



采油技术手册

(第三版)

罗英俊 万仁溥 主编

上册

Handbook of
Petroleum
Production
Technology



石油工业出版社

Handbook of Petroleum Production Technology

策划编辑：张卫国 章卫兵
责任编辑：咸玥瑛 章卫兵
 方代焯 贾 迎
 何 莉 王金凤
封面设计：赛维玉
责任校对：黄京萍

ISBN 7-5021-4787-X



9 787502 147877 >

ISBN 7-5021-4787-X/TE · 3352

定价：85.00 元

采油技术手册

(第三版)

上册

罗英俊 万仁溥 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本手册详细地介绍了采油工程的有关原理、概念、公式、数据、技术和设备等,共分16章,一个附录。内容系统、全面,资料数据准确、翔实。

本手册可作为油气田开发、生产管理及工程技术人员的案头工具书,也可供有关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

采油技术手册·上册/罗英俊、万仁溥主编. —3版.
北京:石油工业出版社,2005.3

ISBN 7-5021-4787-X

I. 采…

II. ①罗②万…

III. 石油开采-技术手册

IV. TE355-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第101744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.cn

总 机:(010)64262233 发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2005年3月第3版 2005年3月第6次印刷

850×1168毫米 开本:1/32 印张:33.125

字数:888千字 印数:13001—18000册

书号:ISBN 7-5021-4787-X/TE·3352

定价:85.00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

出版者前言

《采油技术手册》是我社的品牌书之一，也是广大油气田开发生产方面的科研人员、技术人员、管理人员的案头必备工具书。该书内容涵盖了采油工程系统的各个专业分支，包括自喷采油、人工举升、注水工程、射孔、压裂酸化、堵水调剖、防砂、防腐、防垢、油井清防蜡、稠油开采、油水井大修、生产测井、封隔器及井口装置、油气水计量、物理法采油等方面的基本知识、基本公式、基本设备、成熟技术、基本数据与图表，同时附有通用管材数据、常用物理化学数据和单位换算数据等。

《采油技术手册》第一版于1977年出版；十几年后第二版（10分册）陆续出版，于1994年出齐。目前该书已经重印3次以上，8000多套，在采油工程系统起到了重要的作用。但这两个版本的图书已经使用了10~20多年，书中部分内容和已经不完善或过时，需要进行补充和修订。为此，我们重新修订、编写《采油技术手册（第三版）》，以满足广大石油工程技术人员和管理人员的工作需要。鉴于我社出版的姐妹篇《采油工程手册》主要阐述了采油工程基本技术和基本理论，本次重新编写的《采油技术手册（第三版）》不再叙述过多理论，主要编写采油技术人员或科研人员所需的技术规范、常用公式、数据表格、曲线图表等内容，突出数据资料全、实用性和可操作性。

《采油技术手册（第三版）》编写出版历时两年多，参加编写的专家、教授和工程技术人员上百人，来自全国三大石油公司和相关的石油院校。他们的学术和技术水平以及辛勤的劳动，保证了本书的科学性、先进性和实用性，在此对他们表示诚挚的感谢！

石油工业出版社

2004年11月

总 目 录

上 册

第一章	自喷采油	(1)
第二章	人工举升	(55)
第三章	注水工程	(543)
第四章	稠油开采	(722)
第五章	射孔	(843)
第六章	水力压裂	(881)

下 册

第七章	酸化及酸压裂技术	(1045)
第八章	油田堵水调剖技术	(1126)
第九章	防砂	(1174)
第十章	油井清蜡、防蜡	(1286)
第十一章	防腐防垢	(1331)
第十二章	物理法增产技术	(1405)
第十三章	油水井大修	(1430)
第十四章	封隔器	(1472)
第十五章	生产测井	(1589)
第十六章	油、气、水计量	(1723)
附录 A	通用石油管材	(1827)
附录 B	绳索类	(1943)
附录 C	常用单位换算	(1949)
附录 D	常用数据	(1955)
跋		(1976)

目 录

上 册

第一章 自喷采油	(1)
第一节 油井自喷原理	(1)
一、自喷井的能量供给与消耗.....	(1)
二、流入特性.....	(2)
三、井筒多相管流动计算.....	(15)
四、嘴流特性.....	(25)
第二节 自喷井生产系统分析	(29)
一、自喷井生产系统组成.....	(29)
二、自喷井节点分析.....	(31)
三、间歇自喷.....	(43)
第三节 分层开采	(44)
一、分层开采的目的.....	(44)
二、分层开采的方法.....	(45)
第四节 自喷井的管理	(49)
一、合理生产压差的确定.....	(49)
二、自喷井常发生问题的分析与处理.....	(52)
第二章 人工举升	(55)
第一节 人工举升方式优选方法	(55)
一、人工举升方式的适应性.....	(55)
二、人工举升方式选择方法.....	(56)
第二节 有杆泵采油系统	(61)
一、抽油机及其拖动装置.....	(61)
二、深井泵.....	(102)

三、抽油杆柱·····	(139)
四、有杆泵抽油系统常用计算·····	(165)
五、有杆泵抽油系统设计步骤和方法·····	(182)
六、有杆泵抽油系统诊断技术及测试仪器·····	(191)
第三节 潜油电泵系统·····	(202)
一、井下机组主要部件·····	(205)
二、地面主要设备·····	(213)
三、电力传送部分·····	(215)
四、潜油电泵的选择·····	(218)
五、电泵设备的技术参数及图表·····	(227)
六、潜油电泵井的管理·····	(244)
七、潜油电泵配套工艺技术·····	(256)
第四节 水力活塞泵抽油系统·····	(278)
一、概述·····	(278)
二、水力活塞泵配套设备及专用工具·····	(280)
三、动力液·····	(321)
四、水力活塞泵抽油系统的设计与参数计算·····	(324)
五、水力活塞泵抽油井的管理与维护·····	(331)
第五节 水力射流泵·····	(347)
一、概述·····	(347)
二、射流泵的结构及机理·····	(350)
三、射流泵应用及常用公式和计算步骤·····	(351)
四、射流泵井录取资料及常见故障和排除·····	(365)
五、水力射流泵应用实例·····	(370)
第六节 气举采油·····	(372)
一、气举井管柱结构及油井装置·····	(372)
二、气举阀·····	(381)
三、气举采油地面工艺流程及注气设备·····	(401)
四、气举井设计相关公式及图表·····	(411)
五、气举井的诊断与故障处理·····	(461)

第七节 地面驱动螺杆泵	(467)
一、螺杆泵采油系统的组成	(467)
二、螺杆泵主要部件的工作原理及功能	(468)
三、地面驱动井下单螺杆泵施工设计步骤	(526)
四、地面驱动螺杆泵的作业施工及维护管理	(536)
参考文献	(541)
第三章 注水工程	(543)
第一节 注水流程	(543)
一、大型离心泵注水站流程	(543)
二、小型离心泵注水站流程	(543)
三、柱塞泵注水、配水、增压站流程	(543)
四、一井一泵流程	(543)
第二节 注水设备	(547)
一、高压离心泵	(547)
二、大型电机	(581)
三、柱塞泵	(585)
四、高压离心式注水电泵	(618)
五、变频器	(621)
六、稀油站	(634)
七、注水用仪表	(636)
八、过滤器	(656)
第三节 注水常用计算公式	(675)
一、注水管道壁厚计算	(675)
二、注水管道水力摩阻计算	(678)
三、有关注水效率计算	(679)
第四节 注入水水质标准	(683)
一、各类储层水质标准	(683)
二、注入水配伍原则	(684)
第五节 分层注水工具和管柱	(686)
一、分层注水封隔器	(686)

二、配水器·····	(689)
三、球与球座·····	(696)
四、分层配水管柱·····	(700)
第六节 分层配水技术·····	(707)
一、分层注水指示曲线、嘴损曲线和管损曲线·····	(707)
二、分层配水嘴选配、调整·····	(709)
第七节 分层测试及验封技术·····	(711)
一、分层流量测试·····	(711)
二、分层压力测试·····	(714)
三、分层注水管柱验封、校深、定位·····	(715)
第八节 注水井试注与转注·····	(719)
一、试、转注前的准备工作·····	(719)
二、试、转注的步骤·····	(720)
参考文献·····	(720)
第四章 稠油开采 ·····	(722)
第一节 概述 ·····	(722)
一、稠油分类标准·····	(722)
二、蒸汽等热物理参数计算公式、参数表·····	(723)
三、稠油的热物理性质·····	(733)
四、油藏岩石的热物理特性·····	(736)
五、蒸汽吞吐开发筛选标准·····	(739)
六、蒸汽驱开发筛选标准·····	(740)
七、稠油油藏水平井开采概述·····	(740)
第二节 注蒸汽热采完井技术 ·····	(744)
一、套管设计·····	(744)
二、套管预应力完井方法·····	(748)
第三节 地面注汽设备与技术 ·····	(752)
一、蒸汽发生器及主要配套设备·····	(752)
二、热采井口装置·····	(761)
三、井口热胀补偿器·····	(764)

四、高温高压汽—水分离器·····	(764)
第四节 注蒸汽系统热损失和隔热技术 ·····	(767)
一、热传递方式·····	(767)
二、地面热量、干度与压力损失·····	(767)
三、井筒热损失、套管温度及井底蒸汽干度·····	(770)
四、隔热油管·····	(780)
五、井下工具·····	(781)
第五节 热采助排、堵调及井筒降粘工艺 ·····	(788)
一、化学剂助排技术·····	(788)
二、化学调剖与堵水·····	(789)
三、分注选注工艺·····	(790)
四、井筒化学降粘·····	(792)
五、掺稀油降粘技术·····	(794)
六、井筒热流体循环降粘工艺·····	(794)
七、电加热抽稠油工艺·····	(796)
八、注采一次管柱·····	(801)
第六节 稠油出砂冷采 ·····	(804)
一、开采机理·····	(806)
二、出砂冷采的油藏地质条件及开采特征·····	(812)
三、完井工艺及油层处理技术·····	(816)
四、抽油泵及井下工具·····	(819)
五、井筒降粘技术·····	(827)
六、地面集输及混砂液处理技术·····	(832)
参考文献 ·····	(838)
第五章 射孔 ·····	(843)
第一节 射孔方式选择 ·····	(843)
一、电缆输送射孔工艺 (WCG) ·····	(843)
二、电缆输送过油管射孔 (TTP) ·····	(844)
三、油管输送射孔 (TCP) ·····	(849)
第二节 油管输送射孔与不同作业联作工艺 ·····	(852)

一、油管输送射孔与投产联作·····	(852)
二、油管输送射孔和地层测试联作·····	(853)
三、油管输送射孔与压裂、酸化联作·····	(855)
四、油管输送射孔与高能气体压裂联作·····	(855)
五、油管输送射孔与防砂联作及大孔径射孔·····	(857)
六、超高压正压射孔工艺(正向冲击)·····	(858)
七、水平井射孔工艺·····	(860)
第三节 射孔工艺选择与射孔参数确定·····	(862)
一、射孔工艺选择·····	(862)
二、完井对射孔参数的选择·····	(866)
第四节 射孔弹与射孔枪·····	(870)
一、聚能射孔弹及技术特性·····	(870)
二、射孔枪·····	(871)
第五节 射孔液·····	(875)
一、射孔液的伤害机理·····	(875)
二、常用射孔液体系及其选择和使用·····	(876)
参考文献·····	(880)
第六章 水力压裂 ·····	(881)
第一节 压裂液·····	(881)
一、压裂液的选择·····	(881)
二、压裂液的基本类型·····	(881)
三、水基压裂液添加剂及典型配方·····	(883)
四、油基压裂液添加剂及典型配方·····	(901)
五、泡沫压裂液添加剂及典型配方·····	(902)
六、清洁胶束压裂液添加剂及典型配方·····	(906)
七、压裂液的性能、评价方法和评价标准·····	(906)
八、压裂液的优化设计·····	(918)
第二节 支撑剂·····	(924)
一、支撑剂的类型·····	(925)
二、支撑剂的物理性质、评价方法与评价标准·····	(930)

三、支撑剂裂缝的导流能力及其试验测定·····	(935)
四、影响裂缝导流能力的因素·····	(936)
五、中国现用支撑剂的试验评价结果·····	(943)
六、支撑剂的优选·····	(943)
第三节 压裂设计及其优化·····	(949)
一、压裂设计的基本任务·····	(950)
二、压裂设计参数·····	(950)
三、压裂设计计算·····	(952)
四、压裂设计的优化·····	(961)
第四节 压裂工艺技术·····	(967)
一、分层压裂技术·····	(968)
二、高砂比压裂技术·····	(986)
三、端部脱砂压裂技术·····	(993)
四、重复压裂技术·····	(997)
五、CO ₂ 泡沫压裂技术·····	(1000)
六、强制闭合技术·····	(1003)
第五节 高能气体压裂增产技术·····	(1006)
一、高能气体压裂机理·····	(1006)
二、高能气体压裂弹·····	(1010)
三、高能气体压裂适用范围及施工工艺·····	(1016)
四、高能气体压裂设计·····	(1021)
五、液体火药高能气体压裂·····	(1025)
六、高能气体压裂联作技术·····	(1031)
七、高能气体压裂测试·····	(1035)
八、岗位职责及安全技术规程·····	(1038)
参考文献·····	(1043)

第一章 自喷采油

按油层能量是否充足，可将举升方式分为自喷和人工举升。油层能量充足时，完全依靠油层本身的能量将油举升到地面的方式称为自喷采油。当油层能量较低时，可采用人工给井筒流体增加能量的方法将油从井底举升到地面上来，即采用人工举升方式。自喷采油过程包含四个流动过程：从油层流到井底的单相径向渗流或混气渗流；从井底到井口的垂直多相或单相管流；通过油嘴流动的嘴流以及沿地面管道流动的多相水平管流。

第一节 油井自喷原理

一、自喷井的能量供给与消耗

在原油采出过程中，四种流动过程之间相互联系又相互影响。对某一油层来说，在一定开采阶段，油层压力相对稳定于某一数值，如果改变井底流压就可改变产量大小，井底流压变大，则产出量就要减少。可见油从油层流入井底的过程中，井底流压是阻力，而对油气在垂直管上升过程来说，井底流压则是把油气举出地面的动力。同样，井口油管压力对油气在井内垂直管流来说是一个阻力，而对嘴流来说又是动力。可以说，以上四种流动过程是相互联系的同—动力系统，其中井底流压及井口油管压力是两个关键的压力。

有效地利用能量，减小能量消耗是分析、管理油井的重要基础，消耗能量的大小主要表现为压力的损失。四种流动过程的压力损失情况如下：

(1) 地层渗流。当井底流压高于饱和压力时为单相流动；当井底流压低于饱和压力时井底附近为多相渗流。在从油层渗流入

井过程中的压力损失占油层至分离器总压力损失的 10%~15%。当油层渗透率高时，井底附近无污染，单相流动，流体粘度小，则渗滤损失小，反之则渗滤大。为了减少渗滤损失，除钻开油层是要求油层无污染外，在油井生产管理中应尽量控制井底流压，实现在油层中为单相流动。此外，还可采取合理的增产措施改善井底附近油层的渗透率。

(2) 油井垂直管流。压力损失占总压力损失的 30%~80%。

(3) 嘴流。油气通过油嘴节流后的压力损失占总压力损失的 5%~30%。

(4) 出油管线流动。压力损失一般占总压力损失的 5%~10%。

从以上四种流动过程的压力损失可看出，其中油井垂直管流压力损失所占比例最大。

二、流入特性

油井流入动态是指油井产量与井底流动压力的关系，它反映了油藏向该井供油的能力。表示产量与流压关系的曲线称为流入动态曲线 (Inflow Performance Relationship Curve)，简称 IPR 曲线，也称指示曲线 (Index Curve)。典型的流入动态曲线如图 1-1 所示。

1. 单相液体的流入动态

在供给边缘压力不变的圆形地层中心一口井的产量公式为：

$$q_o = \frac{2\pi K_o h (\bar{p}_r - p_{wf})}{\mu_o B_o \left(\ln \frac{r_e}{r_w} - \frac{1}{2} + S \right)} \times 86.4 \quad (1-1)$$

对于圆形封闭地层，产量公式为：

$$q_o = \frac{2\pi K_o h (\bar{p}_r - p_{wf})}{\mu_o B_o \left(\ln \frac{r_e}{r_w} - \frac{3}{4} + S \right)} \times 86.4 \quad (1-2)$$

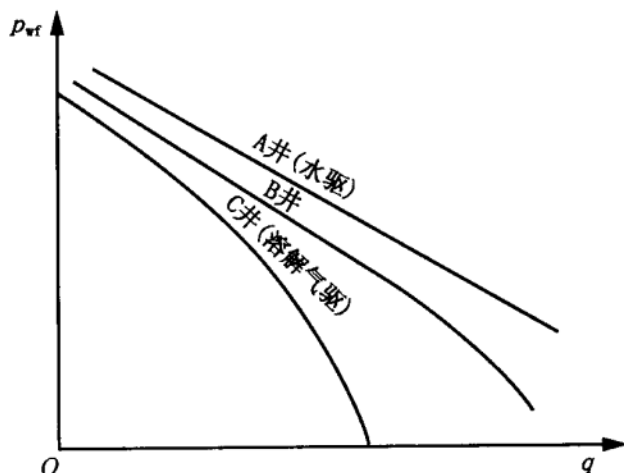


图 1-1 典型的油井流入动态曲线

- 式中 q_o ——油井产量（地面）， m^3/d ；
 K_o ——油层有效渗透率， μm^2 ；
 B_o ——原油体积系数，无量纲；
 h ——油层有效厚度， m ；
 μ_o ——地层油的粘度， $mPa \cdot s$ ；
 p_e ——边缘压力， MPa ；
 \bar{p}_r ——井区平均油藏压力， MPa ；
 p_{wf} ——井底流动压力， MPa ；
 r_e ——油井供油（泄油）边缘半径， m ；
 r_w ——井眼半径， m ；
 S ——表皮系数，无量纲。

在单相流动条件下，上述产量公式（1-2）可写成：

$$q_o = J(\bar{p}_r - p_{wf}) \quad (1-3)$$

$$J = \frac{2\pi K_o h}{\mu_o B_o \left(\ln X - \frac{3}{4} + S \right)} \times 86.4 \quad (1-4)$$

$$J = \frac{q_o}{(\bar{p}_r - p_{wf})} \quad (1-5)$$

J 为采油指数，它是一个反映油层性质、厚度、流体参数、完井条件及泄油面积等与产量之间关系的综合指标，其数值等于单位生产压差下的油井日产油量。

当油井产量很高时，在井底附近将出现非达西渗流，根据渗流力学中的非达西渗流二项式，油井产量和生产压差之间的关系可用下面的二项式表示：

$$\bar{p}_r - p_{wf} = Cq + Dq^2 \quad (1-6)$$

其中

$$C = \frac{\mu_o B_o (\ln X - \frac{3}{4} + S)}{2\pi K_o h \times 86.4}$$

$$D = 1.3396 \times 10^{-13} \frac{\beta B_o^2 \rho}{4\pi^2 h^2 r_w}$$

式中 \bar{p}_r ——井区平均油藏压力，kPa；
 p_{wf} ——井底流动压力，kPa；
 q ——油井产量（地面）， m^3/d ；
 K_o ——油层有效渗透率， μm^2 ；
 h ——油层有效厚度，m；
 μ_o ——地层油粘度， $mPa \cdot s$ ；
 B_o ——原油体积系数，无量纲；
 r_w ——井眼半径，m；
 X ——位置系数，由泄油面积、形状及油井的位置确定；
 ρ ——原油密度， kg/m^3 ；
 D ——紊流系数， $kPa / (m^3/d)^2$ ；
 β ——紊流速度系数， $1/m$ 。

胶结地层的紊流速度系数为：