



面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

钻 井 工 程 理 论 与 技 术

陈庭根 管志川 主编
刘希圣 主审

石油大学出版社

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

钻井工程理论与技术

陈庭根 管志川 主编
刘希圣 主审

石油大学出版社

内 容 提 要

本书主要讲述油气井钻井过程中的基本工艺理论及现代主要钻井技术。全书共八章,并配有便于自学和有利于基本知识掌握的思考题和练习题。主要内容包括:钻井的工程地质条件,钻进工具,钻井液,钻进参数优选,井眼轨道设计及轨迹控制,固井及完井,其他钻井技术及作业。

本书体系完整、层次清楚,深度、广度适宜,是普通高等院校石油工程专业的教学用书,也可供从事油气井钻探工作的工程和科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

钻井工程理论与技术/陈庭根等主编. —东营:石油大学出版社,2000.6
ISBN 7-5636-1192-4

I. 钻... II. 陈... III. 油气钻井 IV. TE2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 33855 号

钻井工程理论与技术

陈庭根 管志川 主编

责任编辑:刘万忠 (电话 0546-8393634)

封面设计:傅荣治

出版者:石油大学出版社(山东 东营,邮编 257062)

网 址: <http://sunctr.hdpu.edu.cn/~upcpres>

电子信箱: upcpres@sunctr.hdpu.edu.cn

排版者:海讯科技有限公司(0532-2032701)

印刷者:泰安开发区成大印刷厂

发行者:石油大学出版社(电话 0546-8392563)

开 本: 787×960 1/16 印张:21.625 字数:400千字

版 次:2000年8月第1版2002年8月第3次印刷

印 数:4201—7200册

定 价:25.00元

编者的话

《钻井工程理论与技术》一书是根据石油工程专业教学计划和人才培养要求编写的石油工程专业学生用专业课教材。全书本着理论与实际相结合、少而精、覆盖面广、尽量反映钻井科技新技术和新成果的原则,从钻井的工程地质环境、钻进工具、钻井液、现代钻井技术、钻井控制技术、固井完井、钻井工程设计、特殊钻井作业及技术等多方面,系统地讲述了钻井工程所涉及到的基本理论、基本计算、基本设计和现代主要钻井技术的基本工艺过程。本教材的初稿于1997年7月完成,经过石油工程专业三届学生的试用,又进行了部分修改和完善,配备了便于学生自学和有利于基本知识掌握的思考题和练习题。本教材在内容编排上基本符合循序渐进的原则,有利于课堂讲解和学生自学。教材内容适合50学时左右的课堂讲授。

本教材由石油大学石油工程系的部分教师集体编写而成,其中第五章由韩志勇编写,第三章由夏俭英编写,第六章由李相方编写,第四章由管志川编写,绪论、第一章、第二章、第三章、第七章和第八章由陈庭根、周广陈、翟应虎、邹德永、王德新、王瑞和编写。全书由陈庭根、管志川主编并就最后定稿进行了统一修改。全书完稿后由刘希圣教授进行了全面审查。由于主编的水平所限,其中不免有不当和错误之处,诚请使用本教材的师生和广大读者批评指正。

编者

2000年6月

目 录

绪论	(1)
第一章 钻井的工程地质条件	(6)
第一节 地下压力特性	(6)
第二节 岩石的工程力学性质	(22)
第二章 钻进工具	(42)
第一节 钻头	(42)
第二节 钻柱	(72)
第三章 钻井液	(100)
第一节 钻井液的定义和功用	(100)
第二节 钻井液的组成和分类	(102)
第三节 钻井液的性能	(103)
第四节 钻井液的固相控制	(111)
第五节 井塌及防塌措施	(116)
第六节 油气层保护及完井液	(119)
第四章 钻进参数优选	(124)
第一节 钻井过程中各参数间的基本关系	(124)
第二节 机械破岩钻进参数优选	(135)
第三节 水力参数优化设计	(142)
第五章 井眼轨道设计与轨迹控制	(166)
第一节 井眼轨迹的基本概念	(167)
第二节 轨迹测量及计算	(172)
第三节 直井防斜技术	(179)
第四节 定向井井眼轨道设计	(186)
第五节 定向井造斜工具及轨迹控制	(192)
第六节 水平井钻井技术简介	(207)

第六章 油气井压力控制	(215)
第一节 井眼与地层压力系统.....	(215)
第二节 地层流体的侵入与检测.....	(222)
第三节 地层流体侵入控制.....	(230)
第七章 固井与完井	(249)
第一节 井身结构设计.....	(250)
第二节 套管柱的设计.....	(257)
第三节 注水泥技术.....	(268)
第四节 完井技术.....	(283)
第八章 其他钻井技术及作业	(301)
第一节 井下复杂情况及事故处理.....	(301)
第二节 取心技术.....	(316)
第三节 套管开窗技术.....	(331)

绪 论

(一)

在石油勘探和油田开发的各项任务中,钻井起着十分重要的作用。诸如寻找和证实含油气构造、获得工业油流、探明已证实的含油(气)构造的含油气面积和储量,取得有关油田的地质资料 and 开发数据,最后将原油从地下取到地面上来等等,无一不是通过钻井来完成的。钻井是勘探与开采石油及天然气资源的一个重要环节,是勘探和开发石油的重要手段。

石油勘探和开发过程是由许多不同性质、不同任务的阶段组成的。在不同的阶段中,钻井的目的和任务也不一样。一些是为了探明储油构造,另一些是为了开发油田、开采原油。为了适应不同阶段、不同任务的需要,钻井的种类可分为以下几种。

基准井: 在区域普查阶段,为了了解地层的沉积特征和含油气情况,验证物探成果,提供地球物理参数而钻的井。一般钻到基岩并要求全井取心。

剖面井: 在覆盖区沿区域性大剖面所钻的井。目的是为了揭露区域地质剖面,研究地层岩性、岩相变化并寻找构造。主要用于区域普查阶段。

参数井: 在含油盆地内,为了解区域构造,提供岩石物性参数所钻的井。参数井主要用于综合详查阶段。

构造井: 为了编制地下某一标准层的构造图,了解其地质构造特征,验证物探成果所钻的井。

探井: 在有利的集油气构造或油气田范围内,为确定油气藏是否存在,圈定油气藏的边界,并对油气藏进行工业评价及取得油气开发所需的地质资料而钻的井。各勘探阶段所钻的井,又可分为预探井、初探井、详探井等。

资料井: 为了编制油气田开发方案,或在开发过程中为某些专题研究取得资料数据而钻的井。

生产井: 在进行油田开发时,为开采石油和天然气而钻的井。生产井又可分为产油井和产气井。

注水(气)井: 为了提高采收率及开发速度,而对油田进行注水注气以补充和合理利用地层能量所钻的井。专为注水注气而钻的井叫注水井或注气井,有时

统称注入井。

检查井：油田开发到某一含水阶段，为了搞清各油层的压力和油、气、水分布状况，剩余油饱和度的分布和变化情况，以及了解各项调整挖潜措施的效果而钻的井。

观察井：油田开发过程中，专门用来了解油田地下动态的井。如观察各类油层的压力、含水变化规律和单层水淹规律等。它一般不承担生产任务。

调整井：油田开发中、后期，为进一步提高开发效果和最终采收率而调整原有开发井网所钻的井(包括生产井、注入井、观察井等)。这类井的生产层压力或因采油后期呈现低压，或因注入井保持能量而呈现高压。

在整个油田的开发中，有勘探、建设、生产几个阶段，各阶段彼此互有联系，而且都需要进行大量钻井工作。高质量、快速和高效率地钻井是开发油田的重要手段。

(二)

钻井除在石油工业中应用以外，在国民经济建设中也得到广泛应用。如在探矿、水文地质、铁路、水力、各种基本建设等部门，也常利用钻井方法取得有关资料，并将钻井技术用在工程施工中。在远古时代，人类为生存和取得地下资源就开始掘井工作。钻井技术的发展一般可分为四个阶段：①人工掘井；②人力冲击钻；③机械顿钻(冲击钻)；④旋转钻。我国在利用钻井开发地下资源方面有着悠久的历史。据记载早在两千多年前在四川就已经钻凿了盐井，并创造了冲击钻，其基本原理至今仍为人们所利用。在北宋时代，人力绳索式顿钻方法得到了发展。在1521年就钻凿了油井和火井(天然气井)，1835年在四川钻成深达1 200 m的火井，这是当时世界上最深的井。一般认为机械顿钻(1859年)是现代石油钻井的开始。以后在1901年发展了旋转钻井方法，以转盘带动钻柱、钻头破碎井底岩石并循环钻井液以清洁井底。1923年前苏联工程师研究出了涡轮钻具，并在40年代开始得到广泛应用。以后又出现了电动钻具和螺杆钻具，统称为井下动力钻具，它们在钻定向井中有其特殊的优越性。

到目前为止，旋转钻井方法仍是石油钻井的主要方法。随着现代科学技术的发展，旋转钻井工艺技术也得到迅速发展，其特点是：从经验钻井发展到科学化钻井；从浅井、中深井发展到深井、超深井；从钻直井(垂直井)、定向井发展到大斜度定向井、丛式井、水平井；从陆地钻井发展到近海和深海钻井。

国外钻井科技工作者将旋转钻井技术的发展分为四个时期，即：

(1) 概念时期(1901—1920年)，这个时期内开始将钻井和洗井结合在一起，并使用了牙轮钻头和注水泥封固套管工艺技术。

(2) 发展时期(1920—1948年)，在这个时期内，牙轮钻头、固井工艺、钻井

液等得到进一步发展,同时出现了大功率钻井设备。

(3) 科学化钻井时期(1948—1969),这个时期开展了大量的研究工作,研究钻井工艺中的内在规律,使钻井技术有了迅速发展。其主要技术成就有:水功率的充分利用(喷射钻井);镶齿、滑动密封轴承钻头;低固相、无固相不分散体系钻井液及固相控制;钻进参数优选;地层压力检测、井控技术及平衡压力钻井技术等。

(4) 自动化钻井时期(1969—现在),在这个时期发展了钻井参数自动测量、综合录井、随钻测量技术;计算机在钻井中得到广泛应用;优化钻井、自动化钻机、井口机械化自动化工具、井眼轨迹遥控及自动闭环控制等新技术、新工艺、新设备也应运而生。

近些年来,发展了小直径井、大位移井、分支井、欠平衡压力钻井和连续管钻井。这些工艺技术的发展都有利于提高钻井效率,提高油田产量和采收率。

(三)

在石油钻井中,尽管钻井目的不同,井的深浅各异,不论在陆地还是在海上,目前都是用旋转方法钻井,包括转盘旋转钻、井下动力旋转钻及顶部驱动旋转钻。

一口井的建井过程从确定井位到最后试油、投产,要完成许多作业,按其顺序可分为三个阶段,即钻前准备、钻进和完井,而每个阶段又包括许多具体工艺作业。

1. 钻前准备

在确定井位、完成井的设计后,钻前工程是钻井施工中的第一道工序,它主要包括:

- (1) 修公路。修建通往井场的运输用公路,以便运送钻井设备及器材等。
- (2) 井场及设备基础准备。根据井的深浅、设备的类型及设计要求来平整场地,进行设备基础施工(包括钻机、井架、钻井泵等的基础)。
- (3) 钻井设备搬运及安装。包括设备就位、找正、调整、固定;钻井循环管线和油、气、水、保温管线及罐、保温锅炉的安装等。
- (4) 井口设备准备。包括挖圆井(或不用)、下导管并封固、钻鼠洞及小鼠洞等。

2. 钻进

钻进是以一定压力作用在钻头上,并带动钻头旋转使之破碎井底地层岩石,井底岩石被破碎后所产生的岩屑通过循环钻井液被携带到地面上来,这一过程称为洗井。加在钻头上的压力是利用部分钻柱(钻铤)的重力来完成的,钻头的旋转是由转盘或顶驱动力水龙头带动钻柱及钻头旋转来实现的,在使用井下动力钻具时,钻柱不旋转。在钻进过程中,只要钻具在井内,就应不断循环钻井液以免

造成井下事故。

在钻进中,钻头不断破碎岩石,井眼逐渐加深,则钻柱也需要接长,因而需要不断加接钻杆(接单根)。

由于钻头在井底破碎岩石,钻头会逐渐磨损,机械钻速下降,当磨损到一定程度则需要更换新钻头。为此,需将全部钻柱从井内起出(起钻),更换新钻头后再将新钻头及全部钻柱下入井内(下钻),这一过程称为起下钻。有时为了处理事故、测井等也需进行起下钻作业。

在钻井过程中,井眼不断加深,所形成井眼的井壁应当稳定,不发生复杂情况以保证继续钻进。在钻进中要钻穿各种地层,而各地层的特点不同,其岩石强度有高有低,有的地层含高压水、油、气等流体,有的含有盐、石膏、芒硝等成分,这些对钻井液都有不良影响。强度低的地层会发生坍塌,或被密度大的钻井液压裂等复杂情况,妨碍继续钻进,这需要下入套管并注入水泥予以封固,然后用较小的钻头继续钻出新的井段。每改变一次钻头尺寸(井眼尺寸),开始钻新的井段的工艺叫开钻。一般情况下,一口井的钻进过程中应有几次开钻,井深和地层情况不同,则开钻次数也不同。其基本工艺过程有:

第一次开钻(一开):从地面钻出较大井眼,到一定设计深度后下表层套管。

第二次开钻(二开):从表层套管内用较小一些的钻头继续钻进,若地层不复杂,则可直接钻到目的层后下油层套管完井。如果地层复杂,很难用钻井液控制时,则要下技术套管。

第三次开钻(三开):从技术套管内再用小一点的钻头往下钻进。根据情况,或可一直钻达预定井深,或再下第二层、第三层技术套管。再进行第四次、第五次开钻,直到最后钻到目的地层深度,下油层套管,进行固井、完井作业。

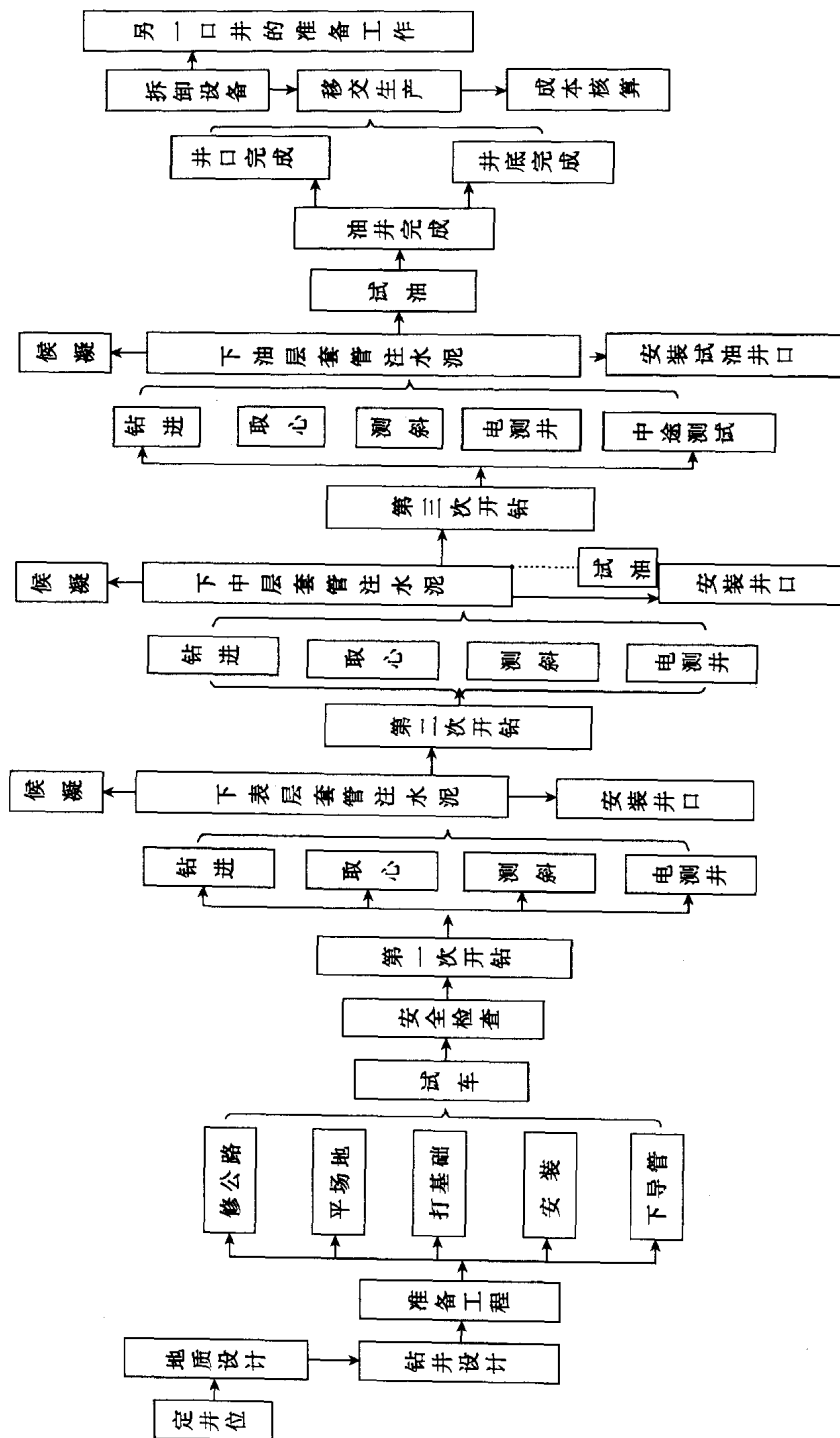
3. 固井和完井

固井是在已钻成的井眼内下入套管,然后在套管与井壁之间的环形空间内注入水泥浆(在套管的下段部分或全部环空)将套管和地层固结在一起的工艺过程,它可以防止复杂情况以保证安全继续钻进下一段井眼(对表层、技术套管)或保证顺利开采生产层中的油、气(对油层套管)。套管柱的上部在地面用套管头予以固定。

完井工程包括:钻开生产层,确定油、气层和井眼的连通方式即完井井底结构,确定完井的井口装置及有关技术措施。完井的井底结构可分为四类:即封闭式井底、敞开式井底、混合式井底和防砂完井等。它们分别适应不同的油、气层条件。完井作业还包括下油管、装油管头和采油树,然后进行替喷、诱导油流使油气进入井眼,进而便可进行采油生产。

另外在整个油井的建井过程中还须进行岩屑录井、电测、气测等录井工作,必要时取心。探井在钻到油层时要进行钻杆测试工作。石油钻井建井过程如下图所示。

石油钻井建井过程



第一章 钻井的工程地质条件

钻井的工程地质条件是指与钻井工程有关的地质因素的综合。地质因素包括岩石、土壤类型及其工程力学性质、地质结构、地层中流体情况及地层情况等。钻井是以不断破碎井底岩石而逐渐钻进的。了解岩石的工程力学性质,是为选用合适的钻头和确定最优的钻进参数提供依据。井眼的形成使地层裸露于井壁上,这又涉及井眼与地层之间的压力平衡问题,对此问题处理不当则会发生井涌、井喷或压裂地层等复杂情况或事故,使钻进难以进行,甚至使井眼报废。所以,在一个地区钻井之前,充分认识和了解该地区的工程地质资料(包括岩石的工程力学性质、地层压力特性等)是进行一口井设计的重要基础。

第一节 地下压力特性

地下各种压力的理论及其评价技术对油气勘探和开发具有重要意义。在钻井工程中,地层压力和地层破裂压力是科学地进行钻井设计和施工的基本依据,因而必须对它们进行准确的评价。本章主要介绍地下各种压力的概念和压力评价技术。

一、地下各种压力的概念

(一) 静液压力

静液压力是由液柱自身的重力所引起的压力,它的大小与液体的密度、液柱的垂直高度或深度有关,即:

$$p_h = 0.00981\rho h_1 \quad (1-1)$$

式中: p_h ——静液压力, MPa *;

ρ ——液体的密度, g/cm³;

h_1 ——液柱的垂直高度, m。

* 注: 在石油工程中,地下压力的单位也常用当量密度表示。

由上式可知,液柱的静液压力随液柱垂直高度的增加而增大。我们常用单位高度或单位深度的液柱压力,即压力梯度,来表示静液压力随高度或深度的变化。若用 G_h 表示静液压力梯度,则

$$G_h = p_h / h_1 = 0.00981\rho \quad (1-2)$$

式中: G_h ——静液压力梯度,MPa/m;

p_h ——静液压力,MPa;

ρ ——液体的密度,g/cm³。

h_1 ——液柱的垂直高度,m。

静液压力梯度的大小与液体中所溶解的矿物及气体的浓度有关。在油气钻井中所遇到的地层水一般有两类,一类是淡水或淡盐水,其静液压力梯度平均为 0.00981 MPa/m;另一类为盐水,其静液压力梯度平均为 0.0105 MPa/m。

(二) 上覆岩层压力

地层某处的上覆岩层压力是指该处以上地层岩石基质和孔隙中流体的总重力所产生的压力,即

$$p_o = \frac{\text{基岩重力} + \text{流体重力}}{\text{面积}}$$

$$p_o = 0.00981D[(1 - \Phi)\rho_{ma} + \Phi\rho] \quad (1-3)$$

式中: p_o ——上覆岩层压力,MPa;

D ——地层垂直深度,m;

Φ ——岩石孔隙度,%;

ρ_{ma} ——岩石骨架密度,g/cm³;

ρ ——孔隙中流体密度,g/cm³。

由于沉积压实作用,上覆岩层压力随深度增加而增大。一般沉积岩的平均密度大约为 2.5 g/cm³,沉积岩的上覆岩层压力梯度一般为 0.0227 MPa/m。在实际钻井过程中,以钻台作为上覆岩层压力的基准面。因此在海上钻井时,从钻台面到海平面,海水深度和海底未固结沉积物对上覆岩层压力梯度都有影响,实际上覆岩层压力梯度值远小于 0.0227 MPa/m。

上覆岩层压力梯度一般分层段计算,密度和岩性接近的层段作为一个沉积层,即

$$G_o = \frac{\sum p_{oi}}{\sum D_i} = \frac{\sum (0.00981)\rho_{oi}D_i}{\sum D_i} \quad (1-4)$$

式中: G_o ——上覆岩层压力梯度,MPa/m;

p_{oi} ——第 i 层段的上覆岩层压力,MPa;

D_i ——第 i 层段的厚度,m;

ρ_{oi} ——第 i 层段的平均密度, g/cm^3 。

上式计算的是上覆岩层压力梯度的平均值。

(三) 地层压力

地层压力是指岩石孔隙中的流体所具有的压力, 也称地层孔隙压力, 用 p_p 表示。在各种地质沉积中, 正常地层压力等于从地表到地下某处的连续地层水的静液压力。其值的大小与沉积环境有关, 主要取决于孔隙内流体的密度和环境温度。若地层水为淡水, 则正常地层压力梯度(用 G_p 表示)为 $0.00981 \text{ MPa}/\text{m}$; 若地层水为盐水, 则正常地层压力梯度随地层水的含盐量的大小而变化, 一般为 $0.0105 \text{ MPa}/\text{m}$ 。石油钻井中遇到的地层水多数为盐水。

在钻井实践中, 常常会遇到实际的地层压力大于或小于正常地层压力的现象, 即压力异常现象。超过正常地层静液压力的地层压力($p_p > p_h$)称为异常高压, 而低于正常地层静液压力的地层压力($p_p < p_h$)称为异常低压。

(四) 基岩应力

基岩应力是指由岩石颗粒之间相互接触来支撑的那部分上覆岩层压力, 亦称有效上覆岩层压力或颗粒间压力, 这部分压力是不被孔隙水所承担的。基岩应力用 σ 来表示。

以上所述地下各种压力之间的关系可用图(1-1)和式(1-5)来说明。

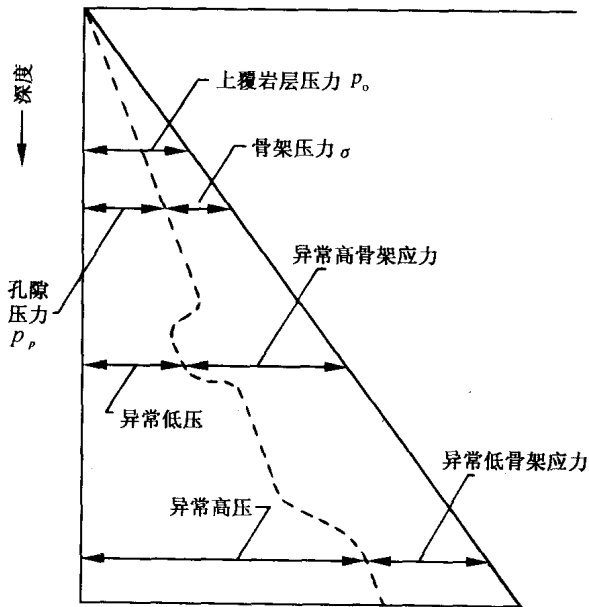


图 1-1 p_o 、 p_p 和 σ 之间的关系

$$p_o = p_p + \sigma \quad (1-5)$$

式中： p_0 ——上覆岩层压力，MPa；

p_f ——地层压力，MPa；

σ ——基岩应力，MPa。

上覆岩层的重力是由岩石基质(基岩)和岩石孔隙中的流体共同承担的,所以不管什么原因使基岩应力降低时,都会导致孔隙压力增大。

(五) 异常压力的成因

异常低压和异常高压统称为异常压力。异常低压的压力梯度小于 0.009 81 MPa/m(或 0.010 5 MPa/m),有的甚至只有静液压力梯度的一半。世界各地的钻井情况表明,异常低压地层比异常高压地层要少。一般认为,多年开采的油气藏而又没有足够的压力补充,便产生异常低压;在地下水位很低的地区也产生异常低压现象。在这样的地区,正常的流体静液压力梯度要从地下潜水面开始。异常高压地层在世界各地广泛存在,从新生代更新统到古生代寒武系、震旦系都曾遇到。

正常的流体压力体系可以看成是一个水力学的“开启”系统,即可渗透的、流体可以流通的地层,它允许建立或重新建立静液压力条件。与此相反,异常高压地层的压力系统基本上是“封闭”的。异常高压和正常压力之间有一个封闭层,它阻止了或至少大大地限制了流体的流通。在这里,上部基岩的重力有一部分是由岩石孔隙内的流体所支撑的。通常认为异常高压的上限为上覆岩层压力。根据稳定性理论,它是不能超过上覆岩层压力的。但是,在一些地区,如巴基斯坦、伊朗、巴比亚等地的钻井实践中,曾遇到比上覆岩层压力高的超高压地层,有的孔隙压力梯度超过上覆岩层压力梯度的 40%,这种超高压地层可以看作存在一个“压力桥”(图 1-2)的局部化条件。覆盖在超高压地层上面的岩石内部的抗压强度,帮助上覆岩层部分地平衡超高压地层流体向上的巨大作用力。

异常高压的形成常常是多种因素综合作用的结果,这些因素与地质作用、构造作用和沉积速度等有关。目前,被普遍公认的成因主要有沉积压实不均、水热增压、渗透作用和构造作用等。本章主要就沉积压实的机理进行讨论,因为它是各种地层压力评价方法的理论依据。

沉积物的压缩过程是由上覆沉积层的重力所引起的。随着地层的沉降,上覆

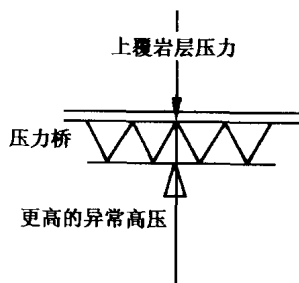


图 1-2 压力桥

沉积物重复地增加,下覆岩层就逐渐被压实。如果沉积速度较慢,沉积层内的岩石颗粒就有足够的时间重新紧密地排列,并使孔隙度减小,孔隙中的过剩流体被挤出。如果是“开放”的地质环境,被挤出的流体就沿着阻力小的方向,或向着低压高渗透的方向流动,于是便建立了正常的静液压力环境。这种正常沉积压实的地层,随着地层埋藏深度的增加,岩石越致密,密度越大,孔隙度越小。地层压实能否保持平衡,主要取决于四种因素:①上覆沉积速度的大小;②地层渗透率的大小;③孔隙减小的速度;④排出孔隙流体的能力。如果沉积物的沉积速度与其他过程相比很慢,沉积层就能正常压实,保持正常的静液压力。

在稳定沉积过程中,若保持平衡的任意条件受到影响,正常的沉积平衡就被破坏。如沉积速度很快,岩石颗粒没有足够的时间去排列,孔隙内流体的排出受到限制,基岩无法增加它的颗粒与颗粒之间的压力,即无法增加它对上覆岩层的支撑能力。由于上覆岩层继续沉积,负荷增加,而下面基岩的支撑能力没有增加,孔隙中的流体必然开始部分地支撑本来应由岩石颗粒所支撑的那部分上覆岩层压力,从而导致了异常高压。

在某一环境里,要把一个异常压力圈闭起来,就必须有一个密封结构。在连续沉积盆地,最常见的密封结构是一个低渗透率的岩层,如一个纯净的页岩层段。页岩降低了正常流体的散逸,从而导致欠压实和异常的流体压力。与正常压实的地层相比,欠压实地层的岩石密度低,孔隙度大。

在大陆边缘,特别是三角洲地区,容易产生沉积物的快速沉降。在这些地区,沉积速度很容易超过平衡条件所要求的值,因此常常遇到异常高压地层。

二、地层压力评价

在长期的实践中,石油工作者总结出了多种评价地层压力的方法。但是,每种方法都有其一定的局限性,所以目前单纯应用一种方法很难准确地评价一个地区的地层压力,要用多种方法进行综合分析和解释。地层压力评价的方法可分为两类,一类是用邻近井资料进行压力预测,建立地层压力剖面,此方法常用于新油井设计;另一类是根据所钻井的实时数据进行压力监测,以掌握地层压力的实际变化规律,并据此决定现行钻井措施。这两类方法要求在测井和钻井过程中详细和真实地记录有关资料,然后进行分析处理,并作出科学推断。

由于异常高压地层的成因多种多样,在泥、砂岩剖面中,异常高压层可能有几个盖层(即由几个致密阻挡层组成的层系),它们的厚度范围变化不一,而且可能存在多个压力转变区。当存在断层时,有时会使情况进一步复杂。另外,岩性

的变化,例如泥岩中存在钙质、粉砂等成分,这些因素都会影响地层压力评价的准确性。因而在进行地层压力评价时要针对具体情况,综合分析所收集的有关资料,力求做出合理的评价。

(一) 地层压力预测

钻井前要进行地层压力预测,建立地层压力剖面,为钻井工程设计和施工提供依据。常用的地层压力预测方法有地震法、声波时差法和页岩电阻率法等。这里主要介绍声波时差法。

利用地球物理测井资料评价地层压力是常用而有效的方法。声波速度是测井资料中的一种常规资料。通过测量声波在不同的地层中传播的速度可识别地层岩性,判断储集层,确定地层孔隙度和计算地层孔隙压力。

声波在岩石中传播时产生纵波和横波。在同一种岩石中,纵波的速度大约是横波速度的两倍,能够较先到达接收装置。为研究方便,目前声波测井主要是研究纵波在地层中的传播规律。声波在地层中传播的快慢常以通过单位距离所用的时间来衡量,即

$$t = \sqrt{\frac{\rho(1 + \mu)}{3E(1 - \mu)}} \quad (1-6)$$

式中: t ——声波在单位距离内的传播时间;

ρ ——岩石的密度;

μ ——岩石的泊松比;

E ——岩石的弹性模量。

由上式可知,声波在地层中传播的快慢与岩石的密度和弹性系数等有关,而岩石的密度和弹性系数又取决于岩石的性质、结构、孔隙度和埋藏深度。不同的地层、不同的岩性有不同的传播速度。因此,通过测定声波在地层中的传播速度就可研究和识别地层特性。

声波在地层中传播的快慢常用声波到达井壁上不同深度的两点所用的时间之差,即声波时差 Δt ($\mu\text{s}/\text{m}$) 来表示。当岩性一定时,声波的速度随岩石孔隙度的增大而减小。对于由沉积压实作用形成的泥、页岩,声波时差与孔隙度之间有如下关系:

$$\Phi = \frac{\Delta t - \Delta t_m}{\Delta t_i - \Delta t_m} \quad (1-7)$$

式中: Φ ——岩石孔隙度, %;

Δt ——地层的声波时差, $\mu\text{s}/\text{m}$;