

石油工人技术培训系列丛书

# 采油 工艺技术

邹艳霞 主编



石油工业出版社

石油工人技术培训系列丛书

# 采油工艺技术

邹艳霞 主编

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书的主要内容有石油地质基础知识、油田开发基础知识、自喷采油工艺技术、有杆泵采油工艺技术、特殊井的管理技术、注水工艺技术、稠油及高凝油开采技术等基本理论。同时还对油水井的增产增注工艺技术、修井工艺技术、提高采收率及采油新技术、油气层保护技术、油水井的综合分析技术等增产增注及采油新技术进行了系统的讲述。

本书可作为采油工技术培训的教材,也可供技术人员及有关院校师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

采油工艺技术/邹艳霞主编.

北京:石油工业出版社,2006.5

(石油工人技术培训系列丛书)

ISBN 7-5021-5543-0

I. 采…

II. 邹…

III. 石油开采-技术培训-教材

IV. TE35

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第054189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

排 版:北京乘设伟业科技排版中心

印 刷:石油工业出版社印刷厂

---

2006年5月第1版 2006年6月第2次印刷

787×960毫米 开本:1/16 印张:33.75

字数:566千字 印数:6001—11000册

---

书号:ISBN 7-5021-5543-0/TE·4224

定价:38.00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

# 《石油工人技术培训系列丛书》

## 编 委 会

主 任：郑 虎

副 主 任：李万余 王永春 孙祖岭 白泽生

刘志华 孙金瑜

委 员：(按姓氏笔画排序)

上官建新 万志强 马卫东 马平凡

马自勤 王立民 王忠仁 尹君泰

申尧民 石桂臣 许 飞 许大坤

朱长根 向守源 百连刚 齐振林

张凤山 张景仁 张 剑 张启英

张晗亮 李储龙 李越强 岳丛林

范卓璞 段世民 钟启钢 郭向东

侯浩杰 赵益红 郝春生 夏中伏

郭跃武 韩 炜

# 《采油工艺技术》

## 编 写 组

主 编：邹艳霞

副 主 编：车太杰 唐 磊 王静梅 孙晓明

审 稿：刘 合 王柏静

编写人员：杜红昌 高淑文 张 波 梁秀娟

曹兆贤 王海波 黄娅萍 李星云

霍兴旺 吕迎春 郎冬梅

# 努力造就更多的高技能人才

(代序)

《石油工人技术培训系列丛书》的出版,十分及时,很有必要,对加强中国石油天然气集团公司(以下简称“集团公司”)经营管理、专业技术和操作技能三支人才队伍建设,特别是操作技能人才队伍建设具有重要意义。

小康大业,人才为本。集团公司员工队伍中的高技能人才,是推动技术创新和实现科技成果转化不可缺少的重要力量,是集团公司三支人才队伍中重要组成部分。集团公司各项事业的发展,不仅需要广大专家的智慧 and 心血,也需要千千万万高技能人才的聪明和才智。长期以来,集团公司高技能人才奋战在油田勘探开发、炼油化工等生产一线,为科技成果的转化、产业结构的升级、企业竞争力的增强,发挥了不可替代的作用。我们要像尊重高级专家那样尊重高技能人才,要像重视高级专家那样重视高技能人才,要像关心高级专家成长那样关心高技能人才的成长。只有三支人才队伍比翼齐飞,各自发挥应有的作用,才能带动集团公司这艘巨轮乘风破浪,扬帆远航。

这些年,集团公司大力实施人才强企战略,坚持三支人才队伍一起抓,紧紧抓住培养、吸引和使用三个环节,不断改进人才工作方式方法,积极营造有利于各类人才脱颖而出的环境,有力推进了三支人才队伍建设,为建设跨国企业集团提供了人才保障。其中,在操作技能人才队伍建设方面,制定了《集团公司加强高技能人才队伍建设的意见》和《技师、高级技师管理办法》,积极组织技师、高级技师培训,全面开展班组长培训,不断提高技能鉴定工作质量,组织开展职业技能竞赛,促进了操作技能队伍素质的不断提高。但是,进一步加强高技能人才队伍建设,尽快形成一支结构合理、技术精湛、一专多能、适应国际市场规范施工作业要求的操作技能人才队伍,仍

是一项十分重要而紧迫的任务。《石油工人技术培训系列丛书》的编写与出版,将为加强操作技能人才队伍培训,造就更多的高技能人才,发挥重要作用。

这套丛书从生产实际出发,以满足需求为导向,以促进员工持续学习为目的,以重点培养员工的学习能力、实践能力和创新能力为目标,内容涵盖勘探、开发、炼化、销售等领域,实践性和针对性都很强。同时,大批专家的参与写作也使教材的权威性有了保证。希望这套丛书的出版发行,能为促进集团公司员工培训工作的深入开展,为促进更多高技能人才的成长,为形成一支门类齐全、梯次合理、素质优良、新老衔接、充分满足集团公司持续有效较快协调发展需要的人才队伍做出积极的贡献。

中国石油天然气集团公司党组成员、副总经理

2005年1月28日

# 前 言

为了提高采油工人队伍素质,满足采油人员技术培训的需要,我们编写了这本书。在编写本书之前,我们到多个采油厂进行了走访、调研,广泛征求了基层站队技术人员的意见,经过反复研究,确定了本书的内容。在编写过程中,吉林油田、大庆油田、长庆油田、辽河油田的培训中心给予了大力支持。来自各个油田的作者们共同审议了编写提纲,确定了写作分工,并按时高质量地完成了编写任务。

本书以采油员工培训为出发点,打破了过去传统教材的学科性编写模式,将石油地质、油田开发、油气层保护技术等与采油密切相关的部分纳入进来,使本书更具实用性。在教学内容的选择上,注重知识的科学性、系统性、先进性和实用性,注重应用专业理论知识分析和解决实际生产问题。

本书共分十三章,其中第一章,第四章的第一、二、三、四、五、七节,第六章,第八章第三、四、五、六节和第十三章由邹艳霞编写,第二章由张波编写,第三章的第一节、第五章的第一节由车太杰编写,第三章的第二、三节由梁秀娟编写,第四章的第六节由王海波编写,第十二章的第二节由郎冬梅编写,第五章第二节、第七章由孙晓明、黄娅萍、李明云编写,第八章第一、二节由高淑文编写,第九章第一、三节和第十一章第一节由唐磊编写,第十章由王静梅编写,第十一章第二、三、四、五、六、七节由杜红昌编写,第十二章第一节及第二节部分内容曹兆贤编写,第九章第二节由霍兴旺编写,张波做了大量的图片制作与扫描工作,吕迎春完成了部分图形的扫描工作。

大庆油田有限责任公司采油工艺副总工程师刘合、中国石油吉林油田分公司英台采油厂生产副厂长王柏静对本书内容进行了审定和把关,在此表示衷心感谢!

由于编写人员水平有限,加之时间仓促,书中难免会有不当之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2006年3月30日



# 目 录

<b>第一章 石油地质基础知识</b> .....	(1)
第一节 地质构造及油气藏 .....	(1)
第二节 沉积岩和沉积相 .....	(7)
第三节 石油的生成及油气运移 .....	(11)
第四节 储集层的物理性质 .....	(14)
第五节 油藏流体的性质 .....	(22)
第六节 地球物理测井知识 .....	(30)
<b>第二章 油田开发基础知识</b> .....	(47)
第一节 油藏驱动方式 .....	(47)
第二节 油田开发层系的划分 .....	(53)
第三节 开发方式及井网部署 .....	(59)
第四节 油田开发的主要指标 .....	(64)
<b>第三章 自喷采油原理</b> .....	(71)
第一节 完井方式 .....	(71)
第二节 试油 .....	(79)
第三节 自喷采油原理 .....	(85)
<b>第四章 有杆泵采油技术</b> .....	(92)
第一节 抽油机—深井泵采油系统 .....	(92)
第二节 抽油机悬点载荷分析与计算 .....	(105)
第三节 影响泵效的因素及提高泵效的措施 .....	(114)
第四节 抽油井的测试与分析 .....	(123)
第五节 抽油井的管理 .....	(139)
第六节 抽油机设备维护保养与故障处理 .....	(152)
第七节 螺杆泵采油技术 .....	(167)
<b>第五章 无杆泵采油技术</b> .....	(181)
第一节 电动潜油泵采油技术 .....	(181)
第二节 水力活塞泵采油技术 .....	(205)

<b>第六章 特殊井的管理技术</b> .....	(220)
第一节 出砂井的管理技术 .....	(220)
第二节 结蜡井的管理技术 .....	(228)
第三节 出水井的管理技术 .....	(237)
<b>第七章 稠油及高凝油开采技术</b> .....	(246)
第一节 稠油开采技术 .....	(246)
第二节 高凝油开采技术 .....	(264)
<b>第八章 注水井的管理技术</b> .....	(284)
第一节 水源的选择、水质的要求及处理 .....	(284)
第二节 注水系统流程 .....	(293)
第三节 分层注水技术 .....	(297)
第四节 注水井的分析及管理 .....	(314)
第五节 注水井吸水能力降低的原因及处理方法 .....	(325)
第六节 注水井调剖技术 .....	(330)
<b>第九章 井站流程及设备</b> .....	(338)
第一节 计量间、转油站流程 .....	(338)
第二节 计量间流程及油气计量 .....	(350)
第三节 站内常用泵 .....	(360)
<b>第十章 修井作业技术</b> .....	(376)
第一节 修井技术 .....	(376)
第二节 油层水力压裂 .....	(388)
第三节 油层酸处理 .....	(397)
<b>第十一章 油水井综合分析技术</b> .....	(407)
第一节 抽油机井系统效率及深井泵工况分析 .....	(407)
第二节 油田动态分析概述 .....	(418)
第三节 油田动态分析的基础资料 .....	(422)
第四节 单井动态分析 .....	(441)
第五节 注采井组的动态分析 .....	(455)
第六节 开发单元的动态分析 .....	(459)
第七节 油田开发生态分析常用图件的编绘 .....	(467)
<b>第十二章 提高采收率技术及采油新技术</b> .....	(485)
第一节 提高采收率的途径及方法 .....	(485)

第二节	采油新技术简介 .....	(492)
<b>第十三章</b>	<b>油气层保护技术</b> .....	<b>(512)</b>
第一节	油气层的敏感性及油气层损害机理 .....	(512)
第二节	采油过程中的保护油气层技术 .....	(517)
第三节	注水过程中的保护油气层技术 .....	(520)
<b>参考文献</b>	.....	<b>(525)</b>

# 第一章 石油地质基础知识

## 第一节 地质构造及油气藏

地质构造是指地质体本身所具有的形态特征。它是由地壳运动形成的。由于地壳运动所引起的岩层变形和变位均称为构造变动；由重力、流水和冰川等外力作用引起的岩层变形和变位均称为非构造变动。

构造变动按其表现形式可分为两类：褶皱变动和断裂变动。由褶皱变动产生的构造称为褶皱构造；由断裂变动产生的构造称为断裂构造。这两者之间有着密切的联系，往往是同时存在和相伴而生的。

### 一、地质构造

#### (一) 岩层

##### 1. 水平岩层

水平岩层是指岩层在成岩后，未遭受显著的地壳运动影响，或虽在长期的地质历史时间内，经过一次或多次地壳构造运动，但仍然保持着原来的产状。一般认为倾斜度不超过 $5^\circ$ 的岩层称为水平岩层，如图1-1所示。

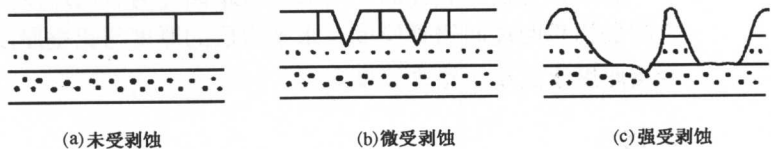


图1-1 水平岩层的露头在不同地形切割情况下的表现

## 2. 倾斜岩层

沉积岩在成岩过程中或成岩之后,由于受地壳运动的影响,使岩层发生倾斜,岩层的层面和水平面成一定角度,这样的岩层称为倾斜岩层,如图 1-2 所示。

## 3. 岩层的产状要素

岩层的产状是指岩层在空间的产出状态。岩层产状的三要素是:走向、倾向、倾角,如图 1-3 所示。

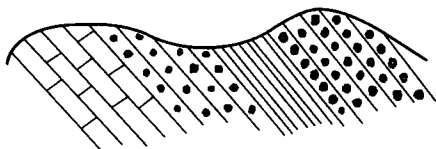


图 1-2 倾斜岩层

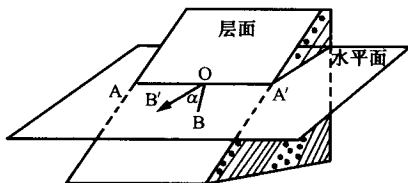


图 1-3 岩层产状要素示意图

AA'—走向线;OB—倾向线;

OB'—倾向线的水平投影; $\alpha$ —倾角

(1)走向:岩层的层面与任意水平面的交线(AA')叫走向线,走向线两端所指的方向即为走向,它标志着岩层的延伸方向。走向线可以有无数条,但走向只有两个,相差 $180^\circ$ 。

(2)倾向:指岩层倾斜的方向。沿岩层倾斜面向下所引的与走向线相垂直的斜线(OB)称为倾向线,它在水平面上的投影(OB')所指的方向称为倾向。任意一个岩层面只有一个倾向。

(3)倾角:岩层层面与水平面之间的夹角,即岩层的倾向线(OB)与其在水平面上的投影线(OB')之间的夹角( $\angle BOB'$ )。

## 4. 岩层厚度

岩层顶界面与底界面之间的最短距离称为岩层厚度。顶界面到底界面之间的铅垂距离叫铅垂厚度。水平岩层的厚度与铅垂厚度是相等的。倾斜岩层厚度永远小于铅垂厚度。

## 5. 露头

岩层在地表出露的部分叫露头。露头可分为:

- (1)天然露头:天然出露在地表的岩层露头。
- (2)人工露头:经人工或机械挖掘出来的岩层露头。

## (二)褶皱构造

水平岩层在地壳运动的过程中在构造应力的作用下,形成波状弯曲但未丧失其连续完整性的构造称为褶皱构造。褶皱构造在地壳上是最常见的一种地质构造形态。

褶曲是褶皱构造中的一个弯曲,是组成褶皱构造的最基本单位。两个或两个以上的褶曲组成褶皱。

褶曲的基本形态可分为背斜褶曲和向斜褶曲,二者相互依存,有时共处于一个体系之中,如图1-4所示。

(1)背斜褶曲:岩层向上拱起,核部是较老地层,两翼由较新的地层组成,同时两翼新岩层对称重复出现在较老的地层两侧,两翼地层产状相背倾斜。

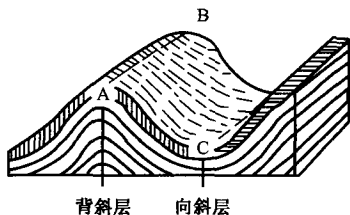


图1-4 背斜和向斜示意图

(2)向斜褶曲:岩层向下弯曲,核部是较新地层,两翼由较老地层组成,同时两翼较老的地层对称重复出现在较新的地层两侧,两翼地层产状相向倾斜。

## (三)断裂构造

当岩层所受的力超过了岩石的强度,岩层的连续性和完整性遭受破坏而断开或错动的现象称为断裂。岩层发生断裂后形成的地质构造称为断裂构造。断裂构造分为裂缝和断层两类。

### 1. 裂缝

当岩层受力发生断裂后,断裂面两侧岩体沿断裂面没有发生明显位移的断裂构造称为裂缝。按裂缝的产状和岩石产状的关系可分为走向裂缝、倾向裂缝和斜交裂缝,如图1-5所示。油气藏中存在的裂缝越多,注水开发时油层的水窜现象就越严重。

## 2. 断层

### 1) 断层的概念

当岩石受力发生断裂后,断裂面两侧岩体沿断裂面发生明显位移的断裂构造称为断层。

### 2) 断层的几何要素

(1) 断层面:被断开的两部分岩体相对位移的断裂面。断层面可以是平面,也可以是曲面。

(2) 断层线:断层面与水平面的交线。

(3) 断盘:断层面两侧相对位移的岩体。断层面上面的岩体为上盘,断层面下面的岩体为下盘,如图 1-6 所示。

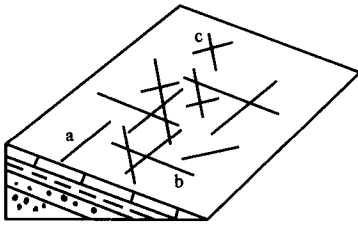


图 1-5 在倾斜岩层上的裂缝类型  
a—走向裂缝;b—倾向裂缝;c—斜交裂缝

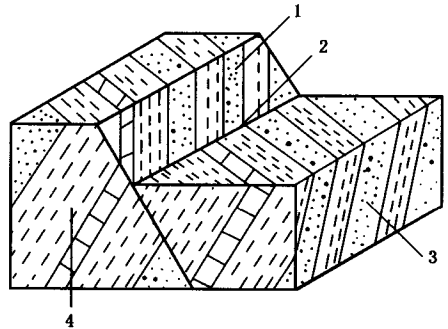


图 1-6 断层要素示意图  
1—断层面;2—断层线;3—上盘;4—下盘

(4) 断距:两盘相对移动的距离。一般都以垂直距离表示。

### 3) 断层分类

根据断层两盘相对位移的方向分为正断层、逆断层和平移断层三种,如图 1-7 所示。

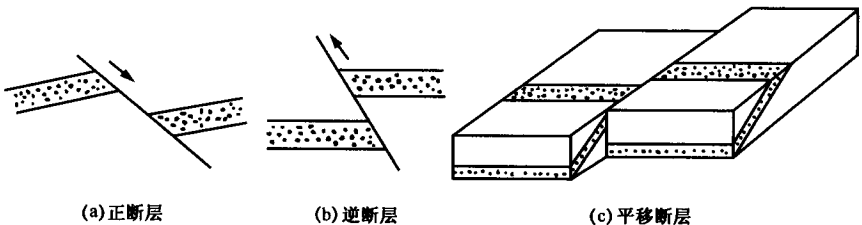


图 1-7 断层类型示意图

(1) 正断层:上盘相对下降,下盘相对上升的断层。正断层会使地层产生缺失现象。

(2) 逆断层:上盘相对上升,下盘相对下降的断层。逆断层会使地层产生重叠现象。

(3) 平移断层:两盘沿断层面走向方向相对移动的断层。

断层使地层失去连续性。一个油气藏的地质构造并不是单一的,一般是褶皱、断层、裂缝几种构造相伴而生。油气藏中的裂缝和断层越多,油田开采的难度就越大。裂缝越多,注水开发就越容易形成水窜,影响油藏的水驱油波及系数;断层越多,油层就会不连续,使注入水受到遮挡,不能及时地补充地层能量。

## 二、油气藏

### (一) 油气藏的概念

地下岩层中能够聚集并储藏石油和天然气的场所,称为圈闭。油气藏是油气聚集的基本单元,是油气在单一圈闭中的聚集,具有统一的压力系统和油水界面。

### (二) 油气藏形成的条件

油气藏形成必须具备生、储、盖、运、圈这五个条件。

(1) 生油层:生成油气的物质基础。生油层是有机物质堆积、保存并转化成油气的场所。

(2) 储集层:有一定的孔隙度和渗透率的储油气层。

(3) 盖层:紧邻储集层的不渗透岩层,起阻止油气继续向上逸散的作用。通常泥质岩类、致密的石灰岩、石膏等不渗透岩层都可作为良好的盖层。

(4) 油气运移:油气从生油层向储集层运移的过程。

(5) 圈闭:能阻止油气继续运移并能使油气聚集起来形成油气藏的场所。圈闭由储集层、盖层、遮挡物三部分组成。

### (三) 油气藏类型

目前国内外广泛采用的油气藏分类方法是以圈闭成因进行分类,分为构造油气藏、地层油气藏和岩性油气藏三大类。



## 1. 构造油气藏

构造油气藏是指油气在构造圈闭中聚集形成的油气藏。构造油气藏又分为背斜油气藏和断层油气藏。

### 1) 背斜油气藏

在构造运动的作用下,地层发生弯曲变形,形成向周围倾伏的背斜称为背斜圈闭。在背斜圈闭中的油气聚集称为背斜油气藏,如图 1-8 所示。

### 2) 断层油气藏

沿着储集层的上倾方向受断层遮挡所形成的圈闭称为断层圈闭。在断层圈闭中的油气聚集称为断层油气藏,如图 1-9 所示。

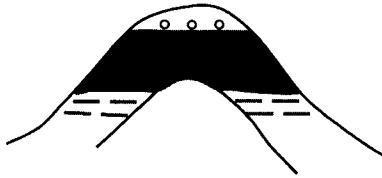


图 1-8 背斜油气藏

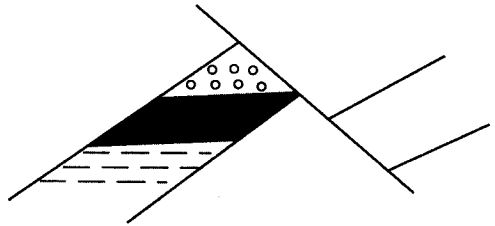


图 1-9 断层油气藏

## 2. 地层油气藏

由于地层横向上或纵向上连续性中断而形成的圈闭称为地层圈闭。油气在地层圈闭中的聚集称为地层油气藏。

## 3. 岩性油气藏

由于沉积条件的变化导致沉积岩岩性发生变化,形成岩性尖灭圈闭和透镜体圈闭,其中聚集了油气,就形成了岩性油气藏。

### (四)描述油气藏的有关术语

#### 1. 气顶

油藏中的石油和天然气是按密度的大小分布的,天然气最轻,充满在油气藏的顶部,故称为气顶。由于各油藏的压力和油气的组成不同,有的油藏有气顶(地层压力小于饱和压力),有的油藏没有气顶(地层压力大于饱和