

主 编 张 煜
副主编 汪庐山 邓敦夏

石油勘探开发知识读本丛书

采油工艺

连经社 王树山 编



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

石油勘探开发知识读本丛书(张煜 主编)

采油工艺

连经社 王树山 编

中国石化出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

采油工艺 / 连经社, 王树山编. —北京:
中国石化出版社, 2011. 4
(石油勘探开发知识读本丛书/张煜主编)
ISBN 978-7-5114-0866-2

I. ①采… II. ①连…②王… III. ①石油开采-基
本知识 IV. ①TE35

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 055927 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、
抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所
有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京宏伟双华印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

850 × 1168 毫米 32 开本 6.375 印张 144 千字

2011 年 4 月第 1 版 2011 年 4 月第 1 次印刷

定价: 20.00 元

《石油勘探开发知识读本丛书》

编委会

主 编：张 煜

副主编：汪庐山 邓敦夏

成 员：宋开利 程天阁 王金汤

石新立 刘召海 张之悦

李德胜 段崇聚 王树山

程庆昭 李玉美 王会珍

前 言

我国石油石化行业目前实行的上中下游一体化管理运作模式，要求该行业各级管理和工作人员必须对上中下游企业的基本生产运行方式能够有所了解，才能有针对性地做出决策，使工作部署更符合企业实际。同时，由于油气田勘探开发的复杂性，即使是上游企业的管理和工作人员，往往也缺乏对油气田勘探开发全貌的认识。为满足石油石化行业一体化运作模式需要，提高各级管理和工作人员的管理与决策水平，促进上中下游管理和工作人员之间的沟通交流，中国石化出版社组织立项规划了这套《石油勘探开发知识读本》系列丛书，并将陆续出版。

《石油勘探开发知识读本》系列丛书共 12 个分册，包括：

- | | |
|-----------|-------------|
| 1.《石油勘探》 | 2.《石油地质》 |
| 3.《石油钻井》 | 4.《测录井》 |
| 5.《试油试气》 | 6.《采油工艺》 |
| 7.《提高采收率》 | 8.《油水井增产措施》 |
| 9.《井下作业》 | 10.《油水井大修》 |
| 11.《油气集输》 | 12.《采油安全生产》 |

这套丛书的内容以油气田勘探开发过程为主线，全方位介绍油气田勘探开发基础知识。考虑到本系列图书的读者对象主要是非石油专业人员，因此重点突出油田勘探开发知识的广度，不强求深度，使各级管理和工作人员能够快速便捷地了解石油

勘探开发的全过程，初步掌握油气田勘探开发的相关基础知识，增强管理决策的科学性。同时，也为石油石化行业以外的读者提供了一个了解油气田勘探开发知识的窗口。

这套丛书由中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司副总经理张煜任主编，胜利油田采油工艺研究院副院长汪庐山和中国石化出版社副总编邓敦夏任副主编，负责整套丛书的总体规划、制定编写要求、遴选各分册编写及审查人员，以及丛书各分册的审定。

各分册分别由中国石化胜利油田胜利采油厂职工教育培训中心、井下作业公司职工教育培训中心、黄河钻井总公司职工教育培训中心等单位负责组织编写。

《采油工艺》由胜利油田胜利采油厂职工教育培训中心负责编写，第一章 采油基础，由王树山、朱月平、董玉红编写；第二章 油田注水，由王树山、张莉编写；第三章 油层改造，由王树山、田莉莉编写；第四章 稠油开采，由王树山，杨林编写；第五章 提高油藏采收率，由王树山、张莉编写；第六章 采油生产安全，由王树山、孔丽编写。最后全书由王金汤、石新立、段崇聚等同志统稿。

由于水平的限制，书中难免有错误和疏漏，恳请广大读者提出宝贵意见。

目 录

第一章 采油基础	(1)
一、编制油田开发方案	(1)
二、采油生产管柱	(4)
三、自喷采油	(6)
四、有杆泵采油	(10)
五、电潜泵采油	(33)
第二章 油田注水	(43)
一、油田注水开发	(43)
二、水源与水质处理	(45)
三、注水井生产管柱	(49)
四、地层吸水能力分析	(50)
五、地层吸水能力的改善措施	(55)
六、注水井的管理	(56)
第三章 油层改造	(60)
一、水力压裂	(60)
二、油层酸化	(66)
三、物理法增产增注	(74)
第四章 稠油开采	(79)
一、稠油特性及开采方法	(79)
二、水蒸气、油藏流体和岩石的热性质	(83)
三、蒸汽吞吐采油	(91)
四、蒸汽驱采油	(95)

五、注蒸汽采油设备	(97)
六、注蒸汽系统水处理	(108)
七、注汽系统传热分布	(109)
八、注蒸汽新兴技术	(114)
九、火烧油层采油	(117)
十、稠油井降黏举升工艺	(122)
第五章 提高油藏采收率	(134)
一、基本概念	(134)
二、聚合物驱	(135)
三、碱驱	(137)
四、表面活性剂驱	(138)
五、复合驱	(140)
六、混相驱	(142)
七、其他	(146)
第六章 采油生产安全	(148)
一、石油企业的安全管理	(148)
二、油气防火防爆	(156)
三、硫化氢防护	(159)
四、安全用电	(165)
五、压力容器安全管理	(171)
六、劳动保护及工业防护	(180)
参考文献	(194)

石油开采是石油工业的重要组成部分，其任务是根据国民经济发展对石油的需求，在确保采油速度、提高油藏采收率的前提下，坚持经济效益最大化的原则，采用先进的科学技术，尽可能多地将石油从地下开采出来。石油开采一般经过石油勘探、开发和集输等过程，是一门多学科的综合性的工程技术。作为一名石油工作者，应全面掌握开发理论和开发技能，用先进的开发技术和管理理念，合理地经营油气藏、管理油气井，确保较高的油藏采收率。

第一章

采油基础

经石油勘探确定油藏具有工业开采价值，准备投入大规模油气开发时，必须根据勘探资料编制科学合理的油田开发方案，确定适合油田特点的开发方式和开采工艺，确保获得最大的油藏原油最终采收率和生产经营效益的最大化，并按开发方案对油田进行建设和投产，使油田按预定的生产能力和经济效益长期生产，直至油田开发结束。

一、编制油田开发方案

所谓编制油田开发方案，就是依据详探成果和必要的生产性开发实验，在综合研究的基础上，对具有工业开采价值的油田，按照石油市场的需要，从油田的实际情况和生产规律出发，以提高油藏原油最终采收率和生产经营效益最大化为目的，制

定合理开发方案的过程。

油田开发方案的制定和实施是油田开发的中心环节，直接关系到油田开发的经济效益。因此，必须科学地制定完整、详细的方案，并对各种可行性方案进行认真的评价和全面的对比，最终确定出技术先进、科学合理、经济高效、切实可行的方案来规范油田的开发。

（一）油田的开发原则

油田开发必须依据一定的技术方针来进行。同时，针对所开发油田的具体情况和所掌握的工艺手段与建设能力，坚持科学合理的开发原则。

（1）确定合理的采油速度和稳产期限。

（2）选择适合油田特点的开采方式，并对开采方式的转化作出规定。

（3）精细划分开发层系。

（4）规划合理的开发步骤：①设计必要的基础井网；②确定生产井网和编制射孔方案；③编制注、采方案。

（5）制定合理的布井原则。

（6）确定适应油藏特点，满足生产需求的采油工艺技术和增注措施。

同时，必须对层间和平面的产量接替、稳产措施以及必要的重大开发试验等作出相应的规定。

（二）油田开发层系的划分

1. 划分层系的意义

（1）有利于充分发挥各类油层的作用。

（2）有利于部署井网和规划生产设施。

（3）有利于适应采油工艺技术发展的需求。

（4）有利于调整油田开发方案。



2. 划分开发层系的原则

原石油总颁发的《开发条例》中明确规定：多油层油田的不同含油气层段，如具有以下地质条件时，原则上不应该合并到同一个层系中开发。

- (1) 储油层岩性和物性差异较大。
- (2) 油气的物理、化学性质不同。
- (3) 油层的压力系统和驱动类型不同。
- (4) 油层的层数太多而且含油井段的差别过大。

3. 划分开发层系的方法步骤

(1) 研究掌握油层特性。

(2) 研究各类油砂体特性，了解合理划分与组合开发层系的地质基础。

(3) 确定划分开发层系的基本单元(油层组)。

(4) 对已开发地区进行油砂体动态分析，为合理划分与组合开发层系提供生产实践依据。

(5) 综合对比，选择层系划分与组合的最优方案。

(6) 及时对开发层系进行调整。

(三) 油田开发方案的编制与调整

1. 油田开发方案的编制内容

油田开发方案，是在详探和生产试验的基础上，经过对油藏静态、动态等资料进行充分研究后而制定的，用以指导开发区投入长期正常生产的纲领性文件。一套完整的油田开发方案应包括以下内容：

- (1) 油田地质情况。
- (2) 油田地质储量。
- (3) 油田开发原则。
- (4) 油田开发程序。



- (5) 开发层系、井网、开发方式、注采系统。
- (6) 钻井和完井方法。
- (7) 采油工艺技术。
- (8) 开采指标。
- (9) 经济技术分析。
- (10) 实施要求。

2. 油田开发方案的调整

一套完整的开发方案，在制定时对油田地质情况和开发规律等进行了认真、详细、全面的对比分析，力求开发方案尽可能符合实际，但由于各方面的局限性，使得油田生产动态与方案设计往往出现不吻合现象。同时，油田开发过程是一个复杂的动态变化过程，往往原方案设计在开始阶段可能是合理的，但随着油田开发的进行，油藏中各种矛盾暴露出来，使得原有开发方案的可操作性产生了偏差。因此，在油田生产开发过程中必须对开发方案不断进行调整，以适应油田生产发展的需要。也就是说，整个油田开发的过程是一个不断认识和不断调整的过程。根据不同的调整对象和目的，调整的内容主要有层系调整、井网调整、生产制度调整、驱动方式调整和开采工艺调整。

二、采油生产管柱

我国大多数油田是属于非均质、多油层油田，油藏内各层之间会存在不同程度的物性差异。因此，在开采时为了避免层间矛盾，充分合理地发挥各油层的潜能，取得较高的采收率，就必须进行分层开采。在现场，人们通常采用封隔器及其一些配套的井下工具组配成适合油井地质条件的工艺管柱，达到实现分层开采、分层测试、分层管理、分层研究、分层改造等分层工艺措施的目的。

(一) 常用下井工具

1. 封隔器

封隔器是在套管里封隔油层，进行井下分采的重要工具。它的主要原件是胶皮筒，通过机械和水力的作用，使胶皮筒膨胀密封油套环形空间，把上、下油层分隔开，达到某种施工目的。封隔器的种类很多，归纳起来有自封式、压缩式、楔入式、扩张式四种。

2. 其他配套下井工具

1) 泄油器

泄油器是抽油泵的一种配套工具，在起下油管时，泄油器可以使油套管连通，将油管内的液体泄到油套环形空间，减少井场污染。目前，常用的泄油器有 KZJ-90 和 KTG-90 两种。

2) 气锚

气锚装在泵的入口处，作用是在井下流体进入泵前将部分气体分离出来，减少泵内气体的数量，通过提高泵的充满系数来提高泵效。

3) 油管锚

抽油机井在抽油泵的上部 10m 左右处接上油管锚的目的是锚定泵筒以上油管，以减小因活塞在上、下冲程中油管承受交变载荷所造成的冲程损失，同时也可防止因交变载荷所造成的油管断脱事故。

(二) 采油生产管柱

油井生产管柱由油管、井下采油设备、井下工具以及配套工具组合而成，在油气开采过程中起着举足轻重的作用。生产管柱不仅建立井底到井口的产液流动通道，而且可以通过调整管柱结构实现油井生产方案的实施，同时帮助完成油水井维修、油层改造等作业施工，还可以通过油井生产管柱图正确指导油



井生产分析、制定生产调整方案和油井的作业施工。油田常用的采油生产管柱有全井生产管柱、封上采下生产管柱、封下采上生产管柱、封两头采中间生产管柱和封中间采两头生产管柱。

三、自喷采油

当钻穿油层完井后，地层能量比较大，埋藏在地层深处的原油，在生产压差（地层压力与井底压力之差）的作用下，从油层渗流到井底，又在井底压力的作用下从井底举升到地面。这种完全依靠地层天然能量克服重力及流动阻力而被举升到地面的生产方式称为自喷采油。

（一）油井自喷的基本原理

1. 油井自喷的流动过程

在自喷井生产系统中，油气从地层流到地面计量站，一般要经过四个基本流动过程：

- （1）地层渗流：油气从地层到井底的流动。
- （2）井筒管流：油气从井底到井口的流动。
- （3）嘴流：通过油嘴的流动，以控制油井生产压差。
- （4）地面管线中的流动（多为水平管流）：从井口到计量站的流动。

油井自喷的四种流动过程，处于同一流动系统内，前后流动过程之间相互联系，相互制约。前一流动过程的末端压力，就是后一流动过程的始端压力。

2. 油井自喷的能量来源

- （1）油水区岩石和液体的弹性能。
- （2）水柱压力能。
- （3）油流自身的位能。
- （4）气体的膨胀能。包括：①气顶气的膨胀能；②含油区



溶解气的膨胀能；③自由气的膨胀能；④井筒原油中析出的溶解气的膨胀能。

在实际生产过程中，油井往往不只是依靠一种能量自喷的，而是在不同压力和地质条件下各种能量发挥不同作用的综合结果。

3. 油井自喷过程中的能量消耗

(1) 地层渗流能耗。

(2) 垂直管流能耗。包括：①重力损失；②摩擦损失；③滑脱损失。

(3) 嘴流能耗。

(4) 水平管流能耗。

4. 油井自喷条件

油井自喷的条件是能量供给大于能量消耗。

(二) 自喷井合理工作制度的确定

油井合理工作制度的确定，也就是确定油井合理的生产压差。管好生产压差才能管到油层中去，以控制油层中油水的流动，并控制注采平衡，进而挖掘油层的生产潜力。确定油井工作制度时应坚持以下原则：

(1) 保持较高的采油速度。

(2) 保持注采压力平衡，使油井有旺盛的自喷能力。

(3) 保持采油指数稳定，不断改善油层的流动系数。

(4) 保持水线均匀推进，无水采油期长，见水后含水上升速率慢。

(5) 充分利用地层能量，又不破坏油层结构。

(6) 对于饱和压力较高的油田，应控制合理的流饱压差。

考虑了上述各项要求后所确定的工作制度可认为是合理的。但是“合理”是相对的，工作制度应随着生产情况和技术状况的



变化而改变。在生产过程中，应在既能充分发挥油层潜力，又不破坏地层结构和注采关系的前提下，根据油井生产条件的变化和原油生产的需求，随时控制和调整油井工作制度。

（三）自喷井的分层开采

为开发好多油层非均质油田，现场经过反复实践探索出一条以单管分层注水为中心、“六分四清”的油田分层开采工艺和技术。

“六分”是分层注水、分层采油、分层测试、分层研究、分层管理、分层改造。

“四清”是分层采油量清、分层注水量清、分层压力清、分层出水量清。

“六分四清”的实质是：在注水井和采油井分别按照井下各个层段性质上的差异，将各个层段隔开，进行分层定量控制注水和分层定量控制采油，在此基础上进行分层研究和分层管理。分层开采是调整层间矛盾、层内矛盾以及平面矛盾，促进水线推进由“不均匀”向“均匀”转化，提高驱油效率的一项重要措施。

（四）防蜡与清蜡

石油是一种多组分的碳氢化合物的混合物，其相态随开采条件（压力和温度）的不同而变化，既可以是单相的液体，也可以是气-液-固三相共存。其中，固态物质主要是含碳原子数为 16 ~ 64 的烷烃，即 $C_{16}H_{34} \sim C_{64}H_{130}$ ，这种物质叫石蜡。

油井结蜡是指从原油中结晶析出的石蜡与原油中沥青质、胶质、泥砂等杂质混合聚集而成的黑色固体或半固体状态的物质粘附在油管壁上的现象。

油井结蜡增加了油井管理和作业的工作量，也增大了井下事故发生的几率，甚至会堵塞油气流通通道，使油井减产和停产。



因此，必须研究结蜡规律、弄清结蜡原因，并在实践中完善和探索出一些新的清蜡与防蜡工艺技术。

1. 油井结蜡的规律

(1) 原油蜡含量越高，油井结蜡越严重。

(2) 油田开采后期往往比初期严重。

(3) 在相同开采条件下，稀油往往比稠油结蜡严重。

(4) 低产井及井口油温较低的井结蜡严重；反之，则结蜡不严重或不结蜡。

(5) 油井工作制度改变，结蜡点深度也改变，缩小油嘴，结蜡点上移；反之，结蜡点下移。

(6) 在油井见水后，低含水阶段结蜡严重；当含水量升高到一定程度后结蜡减轻。

(7) 表面粗糙及清蜡不彻底的油管容易结蜡。

(8) 出砂井易结蜡。

(9) 自喷井结蜡严重的位置既不在井口，也不在井底，而是在油井的一定深度上。

(10) 有杆泵抽油井结蜡往往从油井下部就开始，最易结蜡的位置是在深泵的阀罩和进口处，或在泵筒以下的尾管处。随着开采中压力和温度的进一步下降，结蜡将向井底延伸，甚至蔓延到油层部位。

2. 影响结蜡的因素分析

油井结蜡一般要经过蜡的结晶析出和聚集黏附两个过程，因而，影响油井结蜡的主要因素有以下几个方面：

(1) 原油性质与含蜡量。

(2) 原油中的胶质和沥青质。

(3) 压力和溶解气。

(4) 原油中的水和机械杂质。