



中国石油高技能人才培养丛书

采气技师培训教程

中国石油天然气集团公司人事部 ©编

石油工业出版社

中国石油高技能人才培养丛书

采气技师培训教程

中国石油天然气集团公司人事部 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书共分六章,按气井生产时间与工艺依次讲述了气井完井与气井测试工艺技术、采气工艺、气井储层改造与储层保护技术、天然气集输技术、设备管理与故障处理、天然气计量与自动控制技术等内容。

本书可用于采气技师培训,也可供现场技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

采气技师培训教程/中国石油天然气集团公司人事部编.

北京:石油工业出版社,2012.5

(中国石油高技能人才培养丛书)

ISBN 978-7-5021-9004-0

I. 采…

II. 中…

III. 采气-技术培训-教材

IV. TE37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 058718 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www. petropub. com. cn

编辑部:(010)64523582 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2012 年 5 月第 1 版 2012 年 5 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:20.5

字数:510 千字

定价:45.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《中国石油高技能人才培训丛书》

编 委 会

主 任：单昆基

副 主 任：任一村

执行主任：丁传峰

委 员：(按姓氏笔画排序)

王子云	左洪波	吕凤军	刘 勇	刘德如
杨 锋	杨静芬	李世效	李建军	李孟洲
李钟磬	李保民	李超英	李禄松	何 波
张建国	陈宝全	尚全民	周宝银	徐进学
高 强	高丽丽	职丽枫	崔贵维	韩贵金
傅敬强	霍 良			

前 言

为加快高技能人才知识更新,提升高技能人才职业素养、专业知识和解决生产实际问题的能力,进一步发挥高端带动作用,在总结“十一五”技师、高级技师跨企业、跨区域开展脱产集中培训的基础上,中国石油天然气集团公司人事部依托承担集团公司技师培训项目的培训机构,组织专家力量,历时一年多时间,将教学讲义、专家讲座、现场经验及学员技术交流成果资料加以系统整理、归纳、提炼,开发出首批 15 个职业(工种)高技能人才培训系列教材,由石油工业出版社陆续出版。

本套教材在内容选择上,突出新知识、新技术、新材料、新工艺等“四新”技术介绍,重视工艺原理、操作规程、核心技术、关键技能、故障处理、典型案例、系统集成技术、相关专业联系等方面的知识和技能,以及综合技能与创新能力的知识介绍,力求体现“特、深、专、实”的特点,追求理论知识体系的通俗易懂和工作实践经验的总结提炼。

本套教材是集团公司加快适用于高技能人才现代培训技术和特色教材开发的有益尝试,适合于已取得技师、高级技师职业资格的人员自学提高、研修培训、传承技艺使用,也适合后备高技能人才超前储备知识使用,同时,也为现场技术人员和培训机构提供了一套实践参考用书。

《采气技师培训教程》由中国石油长庆油田培训中心组织编写,谭中国、杜双都、唐磊任主编,参加编写的人员有长庆油田的刁永红、王捷、寇洪波、张积峰、谢梦华、秦通杜,大庆油田的孙会来,西南油气田公司的梁兵、龚伟等。参加审定的人员有中国石油勘探与生产分公司杨能宇、王延峰,西南油气田公司的颜文全,青海油田的张洪涛,塔里木油田的吴有明、王建顺,大庆油田的牛家宝等。部分审稿人员还参与了本书的写作。

由于编者水平有限,书中错误、疏漏之处在所难免,请广大读者提出宝贵意见。

编者

2011 年 10 月

目 录

第一章 气井完井与气井测试工艺技术	(1)
第一节 气井完井	(1)
第二节 气井试井	(9)
第三节 气井生产测井	(15)
第二章 采气工艺	(20)
第一节 气田开发概况	(20)
第二节 排水采气工艺技术	(23)
第三节 井下工艺技术	(44)
第四节 天然气水合物的预防与处理	(54)
第五节 气井防砂工艺技术	(57)
第六节 凝析气田采气工艺	(61)
第七节 高含硫气田开采工艺技术	(64)
第八节 非常规天然气开采技术	(73)
第三章 气井储层改造与储层保护技术	(91)
第一节 气井的分层开采工艺	(91)
第二节 储层改造	(93)
第三节 储层保护技术	(112)
第四章 天然气集输技术	(119)
第一节 矿场集输管网与气田地面流程	(119)
第二节 天然气加热	(128)
第三节 天然气脱水方法	(133)
第四节 天然气露点测试与控制	(141)
第五节 集气站的增压	(146)
第六节 天然气置换技术	(151)
第七节 天然气管道检测技术	(156)
第八节 天然气集输管线的防腐技术	(165)
第九节 气田集输模式案例	(171)
第十节 天然气集输技术发展前景	(190)
第五章 设备管理与故障处理	(192)
第一节 井口装置	(192)

第二节	水套加热炉	(208)
第三节	分离设备	(218)
第四节	脱水装置	(223)
第五节	注醇设备	(240)
第六节	压缩机	(242)
第七节	发电机	(259)
第八节	清管技术	(262)
第九节	气田常用阀门	(269)
第六章	天然气计量与自动控制技术	(280)
第一节	流量计量仪表	(280)
第二节	压力计量仪表	(287)
第三节	温度计量仪表	(290)
第四节	液位计	(292)
第五节	计量技术	(297)
第六节	自动控制技术	(302)
参考文献		(320)

第一章 气井完井与气井测试工艺技术

第一节 气井完井

气井按照钻井一般分为直井、定向井、水平井和分支井,如图 1-1 所示。

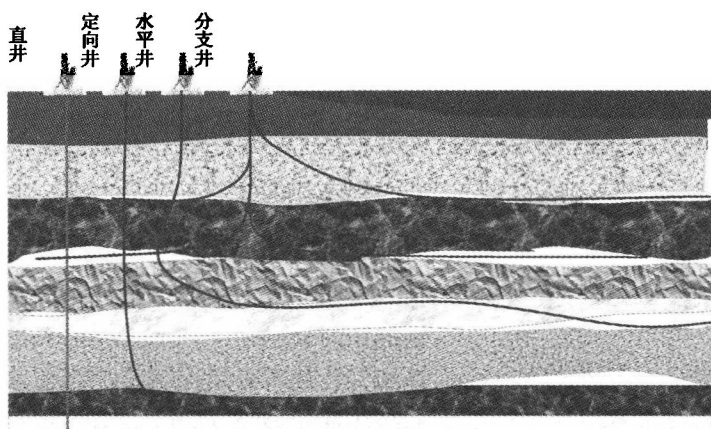


图 1-1 气井的分类

一、常规气井(直井)的完井方法

常规气井的完井方法有裸眼完井、衬管完井、射孔完井、尾管完井等四种。

(一)裸眼完井

钻到气层顶部后停钻,下气层套管固井,再用小钻头钻开气层。裸眼完井时气层完全是裸露的。

裸眼完井法的优点是:气层完全暴露,气体流动的阻力小;在同样的地层条件下,气井的无阻流量高;由于单井产量高,开发气田需要的总井数就少,降低了开发费用和采气成本;对裂缝性气层,裸眼完井可以使裂缝充分暴露,而射孔完井时要射到裂缝上就相当困难。

裸眼完井的缺点是:气层中有夹层水时不能被封闭,采气时气水互相干扰;裸眼段地层容易垮塌,不能进行选择性地增产措施。

裸眼完井主要适用于坚硬、不易垮塌的无夹层水的裂缝性石灰岩气层。

(二)衬管完井

衬管完井是改进了的裸眼完井,有裸眼完井的优点,又防止了地层垮塌。衬管用割缝套管(缝宽 5~8mm,长 100mm)或钻有圆孔(孔径 5~10mm)的套管制成。衬管用悬挂器挂在上层套

管的底部或直接坐在井底。

(三)射孔完井

钻完气层后下气层套管固井,然后用射孔枪在气层射孔,射孔弹穿过套管和水泥环射入气层,形成若干条人工通道,让天然气进入井筒。

射孔完井和裸眼完井的优缺点刚好相反,主要应用于易垮塌的砂岩气层或要进行选择性增产措施的气层。对底水气藏和气水关系复杂的气层,通常采用射孔完井。

(四)尾管完井

钻完气层后下尾管固井。尾管用悬挂器挂在上层套管的底部(一般互相重复 50 ~ 100m),用射孔枪射开气层。尾管完井具有射孔完井的优点,又节省了大量套管,尾管顶部还装有回接接头,必要时还可回接套管一直到井口。尾管完井特别适用于探井,因为探井对气层有无工业价值情况不明,下套管有时会造成浪费。

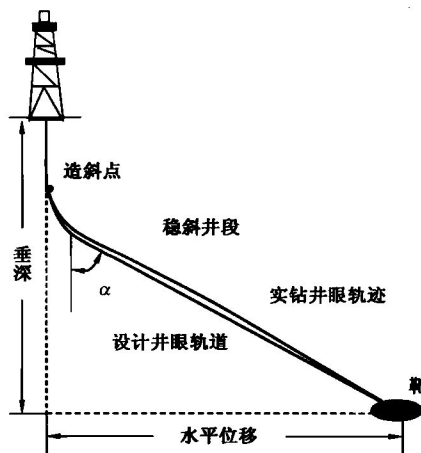


图 1-2 定向井示意图

二、定向井及水平井完井

(一)定向井

1. 定向井的定义

定向井技术是当今世界油气勘探开发领域最先进的钻井技术之一,它是使用特殊井下工具、测量仪器和工艺技术有效控制井眼轨迹,使钻头沿着特定方向钻达地下预定目标的钻井工艺技术,如图 1-2 所示。

2. 定向井的分类

随着定向钻井技术的发展,定向井的种类越来越多。

1) 按设计井眼轴线形状分

(1) 二维定向井:井眼轴线在某个铅垂平面上变化的定向井,井斜变化,方位不变化。

(2) 三维定向井:井眼轴线在三维空间变化的定向井,井斜变化,方位变化,可分为三维纠偏井和三维绕障井。

2) 按设计最大井斜角分

(1) 低斜度定向井:井斜小于 15° ,钻井时井斜、方位不易控制,钻井难度大。

(2) 中斜度定向井:井斜在 $15^\circ \sim 45^\circ$ 之间,钻井时井斜、方位易控制,钻井难度相对较小,是使用最多的一种。

(3) 大斜度定向井:井斜在 $45^\circ \sim 85^\circ$ 之间,斜度大,水平位移大,增加了钻井难度和成本。

(4) 水平井:井斜在 $85^\circ \sim 120^\circ$ 之间,钻井相对较难,需要特殊设备、钻具、工具、仪器。

3) 按钻井的目的分

按钻井目的可将定向井分为救援井、多目标井、绕障井、多底井等。

4) 按一个井场或平台的钻井数分

(1) 单一定向井。

(2) 双筒井: 一台钻机钻出井口相距很近的两口定向井。

(3) 丛式井(组): 在一个井场或平台上钻出几口或几十口定向井和一口直井。

(二) 水平井

1. 水平井的定义

如图 1-3 所示, 水平井是指井眼轨迹达到水平以后, 井眼继续延伸一定长度的定向井。这里所说的“达到水平”是指井斜角达到 90° 左右, 并非严格的 90° ; “延伸一定长度”一般是指在油气层里延伸, 并且延伸的长度要大于油气层厚度的 6 倍。据研究, 只有在油气层延伸的长度大于油气层厚度的 6 倍, 水平井才有经济效益。

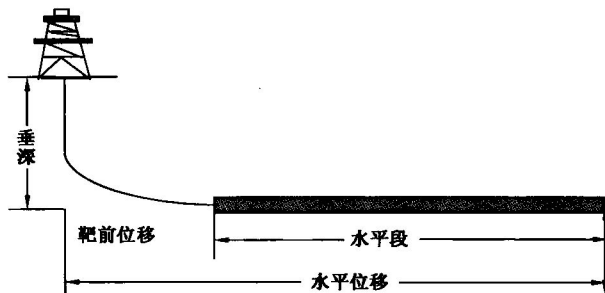


图 1-3 水平井示意图

2. 水平井的适用范围

(1) 用于水锥气藏, 以减少水锥。

(2) 用于天然裂缝储层, 以增加钻遇裂缝的概率。

(3) 用于低渗透地层, 以提高单井产量。

(4) 用于薄层气藏, 以提高开采效益。

(5) 用于不规则气藏, 以减少钻井数。

(6) 用于低产能气藏, 以降低流动阻力。

此外, 水平井还应用于热采油藏、煤层气和稠油油藏以及保护环境和解决钻井经济效益的问题。

(三) 分支井

1. 分支井的定义

分支井指在一个主井眼(直井、定向井、水平井)中钻出两个或两个以上的井眼(定向井、水平井、波浪式分支井)的井, 也指在一个垂直井(新井、老井)中侧钻出两个或两个以上井底的井。

2. 分支井的分类

(1) 按井型分为分支定向井和分支水平井。

(2)按钻井方式分为新井预开窗分支井和老井侧钻分支井。新井预开窗分支井是在地面将套管加工出窗口,然后下入井中并固井,再下入斜向器从预开窗处侧钻分支井的井。

(3)按造斜半径分为长半径分支井、中半径分支井、短半径分支井、超短半径分支井。

3. 分支井的适用范围

(1)用多个分支水平井眼替代设计水平位移较大的水平井。

(2)地面为环境敏感地区,不允许建多个井场。

(3)层状气层体系、断块或孤立油气藏、衰竭油气藏、低渗油气藏、天然裂缝油气藏和存在一个或多个垂向不渗透隔层的油气藏。

(4)老井侧钻。

(5)井槽数受限的海上平台。

(四)定向井与水平井完井工艺

目前定向井与水平井主要完井方式有射孔完井、裸眼完井、筛管完井、带管外封隔器的完井等。

1. 射孔完井

完全钻开水平井段油气层,下套管固井后,对准产层射孔打开目的层。

1) 射孔完井方式

射孔完井包括套管固井射孔完井和尾管固井射孔完井。

套管固井射孔完井有利于避开夹层水、底水,可实施水平段分段射孔、试气、采气和进行选择性增产措施,如图1-4所示。

尾管固井射孔完井有利于提高固井质量和保护油气层,最大限度地降低对油气层的污染,保持油气井产能,如图1-5所示。

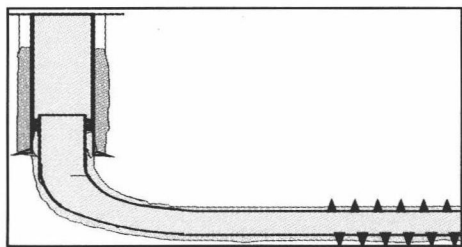


图1-4 套管固井射孔完井

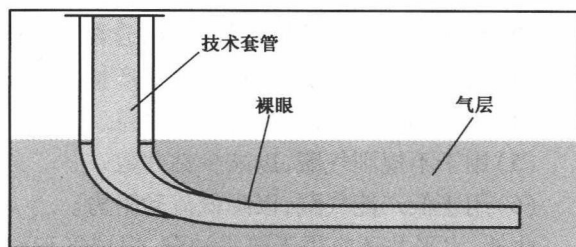


图1-5 尾管固井射孔完井

2) 射孔完井的优缺点

(1)优点:有效分隔层段,可避免层段之间窜通和干扰;可以实施生产控制、生产检测和任何选择性增产作业。

(2)缺点:成本相对较高;储层受水泥浆的污染;要求较高的射孔操作技术。

3) 射孔完井的适用条件

(1)要求实施高度层段分隔的开发储层。

(2)要求实施增产作业的储层。

(3) 裂缝性砂岩储层。

2. 裸眼完井

生产套管下至预计的水平段顶部,注水泥固井封隔。然后换小一级钻头钻水平井段至设计长度完井,如图 1-6 所示。

1) 裸眼完井的优缺点

(1) 优点:成本最低;储层不受水泥浆污染和损害;产量损失最少;使用裸眼封隔器可以实施生产控制和分隔层段作业。

(2) 缺点:疏松砂岩井壁可能坍塌;难以避免层段之间的窜通和干扰;可选择的增产措施有限,如不能进行水力压裂作业。

2) 裸眼完井的适用条件

(1) 岩石坚硬致密、井壁稳定不坍塌的储层。

(2) 不要求层段分隔的储层。

(3) 天然裂缝性碳酸盐岩或硬质砂岩。

(4) 短或极短曲率半径的水平井。

3. 筛管完井

将筛管悬挂在技术套管上,依靠悬挂封隔器封隔管外的环形空间,如图 1-7 所示,主要用于碳酸盐岩或硬质砂岩储层。

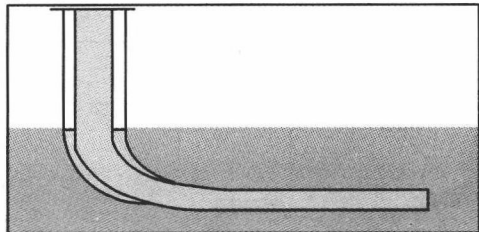


图 1-6 裸眼完井

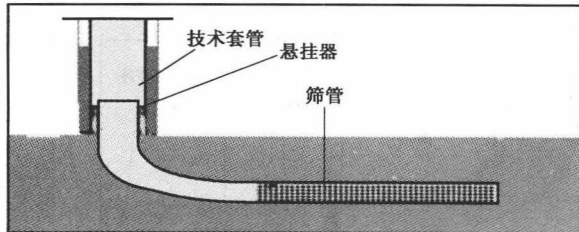


图 1-7 筛管完井

1) 筛管完井的优缺点

(1) 优点:成本相对较低;储层不受固井水泥浆污染;可防止井眼坍塌和产层出砂。

(2) 缺点:不能实施层段分隔,因而不可避免层段之间的窜通和干扰;无法实施选择性增产措施。

2) 技术关键

解除钻井液对地层流通通道及筛管的堵塞。通过替浆和酸洗,彻底清洗裸眼井壁,然后再充以完井保护液。

3) 筛管完井的适用条件

(1) 井壁不稳定、有可能发生坍塌的储层。

(2) 不要求层段分隔的储层。

(3) 天然裂缝性碳酸盐岩或硬质砂岩。

4. 带管外封隔器的完井

1) 带管外封隔器的完井优缺点

(1) 优点: 成本相对中等; 储层不受水泥浆污染; 依靠管外封隔器实施层段分隔, 可在一定程度上避免层段之间窜通和干扰; 可以实施生产控制、生产检测和选择性增产作业。

(2) 缺点: 管外封隔器分隔层段的有效程度取决于水平井井眼的规则程度、封隔器的坐封、密封件的耐压及耐温等因素。

2) 完井方法分类

带管外封隔器完井分为带管外封隔器的滑套完井, 带管外封隔器的筛管完井, 造斜段注水泥、带管外封隔器的筛管完井, 造斜段注水泥、水泥充填封隔器分段完井。

(1) 带管外封隔器的滑套完井。

依靠管外封隔器实现层段的分隔, 用滑套沟通井筒和地层。这两种工具的多重组合可将地层分隔为多段, 实现选择性完井。这种工艺主要用于非均质、岩性多变储层及多个生产层井段, 如图 1-8 所示。

(2) 带管外封隔器的筛管完井。

这种工艺将管外封隔器技术与筛管完井及井眼清洗技术结合在一起。为保护产层, 提高水平井产能, 对水平井井身结构进行修改。钻井程序由二开改为三开。二开钻到产层顶部, 下技术套管固井; 三开专打产层。相应地采用水平井尾管悬挂、裸眼封隔器分段筛管完井, 如图 1-9 所示。

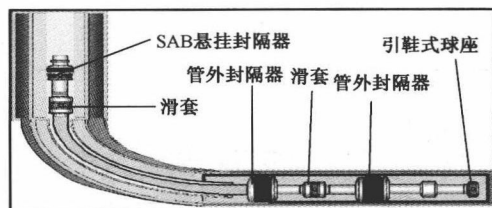


图 1-8 带管外封隔器的滑套完井

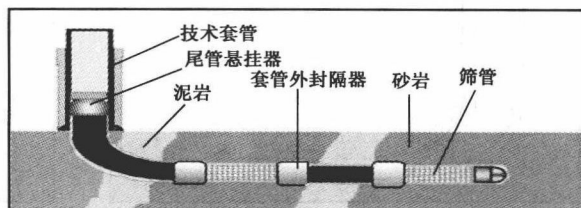


图 1-9 带管外封隔器的筛管完井

(3) 造斜段注水泥、带管外封隔器的筛管完井。

首先对造斜段注水泥固井, 然后钻固井盲板, 最后下入洗井酸化胀封管柱, 对产层进行洗井和酸化, 解除产层污染, 沟通流通通道, 胀封水平段封隔器, 实现水平井造斜段注水泥加筛管完井, 如图 1-10 所示。

(4) 造斜段注水泥、水泥充填封隔器分段完井工艺。

如图 1-11 所示, 技术特点是:

① 与常规水力胀封裸眼封隔器比较, 该完井技术变橡胶密封为长效的实体密封, 可避免因压力、温度、化学腐蚀造成的任何密封失效, 使用寿命大于 15a, 密封体的封隔能力可达 120MPa。

② 与固井比较, 水泥充填封隔器完井技术能更有效地实现层间隔离, 避免产层污染。

③ 封隔器长度有限, 如果层间压差大或压裂作业, 容易形成井壁一侧旁通。为此, 要求封

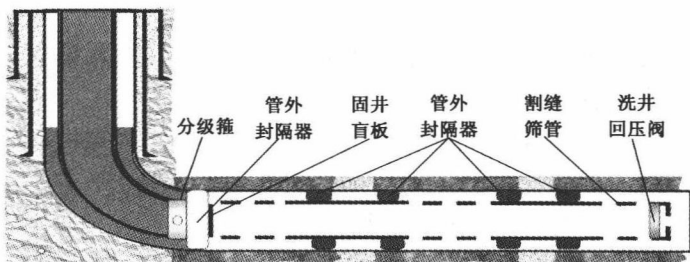


图 1-10 造斜段注水泥、带管外封隔器的筛管完井

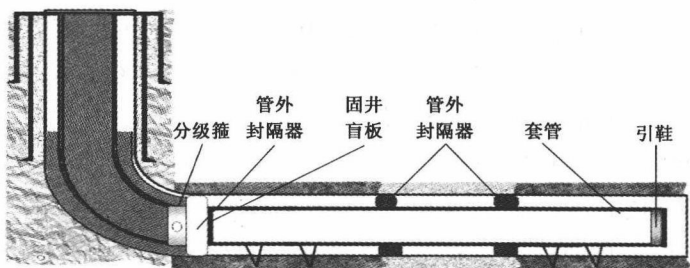


图 1-11 造斜段注水泥、水泥充填封隔器分段完井

隔器下入位置在致密、稳定的井段。

3) 带管外封隔器(ECP 的筛管完井)的适用条件

- (1) 要求不用注水泥实施层段分隔的开发储层。
- (2) 要求实施层段分隔但不要求水力压裂的储层。
- (3) 井壁不稳定、有可能发生井眼坍塌的储层。
- (4) 天然裂缝性或横向非均质的碳酸盐岩或硬质砂岩。

三、气井完井工艺新技术

(一) 含酸气井的完井技术

在国外含 H_2S 、 CO_2 酸性气体的气井均采用带井下安全阀的永久式封隔器完井管柱。井下防腐采用材质防腐(耐蚀合金钢)以及缓蚀剂防腐(碳钢+化学剂注入工艺)两种方案,气层套管和完井管柱采用金属螺纹密封。

(二) 大产量气井的完井技术

目前,国外对于大产量气井的完井管柱主要遵循如下原则:

- (1) 要实现高压气井管柱的有效密封。
- (2) 降低气流冲蚀的影响。
- (3) 确保管柱安全可靠,满足长期生产需要。
- (4) 有利于简化施工程序和气藏保护,节约施工费用,提高单井产能。

(三)智能完井技术

智能完井是通过各系统在不动井下设备的情况下实时连续监测、采集、处理并反馈井下数据,实时优化生产,提高采收率。

智能完井技术在北海、墨西哥湾、西非、阿曼、印度尼西亚、委内瑞拉等地区得到广泛应用,包括海下油气井、深水井、多分支井、大位移井等。贝克石油工具公司、斯伦贝谢公司、哈里伯顿能源服务公司、Roxar 有限公司等拥有该项技术。

(四)膨胀式筛管完井技术

1990 年初,Royal Dutch Shell 公司就开始了膨胀式筛管完井可行性研究。膨胀式防砂筛管(ESS)已显示出强大的生命力,正在逐渐取代应用广泛的裸眼完井和砾石充填完井。

2002 年 9 月第一次成功地将可膨胀管技术应用于单一直径井试验,2005 年 6 月 Weatherford 已经对 340 口井进行了 ESS 系统的安装,膨胀总量达到 65000m。C. Jones 等人对已应用的 340 口井进行统计分析表明,应用 ESS 技术比 SAS 和 OHGP 的井表皮系数小而产能高得多,并且 ESS 保持低表皮系数的时间更长。

(五)水平井的完井技术

水平井应用的主要目的是穿越裂缝和降低水锥进。在低渗气藏中(含低渗碳酸盐岩地层),采取有效的增产措施是水平井完井取得经济性成功的关键。加拿大 Wild River 致密气藏从 2001 年正式大规模进行开发,到目前该气藏的完井工艺共经历了 7 个重要的阶段:

- 第 1 个阶段是初始完井阶段;
- 第 2 个阶段是进行 2 个以上的产层同时开采;
- 第 3 个阶段是引入永久封隔器以利于完井后的压裂增产施工;
- 第 4 个阶段是采用复合桥塞并引入连续油管钻穿桥塞的工艺;
- 第 5 个阶段是在压裂工艺上的改变;
- 第 6 个阶段是采用高能压裂液进行压裂;
- 第 7 个阶段是设计出压裂液返排的新工艺。

(六)分支井的完井技术

20 世纪 90 年代后,分支井技术进入快速发展时期。1997 年,在苏格兰阿伯丁举行了“技术进步—多分支井”论坛,将多分支井完井系统分为 6 级:

级别 1:裸眼—无支撑连接,主井眼和水平井眼都是裸眼段或在两个井眼中用悬挂器悬挂割缝衬管。

级别 2:主井眼下套管并固井,水平井眼或裸眼或以悬挂方式下割缝衬管。

级别 3:主井眼下套管并固井;水平井眼下套管但不固井,用悬挂器将水平尾管锚定在主井眼上。

级别 4:主井眼和水平井眼都下套管并注水泥。主井眼和水平井眼在连接处都注水泥。

级别 5:在连接处进行压力密封。在不能固井的情况下,用完井方法进行密封。

级别 6:在连接处进行压力密封。在不能固井的情况下,用套管进行密封。

第二节 气井试井

一、气井试井的概念及目的

(一)气井试井的有关概念

1. 气井试井的概念

气井试井是指通过改变气井的工作制度,同时测量气井的产量、压力及其与时间的关系等资料,用渗流理论来研究气井、气藏生产性能和动态的一种现场试验方法。它与地质、地球物理方法配合,构成认识和合理开发气藏的重要手段。

2. 气井的工作制度

气井在一定的工作制度下生产,包括产量、气井生产压差、水气比、井口针形阀开度等内容,通常有定产量、定井口压力、定生产压差、定井口针阀开度等几种。

3. 气井的产量

气井的产量是指单位时间内天然气通过井口的数量,又称流量。

(1)气井的绝对无阻流量:指气井产层井段所受回压为 1atm ($1\text{atm} = 101325\text{Pa}$) 时气井能生产的气量。

(2)气井的无阻流量:当井口绝对回压为 1atm 时气井能生产的气量,也称井口无阻流量。无阻流量是衡量气井初期产能大小、气藏有无工业开采价值的重要参数。

4. 气井试气

在钻井中或完井后,对可能出气层位进行射孔,降低井内液柱压力(气层所受的压力),使地层内的流体流入井内,并测定流体的性质及流动规律,这一整个过程叫做试气。

5. 气井试采

试气后,有工业开采价值的新气井在正式投产前有一个试生产过程,这个试生产过程称为气井试采。试气时所取得的试井资料是在较短的时间得到的。在一定时间内,气井是否保持试气时的试井结果,还得通过试采阶段来证实,以便进一步对气井作出评价,为制订气藏开发方案提供可靠的资料。

(二)气井试井的目的

(1)求得气井的产气方程(指数式、二项式)和绝对无阻流量,从而了解气井产能等,以便为气井分析、确定气井合理工作制度和进行动态预测提供依据。

(2)确定产层的物性参数,如渗透率(K)、流动系数(Kh/μ)和地层系数(Kh)、堵塞比 D ,判断气藏的边界、边水及波及半径。

(3)为气藏动态提供基础资料,及时了解气井的压力衰竭情况。完钻后试井可以决定下一步措施。

(4)了解增产措施及一些特殊作业(如酸化、压裂、注气、排水、修井等)的效果。

二、气井试井类型

气井试井分稳定试井和不稳定试井两类。

(一)稳定试井

1. 稳定试井原理

稳定试井是流体在地层中稳定渗流时的试井,主要是指气井的系统试井,也包括不关井回压法试井、经验性的一点法试井等。

稳定试井的原理是:稳定生产时,气体在地层中处于平面径向稳定渗流,其产量与生产压差的关系遵守指数式和二项式产气方程。因此,可以在气井的正常生产状态下,人为地改变气井的工作制度,测得每个工作制度下稳定时的产量和压力,以此求解气井的产气方程,借以研究地层,分析气井、气藏动态。

2. 稳定试井应收集的资料

1) 静态资料

静态资料是表明气藏原始状态的资料,包括气层中部深度、井口常年平均温度、地热增温率、井口装置和井身结构、天然气气样分析资料、流量计计算有关数据,以及有关生产和地质资料。

2) 动态资料

动态资料是气井和气藏生产状态的资料,包括:

(1) 气井关井恢复压力的井口油压、套压随时间变化的数据,最大关井压力和实测气层中部压力。

(2) 各工作制度下稳定时的油压、套压、静压、差压、气流温度及井底流动压力实测值。

(3) 各工作制度下井口油压、套压、气流温度、产量随时间变化的数据。

(4) 各工作制度下的油、气、水、砂产量及产出流体分析,油、气、水界面的变化情况等。

3. 稳定试井的工艺步骤

稳定试井一般分为放喷、关井测压和稳定测试三个过程。

4. 稳定试井资料的整理和应用

稳定试井资料整理的任务是从原始资料中求得地层压力、每个工作制度下的稳定产量和井底流动压力。资料的整理方法主要有表格法和作图法,下面主要介绍一下作图法。二项式采气指示曲线如图 1-12 所示。

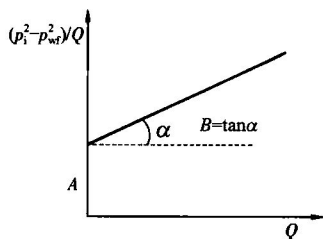


图 1-12 二项式采气指示曲线

气井的二项式方程为:

$$p_i^2 - p_{wf}^2 = AQ + BQ^2$$

以 $(p_i^2 - p_{wf}^2)/Q$ 为纵坐标,以 Q 为横坐标,将各测点测得的 $(p_i^2 - p_{wf}^2)/Q$ 与 Q 值绘于坐标图上,连接各点得一直线,此直线为 $(p_i^2 - p_{wf}^2)/Q$ 与 Q 的关系曲线。直线的截距为 A 值,直线的斜率 $(\tan \alpha)$ 为 B 值。求得 A 、 B 值后令 $p_{wf} = 0.1 \text{ MPa}$,就可求出气井的无阻流量。