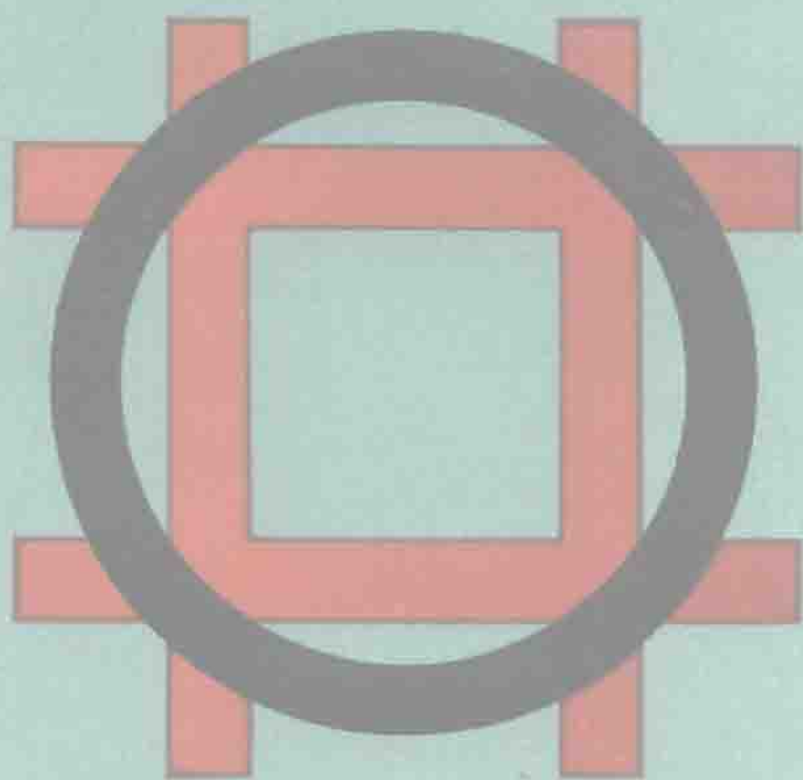


石油技工学校统编教材

井控技术

中国石油天然气总公司劳资局组织编写



石油工业出版社

石油技工学校统编教材

井 控 技 术

中国石油天然气总公司劳资局组织编写

石油工业出版社

内 容 提 要

本书为石油技工学校钻井工程专业井控技术教学用书,全书系统介绍了近平衡钻井、溢流、井口控制设备、关井、压井等内容,通俗易懂,注重实用。

本书可作为钻井队长、正副司钻的井控培训教材,也可供石油中等专业学校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

井控技术/王文秀,王建学编.

石油技工学校统编教材 附录一、井控技术的规定;附录二、井喷实例
北京:石油工业出版社,1996.8

ISBN 7-5021-1490-4

I. 井…

II. ①王…②王…

III. 井(石油,天然气)-控制系统-技术学校-教材

IV. TE28

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 10021 号

*

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里 2 区 1 号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开 $7\frac{3}{4}$ 印张 192 千字 印 1-2000

1996 年 8 月北京第 1 版 1996 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN7-5021-1490-4/TE·1290

定价: 11.00 元

前 言

本书是根据中国石油天然气总公司劳动工资局 1992 年 5 月审定的石油技工学校钻井专业“井控技术教学大纲”编写的。

全书共分七章，由华北石油技工学校编写。编者有：华北石油技工学校王建学（第一章、第二章、第六章、第七章），华北石油技工学校王文秀（第三章、第四章、第五章），全书由中国石油天然气总公司钻井工程局徐明辉、赵蕴国审定。在本书的编写过程中华北石油技工学校部分教师提出了一些宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

由于我们理论水平有限，实践经验不足，再加上时间仓促，资料欠缺，书中肯定存在有缺点和错误，殷切希望读者提出宝贵意见，以便今后修改和提高。

编 者

1994 年 1 月

目 录

绪言	(1)
第一章 近平衡钻井	(2)
第一节 概述	(2)
第二节 地层压力	(4)
第三节 地层压力预报与监测	(8)
第四节 井底压力	(12)
第五节 钻井液密度的确定	(15)
第二章 溢流	(18)
第一节 溢流的原因与预防	(18)
第二节 井侵的特点	(22)
第三节 溢流的显示	(25)
第三章 防喷设备	(31)
第一节 环形防喷器	(32)
第二节 闸板防喷器	(37)
第三节 钻具内防喷工具	(46)
第四节 防喷设备选择	(49)
第五节 防喷设备试压	(51)
第四章 控制系统	(55)
第一节 概述	(55)
第二节 FQK ₅ 控制系统功用及主要部件	(55)
第三节 FQK ₅ 控制系统工作原理及特点	(63)
第四节 控制系统安装、使用、维护保养及故障排除	(66)
第五章 井控管汇	(70)
第六章 关井	(76)
第一节 关井程序	(76)
第二节 关井后井眼内的各种压力	(81)
第三节 长期关井时井内压力的变化	(83)
第四节 关井立管压力的确定	(87)
第七章 压井	(92)
第一节 压井原理及压井基本数据	(92)
第二节 司钻法压井	(96)
第三节 工程师法压井与非常规压井	(99)
附录	
附录一 石油与天然气钻井井控技术规定	(102)
附录二 井喷实例	(108)
参考文献	(120)

绪 言

井控技术是指对油、气井压力的控制技术。井控技术是科学钻井的重要内容之一。实施井控技术后,在进行近平衡钻井时,防止井喷的安全保障不再是靠过分地增大钻井液密度,增加井底正压差,而是靠井控技术去有效、迅速地防止控制井喷。井控技术分为三级:

①初级井控:采用合适的钻井液密度和技术措施使井底压力稍大于地层压力的钻井过程。

②二级井控:由于某些原因使井底压力小于地层压力时,发生了溢流,但可以利用井口控制设备,按照一定的操作程序来控制溢流,并建立新的井内压力平衡,恢复正常循环的工作过程。

③三级井控:井喷失控、失火后,抢险灭火重新恢复对井控制的工作过程。

本教材主要介绍初级井控、二级井控的井控技术知识。

井控技术主要包括以下内容:

①地层压力预报、检测技术。

②井控工艺技术。

③井口控制设备。

随着现代钻井深度的不断增加和平衡钻井的广泛采用,导致可能发生井喷的条件更多地出现,因此,井控技术的普及极为重要。失去控制的井喷,不仅影响正常钻进,而且常会酿成严重事故,使井眼报废,甚至可能机毁人亡,使油气田遭到破坏,造成严重的经济损失。

学习这门课,学生要结合实物掌握防喷装置及其控制系统,井控管汇的结构、原理、使用、维护保养及简单故障排除方法,熟悉近平衡钻井的基本知识,掌握溢流预防与发现,以及关井、压井的技术知识和施工步骤。

第一章 近平衡钻井

第一节 概 述

保存在地层孔隙内的流体（油、气、水）所具有的压力称为地层压力。在钻井过程中，当钻至油气水层后，地层压力便作用于井底。在充满钻井液的井眼中，井底具有以钻井液液柱为主的井底压力。井底压力与地层压力的差值称为井底压差。当地层压力大于井底压力时，井底压差为负压差，地层孔隙中的流体便会侵入井内，发生井喷事故。当井底压力大于地层压力时，井底压差为正压差，地层孔隙中的流体就不会侵入井内。但是，当井底正压差较大时，就会产生下列危害。

①堵塞油气层的缝隙。钻井液中的粘土等固相颗粒在井底正压差的作用下，侵入油气层的孔隙或裂缝之中，阻止或妨碍油、气流出。井底正压差越大，钻井液中的固相颗粒越多，则固相颗粒越易侵入地层孔隙或裂缝之中，堵塞就越严重（见图 1—1）。

②对油、气流产生“水锁效应”。在井底正压差的作用下，钻井液中的自由水就会不断地向地层缝隙中渗透，在地层缝隙中形成一段水、一段油，……（如图 1—1）。由于油—水和气—水之间有表面张力，油气要想流入井眼中，就必须克服一段段水的表面张力所形成的阻力，这样，水就封锁了油气流入井内的通道，这就是所谓的“水锁效应”。井底正压差越大，失水量越大，钻井液浸泡时间越长，地层中的水量就越多，渗入地层中的深度就越大，一般为几十厘米，有时可达几米，甚至数十米，这就会严重阻碍油气流入井内，降低油气产量。

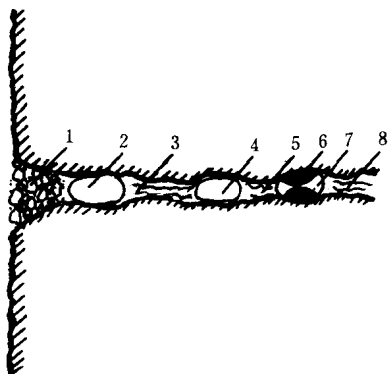


图 1—1 钻井液对油气层的危害示意图

1—固相颗粒；2—水；3—油；4—水；
5—油；6—泥质吸水膨胀；7—水；8—油

③油、气层中泥质吸水膨胀，堵塞油、气通道。当钻至油气层，如果油气层中的粘土等泥质成分含量较高，那么在井底正压差的作用下，钻井液中的自由水就会进入油气层。油气层中的泥质成分吸水膨胀堵塞油、气通道，就会降低油、气产量。井底正压差越大，侵入油气层的自由水就会越多，堵塞就越严重。

④降低机械钻速。在井底正压差的作用下，钻头破碎的岩屑会被紧紧地压在井底而不能及时离开，造成钻头对岩屑的重复破碎，从而影响钻头破碎岩石的效率，导致机械钻速下降。井底正压差越大，机械钻速越慢。

⑤易形成粘附卡钻。钻井过程中，由于井眼不可能完全垂直，当井下钻具静止不动时，钻柱在井底正压差的作用下靠向井壁，与井壁泥饼紧密结合（陷入泥饼中），如果静止时间较长，井底正压差较大就会把钻柱紧紧地压在井壁上，从而产生粘附卡钻。

⑥易发生井漏。在钻井过程中，如果地层孔隙度大，渗透性好，那么，钻井液就会在较大的井底正压差的作用下发生渗透性漏失。

当然，井底正压差较大，对防止井喷是极其有利的。过去人们往往怕井喷而过大地增加钻井液密度，人为地增大井底正压差，这样做的结果是井虽未发生井喷，但油气层却被堵塞了。过去，常常会看到这种现象，有的油、气井在钻进时油气显示很好，而完井试油时，却不出油产气，或者产油、气很少。因为石油钻井的主要目的是为了开发地下油气资源。所以，我们在钻井过程中，必须尽量减少井底正压差。

一、近平衡钻井

为了多出油，快打井，减少卡钻、井漏等事故的发生，井底正压差应该是越小越好，最理想的钻井状态为井底压力等于地层压力，使井底压差等于零。在井底压力等于地层压力条件下的钻井过程为平衡钻井。平衡钻井是很难做到的，一般情况下是使井底压力稍大于地层压力，保持最小的井底正压差，这种在井底压力稍大于地层压力条件下的钻井过程为近平衡钻井，近平衡钻井有以下优点：

- ①避免堵塞油气缝隙，有利于发现与保护油气层。
- ②提高机械钻速。
- ③防止粘附卡钻。
- ④防止井漏。

二、井侵等概念

近平衡钻井就是在“井喷边缘”进行钻井，如果地层压力突然升高，钻井措施稍有不当，就会发生井底压力小于地层压力，井底压差变成负压差的情况，从而使地层流体流入井内，造成井侵、溢流、井涌，甚至会井喷、井喷失控与着火、地下井喷等严重事故。下面分别介绍上述概念：

①井侵：地层流体（油、气、水）侵入井内的过程。

②溢流：地层流体侵入井内后，推动井内钻井液从井口钻井液出口管向外溢出的现象，形如泉水。

③井涌：井内钻井液从井口向外涌出的高度在转盘面以下的现象，形如涌泉。

④井喷：井内钻井液从井口向外喷出的高度在转盘面以上的现象。形如喷泉。

井涌之后，在很短时间内就会发展成井喷，因此，有些钻井工作者认为井涌就是井喷。

⑤井喷失控：井喷后，井口丧失控制能力，地层流体长期从井口向外喷出的现象。

⑥井喷失火：井喷后失去控制的地层流体在地面遇到火源着火的现象。

⑦地下井喷：地层流体侵入井内后从井下流入其它地层的现象。地下井喷是无法控制的，地下井喷后的流体可沿地层缝隙向上推进，经井场周围的松软地表向外喷出，遇到火源后会使得井场变成一片火海。

三、井喷失控的危害

溢流、井涌、井喷都是事故。

井喷失控及其着火是钻井工程中危害极大的灾难性事故，其严重危害如下：

- ①油气资源受到损失和破坏。
- ②油、气井报废。
- ③钻井设备被损坏或烧毁。

④危及人身安全，造成人员伤亡。

⑤严重污染环境，造成不良的社会影响。

⑥处理井喷失控、井喷失火不仅延误钻井时间，而且会在经济上造成巨大的损失，使钻井成本大大增加。

在钻井过程中，如果钻遇油、气、水层，且井底压力小于地层压力，如果没有相应的井口控制设备，就很可能发生井喷失控，喷出的油气极易着火。气井着火，我国古代就有发生。据晋（公元 268—580 年）《华阳国志》记载，“临邛县，……有火井，民欲其火，先以家火投之，顷许如雷声，火焰出，通耀数十里。”这可算是最古老的气井着火记载了。近代为寻找油、气打井时，也常有井喷失火事故发生。如：1840 年，四川自流井构造上的磨子井，在打穿主气层后井喷失火，火高近百米，地表冲裂，在数里之内形成一片火海。

国外也有井喷失火发生，如 1908 年墨西哥某油田发生井喷失火，火高数百米，火柱直径 25m，周围 30km 夜如白昼，甚至几百里以外的海船也可见到火光，大火持续了一个多月，烧掉原油 1000 多万吨。

我国解放后，1950～1989 年期间，钻井勘探范围逐渐扩大，但是，由于相应的设备，技术没有跟上，发生井喷失控的井有 240 多口，其中井喷后失火，烧毁钻机 60 多台。

第二节 地层压力

近平衡钻井的基本条件是井底压力稍大于地层压力。因此，我们必须首先理解和掌握地层压力的基本知识。

一、正常地层压力

地质上认为：含有油气水的地层是通过渗透性地层形成的缝隙与出露在地表的地层相互沟通，在这个相互沟通的缝隙内充满着地层水（如图 1—2）。

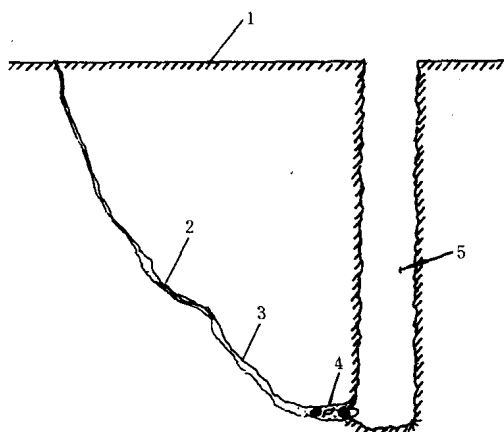


图 1—2 正常地层压力形成示意图

1—地表；2—地层缝隙；3—地层水；
4—油层；5—油井

某地区的正常地层压力就是该地区较为普遍的地层水所形成的静液柱压力，其计算公式为：

$$p = \rho g H$$

式中 p ——正常地层压力，MPa；

ρ ——地层水密度， g/cm^3 ；

g ——重力加速度， m/s^2 ；

H ——地层深度，km。

地层深度一定是地层垂直深度，与某深度的地层相互沟通的出露在地表的位置与该地层的水平距离可以达到数十公里，产生沟通作用的渗透性地层的倾斜距离会更多，这种水平距离、倾斜距离都不能做为计算正常地层压力的依据。

例 1—1 某地区较为普遍的地层水密度为 1.07g/cm^3 ，求地层垂直深度分别为 1km、2km、3km 的正常地层压力为多少？

解

$$\begin{aligned}p &= \rho g H = 1.07 \times 9.8 \times 1 \\&= 10.486\text{MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}p &= \rho g H = 1.07 \times 9.8 \times 2 \\&= 20.972\text{MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}p &= \rho g H = 1.07 \times 9.8 \times 3 \\&= 31.458\text{MPa}\end{aligned}$$

二、异常压力地层

在钻井过程中所遇到的压力不单是正常地层压力，还经常会遇到异常低压地层和异常高压地层。

异常低压层是指地层压力低于正常地层压力的地层。

在一般情况下，地层压力小于 1.00g/cm^3 的地层才称之为异常低压层（或低压层），低压层的压力可能低到 0.80g/cm^3 ，甚至更低。

异常高压层是指地层压力高于正常地层压力的地层。

在一般情况下，地层压力高于 1.07g/cm^3 的地层才称之为异常高压层（或高压层），高压层的压力可能高到 2.35g/cm^3 ，甚至更高。

异常低压层和异常高压层形成的原因很复杂，在此不进行讲述，但是，应该清楚地懂得，任何一种含油气的地质构造，都可能是异常高压层。钻井工作者的主要工作对象之一是异常高压层。

三、地层压力的几种表示方法

1. 用压力的具体数值表示地层压力

如在例 1—1 中：

地层深度为 1km 时地层压力为 10.486MPa；

地层深度为 2km 时地层压力为 20.972MPa；

地层深度为 3km 时地层压力为 31.458MPa；

2. 用地层压力梯度表示地层压力

由例 1—1 可以看出，正常地层压力与地层深度成正比，地层深度增加几倍，正常地层压力随着增加几倍；同样，地层深度减小，地层压力也随着减小。它们扩大、减小的规律是：地层压力和地层深度的比值总是一定的。例如：

$$\begin{aligned}\frac{10.486}{1} &= 10.486\text{MPa/km} \\&= 10.486\text{kPa/m}\end{aligned}$$

$$\frac{20.972}{2} = 10.486 \text{MPa/km}$$

$$= 10.486 \text{kPa/m}$$

$$\frac{31.456}{3} = 10.486 \text{MPa/km}$$

$$= 10.486 \text{kPa/m}$$

这个 10.486kPa/m 就是某地区的正常地层压力梯度。

地层压力梯度是单位地层深度地层压力的变化量。其计算公式为：

$$G = \frac{p}{H}$$

又因为

$$p = \rho \cdot g \cdot H$$

所以

$$G = \frac{\rho g H}{H} = \rho \cdot g$$

式中 G ——地层压力梯度，kPa/m；

p ——地层压力，MPa；

H ——地层深度，km。

对于某地区来说，由于地层水密度是一定的，所以某地区的正常地层压力梯度是一个固定不变的值。正常地层压力梯度能够较直观地表示某地区的正常地层压力。在异常压力地层，同样可以用异常地层压力梯度来表示异常压力地层。

例 1—2 某地区 3500m 以上为正常地层压力，测得地层深度为 2500m 处的地层压力为 26.215MPa，求该地区的正常地层压力梯度。

$$\text{解} \quad G = \frac{p}{H} = \frac{26.215}{2.5} = 10.486 \text{kPa/m}$$

例 1—3 某地区地层水密度为 1.05g/cm^3 ，求该地区正常地层压力梯度。

$$\text{解} \quad G = \rho g = 1.05 \times 9.8 = 10.3 \text{kPa/m}$$

在钻井施工前，我们如果已经了解本地区的正常地层压力梯度，那么，在钻井过程中，如果想知道某地层深度的正常地层压力的具体数值，只要将正常地层压力梯度乘以地层深度即可。

例 1—4 某地区正常地层压力梯度为 11.8kPa/m ，当井深为 2km 时，地层压力为多少？

解

$$\begin{aligned} p &= GH \\ &= 11.8 \times 2 \\ &= 23.6 \text{MPa} \end{aligned}$$

3. 用地层压力当量钻井液密度表示地层压力

地层压力梯度消除了地层深度的影响，如果同时消除地层深度和重力加速度的影响，那么，地层压力便可直接用地层压力当量钻井液密度来表示，地层压力当量钻井液密度就是平衡地层压力所需的钻井液密度：

$$p_e = \frac{p}{gH}$$

又因为

$$p = \rho gH$$

所以

$$p_e = \frac{\rho gH}{gH} = \rho$$

式中 p_e ——地层压力当量钻井液密度， g/cm^3 。

由上式可知，正常地层压力当量钻井液密度的数值等于形成地层压力的地层水密度。因此，只要知道某地区的地层水密度，就能直接得到正常地层压力当量钻井液密度，钻井工作者便可以采用相当的钻井液密度实现平衡钻井，或者采用比地层压力当量钻井液密度略高的钻井液密度，实施近平衡钻井。由于地层压力当量钻井液密度易与钻井中所用的钻井液密度形成对比，因此用地层压力当量钻井液密度表示地层压力较之地层压力梯度更为直观。

例 1—5 地层深度为 2km 时，地层压力为 20.972MPa，问地层压力当量钻井液密度为多少？

解

$$\begin{aligned} p_e &= \frac{p}{gH} \\ &= \frac{20.972}{9.8 \times 2} \\ &= 1.07 \text{g}/\text{cm}^3 \end{aligned}$$

由于各地区的地层水矿化度各不相同，有的是淡水，有的是海水，有的是盐水……，因此，各地区的地层水密度也各不相同。所以，各地区的正常地层压力当量钻井液密度值也各不相同。例如，胜利油田为 $1.02 \text{g}/\text{cm}^3$ ，东南亚为 $1.03 \text{g}/\text{cm}^3$ ，墨西哥湾为 $1.07 \text{g}/\text{cm}^3$ 。

4. 用地层压力系数来表示地层压力

当用地层压力当量钻井液密度表示地层压力时，人们在叙述时要说某地区正常地层压力为 $1.07 \text{g}/\text{cm}^3$ 。为了叙述方便起见，人们往往把单位去掉，而说某地层压力为 1.07，这就是地层压力系数。

地层压力系数是指某地层深度的地层压力与该深度处的淡水静液柱压力之比。地层压力系数无单位，其数值等于平衡该地层压力所需钻井液密度的数值。

如 2km 深度的地层压力为 20.972MPa，相同深度的淡水静液柱压力为 $1 \times 9.8 \times 2 = 19.6 \text{MPa}$ ，则

$$\begin{aligned}\text{地层压力系数} &= \frac{20.972\text{MPa}}{19.6\text{MPa}} \\ &= 1.07\end{aligned}$$

在钻井工作中谈到地层压力时，上述四种表示方法都可能用到，当用地层压力当量钻井液密度表示地层压力时，可以不再说明是地层压力当量钻井液密度而直接称之为地层压力。由于它们的数值与单位都相同，所以要按上下文的意思进行理解，以与钻井液密度相互区别。

在前面我们提到地层压力、地层压力梯度、地层压力当量钻井液密度、地层压力系数时仅对正常地层压力进行了一些阐述。实际上上述概念也适用于其它压力，如异常高压层、异常低压层、静液柱压力、地层破裂压力等。

第三节 地层压力预报与监测

在钻至油气层时，就会遇到异常高压层，如果不知道异常高压层的压力值，而仍采用比异常高压低的井底压力进行钻井，就会造成井喷。如果人们为了防止井喷而盲目地增大钻井液密度，就会使井底压力大大超过高压层的压力值，造成油气通道的严重堵塞。因此，必须在钻开高压油气层前就知道高压油气层的压力值，只有这样，才能够准确地确定合理的钻井液密度，实施近平衡钻井。

在钻井施工前进行的地层压力测定工作为地层压力预报。

地层压力预报方法主要有地震法和邻井资料对比法。

钻井过程中，在钻开高压油气层前进行的地层压力测定工作为地层压力监测。

地层压力监测方法有机械钻速法、dc 指数法、页岩密度法等。

一、地层压力预报

1. 地震法

利用地震法进行地层压力预报是物探部门的一项重要工作，钻井工作者只需了解一下它的基本原理即可。

在正常压力地层，随着岩石埋藏深度的增加，上面的岩层压力逐渐增大，地层孔隙度逐渐减小，这就使地震波的传播速度随岩石埋藏深度的增加而成正比地增加。当地震波到达高压油气层时，由于高压油气的存在，使地层孔隙度增大，这就使地震波的传播速度随之下降，因此，人们可以根据地震波在高压油气层中的减小值来确定高压层的压力值。

2. 邻井资料对比法

如果在某地要钻的井附近，有一些已钻过的井，这些井地层压力资料对要钻的井有着重要的指导意义。邻井的电测数值能够很准确地反映出各个地层深度的地层压力数值，这是最好的参考资料，大多数新井钻井过程中的高压层位置都是与邻井电测资料进行对比而知道的。我们要充分了解邻井的正常地层压力值，高压地层压力值和与其相对应的井深。在该井的钻进过程中，要经常与邻井压力资料进行对比，在钻进到与邻井相应井深的高压层时要特别引起注意，并可按照邻井的高压层压力值适当调整钻井液密度，实施近平衡钻井。

二、地层压力监测

1. 机械钻速法

在钻进过程中,当钻压、转速、地层岩性、钻头类型、钻井液密度及水力参数不变时,在正常地层压力情况下,随着井深的增加,岩石孔隙度减小,岩石越来越致密、坚硬,机械钻速越来越低。当钻达高压油气层时,岩石孔隙度增大,岩石较疏松,易于钻进,同时,在高压过渡带与高压带地层中,地层压力逐渐增加,井底压差逐渐减小,因此,机械钻速逐渐增加。人们根据这一规律可以检测地层压力。

2. dc 指数法

机械钻速法的前提是钻压、转数、钻井液密度及水力参数固定不变,但在实际的钻井过程中,钻压、转速很难固定不变,因此,机械钻速法不能准确预报地层压力,更难定量计算,为此,出现了 dc 指数法。

(1) dc 指数的计算公式

$$dc = \frac{\lg(0.0547V/N)}{\lg(0.0684p/D)} \times \frac{\rho_n}{\rho_m}$$

式中 V ——机械钻速, m/h;

N ——转数, r/min;

P ——钻压, kN;

D ——钻头直径, mm;

ρ_n ——该地区地层水密度或正常地层压力当量钻井液密度, g/cm³;

ρ_m ——实际使用的钻井液密度, g/cm³;

dc——修正钻压指数。

例 1—6 某井使用的钻头直径为 311mm, 该地区的正常地层当量钻井液密度为 1.07g/cm³, 试根据表中不同井深处所给定的钻压、机械钻速、转速, 钻井液密度数值计算 dc 值。

解 计算出各 dc 值, 列在表的右侧。

井深, m	V_m , m/h	P , kN	N , r/min	ρ_m , g/cm ³	dc
2440	13. 7	130	110	1. 2	1. 26
2460	10. 0	130	110	1. 2	1. 34
2480	7. 0	130	110	1. 2	1. 43
2490	6. 4	130	110	1. 2	1. 46
2495	4. 3	130	110	1. 2	1. 56
2500	3. 7	130	110	1. 2	1. 59
2503	4. 3	150	100	1. 2	1. 60
2506	4. 9	150	100	1. 2	1. 56
2508	4. 6	130	110	1. 24	1. 49
2509	5. 2	130	110	1. 24	1. 46
2511	7. 0	130	110	1. 24	1. 39
2513	7. 3	130	105	1. 24	1. 37
2516	7. 6	130	105	1. 24	1. 36
2517	7. 9	130	110	1. 25	1. 35

(2) dc 指数监测地层压力的原理

由例 1—6 中的 dc 指数值可以看出, 在 2503m 以前的正常地层压力井段, dc 指数值逐渐增加, 在 2503~2517m 的高压油气层井段, dc 指数值逐渐减小, 根据这一变化规律, 可以概括出 dc 指数监测地层压力的原理: 在钻进过程中, 当地层岩性、钻头类型、水力参数固定不变时, 在正常地层压力情况下, 随着井深的增加, 岩石孔隙度减小, 难于钻进, dc 指数值增加; 当钻达高压油气层时, 岩石孔隙度增大, 易于钻进, dc 指数值减小。人们可以根据 dc 指数在高压油气层中的减小值来定量计算高压油气层的压力值。

(3) 资料的收集

计算 dc 指数值是钻井技术人员的一项重要工作。但是, 计算 dc 指数值时需要钻压、钻速、转速、钻井液密度等数据, 准确及时地收集这些数据是钻井工作者的重要职责。在进行上述资料的收集时, 应注意以下几点:

①收集点距。快速钻进时, 每 10~20m 收集一次上述数据; 一般情况下, 每 5~10m 收集一次上述数据, 在高压过渡带和高压层等重要井段每 1~2m 收集一次上述数据。

②只能在泥岩中收集上述数据 (在其它类型地层中不能使用 dc 指数法)。

③用 dc 指数检测地层压力的井段, 钻头类型、水力因素不能改变, 钻压、转速变化不能太大。

④钻速资料可根据钻井队地质班的钻时资料进行计算。钻压由钻井班记录工进行收集, 为了保证钻压的正确, 指重表必须灵敏可靠。记录工责任心要强, 记录要及时, 严禁事后回忆填写。指重表记录卡曲线要记录清楚, 以备参考。转速资料分二部分进行收集, 记录工记录转盘的使用挡数, 机房甲司助记录钻进时柴油机的相应转数, 以各挡的传动比除柴油机转数得到转盘转数值。钻井液密度由井队泥浆工进行收集。

⑤一般认为, 应从可能存在高压井段的前 500~1000m 开始收集资料数据。

(4) dc—H 曲线

当计算出各不同井深的 dc 指数值后, 就可以画出 dc—H 曲线 (如图 1—3)。

dc—H 曲线主要由三部分组成:

①正常地层压力带。随着井深的增加, dc 值基本上成正比地增加, 根据它们的变化趋势可以画出正常趋势线。

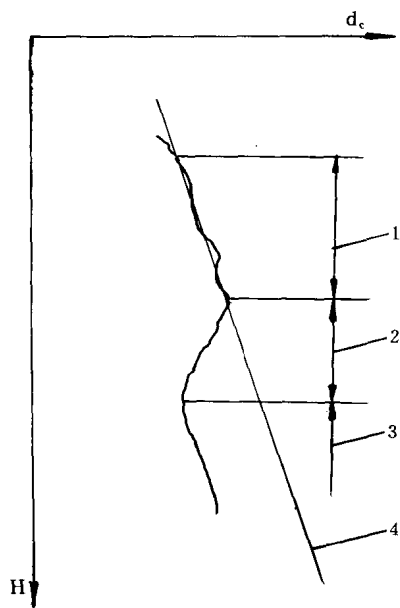
②高压过渡带。它也叫高压层的封闭带, 是地层压力由正常地层压力过渡到异常高压的区间。dc 值明显减小而连续地向正常趋势线左侧偏离。

③异常高压带。dc 值变化终了趋于稳定的一段。

在钻进过程中, 尤其是在钻至高压过渡带和异常高压带时, 一定要及时进行 dc 值的计算, 应钻到哪, 就计算到哪, 绘制 dc—H 曲线到哪, 不能滞后所钻达的地层。当根据 dc 值和 dc—H 曲线, 一旦发现地层压力增高时, 就应及时增大钻井液密度, 一边循环, 一边进行加重工作, 直至钻速稳定为止。只有这样逐渐增加钻井液密度, 才能及时平衡地层压力, 实施近平衡钻井。

dc 指数法简便易行, 钻井现场应用比较广泛。但是, 由于 dc 指数法没有考虑钻头类型、水力参数、钻头磨损等对钻速的影响, 因此, 在钻头更换前后和水力参数变化时, 钻速变化剧烈, dc 指数法便不能应用。标准化钻速法考虑了钻头类型、钻头磨损及水力参数对钻速的影响, 应用时较为准确, 但是, 它的计算、作图相当复杂, 井队应用较少。

3. 页岩密度法

图 1—3 d_c-H 曲线

1—正常地层压力带；2—高压过渡带；
3—异常高压带；4—正常趋势线

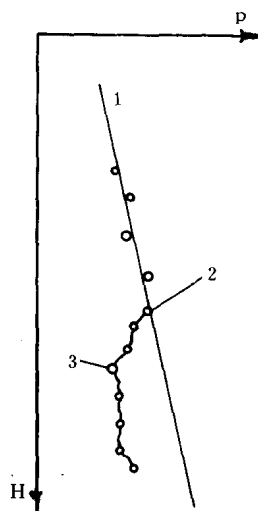


图 1—4 页岩密度—井深曲线

1—正常趋势线；2—高压过渡带顶部；3—异常高压带顶部

在正常地层压力情况下，随着井深的增加，岩石孔隙度减小，岩石密度增大；当钻达高压油气层时，岩石孔隙度增大，岩石密度减小，根据这一规律可以监测地层压力。

页岩密度法的施工步骤

(1) 岩屑准备

钻进过程中，从出口钻井液槽处或震动筛上捞取页岩砂样，然后用清水轻轻冲去岩屑上的钻井液，用干毛巾擦清和用滤纸吸出岩屑上的自由水（有时用电炉烤干）。对每次取得的岩屑必须经过严格挑选，要剔除大的掉块和经反复磨圆了的岩屑。为了卡准岩屑的真实深度，还必须准确计算岩屑迟到时间。

(2) 岩屑密度的测定

将准备好的岩屑放入钻井液密度计的杯中进行称量。

(3) 作图求压

把每一个测点的页岩密度值，及时画在密度与井深的关系图上，然后，通过正常地层压力井段的页岩密度点引出密度变化的正常趋势线。该线是检测地层压力的基础，其准确度对求压关系甚大。从图 1—4 可清楚看到，当页岩密度开始偏离正常趋势线后，即表明进入高压过渡带顶部，偏离量越大，地层压力越高。人们还可以根据页岩密度偏离正常趋势线值的大小求出地层压力。

除上述几种方法外还可通过电测井，气测井、声波测井资料以及页岩坍塌、页岩岩屑中膨润土含量变化、钻井液性能变化、钻井液中天然气含量及氯化物变化、钻井液返出温度及体积变化等多种方法监测及预报异常压力地层。在同时用多种方法监测地层压力时，应将所测数据绘制在同一总图上进行综合对比，但应注意这些方法的测点间隔要一致。如果只有一

两种方法有异常显示,这可能是其它因素影响所造成的;如果大多数方法都指示出地层压力升高,这就要密切注意异常高压地层的到来。此时,可加密测点或进行一次证实性电测井等措施处理,并同时作好防止井喷的各项准备工作。

第四节 井底压力

为了实施近平衡钻井,我们在掌握了地层压力的基本知识后,还必须理解和掌握井底压力的基本知识。井底压力主要包括有:钻井液静液柱压力、抽汲压力、激动压力、环空流动阻力。

一、钻井液静液柱压力

钻井液静液柱压力是井内钻井液液柱重量所产生的压力。

我们已经知道,钻井液静液柱压力是井底压力的主要压力,它对井底压力起决定性因素。有时人们认为,井底压力就是钻井液静液柱压力。现在,我们进一步深入分析一下钻井液静液柱压力。

1. 钻井液静液柱压力的计算公式

$$p_m = \rho_m g H$$

式中 p_m ——钻井液静液柱压力, MPa;

ρ_m ——钻井液密度, g/cm^3 ;

g ——重力加速度, m/s^2 ;

H ——钻井液液柱高度, km。

在一般情况下,井眼内是充满钻井液的,因此,钻井液液柱高度一般以井深的数值进行计算。在定向斜井中,井深一定要是垂直井深。

2. 钻井液静液柱压力的影响因素

由钻井液静液柱压力的计算公式可知,钻井液静液柱压力的影响因素是钻井液密度的变化和钻井液液柱高度的变化。

(1) 钻井液密度的变化

①钻速越快,岩屑越多,钻井液密度增加越快,钻井液静液柱压力增加越快;反之,钻井液静液柱压力减少。

②向钻井液中加入重晶石粉等加重材料或固体处理剂后,钻井液密度增加,钻井液静液柱压力增加。

③向钻井液中加水或雨水通过泥浆池或泥浆罐进入钻井液中,会使钻井液密度下降,从而钻井液静液柱压力减小。

④发生油气水侵后,钻井液密度减小,钻井液静液柱压力减小。由于天然气比较轻,因此钻井液气侵会严重影响钻井液密度,使钻井液静液柱压力大幅度下降。

⑤钻井液中加入絮凝处理剂,固相颗粒在钻井液罐等地面设备中絮凝沉淀,并被有关设备排除出去,使钻井液密度减小,从而钻井液静液柱压力减小。

(2) 钻井液静液柱高度的变化

①井越深,钻井液静液柱高度越大,钻井液静液柱压力越大。