

中等专业学校教学用书

采油工程

邹根宝

主编

石油工业出版社

中等专业学校教材系列

采油工程

石油工业出版社

石油工业出版社

中等专业学校教学用书

采 油 工 程

邹根宝 主编

石 油 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书覆盖了常规采油方法中最基本的内容,其中包括完井、自喷和各种人工举升法采油、注水、增产措施及修井作业等内容;并介绍了采油工程中的专门课题及新技术,包括水平井采油,海上采油,试油,试气,油气集输,稠油开采,分采及砂、蜡、水的防治等。

本书着重介绍工艺技术的实际应用,紧密结合实践。适合中等专业学校石油工程专业教学使用,亦可作为职业教育的培训教材,同时可供石油及天然气开采领域的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

采油工程/邹根宝 主编.

北京:石油工业出版社,1998.10

中等专业学校教学用书

ISBN 7-5021-2343-1

I.采…

II.邹…

III.石油开采-专业学校-教材

IV.TE35

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第19410号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 21¼印张 544千字 印1—2000

1998年10月北京第1版 1998年10月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-2343-1/TE·1956(课)

定价:25.00元

前 言

自 1978 年以来,我国原油年产已突破 1 亿吨。石油开采工业积极引进、消化和吸收了国外的先进技术,继承和发展了符合我国油田特点的适用技术,石油开采技术出现了日新月异的变化。目前,石油开采的各项常规应用技术已具有世界先进水平;近海石油勘探开发从无到有,发展迅速;天然气开采已成为全新的经济增长点,进入了一个较快的发展时期。

原有教科书已不能满足现在教学的需要,因此,石油中专采油专业指导委员会于 1994 年 9 月在大庆石油学校召开了《采油工程》教学大纲审定会,通过了《采油工程》教学大纲,提出了教学要求,确定了教学原则,制定了大纲适用范围等。本书在编写中,力求工艺技术新、综合性强、可操作性强,便于学生将理论知识运用到实际中。

本书前八章为采油工程的基本部分,后八章为采油工程中的专门课题和新技术,各校可根据实际情况选学。

本书由长庆石油学校邹根宝任主编,并编写了第一、第二、第三、第五、第六、第七、第八、第九、第十、第十一章。第四章和第十四章由大庆石油学校王志恒编写,第十二、第十五、第十六章由辽河石油学校杨培毅编写,第十三章由邹根宝和王志恒合编。全书请大庆石油学校戴连锦担任主审。

编 者

1997 年 11 月

目 录

第一章 完井结构	(1)
第一节 完井.....	(1)
第二节 完井方法评价.....	(5)
第二章 自喷采油和气举采油	(9)
第一节 自喷井口装置和自喷管柱.....	(9)
第二节 自喷能量分析.....	(12)
第三节 嘴流规律与生产协调.....	(21)
第四节 自喷井管理.....	(25)
第五节 气举采油井.....	(28)
第三章 有杆泵采油	(36)
第一节 有杆泵抽油装置.....	(36)
第二节 抽油机悬点运动与载荷.....	(46)
第三节 深井泵排量与泵效.....	(55)
第四节 抽油井生产诊断.....	(61)
第五节 抽油设备的选择和评价.....	(69)
第四章 无杆泵采油	(81)
第一节 潜油电泵采油.....	(81)
第二节 水力活塞泵采油.....	(93)
第三节 其他无杆泵采油.....	(96)
第五章 注水	(99)
第一节 水质评价.....	(99)
第二节 水源及水处理.....	(106)
第三节 注水流程.....	(113)
第四节 注水生产管理.....	(117)
第五节 注水作业.....	(122)
第六章 水力压裂	(128)
第一节 压裂机理.....	(128)
第二节 压裂液和支撑剂.....	(136)

第三节	压裂机械设备	(144)
第四节	压裂工艺	(146)
第五节	压裂效果评价	(153)
第七章	酸化处理	(158)
第一节	酸化原理	(158)
第二节	酸液及添加剂	(162)
第三节	酸化工艺	(169)
第四节	深度酸化	(175)
第八章	修井	(178)
第一节	修井设备与工具	(178)
第二节	油水井小修	(187)
第三节	油水井大修	(192)
第九章	试油	(198)
第一节	试油工艺	(198)
第二节	试油资料的测取与计算	(204)
第三节	气井试气	(211)
第四节	海上油田试油	(221)
第十章	防砂、堵水工艺	(225)
第一节	防砂工艺	(225)
第二节	堵水工艺	(231)
第十一章	含蜡井和高气油比井管理	(239)
第一节	含蜡井管理	(239)
第二节	高气油比井管理	(244)
第十二章	稠油开采	(247)
第一节	概述	(247)
第二节	常规开采	(248)
第三节	热力开采	(250)
第十三章	分层开采工艺	(263)
第一节	分层注水	(263)
第二节	分层采油	(271)
第三节	分层改造	(274)
第十四章	水平井采油	(278)
第一节	井身构成	(278)

第二节	人工举升法	(280)
第三节	强化采油	(283)
第四节	生产测试	(285)
第五节	水平井应用实例	(286)
第十五章	矿场油气集输	(288)
第一节	油气集输的任务	(288)
第二节	油气集输流程	(289)
第三节	油气集输设备	(293)
第四节	管道输送与计量	(298)
第五节	原油净化处理	(301)
第六节	天然气净化与轻烃回收	(306)
第七节	含油污水处理	(311)
第十六章	海上采油工艺	(315)
第一节	海上采油平台	(316)
第二节	海上采油方法	(320)
第三节	海上油气集输	(332)
参考文献		(340)

第一章 完井结构

完井是指裸眼井钻达设计井深后，使井底和油层以一定结构连通起来的工艺。熟悉各种完井方法是设计和选择采油工艺的前提条件。目前，国内外使用的完井方法种类较多，从井底装置来看，可分为套管完井和裸眼完井两大类，其井身则全部为套管完成。

第一节 完 井

一、井身结构

油井井身结构指采油目的层以上井段须下入专用套管的层次、深度以及相应的井眼（钻头）尺寸。套管外注入油井水泥浆固井。套管下入顺序为表层套管、技术套管和油层套管。

(1) 表层套管 表层套管下入深度一般在 30~1 500m 之间，管外水泥浆应返至地面，用以防护浅水层污染，封隔松软地层及浅层气，同时用来安装井口防喷器以便继续钻进。它还是井口设备的唯一支撑件。

(2) 油层（或生产）套管 目的在于保护井壁、隔断上覆地层和油层的通路，在套管内形成升举油气的良好通道。各油田下井所用套管尺寸最大为 5½in，其次为 6½in。管外水泥通常要返至产层顶部 200m 以上。常用国产套管技术参数见表 1-1。

表 1-1 常用国产套管技术参数表

公称直径	in	5½					6½			
	mm	140					168			
壁厚, mm		7	8	9	10	11	8	9	10	11
内径, mm		125.7	123.7	121.7	119.7	117.7	152.3	150.3	148.3	146.3
每米容积 × 10 ⁻³ m ³	内容积	12.410	12.018	11.632	11.253	10.880	18.218	17.742	17.273	16.810
	环空 (对 2½in 油管)	8.225	7.823	7.447	7.068	6.695	14.033	13.557	13.088	12.625

(3) 技术（或中间）套管 这是下在表层套管和生产套管之间的一层套管，用于封隔表层套管以下的复杂地层，以利钻进，同时对生产套管还具有保护作用。但下技术套管会使完井成本大幅度增加，因此，实践中已很少用。

二、井底完成方法

井底完成（或称完井）亦称井底装置，是指油气井井筒与生产目的层的特定连通方式。井底完成方法一般分为裸眼完井法和射孔完井法两大类。裸眼完井包括先期裸眼完井、后期裸眼完井、筛管完井和筛管砾石充填完井。射孔完井包括套管射孔和尾管射孔完井。

1. 裸眼完井法

钻达油层顶部后，先下套管固井完成井身，然后钻开产层投产。裸眼完井示意图见图 1-1 (a)。

裸眼完井法的井底结构最简单，油层全部裸露，渗滤面积最大，完井液对产层的损害较

小。其最大缺点是将来不能进行分层开采，不能采取防止油层出砂措施。因此，裸眼完井法只适用于油层岩石坚硬的单一产层，以及裂缝性和稠油油层等产层。

上述这种先完成井身，后钻开油层完井的方法，被称为先期裸眼完井法。还有一种后期裸眼完成法，即先钻穿产层，后将油层套管下至产层顶部固井，完成井身，见裸眼完井示意图 1-1 (b)。在正常情况下，不提倡使用后期裸眼完井。因为，后期裸眼完成法对产层不易进行保护。

2. 射孔完井法

(1) 特点 钻穿油层后，先下入油层套管固井完成井身，然后用井下射孔器对准产层射孔，穿透套管、水泥环进入产层深处，构成产层和井筒的通道，见套管射孔完井示意图 1-2。

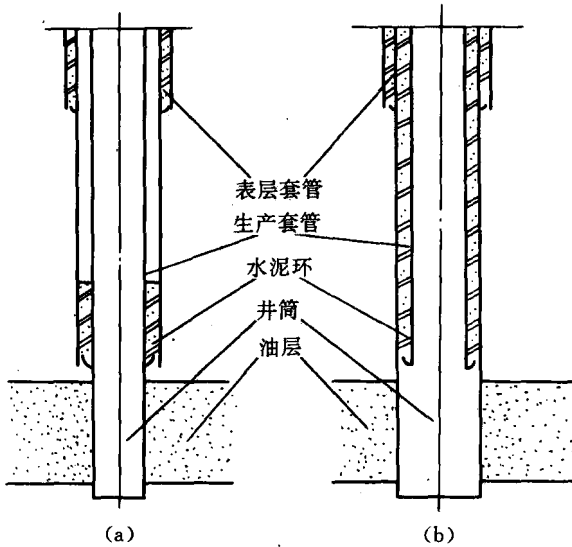


图 1-1 裸眼完井示意图

(a) 先期裸眼完井法；(b) 后期裸眼完井法

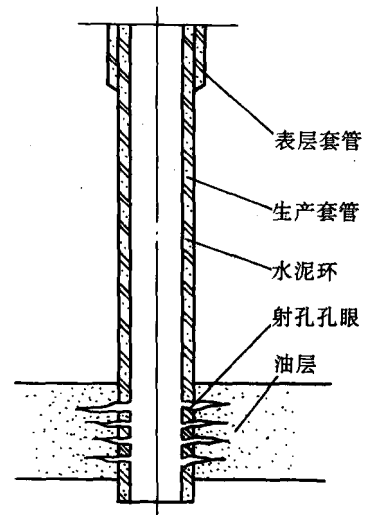


图 1-2 套管射孔完井示意图

射孔完井法的最大优点是可以对产层进行选择和调整，实现分层开采，因而适用于多产层油井。其缺点是在完井过程中，会对油气层造成较大损害，加之油流进井的渗透面积又受到孔眼的制约等因素的影响，射孔完成法会产生一些较大的油流入井阻力，降低油井原始生产能力。

(2) 聚能射孔弹 这是一种无弹头的聚能射孔弹。二次世界大战以后，人们将聚能穿甲弹改进后，引用到了射孔完井作业中。这种聚能射孔弹是通过特定几何形状的药柱，将炸药爆炸瞬间产生的高温高压气流聚集到某一方向上而完成的射孔。聚能穿甲试验见图 1-3。

图 1-3 (a)、(b)、(c)、(d) 中为相同直径与高度的药柱，用于相同的中碳钢靶穿甲试验。由于药柱的形状不同，穿甲效果亦大不相同。图 1-3 (a) 中药柱在钢靶上炸出一个浅浅的凹坑。但若将药柱的下端面挖成锥形孔，则在钢靶上炸出了一个深 6~7mm 的坑，见图 1-3 (b)。可见药柱下端为锥形孔时，炸药量虽然减少了，穿孔能力却反而提高了。如果在锥形孔内紧贴一个很薄的铜罩（称药罩），那么可炸出 80mm 的深孔，见图 1-3 (c)。若将带罩药柱距离钢靶 70mm（称为炸高）处引爆，见图 1-3 (d)，则孔深可达 110mm，为无罩孔深的 17 倍。穿甲深度的大幅度提高，完全是聚能效应的结果。圆柱形药柱爆炸后，

爆炸产物沿近似垂直于原药柱表面的方向，向四周飞散，如图 1-3 (a) 所示，作用于钢锭上的力，仅仅是药柱端部的爆炸产物，无聚能现象。带罩锥形孔的圆柱形药柱则不同，锥形孔部分的爆炸产物（细金属流）飞散时，先向轴线集中，汇聚成一股速度高达 800~1 000m/s，温度高达 3 000~4 000℃，遇到障碍物可产生 29 400MPa 的压力的聚能气流。与此同时，爆轰产物的能量又集中作用在较小的面积上，如图 1-3 中的 (b)、(c)、(d)，所以就能打出更深的孔。

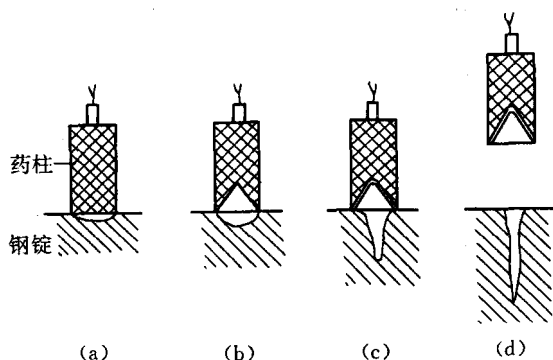


图 1-3 聚能穿甲试验

实用的 82.29 型聚能射孔弹结构见图 1-4。

油井射孔最早是有用弹头的子弹射孔弹，因其射孔深度浅、孔径小，现在除软地层外，已经很少采用了。

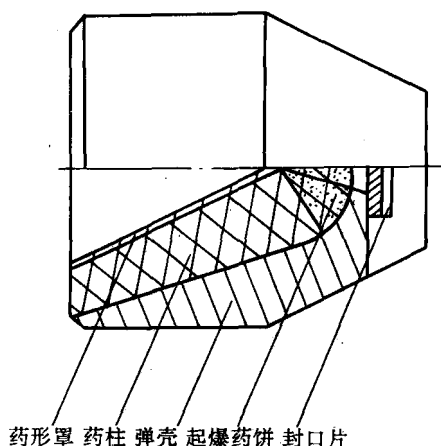


图 1-4 82.29 型聚能射孔弹结构图

射孔的。因此负压射孔不会污染油气层，不用压井液压井，施工时间短。负压射孔工艺可分为过油管射孔和油管输送射孔两种。

所谓过油管射孔，是将射孔器通过油管下出油管鞋达到预定深度射孔。过油管射孔应事先装好井口采油树，并有配套的防喷器密封装置。过油管射孔使用的设备有电缆绞车、仪器车和专用的供脂泵车。

油管输送射孔，即无电缆射孔，是将射孔器接在油管最下部，用油管将射孔器下至欲射油气层的位置，然后用投球棒或环形加压等方法引爆射孔弹，一次射开全井油气层。这种工艺所用设备与过油管射孔相同。

在射孔完成法中，除了上述的套管射孔完成法外，还有一种尾管射孔完成法。在尾管完

(3) 射孔工艺 人们最早采用的是压井射孔，即正压射孔。射孔前先要压井，使井筒里的液柱压力大于地层压力，然后用电缆下入射孔器射孔，这时井口是敞开的。射孔后油气不会立即流入井筒，要等所有射孔层段射开后，装好采油井口，下入油管进行诱喷。只有当井筒液柱压力降低到小于各油气层压力后，大多数孔眼才开始出油出气。正压射孔工艺简单，施工安全，但最大缺点是在射孔过程中，压井液中的各种固相物质或淡水会进入地层孔隙，使地层孔隙发生堵塞或使油层水敏性矿物膨胀，在近井附近形成污染带，降低油井生产能力。所以，正压射孔近几年已逐渐被迅速发展起来的负压射孔工艺所代替。

负压射孔时不压井，井口装置也不被拆除。它是在井筒液柱压力低于油层压力的情况下完成

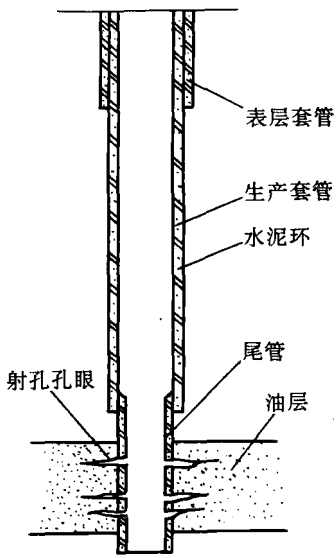


图 1-5 尾管射孔完井示意图

示意图 1-7。

成法中，生产套管只下到油层顶界，钻开油层后下入直径较小的尾管并将其悬挂在生产套管上，注水泥固井后射孔完井，见尾管射孔完井示意图 1-5。尾管射孔完井一般用于较深的油气井，可减少套管、油井水泥和施工作业量，降低完井成本。

3. 筛管（衬管）完井法

筛管（衬管）完井法是指在钻穿产层后，把带筛管的套管柱下入油层部位，然后封隔产层顶界以上部分，用注水泥固井完井，见筛管完井示意图 1-6。该完井法不用射孔，避免了射孔作业对产层的损害。这种方法一般只用于低压低渗不产水的单一裂缝性产层。在实践中，筛管完井一般不用于出砂井，筛管多采用直径是 2~12mm 的圆形筛眼，作螺旋状分布。当用割缝筛管时，还有一定的防砂作用。

4. 筛管砾石充填完井法

这种方法的作法是：在油层部位的井眼下入筛管，在筛管与井眼环形空间填入砾石，最后封隔筛管以上的环形空间完井，产层油流通过砾石和筛管流入井内，见砾石充填完井示意图 1-7。

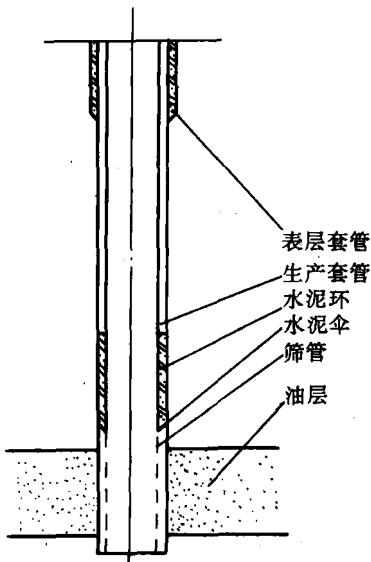


图 1-6 筛管完井示意图

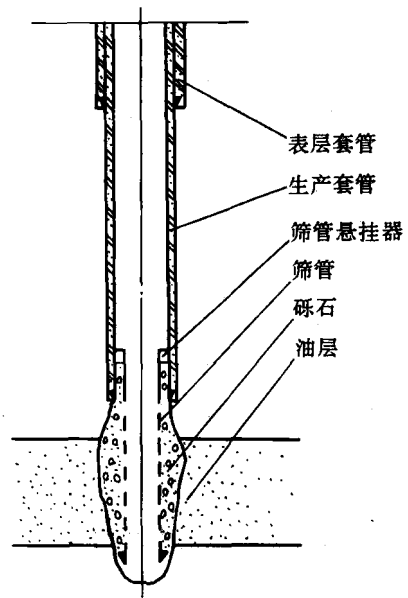


图 1-7 砾石充填完井示意图

筛管砾石充填完井法不仅消除了固井注水泥和射孔作业对油层的损害，而且具有较好的防砂作用，因此适用于油层结构疏松、出砂严重、厚度大且不含水的单一油层。我国稠油多储集于疏松的砂层中，因此对于稠油油田的开采，一般用砾石充填完井法。

第二节 完井方法评价

一、完井方法的选择

在选择完井方法时，一定要对产层的物性、开采方式和综合经济指标进行分析对比，然后选用与产层性能相匹配且能满足采油工艺要求的完井方法，以达到保护油气层，提高产量，延长油气井寿命的目的。委内瑞拉马开波湖油田的开发，就是一个有说服力的实例，见表 1-2。不同的完井方法，采油指数彼此差异很大，在 II-5 油层最大差异达 12 倍，II-3 油层最大差异也达到 4 倍。

表 1-2 马开波湖油田不同完井方法的采油指数

完井方法	采油指数, m ³ / (MPa·d)	
	II-5 油层	II-3 油层
裸眼砾石充填	113 (14 口井)	15 (13 口井)
套管射孔	85 (20 口井)	12.1 (14 口井)
套管内砾石充填 (先挤砂)	30 (19 口井)	7.4 (12 口井)
套管内砾石充填 (不挤砂)	9.3 (14 口井)	4.0 (3 口井)

目前国外使用的完井方法种类较多，但应用最广泛的是套管射孔完井，约占完井总数的 90% 以上。我国采用的完井方法亦以套管射孔为主，约占总井数的 85% 以上。个别灰岩产层油田用裸眼完井，少数稠油或出砂油田用砾石充填完井。套管射孔完井之所以应用最多，其主要原因是它能选择、调整产油层位，适应分层开采工艺的需要。

二、水力学完善井

若油井生产层段完全钻穿裸露，井壁周围岩层未受任何污染，仍保持其原有的渗滤性质，裸露的井眼半径等于钻开油层钻头的半径（如裸眼完井），这种油井被称为水力学完善井或完善井。水力学完善井，在油流入井过程中没有附加阻力的影响，其产量可按单相平面径向流公式，即达西公式计算。其计算式为

$$q_o = \frac{2\pi Kh(\bar{p}_r - p_i)}{\mu \left(\ln \frac{r_e}{r_w} - \frac{3}{4} \right)} \quad (1-1)$$

式中 q_o ——油井产量, m³/s;
 r_e ——油井供油半径, m;
 r_w ——油井裸眼半径, m;
 \bar{p}_r ——产油层平均压力, Pa;
 p_i ——井底压力, Pa;
 K ——油层渗透率, m²;
 h ——油层厚度, m;
 μ ——油层原油粘度, Pa·s。

完善井产量 q_o 常被称为油井的理论产量。这是在保持井壁周围岩层天然渗透率不变时，同

一生产压差下油流入井的最大产量。

三、水力学不完善井

完善井实际上是不存在的。裸眼井最接近完善井，但也不能完全避免在钻穿油层过程中钻井液对井眼周围油层造成一定程度的损害；而射孔完成井，附加阻力更会大于裸眼井。凡是油流入井时，有附加阻力存在的油井，就称为水力学不完善井或不完善井。对于同一口油井，当生产压差相同时，不完善井的产量总会比完善井产量低；若保持相同的产量，不完善井的生产压差必然会大于完善井，这就意味着不完善井要比完善井消耗更多的驱油能量。

不完善油井产量是实际生产中能够得到的产量，即油井实际产量。它是考虑了近井带完井段产生附加阻力损失后的产量。同时，将达西单位换成生产现场常用单位，从单相平面径向流公式 (1-1) 可推导出不完善井的实际产量计算公式。其计算式为

$$q_o = \frac{5.356 \times 10^2 Kh (\bar{p}_r - p_i)}{\bar{\mu} \bar{B} [\ln(r_e/r_w) - \frac{3}{4} + S]} \quad (1-2)$$

式中 q_o ——油井产量， m^3/d ；

\bar{p}_r ——产油层平均压力，MPa；

p_i ——产油层中部流动压力，MPa；

K ——产油层有效渗透率， μm^2 ；

h ——产油层有效厚度，m；

$\bar{\mu}$ ——在 $(\bar{p}_r - p_i)/2$ 平均压力下的油层原油粘度， $mPa \cdot s$ ；

\bar{B} ——在平均压力下的地层原油体积系数；

r_e ——泄油半径，m；

r_w ——井筒裸眼半径，m；

S ——表皮系数，无因次。

显然，在一般情况下，表皮系数 $S > 0$ ，表示为不完善井。表皮系数反映了在钻井、固井和完井过程中对油层造成的伤害，以及井底装置本身所造成的附加阻力。但也有表皮系数 $S \leq 0$ 的情况。裸眼完井一般取 $S = 0$ ，为完善井；当对油层采取改造措施后，常会出现 $S < 0$ 的情况，这时称油井为超完善井。

S 值可以从实测压力恢复曲线计算中得出。若没有压力恢复资料，可以进行油井生产动态资料拟合，求出 S 值。利用压力恢复曲线计算时

$$S = 1.15 \left[\frac{p_{w(1)} - p_{w(0)}}{i} - \lg \frac{2.25 \eta}{r^2} \right] \quad (1-3)$$

式中 $p_{w(1)}$ ——对应压力恢复曲线关井 1h 的压力值，MPa；

$p_{w(0)}$ ——刚关井时的井底压力，MPa；

i ——压力恢复曲线的斜率，MPa；

η ——导压系数， $\mu m^2 \cdot MPa / (mPa \cdot s)$ ；

r ——油井裸眼半径，m。

水力学不完善井有以下三种类型：

(1) 钻开程度不完善井 油层未全部钻穿，见水力学不完善井示意图 1-8 (a)，不完善程度 $\delta = b/h$ 。

(2) 钻开性质不完善井 油层全部钻穿，射孔完成，见图 1-8 (b)，附加阻力取决于

射孔密度、孔眼直径、射入油层深度及其他诸多因素。

(3) 双重不完善井 既有性质不完善, 又有程度不完善的井, 见图 1-8 (c), 其附加阻力最大。

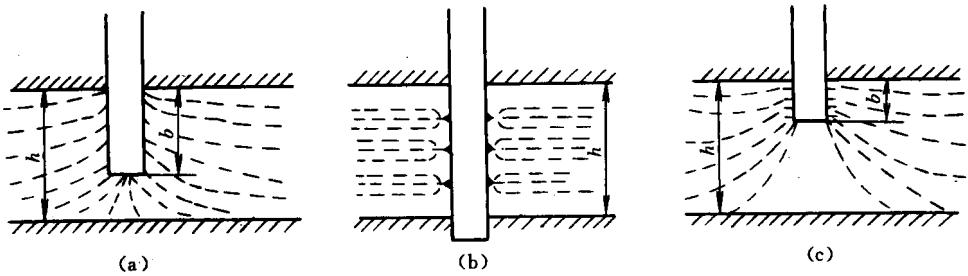


图 1-8 水力学不完善井示意图

(a) 程度不完善; (b) 性质不完善; (c) 双重不完善; b —钻开油层厚度; h —油层厚度

四、引起套管射孔完井附加阻力的因素

1. 射孔压差的影响

是采用正压还是负压油井射孔工艺, 通常对油井出油时附加阻力的大小会有重要影响。负压射孔既可以减少射孔作业中滤液的侵入、固相物质的堵塞以及滤液可能对地层发生的化学反应, 又可及时清洗射孔孔眼。在负压射孔中, 只要负压值控制合理, 油井完善系数都比较高。

2. 射孔穿透深度的影响

在钻井、固井作业中, 都可能对油气层造成不同程度的损害, 在近井壁油气层中形成一个污染带, 使其渗透率低于油气层的原始渗透率。在射孔时, 要求射孔不仅要穿透油层套管和管外水泥环, 而且射入油层的深度要足以穿过近井污染带, 才能有效地减少油流入井附加阻力的影响。因此, 随着射孔深度的增加, 油井完善系数会不断提高。实验数据指出, 当孔深从 203.2mm 提高到 304.8mm, 且每米射孔数分别为 6 孔、12 孔、24 孔时, 油井完善系数相应会增加 0.28、0.23、0.22。

3. 孔径的影响

射孔孔径大小对附加阻力的大小也有一定影响。孔径大, 附加阻力小, 但孔径大对保护套管和水泥环不利。目前国外孔径一般为 8~12mm, 国内各类射孔弹也能达到此水平。但在特殊情况下, 如稠油高凝原油射孔时, 应选用较大孔径的射孔弹。

4. 射孔密度的影响

射孔密度 (每米射孔数) 对油井完善系数影响较大, 提高孔密, 能提高油井的完善系数。例如孔深均为 203.2mm, 当孔密为 3 孔/m 时, 油井完善系数为 0.7; 当孔密为 6 孔/m 时, 油井完善系数为 0.87; 当孔密为 12 孔/m 时, 油井完善系数为 1.06。随着孔密从 3 孔提高到 12 孔, 完善系数提高了 0.36。目前我国一般孔密为 10 孔/m, 有些油田已在试验将孔密提高到 16~20 孔/m。但孔密的提高受到套管和水泥环强度的限制, 各类油田采用多大的孔密, 应根据油气层特点、套管强度及固井质量等情况进一步研究决定。

5. 射孔相位的影响

射孔相位是指弹架上的射孔弹射孔方向的个数，有几个方向就称为有几个相位。相位的多少对附加阻力有一定影响。油井完善系数和射孔相位数的关系曲线见图 1-9。一个相位射孔，完善系数为 0.97；两个相位（即相邻射孔弹射孔方向之间夹角为 180° ）排列射孔，完善系数为 1.07；三个相位（ 120° ）排列射孔，完善系数为 1.09；四个相位（ 90° ）的完善系数为 1.1。

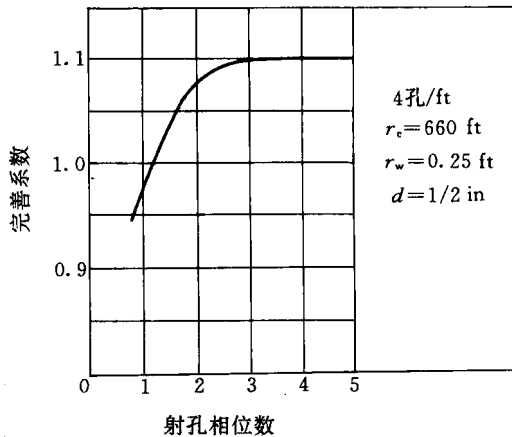


图 1-9 完善系数和射孔相位数的关系曲线
4 孔/ft (1ft=0.3048m) —射孔密度； r_c —井距半径；
 r_w —井眼半径； d —射孔孔眼半径

6. 射孔枪管扶正好坏的影响

在井下射孔时，若射孔器扶正好，枪管会居于套管中心，不同相位的炸高（指射孔弹距穿甲物间的距离）相等，各相位的射深也会相等。若不进行扶正，各相位炸高不同，就会使各相位的射深不等，孔径不同，使附加阻力增大。套管直径越大，扶正与否的影响会增加。

7. 孔眼壁压实带厚度及压实程度的影响

实验研究发现，聚能射孔弹在钢靶上穿孔后，钢靶的质量并未减少，而是在孔眼周围产生了密度更大的压实带，这在油层中则表现更为明显。孔眼周围油层在射孔中产生压实带的厚度和压实程度对附加阻力有直接影响。油层中压实带厚度多为 12.7mm，压实后的渗透率仅为原始渗透率的 10% ~

20%。压实程度同所射油层的致密情况及射孔弹的质量相关。

8. 射孔液性能的影响

射孔液性能对保护油层有重要影响，特别是在正压射孔条件下，要求射孔液必须和油层相配伍，以满足射孔设计的要求，减少对油层的污染。

9. 射孔段受到钻井损害程度和深度的影响

在钻井和固井过程中对油层会造成不同程度的损害，形成固相钻井液或固井液堵塞、粘土膨胀堵塞和注水泥堵塞，从而降低油层渗透率，造成较大的油流入井附加阻力。因此，在钻井和固井中要尽量减少对油气层的损害，对已造成的污染带，应提高穿孔深度，减少损害。

综上所述，根据对附加阻力影响的程度，可将影响因素作如下排列，前四项主要影响因素是：当孔深未穿透油层损害带时，依次为孔深、孔密、钻井损害程度和压实带损害程度；当孔深穿透油层损害带时，依次为孔密、压实带损害程度、孔深和压实带厚度。其中钻井损害程度与完井作业无关。

第二章 自喷采油和气举采油

油井射孔完井后，只要使井底压力低于油层压力，油层内的油气就会流入井筒。采油者的任务就是要设法将井底的原油举升到地面，即利用井筒作为通道将井底原油开采出来。采油方法有很多种，根据利用举升能量的不同方式，可分为自喷、气举和机械采油三种基本方法。

自喷采油是指油层压力比较高，原油从油层流入井底后仍然具有足够高的压力，可以继续从井底举升到井口，这种不需要人工补充任何能量的采油方法称为自喷采油法。这种油井称为自喷井。如果地层压力不足以将流入井底的原油举升到井口时，就必须人工补充举升能量将原油采出。气举采油法是指人工补充压缩气体，利用压缩气体的膨胀能量举油。而机械采油法则是利用不同形式的井下泵，人工补充机械能量来举升油气。

本章主要讲述自喷和气举两种采油工艺，重点是油井的自喷原理，气举阀的使用以及自喷、气举井的分析管理。

第一节 自喷井口装置和自喷管柱

一、井口装置

自喷井口装置是用来控制举升到井口的高压油、气、水的流动方向，调节油井产量和方便修井作业的。它由套管头、油管头和采油（气）树三部分组成。人们最常用的是 KYS 25/65 DQ 型自喷井口装置（见图 2-1），其工作压力为 25MPa，井口闸以卡箍型式联接，口径 65mm，适用 5 $\frac{1}{4}$ in 油层套管。

1. 套管头

套管头在井口装置的下端，其作用是将表层套管与油层套管连接起来，并使管外空间严密不漏（见图 2-2），表层套管外用水泥封固。自喷井口装置利用法兰连接在套管头上。

2. 油管头

油管头装在套管头和采油树之间，包括大四通（套管四通）和油管悬挂器，常用锥座式油管头见图 2-3。油管悬挂器用来悬挂井下自喷油管柱，封隔油管 and 油、套管间的环形空间；大四通左、右端与井口闸（套管闸门）连接，可用于观测套管压力和进行各项修井、测试作业。

计算井下深度时，通常以钻井时的转盘补心上平面作为标准面来计算油层深度、下井工具及其他所有深度数据。完井和井口装置安装完毕后，必须记录套补距和油补距数据。套补距是指从油层套管最上一根接箍的上平面至转盘补心的距离；油补距是指从油管挂平面（大四通上法兰平面）到转盘补心上平面的距离。

3. 采油树

采油树是指自喷井口装置的地上部分，它用法兰盘坐于油管头之上。采油树用于控制和调节举升到井口的油气流向，与大四通配合形成修井液和压井液的正、反循环及进行测井作业以及关闭井口。

采油树主要由油管四通（小四通）、四个井口闸阀和节流器组成。卡箍式采油树见图