

石油石化职业技能培训教程

SHIYOU SHIHUA ZHIYE JINENG PEIXUN JIAOCHENG

采油测试工

CAIYOU CESHIGONG

中国石油天然气集团公司职业技能鉴定指导中心 编

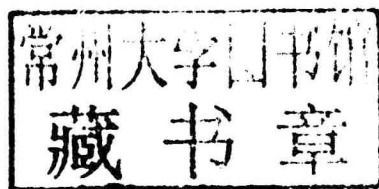


石油工业出版社

石油石化职业技能培训教程

采 油 测 试 工

中国石油天然气集团公司职业技能鉴定指导中心 编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书是由中国石油天然气集团公司职业技能鉴定指导中心,依据油气井测试工职业资格等级标准,统一组织编写的《石油石化职业技能培训教程》中的一本。本书内容涵盖了采油测试工应掌握的基础知识、专业知识和相关知识,包括采油测试设备及工具、井下管柱、测试仪器仪表、测试工艺、测试资料的验收与解释、测试事故预防及处理等,并介绍了大量的国内外目前较为先进的测试技术。

本书语言通俗易懂,理论知识重点突出,实用性、可操作性较强,是采油测试工职业技能培训的必备教材。

图书在版编目(CIP)数据

采油测试工/中国石油天然气集团公司职业技能鉴定指导中心编.
北京:石油工业出版社,2011.6

(石油石化职业技能培训教程)

ISBN 978-7-5021-8169-7

I. 采…

II. 中…

III. 采油井-测井-技术培训-教材

IV. TE151

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 245068 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)64523585 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2011 年 6 月第 1 版 2011 年 6 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:19

字数:482 千字

定价:60.00 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

《石油石化职业技能培训教程》

编 委 会

主 任：孙金瑜

副主任：向守源 丁传峰

委 员(以姓氏笔画为序)：

仇国光	王子云	王奎一	申 哲	刘小明
孙春梅	纪安德	何 波	宋玉权	张建国
李世效	李孟州	李禄松	杨明亮	杨峰亭
杨静芬	哈志凌	赵宝红	商桂秋	崔贵维
职丽枫	蔡激扬			

前 言

随着企业产业升级、装备技术更新改造步伐不断加快,对从业人员的素质和技能提出了新的更高要求。为适应经济发展方式转变和“四新”技术变化要求,满足员工培训、鉴定工作的需要,中国石油天然气集团公司职业技能鉴定指导中心坚持动态开发修订技能培训教材和鉴定题库制度,组织力量对“十五”期间开发的第一批职业技能培训教程中的采油工等部分从业人数多的主体工种进行了修订。

本批教程按工种编写,每个工种一本,以新修订颁发的石油石化行业职业资格等级标准为依据,内容范围与鉴定题库基本一致,与公开出版的试题集配套使用。既可用于职业技能鉴定前培训,也可用于员工岗位技术培训和自学提高。

采油测试工职业技能培训教程由大港油田公司组织编写,黄在友、田玉宣、冀秀文任主编,参加编写的人员有刘建仁、王志愿、赵立安、刘继红、石建喜、初冬军、张进平、刘立志、邓兵;参加审定的人员有大港油田公司张德武、沙启林、徐建平、王庆、邓玉梅,大庆油田测试技术分公司梁继德,辽河油田兴隆台采油厂汤学智。

由于编者水平有限,书中错误、疏漏之处请广大读者提出宝贵意见。

编 者

2010. 10

目 录

第一章 理论基础知识	(1)
第一节 油田开发地质基础知识	(1)
第二节 试井相关知识	(21)
第三节 完井工程基础知识	(25)
第四节 电学基础知识	(27)
第二章 采油测试设备及工具	(39)
第一节 采油测试设备及其维护保养	(39)
第二节 防喷装置及井口设备	(60)
第三节 测试工具、用具	(88)
第三章 井下管柱	(112)
第一节 油井完井管柱	(112)
第二节 注水井完井管柱	(121)
第三节 特殊工艺井完井管柱	(123)
第四节 完井管柱安全系统	(125)
第五节 井下封隔器	(129)
第六节 控制类工具	(133)
第七节 有杆抽油泵	(139)
第八节 水力活塞泵	(141)
第九节 电动潜油泵	(143)
第十节 抽油机与抽油杆	(147)
第四章 采油测试仪器仪表	(150)
第一节 井下电子压力计	(150)
第二节 抽油机井测试仪器	(153)
第三节 其他测试仪器	(160)
第四节 地面计量仪表	(169)
第五节 仪器仪表校准设备	(171)
第五章 油水井测试工艺	(182)
第一节 测试前的准备	(182)
第二节 现场测试工艺	(188)

第六章 测试资料的验收与解释 (221)

第一节 抽油机井测试资料的整理与分析 (221)

第二节 注水井测试资料的整理与分析 (232)

第三节 压力测试资料解释与分析 (237)

第四节 测试设计及解释报告的编写 (257)

第七章 测试事故预防及处理 (262)

第一节 测试中安全注意事项 (262)

第二节 几种常见测试事故的预防 (266)

第三节 常见测试事故的处理 (269)

第八章 安全生产相关知识 (275)

第一节 井控基本知识 (275)

第二节 HSE 相关知识 (278)

第三节 消防安全知识 (282)

第四节 安全用电常识 (288)

参考文献 (295)

第一章 理论基础知识

第一节 油田开发地质基础知识

一、石油地质基础知识

(一) 岩石与地层

1. 地球的内部结构

地球内部分为地壳、地幔、地核三个大的圈层。

(1) 地壳。地壳的平均厚度为 35km, 在全球各处的厚度不均匀。地壳是由岩石组成, 所以又称岩石圈。经生产实践证明, 石油与天然气及其他矿藏都与地壳密切相关。

(2) 地幔。地壳与地幔之间有一个显著的不连续面, 称 M 界面, 从 M 界面到 2900km 的深处为地幔。地幔一般分为两层, 从 M 界面到 1000km 处称为上地幔, 从 1000km 到 2900km 处称下地幔。

(3) 地核。从 2900km 处到地心称为地核, 从 5154km 处以下称为内核。地核内分布着 3000℃ 以上的复杂液体。

2. 组成地壳的岩石

岩石也称石头, 是在特定条件下由一种或多种矿物质组成的复杂集合体。

不同的岩石具有不同的结构和构造, 根据成因可分为三大类: 岩浆岩、变质岩和沉积岩。

(1) 岩浆岩: 是由岩浆冷凝而形成的岩石。

(2) 变质岩: 地壳早期形成的岩石, 在岩浆侵入和火山活动等内力作用下, 受温度、压力的影响或再加入新的物质, 会使原来的岩石在矿物成分、结构、构造等方面发生一系列变化, 形成一种新的、与原来岩石不同的岩石, 称为变质岩。

(3) 沉积岩: 古老的岩石在地壳表面环境下遭受风化而破坏, 其风化物再经过搬运、沉积及成岩作用便形成了沉积岩。

沉积岩中蕴藏着丰富的矿产, 石油全部生成于沉积岩。

沉积岩根据成因和物质成分可分为碎屑岩、粘土岩、碳酸盐岩和生物盐岩四类。

① 碎屑岩: 是由碎屑和胶结物组成的。碎屑岩的碎屑物质达 50% 以上。碎屑之间的孔隙有时为胶结物充满, 有时未充满, 油气就储集在碎屑之间的孔隙中, 它是主要的储油层之一。

碎屑岩的粒度通常以颗粒的直径表示, 分为砾岩、砂岩和粉砂岩。

② 粘土岩: 主要是由粘土矿物组成的岩石。由于粘土岩颗粒太细, 渗透率差, 一般不能成为储油岩。

③ 碳酸盐岩: 由碳酸盐组成的沉积岩, 如石灰岩、白云岩。碳酸盐岩在地壳中分布较广, 它既是油源层, 同时又是储油层。

④ 生物盐岩: 由生物沉积物组成的沉积岩。

3. 地层

地下成层的沉积物和其中共生的岩体总称为地层。

(1) 油源层:具备生油条件且能生成一定数量石油的地层。

(2) 油源层系:在一定地段时期,一定地质构造及古地理条件下,一系列油源层和非油源层有规律的组合。

(3) 隔层:夹在两个相邻储油层之间,阻隔储油层相互窜通的不渗透致密层。

(4) 储油层:能储集大量油气,渗透性较好,并有较好圈闭的岩层。

(5) 划分地层的方法有四种:根据岩性和沉积条件划分;根据地壳运动划分;根据古生物化石划分;根据沉积旋回划分。

(6) 地层系统及地层单位。

地层是在地质时期形成的,在地球发展的全部过程中每一个阶段,地壳表面都有相应的地层形成。为了研究和方便,人们有必要把整个地质时期划分为若干大小不同的级别或单位,而将相应各地质时期所形成的地层也相应地划分出了一些大小不同的级别和单位。例如将全部地质历史划分为几个大的阶段,每个阶段又划分出了几个不同的等级单位,而将与每一个地质时期所对应的地层也划出了几个大的单元,每个单元也相应地划分出一些不同的等级单位。按地质年代单位划分,为宙、代、纪、世、期、亚期等级别,而按相应各地质时期年代地层单位划分为宇、界、系、统、阶、亚阶等单位,它们分别代表了某一地质时期内所形成的地层。

(二) 地质构造

地壳中的岩石受地壳运动的作用发生变形和变位而遗留下来的形态称为地质构造。

1. 岩层面产状

岩层面产状是岩层面在空间的展布状况。日常所见的岩层有各式各样的特征,有水平的,有倾向的和直立的。这些都是它们的产状。

原来是水平的岩层,由于地壳运动,使水平岩层改变了形状而发生倾斜,为了确切地知道岩层倾斜后的状况,常用走向、倾向和倾角三个术语对岩层的产状进行描述,统称倾斜岩层的产状三要素。

走向:倾斜岩层层面与水平面的交线称为岩层的走向线,走向线的方向就是岩层的走向。

倾向:倾斜岩层层面倾斜的方向称为倾向。倾向与岩层的走向垂直。

倾角:岩层倾向面与水平面的夹角称为倾角。倾角表示岩层倾斜程度的大小。

2. 褶皱构造

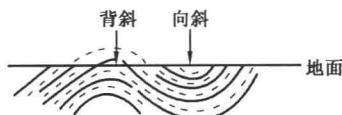


图 1-1 背斜、向斜示意图

成层岩石在地壳运动所产生的构造力作用下形成的波状弯曲而未丧失其连续完整性的构造称为褶皱构造。褶皱构造的基本单位是褶曲,褶曲是岩层中的一个弯曲。

褶皱构造形态尽管各式各样,但基本分为背斜和向斜两种,见图 1-1。

(1) 背斜:是指岩层向上弯曲的褶曲,两翼岩层倾向相背,弯曲中间部分的岩层比两翼岩层时代相对较老。

(2) 向斜:是指岩层向下弯曲,两翼岩层倾向相向,弯曲中间部分的岩层比两翼岩层时代相对较新。

3. 断裂构造

当岩层所受的力超过了岩石的强度,岩石的连续性和完整性遭受破坏而断开甚至错动的现象称为断裂。岩层发生断裂所形成的地质构造称为断裂构造。

断裂构造根据其沿着断裂面有没有发生明显的位移而分为两种类型:断裂面两侧岩块没

有发生明显位移的称为节理;两侧岩块有明显位移的称为断层。

(1) 节理。

节理是岩石中普遍存在的一种构造,在采油现场通常称为裂缝,节理可以是平直的或弯曲的。

节理在岩层中往往成群出现,并且以一定方式排列。把同一时期、同一构造作用所形成的互相平行或近于平行的节理称为节理组,或称一组节理,而把成因相同、彼此呈有规律结合的两个或两个以上的节理称为节理系。

(2) 断层。

岩层破裂后,破裂面两侧岩块沿断裂面发生明显的相对位移,这种构造称为断层。

断层的规模有大有小,大的断层长度可达上千公里,小的只断开几米。断层直接影响油气的运移与聚集、油气藏的形成和破坏,还能影响油田的开发工作。

① 断层要素。构成断层构造的各个部分称为断层要素,包括断层面、断层线、断层的两盘和断距。

② 断层的分类。断层可划分为正断层、逆断层、平移断层三种。

正断层是断层上盘沿着倾斜的断层面相对地向下滑动,形成上盘比下盘还低的情况,见图 1-2。

逆断层是断层的上盘沿着倾斜的断面相对地向上滑动,形成上盘掩覆到下盘上面的情况,见图 1-3。

平移断层是断层两盘沿着断层走向发生了相对的错动,见图 1-4。

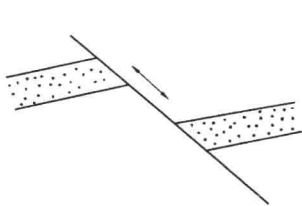


图 1-2 正断层

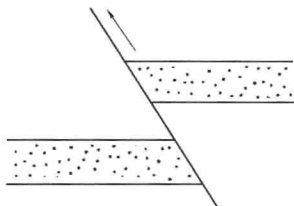


图 1-3 逆断层

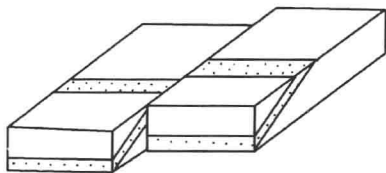


图 1-4 平移断层

二、油藏工程基础知识

(一) 石油的生成和运移

1. 石油的生成

关于石油成因问题的假说,在原始物质、转化条件和环境等方面有着长期的争论。按照石油原始物质的不同,石油成因假说可以分为无机生油说和有机生油说两大学派。前者认为石油是由自然界的无机物形成的,后者则认为石油是由地质时期中的生物有机质形成的。有机成因学派中又分为早期成油和晚期成油两个分支。目前,石油有机成因理论占主导地位,而早期成油理论又有被晚期成油理论代替的趋势。晚期成油理论的要点是:石油是沉积岩中的有机质在成岩过程中经过改造逐渐成熟后的一种产物。

石油的生成不仅是原始烃类的富集过程,更主要的是烃类的一个新生过程,并且在有机质改造过程中,只有当达到一定温度或埋藏深度时,有机质才能大量转化为石油,当超过一定温度时,石油又会向气态和高分子聚合物转化。

石油和天然气的生成必须具备两方面的基本条件,既要有充足的良好原始生油母岩——丰富的有机物质,还要具备有利于有机质向石油改造和演化的条件。

有了丰富的有机质和有利的地质环境,并不一定有大量油气生成,还必须具备一定的向油气转化的条件。这些条件是指细菌、温度、压力、催化剂、放射性等方面作用。

细菌作用:细菌能将有机质中的 O、N、S、P 等元素分离出来,使 C、H 在有机质中富集;同时细菌死亡后,还可以作为生油母质而转化为油气。

温度作用:温度的作用是促进有机质的热分解,使有机质生成石油的反应速度加快。油气的生成需要适当的温度,一般起始温度不低于 50℃,终止温度不高于 175℃。

压力作用:随着地壳下沉,上覆沉积物不断增厚,在有机质埋藏加深、温度升高的同时,所承受的压力逐渐增大。压力的增大将加速有机质向油气转化的进程,同时还可以使重质组分再度分解产生轻质烃类。

催化剂作用:催化剂能加速有机质的化学反应,生成油气,而催化剂本身在反应前后不发生变化。油气生成过程中的催化作用在于催化剂与分散有机质作用,破坏了有机质的原始结构,促使分子重新分布,形成内部结构更稳定的物质——烃类。

放射性作用:地壳中的岩石或多或少都含有放射性元素,放射性元素衰变后可以放出 α 、 β 、 γ 三种射线,这些射线可以使有机物中的 C、H 化合成简单的烃类,也可以使简单的烃聚合成为复杂的烃类。

总之,油气生成的过程是有机质逐渐改造演化、烃类新生的过程,是上述各种因素在漫长地质时期中综合作用的结果,只是在不同阶段起主导作用的因素不同罢了。任何一个因素要想单独完成这样一个极为复杂的过程都是不可能的。

2. 石油天然气的运移

(1) 油气运移的方式。

油气都是流体,它们在地下岩层中可以呈液态、气态或分子状态进行运移,运移的方式有两种,即渗滤和扩散。

渗滤:流体在孔隙介质中流动,称为渗滤。地下的油气在压力差的作用下通过岩石的各种孔隙、裂缝等通道,以渗滤的方式进行运移。

扩散:物质的分子运动使其在各方面的浓度趋于平衡的现象称为扩散。在自然界中,任何状态之间都可以进行扩散,只是液体和固体的扩散速度比气体小得多。

(2) 油气运移的动力。

在自然界里,压力、浮力、热力、水动力、毛细管力等都能引起油气运移。油气从生油层运移至储油层时,主要依赖于压力、毛细管力和分子力;在储集层内运移时,水动力起主要作用;若是在水压不大的情况下,浮力因素则占主导地位。油气运移往往是几种力同时作用的结果。

(3) 油气的初次运移。

在生油层中生成的石油和天然气自生油层向储集层中的运移,称为初次运移。初次运移也和油气生成一样,是一个长期的多阶段过程。引起初次运移的作用因素有压实作用、热力作用和毛细作用等。

油气初次运移的方式是以溶解状态为主,动力主要是压实力,运移方向是以垂向运移为主,也可做侧向运移。

(4) 油气的二次运移。

石油和天然气进入储集层以后的一切运移都称为二次运移。它包括油气在储集层内部的运移,以及油气沿断层、不整合面等通道所进行的运移;同时也包括已经形成的油气藏由于圈闭条件的改变,引起油气藏的破坏,造成油气重新分布的运移。二次运移是接着初次运移发生的,也是初次运移的继续。

油气的二次运移主要是呈游离相的油气在连续的渗透滤层、断层和不整合面等通道中进行的运移。其动力主要有水动力、浮力和构造动力等。二次运移的方向既可以是垂直方向的,也可以是侧向的,总的趋势是循阻力最小的途径由高位能区流向低位能区,直到遇到遮挡则形成油气藏,或者散失于地表并形成油气苗,遭到完全破坏。总之,油气运移是和油气藏的形成、破坏、再形成联系在一起。

(二)油藏地质基本概念

1. 储集岩、储集层与含油层

(1)储集岩。凡具有连通孔隙、裂缝或溶洞,能存储油气并能使之渗滤的岩石均称为储集岩。

(2)储集层。凡具有连通孔隙、裂缝或溶洞,能使油气储存,并在其中渗滤的岩层均为储集层。储集层有两个重要特性——孔隙性和渗透性。

(3)含油层。存储了油气的储集层称为含油气层。若储集层中以含油为主,称为含油层。

(4)生储盖组合。在地层剖面上,由紧密相邻的生油层、储集层、盖层所组成的有规律组合,称为一个生储盖组合。

2. 圈闭与油气藏

(1)圈闭。

能使油气聚集起来的场所称为圈闭。圈闭由储集层、盖层、遮挡物三部分组成。根据成因和形状特征不同,圈闭可分为构造圈闭、地层圈闭、岩性圈闭和复合圈闭四大类。

① 构造圈闭:地壳构造运动使地层发生变形或断裂变位而形成的圈闭,如背斜圈闭、断层圈闭等。

② 地层圈闭:由于沉积中断,以地层不整合面作为遮挡条件所形成的圈闭。

③ 岩性圈闭:由于沉积环境的改变,导致沉积岩性变化或由于某些次生作用而形成的圈闭。

④ 复合圈闭:由两种或两种以上地质因素联合封闭所形成的圈闭。

(2)油气藏。

油气藏是指在单一圈闭中的聚集。圈闭内聚集了石油称为油藏,聚集了天然气称为气藏,两者都聚集称为油气藏。油气藏应具备两个基本条件:其一是应具有统一的压力系统;其二是必须具备一定数量的油气。

油气藏按形态分类,可分为块状油气藏、层状油气藏、透镜状油气藏和断块状油气藏;按圈闭成因分类,可分为构造油气藏、地层油气藏、岩性油气藏和复合型油气藏;按储集岩特性分为孔隙型油气藏、裂缝型油气藏、裂缝孔隙型油气藏、孔隙裂缝型油气藏和洞隙型油气藏;按油气藏驱动能量分为水驱油藏、气顶气驱油藏、弹性驱油气藏、溶解气驱油气藏和重力驱油藏;按存储流体特性分为天然气藏、凝析气藏、挥发性油藏、常规油藏、高凝油藏和稠油油藏。

(三)油藏工程基础

1. 油藏流体物性

(1)石油。

石油是一种可以燃烧的有机液体矿物,是以不同结构烃为主的复杂混合物,呈暗绿色、褐色或黑色,一般存在于地下岩石孔隙中。其主要成分是氢和碳,其中碳占 83% ~ 87%,氢占 10% ~ 14%,另外还含有不超过 1% 的氮、氧、硫等其他微量元素。石油主要由油质、胶质、沥青质、碳质四种成分组成。

石油的物理特性指标主要有密度和相对密度、粘度和凝点。

在标准条件下(20℃ 和 0.101MPa) 每立方米原油的质量,称为原油密度,计量单位为 g/m^3 。相对密度是在标准条件下原油密度与同体积纯水在温度 4℃ 时密度的比值。

粘度又称粘滞系数,是指流体流动时分子之间因内摩擦而引起粘滞阻力的大小。地面石油粘度是指脱气后的石油在流动时其分子内部的摩擦力。粘度的单位为毫帕·秒或 $\text{mPa} \cdot \text{s}$, $1\text{mPa} \cdot \text{s} = 1\text{cP}$ 。

石油冷却到失去流动性的温度称为原油的凝点,原油凝点的大小与石油中高分子化合物量多少有关,含量越高,凝点越高。原油凝点在油田生产中被广泛应用,是进行生产选择的依据之一。

地层原油物理性质又称高压物性,主要有饱和压力、体积系数、压缩系数和溶解系数。

饱和压力是在一定温度下油藏原油降压过程中,开始从原油中分离出第一批气泡时的压力。体积系数是质量相等的地下原油体积与地面脱气后原油体积之比。压缩系数是单位体积原油在压力增减 0.1MPa 下原油体积收缩或膨胀的程度。溶解系数是压力在增加 0.1MPa 时单位体积原油中所溶解的气量,单位是 $\text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{MPa})$ 。

地层原油物性除饱和压力和压力外,主要指地层原油体积系数、原油粘度和溶解气油比。地层原油的这些物性是确定油藏类型、拟订开发方案和进行各种油藏工程计算不可缺少的参数。因此,在油层勘探初期,就应当通过出油的探井取得有代表性的地层原油样,供 PVT 试验分析与测定。

(2) 天然气。

① 地层天然气的物性。

a. 天然气的偏差系数。

理想气体的状态方程为:

$$pV = nRT \quad (1-1)$$

式中 p ——气体压力,Pa;

V ——气体体积, m^3 ;

n ——气体物质的量,mol;

R ——气体常数,8.3145J/(mol·K);

T ——地层温度,K。

天然气是一种真实气体,为适应此气体,将式(1-1)修正为:

$$pV = ZnRT \quad (1-2)$$

式中 Z ——气体偏差系数。

b. 天然气的压缩系数。

在恒温条件下,随压力变化的单位体积变化量称为天然气的压缩系数。它是气藏工程计算中的重要参数。

c. 天然气的体积系数。

天然气的体积是在地面标准条件下计量的,而油气藏工程计算需要在地层压力和温度条件下计算气体的体积流量大小。因此,需要把地面条件下的体积换算成地层条件下的体积,这一换算系数就是天然气的体积系数。它定义为:在地层条件下某一物质的量气体占有的实际体积,除以在地面标准条件下同样物质的量气体占有的体积。

② 天然气的组成。

天然气的主要成分是甲烷,同时含有乙烷、丙烷、丁烷等低级饱和烷烃,以及二氧化碳、一氧化碳、氢气、氮气等。

③ 天然气的物性指标。

相对密度:天然气的相对密度是在相同条件下(0°C 、 0.01MPa)天然气的质量与同体积空气质量之比。

粘度:天然气的粘度和石油一样,是天然气流动时内部分子之间所产生的摩擦力,是以分子之间互相碰撞的形式体现出来的。

溶解度:在单位体积的溶剂中溶解的天然气体积称为天然气的溶解度。

发热量:在通常情况下,燃烧每立方米天然气所放出来的热量称为天然气的发热量,单位为 J/m^3 。

(3) 地层水。

在油藏工程计算中,主要用到的地层水物性参数有地层水粘度、密度、体积系数和压缩系数。可通过井下高压取样和 PVT 分析得到。

2. 油气储集层性质

油气在地下是储存在一些岩石的孔隙、孔洞和裂缝中的,储存油气的岩石主要是砂岩和碳酸盐岩。

(1) 储层岩石物性。

油藏是由储层岩石和储层流体所组成,了解储层岩石特性与了解储层流体特性同等重要。

在油气田的详探阶段,通过探井和评价井的岩石分析、测井解释和试井所取得的储层岩石物性资料是进行油气藏评价和编制油气藏开发方案必不可少的重要参数。

① 岩石结构。

岩石颗粒的大小称为粒度。岩石粒度组成是指岩石中各种大小不同的颗粒含量。组成岩石颗粒按大小可分为一系列等级,称为粒级。

对油层来说,粒度组成基本上可用直径 $1 \sim 0.01\text{mm}$ 的粒级表示。根据粒度组成,常把油层岩石分为三大类:

- 砂岩或砂层:主要由 $1 \sim 0.1\text{mm}$ 的颗粒组成,岩石中粒级含量达 $50\% \sim 80\%$ 。
- 细砂岩:主要由 $0.1 \sim 0.01\text{mm}$ 的颗粒组成,岩石中粒级含量达 50% 以上。
- 泥砂岩:主要由小于 0.01mm 的颗粒组成,岩石中粒级含量达 $50\% \sim 80\%$ 。

② 岩石的物理性质。

a. 润湿性:当两种非混相流体同时呈现于固相介质表面时,某一流体相优先润湿固体表面的能力。润湿性是储层岩石的一个重要性质。

b. 毛管压力:在多孔介质中的微细毛管中跨越两种非混相流体弯曲界面的压力差。储层岩石由大小尺寸不同、形状各异的毛管孔道所组成。储层毛管压力曲线可通过孔隙隔膜法、压汞法、离心机法和动力学法测定。

c. 岩石的孔隙性。储集层岩石孔隙可分为粒间孔隙、溶洞和裂缝。衡量孔隙性好坏的指

标称为孔隙度。

岩石孔隙度是指岩石的孔隙容积与岩石的外表体积之比,即

$$\text{孔隙度} = \frac{\text{岩石孔隙容积}}{\text{岩石体积}} \times 100\%$$

$$\phi = \frac{V_p}{V_f} \quad (1-3)$$

若岩石孔隙容积是指相互连通的有效孔隙容积,则这种孔隙度称为有效孔隙度。

$$\phi_e = \frac{V_{ep}}{V_f} \quad (1-4)$$

在储集层中石油体积与岩石孔隙容积之比称为含油饱和度。

d. 岩石的渗透性:在一定压差下,岩石本身允许液体通过的能力称为渗透性,渗透性的大小用渗透率表示。

(2)相关技术术语。

① 达西定律:液体在多孔介质中渗流时,其流量与介质的截面积、介质两端的压力差成正比,而与液体的粘度、介质的长度成反比。

② 绝对渗透率:用一种流体(空气)通过岩石时所测出的渗透率称为绝对渗透率。

③ 有效渗透率:用两种以上液体通过岩石时所测出某一相流体的渗透率称为有效渗透率。

④ 相对渗透率:有效渗透率与绝对渗透率的比值称为相对渗透率。

⑤ 渗透率的计量单位:渗透率的计量单位是 μm^2 。它与达西的关系是 $1\mu\text{m}^2 = 1.01325\text{D}$ 。

在实际应用中,可用以下近似规定:

$$1\mu\text{m}^2 = 1\text{D} = 1000\text{mD}$$

(四)渗流力学基础知识

要开发好油藏,必须认识油藏,认识油、气、水在岩层中流动的客观规律。渗流力学就是研究流体在多孔介质中运动规律的科学。

1. 油层中流体的渗流状况

油藏一般是由含油区、含气区(当气存在时)和含水区(存在边水或底水时)所组成。整个油藏系统内是由微细的孔隙通道相连,流体各质点间相互制约、相互作用,每个局部变化都会影响到整体。研究油、气、水在油层中的渗流规律,首先要了解油、气、水在油藏中的分布状况。

(1)油藏中油、气、水的分布状况。

油田在未开发前,整个油田处于相对平衡状态,储油层中的油、气、水分布与油层的岩石性质、流体性质有关。如果在油层中同时存在油、气、水时,由于气体最轻,将占据在圈闭构造顶部的孔隙中,称为气顶;石油则聚集在稍低的翼部;其更重的水则占据翼的端部,处于最外围,称为边水,见图 1-5。

油层中油和水的接触面称为油水分界面,投影到平面上即为含油边缘。油气分界面的水平投影称为供给边缘。如果油藏外廓有天然露头与天然气源相通,称为开敞式油藏,外廓的投影称为供给边缘。如果外围封闭(断层或尖灭),无水源,则称为封闭油藏,其外廓的投影称为封隔边缘,见图 1-6。

在油(气)藏中,整个含油(气)边界(缘)范围内的油(气)层底部都有托着油(气)的水,称为底水;只在油(气)藏边部(气水或油水过渡带)的油(气)层底部有托着油(气)的水,称为边水。有底水的油藏构造示意图见图1-7。

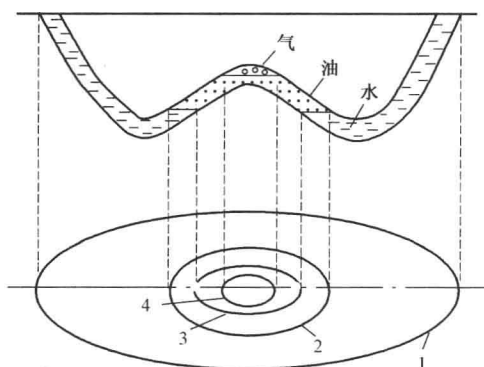


图1-5 有供给边缘的油藏构造

1—外边缘;2—外含油边缘;
3—内含油边缘;4—油气边缘

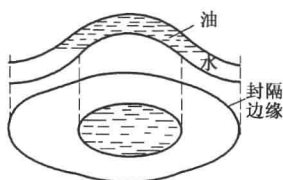


图1-6 有封隔边缘的油藏构造

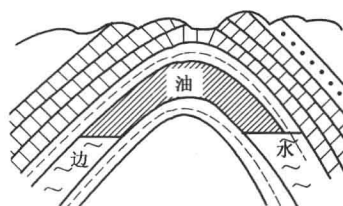
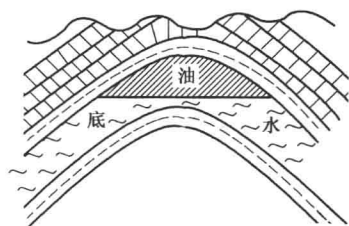


图1-7 有底水与边水的油藏构造示意图

在实际油田中,都不是单一油层,而是小层交错,形成油层组,油层之间有不渗透层隔开,小层之间也可能有局部连通。层与层之间岩性也常不一致,同一平面上岩性也不相同,故而油层是非均质的。

(2) 油层中驱油能量。

当在油田上钻了一些井,并投入生产后,石油就从油层流到井底,然后沿着井筒上升到地面。在油井的管理和分析中,会经常遇到这样一些现象,即在同一油田上有的油井投入生产后,压力、产量、气油比稳定,有的油井投产后压力、产量、气油比则不断上升。这

些现象不仅在不同油井上可以发生,而且在同一油井的不同开采阶段也会出现。如图1-8中的油田情况,第1排、第5排油井离注水井排或供水区较近,当油井投产后不久,油井的压力下降还没有影响到油井,原油只好依靠油层岩石和本身的弹性,这时要保持油井产量不降,就只好消耗压力,所以,第1排、第5排油井的压力将不断下降。当油井压力降传到供水区或注水井排时,供水区边水(或注入水)侵入油区,推动原油流向油井,由于油层能量得到边水(或注入水)的补充,因而在一定时期内能保持产量稳定。第3排井由于受断层遮挡,得不到边水或注入水的能量补充,油层中压力就会不断下降。当油层压力降到原油的饱和压力后,溶于油中

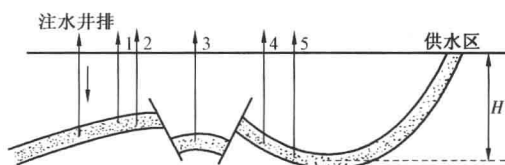


图1-8 油田开发剖面示意图

的气体就从油中分离出来,形成油、气两相渗流,这时油井压力、产量仍然不断下降,而气油比则不断上升。第2排,第4排油井虽然和注水井排(或注水区)连通,但距离较远,并受到第1排、第5排井的遮挡,当油井投产后,油层压力、产量也会不断下降,气油比将上升。但当注水井排(或注水井区)的影响传到时,油层能量获得补充,油层压力、产量将转入稳定、回升,气油比下降。

上述情况说明,驱油能量表现为油层压力,而压力的形成又是由以下各方面的因素决定的:

① 水压作用:当油田构造比较平缓,周围有供水区存在,供水区和含油区连通,如果边水供应充足,油层的能量主要来自边水的压头。

② 弹性作用:如果油藏封闭,没有边水或边水供给不足,或虽有边水但没影响到含油区内部时,就只能靠油自身弹性能量驱油。

③ 溶解气作用:如果油层封闭,又没有外来能量补充,那么在开采过程中,开始是消耗弹性能量,当油层压力低于饱和压力后,原来溶解在原油中的天然气将从油中分离出来形成气泡,压力下降时,气体体积膨胀和携带作用把原油驱向油井。

除去以上驱油能量外,当油层顶部有气顶,含油区压力下降,气顶中气体膨胀,也可把油驱向井底。另外,当油层倾角很大,利用油、水的重力差异,也可把油驱向井底。

对于某一具体油藏,可以存在几种驱油能量。但是一般说来,在不同生产阶段,几种驱油能量中一种驱油能量起着主导作用,而其他几种则处于次要地位。在生产过程中,主要依靠哪一种能量来驱油,称为油藏的驱油方式。根据起主导作用、决定作用的驱油能量,可以把驱油方式划分为水压驱动、弹性驱动、溶解气驱动、气顶和重力驱动。

驱动方式的不同,开采过程中油井的压力、产量和气油比的变化也不同,最终采收率也不同。因此,鉴别油藏的驱油方式,对于合理开采油田有着重要意义。一般说来,水压驱动驱油效率高,采收率高;溶解气驱驱油效率低,采收率低。

如上所述,在不同驱动方式不同能源作用下,克服渗流作用过程中的阻力将油驱入井中,岩层和本身的物理性质将影响渗流过程中的渗流特点。

(3) 三种基本渗流方式。

流体在多孔介质的运动称为渗流(或称渗滤)。在单位时间内流体流过单位渗流表面的体积流量称为渗流速度。在油层内的油流运动具有单向流、平面径向流和球面径向流三种典型情况。

① 单向流,见图1-9(a)。此时流线皆为平行直线,过水截面上各点的流速不仅互相平行,而且彼此相等,压力仅沿一个方向变化。如实际地层中当液流横截面变化不大时,液流来自单一方向,其他三面为不透透边界地层,向井排的流动也属于此类,见图1-9(b)。

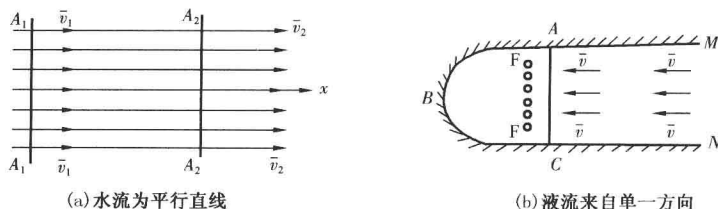


图1-9 单向流示意图