

SHIYOU

中等专业学校教学用书

采油工程

高荫桐 主编

石油工业出版社

北京)

中等专业学校教学用书

采 油 工 程

高荫桐 主编

石油工业出版社

(京)新登字082号

内 容 提 要

本书较系统地阐述了油井完成与试油、自喷采油、机械采油、特殊井的管理、注水、水力压裂、酸化、修井、油气集输等内容的基本知识、基础理论、基本技能。

本书内容比较切合实际，概念清楚，通俗易懂。因此，也可供油田厂矿广大工程技术人员参考使用。

中等专业学校教学用书

采 油 工 程

高荫桐 主编

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京顺义燕华印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 17³/₄ 印张 444 千字 印18,001—20,000

1989年8月北京第1版 1996年8月北京第4次印刷

ISBN 7-5021-0265-5/TE·261

定价:14.00元

前 言

本书是根据原石油工业部教育司1986年11月制订的中等专业学校，采油专业“采油工程教学大纲（试行草案）”编写而成的。在编写过程中，努力贯彻教学大纲中规定的“少而精”、“理论联系实际”、“学以致用”及适当反映国内外采油工艺新技术、新成就的原则。

全书共分九章，由重庆石油学校负责组织编写。冯朝伦编写第一章、第三章的第四、第五、第六节，第四章和第九章。谭正新编写第三章的第七节、第六章、第七章和第八章。高荫桐编写第二章、第三章的第一、第二、第三节和第五章，并担任主编。原石油部勘探开发科学研究院秦同洛教授主审。全书插图由林萍绘制。

由于编者水平有限，时间短促，书中难免存有缺点、错误和不足之处，敬请读者批评指正。

最后，向对本教材在编写过程中给予热情帮助的兄弟学校，表示诚挚的感谢。

编者

目 录

第一章 油井完成与试油	(1)
第一节 油井完成	(1)
第二节 油井试油工艺	(8)
第二章 自喷与气举采油法	(16)
第一节 自喷井井口流程与设备	(16)
第二节 油井自喷原理	(18)
第三节 嘴流的基本规律	(31)
第四节 自喷井的管理与分析	(34)
第五节 自喷井的分层开采	(42)
第六节 气举采油	(46)
第三章 机械采油法	(63)
第一节 游梁式抽油机—深井泵抽油装置及工作原理	(63)
第二节 抽油机悬点载荷分析	(70)
第三节 影响泵效的因素及提高泵效的措施	(77)
第四节 抽油井的试井和工作方式的确定	(83)
第五节 抽油井的生产分析	(87)
第六节 抽油设备的选择	(95)
第七节 无杆泵抽油	(108)
第四章 特殊井的管理	(122)
第一节 油井的防砂和清砂	(122)
第二节 油井的防蜡和清蜡	(131)
第三节 油井产水的分析与处理	(137)
第四节 稠油开采工艺	(143)
第五章 注水	(149)
第一节 水源及水处理	(149)
第二节 注水站	(153)
第三节 注水井的投注与分层配水	(156)
第四节 注水井的分析管理	(166)
第五节 注水井吸水能力降低原因及其处理方法	(170)
第六章 水力压裂	(175)
第一节 压裂机理	(175)
第二节 压裂液及支撑剂	(187)
第三节 压裂设备和工具	(200)
第四节 压裂工艺	(205)
第五节 压裂施工及压裂后井的管理	(213)

第七章 酸化	(217)
第一节 酸化增产原理	(217)
第二节 酸液及添加剂	(225)
第三节 酸处理工艺	(233)
第八章 修井	(240)
第一节 修井设备和工具	(240)
第二节 修井作业	(246)
第三节 井下事故处理	(251)
第四节 套管修理	(258)
第九章 油、气集输	(259)
第一节 矿场油、气集输概论	(259)
第二节 油气分离和原油的加热输送	(262)
第三节 原油除砂、脱水	(269)
第四节 油、气计量	(272)
第五节 天然气的脱水脱油	(275)

第一章 油井完成与试油

第一节 油井完成

油井完成是钻井工程中最后的一道工序，其内容包括钻开生产层和安装井底装置。油井完成的质量直接影响油井投产后的生产能力和油井寿命。因此，必须确保油井完成的质量。

一、油井的井身结构

井身结构是指一口井内下入的套管层数、套管直径、下入深度以及相应井段的钻头直径和各层套管外水泥浆的返回高度。井身结构示意图如图1—1所示。

各层套管分为表层套管、技术套管和油层套管，常用的套管管径为 $13\frac{3}{4}$ 、 $9\frac{5}{8}$ 、 $7\frac{5}{8}$ 、

$5\frac{1}{2}$ 英寸●等序列，在表层套管外常下一层导管。

(1) 导管 导管的主要作用是建立开钻的泥浆循环系统，一般下得很浅。

(2) 表层套管 用以封隔上部松软地层和水层，一般用 $11\frac{3}{4}$ 英寸以上的套管。套管层次多，选用大尺寸，反之，选用小尺寸。下入深度由几十米至几百米，管外水泥返至地面。

(3) 技术套管 用来封隔表层套管以下的较复杂的地层，下入深度视地层复杂情况而定。

(4) 油层套管 保护井壁，封隔油、气、水层。下入深度视生产层位和完井方法来定，有的下到生产层顶部，有的则穿过生产层几十米。管外水泥的上返高度一般为需要封隔的油、气、水层以上50~100米，注水井要求更高一些，常用油层套管尺寸为5~7英寸。

在确保安全钻进的前提下可以不下技术套管以简化井身结构，节约钢材。过去我国打三千米左右的探井一般要下三层套管，现在，只要地层情况允许，钻井工艺技术措施得当，只下表层套管和油层套管。

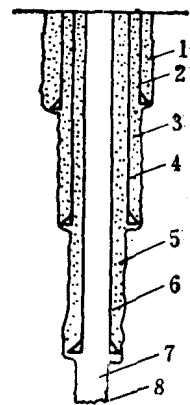


图1—1 油井的井身结构
1—井眼；2—表层套管；3—井眼；4—技术套管；5—井眼；6—油层套管；7—井眼；8—井底

二、钻开油层

从安全钻井和有利于采油的角度来看，钻开油层时既要防止井喷，又要防止泥浆堵塞油层降低其渗透率。如果泥浆相对密度过大造成泥侵和水侵，堵塞了油、气流入井的通道，在

● 1英寸=25.4毫米，以下同。

探井试油时会形成无油、气的假象。泥浆失水即使未完全堵塞油层也会降低油层的渗透率，对于油层的评价会带来不利的影响。因此，钻开油层的原则是，既要防喷又要防堵，做到压而不死，活而不喷。要作到这点在钻开油层之前必须正确测算油层压力，采用失水量小的优质泥浆作压井液，充分做好防喷的准备工作，同时要努力实行近平衡钻井，合理控制泥浆的相对密度。对于高压油层（油层压力高于相对密度为1.05的液柱压力），可根据区域及邻井的地层压力系数附加0.05~0.1来确定泥浆的相对密度，尽可能减少泥浆柱与油层之间的压差，对油气层进行有效地保护，以免损害油层的出油能力。钻开低压油层时应特别注意防止泥侵、水侵堵塞油层孔隙，此时应使用失水量小（30分钟不超过5毫升）的优质泥浆，泥浆相对密度要小，并应尽可能快速钻进。

三、油井完成的方法

钻开油层后使油层和油井连通的方法叫油井完成法。使用不同的井底装置便有不同的完成法。常用的油井完成方法有裸眼完成法、射孔完成法和衬管完成法。下面分述这些完成法的特点、优缺点和适用范围。

（一）裸眼完成法

这种完成法分为先期裸眼完成法和后期裸眼完成法两种。

1. 先期裸眼完成法

特点：在钻开油层以前先下入油层套管，注水泥固井，然后换小级尺寸的钻头钻开油层，如图1—2所示。

优缺点：先期裸眼完成的优点是油层全部裸露，井底结构简单，渗滤面积大，泥浆浸泡时间短，表皮阻力小。缺点是不能分层试油和分层开采，不能防止出砂和井壁坍塌，不易卡准油层套管鞋的位置。

适用条件：适用于地层情况清楚，油层坚硬不出砂，无油、气、水夹层的单一产层，或者是可以合采的多油层的井和裂缝性油气层。

2. 后期裸眼完成法

特点：把油层全部钻穿，在其上部打一个悬空水泥塞，下油层套管于水泥塞顶部，注水泥固井，然后钻开水泥塞，如图1—3所示。

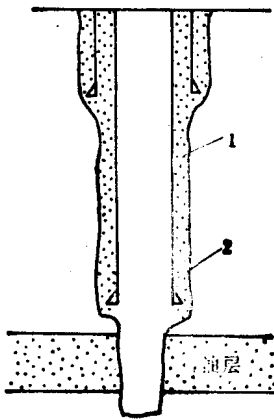


图1—2 油井先期裸眼完成法
1—水泥环；2—油层套管

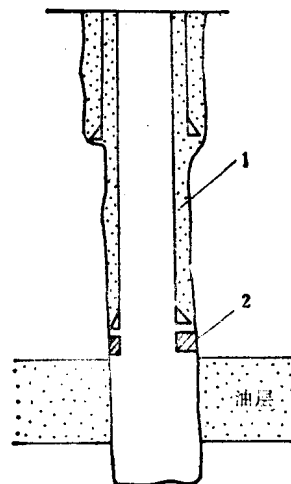


图1—3 油井后期裸眼完成法
1—油层套管；2—水泥塞

优缺点：后期裸眼完成与先期裸眼完成比较，优点是容易卡准套管鞋的位置；但泥浆浸泡油层的时间长，表皮阻力大，打悬空水泥塞工艺技术要求较高，其余优缺点和先期裸眼完成法相同。

适用条件：适用于地层情况不清楚的新探井，其余适用条件和先期裸眼完成法相同。由于泥浆浸泡产层时间长，并且要打悬空水泥塞因而比先期裸眼完成法用得少。

(二) 射孔完成法

特点：将油层全部钻穿，然后下油层套管至油层底部，注水泥固井，最后对准油层部位用射孔器将套管和水泥环射穿使油层与油井连通，如图1—4所示。

优缺点：射孔完成法的优点是可以分层试采和井下作业；防止油、气、水夹层的窜扰；防止井壁坍塌。缺点是泥浆浸泡油层的时间长，再加上注水泥会降低油层的渗透率，又因射孔的孔眼有限并进一步污染了油层，增加了油流阻力。另外，有些高压油井往往未能射完预定的孔数就发生井喷而被迫完井，则油流入井的阻力更大。所有这些将降低油井的生产能力。

适用条件：用于有油、气、水夹层，地层不坚硬的多产层油井。

还有一种叫尾管射孔完成法。就是把油层套管或技术套管下至油层顶部，固井后钻开油层，在油层部位下入尾管至油层底部注水泥封固，最后用射孔器射开需要的层段，如图1—5所示。

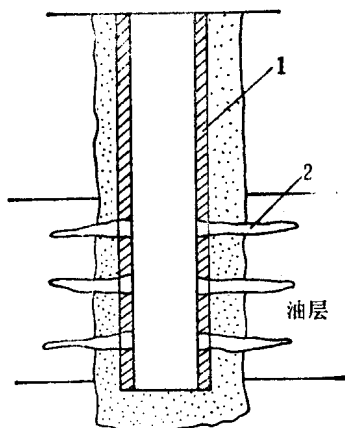


图1—4 油井射孔完成法
1—油层套管；2—射孔孔眼

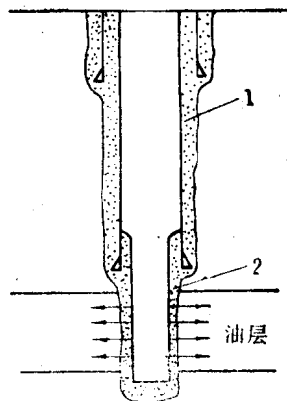


图1—5 尾管射孔完成法
1—油层套管；2—尾管

此法用于计划先期裸眼完成临时改为射孔完成的井；或者用于深井需要下技术套管封隔复杂地层，为了节约钢材只在油层部位下入尾管作为油层套管。由于在油层部位下入了小一级尺寸的尾管，在试采和井下作业时都应考虑到这一具体情况，以免造成不良后果。

(三) 衬管完成法

在先期裸眼完井的基础上，下一个预先作好的带孔眼或割缝的衬管，用封隔器与油层套管连接，如图1—6所示。

衬管完成法具有裸眼完成法的优缺点，不同之处在于，衬管有一定的防砂作用。为了增强防砂效果，可在衬管外包裹一层防砂的金属滤网。

另外，还有一种砾石衬管完成法。方法是把油层套管下到油层顶部，注水泥固井后用底扩眼钻头在油层部位钻进扩眼，直到预定位置，然后下入带缝衬管，并用正（反）循环法在

油层部位充填小砾石。也可先在地面做成砾石衬管下入井中。砾石衬管完成法见图1—7。

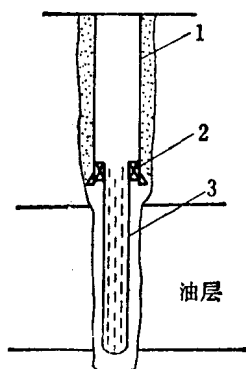


图1—6 衬管完成法

1—油层套管；2—封隔器；3—衬管

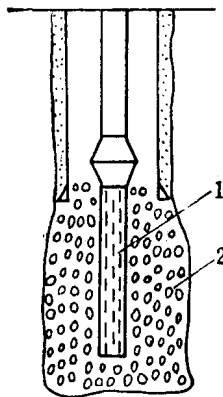


图1—7 砾石衬管完成法

1—衬管；2—砾石

这种完成法与衬管完成法比较，除防砂外，还可防止油层坍塌。因此，适用于疏松的砂岩油层。

四、油井射孔

射孔的设备和工艺直接影响到以后油井的生产能力和使用寿命。因此，要求射孔时做到：

- (1) 射孔部位准确；
- (2) 不能震裂套管和水泥环；
- (3) 射孔发射率高，尽可能作到装多少发射孔弹就能射多少孔；
- (4) 施工做到安全、快速。

射孔器和射孔法有多种，下面仅介绍常用的聚能射孔器和较先进的过油管射孔法。

(一) 聚能射孔器

聚能射孔器的核心部分是聚能射孔弹，它能将炸药爆炸时释放出来的能量聚集到某一方向。这种聚能效应是由射孔弹的结构形状决定的。其聚能原理和过程如图1—8所示。

炸药爆炸时，爆炸产物最大作用力方向最初与锥形凹面垂直，然后迅速沿凹面轴线前进，形成一股爆炸流体，它比向其它方向飞散的爆炸产物具有高得多的密度和速度，从而将爆炸时释放的能量聚集到这个方向上来。在距离炸药柱底端面一定距离处，流体达到最大的聚合，其密度和运动速度达到最大值。该处称为爆炸流体聚合焦点，这段距离称为焦距。超过焦点，金属流迅速扩散，密度和速度随之减小。因此，只有炸药柱底面与障碍物表面间的距离和焦距相等时，才能获得最好的穿孔效果。焦距的大小由凹面张开的角度决定。角度小焦距也小，角度大焦距也大。炸药爆炸时产生的高温、高压，使得金属罩变为高温、高速细金属流，从金属罩中心沿轴向往外喷射出来，这股金属细流的速度高达800~1000米/秒，温度高达3000~4000°C，遇到障碍物时便产生2940万千帕的压力，将障碍物击穿一个很深的孔洞，这就是聚能射孔弹的工作原理。射孔弹起爆后能在钢锭上穿成一个底口直径10毫米左右、深60至70毫米的锥形孔。在油井中射孔，不仅能穿透套管、水泥环，还能较深地射入油层。

如图1—9所示，将射孔弹若干个用导爆索连接起来固定在弹架上，便装成了一套聚能射

孔器。

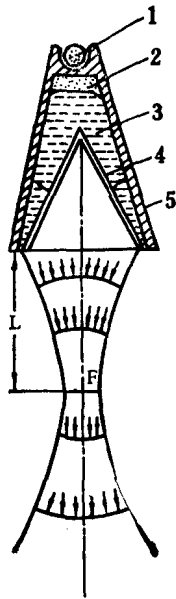


图1—8 聚能射孔弹聚能原理

L—焦距；F—焦点；1—导爆索；2—起爆药饼；
3—炸药柱；4—锥形金属罩；5—外壳

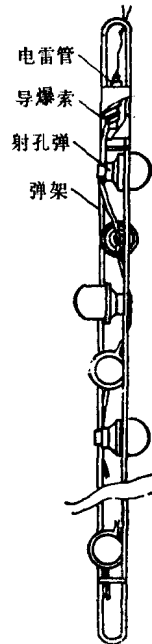


图1—9 聚能射孔器示意图

(二) 过油管射孔法

过油管射孔是一种不压井射孔方法，它是在井口采油树上安装防喷器和射孔专用控制头，将射孔器用电缆通过控制头和防喷器从油管下入井中，经过油管末端的喇叭口，在套管内对准油层部位射孔。射孔时由于井口已装上采油树和一套防喷设备，可以不压井，做到负压射孔，从而减少对油层渗透率的损害，射孔后即可进行诱喷，简化了试油工艺，提高了试油速度，是一种先进的射孔法。

过油管射孔法装置示意图如图1—10所示。现在将所用主要设备予以说明。

(1) 控制头 控制头内装有三根直径为8.25毫米的流管与直径为8毫米的电缆相配，电缆通过流管下入井中，控制头上部还可安装常规盘根盒防喷，流管中注有高压油脂，用来密封和润滑电缆。

(2) 油脂泵车 它的作用是将高压密封油脂注入控制头。压力可达24500千帕。

(3) 手压泵 将液压油供给控制头，使控制头内的活塞往下移动，推动压块压紧密封胶块抱住电缆，使其停止运动，当手压泵泄压时，活塞在复位弹簧的作用下向上移动把电缆松开，这样，就可用手压泵的压力来控制电缆，使其按需要停止或运行。

(4) 防落器 它接在防喷管下部，通常情况下防落器中的防落叉是关闭的，当射孔器下井时，搬动把手将防落叉立起让射孔器通过，然后，搬回把手将防落叉关闭，防落器的中心是空的，可让电缆自由通过。当向上提升射孔器经过防落叉时，仪器把关闭的防落叉顶立起来，待仪器通后，防落叉自动下落关闭，从而防止仪器落井。

(5) 电缆绞车和仪器车 它们和普通射孔设备相同，为2500米绞车和SQ-691型跟踪射孔仪。

(6) 定位器 定位器用来测定油层的准确位置，使射孔器能对准油层射孔。

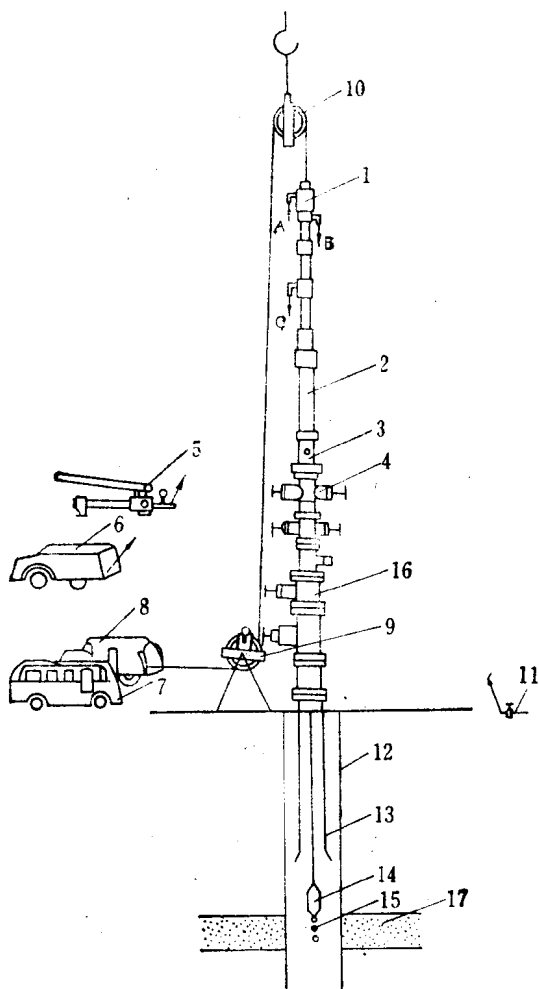


图 1—10 过油管射孔法示意图

- 1—控制头； 2—防喷管；
- 3—防落器； 4—防喷器；
- 5—手压泵； 6—油脂泵车；
- 7—仪器车； 8—绞车； 9—地滑轮； 10—游动滑轮；
- 11—泄油管阀； 12—套管；
- 13—油管； 14—加重杆和定位器； 15—射孔器； 16—采油树； 17—油层； A—与手压泵相连； B—与泄油管阀相连； C—接油脂泵车

五、油井完成对生产的影响

为了衡量不同的油井完成法对今后油井生产的影响，通常用完善的油井和不完善的油井的概念来表示。

(一) 完善的油井

油井生产层段完全钻开裸露，井壁周围岩层保持其原有的渗滤性质，裸露的井眼半径等于所用的钻开油层的钻头半径，这种油井叫完善的油井或完善井。完善的油井，在油流入井时没有附加阻力的影响，在线性稳定渗滤的条件下，可按平面径向流公式计算油流入井的产量。

$$q_r = \frac{2\pi h k (P_s - P_f)}{\mu \left(\ln \frac{R}{r} - \frac{1}{2} \right)} \quad (1-1)$$

式中 q_r ——油井稳定产量， m^3/s ；

R ——油井供油半径， m ；

r ——油井半径，它的单位与 R 相同；

\bar{P}_i ——供油面积内平均油层压力, Pa;

P_f ——井底流动压力, Pa;

k ——油层平均渗透率, m^2 ;

h ——油层厚度, m;

μ ——油层中原油粘度, Pa·s。

(二) 不完善的油井

油层未完全钻穿的井、射孔完成的井(生产层段井壁四周未完全裸露)、或者钻井、完井液侵入井壁的井,由于这些完井工艺的影响,使井壁附近渗滤性质变坏,产生了油流入井的附加阻力,这些井都是不完善的油井或叫不完善井。对于同一口生产井,当井底压差相同时,不完善井的产量比完善井的产量低;或者产量相同时,不完善井的井底压差比完善井的压差大。

为了反映油井不完善时对生产的影响,通常是在线性稳定平面径向流公式中引入一个修正系数。下面是几种加修正系数的方法。

$$q = \phi \frac{2\pi hk (\bar{P}_i - P_f)}{\mu \left(\ln \frac{R}{r} - \frac{1}{2} \right)} \quad (1-2)$$

$$q = \frac{2\pi hk (\bar{P}_i - P_f)}{\mu \left(\ln \frac{R}{r} + S - \frac{1}{2} \right)} \quad (1-3)$$

$$q = \frac{2\pi hk (\bar{P}_i - P_f)}{\mu \left(\ln \frac{R}{r_2} - \frac{1}{2} \right)} \quad (1-4)$$

式中 ϕ ——完善系数, $\phi = \frac{q}{q_1}$, q 为不完善井的产量, q_1 为完善井的产量, 无因次;

S ——不完善井的附加阻力系数, 无因次;

r_2 ——不完善井的折算半径, m;

其余符号意义同前。

对于不完善井:

$$\phi < 1 \quad S > 0 \quad r_2 < r$$

从上述三个公式可以看出,一口不完善井的产量要比完善时的产量小,油井愈不完善,产量愈小。

根据以上分析,油井可分为钻开程度不完善的井,钻开性质不完善的井和泥浆污阻不完善的井,如图1-11所示。

不完善井修正系数的求法,通常是根据电模拟法求的曲线图来查相应的修正系数。

(1) 钻开程度不完善油井的修正系数 ϕ_1 的求法 查图 1-12 可求出钻开程度不完善井的修正系数 ϕ_1 。图中 h_1 、 h_2 、 h_3 为不同厚度的油层所作的曲线,根据不同的 \bar{h} 值就可查出 ϕ_1 。

(2) 钻开性质不完善油井的修正系数 ϕ_2

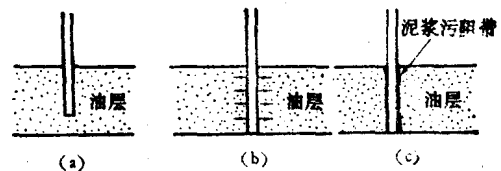


图1-11 不完善井示意图

(a) 钻开程度不完善的井; (b) 钻开性质不完善的井; (c) 泥浆污阻的不完善井

的求法 ϕ_2 和 n, d', L' 有关, 图1—13 给出了一组 n, d', L' 时的 ϕ_2 曲线, 从图上依不同的 n, d', L' 值可查出 ϕ_2 值(横坐标为 $n \times 3.28$ 孔/米)。

如果既有程度不完善又有性质不完善可分别求 ϕ_1, ϕ_2 值, 而油井的完善系数为:

$$\phi = \phi_1 \times \phi_2$$

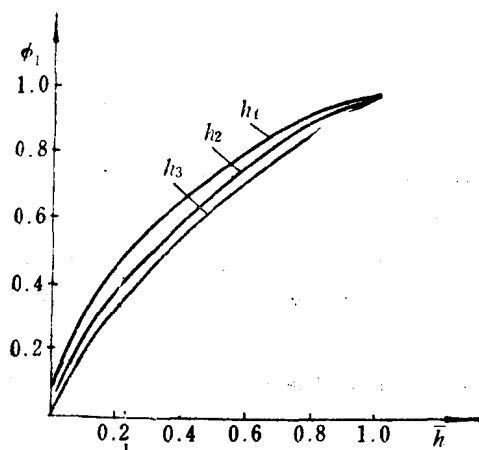


图1—12 钻开程度不同的完善系数

$h_1=7.62$ 米; $h_2=15.24$ 米; $h_3=30.48$ 米;

$\bar{h} = \frac{b}{h}$; h —油层厚度, 米; b —钻开厚度,

米; ϕ_1 —钻开程度不同的完善系数

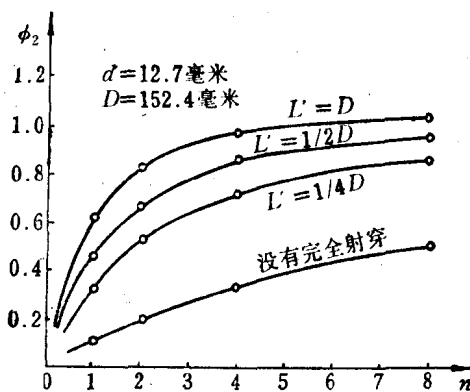


图1—13 钻开性质不完善的修正系数 ϕ_2

d' —射孔的孔眼直径; D —井径;

n —射孔密度; L' —射入油层深度

(3) 不完善井的折算半径 r_2 和附加阻力系数 S 的求法 最常用的方法是不稳定试井法求压力恢复曲线的斜率 i , 然后依照下列公式求折算半径和阻力系数。

$$\Delta P = i l g \frac{0.117 A}{r_2^2} \quad (1-5)$$

$$S = 2.31 g \frac{r}{r_2} \quad (1-3)$$

式中 A ——油井供油面积, km^2 ;

$\Delta P = \bar{P}_s - P_f$, 油井生产压差, kPa ;

r ——油井半径, km ;

r_2 ——油井折算半径, km ;

i ——压力恢复曲线的斜率, kPa 。

第二节 油井试油工艺

一、概 论

探井完井后, 井中充满着钻井液, 此时井底压力大于油层压力, 油层的油不能流入井中(对于尚需射孔完成的井, 油层被套管水泥封住)。试油就是采取适当的技术措施, 降低井内液柱压力(或进行射孔), 使产层内的流体流入井内并诱导至地面, 然后测定流体性质、流动规律和生产能力等。试油的目的和任务就是为了获取这些有关资料, 为确定油田的工业价值、计算储量、合理开发油田, 提供可靠的依据。此外生产井完井后也要试油取资料, 为了解油井生产能力, 制订生产工作制度提供依据。

(一) 多油层合层试油

全井所有油层同时打开进行试油，以求得油井的最大产能。这种方式多在油田勘探初期阶段第一、二口井发现油流时采用，也用于合层开采的生产井。

(二) 分层系统试油

对需要测试的油层自下而上逐层射孔、逐层测试，测试完一层后注水泥塞或下丢手封隔器封闭该层，改试上层。也可对多油层的某一个层位先进行测试，然后再试其它层位。方法如图1—14所示。

对于三个需要测试的层位，下入两个封隔器。

(三) 钻井中途测试

中途测试是指在钻井过程中遇到油、气显示时，停钻进行测试的一种试油方法。其目的是为了及时取得显示层位的地质资料，尽快的发现新的油气藏。本方法是加快勘探速度、降低钻井成本的重要措施。

中途测试主要是在裸眼井中采用封隔器封住上部地层，然后降低井内泥浆柱对测试地层的压力，诱导油、气流出井口，从而求得压力、流量等所需资料。使用的测试工具和方法有封隔器加玻璃接头测试法、地层测验器测试法和中途测试工具测试法几种。下面扼要介绍常视支撑式中途测试工具的测试方法。测试工具主要由下面几部分组成：

(1) 反循环接头 在测试完毕后作为反循环压井用。它的结构是，在接头本体上装有一个空心循环塞，塞子伸入接头内部。测试完毕后从井口投入一个撞击杆将塞子打断，使环形空间与钻杆内沟通即可进行反循环。

(2) 旋转开关 它是可以取得三次流动和三次关井的装置。开关是借右旋钻杆来操作的，每改变一次位置要旋转十圈。下井时如图1—15(a)所示，旋转开关是打开的，但水力开关未打开，管内流体通过旁通孔5与环形空间相通。当水力开关打开后，旁通孔关闭，流体经过旁通孔4经旋转开关进入套管。当右旋第一个10圈时开关关闭，右旋第二个10圈又打开，依此类推可以使开关交替开或者关。

(3) 水力开关 它是用来降低泥浆柱对测试层的回压，以及在测试中作为开关之用。在

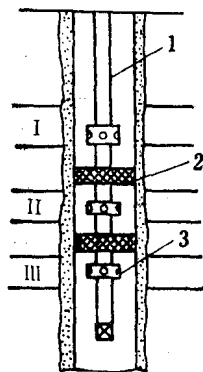


图1—14 封隔器分层试油示意图

1—油管；2—封隔器；3—配产器；I、II、III—油层

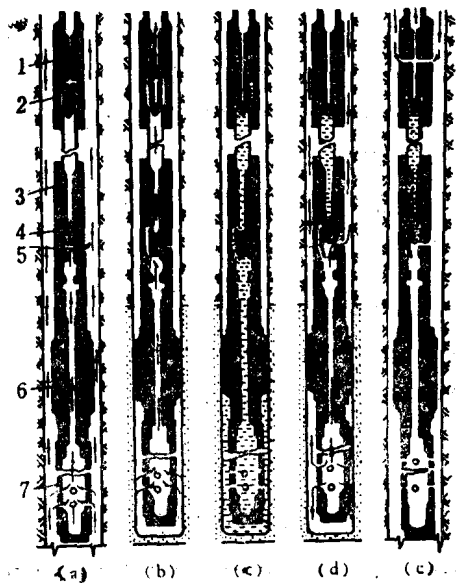


图1—15 中途测试工具测试程序

(a) 测试工具下井；(b) 测试；(c) 关井测压；

(d) 平衡和起封隔器；(e) 反循环

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

下井时，水力开关是关闭的，流体从旁通孔进入环形空间，以保持钻杆内是空的，当下到预计井深时将封井器坐封好，然后加压使水力开关打开，测试层的流体在地层压力作用下进入钻杆内。上提钻杆又可将水力开关关闭。

(4) 支撑式封隔器 封隔器下部支撑在井底，上面用钻柱加压，胶皮便向外膨胀紧贴井壁上将封隔器上部地层与测试层位封隔开。

测试工具的测试程序如图1—15 (a)、(b)、(c)、(d)、(e) 所示。

(a) 测试工具下井 水力开关接在封隔器上部，在水力开关的下部有一个旁通孔，下井过程中孔是打开的，流体由此进入环形空间，使封隔器下部与上部沟通易于下井。在水力开关上部有一组测试孔，下井时是关闭的，以阻止井内液体进入钻杆柱内，这样，水力开关上部钻柱内是空的，其压力接近于大气压力。

(b) 进行测试 当管鞋坐在井底后，利用钻柱加压，使封隔器的胶皮胀开密封，将测试层与上部地层隔开。在封隔器坐好3~5分钟后，水力开关的旁通孔关闭，测试孔打开，在测试层的地层压力作用下流体通过测试孔进入钻杆中。此时，由井底压力计记录流动压力，在井口用流量计等仪器测取其它资料。

(c) 关井测压 流动测试结束后，右旋钻柱10圈使旋转开关关闭，井下压力计便可记录压力恢复资料。其下连接的取样器也关闭，从而取得流体样品。

(d) 平衡和起封隔器 测试完后上提工具使水力开关测试孔关闭，旁通孔打开，环形空间与测试层沟通，使封隔器上下部压力平衡，此时胶皮筒从井壁松开恢复原状。

(e) 反循环 将反循环接头打开可进行反循环压井，或将钻杆柱内流体返出地面。

二、高压油井的试油工艺程序

高压油井是指降低井内回压或射穿试油层位后流体即能流入井中并喷到地面的井。这种井也叫自喷井。高压油井试油工艺程序一般为：通井探井底、洗井、射孔（对于射孔完成的井）、诱喷（诱导油流）、放喷、测试取资料等。其中，诱喷是最重要的一道工艺程序，如果经过诱喷而并未喷，则应采取重复射孔或者酸化、压裂等特殊作业，以达到诱喷的目的。

(一) 通井

通井目的在于探明从井口至井底是否畅通无阻，并探测实际井底的位置。通井用的工具为通井规，如图1—16所示。通井规长500毫米，直径应比套管柱的最小内径小5毫米。

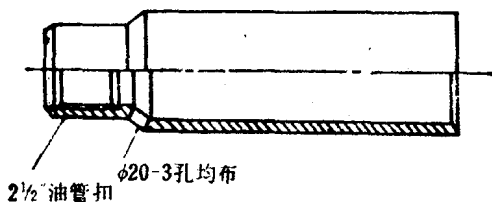


图1—16 通井规

通井方法：将通井规接在油管柱的下端，用绞车逐步下入井中，下放应平稳，若中途遇阻，应上提油管柱4~5米，严禁猛提猛放，以免提断或卡死管柱。遇阻严重不能解除时，应换钻机或修井机修井。对于裸眼和射孔完成的井，通至人工井底。对于衬管完成的井，通至油管将要下入的深度。对于尾管射孔完成的

井，应该用小于尾管内径的通井规通至人工井底。

(二) 洗井

洗井目的在于把井内的脏物冲洗干净，为下一步施工扫清道路。洗井液的性质应该选用清洁的、优质的和压井液密度相同的洗井液，以免造成新的污染。

洗井方式和技术要求：洗井方式分为正循环洗井和反循环洗井两种。正循环洗井是指将

洗井液从油管打入，套管返出；反循环洗井是指将洗井液从套管打入，油管返出。

正、反循环各有不同的特点。当泵的压力和排量一定时，正循环洗井井底回压较小，液体在套管中上返速度较慢；反循环洗井井底回压较大，液体在油管中上返速度较快。因此，在泵的排量足够大时，应采取正循环方式，此时对油层回压较小，脏物不易堵塞油层。当泵的排量较小时，可采用反循环方式，此时液体上返速度较快携带脏物的能力强，但对油层的回压较大。总之，用尽可能的大排量，连续循环，才容易把井筒冲洗干净。洗井时应经常取样分析进出口洗井液的性质，当两者性质基本一致时表示井筒已清洁，洗井合格。

(三) 诱导油流

洗井后，对于射孔完成的井应射孔，然后诱导油流，对于其它方法完成的井洗井后就可诱导油流。诱导油流之前井中充满着压井液，液柱的压力大于油层压力，油、气不能流入井中。诱导油流就是设法降低井底压力使之小于油层压力，让油、气流入井中并喷到地面。

常用的诱导油流的方法有替喷法、气举法、混气水排液法和抽汲法。

1. 替喷法

替喷法的实质是减小井内液体的相对密度，使液柱回压小于油层压力从而达到诱喷的目的。具体作法是，先用轻泥浆替出井中重泥浆，若不喷再用清水替出轻泥浆，再不喷还可用原油替出清水，但对于探井应尽量不用原油，以免影响取得资料的正确性。现介绍以下两种替喷法：

一般替喷法 将油管下至油层中、上部，装井口接好循环管线，用泵将地面准备好的替喷液连续替入井内，直到将井内压井液全部替出为止。此法简便，但是，对于油管鞋至井底这段泥浆替不出来。

二次替喷法 将油管下至距人工井底1米处，装好井口，先用原压井液循环洗井，达到要求后向井内注入清水，其量等于井底至油层顶部的井筒容积，用压井液将清水替到油层顶部，然后上提油管到油层中、上部，装好井口再按一般替喷法替喷。此法可将井底泥浆替出，但工序复杂一些，可用于底坑（口袋）较长的井。

替喷和洗井一样可采用正循环或反循环。替喷时应当观察和记录替喷液的性能、用量，替喷方法，管柱结构及深度，替喷的时间，泵压、排量，漏失情况等。

替喷法的优缺点：

优点 能缓慢均匀地建立井底压差，不致引起井壁坍塌和油层大量出砂。

缺点 建立井底压差小，诱喷能力差。

此法适用于高压大产量、油层堵塞不严重的井。

2. 气举法

往井中压入空气，替出压井液，使井中液柱高度很快降低，从而急剧降低井底回压达到诱喷的目的。

气举有正、反举之分。

正气举：从油管压入空气使液体从套管返出，当高压气体到达油管鞋时便和液体混合进入套管，此时油井被举通，井底压力开始下降，随着液气混合物从套管中迅速上升，井底压力便很快降低使油气流入井内并喷至地面。

反气举：从套管压入空气使液体从油管返出，当高压气体到达油管鞋时，便和液体混合进入油管，此时油井被举通，井底压力开始下降直到把油井举喷。

当泵压和压入井中气体深度相同时，反举压入的气量多，举出的液体多，能使井底压力