合为：尾管（支撑至井底）—带眼管—封隔器—平衡凡尔—玻璃接头—钻杆。⑤坐封隔器、装井口。⑧打开玻璃接头测试。由于裸眼井中井眼不规则，故筒形封隔器的密封较锥形封隔器困难。因此，对于预先没有准确掌握油、气深度的井，若已钻穿了油层，可在该层位以上补打 30～50 米水泥塞，然后钻小眼、修台阶、坐锥形封隔器测试。

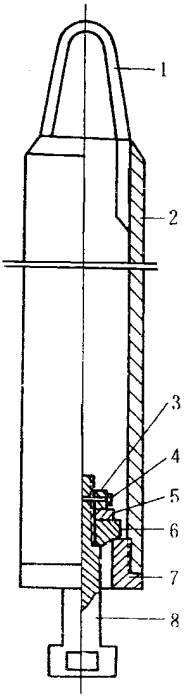



图 1－7－20 提捞筒

1—提　环；2—桶身；3—压紧螺帽；4—销钉；5—螺　帽；6—凡尔；7—二凡尔座；8—凡尔杆

## （二）测试工艺

1. 封隔器位置的选择

正确选择坐裸眼封隔器的位置十分重要。锥形封隔器坐人位置以岩性坚硬的非裂缝性砂岩、石炭岩、白云岩为好。如坐在页岩或胶结不完全的砂岩上，封隔器由于压力的作用会被挤坏。裸眼筒形封隔器在保证顺利下入的情况下，胶皮与井筒之间间隙越小越好。如果坐封隔器的位置井径过大，胶皮胀大的程度又有一定限制，则会因密封不好而使测试失败。因此，封隔器位置的选择应根据钻井过程中的岩层和地质剖面对比，以及电测所获得的井径、井斜等测量资料来选定。应该尽量靠近油、气层顶部。封隔器以下不应有水层出现。

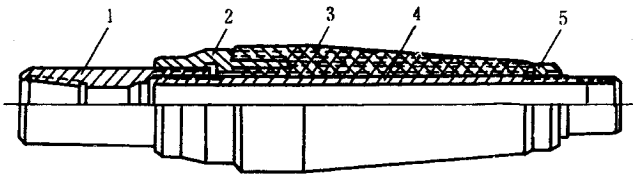



图 1－7－21a　$7\frac{3}{4}$″裸眼锥形封隔器

1—接头；2—上压帽；3—胶皮；4—中心管；5—紧帽

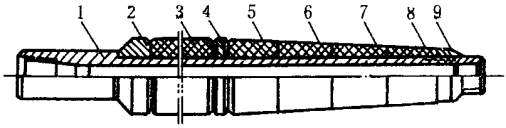



图 1－7－b $9\frac{3}{4}$″裸眼锥形封隔器

1—中心管；2—上压帽；3—筒形胶片筒；4—坐环：5～8—锥形胶片筒；9—下压帽

2. 调整泥浆性能

为了减小泥浆对油、气层的损害，并保证井壁不会坍塌，当钻至预定测试层位顶部以上时应停钻，将井筒泥浆调整或更换为优质泥浆。然后反复划眼，或用类似锥形封隔器的铣锥反复通井，以保证锥形封隔器顺利下入预定位置。

3. 钻小眼

如果封隔器牢靠地坐于井筒中间，对封隔器密封是有利的。反之，就会影响其密封性。因此，钻小井眼应力争打直，这是保证封隔器密封的基本条件。在措施上要做到以下几点：①钻小眼处必须选择较硬地层，保证在封隔器承受环形空间液柱压力下井壁不坍塌。②用领眼钻头钻小眼。③打小眼开始 8～10 米内采取扶正措施。其钻具配合为：钻头—钻铤—扶正器—钻杆。④钻小眼井时要求轻压、慢转、大排量。

4. 通井、划眼

为了保证封器顺利下入，要求井眼不论大小都必须用原钻头通井。若遇卡或遇阻要反复划眼，直到井眼畅通无阻为止。其具体措施是：①用原钻头先通大眼至台阶位置，再用小钻头通至井底。②通井时，如遇下钻指重表降低一格、起钻负荷增加二格的情况，即说明在此遇阻、遇卡。应在此位置反复划眼，直至起下畅通无阻为止。③井身有键槽应设法破除。④通小眼至井底后，要循环泥浆至无岩屑返出为止。

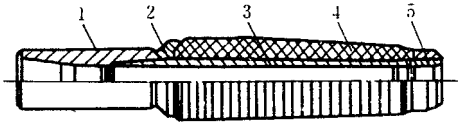



图 1－7－21c $7\frac{3}{4}$″裸眼锥形千层式封隔器

1—卜接头；2—压帽；3—中心管；4—胶皮；5—紧帽

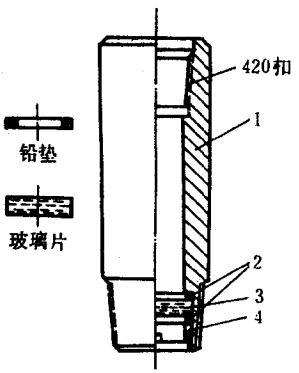



图 1－7－22　玻璃接头
1—主体；2—铅垫；
3—玻璃片；4—压帽

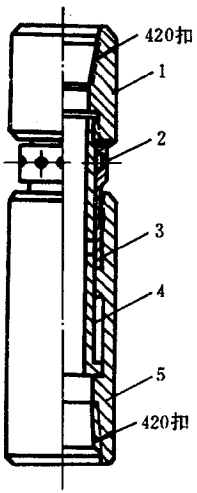



图 1－7－23　平衡凡尔
1—上接头；2—盘根压帽；
3—盘根；4—中心管；
5—下接头

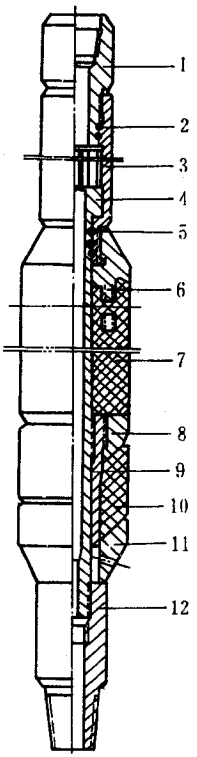



图 1－7－24　$9\frac{3}{4}$″、$7\frac{3}{4}$″裸眼筒形封隔器
1—420 接头；2—密封圈；
3—花键伸缩管；4—中心管代花键；
5—密封圈；6—硫化盔帽；
7—胶皮筒；8—膨胀鞋外套；
9—膨胀鞋内套；10—膨胀鞋；
11—支座；12—421 接头

5. 修台阶

修台阶用铣锥的锥度，要求等于或大于所用封隔器锥度 1～0.5 度，外径大于 6～8 毫米（其形状如图 1－7－25 所示）。台阶不宜过长，应根据铣锥和封隔器有效密封长度而定。铣出台阶要求光滑。其技术措施是：①钻具组合为：尖钻头—钻杆（根）—铣锥—钻铤—扶正器—钻杆。②铣锥下井如遇阻（遇卡）应反复划眼．修台阶时采取轻压，慢转，双泵大排量。一般钻压为 2～3 吨。转速 55 转/分左右．⑧修台阶要调整泥浆性能，充分循环 2～3 周。其性能要求是：含砂量大于 1%，相对密度、粘度、失水量应祝各井具体情况而定。

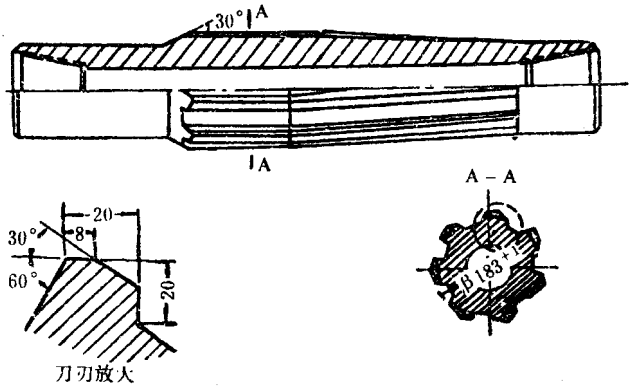



图 1 – 7 – 25 $5\frac{3}{4}$″、$7\frac{3}{4}$″铣锥

6. 下封隔器注意事项

地面作好一切准备之后再下入封隔器，下钻速度均匀，不能太快。操作要平稳，严禁猛刹、猛放，以免冲破玻璃接头。下钻遇阻不能硬压（一般不能超过 3 ~ 4 吨），若多次活动无效应起出检查，重新划眼再下，钻杆丝扣要擦洗干净，涂丝扣油，并缠上麻丝以防漏失。严防落物。封隔器加压按具体情况参照表 1 – 6 – 1 而定。

表 1 – 7 – 1 封隔器加压参考表

| 封隔器名称 | 加压（吨） |
|---|---|
| $11\frac{3}{4}$英寸 × $9\frac{3}{4}$英寸锥形封隔器 | 23 ~ 24 |
| $9\frac{3}{4}$英寸 × $7\frac{3}{4}$英寸锥形封隔器 | 20 ~ 22 |
| $7\frac{3}{4}$英寸 × $5\frac{3}{4}$英寸锥形封隔器 | 18 ~ 20 |
| $9\frac{3}{4}$英寸筒形封隔器 | 20 ~ 21 |
| $7\frac{3}{4}$英寸筒形封隔器 | 18 ~ 20 |
| $5\frac{3}{4}$英寸筒形封隔器 | 10 ~ 15 |

7. 求取资料

求取资料的项目包括：①油、气、水的产量，并最大限度地求得产量的变化范围。②油、气、水样分析资料。③关井测压，求原始地层压力等。

求取资料方法和要求是：未打开玻璃接头前在环形空间灌满泥浆，并从钻杆内探测液面数据。打开玻璃接头后，如井能自喷即可求得油气水产量、油气水样、关井压力等资料。在求取资料的同时，环形空间每小时灌一次泥浆（并准确计量），如果中途突然漏失，立即反循环灌满泥浆。

8. 起封隔器的操作

上提钻具打开平衡凡尔，使环形空间的泥浆柱压住地层，并使封隔器上、下压力平衡。当无平衡凡尔时，先往钻杆内灌满泥浆或清水，保持内外压力平衡。当上提至原悬重后，停一会儿作业使胶皮复原后再起钻。

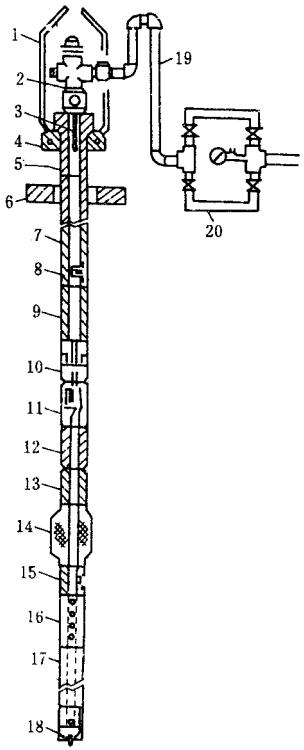



图 1－7－26　支撑式中途测试工具井下管柱结构示意图

1—吊环；2—旋转头；3—撞击杆；4—吊卡；5—提升短节；6—转盘；7—钻具；8—反循环接头；9—旋转开关；10—水力开关；11—内记录器安置节；12—震击器；13—安全接头；14—封隔器；15—外记录器安置节；16—带孔锚管；17—钻具；18—管鞋；19—活接头钢管；20—头管记

## 二、常规支撑式测试工具及测试工艺

常规支撑式中途测试是一种比较先进的测试工艺技术，具有操作简便、录取资料准确、可靠等优点，被广泛应用在中深井或深井。

## （一）常规支撑式中途测试工具的组成

常规支撑式中途测试封隔器是由钻杆柱对封隔器胶皮施加压力使封隔器坐封的。关井和流动测试是由旋转开关工具来控制的。为了确保封隔器的密封，在封隔器的下部接有支撑用尾管。同时，在整个测试过程中必须保持钻杆柱对封隔器的压重，才能保证测试时封隔器始终处于密封状态。

常规支撑式中途测试的下井管柱结构如图 1－626 所示，主要由 10 个部分组成。

1. 管鞋

装在测试管柱底部的一个短节，其作用是使封隔器尾管安全地支撑在井底。

2. 带孔管

它的作用主要是测试时，让被测试地层的流体经过孔眼流入钻杆。

3. 外记录器安置节

外记录器安置节的作用是装载井底压力计和温度计，直接录取测试层段的压力和温度资料。

4. 支撑式封隔器

支撑式封隔器的作用是封隔测试层位上部的地层，以保证测试工作的顺利进行和所取资料的准确性。

5. 安全接头

这里采用的是波温安全接头，其结构如图 1－7－27 所示：其公扣体上端有与钻杆相连接的母扣，公扣体的下端有连接母扣体的粗螺旋公扣。母扣体的上端有与公扣体的粗螺旋公扣相配合的粗螺旋母扣。这样，当下部管柱或工具遇卡后，能较容易地倒开连接的粗螺纹扣，起出安全接头以上的管柱。

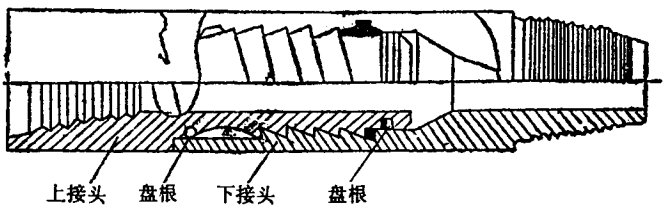



图 1－7－27 波温安全接头

1—公扣体；2、3—O 型盘根；4—母扣体

6. 震击器

这里使用的是波温 J 型机械旋转震击器，其结构原理与使用见第八章所述。作用是当工具被卡时，可以震击解卡。

7. 内记录器安置节

其结构如图 1－7－28 所示。在内记录器安置节的内腔装有一支 K－3 型井底压力

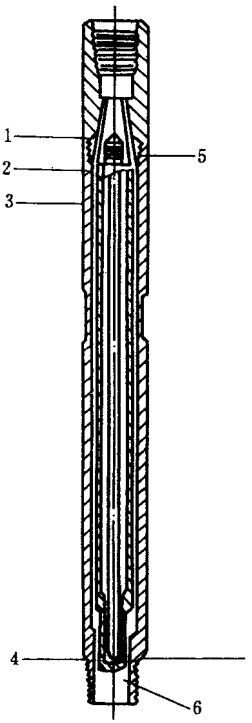



图 1－7－28　内记录器安置节

1—O 形盘根；2—胶皮套；3—护套；

4—胶皮盘；5—弹簧；6—3.5API 贯眼

计，可记录钻杆的流体压力变化。

8. 水力开关

水力开关用来降低泥浆柱对测试层的回压。当下放钻具时，可减少泥浆对钻具的阻力；封隔器解封时，用以平衡封隔器上部泥浆和下部测试层的压力。水力开关工具结构如图 1－7－29，按其作用功能可分为油端和泥端两部分：

油端：此部分由么臂、活塞、液缸组成。在液缸内注有高粘度硅液。当水力开关关闭时，硅液在活塞下部；当加压打开水力工具时活塞下行，硅液缓慢地流过活塞上部计量孔进入活塞上部。该部分的主要作用是延缓水力工具打开时间。加压 10 吨左右时，延缓时间为 3～5 分钟。在上提钻杆使水力工具关闭时，硅液则很快地流过心管的槽进入活塞下部，使工具及时地关闭。

泥端：此部分由缸套、活塞等组成。活塞位于装有油端活塞的心管下端。当油端活塞上、下动作时，泥端活塞也同时上下动作。泥端活塞上部有一组测试孔道，下部有一组旁通孔道，这样便形成了打开和关闭两个过程。

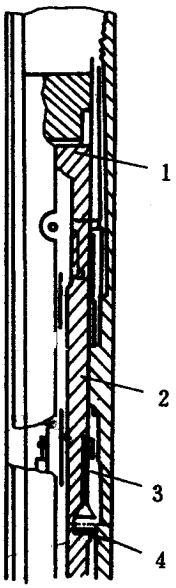



图 1－6－29 水力开关工具
1—泥端活塞；2—心管；3—油端活塞；4—计量孔

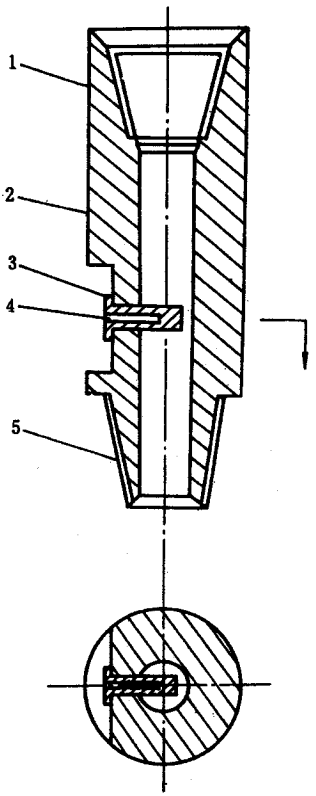



图 1－6－30 反循环接头

9. 旋转开关工具（带取样器）

这是一种靠旋转钻杆可以获得三次流动压力、关井压力及油层流体样品的取样器。开关动作是靠右旋钻杆来实现的。每改变一次状态需要旋转 10 圈。

10. 反循环接头

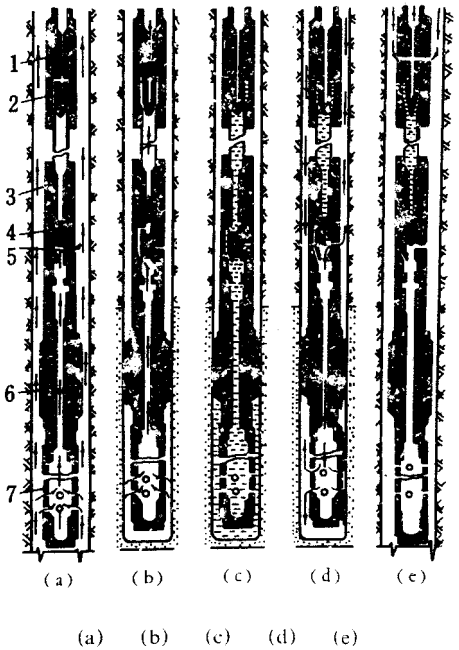
反循环接头的用途是测试完毕后，用于反循环压井。其结构如图 1－6－30 所示。接头本体上装有空心循环塞，循环塞伸入接头内部。当从井口投入撞击杆后，循环塞折断使环形空间与钻杆沟通，这时便可进行反循环作业。

## （二）常规支撑式中途测试工具的测试程序

主要有如下五个步骤（如图 1－6－31 所示。

1. 测试工具下井（图 1－6－31a）

水力开关接在封隔器上面，在仪器下井过程中水力开关下部的旁孔是打开的，为的是测试工具能够顺利下井。因为封隔器胶皮筒与井壁之间间隙很小，下层流体不易通过此间隙进人封隔器上部空间，封隔器在下井过程中犹如往下推动一个活塞，既难下井又




(a)　(b)　(c)　(d)　(e)

**图 1－6－31　支撑式中途测试工具测试程序示意图**

a. 下井　b. 测试　c. 关井测压　d. 平衡　e. 反循环

1—反循环接头；2—旋转开关；3—冰力开关；4—测试孔；5—旁通孔；6—封隔器；7—带眼支承管

易损坏封隔器。水力开关的旁孔打开，就解决了这个问题。水力开关上部的一组测试子 L 下井时是关闭的，用以阻挡井内流体进入钻杆，使钻杆内的压力近似于大气压力。

2. 进行测试（图 1－6－31b）

当将测试工具下到设计井深、管鞋坐在井底后，用钻杆对封隔器胶皮加压，使之向外胀开与井壁靠紧密封。封隔器坐封 3—5 分钟，水力开关的旁通孔关闭，测试孔打开。由于测试层的压力高于钻杆内的压力，产层流体便进入钻杆，井底压力计开始记录流动压力。

3. 关井测压（图 1－6－31c）

水力开关之上接一旋转开关，下井时是打开的。当测试结束后，在井口向右旋转钻杆 10 圈关闭旋转开关。这时，测试层压力上升，井底压力计便记取压力恢复资料。与旋转开关关闭的同时，取样器也关闭，便捕集到测试层流体。

4. 平衡起封隔器（图 1－6－31d）

测试完毕后首先上提管柱，水力开关测试孔关闭，旁通孔打开，环形空间与测试层沟通，使封隔器上、下压力平衡，以利于胶皮筒恢复原状。然后，上起封隔器管柱。

5. 反循环（图 1－6－31e）

测试工具最上部是一反循环接头。使用时，将反循环接头打开，使钻杆内部与环形

空间沟通，便可以进行反循环压井，或者使钻杆内的流体在有控制的条件下返出地面。

### （三）常规支撑式中途测试工具的施工技术

1. 准备工作

（1）施工前要清楚了解井下及测试层显示情况、井下结构、泥浆性能、施工所需时间，以便进行合理的下井工具组合，选择合适的井底压力计，制定恰当的施工措施。

（2）对所有测试工具按其技术性能标准进行检查试压，井口部分及下井工具需进行350大气压密封试压。

（3）防喷器性能完好，操作可靠。接好循环管线。

（4）按一般测试要求接好放喷管线、测试管线、分离器及计量装置等，并固定牢。

（5）在预计地层压力较高的地区测试时，应事先把高压泵车接到钻台管汇上，以便正循环压井。

（6）电测井径及其资料的应用。根据电测资料和地层情况确定封隔器的坐封位置。其要求是：应将封隔器坐于测试层位以上较坚硬地层，坐封井段的井径不应大于封隔器外径1英寸，尾管不应大于80米。

然后，计算封隔器所承受的最大压差。莱茵斯支撑式封隔器额定的工作压差为450大气压。如果井底液柱压力过大，需用液垫或气垫把压差降至400大气压左右。目前现场多采刚液垫法，即在钻杆内灌人清水或原井泥浆，并在液垫下面灌人200～300公斤高粘度的隔离液。

（7）组配好测试管柱。对于下井工具，尾管，钻杆等必须丈量，复核准确，以保证封隔器坐在预定外深。如果是深井，反循环接头下面应加接一根钻铤。若电测井径、井深和钻头直径、录井深度误差较大时，应采用双封隔器。若封隔器以．上裸眼井段太长或泥浆含砂量大于1%时，应在封隔器以上加一根钻杆后再接安全接头。当封隔器下至预定位置后，最后一根单根应高出转盘面以上2.5米。

（8）循环洗井，凋配泥浆。在下测试工只之前应先用通井规通井至井底，彻底循环洗井，直到井口无岩屑返出，含砂量小于10%。同时，调整泥浆性能，使之达到良好、稳定。

2. 工具下井的操作

（1）将管鞋，支撑管，带孔锚管下入井内，并用卡瓦坐在转盘上。

（2）用提升短节上提旋转刀：关工具，然后依次将水力开关，内记录器安置节、震击器、安全接头，封隔器及外汇录器安置节接好。

（3）将上述组件接在已下井内的锚管上。

（4）装入井底压力计及温度汁。

（5）工具下井的工具下井时应注意的事项是：

——各连接久的丝扣要上紧。

——丈量旋转开了了开关工具顶部到封隔器下部的长度，以及封隔器下部到锚管鞋的距离。

——工具下井过程中，要注意环形空间泥浆面的变化情况。

(6) 接反循环接头、所需钻铤及钻杆，最后应为一单根。此单根事先应接好旋转头及活接头钢管。

(7) 坐封前，将活接头钢管接到连接有防喷管线的钻台管汇上。

3. 坐封与测试。

(1) 坐封时泥浆面在井口，以便于观察。

(2) 按每一英寸胶皮筒直径 1135 公斤的最小压重对封隔器加压。

(3) 加压几分钟后，水力开关打开，指重表的悬重增加。此时应下放钻杆，保持原悬重不变。

(4) 在坐封过程中，应及时观察泥浆液面，以判断封隔器是否密封。如果发现泥浆漏失，应立即上提钻杆，使水力开关关闭，灌满泥浆。

(5) 封隔器坐封好后，运用，旋转开关工具求得流动测试和关井压力资料。

——当水力开关打开后，进行第一次 10 分钟流动测试，主要作用是解除地层堵塞。

——第一次关井。在井口右旋钻杆 10 圈，使旋转开关关闭，求压力恢复资料。

——在井口重复上述操作，可进行第二次流动测试和第二次关井。如井能自喷，则在第二次流动时测试产量。关于关井和流动测试时间，应依据油层的渗透性和产量大小而定。

4. 解封及起出测试工具

(1) 提管柱，使水力开关测试孔关闭，旁通孔打开。同时，观察环形空间泥浆面变化。

(2) 对封隔器上提 4600 ~ 6800 公斤披力，等几分钟解封后，再上提测试工具。

(3) 上起管柱时速度要慢，以免产生抽汲作用。

(4) 如果需要反循环，可在钻杆接有旋转头的情况下投入撞击杆，打开反循环接头进行循环。在反循环时要控制排量，并慢慢 – 上下活动井下管柱。

# 第八章 修井作业中保护油层技术

合理开发油气田，使油、气井保持长期稳定高产，增加采出程度，就需对油、气井进行维护修理。在长期生产过程中修井作业是必不可少的，油田开发的后期，修井作业更为重要。

修井作业工作内容很多，包括调整改变油井的生产方式、生产层位、油、水井解堵、清蜡、防砂、打捞井下落物、修补套管等，修井都使用修井液，修井液的种类繁多，所用化学剂不同，修井液的组成也不相同。

修井作业过程中，在正压差作用下，修井液侵入油层，可能引起污染堵塞，使油层的渗透性受到损害。油层一旦受到损害，要恢复原来的生产水平相当困难，必须重视修井作业引起的储层损害的问题，只有认清修井作业过程中引起储层损害的原因、机理、造成损害的类型、损害程度和影响因素，才能制定和采取有效的保护油层技术，使储层不受损害。

## 第一节 修井作业中油层损害

修井作业中油层损害也是由多因素造成的，钻井、完井、注水、采油、增产措施过程中造成的油层损害，在修井过程中也会发生，损害的因素可归纳为两个方面，一方面是油层本身的岩石物性、孔隙结构特征、地下流体油、气、水物理化学性质的影响，是客观存在的潜在损害因素；另一方面是各种修井作业时，施工参数、工艺技术及作业规模的影响，作业工作液侵入引起油层微观结构和地层流体状态发生变化，使油层渗透率下降，这是可以控制的外界因素。概括来说，修井作业中储层损害，是修井入井液与储层岩石相互作用、修井入井液与地下流体相互作用造成，不同的修井液将造成不同类型、不同程度的油层损害。

### 一、修井入井液对油层的损害因素分析

国内外的资料表明，修井入井液对油层的损害是普遍存在的。

曾对我国某油田调研，1992 年修井作业 11 口油井，其中 9 口井有严重的损害，有的井甚至堵死，造成停产。例如其中一口油井，生产井段为 3576.4 ~ 3851.9m，沙三段

油层，作业前日产油 11.7t，日产气 172m³，日产水 1.35m³，含水 10.4%，生产正常，因抽油杆断脱，进行检泵，补射孔修井作业，用温度为 60 ~ 100℃活性水正反洗井，45m³ 洗井液全部漏人地层，又用密度为 1.05g/cm³ 的压井液压井，检泵，对 32 号油层补射孔，作业完开井油井不产液。另一口油井，自喷生产，用 46mm 油嘴生产，日产油 61.7t，产气 10051m³，产量递减快。对 25 号层补射孔射孔后起出一根油管就发生井喷，用密度 1.2g/cm³ 压井液 80m³ 两次压井，完成下泵管柱后，油井不产液。表明两口井因修井作业，多次洗井、压井，大量的压井液进入油层造成损害，堵死油层。该油田所用的洗井液、压井液都是用油田污水、卤水作基液配制成的；实验室对污水、卤水进行水质分析、配伍性评价实验，用油田岩心进行流动实验，实验结果表明，所使用的污水、卤水对岩心渗透都有不同程度的损害，参见试验数据表 1 - 8 - 1。从表中数据看出，污水对岩心渗透性损害率为 10.53% ~ 35.58%，卤水损害率为 39.53% ~ 63.2%，说明修井入井液对储层会造成不同程度的损害。

表 1 - 8 - 1　　岩心流动试验数据表

| 序号 | $K_1$ $\times 10^{-3}\mu m^2$ | 试验液 | | $K_2$ $\times 10^{-3}\mu m^2$ | 损害率 $(K_1 - K_2)/K_1$，% |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 名　称 | 挤入量 | | |
| 1 | 11.26 | 污水 | 45 | 8.04 | 28.60 |
| 2 | 17.18 | 污水 | 25 | 11.14 | 35.18 |
| 3 | 0.95 | 污水 | 18 | 0.85 | 10.53 |
| 4 | 31.61 | 污水 | 30 | 27.34 | 13.50 |
| 5 | 8.98 | 污水 | 30 | 6.67 | 25.66 |
| 6 | 0.38 | 污水 | 15 | 0.26 | 31.58 |
| 7 | 13.02 | 卤水 | 25 | 4.78 | 63.29 |
| 8 | 0.86 | 卤水 | 16 | 0.52 | 39.53 |
| 9 | 0.61 | 卤水 | 16 | 0.23 | 62.30 |
| 10 | 19.09 | 卤水 | 28 | 10.80 | 43.43 |
| 11 | 6.69 | 卤水 | 18 | 3.96 | 40.81 |

0 据前苏联有关资料报道，压井液对油井产能的影响，主要取决于压井液的类型、对产层形成的回压和产油层的渗透率。多次用水基压井液压井，会使油井的产能不断下降，用清水压井后，油井的采油指数下降 50% ~ 80%，只有连续开采 3 ~ 5mon，才能恢复到原来的采油指数。21 口油井现场试验结果表明，使用地层水压井后，抽汲 3d 投产，使产液量恢复到修井前产液量，则需 30 ~ 45d 时间，采油指数降低 10% ~ 20%。表

明水基修井液都可能引起油层损害。

目前修井入井液仍用油田污水、卤水、地层水、淡水配制，都可能引起油层损害，引起损害的因素如下：

修井入井液中固体微粒侵入损害

使用泥浆、油田污水、卤水、地层水、盐水、其他水源水等做修井工作液，工作液中有为保持性能添加的添加剂，也含有机械杂质等有害的固体颗粒、悬浮物，无论何种修井作业的过程中，在液柱压力大于地层压力时，在工作压差作用下，修井入井液就可能将有害的固体悬浮颗粒带人油层孔道，固相颗粒侵入产油层的过程也就是油层孔隙、喉道发生机械堵塞的过程，固相颗粒还可能堵塞孔洞、地层裂缝、射孔孔眼等。悬浮固相颗粒对油层损害程度，与侵入深度有关，侵入深度与下面三种因素有关：

(1) 固相颗粒粒径和浓度。

(2) 固相颗粒粒径与孔隙喉道直径的匹配。

(3) 作业规模、施工参数如作业压差、施工排量、施工时间等。

修井入井液含颗粒浓度越大，作业压差越大，作业时间越长，侵入油层的量越大，侵入深度也越大，对油层的损害越严重。用渗透率变化的砂岩产层人造岩心和天然岩心进行试验研究，其资料表明：入井液中的固相颗粒侵入多孔介质的深度不超过 40mm，而在裂缝中侵人深度可以达到几十厘米。颗粒粒径为油层孔隙、喉道直径的 1/7 ~ 1/3 时，容易形成桥堵，对油层渗透性损害最严重。

对已进行过水力压裂形成支撑裂缝的油井做修井作业，人井液中任何颗粒进入裂缝，都可能在砂粒或其他支撑剂间形成桥堵，造成裂缝导流能力的永久性降低。粘土、重晶石或其他固相颗粒进入碳酸盐岩中的酸蚀裂缝，也会堵塞裂缝。

油层本身存在大量的地层微粒，在修井液的侵蚀作用下，这些微粒可能发生分散运移，也会堵塞孔隙喉道，导致油层渗透率的下降。

## (二) 修井入井液与油层及地下流体不配伍损害

修井作业过程中，修井液进入油层，其滤液往往侵入油层深部，滤液是含有不同类型和不同浓度正负离子及表面活性剂水溶液，也可能是带有活性剂的碳氢化合物，滤液侵入油层的深度大于固相颗粒的侵入深度。滤液的侵人量越大，侵入深度越大，对油层造成的损害越大。滤液的侵入量和侵入深度受地层孔隙结构和岩石物性的影响，也受修井入井液化学成分、性质的影响，还受作业压差和浸泡时间的影响。我国华北地区岔河集油田资料表明，修井液在井筒滞留浸泡时间为 17 ~ 32d，滤液侵入深度可达 2 ~ 6m。用天然岩心在实验室模拟井筒条件进行试验，结果表明，油层的原始渗透率越低，侵入的滤液越少，从中排出滤液的程度最差，造成的损害最严重。而产油层的渗透率高达 $0.5\mu m^2$，滤液排出程度也不超过 80%，因此滤液侵入，高渗透油层也将受到损害。

据前苏联油田资料表明，压井泥浆在产层井段停留 1 ~ 5mon，滤液侵入深度可达 8m，侵入产层的滤液体积超过 $5m^3/tn$ (有效厚度)。对于在 30min 内失水量为 8 ~ 10ml 的压井漏浆，当它与产层接触 2d 后，滤液侵入产层的深度为 2 ~ 3m，侵入滤液量为 1.5

~2.5m³/m（有效厚度）。其结果是使生产井近井地带的渗透率比远离井底的油层低。油田数据表明，其渗透率低 0.6~21.6 倍，渗透率变差带的半径为 6.5~13.6m。从上面的例子可以看出，滤液侵入量越大，侵入深度越大，滤液在孔隙中滞留的时间越长，对油层造成的损害越大。

1. 修井入井液与油层不配伍造成的损害

（1）油层中敏感性粘土矿物水敏损害：修井液滤液与油层中水敏性粘土矿物不配伍，当滤液侵入油层，使油层岩石结构、表面性质发生变化，也会破坏粘土矿物与油层流体之间的平衡，这些粘土与和地层流体离子浓度不同的滤液发生反应，引起地层流体化学成分改变，使离子浓度降低，从而使粘土矿物水化膨胀，颗粒分散运移，形成桥堵。水敏性强的蒙皂石遇水迅速膨胀、膨胀体积可达十几倍。附着在孔壁上的伊利石呈毛发状，遇到水基滤液将使表面积增大，在岩石颗粒表面形成子 L 壁液膜，增加了滤液在孔壁上的滞留力，使孔隙通道的流通截面积缩小，导致油层的渗透能力下降，油层也受到损害。

（2）水锁损害：修井入井液不断侵入油层，使油层中含油饱和度发生变化，油层中岩石表面润湿反转，降低油相的相对渗透率，造成水锁堵塞。又由于非混相液体的相互驱替，在孔隙空间内产生的毛管现象如界面现象也造成损害。

2. 修井入井液与地层流体不配伍的损害

（1）乳化堵塞：各种水基滤液侵入油层，与油层原油不配伍，油水乳化，常常在油层中形成稳定的油水乳化液，乳化液的粘度高，尤其是油包水乳化液粘度更高，流动性差，在储油层中的渗流阻力增大，使储油层近井地带渗透率下降。

（2）沉淀堵塞：修井入井液与地层水不配伍，两者相互作用将产生无机物沉淀、有机物沉淀和细菌等，都会堵塞损害油层。人井流体与地层水中某些离子作用生成无机盐沉淀，常见的有硫酸钙、硫酸钡、硫酸锶，碳酸钙、碳酸镁、氢氧化铁等。无机沉淀的形成受地层温度、流体的 pH 值、两种流体的离子种类和浓度变化的影响。不同的修井液与不同的地层水不配伍，将生成不同种类、不同数量的沉淀堵塞物，对油层损害的程度也不同。

修井入井液进入储油层，使油层温度降低，导致有机沉淀物的生成，在井眼附近可能形成石蜡、沥青质等有机沉淀物。

## （一）微生物损害

修井液进入井筒附近储油层，将造成复杂的微生物发育环境，其原因是①某些修井液的含盐度较低，使地层水稀释，有利于硫酸盐还原菌的发育。②修井液中含有氧气，为腐生菌创造了良好的繁殖条件。③修井液中含有一些有机和无机添加剂，为细菌繁殖提供了良好的营养。④各种微生物间的协调作用，腐生菌产生的粘液为硫酸盐还原菌提供了良好的隔氧覆盖层，硫酸盐还原菌产生的 $H_2S$ 可能加剧腐蚀等。在温度适宜时，井底环境中的微生物大量繁殖，因而带来了腐蚀、堵塞损害。细菌活动不仅产生硫酸盐还原菌，也产生二氧化硫腐生菌、铁细菌、硫细菌等，这些产物之间又可能互相反应，生

成更多的堵塞物质，它们混合在一起形成难以处理的堵塞物。在高渗透大孔喉的储油层中，细菌易向油层深部运移，造成大范围的油层损害。低渗透油层对细菌的侵入有一定的阻碍作用，一旦细菌侵入，将造成严重的损害。

## 二、修井作业技术措施不当对油层的损害

修井作业工作内容很多，针对油气井的不同故障，采取有效的修井作业技术措施。如果对油气井故障认识不清，判断失误，修井作业技术措施选择不当，将会加剧油层的损害。

修井作业过程中，施工参数选择不当，将造成油层损害。修井作业压差过大，排量过大或无控制地放喷，将会引起油层速敏损害，因此必须优选合理的施工参数。

频繁的修井作业，使各次损害叠加，将更严重地损害油层，因此要尽量减少修井作业次数。

# 第二节 保护油层优质修井液选择

在修井作业过程中，修井入井液起着至关重要的作用，因此必须认真研究、对待，针对作业技术要求、储油层特性、地下流体性质，认真优选化学添加剂，控制性能指标，使修井入井液配伍性好，对油层损害最小或不损害。

修井入井液与地层和地下流体配伍性是否好，需进行室内实验研究评价，通过岩心流动实验，与地下流体配伍性实验，选择配伍性好的修井液。

## 一、优选化学添加剂

修井液与储油层和地下流体是否配伍性好，与组成的化学剂有密切的关系，因此必须针对不同修井作业技术要求，结合储油层岩石结构组成及地下流体性质，优选有效适用的化学添加剂，如防腐剂、杀菌剂、粘土稳定剂、铁离子稳定剂、破乳剂等表面活性剂。油水井作业处理用表面活性剂要具有以下性能：

(1) 能降低修井液表面、界面张力。

(2) 防止修井入井液与地层原油形成稳定的乳化液，在地层条件下能迅速彻底地破坏已形成的乳化液。

(3) 在地层温度、压力、在地层水的矿化度和 pH 值条件下，能使油层岩石水湿，不发生润湿反转。

(4) 能抑制和防止储油层中粘土矿物水化膨胀，分散运移，防止损害油层。

(5) 在油层温度、压力条件下能保持表面活性剂的作用。目前常用的四大类表面活

性剂，有的产品在含盐度超过 5% 时，就失去了部分表面活性。处理高矿化度的地层时，可以在用表面活性剂之前，先泵入溶剂或相对低盐度的水溶液，利用预冲洗可获得好的作业效果。

(6) 在油层温度下能溶于携带液或处理液中，有效表面活性剂是分散在携带液中，不影响携带液性能。

(7) 对于地层水或生产流体有耐受能力，有些阳离子或阴离子表面活性剂，可能被高浓度的盐从溶液中“盐析”出来，通常在高温时，非离子表面活性剂的溶解度更高，要合理选择活性剂。

## 二、控制悬浮固体颗粒粒径和数量

减少修井液中固体颗粒侵入油层造成损害的一种重要途径，是消除修井液中固相颗粒的可能来源。

(1) 配制修井液必须是清洁液体、地面的储液罐和下井的修井工具，管柱必须清洗干净，不能有铁屑、丝扣油、污泥等机械杂质。

(2) 修井作业需加入固相颗粒，一定按技术要求添加，固体颗粒的含量不超过指标，颗粒粒径控制在一定范围内，结合作业油层的渗透性，孔隙喉道半径大小确定。

## 三、控制密度指标

修井液的密度应能保证对油层造成所需要的回压，但也不能过高，需控制密度指标。循环洗井、冲砂液的密度应不大于 $1g/cm^3$，压井液密度应为作业区域地层压力再附加 10% ~ 20%。

## 四、控制滤失量到最低程度

无论进行何种修井作业，都不能使水基滤液大量地侵入油层，必须控制滤失量到最少。根据不同修井作业技术的需要，可以添加不同的降滤失剂，如可溶性聚合物、油溶降滤剂、降滤暂堵剂等。油溶降滤剂和降滤暂堵剂在作业时，可形成暂时的桥堵，降低滤失，作业投产后，在地层温度下，溶于油或地层水中一起产出。

## 五、控制一定的 pH 值

根据油层敏感性评价碱敏实验，pH 值多大将会引起粘土矿物和硅质胶结物结构的破坏，确定引起渗透率明显下降的临界 pH 值，必须控制 pH 值在储油层的临界 pH 值以下。

## 六、含盐度的控制

根据储层敏感性评价中的水敏、盐敏实验，确定发生盐敏损害的最高、最低两个临界矿化度，使修井入井液含盐度在两个临界矿化度之间。

## 七、热稳定性好，无腐蚀作用

修井入井液的性能稳定，在地层温度下性能不改变，满足修井作业工艺技术要求，同时要求不腐蚀、损害井下管柱、工具和修井设备，对井下地球物理测井指标没有干扰和影响。

# 第三节 不压井作业技术

## 一、不压井作业技术概况

### （一）不压井作业技术的重要意义

不压井作业技术是用在油田上具有自溢能力的生产井，在井筒内带有压力条件下不用压井液直接进行起下油管及特种工具的技术。该项技术主要用于自喷井、注水井、抽油井等，是防止修井液泥浆堵塞和井下形成稳固的乳化液所造成的油层污染堵塞的有效方法，也是保护油层保持油井生产能力的有效技术。在大庆、胜利、华北等油田广泛应用。

### （二）不压井作业机理

常规修井作业是在压井的情况下，能够提升、下放油井内的管柱，进行加深油管或旋转钻柱，并能依靠辅助泵的配合完成油井正反向液体循环作业。不压井作业的本质特点，就是要在承受油井压力情况下，进行密闭井下作业，由于增加了承受油井密闭液体压力这一因素，所以就使得不压井作业的工况变得复杂起来。

1. 油管内部封堵

用油管单流底部堵塞器或油管任意堵塞器封堵。

2. 油、套管环形空间密封

根据工作工况和油井井口压力的统计，油、套管环形空间密封结构的机理，必须满足几点，一是承受压力高（一般在$\leqslant 7 \sim 14$MPa），二是承受面积大（一般是$5^1/_2$套管和

$2^{1}/_{2}$ 油管之间环形面积），三是工况复杂，即长时间能可靠密封作上、下直线运动的管柱，有时还要用不同直径的工具，起完管柱后，并能全部密封油井。

3. 加压控制起下油管

不压井修井工艺中的油管起下作业，与一般常规修井作业不同，在井下压力的作用下，由于油、套管内和环空的密封，使整个管柱承受一个上顶力。起下作业时，当管柱的重量小于上顶力，不能正常进行作业，必须加压控制起下油管。

## （三）不压井作业技术现状

1. 目前国内外不压井修井机采用的两种典型结构

（1）钢丝绳加压机械式不压井修井机，见图 1－8－1。

（2）液压不压井井修井机。

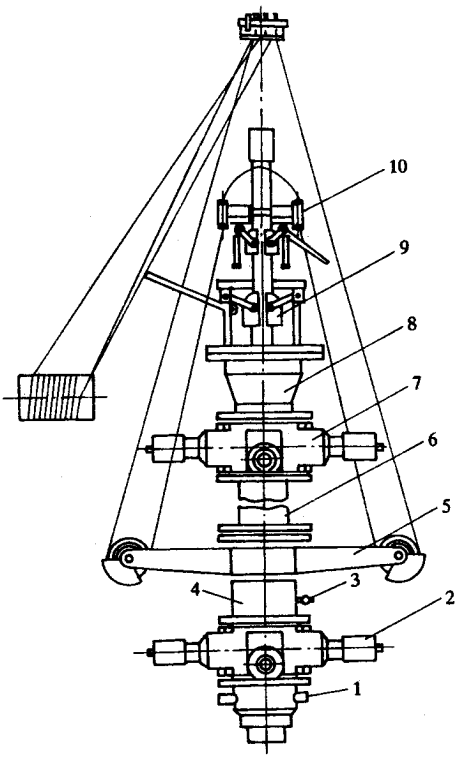



图 1－8－1　不压井不放喷井下作业控制设备结构图

1—四通；2—封井器；3—放空阀门；4，6—法兰短节；5—加压支架；8—自封井器；9—安全卡瓦；10—分段加压吊卡

2. 两种典型结构

（1）钢丝绳加压机械式不压井修井机，由于它是利用常规修井机绞车、井架、游动系统等部件，只相应增加了加压吊卡、安全卡瓦、加压支架、防喷器组等不压井装置。

所以结构简单，便于制造，修井工人容易掌握，便于推广。

(2) 液压不压井修井机，由于它是专门为不压井工艺而设计，所以完整性好。整个加压起下和密封全部是液压控制，操作方便，安全可靠。但是起升方式是采用液缸活塞直接起升，因此目前采取的都是短冲程液缸（有 3.66m 和 2.44m），要起一根油管，液缸必须倒换三至四次。虽然操作麻烦，但是液压加压操作，要比钢丝绳加压安全可靠。由于液缸直接加压起升，其冲程仍需一定长度，因而在结构高度的处理上仍不理想，另外，由于操作台离地面过高等原因，现场尚未广泛使用。

## 二、自喷井不压井作业技术

为了提高作业效率和油井产量，保护油层避免污染，必须实现油井不压井、不停产作业工艺技术。在自喷生产井上实现不压井作业，其技术主要包括：

(1) 油管柱底部和任何部位的密封。油管底部单流堵塞器和油管任意堵塞器的研制成功，就解决了油管柱底部的密封以及油管丝扣漏失的难题。

(2) 井口必须装有安全可靠的井口控制器。井口控制器包括液动半封、液动全封、手动半封（备用）和自封封井器，是密封油、套环形空间、不压井起下油管的井口控制系统。因此，它必须具有开关灵活、密封胶件耐高温、高压的特点，自封封井器密封胶件还要具有较强的耐磨性。

(3) 加压系统，包括液压游动卡瓦、液压固定卡瓦和加压缸，是加压起下油管、防止油管上顶发生井喷的主要部件。因此，它必须具备卡瓦能卡得紧，能防顶，加压缸升降灵活，使用安全可靠。

### (一) 不压井作业主要设备与工具

目前生产上一般使用的是钢丝绳加压机械式不压井修井机，它一般适用于井口压力不大于 4MPa，井口温度小于 50℃条件下；使用不压井液压井口控制器及加压装置，参见图 1－8－2。

1. 液动半封封井器

液动半封为闸板式，用于密封油套管环形空间，可完成不压井倒油管悬挂器和更换自封心子的作业，液动半封的密封方式为胶件挤压密封，初始密封压力 0.2～0.3MPa，密封胶件耐温 100～110℃，承压 10MPa。

2. 液动全封封井器

液动全封封井器为闸板式，用于密封全井口，可完成不压井起下全油管封堵井口的作业。液动全封的密封方式为胶件挤压密封，初始压力 0.2～0.3MPa，承压 10MPa，密封胶件耐温 100～110℃。

3. 手动半封封井器

手动半封封井器为闸板式，用于滚动半封封井器因液压系统失灵备用。

4. 新型自封封井器

自封封井器是不压井起下作业的井口控制器之一，起油管时主要密封油、套管环形空间，与半封封井器配合使用，将井下工具倒换起出。自封封井器的结构见图 1－8－3，主要由上盖、压环、衬环、上壳体、胶皮心子、放空接头等组成。其胶皮心子有两个密封段，可以分别密封油管和油管接箍。这种结构可以延长自封心子的使用寿命。

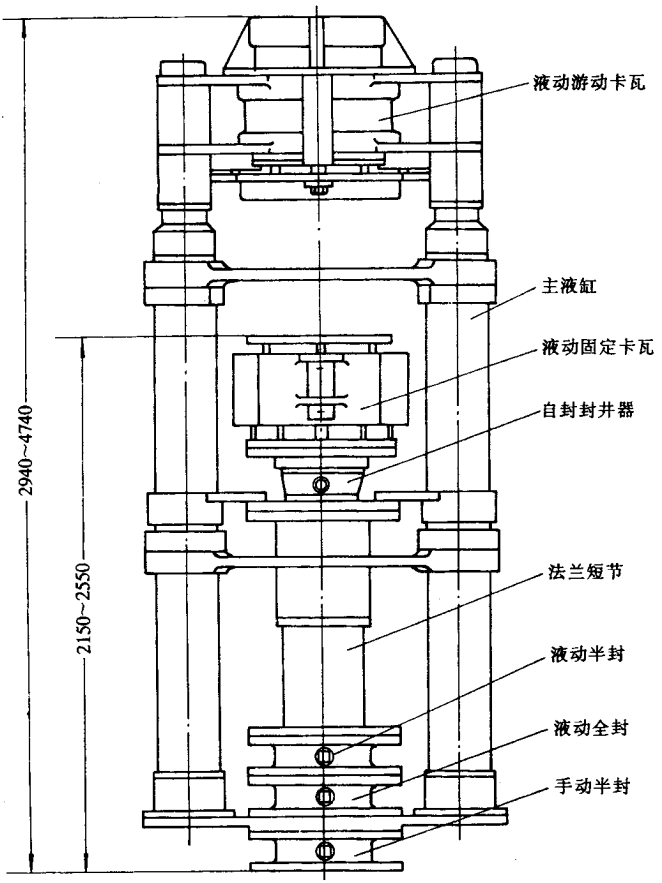



图 1－8－2　不压井液压井口控制器及加压装置

该自封封井器的原理是依靠井内套压和胶皮心子的伸缩能力，使油管接箍下井工具（直径小于 110mm）均能通过并能密封油、套管环形空间，与半封配合使用倒出油管悬挂器及井下工具。

其主要技术规范如下：

试验压力 10MPa 工作压力 6MPa 使用范围 21/2″油管连接方式 7″法兰、钢圈 ϕ211mm 高度 340mm 最高耐温 110℃胶心最小内径：66mm

5. 液压加压装置（图 1－8－2）

由液压固定卡瓦、液压游动卡瓦和加压缸组成。当井内压力将留在井内的管柱从井

中顶出时，就需采用加压法进行作业。工作原理是，开始时活动卡瓦卡住管柱，固定卡瓦松开，在液压作用下，双作用加压缸的活塞使卡住的活动卡瓦提升到上死点，从而提升管柱。然后，固定卡瓦卡住，活动卡瓦松开，双作用加压缸的活塞使松开的活动卡瓦下放到下死点。这样重复操作起出井内全部管柱。向井内加压下入管柱时，操作顺序与此相反。加压装置技术指标如下：

最大通径：160mm 举升负荷 15t 加压下放负荷：10t 起升高度：1.7m/次

6. 油管堵塞器

(1) 单流底部堵塞器：是不压井作业油管封堵的主要工具之一，通常与井下油管柱底部 $\phi$57 工作筒相配，用于油管底部封堵。它主要由打捞头、支撑卡体、提升销钉、支撑卡、工作筒、心轴、密封圈、密封心轴、钢球、球座、堵板等组成。堵塞器内的单向阀可完成向油管内挤空气排液，以免卸油管扣时因高温液体喷泄伤人。堵塞器可用液力投送，座卡后上端双剪刀防飞机构即可打开。

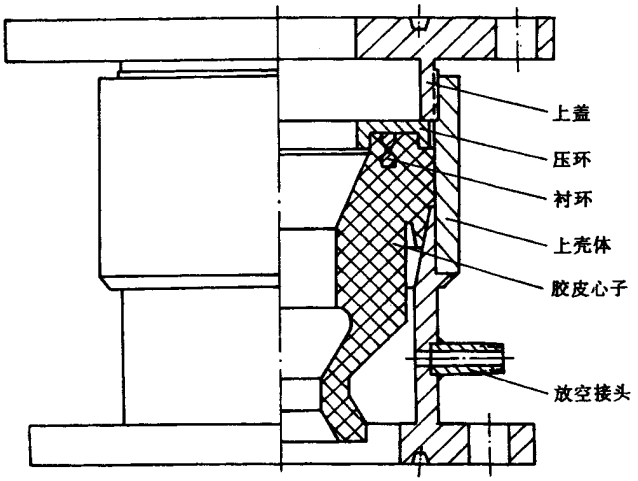



图 1－8－3 自封封井器

主要技术指标如下：

试验压力： 15MPa 工作压力：10MPa

钢球最大外径： $\phi$57mm 打开堵板压力：4.5MPa

(2) 油管任意堵塞器：HB－1 型油管任意堵塞器是用液力投送，可座封于油管柱任意部位，验证管柱的密封性能，与不压井作业配套，解决管柱丝扣漏失而影响作业等问题。其结构见图 1－8－5，主要由打捞头、卡瓦支座、卡瓦牙、活塞、密封心管、密封皮碗等组成。具有座卡、投捞可靠、密封性好等特点。其主要技术性能如下：

| | | | |
|---|---|---|---|
| 钢体最大外径 | $\phi$56mm | 密封皮碗最大外径 | $\phi$62.7mm |
| 总体长度 | 700mm | 试验压力 | 15MPa |
| 工作压力 | 10MPa | 投送压力 | 1～1.5MPa |
| 解卡压力 | 2～2.5MPa | 耐 温 | 135℃ |

## （二）不压井作业工艺方法

不压井作业是在高压密闭条件下进行施工，因此，必须严格按工艺施工，其工艺管柱见图 1－8－6。

在 21/2″油管柱下部接有 ϕ57 工作筒与 ϕ62 喇叭口，现场施工主要工艺步骤如下：

（1）通井、投堵、验封。

（2）抬四通以上井口，装不井井口控制器及操作台。

（3）压风机正替油管内液体。

（4）倒油管悬挂器。

（5）起油管，当管柱重量大于井内压力对管子的作用力时，采用大钩提吊法作业。

（6）当井内压力的作用将与管柱自重平衡时，需采用加压法作业，直至全部管柱起出。

（7）加压法下入管柱，下入时需灌水，以增加管柱重量。

（8）当管柱重大于井内压力对管柱的作用力时，采用大钩提吊法下油管。

（9）座油管悬挂器，装采油树，施工完毕。

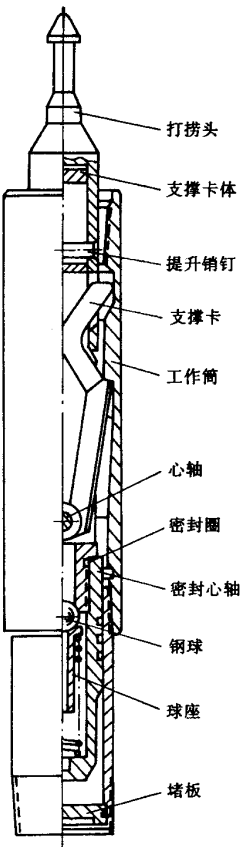



图 1－8－4　单流底部堵塞器

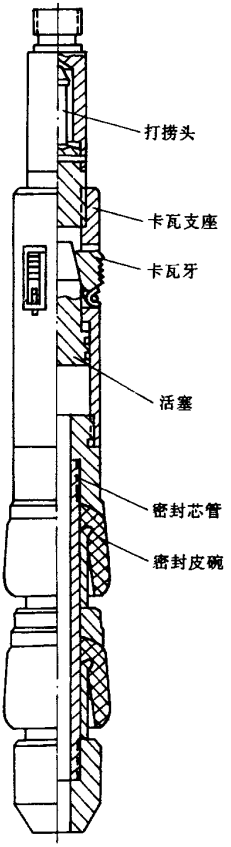



图 1－8－5　油管任意堵塞器

每项工艺步骤都要有严格的技术要求。尤其对于高温高压油气井进行起下油管时，要专门制定一系列安全防范措施，包括油管堵塞器防飞措施，油管防喷、防顶措施等。

## 三、抽油机并不压井作业技术

抽油机井不压井作业方法主要有两种：

(1) 井下关活门与井口控制装置配套的不压井作业方法；

(2) 丢手封隔器配井下开关活门的不压井作业方法。

这两种方法可以满足不同抽油井的需要，其工艺方法、配套井下工具性能、结构特点如下：

### (一) 井下开关活门与井口控制装置配套的不压井作业方法

1. 设备及工具

(1) KG－井下开关活门：结构如图 1－8－7 所示，主要由活门、轨道管、弹簧、凡尔球座等组成。使用时接在深井泵筒下部代替原固定阀，正常生产时，活门处于开启状态。泵筒、固定阀之间形成通道，在检泵作业时，活门关闭，封闭了下部油层与上部油管通道。

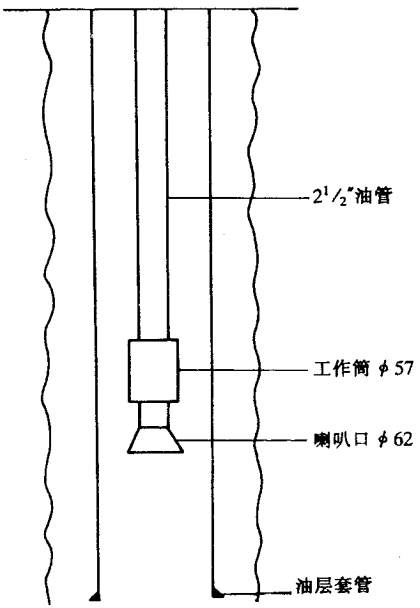



图 1－8－6 工艺管柱

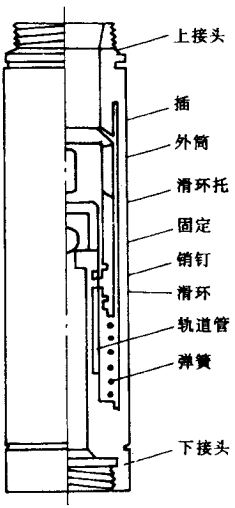



图 1－8－7 KG—井下开关活门

主要技术性能：

最大外径：4110mm 最小内径：ϕ48mm（轨道管内径）

活门密封：25MPa 无渗漏凡尔球、座密封：25MPa

稳压 5min，压降小于 0.5MPa

活门开启力大于 1130N 活门盖与阀罩间距：开启时 85mm

总长 830mm 关闭时 115mm

（2）井口控制装置：结构如图 1－8－8 所示，主要有轻便两用封井器、防喷管、自封封井器等部件组成。各部件之间采用法兰联接，钢圈密封。用于起下油管时密封油套环形空间，倒油管挂、座油管挂以及管柱起出后全闭井口。

主要技术性能：

试验压力：12MPa 工作压力：6MPa

最大通径：ϕ178mm（两用封井器）

最小密封直径：ϕ69mm（自封封井器）

适用范围：21/2″和 3″油管总高：1150mm

（3）加重杆：加重杆由 21/2″油管内灌铅加工而成，每根长 2.25m，重约 98.5kg。用时接在尾管下部，增加尾管重量，保证在井口压力允许范围内不发生油管上顶上窜现象。

4）HB 井下开关活门

①基本结构：由活门盖、弹簧、工作筒、密封座、上、下接头等组成（图 1－8－9）

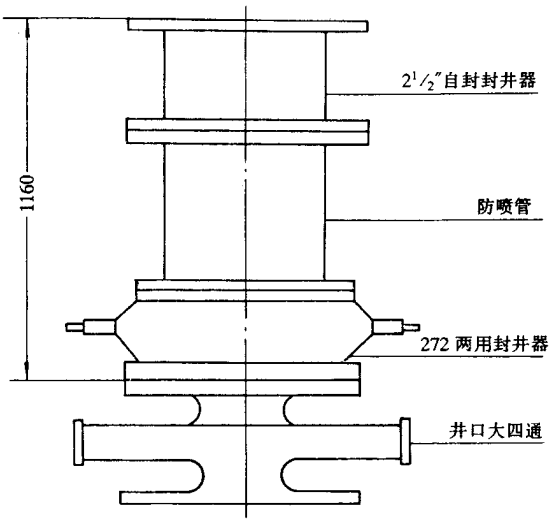



图 1－8－8　井口控制装置示意图

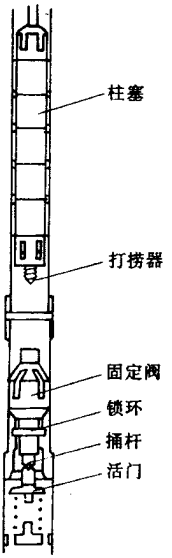



图 1－8－9　HB 井下开关活门结构示意图

②工作原理：在弹簧作用下，活门始终处于关闭状态，它接在固定阀体下部，固定阀下部带一根捅杆，当固定阀定位以后，捅开活门，使上部油管与油层连通。作业施工时，固定阀放在加长短接内，待下完泵管柱、抽油杆，使柱塞下顿，让固定阀定位，捅杆作用于活门盖上，原油流通，可正常抽油。下次作业时，依靠柱塞下部打捞器把固定阀打捞上来，活门也就在弹簧和下部油层压力的双重作用下可靠关闭。

③性能特点：

A、可以在不压井的状态下不动管柱完成检泵工作。

B，把柱塞、固定阀起出后，可直接从油管洗井，开关活门类似一个单流凡尔，起油管时可解决油管泄油问题。

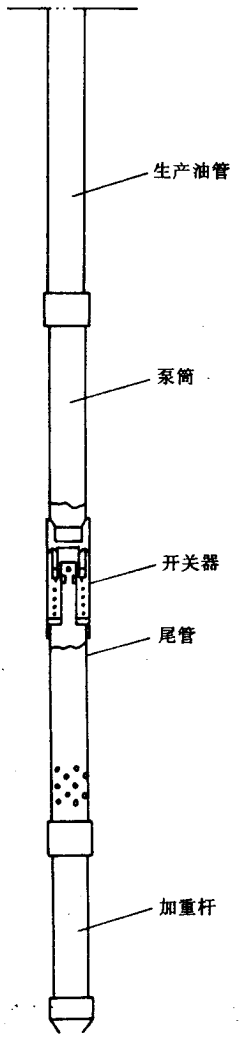



图 1－8－10 管柱结构图

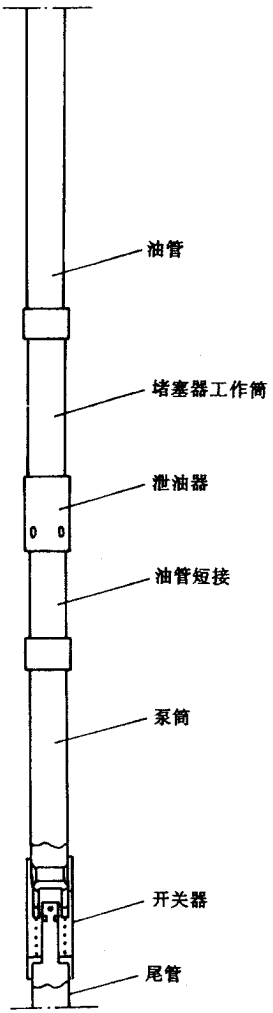



图 1－8－11 管柱示意图

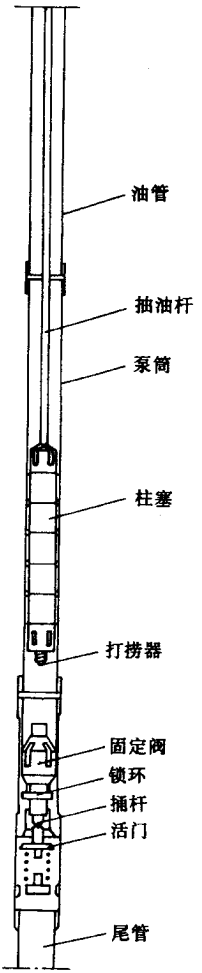



图 1－8－12 可捞固定阀管柱示意图

G、使用方便可靠，只要固定阀定位，活门必然打开。

D、柱塞下部带打捞器，省去下钢丝绳打捞固定阀，缩短作业时间。

④主要技术参数指标：

全长 670mm 两端 21/2″平式油管扣

最小通径 440mm 试验压力 20MPa 活门盖不渗不漏

单流油管堵塞器

(5) 抽油杆自封。

2. 工艺方法

(1) 适用固定阀不可捞的管式泵：这种不压井作业工艺有两种管柱结构型式：一种是管柱结构上没有泄油器，如图 1－8－10 所示，主要由生产油管、油管短节、泵筒、开关器、筛管、尾管、加重杆等组成。另一种是管柱结构上有泄油器，如图 1－8－11 所示，主要由生产油管、堵塞器工作筒、泄油器、油管短接、泵筒、开关器、尾管、加重杆等组成。

该种不压井作业工艺方法适用于井口压力小于 1MPa 的抽油机井。

(2) 适用固定阀可捞的管式泵：管柱结构如图 1－8－12 所示，由开关活门、带捅杆的固定阀、柱塞（下部带打捞器）、泵筒、生产油管等组成。它适用于固定阀可捞的管式泵、井口压力小于或等于 1MPa 的抽油机井。

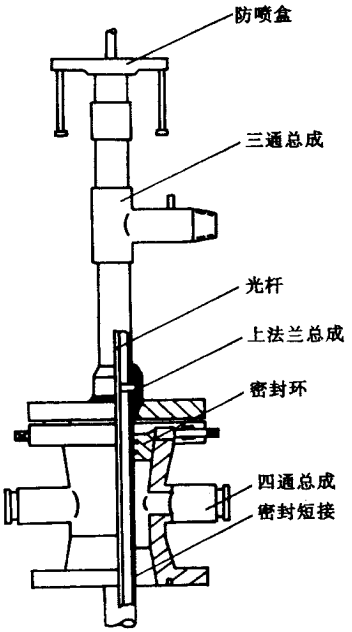



图 1－8－13　采油井口结构示意图

## （二）丢手封隔器配井下活门的不压井作业方法

1. 设备与工具

（1）采油井口：井口结构如图 1－8－13 所示，对原 250 型采油井口改装，油管不是挂在罗卜头上而是挂在法兰总成上，罗卜头改成密封圈，250 型采油井口其他部门均可不变。油管挂丝扣抗滑扣能力大于 30t，其他性能技术指标与 250 采油井口相同。

（2）253－6 封隔器：结构、性能及技术指标见封隔器说明书。

（3）井下开关器：结构如图 1－8－14 所示，由对接爪、心轴、工作筒、滑套活塞等零部件组成。

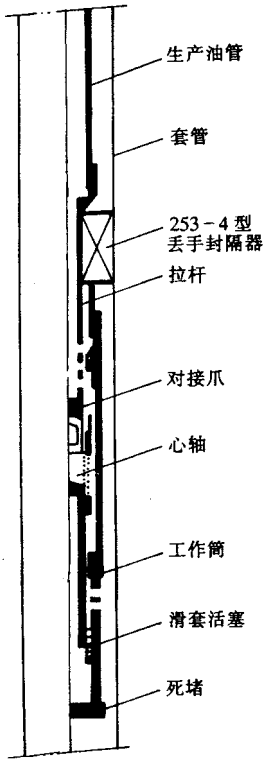



图 1－8－14 井下开关器结构图

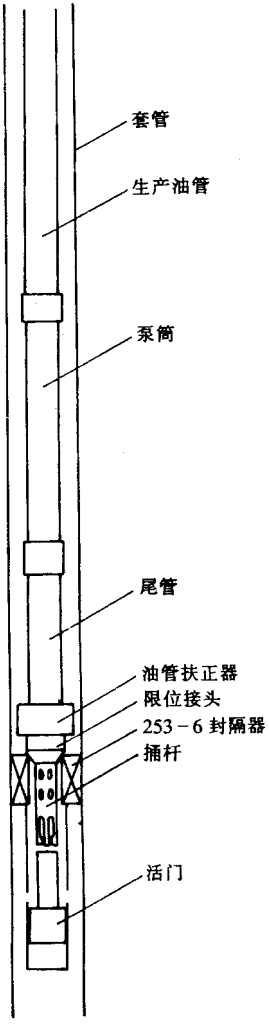



图 1－8－15

全长：　1200mm 最大外径：490mm

最小通径：　φ44mm 捅杆全长：1500mm

活门开启力小于：　1.5kN 活门密封试验：25MPa 无渗漏

两端丝扣为 21/2″平式油管扣

2. 工艺方法

按图 1－8－15 所示配好管柱，井下开关器在关闭状态下联接在 253－6 封隔器下部。按设计要求将丢手封隔器下到预定的位置，然后起出丢手管柱。按顺序依次下入双接爪、捅杆、油管扶正器、尾管、泵筒、生产油管至井口。

预计要下到位置时，减速下放，使捅杆与对接心轴联接并推动柱塞下行，打开油管通道。此时在井口油管上做一记号，提出油管换下调配短节和约 2m 长密封短节，然后安装采油井口。

下柱塞下行，打开油管通道。此时在井口油管上做一记号，提出油管换下调配短节和约 2m 长密封短节，然后安装采油井口。

下柱塞、抽油杆、光杆、装好防喷盒，调好防冲距，可进行试抽。

作业时，先用吊卡（21/2″平式）卡住采油井口三通下端，上提管柱 1.5～2m，使井下捅杆离开活门盖，活门在弹簧力的作用下关闭，此时活门和封隔器全封了井口，可以在不压井的条件下进行作业。

3. 施工要点

（1）必须选择性能可靠、质量稳定的丢手封隔器，这里仅推荐大庆油田应用较多的 253－6 型封隔器。

（2）下井管柱勿必丈量准确，管柱调配的油管短节长度要计算正确无误，若捅杆下不到预定位置，活门则无法打开，下完管柱可反复上提 2～3 次，确信活门打开才能进行下面施工工序。

## 四、注水井不压井不放喷作业技术

### （一）设备与工具

注水井不压井不放喷作业大部分设备和工具与自喷井不压井作业相同。主要区别在于它具有 JH0251 型底部水力循环凡尔，其主要作用是不压井不放喷作业的分层注水井的油套通道开关。结构如图 1－8－16 所示，它由工作筒与堵塞器二部分组成。

工作原理：在装投时，卡块 6 遇阻，依靠轴销 4、扭簧 5 和堵塞器滑套 9 的作用可向上来回转动，故堵塞器能进入工作筒；依靠堵塞器主体 2 的上部台阶，堵塞器就可坐于工作筒 1 的内孔上端；依靠卡块 6 卡在工作筒 1 的内孔下端，堵塞器应不飞出工作筒，从而满足不压井不放喷起下管柱的需要。

主要技术参数：总长：2000mm

最大外径：90mm

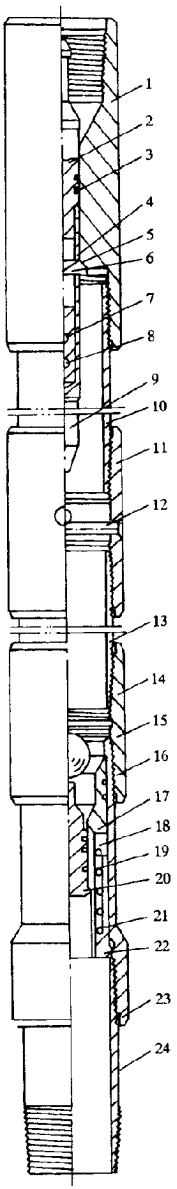



**图** 1－8－16　JH0251 **型底部水力循环凡尔**

1—**工作筒**；2—**堵塞器主体**；3—“O”**型胶圈**；4—**轴销**；5—**扭簧**；6—**卡块**；7—**限位销**；8—**安全剪钉**；9—**安全剪钉**；10—**油管短节**；11—**挡球接箍**；12—**挡球杆**；13—**油管短节**；14—**油管接箍**；15—**钢球**；16—“O”**型胶圈**；17—**活动球座**；18—“O”**型胶圈**；19—**剪钉**；20—**堵头**；21—**压簧**；22—**定位套**；23—**下接头**；24—**油管短节**

**最小通径：**28mm

剪钉剪断压力：10MPa

安全剪钉剪断力：10kN

## （二）工艺方法

1. 偏心注水管柱

用于深井分层注水的不压井、不放喷施工管柱。其结构如图 1－8－17 所示。

施工工艺如下：

（1）按设计要求下入如图 1－8－17 所示管柱。

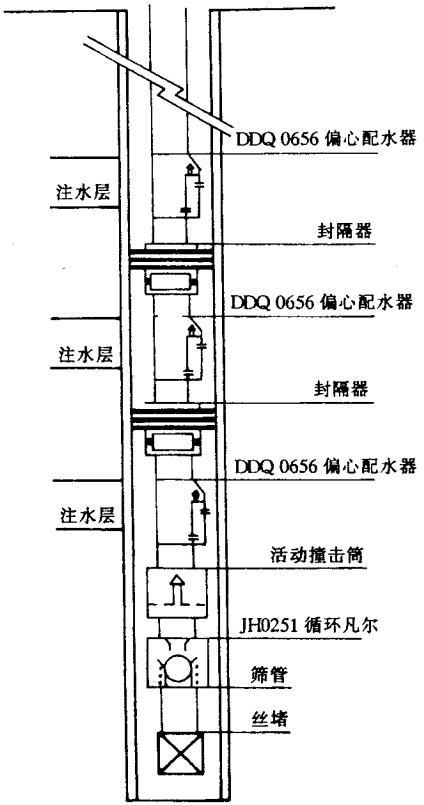



图 1－8－17　偏心注水管柱示意图

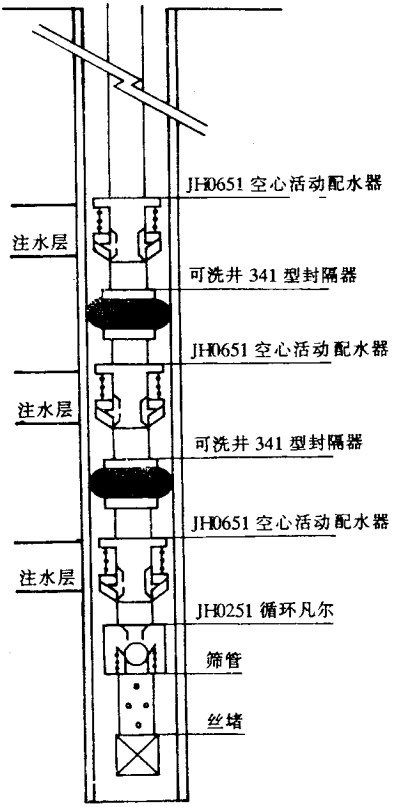



图 1－8－18　空心配水管柱结构示意图

（2）捞出 JH0251 循环凡尔堵塞器，投入活动撞击筒心子。

（3）坐封 JH752－5。封隔器（此时，偏心配水器的堵塞器均带死嘴子）蹩掉 JH0251 循环凡尔下部堵头。

（4）反洗井，合格后转注。

（5）测试调配。

（6）正常注水。

(7) 起出注水管柱（起时先捞出活动撞击筒心子，再投入 JH0251 循环凡尔的堵塞器和带孔嘴子的偏心配水器堵塞器)。

2. 空心注水管柱

同样用于分层注水，管柱结构如图 1－8－18 所示。施工工艺如下：

(1) 按设计要求下入如图 1－8－17 所示管柱。

(2) 反洗井合格后转注。

(3) 蹩掉 JH0251 循环凡尔下部堵头。

(4) 测试调配。

(5) 正常注水。

(6) 起出注水管柱（起时先投入循环凡尔的堵塞器)。各级空心配水器心子装死嘴子。

技术要求：各级空心配水器的心子直径是由上而下，从大到小，故应从下而上逐级投送，从上而下逐级打捞。

## 第四节 油层解堵技术措施

当油井在生产、增产措施、各种修井作业过程中，一旦出现了油层的污染堵塞，需进行解堵技术措施。解堵方法措施很多，需分析造成堵塞的原因，针对油层堵塞的类型、程度，选择有效的解堵措施，要做好解堵措施作业设计。

### 一、做好解堵作业设计

(1) 认真地调查分析需进行解堵作业井的现状，分析造成污染堵塞损害的原因，损害的类型、程度，以便优选有效的解堵措施。

(2) 确定有效的解堵技术措施和工艺方法、井下管柱、工具、地面流程等。

(3) 确定作业的规模、合理施工程序，优选合理的施工参数。

(4) 提出保护油层的措施及注意事项。

### 二、解堵技术措施及保护油层措施

#### (一) 化学解堵技术

对油井，因不同的堵塞造成的油井产量降低，吸水指数下降；对水井，则使注入减少，这些都可以采用化学解堵技术措施。化学解堵就是将一定量的化学解堵剂挤入污染堵塞的油层或注水层位，在物理化学作用下解除堵塞物，使油井恢复产能，提高产量，

使水井增加注入量。该技术的关键是要搞清楚措施层堵塞的程度、造成堵塞的原因，利用专家系统认真地分析，然后优选有效的化学解堵剂，做好设计，进行施工。

1.CY－3 降堵剂

为弱碱性的水溶液，对许多酸不溶化合物有较强的溶解能力，能明显降低水的表、界面张力，对油污等有较强的清洗能力，能解除钻井泥浆失水、修井作业中的压井液、洗井液等人井液、地层水等产生的水锁堵塞和孚 L 化堵塞，还能解除一些酸不溶化合物及油污等堵塞。解堵原理是利用它本身具有强溶解性，能溶解各种堵塞物，对油污有清洗能力，能大幅度地降低表、界张力能力，使地层孔隙内的油水界面张力和表面张力降低，从而改善渗流能力，易于流动。对设备管道无腐蚀，适用于油井、水井解堵。

2.CY－5 解堵剂

是酸性水溶液，具有反应速度慢的特点，需用量少，对设备有轻微的腐蚀。其作用是解除泥浆聚合物胶体微粒在地层中产生的堵塞，还能解除 $ca^{2+}$ $Mg^{2+}$ $Fe^{2+}$ 等离子形成的盐垢、腐蚀产物、碳酸盐以及细菌菌体等堵塞物。也能起到溶解堵物、降低油水界面张力和表面张力的作用，改善和提高地层的渗透能力，达到增产增注的目的，适用于油井、水井解堵。

3.CY－6 解堵剂

深褐色均相油性液体，对设备无腐蚀，适用于油井解堵。对井筒油套管及近井地带地层中形成的蜡堵、胶质沥青堵塞有较强的溶解作用，根据堵塞程度和类型不同。适当调整配方，可以提高解堵效果。其作用是解除原油中蜡质、沥青、胶质、油砂等因温度、压力降低而在井的周围及近井地带沉积形成的堵塞。解堵原理（1）具有强的溶解能力，能溶解蜡、胶质、沥青等堵塞物，(2) 具有一种特殊的表面活性剂，能使不溶于油的堵塞物处于分散状态，不聚结成大颗粒，可随油流排出，（3）能降低油水界面张力，能疏通油流通道，解除堵塞，提高近井地带油层的渗透性，达到增产的目的。

几种解堵剂作业施工简便易行，一般生产井施工不需动管柱，连接套管与水泥车管柱，将配制好的解堵剂从油环空挤入或替入，对长期停产井，应先洗井，待合格后再将解堵剂正挤入处理层，预防顶替过量，要求在井筒中油层段留有解堵液，使孔眼附近地层能浸泡，关井 6～10h，然后开井生产。水井施工，先放溢流，排出井筒机杂洗井合格后再挤解堵剂处理层位，关井反应后可投注。有条件先返排处理液再投注。

解堵剂用量根据处理层的厚度、处理半径而定，用量少，成本低，经济合算。

按油田地层水资料配制模拟地层水，分别加入 CY3、CY5、CY6 系列解堵剂测其表面张力，分别为 26.5，27.2，27.8mN/m。

油田岩心实验资料表明，用渗透率为 $23.18\times10^{-3}\mu m^2$ 岩心进行实验，经解堵剂处理后，岩心渗透率恢复 75%以上，其中 CY3 效果最好。

因此，进行油水井 CY 系列化学解堵技术措施，是油井、水井解堵增产、增注的有效技术措施。在具体井施工时，先调查油井、水井堵塞情况，在实验室做一些研究，优选作业施工参数，做好设计，按设计施工，才能见到好的增产、增注效果。

4. 酸化及化学除垢法

盐垢可分为水溶性、酸溶性和可溶于除酸、水以外的其他化学溶剂的盐垢三大类。

酸溶性盐垢，采用不同低浓度的盐酸或硫酸处理，还可用有机酸类和脂类与其他物质混合物以及螯合剂酸处理。

酸不溶盐垢，可采用转换剂，先将垢转为酸溶性物质，然后再用酸处理。也可以将盐垢转换为水溶性化合物，不必酸洗。

要求地层除垢剂必须与地层及地下流体配伍。

5. 清除乳化堵或水堵

使用表面活性剂可减轻由乳化液或水对油层的堵塞损害，在砂岩油层中，利用土酸和表面活性剂进行处理，可有效地消除乳化液造成的油层损害。对碳酸盐油层的原生渗透率损害，可采用酸压裂旁通处理，酸压形成乳化堵塞，可向裂缝中注入表面活性剂，使乳化液能在地层条件下迅速、彻底地破乳，以便返排出来。

化学剂的品种、使用浓度，都必须在实验室经过认真的优选评价，不能再次损害油层。

## （二）机械解堵技术

1. 水力振荡解堵技术

近年来国外开发出应用射流技术进行强采油的工艺措施和工具，前苏联广泛利用高压水力振荡器进行油水井解堵，取得较好效果，我国陆上多个油田也研究应用该项技术，见到很好的效果。

水力振荡解堵器原理，是利用水力学中流体通过腔室结构时，能诱发周期性的剧烈的自激振荡的原理，它能产生高频、高压水射流并作用于被污染堵塞的地层，使机械杂质和其他堵塞物松散、脱落，并随洗井流体排出井筒，达到解堵、增产、增注的目的。另外由于高压射流水作用，可以使地区中原有的裂隙扩展延伸，使地层疲劳破坏产生新的裂缝，从而改善地层渗透性，达到解堵增产的目的。我国石油大学研制的高压水力振荡器，在胜利油田、大港油田多口注水井进行水力振荡解堵作业，都获得很好的增注效果。后来在大庆、吉林；玉门油田施工几十口井都取得较好效益。

作业施工较为方便，作业前先洗井、清除井底杂质。将水力振荡器接在油管下部，下入井中，在油层顶部开始每隔 1m 振荡 10min，振荡完后，起出振荡器，大排量洗井排出堵塞杂质，可下生产管柱投产。

## （三）循环脉冲解堵工艺

前苏联研究成功和交变压力法多次周期脉冲处理地层工艺，在油田试验成功并得到完善，解堵增产效果明显。长庆油田用脉冲法处理 8 口油井，井井有效增产，有效期 120 ~ 180d，见到明显的解堵增产效果。

循环脉冲法就是用活性水或轻质油注入地层，多次瞬间升、降压力方法，使地层孔道疏通恢复，改善地层渗透能力。注入液体时；分级提高压力并保持 3 ~ 4min，迅速排

放井内液体，快速降压，最高压力值不能超过地层的破裂压力。当注入压力下降，漏入量增加时，释放压力过程中有地层流体排出，表明近井地带地层孔隙已疏通，处理结束。

施工工艺简单易行，配制活性水或轻质油，将工作液替入井筒冲洗井底，进行升压、排液降压的脉冲作业，反循环洗井后即可投产。施工作业时间稍长，但是不动管柱、成本低、效果明显。

另外，油田上常用的还有化学生热泡沫洗井解堵技术、物理法电脉冲振荡解堵、超声波解堵等技术。

## 第五节　实　　例

冀东油田高 94－1 井进行多次作业，所使用的修井液不合格，使油井近井地带堵塞损害严重，无法开井投产。采用 CY3 解堵剂进行解堵作业取得明显的效果，

高 94－1 井是沙三段 $ES_3^{2+3}$ 油层，生产井段为 3311.0～3579.0m，共 11 层段。射开厚度 34.4m，平均孔隙度 19.5%，平均渗透率 $43.3\times10^{-3}\mu m^2$，1990 年投产产量很高，φ6mm 油嘴白喷采油，日产油 61.7t，日产气 10051m3。产量递减快。1993 年无法开井生产。

1993 年 5 月对 25 号抽层补射孔，孔密 16 孔/m，射孔后起油管下泵，起出一根油管就井喷，先用密度 $1.2g/cm^2$ 压井液 $30m^3$ 压井，未压住，又用 $40m^3$ 压井液反压井，完成下泵管柱后，开井，油井不产液。1993 年 6 月返工检泵，又用密度为 $1.2g/cm^3$ 压井液 $40m^3$ 压井，完成下泵管柱开井，动液面为 1668m，抽油不产液，认为是修井作业用高密度压井液压井使该井成为死井。试油资料表明 25# 层为 6.2m 含油层，含油饱和度 63.2%，孔隙度为 22.3%，渗透率为 $55.1\times10^{-3}\mu m^2$，补孔后有喷势，表明该油层有较好的生产能力。由于多次修井使用高密度压井液，强大的液柱压力及挤注压力，使压井液大量滤失进入油层，把油层“蹩死”。用 CY3 解堵剂 $15m^3$，注入方式为笼统正注。解堵后 8 月 7 日开井，负压吸气，说明油层解开，8 月 12 日正常抽油，日产油 18.5～20t。生产一周后产量降低，诊断为游动凡尔漏，又用 $40m^3$ 油田污水洗井，洗井后，产量更降低，动液面降至 2000m 左右，分析认为洗井造成再次污染。生产两个月后，污水造成的堵塞慢慢自解，产油量又恢复，日产油 5～6t。由于该井射开层多，主力层 25。层生产压差比其他层高，进入该层的解堵剂相对少些，解堵效果较小。若对主力层单独解堵，效果会更好。