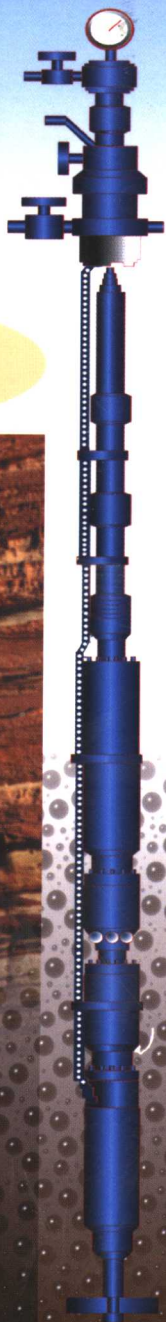


梅思杰 邵永实 刘 军 师世刚 主编

# 潜油电泵技术

(下册)



石油工业出版社  
Petroleum Industry Press

# 潜 油 电 泵 技 术

(下 册)

梅思杰 邵永实 刘 军 师世刚 主编

石油工业出版社

## 内 容 提 要

潜油电泵技术是根据二十多年来我国应用潜油电泵所取得的成果和经验,结合国内外应用潜油电泵的新理论、新发展编写的,着重于现场实际应用。主要叙述潜油电泵采油技术及潜油电泵井的管理。共包括潜油电泵采油基础知识、潜油电泵抽油时机及其发展概况、潜油电泵的选择、潜油电泵的安装、潜油电泵井的管理、潜油电泵井系统分析、潜油电泵配套工艺技术等七章内容。

本书主要面向油田从事潜油电泵设计制造、检修、采油工作的管理和初、中级技术人员。也可作为大专院校在校学生和职工培训的教学参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

潜油电泵技术(下册)/梅思杰等主编.

北京:石油工业出版社,2004.7

ISBN 7-5021-4680-6

I. 潜…

II. 梅…

III. 深井潜油泵

IV. TE933

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 050619 号

潜油电泵技术(下册)

梅思杰 邵永实 刘 军 师世刚 主编

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

总 机:(010)64262233 发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心

印 刷:北京密云华都印刷厂印刷

2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月第 1 次印刷

850×1168 毫米 开本:1/32 印张:24.625

字数:335 千字 印数:1-3000 册

全套定价:75.00 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

## 《潜油电泵技术》编委会

主 任：杨元建

副主任：刘新合 梅思杰

成 员：李秀思 张 斌 邵永实 房永奇 刘 军  
师世刚 姚德来 李 斌 李庆杰 潘蔼生  
邓 辉 孟宪军 金超英

## 《潜油电泵技术》编写人员

主 编：梅思杰 邵永实 刘 军 师世刚

编写人员：

上 册：刘 军 邓 辉 董振刚 刘宇蕾 金超英  
史忠武 唐凤锐 殷红雯 孟宪军 庞向东  
李大虎 朴雪峰

下 册：师世刚 孟宪军 潘东临 李运福

制图校对：纪玉芬 赵 英 李春香

# 前 言

随着我国石油工业发展和油田开发的需要,应用机械采油方法提高油田采油速度和最终采收率,是整个油田开发过程中的一个重要步骤。潜油电泵作为一种重要的机械采油设备,由于它具有其他机械采油设备所没有的特点,在油田的开采上起着越来越重要的作用,其采油工艺技术得到不断完善和发展。选用潜油电泵大排量采油,是油田长期稳产的重要手段之一。

为了使油田从事潜油电泵采油的工程技术人员更好地掌握潜油电泵采油工艺技术,适应潜油电泵技术发展的需要,结合国内外潜油电泵的使用情况,编写了《潜油电泵技术》一书,系统介绍了潜油电泵的设计、制造检修,油井选择设计、现场安装、应用管理、系统分析及配套工艺技术等。

在本书的编写过程中,得到了大庆油田力神泵业有限公司(原大庆石油管理局潜油电泵技术服务公司)及大庆油田有限责任公司各采油厂有关人员的大力协作和支持,在此一并表示衷心的感谢。特别是在成书的过程中得到了原大庆油田有限责任公司开发部孙冠杰的指导和审校,在此表示衷心的感谢。

由于潜油电泵在我国应用的时间还比较短,使用经验不够丰富,限于作者的业务水平,在本书中如有不当之处和错误,敬请使用者和其他读者批评指正,以便在今后进一步充实和完善。

《潜油电泵技术》编委会

2004年3月

# 目 录

|                  |      |
|------------------|------|
| 第十一章 潜油电泵采油基础知识  | (1)  |
| 第一节 采油工艺基础知识     | (1)  |
| 一、油井生产时的四种流动过程   | (1)  |
| 二、井液在油层中的渗流      | (3)  |
| 三、垂直管流           | (5)  |
| 四、常用名词解释         | (7)  |
| 第二节 油井流入动态       | (8)  |
| 一、单相液体的流入动态      | (10) |
| 二、油、气两相渗流时的流入动态  | (11) |
| 三、油藏类型           | (13) |
| 第三节 水力学基础知识      | (14) |
| 一、流体的概念          | (14) |
| 二、密度、重度和相对密度     | (15) |
| 三、压力、压头和压力梯度     | (17) |
| 四、流体的流速、层流和紊流    | (18) |
| 五、粘度             | (18) |
| 六、雷诺数            | (20) |
| 七、流线和流管          | (20) |
| 八、压缩性和膨胀性        | (21) |
| 九、液体的表面性质        | (22) |
| 十、液体的空气分离压力与汽化压力 | (23) |
| 十一、作用在流体上的力      | (23) |

|                                    |      |
|------------------------------------|------|
| 十二、流体静力学·····                      | (24) |
| 十三、稳定流分析——质量、动量及能量守恒·····          | (28) |
| 复习题·····                           | (30) |
| <b>第十二章 潜油电泵抽油时机分析及其发展概况</b> ····· | (31) |
| 第一节 潜油电泵的特点·····                   | (31) |
| 一、各种升举方法的优缺点·····                  | (32) |
| 二、潜油电泵的优点·····                     | (34) |
| 三、潜油电泵的缺点·····                     | (34) |
| 第二节 潜油电泵抽油时机分析·····                | (35) |
| 一、生产特性·····                        | (35) |
| 二、流体特性·····                        | (37) |
| 三、井筒特性·····                        | (38) |
| 四、油藏特性·····                        | (38) |
| 五、经济效果·····                        | (40) |
| 六、其他因素·····                        | (41) |
| 第三节 潜油电泵发展概况·····                  | (43) |
| 一、潜油电泵制造水平·····                    | (44) |
| 二、潜油电泵应用水平·····                    | (45) |
| 三、潜油电泵新技术发展·····                   | (46) |
| 四、潜油电泵井的自动化管理·····                 | (50) |
| 复习题·····                           | (51) |
| <b>第十三章 潜油电泵的选择</b> ·····          | (52) |
| 第一节 选泵资料及程序·····                   | (52) |
| 一、油井原始资料·····                      | (53) |
| 二、油井生产数据·····                      | (53) |
| 三、其他资料·····                        | (53) |
| 第二节 气体计算·····                      | (54) |

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 一、溶解气油比·····           | (55)  |
| 二、天然气体积系数·····         | (56)  |
| 三、油层原油体积系数·····        | (57)  |
| 四、泵吸入口气液比·····         | (57)  |
| 第三节 油井产能预测 ·····       | (60)  |
| 一、油井流入动态特性方法·····      | (61)  |
| 二、相对采油指数方法·····        | (70)  |
| 三、压力幂指数方法·····         | (72)  |
| 第四节 潜油电泵的选择 ·····      | (76)  |
| 一、设备轴向最大投影尺寸·····      | (76)  |
| 二、潜油电泵表面流速的计算·····     | (77)  |
| 三、油井总动压头的计算·····       | (78)  |
| 四、潜油电泵的选择·····         | (79)  |
| 五、选泵时的粘度校正·····        | (83)  |
| 六、选泵计算举例·····          | (88)  |
| 第五节 变速潜油电泵的选择 ·····    | (91)  |
| 第六节 组合式潜油电泵的选择 ·····   | (95)  |
| 复习题 ·····              | (99)  |
| 第十四章 潜油电泵的安装·····      | (100) |
| 第一节 潜油电泵的安装形式·····     | (100) |
| 一、注—采系统 ·····          | (100) |
| 二、增压泵系统 ·····          | (103) |
| 三、底部吸入口系统 ·····        | (104) |
| 四、底部排出口系统 ·····        | (105) |
| 第二节 潜油电泵施工专用工具及设备····· | (106) |
| 一、电缆滚筒及支架 ·····        | (106) |
| 二、导向滑轮 ·····           | (107) |



|                      |       |
|----------------------|-------|
| 三、吊卡及井口悬挂器 .....     | (108) |
| 四、注油泵 .....          | (108) |
| 五、拉紧钳及锁紧钳 .....      | (108) |
| 六、电缆施工保温房 .....      | (109) |
| 第三节 潜油电泵的安装 .....    | (110) |
| 一、施工准备及井场布置 .....    | (110) |
| 二、安装前的检查 .....       | (110) |
| 三、井下设备的安装 .....      | (111) |
| 四、地面设备的安装 .....      | (115) |
| 第四节 潜油电缆的连接 .....    | (117) |
| 第五节 潜油电泵井口的安装 .....  | (118) |
| 一、Ⅰ型电泵井口 .....       | (118) |
| 二、Ⅱ型电泵井口 .....       | (119) |
| 三、井口电缆穿越器 .....      | (120) |
| 第六节 潜油电泵井的投产 .....   | (121) |
| 一、定频控制 .....         | (121) |
| 二、变频控制 .....         | (122) |
| 第七节 潜油电泵井起泵作业 .....  | (125) |
| 复习题 .....            | (126) |
| 第十五章 潜油电泵井的管理 .....  | (127) |
| 第一节 潜油电泵井工作制度 .....  | (127) |
| 一、间歇生产 .....         | (127) |
| 二、连续生产 .....         | (128) |
| 第二节 日常管理及应取资料 .....  | (131) |
| 一、潜油电泵井应取得的资料 .....  | (131) |
| 二、潜油电泵井的清蜡和测气 .....  | (132) |
| 三、潜油电泵井的集中监控系统 ..... | (133) |

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 四、潜油电泵井经济技术指标 .....          | (134) |
| 五、设备的正常维护保养 .....            | (136) |
| 六、潜油电泵井的调参 .....             | (137) |
| 第三节 常见故障判断及处理 .....          | (137) |
| 第四节 影响潜油电泵工作特性的因素 .....      | (143) |
| 一、含气液体对潜油电泵工作特性的影响 .....     | (144) |
| 二、液体粘度对潜油电泵工作特性的影响 .....     | (147) |
| 三、供电系统不完善性对潜油电泵工作特性的影响 ..... | (150) |
| 四、井底温度对潜油电泵工作特性的影响 .....     | (154) |
| 五、砂、蜡及其他杂质对潜油电泵工作特性的影响 ..... | (155) |
| 六、地层供液不足对潜油电泵工作特性的影响 .....   | (156) |
| 第五节 潜油电泵井压力系统的调整 .....       | (157) |
| 一、压力系统的确定界限 .....            | (157) |
| 二、注采比的计算 .....               | (158) |
| 三、压力系统的调整 .....              | (159) |
| 第六节 潜油电泵井系统管理 .....          | (160) |
| 一、潜油电泵系统管理的建立及主要内容 .....     | (161) |
| 二、潜油电泵系统管理的主要特点 .....        | (162) |
| 三、潜油电泵井系统管理工作制度及具体内容 .....   | (162) |
| 复习题 .....                    | (170) |
| 第十六章 潜油电泵井系统分析 .....         | (171) |
| 第一节 潜油电泵井生产分析 .....          | (171) |
| 一、采油指数变化分析 .....             | (172) |
| 二、地层压力变化分析 .....             | (172) |
| 三、油井产液状况分析 .....             | (174) |
| 第二节 运行电流卡片的分析 .....          | (176) |
| 一、正常运行的电流卡片 .....            | (176) |

|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| 二、电源电压波动的电流卡片 .....                | (177) |
| 三、泵发生气塞时的电流卡片 .....                | (178) |
| 四、泵抽空时的电流卡片 .....                  | (179) |
| 五、泵抽空后不合理启动的电流卡片 .....             | (180) |
| 六、频繁的短周期运行的电流卡片 .....              | (181) |
| 七、泵在含气井中运行的电流卡片 .....              | (181) |
| 八、欠电流停泵的电流卡片 .....                 | (183) |
| 九、欠载保护失灵的电流卡片 .....                | (184) |
| 十、延时时间太短的电流卡片 .....                | (185) |
| 十一、正常过载停机的电流卡片 .....               | (186) |
| 十二、泵在含有杂质的井液中运行的电流卡片 .....         | (187) |
| 十三、手动强制再启动的电流卡片 .....              | (187) |
| 十四、负载波动的电流卡片 .....                 | (188) |
| 第三节 潜油电泵井节点分析 .....                | (189) |
| 一、潜油电泵井生产系统及压降分析 .....             | (190) |
| 二、潜油电泵井节点分析原理及方法 .....             | (193) |
| 三、节点分析方法在潜油电泵井的应用 .....            | (197) |
| 第四节 潜油电泵井动态控制分析图制作原理及应用 .....      | (201) |
| 一、供采协调原理与 $p_{wf}-\eta$ 的相关性 ..... | (201) |
| 二、流压与压头的关系 .....                   | (204) |
| 三、流压与排量效率的关系 .....                 | (207) |
| 四、控制图区域的划分及其供采关系 .....             | (207) |
| 第五节 潜油电泵井泵况诊断分析 .....              | (209) |
| 一、憋压诊断方法的基本概念 .....                | (209) |
| 二、憋压诊断方法的基本原理 .....                | (210) |
| 三、憋压数据的现场测取方法 .....                | (217) |

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| 四、憋压方法诊断分析实例 .....       | (218) |
| 第六节 潜油电泵井系统效率计算及分析 ..... | (225) |
| 一、系统效率计算与测试 .....        | (225) |
| 二、系统效率分析 .....           | (229) |
| 三、提高系统效率的措施 .....        | (234) |
| 复习题 .....                | (235) |
| 第十七章 潜油电泵配套工艺技术 .....    | (236) |
| 第一节 机械分采不压井作业工艺技术 .....  | (236) |
| 一、不压井分采管柱的组成及工作原理 .....  | (237) |
| 二、不压井分采管柱的施工工艺 .....     | (242) |
| 第二节 测试工艺技术 .....         | (244) |
| 一、PHD 测试装置 .....         | (246) |
| 二、PSI 测试装置 .....         | (248) |
| 三、YJ 系列测试装置 .....        | (252) |
| 四、潜油电泵测压阀 .....          | (253) |
| 五、“Y”型测试工具 .....         | (257) |
| 六、液面测试及计算 .....          | (259) |
| 第三节 防气工艺技术 .....         | (264) |
| 一、套管放气阀 .....            | (264) |
| 二、串联式双级分离器 .....         | (267) |
| 第四节 冬季施工工艺技术 .....       | (269) |
| 一、电缆保温及其设备 .....         | (270) |
| 二、保护器保温及注油 .....         | (271) |
| 三、电机保温 .....             | (271) |
| 四、电缆头连接时的保温 .....        | (271) |
| 第五节 加深泵挂工艺技术 .....       | (272) |
| 一、大套管井中加深泵挂工艺技术 .....    | (272) |

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| 二、小套管井中加深泵挂工艺技术 .....    | (275) |
| 第六节 定向井潜油电泵采油工艺技术 .....  | (277) |
| 一、定向井潜油电泵施工及运行的可行性 ..... | (278) |
| 二、定向井潜油电泵施工保护装置 .....    | (280) |
| 第七节 电气保护工艺技术 .....       | (283) |
| 一、潜油电泵稳压变压器 .....        | (283) |
| 二、潜油电泵降压启动装置 .....       | (285) |
| 三、绝缘监测定点保护装置 .....       | (289) |
| 第八节 潜油电泵打捞工艺技术 .....     | (291) |
| 一、潜油电泵断脱的基本类型 .....      | (291) |
| 二、潜油电泵打捞工具 .....         | (292) |
| 三、潜油电泵打捞工艺 .....         | (295) |
| 复习题 .....                | (297) |
| 附 录 .....                | (299) |
| 附录 1 常用计量单位换算表 .....     | (299) |
| 附录 2 不同直径的套管选泵规范 .....   | (302) |
| 附录 3 常用工程曲线图 .....       | (305) |
| 附录 4 潜油电泵特性曲线 .....      | (317) |
| 参考文献 .....               | (353) |
| 复习题答案 .....              | (354) |

# 第十一章 潜油电泵

## 采油基础知识

潜油电泵采油工艺作为近几十年来发展的一种机械采油工艺技术,是一门集电工学、水力学、机械工艺学及采油工艺等为一体的综合性技术。为了便于掌握潜油电泵采油技术,更好地应用潜油电泵,就有必要对潜油电泵采油有关学科的基础知识有所了解。在本章中将对采油工艺和水力学等与潜油电泵采油等密切相关的基础知识作一简单的介绍。

### 第一节 采油工艺基础知识

油井钻成投产后,其采油方式归纳起来有两种,一种是自喷采油法,另一种是人工举升采油法。如果油层中具有足够大的能量,依靠油层本身的能量不但能够将原油驱入井底,而且还能够将原油从井底举升到地面,并且输送到转油站,这种完全依靠油层天然能量进行采油的方法,称为自喷采油法。如果油层中的能量不能够足以将原油举升到地面,需要利用人工补充能量进行开采,一般是以机械能量(或电能)帮助将井液举升到地面,称为机械采油法即人工举升采油法,如有杆泵采油、潜油电泵采油、水力活塞泵采油及螺杆泵采油等;气举采油即将高压气体(空气或天然气)注入井内将原油举升到地面的方法,也属于机械采油法的一种。

#### 一、油井生产时的四种流动过程

油井生产时,井液从油层中流到转油站,一般要经过四种流动

过程,即井液从油层流入井底,从井底沿井筒流至井口,通过油嘴、沿地面管道最终流至转油站。如图 11—1 所示。

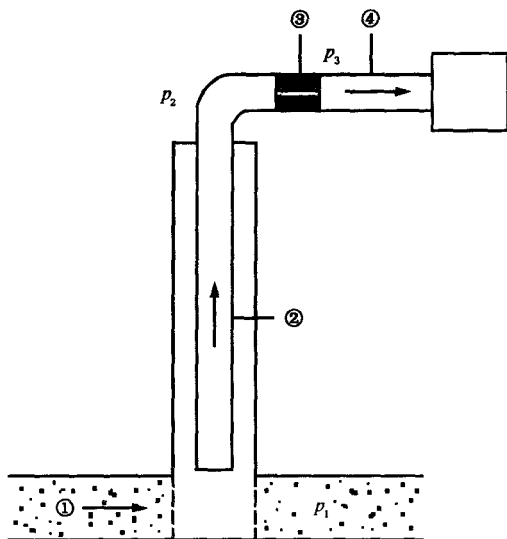


图 11—1 油井生产的四种流动过程

这四种完全不同的流动过程,在流动过程中各自遵循的规律不同。第一种从油层流到井底的流动为渗流(图中①);第二种从井底沿井筒流到井口的流动为单相或多相垂直管流(图中②);第三种通过油嘴的流动为嘴流(图中③);第四种从井口沿地面管道流到转油站的流动一般为水平多相管流(图中④)。由于这四种流动过程处于同一个流动系统中,它们之间必然存在着互相联系又互相制约的关系。例如,井底压力就是油层渗流的末端压力,同时又是垂直管流的始端压力。

### 1. 地层渗流

当井底压力高于饱和压力时为单相(液相,即纯油或油、水混合物)渗流,当井底压力低于饱和压力时,由于原油脱气,则井底附

近为多相(油、气或油、气、水混合物)渗流。对于高饱和压力油田,在潜油电泵采油过程中,井底流压一般低于饱和压力,井底附近即为多相渗流。一般地层中渗流压力损失占总压降的 10%~50%。

### 2. 油井垂直管流

这一流动过程的压力损失占总压降的 30%~80%。作为机械采油人工补充能量,一般就在这部分做工作,从而将井液举升到地面。

### 3. 嘴流

井液通过油嘴节流后的压力损失一般占总压降的 5%~30%。油井的各项生产数据可以通过调节油嘴的大小来进行控制。

### 4. 出油管线流动

出油管线流动的压力损失一般占总压降的 5%~10%。

上述情况表明,四种流动过程的性质虽然不同,但在整个流动系统中,它们之间的压力是互相联系和制约的,其中以垂直管流的压力损失所占总压降损失的比例最大。

## 二、井液在油层中的渗流

一般来说,井液在油层中的渗流可分为两种情况,即单相渗流和多相渗流。在井底流动压力高于饱和压力的情况下,油层中的流动为单相渗流。这时,根据地下流体力学原理,井液在油层中的流动规律可用下述公式进行描述。

$$q = J(p_R - p_{wf}) \quad (11-1)$$

式中  $q$ ——油层流入井底的产量,  $\text{m}^3/\text{d}$ ;

$J$ ——采油(液)指数,  $\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{MPa})$ ;

$p_R$ ——地层压力,  $\text{MPa}$ ;

$p_{wf}$ ——井底流动压力,  $\text{MPa}$ 。

单相渗流时,产量与压力的变化关系为直线关系,如图 11—2 所示。一般来说,产量只是随着井底流动压力的变化而变化,其采油指数为一常量。



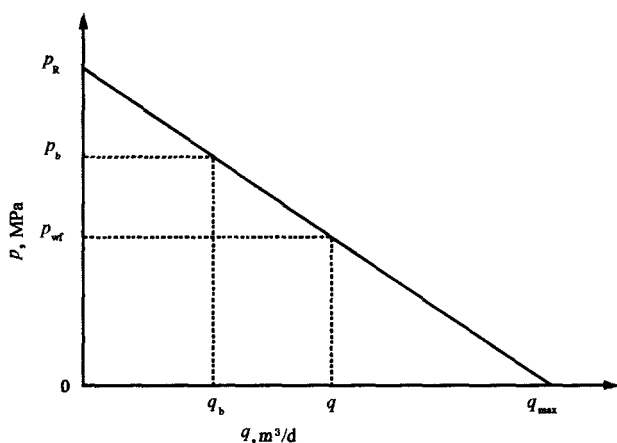


图 11—2 单相渗流时产量与压力的变化关系

当井底流动压力低于饱和压力时,由于原油脱气,井底附近为多相渗流,产量与压力的关系曲线将发生弯曲,其采油指数也随之变化(这部分将在本章第二节中重点介绍),如图 11—3 所示。

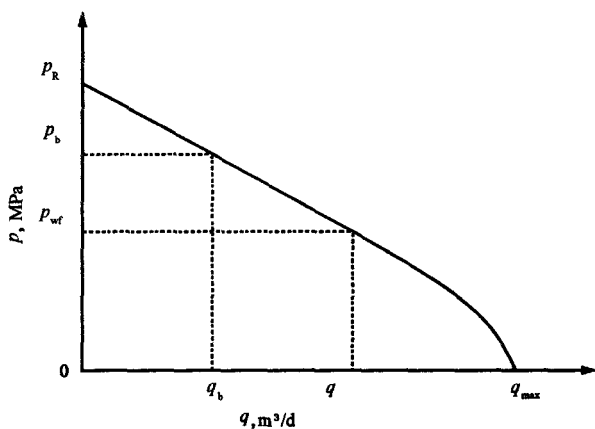


图 11—3 多相渗流时产量与压力的变化关系