

实用井控技术

SHIYONG JINGKONG JISHU

颜廷杰 编



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

实用井控技术

颜廷杰 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书共包括“井控工艺”和“井控设备”两篇。第一篇“井控工艺”简单地归纳了井喷失控的危害,清晰地阐述了井控的基本概念及平衡关系;分析和归纳了国内外井喷失控的原因、检测方法及预防措施;突出讲解了不同工况下溢流的关井程序,明确了各种岗位职责;重点阐述了司钻法、工程师法等井底常压法的压井数据准备、计算及绘制压井施工曲线;最后介绍了井喷失控的处理、浅层气的处理及特殊钻井工艺井控技术。在第二篇“井控设备”中,针对钻井工艺对井控设备的要求,阐述了井控设备的组成、配套标准、压力级别和公称尺寸的选择;在环形防喷器、闸板防喷器、内防喷工具及其他井控设备中详细地描述了设备的功用、工作原理、类型与结构、规格与技术规范、使用安全技术要求、现场更换方法、试压标准及方法、故障判断与排除方法。

本书不仅适用于国内井控技术培训,也适用于国内反承包、境外国际承包队伍的培训,还可作为大中专学生的专业培训教材等。

图书在版编目(CIP)数据

实用井控技术/颜廷杰编.

北京:石油工业出版社,2010.10

ISBN 978-7-5021-8006-5

I.实…

II.颜…

III.井控技术

IV. TE28

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第173950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

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

2010年10月第1版 2010年10月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:13

字数:320千字 印数:1—3000册

定价:40.00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

前 言

在石油与天然气勘探开发过程中，为了有效地避免和杜绝诸如重庆开县罗家 16H 井硫化氢泄漏中毒事故和美国墨西哥湾上的“深水地平线”号半潜式钻井平台爆炸事故等井喷失控事故的发生，实现“零事故、零污染、零损失”的安全优质快速钻井，就必须把井控技术作为研究、发展和培训的重要内容。只有石油工作者的井控意识、管理水平和技术素质提高了，才能有效地实施钻井安全作业，才能真正最大限度地发现油气层、保护和解放油气层。也就是说：井控技术是确保石油与天然气安全、顺利勘探开发过程的关键技术。

本书包括“井控工艺”和“井控设备”两个部分。与以往的培训教材相比，本书有三个主要突出的优点：一是实用性。为了使学员更容易理解、掌握和记住井控设备操作步骤及要领，特意在教材中插入了大量的图片，力求图文并茂，呈现最佳的视觉效果，加速提升学员学习效率，使学员学得容易、记得牢固。二是实战性。作者通过 24 年的国内外井控技术教学研究、探索，提炼出最接近现场实际的标准程序，也是最安全、最行之有效的做法，彻底摒弃了以前那种只适用于防喷演习而不适用于实际溢流关井操作的做法。在本书中有意增加了诸多“注意事项”，旨在使学员在学习中更加明确教学大纲的重点、难点，能有效地杜绝实际作业过程中不正确、不标准、不协调的做法。三是通用性。本书在吸收国内本专业培训教材优点的基础上，大量参考、借鉴和引用了美国石油学会（API）标准、国际钻井承包商协会（IADC）国际井控惯例以及海洋钻井的井控标准，目的在于使学员更快地熟悉和掌握这些标准，更顺利地与国际接轨，更好地提升我们承包商的服务水平。本书不仅适用于国内井控技术培训，也适用于国内反承包、境外国际承包队伍的培训，同样也可作为大中专学生的专业培训教材。

由于水平有限，书中出现的不足之处，恳请广大读者指正批评。

编者
2010 年 6 月

目 录

第一篇 井控工艺

第一章 概述	3
一、井喷失控的危害及掌握井控技术的重要性	3
二、井喷失控的原因	3
三、井控基本概念	5
四、井控技术中压力的表示方法	6
第二章 压力及其平衡关系	7
一、静液压力 p_m	7
二、地层压力 p_p	8
三、地层破裂压力 p_r	8
四、波动压力	10
五、井底压力 p_b	10
六、井底压差 Δp	12
七、钻井液密度的确定	13
八、钻开油气层前的准备和检查验收	13
九、油气层钻井过程中的井控作业	14
第三章 地层压力检测技术	16
一、高压层的形成机理	16
二、 dc 指数法	17
三、页岩密度法	19
第四章 溢流检测方法及预防措施	20
一、溢流的原因	20
二、各种钻井工况下溢流的预兆	21
三、溢流的检测和预防措施	23
第五章 关井程序及各岗位井控职责	25
一、及早关井的优点	25
二、关井方法	25
三、关井操作时各岗位人员的井控职责	25
四、关井程序	29
第六章 气体溢流对井内压力的影响	41
一、气侵的方式	41
二、气侵对井内压力的影响	41
三、关井后天然气滑脱上升过程中的处理	46

第七章 井底常压法压井技术	48
一、井底常压法压井原理	48
二、最大允许关井套压的确定	48
三、关井立管压力的确定	49
四、计算压井基本数据	50
五、常规压井方法	52
六、压井作业中应注意的问题	59
第八章 井喷失控的处理	61
一、井喷失控处理的基本做法	61
二、井喷失控井的处理实例	66
第九章 浅层气的处理	69
一、浅层气的成因、特点与检测	69
二、浅层气的处理方法	69
第十章 特殊钻井工艺井控技术	71
一、欠平衡井控技术	71
二、小井眼钻井井控技术	78

第二篇 井 控 设 备

第十一章 井控设备的功能与组成	85
一、钻井工艺对井控设备的要求	85
二、井控设备的组成与配套	85
第十二章 井控设备的组合形式	87
一、压力级别的选择	87
二、公称尺寸的选择	87
三、组合形式	87
四、控制系统控制点数的选择	88
第十三章 环形防喷器	89
一、功用	89
二、工作原理	89
三、环形防喷器类型与结构	89
四、环形防喷器规格及技术规范	90
五、使用安全技术要求	91
六、现场更换胶芯的方法	92
七、故障判断与排除方法	93
第十四章 闸板防喷器	94
一、闸板防喷器的功用	94
二、闸板防喷器结构	94
三、闸板防喷器的工作原理及密封	94

四、闸板防喷器的类型与技术规范	95
五、闸板防喷器的锁紧装置	97
六、闸板防喷器开关井操作	99
七、闸板防喷器侧门的操作	99
八、安装与使用安全技术要求	100
第十五章 钻具内防喷工具	102
一、方钻杆上下旋塞	102
二、钻具止回阀	104
三、钻具旁通阀	106
第十六章 液压防喷器控制系统	107
一、控制系统的类型	108
二、FKQ8006F 型控制系统的工作原理与使用维护	109
三、FKQ8006F 型控制系统的主要部件及其使用注意事项	111
四、FKQ8006F 型控制系统的安装、试运转及常规待命工况	118
五、FKQ8006B 型控制系统的常见故障与处理	121
第十七章 节流压井等井控专用管汇	122
一、节流管汇 (JG)	122
二、压井管汇 (YG)	122
三、节流压井管线和放喷管线	122
四、节流压井管汇的典型组合形式	123
五、放喷阀	124
六、节流阀	124
第十八章 井控设备安装与试压的安全要求	127
一、井控设备的安装	127
二、井控设备试压	128
第十九章 井控辅助设备	133
一、钻井液除气设备	133
二、自动起钻灌钻井液装置	136
三、钻井四通	136
附录一 SY/T 5694—2006《钻井井控装置组合配套安装调试与维护》	138
附录二 SY/T 6426—2005《钻井井控技术规程》	160
附录三 常用单位换算	190
附录四 三缸单作用钻井泵排量表	195
附录五 API 钻杆内容积和排替量	196
附录六 API 钻铤内容积和排替量	197
附录七 套管容积	198
附录八 井眼环空容积	200
参考文献	201

第一篇 井控工艺

第一章 概述

一、井喷失控的危害及掌握井控技术的重要性

井喷失控泛指井喷后地面井控装置失去了对油气井的有效控制，无法用正常的关井程序和压井作业来恢复对地层压力的平衡控制，造成井眼报废、井场爆炸着火、井场下陷和人员伤亡。如 2003 年 12 月 23 日重庆开县罗家 16H 井硫化氢泄漏中毒事故和 2010 年 4 月 20 日美国路易斯安那州墨西哥湾上的“深水地平线”号半潜式钻井平台爆炸事故，不仅造成数千万，甚至上亿、上百亿元美元的经济损失，而且在国际上引起极坏影响。其危害性可概括为以下八个方面：

- (1) 扰乱全局正常工作程序，影响全局生产，甚至瘫痪。
- (2) 使钻井事故复杂化、恶性化，直至使井眼报废。
- (3) 极易引起火灾（如井场、苇地及森林）。
- (4) 危及井场周围居民生活、健康，甚至生命安全。
- (5) 污染农田、水源、大气及沿海海域，影响交通、通信及电力。
- (6) 伤害油气层，毁坏地下油气资源。
- (7) 造成巨大损失和油气井的报废。严重时引起生态平衡的破坏、甚至机毁人亡。
- (8) 损坏企业形象，造成极坏的社会影响。

因此，为了避免和杜绝井喷及井喷失控事故的发生，安全优质地实施快速钻井，就必须把井控技术作为研究、发展和培训的重要内容。只有对油气井的控制技术发展了，人们的井控意识、管理水平和技术素质提高了，才能有效地实施钻井安全作业，才能真正最大限度地发现油气层、保护和解放油气层。也就是说：井控技术是实施安全井下作业的关键和保障。

二、井喷失控的原因

综观国内石油钻井史各油气田发生的井喷失控案例，尤其是 2001 年至 2010 年期间发生的井喷失控事故，分析井喷失控的直接原因，主要可归纳为以下几个方面：

- (1) 安全意识淡薄或无安全意识，只注重生产，忽视了安全。

①甲方人员的安全意识较淡薄，只考虑产量和效益，忽视了对安全生产投资、设备配套、操作规范的基本要求。

②承包商的队伍突增，人员素质良莠不齐，现场操作技能水平较低，有待于提高和改进。

③地质录井、定向井、固井及测井等第三方队伍的市场准入管理制度管理较为混乱，还有为数不少的队伍根本不具备市场准入条件。其中有些人员的安全生产意识较低，对本专业技术掌握不精并对钻井规范不了解，越级指挥钻井生产，结果造成严重的损失。

(2) 井控设计不到位或现场执行设计不到位。

①井身结构设计不合理，尤其是探井的设计，如套管下深、层次、抗内压设计。如表层套管下的深度不够，技术套管下的深度又靠后，当钻到下部地层遇有异常压力而关井时，在表层套管鞋处憋漏，钻井液窜至井场地表，无法实施有效关井。还有的井应该在打开油气层前实施先期完成，可往往设计上却是后期完成，给井控工作带来了麻烦。

②在同一个裸眼地层有两个或两个以上压力相差悬殊的压力层系存在。

③片面地强调油气层保护，造成钻井液附加密度过低，无法保证钻井所有工况的井底压力平衡要求（尤其是高压高产井、含硫化氢的井）。

④对浅气层的危害性缺乏足够的认识。许多人认为浅气层井浅，最多几百米深，地层压力低，不会惹麻烦。而实际上，井越浅，平衡地层压力的钻井液柱压力也越小，一旦失去平衡，浅层的油气在很短的时间内就能达到井口，使人措手不及。而且浅气层发生井涌井喷，多是在没有下技术套管的井，即使关上了井，也很容易在上部浅层或表层套管鞋处憋漏。所以，浅气层的危害性必须引起人们的重视，要从井身结构和一次控制上下功夫。

⑤地质设计未能提供准确的地层孔隙压力资料，造成使用的钻井液密度低于地层孔隙压力。

(3) 现场配套标准不高。

①内防喷工具的配套不齐不全。

②自动灌浆计量报警装置的配套较低。

③有效的点火装置的配套及操作未达到要求。

④现行标准、细则的条款较笼统，现场难以执行和实施。

(4) 现场安装不标准、日常维护不到位，不符合中华人民共和国石油天然气行业标准相关规程的要求。

①放喷管线、钻井液回收管线、内控管线各部位的连接不是螺纹与标准法兰连接，而是现场低质量的焊接。

②连接管线的尺寸、壁厚、钢级不合要求。

③弯头不是专用的铸钢件或弯头小于 120° 。

④放喷管线不用水泥基墩固定或是虽然固定了但间隔太远。

⑤放喷管线没有接出井场，管线长度不够。

⑥防喷器及节流管汇各部件没有按规定的标准试压，或两次试压间隔太长，或各部件的阀门出现问题，有的打不开，有的关不上，有的刺漏。

⑦防喷器不安装手动操动杆或操作不灵活，甚至转不动。

⑧把压井管线当作灌钻井液管线使用。

⑨井口套管箍上面的双公升高短节螺纹不规范，造成刺漏。

⑩防喷器与井口安装不正、关井时闸板推不严，造成刺漏。

⑪防喷器橡胶件老化，不能承受额定压力。

⑫控制系统储能器至防喷器的液压油管线安装不规范，漏油。

⑬储能装置控制系统摆放位置不合要求。

⑭空井时间过长，又无人观察井口。空井时间过长一般都是因为起完钻后修理设备或是等待技术措施。由于长时间空井不能循环钻井液，造成气体有足够的时间向上滑脱运移。当移到井口时已来不及下钻，此种情况下关闸板防喷器不起作用，而环形防喷器要么没有

安装, 要么胶芯失效, 往往造成井控失控。

⑮ 钻遇漏失层段发生井漏未能及时处理或处理措施不当。发生井漏以后, 钻井液液柱压力降低, 当液柱压力低于地层孔隙压力时就会发生井侵、井涌乃至井喷。

⑯ 相邻注水井不停注或减压。这种情况多发生在老油田、老油区打调整井的情况。由于油田经过多年的开发注水, 地层压力已不是原始的地层压力, 尤其是遇到高压封闭区块, 它的压力往往大大高于原始的地层压力。如果采油厂考虑原油产量, 不愿意停掉相邻的注水井, 或是停注但不泄压, 往往造成钻井的复杂情况发生。

⑰ 钻井液中混油不均匀, 造成液柱压力低于地层孔隙压力。这种情况多发生在深井、探井、复杂井, 出于减少摩阻、改善钻井液性能、稳定井壁、钻井工艺的需要, 往往要在钻井液中混入一定比例的原油。但在混油过程中, 加量过猛导致不均匀, 或是总量过多, 都会造成井筒压力失去平衡。此外, 当卡钻发生后, 由于需要泡原油、柴油、煤油解卡, 从而破坏了井筒内的压力平衡, 此时如果不注意二次井控、常常会造成井涌、井喷, 酿成更重大的事故。

⑱ 起钻前未充分循环洗井。

⑲ 起钻过程中未灌或未及时灌满井液或未及时核对灌入量;

⑳ 思想麻痹, 存有侥幸心理, 违章操作。由此而导致的井喷失控在这类事故中占有一定比例, 解决这个问题主要要从严格管理和技术培训两个方面入手, 做好基础工作。

三、井控基本概念

1. 井控

实施油气井压力控制的简称。

2. 溢流

当井底压力小于地层压力时, 井口返出的钻井液量大于泵的排量或停泵后井口钻井液自动外溢的现象。

3. 井喷

当井底压力远小于地层压力时, 井内流体就会大量喷出, 在地面形成较大喷势的现象, 这也被称为地面井喷。若井喷流体未喷出地面, 而是沿着被压漏的地层裂缝流入其他低压层的现象被称为地下井喷。

4. 气油比

油井生产时, 油和气同时从井中排出, 采出每吨原油所带出的天然气体积 (立方米), 称为气油比。单位为立方米 / 吨 (m^3/t)。在地下油层条件下, 原油中溶解有一定数量的天然气, 天然气溶于石油中可以导致石油体积的膨胀, 密度和黏度降低, 降低流体液柱压力。

5. 井控技术的分级控制

(1) 一级井控 (又称主井控): 指以合理的井身结构设计、合理的钻井液密度、合理的

钻井技术措施，采用近平衡压力钻井技术安全钻穿油气层的井控技术，即仅用井眼中的液柱压力来平衡地层压力的技术。该技术最简单、安全、经济、易于实现。

(2) 二级井控：溢流或井喷后，按关井程序及时关井，通过节流循环排除溢流和压井时的井口回压与井内液柱压力之和来平衡地层压力，最终用压井液压井，重建井底平衡的井控技术。

(3) 三级井控：井喷失控后，重新恢复对井口控制的井控技术。该技术是对未着火的失控井实施防火处理或对已着火的失控井实施灭火处理；对未着火的含硫失控井，为了安全，必要时可实施点火带火处理，并在井口进行抢装井控设备或钻定向救援井等各种处理措施。

6. 井控工作中“三早”的内容

(1) 早发现：溢流量在 1m^3 内就能发现报警。发现得越早越好、越容易关井控制。这是安全关井、有效恢复控制井口的前提。

(2) 早关井：溢流量在 2m^3 内就能关住井口防喷器。当预兆不明显或怀疑有溢流时，也应停止一切其他作业，立即按关井程序关井。

切记：不要非等井喷严重后再关井，应越早越好。

(3) 早处理：在准确录取溢流数据和填写压井施工单后，就应尽早节流循环排出溢流和实施压井作业。

四、井控技术中压力的表示方法

1. 用表压单位 (MPa) 表示

即用与压力表一样的单位表示，这是一种直接表示法。

例如：某直井 2000m 处的地层压力为 25MPa，地层破裂压力 34MPa。

2. 用当量密度单位 (g/cm^3) 表示

即平衡地层压力所需要的钻井液密度值。该单位便于同钻井液密度比较，较直接，且与表压单位是一一对应的关系，所以在国内外现场使用较为广泛。例如：某直井 2000m 处的地层压力当量密度为 $1.4\text{g}/\text{cm}^3$ ，地层破裂压力当量密度为 $1.6\text{g}/\text{cm}^3$ 。

3. 用压力梯度单位 (MPa/m) 表示

单位井深的压力变化值，且与表压单位、当量密度单位是一一对应的关系。如地层压力为 $0.014\text{MPa}/\text{m}$ 。

4. 用压力系数表示

该地层压力与同井深的淡水静液压力之比，无单位，在数值上等于其当量密度值，且与表压单位、当量密度单位、压力梯度单位均是一一对应的关系。如地层压力系数为 1.4。

以上四种压力的表示法均为国内外油气井作业常见的压力表示法。它们表达的意义相同。在换算中知道其一，便可求出其他三个量。

第二章 压力及其平衡关系

一、静液压力 p_m

静液压力是由井内静液柱重量产生的压力，其大小只取决于井内液体密度和液柱垂直高度 H_m （不一定就是井深），而与井眼的几何形状、尺寸及井的斜深无关（如图 2-1 所示）。在陆上和海上固定式平台， H_m 自转盘平面算起，而在海上浮式平台， H_m 自出口管高度算起（与转盘面的高差为 0.6 ~ 3.3m）。

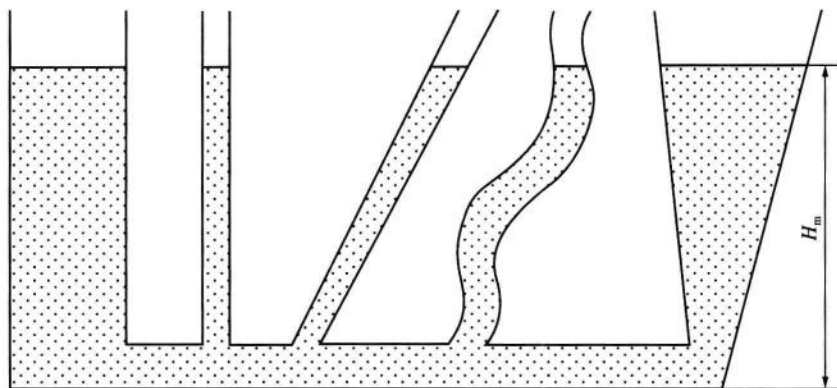


图 2-1 静液压力与井眼几何形状、尺寸及斜深无关

在钻井现场中，由于钻井液环空上返速度较低，动压力可忽略不计，而按静液压力计算钻井液环空液柱压力。其计算见式（2-1）。

$$p_m = 0.0098 \rho_m \cdot H_m \quad (2-1)$$

式中： p_m ——静液压力，MPa；

ρ_m ——钻井液密度， g/cm^3 ；

H_m ——液柱垂直高度，m。

例题 1：如图 2-2 所示，试求垂直深 3000m 处的静液柱压力。

静液柱压力为：

$$\begin{aligned} p_m &= 0.0098 \rho_m \cdot H_m \\ &= 0.0098 \times 1.07 \times 3000 = 31.5 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

在一级井控技术中，正是用静液压力来充当井底压力从而平衡地层压力的。而钻井中能掌控的只有钻井液密度，所以钻开油气层前必须确定合理的钻井液密度值，这是安全、顺利

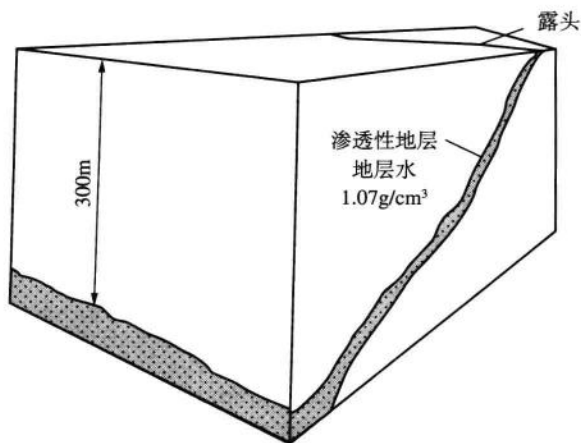


图 2-2 地层水静液柱压力

钻井的必要保障。

二、地层压力 p_p

地层压力是指作用在地层孔隙中流体上的压力。也称为地层孔隙压力或孔隙压力或地层流体压力。其计算见式 (2-2)。

$$p_p = 0.0098 \rho_p \cdot H_p \quad (2-2)$$

式中: p_p ——地层压力, MPa;

ρ_p ——地层压力当量密度, g/cm^3 ;

H_p ——地层垂直高度, m。

地层压力当量密度 ρ_p 的计算见式 (2-3)。

$$\rho_p = p_p / 0.0098 H_m = 102 G_p \quad (2-3)$$

式中: G_p ——静液压力梯度, MPa/m。

地层压力梯度 G_p 的计算见式 (2-4)。

$$G_p = p_p / H_p = 0.0098 \rho_p \quad (2-4)$$

地层压力系数 F_p 的计算见式 (2-5)。

$$F_p = p_p / p_{H_2O} = \rho_p \quad (2-5)$$

式中: F_p ——压力系数, 量纲为 1, 在数值上与地层压力当量密度 ρ_p 相等。

通常可将地层压力分为三类:

正常地层压力: $\rho_p = 1.0 \sim 1.07 \text{g/cm}^3$ (或 $G_p = 0.0098 \sim 0.015 \text{MPa/m}$);

异常高压: $\rho_p > 1.07 \text{g/cm}^3$ (或 $G_p = 0.015 \text{MPa/m}$);

异常低压: $\rho_p < 1.0 \text{g/cm}^3$ (或 $G_p = 0.0098 \text{MPa/m}$)。

三、地层破裂压力 p_f

地层破裂压力又称地层强度, 指使地层中原有的裂缝扩大延伸或无裂缝的地层产生裂缝的最小压力。钻井过程中若压裂地层会引起井漏, 并带来一系列复杂情况或严重事故, 所以在钻前设计和钻井过程中应高度重视。

在正常沉积环境下, 地层破裂压力随着井深的增加而增加。所以, 上部地层 (套管鞋处) 的强度最低, 易于压漏, 最不安全, 因此在设计时应保证下入足够深度的套管以提高裸眼井段上部的地层破裂压力, 并且在裸眼井段不允许有两个或以上压力相差悬殊的压力层系存在。地层破裂压力计算见式 (2-6)。

$$p_f = 0.0098 \rho_f \cdot H_f \quad (2-6)$$

式中: p_f ——地层破裂压力, MPa;

ρ_f ——地层破裂压力当量密度, g/cm^3 ;

H_f ——漏失层垂直深度, m。

地层破裂压力梯度 G_f 计算见式 (2-7)。

$$G_f = p_f/H_f = 0.0098 \rho_f \quad (2-7)$$

式中: G_f ——地层破裂压力梯度, MPa/m;

准确掌握地层破裂压力是合理进行井身结构设计、制定钻井施工和确定最大关井套压的重要依据之一。

1. 地层破裂压力试验程序

(1) 试验前准备: 当钻至套管鞋以下第一层砂岩时, 用水泥车或柱塞泵进行试验, 而裸眼长短根据砂岩层的厚度决定; 试验前应调整好钻井液性能 (尤其是 $\rho_{m\text{试}}$), 保证试验时钻井液性能均匀一致、稳定。并上提钻头至套管鞋内。

(2) 地层破裂压力试验: 关闭井口 (一般关闭管封闸板防喷器); 试验开始时缓慢启动泵, 以小排量 (0.66 ~ 1.32L/s) 向井内泵入钻井液, 每泵入 15m^3 钻井液, 稳压 2min, 重复上述步骤直至地层完全漏失。

(3) 作漏失试验曲线。根据压力与泵入量的对应关系绘出压漏曲线。曲线中偏离直线之点的压力 p_L 则为漏失压力。

2. 破裂压力当量密度 (ρ_f) 的计算

破裂压力当量密度 (ρ_f) 的计算见式 (2-8)。

$$\rho_f = \rho_{m\text{试}} + p_L/0.0098H_f \quad (2-8)$$

式中: ρ_f ——破裂压力当量密度, g/cm^3 ;

$\rho_{m\text{试}}$ ——试验所用钻井液密度, g/cm^3 ;

p_L ——地层漏失时的井口压力, MPa;

H_f ——裸眼段中点井深, m。

3. 注意事项

(1) 在直井与定向井中对同一地层做的液压试验所取得到的数据不能互用。

(2) 当套管鞋以下第一层为脆性岩层时, 只对其做极限压力试验, 而不做破裂压力试验。因脆性岩层做破裂压力试验时在其开裂前变形量很小, 一旦被压裂则承压能力会下降。极限试验压力要根据下部地层钻井将采用的最大钻井液密度及溢流发生后关井和压井时, 对该地层承压能力的要求决定。试验方法与破裂压力试验一样, 但只试到极限压力为止。

综上所述, 为了确保钻井安全还应根据地层孔隙压力梯度、地层破裂压力梯度、岩性剖面及保护油气层的需要, 设计合理的井身结构和套管程序, 并满足如下要求:

(1) 探井、超深井、复杂井的井身结构应充分估计不可预测因素, 留有一层备用套管。

(2) 在地下矿产采掘区钻井, 井筒与采掘坑道、矿井通道之间的距离不少于 100m, 套管下深应封住开采层并超过开采段 100m。

(3) 套管下深要考虑下部钻井最高钻井液密度和溢流关井时的井口安全关井余量。

(4) 含硫化氢、二氧化碳等有害气体和高压气井的油层套管、有害气体含量较高的复杂井技术套管, 其材质和螺纹应符合相应的技术要求。

四、波动压力

波动压力指由于井内钻具上提下放操作或流体循环而引起井底压力增加或减少的压力值。它是激动压力和抽吸压力的总称。激动压力是指当钻柱向下运动时，井内钻井液不能随钻具同时瞬间向上流动，使井底压力增加，由此而增加的压力值称为激动压力。抽吸压力是指当钻柱向上运动时，井内钻井液不能随钻具同时瞬间向下流动，使井底压力减少，由此而减少的压力值称为抽吸压力。

1. 波动压力对钻井安全的影响

由于钻井液具有一定的黏度和切力，当快速提升钻柱（尤其是出现缩径、钻头泥包）时，都将引起过大的抽吸压力。当抽吸压力达到一定值时就会引起井喷和井眼垮塌，因此应引起足够重视。当下钻速度过快时，同样会引起过大的激动压力，压漏地层，使井眼内液面下降，静液柱压力降低，造成先漏后喷等事故，影响井眼安全。

2. 引起波动压力的主要因素

(1) 钻井液静切力：井眼内钻井液静止时间越长，其网状结构强度越大，静切力就越大，钻井液从静止状态到循环状态所克服的流动阻力就越大。因此，井内钻柱上下运动或开泵时就会造成过大的波动压力。

(2) 起下钻速度：起钻时，钻具底部产生负压，使井底压力减少。下钻时，钻具底部排挤钻井液向上流动，使井底压力增加。起下钻速度越快，波动压力就越大。

(3) 管柱惯性力：在起下钻具或接单根等作业中，钻柱的运动有加速和减速的过程，由此而产生惯性力，使井内压力产生波动。惯性力越大，波动压力就越大。

3. 现场减小波动压力对井眼影响的措施

(1) 严格控制起下钻速度，防止过快，尤其是钻头在井底或在油层中和在其顶部以上300m井段以内时，起钻速度应小于0.5m/s。

(2) 起下钻具时，严禁猛提猛刹，应挂辅助刹车，防止产生过大的惯性力和波动压力。

(3) 起钻前充分循环井内钻井液，使其性能均匀，进出口密度差小于 0.02g/cm^3 。同时调整好钻井液性能，防止因切力、黏度过大产生较大的波动压力。

(4) 应保持井眼畅通，防止缩径、泥包等引起严重抽吸。

五、井底压力 p_b

井底压力是指作用在井底上的各种压力总和。井底压力主要由井内的静液柱压力组成。但在不同的钻井工况下，井底压力的组成和大小也随之变化。以下是各种不同钻井作业工况下的井底压力。

1. 空井或井内钻井液处于静止（停止循环）状态时

空井或井内钻井液处于静止（停止循环）状态时的井底压力计算见式（2-9）。

• 10 •