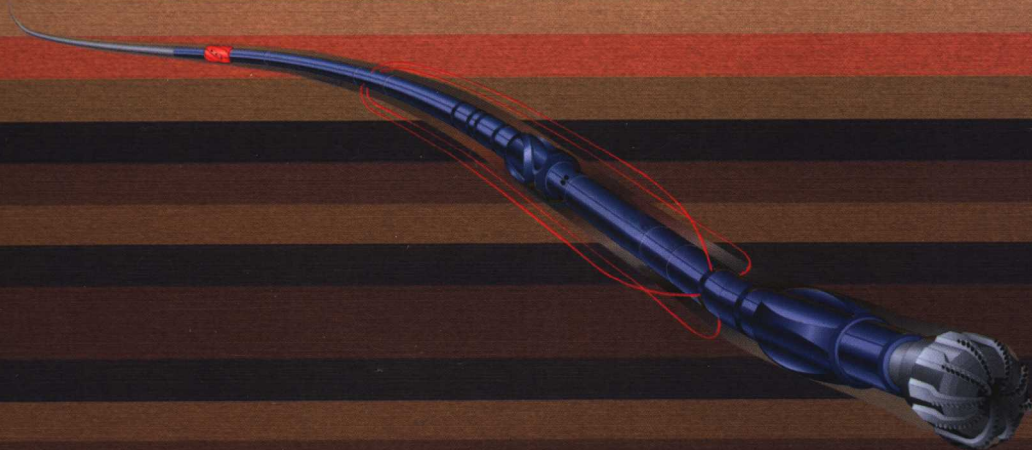


钻井井下复杂问题 预防与处理

◆ 刘汝山 曾义金 主编



中国石化出版社

钻井井下复杂问题 预防与处理

刘汝山 曾义金 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书全面介绍了钻井井下复杂情况、井下故障和事故的分类及发生原因、征兆与诊断方法、预防处理措施,它涉及一些基本理论、技术方法及典型实例。同时对一些钻井井下复杂问题预防与处理技术进行了归纳,对技术的发展趋势作了阐述。是一本介绍钻井井下复杂问题预防与处理最新技术及经验的著作。

图书在版编目(CIP)数据

钻井井下复杂问题预防与处理/刘汝山,曾义金主编.
—北京:中国石化出版社,2005(2006.12重印)
ISBN 7-80164-841-2

I. 钻… II. ①刘… ②曾… III. ①井下作业(油气田)-事故-预防
②井下作业(油气田)-事故-处理 IV. TE358

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 079756 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

北京大地印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 11 印张 266 千字

2005 年 9 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 版第 2 次印刷

定价:50.00 元

前 言

《钻井井下复杂问题预防与处理》是一本全面介绍钻井井下故障、复杂情况及钻井井下事故参考书，内容主要有钻井井下复杂问题的分类及原因、征兆及诊断方法、预防及处理措施等，它既涉及一些基本理论、技术方法，又涉及一些典型实例，同时对一些钻井井下复杂问题预防与处理技术进行了归纳，对技术的发展趋势作了简要介绍。它是继蒋希文同志编著《钻井事故与复杂问题》一书之后，又一本全面介绍钻井井下复杂问题预防与处理最新技术及经验的专著。

本书编写的目的是为钻井工作者提供一种技术参考。在第1章~第8章中，主要立足于为读者提供一种实用的基础技术为目的，比较系统地介绍了八个方面的技术。在第9章实例部分，主要介绍了近年来中国石化系统一些具有代表性、比较重大的钻井事故，通过发生经过、原因分析以及处理结果等方面的介绍，可以给钻井工作者提供井下复杂问题预防预处理技术思路。

本书编写由中国石化科技开发部和油田企业经营管理部共同组织，石油勘探开发研究院德州石油钻井研究所负责牵头实施。编写分工为：第1章井喷（涌）由中原石油勘探局钻井工程处赵彦同志编写；第2章井漏由中原石油勘探局钻井工程技术研究院王后彦同志编写；第3章井塌与卡钻由江汉石油管理局胡小兰、肖贤兆同志编写；第4章缩径由中国石化石油勘探开发研究院德州石油钻井研究所宋明全、金军斌同志编写；第5章井斜理论与控制技术由胜利石油管理局钻井工艺研究院唐志军同志编写；第6章井下落物由胜利石油管理局蒋希文同志编写；第7章储层损害由中国石化石油勘探开发研究院崔迎春同志编写；第8章固井复杂问题由中国石化石油勘探开发研究院德州石油钻井研究所丁士东同志编写；第9章复杂问题处理实例由各油田或地区局施工技术人员编写；全书由中国石化石油勘探开发研究院德州石油钻井研究所朱德武同志统稿。

在编写过程中，得到了中国石化科技开发部和油田企业经营管理部、中国石化各油田（分公司）的领导及有关专家的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢！

由于钻井井下复杂问题预防与处理技术丰富，涉及面广，技术进步快，加上编者水平有限，本书所收编的内容难免有缺陷和错误之处，敬请读者批评指正。

《钻井井下复杂问题预防与处理》

编 委 会

主 任：张永刚

副主任：刘汝山 曾义金

委 员：(按姓氏笔画排序)

于文平	马开华	牛新明	王宝新	王程忠
古兹隆	刘映金	刘新义	许卫平	邢景宝
何开平	张传进	李增祥	李毅忠	苏长明
郑锋辉	姜成生	徐 进	蒋传新	蒋祖军
熊有全				

主 编：刘汝山 曾义金

副 主 编：马开华 朱德武

主要编写人员：(按姓氏笔画排序)

丁士东	马开华	王后彦	王锡洲	朱德武
何汉平	何金南	宋明全	张必年	张桂林
肖贤兆	金军斌	胡小兰	赵 彦	唐志军
崔迎春	曾义金	蒋希文		

目 录

绪 论	(1)
1 钻井井下复杂问题分类	(1)
2 井下复杂问题原因分析	(1)
3 井下复杂问题处理原则	(4)
 第 1 章 井喷(涌)	(6)
1.1 井喷(涌)的原因及征兆	(6)
1.1.1 井喷(涌)原因	(6)
1.1.2 井喷(涌)征兆	(7)
1.2 井喷的预防措施	(8)
1.2.1 工程技术措施	(8)
1.2.2 地层压力预测和监测	(10)
1.3 常用的井控设备	(11)
1.4 井喷的处理	(13)
1.4.1 关井	(13)
1.4.2 井底常压法压井	(13)
1.4.3 非常规压井	(18)
参考文献	(18)
 第 2 章 井漏	(19)
2.1 技术要点及有关计算	(19)
2.1.1 地层漏失压力	(19)
2.1.2 地层破裂压力	(20)
2.1.3 钻井液动压力	(21)
2.2 井漏的预防	(22)
2.3 井漏的处理	(23)
2.3.1 漏层位置的判断	(23)
2.3.2 井漏的处理方法	(25)
参考文献	(29)
 第 3 章 井塌	(30)
3.1 井塌原因	(30)
3.1.1 井塌常见粘土矿物	(30)
3.1.2 井塌的内在原因	(31)

3.1.3	井塌的外在原因	(31)
3.1.4	深井与浅井在井塌原因上的差异	(33)
3.2	井塌的特征及危害	(34)
3.2.1	井塌的特征	(34)
3.2.3	井塌的危害	(34)
3.3	易井塌地层的分类与预防	(35)
3.3.1	易井塌地层的分类	(35)
3.3.2	井塌的预防	(36)
3.4	井塌的处理	(37)
3.4.1	一般性井塌的处理	(37)
3.4.2	出现新井眼的处理	(38)
3.4.3	井塌卡钻的处理	(39)
第 4 章	缩径	(41)
4.1	缩径阻卡的原因分析	(41)
4.2	缩径阻卡的特征	(44)
4.3	缩径卡钻的预防	(45)
4.4	缩径卡钻的处理	(46)
第 5 章	井斜	(48)
5.1	井斜基本原因及危害	(48)
5.2	防斜理论研究与应用	(49)
5.2.1	防斜理论研究 with 评价	(49)
5.2.2	传统防斜理论和技术评价	(50)
5.3	井斜控制技术	(52)
5.3.1	刚性满眼钻具组合防斜技术	(53)
5.3.2	钟摆力防斜、纠斜技术	(53)
5.3.3	离心力防斜、纠斜技术	(55)
5.3.4	钻具弯曲防斜、纠斜技术	(57)
5.3.5	复合导向钻井防斜、纠斜技术	(58)
5.3.6	井下专用工具防斜、纠斜技术	(59)
5.3.7	其他防斜、纠斜技术	(60)
5.4	井斜控制技术发展趋势	(60)
5.4.1	大钻压法降斜	(60)
5.4.2	多功能防斜钻具组合	(61)
5.4.3	复合导向钻井技术	(61)
5.4.4	闭环控制导向钻井	(61)
第 6 章	落物	(62)
6.1	钻具(包括套管、油管)断落	(62)

6.1.1	产生原因	(62)
6.1.2	钻具事故的预防	(62)
6.1.3	钻具事故的处理	(63)
6.2	电缆和仪器落井	(73)
6.2.1	测井事故发生的原因	(73)
6.2.2	测井事故的预防	(74)
6.2.3	落井电缆与仪器的处理	(74)
6.3	不规则落物的处理	(77)
6.3.1	落物发生的原因	(77)
6.3.2	预防井内落物的措施	(78)
6.3.3	落物的处理	(78)
第 7 章	储层损害	(87)
7.1	储层损害机理	(87)
7.1.1	低孔低渗气层损害机理	(88)
7.1.2	裂缝性储层损害机理	(89)
7.2	储层损害诊断	(91)
7.2.1	室内评价方法	(91)
7.2.2	矿场评价方法	(92)
7.3	储层损害预防和处理	(92)
7.3.1	储层损害的预防	(92)
7.3.2	已污染储层的处理方法	(93)
7.4	特殊储层损害预防和保护	(93)
7.4.1	低孔低渗气藏损害的预防和保护	(93)
7.4.2	裂缝性储层的预防和保护	(94)
	参考文献	(97)
第 8 章	固井复杂问题	(99)
8.1	下套管复杂情况	(99)
8.1.1	套管阻卡	(99)
8.1.2	套管断裂	(102)
8.1.3	套管挤毁	(102)
8.1.4	套管附件和工具复杂情况	(103)
8.2	水泥浆性能复杂情况	(105)
8.2.1	水泥浆闪凝	(105)
8.2.2	水泥浆触变性	(106)
8.2.3	水泥浆过度缓凝	(107)
8.2.4	水泥石强度衰退	(107)
8.3	注水泥施工复杂情况	(107)
8.3.1	注水泥漏失	(108)

8.3.2 灌香肠	(108)
8.3.3 注水泥替空	(109)
8.4 水泥胶结质量复杂情况	(109)
8.4.1 油气水层漏封	(109)
8.4.2 油气水层水泥胶结质量差	(109)
8.4.3 固井后发生环空油气水窜	(110)

第9章 井下复杂问题处理实例	(112)
9.1 井喷(涌)处理实例	(112)
9.1.1 新文33-79井溢流	(112)
9.1.2 王四12-2井井喷	(113)
9.1.3 王新8井井喷	(115)
9.1.4 濮7-56井井涌、井漏	(116)
9.1.5 文13-276井井喷	(118)
9.2 井漏处理实例	(120)
9.2.1 S88井井漏	(120)
9.2.2 王北新10-5井井漏	(122)
9.2.3 王云平2井井漏	(124)
9.2.4 部1-12井井漏	(125)
9.2.4 部10井井漏	(126)
9.3 井塌处理实例	(127)
9.3.1 普光1井沉砂卡钻	(127)
9.3.2 王北新10-5井井塌卡钻	(128)
9.3.3 钟新19井井塌卡钻	(130)
9.4 缩径处理实例	(131)
9.4.1 固1井盐层卡钻	(131)
9.4.2 TK449H井卡钻	(134)
9.4.3 CH24-105井卡钻	(135)
9.4.4 南略1井卡钻	(136)
9.5 钻具断落处理实例	(138)
9.5.1 河坝1井断钻具	(138)
9.5.2 马55斜-2井断钻铤	(141)
9.5.3 T708井钻具氢脆处理	(142)
9.6 井下落物处理实例	(143)
9.6.1 广17-5井钻头刀翼打捞	(143)
9.6.2 部1-13井测井仪器打捞	(145)
9.6.3 卫334-2井杆式落物打捞	(146)
9.6.4 胡5-136井测斜仪器打捞	(147)
9.6.5 刘28井取心钻头冠体打捞	(148)
9.6.6 S56井方补心打捞	(150)

9.7 固井问题处理实例	(151)
9.7.1 沙 24 斜 3-4 井固井事故	(151)
9.8 其他复杂情况处理实例	(152)
9.8.1 固 2 井套管变形	(152)
9.8.2 海参 1 井井下复杂情况	(156)
9.8.3 塔河油田盐层钻井	(159)
9.8.4 河坝 1 井复杂情况下的钻井液技术	(161)

绪 论

在钻井生产活动及技术交流中,经常遇到钻井井下事故、复杂情况等复杂问题概念。其中井下事故用词最多,它是石油钻井行业专用术语,与地面工程建设和日常生活中所说的安全责任事故具有本质的区别,因此不能相提并论。按照有关行业标准中钻井井下事故的定义及规定的范畴,卡钻、井喷、落物等均属于钻井井下事故。事实上事故多指安全方面意外的变故或灾祸,带有责任性;复杂问题的概念要广一些,指意外的麻烦或事故。随着钻井技术的进步,石油标准科学水平的提高,钻井事故、钻井井下复杂问题的定义和分类也将发生相应的改变。

1 钻井井下复杂问题分类

钻井井下复杂问题的内容涉及到井下复杂情况、井下事故等。

石油钻井中,通常把井斜超标填井、井漏、井涌、起下钻遇阻划眼、钻头泥包等井下问题称为钻井井下复杂情况,钻(管)具仍然保持连接状态并且具有活动能力。这类问题通过实施针对性的工艺和技术措施即可解除,处理相对较为简单。

通常把卡钻、井喷、钻(管)具及工具落井、卡电缆及仪器以及固井水泥留在套管内等井下问题称为钻井井下事故,钻(管)具失去连接或不能活动、或失去对井眼的控制能力等。这类问题必须采用专门技术和工艺、使用专用工具和设备以及多方技术配合处理,才能恢复到正常状态。井喷等重大钻井井下事故需成立专门抢险指挥机构、组成专门抢险队伍处理才能完成。

一般情况下,只要处理措施和方法得当,钻井井下复杂情况将逐步好转并恢复正常状态。如果处理方法不当,将使问题更加复杂甚至转化为钻井井下事故。如井漏就可能引起井塌,井塌就可能引起卡钻;井身质量不好就可能产生键槽,键槽就可能造成卡钻;钻具刺漏就可能导致钻头泥包或干钻,甚至会造成钻具断落或卡钻。再如井喷与卡钻、钻具断落与卡钻、井塌与卡钻都可能同时存在。井下复杂情况往往是井下事故的先导,井下事故往往是井下复杂情况继续恶化的必然结果。一切形式的其他卡钻都可能引起粘吸(压差)卡钻,都会产生连锁反应。一旦钻具失去了活动自由,就陷入十分被动的局面,所以在钻井工作中,要注意井下出现的各种变化,把精力放在消除复杂问题上。

钻井井下复杂问题虽然不能直观,但通过各种现象,可以察其端倪,寻其规律。利用现有的条件,根据泵压、悬重、钻井液进出口流量、机械钻速的变化,以及钻具上下活动转动时的阻力变化情况,可把钻井井下复杂问题分析判断出来。现把发生井下复杂情况的各种特征列于表0-1中,把发生井下事故的各种特征列于表0-2中。利用表0-1基本上可以把井下复杂情况判断清楚,利用表0-2基本上可以把发生的井下事故类型判断清楚。

2 井下复杂问题原因分析

钻井工程是勘探开发石油天然气的主要手段之一。而一般钻井工程讲述的是钻井方法、井身结构设计、井眼轨道设计与轨迹控制、钻柱设计、钻头使用、钻井液设计与油气井压力控制、钻井水力学与钻井参数的优化配合、固井工程及完井方法等各个钻井环节必不可少的

内容。我们把这些称之为常规钻井技术。但是钻井工程存在着大量的隐蔽性、模糊性、随机性和不确定性问题。由于对客观情况的认识不清或主观意识的决策失误，往往会产生许多复杂情况甚至造成严重的事故，轻者耗费大量人力、物力和时间，重者导致全井废弃。

表 0-1 井下复杂情况诊断

诊断现象		井漏	井塌	砂桥	溢流	泥包	缩径	键槽	钻具刺漏	卡牙轮	刺水眼	掉水眼	堵水眼
转动情况	扭矩正常	B			B						B	B	
	扭矩增大		A	A		A1	A1			A1			
	憋钻					A2	A2			A2			
钻具上下活动情况	上提有阻		A	A		A	A	A					
	上提无阻								B	B	B	B	B
	下放有阻		A	A			A						
	下放无阻							A	B	B	B	B	B
泵压变化情况	正常						B	B		B			
	上升		A	A									A1
	缓慢下降								A		A		
	突然下降	A										A	
井口流量变化	憋泵												A2
	正常					B	B	B	B	B	B		
	增大				A								
	减小	A1	A1	A1									
机械钻速	不返	A2	A2	A2									
	加快				B								
	减慢					A			B	A			

注：1. 表中 A 项为该类复杂情况的充分条件，据此可为井下复杂情况定性。2. 表中 B 项为该类复杂情况的必要条件，可作为辅助判断的依据。3. A1、A2 表示同一判据中的这两项可能同时存在，也可能只有一项存在。4. 以上各类复杂情况，除键槽外，都指正钻或停钻后活动情况。

表 0-2 井下事故诊断

诊断现象		钻具断落	卡钻	严重井塌	井喷	钻头落井	落物	
							在钻头上	在钻头下
转盘转动情况	扭矩正常				B			
	扭矩增大			B			A1	
	扭矩减小	A				A		
	跳钻							A1
	憋钻						A2	A2
	不能转动		A					
钻具活动情况	上提遇阻		A	A			A	
	下放遇阻		A	A				A3
悬重变化	正常					B	B	B
	下降	A			B			
泵压变化	正常						B	B
	上升			A				
钻井液井口返出量变化情况	下降	A				A		
	正常		B				B	B
	增大	B			A	B		
	减小			A1				
	不返钻井液			A2				

注：1. 表中 A 项为该类的充分条件，据此可为该类事故定性。2. 表中 B 项为该类事故的必要条件，可作为辅助判断的依据。3. A1、A2、A3 表示同一判据中的这三项可能同时存在，也可能只有一项或二项存在。

任何复杂问题的发生与发展都有其主客观原因，钻井事故与复杂情况也不例外。因此，钻井工作者必须对钻井事故与复杂情况发生发展的主要原因有一个清晰的认识，一旦出现异常情况时，思想上会有一个正确的判断，行动上也会采取正确的措施。只有这样，在大多数情况下，才可以避免事故的发生，把复杂情况带来的损失降至最低限度。

造成井下事故与复杂情况有诸多因素，主要有地质因素、工程因素和综合因素。

(1) 地质因素

钻井的对象是地层，而地层有硬有软，压力有高有低，孔隙有大有小，如果对这些情况没有足够的了解，就要发生难以预料的问题。首先我们应该了解设计井的地层孔隙压力、地层破裂压力、地层坍塌压力及一些特殊地层(如盐膏、软泥岩、沥青)的蠕变应力，作为井身结构和钻井液设计的主要依据。一般地说，在同一个裸眼井段内不能让喷、漏层同时存在，不能让蠕变层与漏层同时存在。如果在井身结构上无法实现上述要求，而且高压层和蠕变层在漏层的下部，那就应对漏层进行预处理，不能盲目向深部钻进。如果高压层或蠕变层下部有低压层或漏失层，那就只好把高压层或蠕变层用套管封掉。其次，对一些特殊地层如在一定温度、压力下发生蠕变的岩盐层、膏盐层、沥青层、富含水的软泥岩层、吸水膨胀的泥岩层、裂缝发育容易坍塌剥落的泥岩层、煤层及某些火成岩侵入层都应有较详细的了解，因为这些地层是造成井下复杂的主要源地。同时对一些地质现象如断层、裂缝、溶洞、特高渗透层的位置及硫化氢、二氧化碳的存在和含量也应有所了解。以上这些资料对打成一口井来说至关重要。但地质部门所提供的比较详细的资料是油气层资料，而对工程上所需要的重要资料则提供不多，或不够详细，甚至有些数据与实际情况相距甚远，即使是已经开发的油田，由于注水开发的结果，地下的压力系统变化很大，也很难以邻井的资料作为主要依据。

(2) 工程因素

由于钻井作业的隐蔽性、复杂性，所以“安全第一”应作为钻井作业的主导思想。但是由于有些人思想认识的模糊或者为某种片面的局部利益所驱动，为钻井事故或复杂问题的发生创造了条件。由于地质资料掌握不全不准，或者虽有可靠地质资料而未严格地按科学方法进行井身结构设计，使同一段裸眼中喷、漏层并存，治喷则漏、治漏则喷。虽然下了套管但不装井控设备，或者虽然装了井控设备但不讲求质量，一旦钻遇高压层，应急使用时，到处刺漏，甚至造成井喷失控。钻井液体系和性能与地层特性不相适应，甚至片面强调节约钻井液处理剂，使钻井液性能恶化，造成裸眼井段中某些地层的缩径或坍塌。或者钻井液密度不合适，也会造成井喷、井漏或井塌。操作不适当，下钻速度过快会产生很大的激动压力，易将地层憋漏。起钻速度过快会产生很大的抽吸力，易将油气层抽喷或将结构松软的地层抽塌，特别是在钻头或扶正器泥包的情况下更为严重。钻井设备发生故障，被迫停止钻具的活动或钻井液的循环，是发生井下事故的最普通最常见的因素。管理工作薄弱，有章不循，有表(指重表、泵压表、扭矩表)不看，遇事不思，盲目决断，但求省力，不顾后果起钻猛提，下钻猛压，遇卡硬转，遇漏硬憋，这是造成井下事故的常见原因。发现井下复杂情况，不当机立断，正确处理，丧失时机，把本来不复杂的问题弄得复杂化了，把本来不应该发生的事故却人为的造成了。由于自然灾害或组织工作不善，停工时间过多，钻井周期过长，产生复杂情况的机会也就越多。尤其在裸眼井段内长时间停止循环，其后果是显而易见的。

工程上的因素，有些是人为的因素，因此通过做工作是可以避免的。反之，如复杂情况处理得不好，会导致事故的发生。小事故处理得不好，会酿成更大的事故，甚至会造成部分井眼或全部井眼的报废。我们说，钻井工程是隐蔽工程，每前进一步都有一定的风险，而处

理井下复杂情况与井下事故更是如此，因井下情况千差万别，看不见，摸不着，全靠人们凭经验和知识去判断，不同的人会有不同的认识，可能做出不同的结论，然而正确的结论只能是一个。但是井下情况又并非完全不可知。由于现代仪器仪表的发展，许多井下情况可以测知或预测，如利用井下测量仪器可以知道井眼的轨迹，利用 dc 指数和页岩密度的计算，可以预知下部地层中有无高压层存在；利用泵压、悬重、扭矩、钻井液进出口流量的变化，可以显示井下发生的许多复杂问题。因而人们在复杂情况发生的初期，就可以利用现有的资料和长期工作中积累的经验加以分析判断，从中得出比较切合实际的认识。

作为钻井工作者来说，在复杂问题面前必须利用从各种渠道得来的信息，去粗取精，去伪存真，由此及彼，由表及里地进行分析，使自己的认识比较符合客观实际，才能找出复杂问题产生的真正原因。如果利用现有的资料，若不足以弄清井下情况，还可以采取必要的手段：如电测、井下照相、打铅印等，同时要对每次处理过程中的特殊现象如遇阻、遇卡、扭矩变化、泵压变化、钻井液性能变化、钻具上的擦痕（下井前就要检查钻具上是否有旧擦痕及其所在位置）进行仔细地观察，这些都可以给我们带来极有价值的信息，帮助我们消除不正确的认识，确定事故原因及处理方案。

钻井时会遇到井下地层、压力、温度的各种变化，而这些变化的地下信息，往往在钻井时尚未掌握，在钻到复杂地层时，就可能发生钻井事故，这是钻井发生事故的客观因素。一个有经验的钻井人员，应能及时识别钻井事故的象征，准确地判断事故的类别，正确果断地采取措施处理事故。否则，钻遇复杂情况时，如果没经验，不能及时识别事故、也不能准确地判断与正确地处理，就会使井下情况更复杂，导致事故的发生，甚至形成恶性事故，导致井的报废。这就是事故发生的主观因素。

目前，由于受勘探开发投资的制约和不同决策地位人员素质的影响，比较多地存在着以下问题：一是片面强调简化井身结构的问题，该下技术套管的不下，造成钻井井下复杂甚至出现井下事故；二是不能客观分析井下情况，为发现和保护油气层而过分强调降低钻井液密度，造成井塌、卡钻、倒扣、侧钻、甚至报废了井；三是一味地强调安全钻进，钻井液密度过高，这就带来了井漏、压差卡钻等问题，并且不能发现低压油层。

3 井下复杂问题处理原则

钻井井下复杂问题的预防与处理是一个复杂性系统问题，是钻井技术系统的重要组成部分。因此，预防与处理钻井井下复杂问题，应按系统工程和价值工程原则，采取定性定量相结合的方法进行系统的技术经济分析，综合各方面成功的经验做法进行科学的决策、设计和施工。认真搞好全井的设计是安全钻井和避免井下复杂问题的关键，是一个系统原则问题，而且是复杂性系统原则问题。在钻井前，应详细了解已钻井的情况，如果是探井，应尽量掌握地震等资料。一方面在钻井前尽量掌握地下各种信息；另一方面，在钻进中也要借助各种方法和仪器掌握地下各种信息。多年的经验证明，最重要的还是生产一线的钻井队长、钻井工程师、钻井监督，经验要丰富，技术要过硬。这样，钻井遇到复杂情况，才能有过硬的应变能力。

具体讲，处理井下复杂问题应遵守以下四条基本原则：

(1) 安全原则

井下复杂问题多种多样，处理的手段和使用的工具也多种多样。但这些工具和方法在正常钻井过程中接触不多也不很熟悉。而且往往要采取一些强化措施如处理井下事故中拉、

压、扭转都要比正常钻进时所用的力量要大得多。这些措施往往又强化到设备和工具所能承受的极限强度，稍有不慎就会造成新的事故，甚至由井下事故引发人身事故。处理事故过程中，工序复杂，起下钻具次数频繁也增加了发生新事故的机会。如果造成事故套事故的局面，处理的难度就更大了，甚至无法继续进行处理。所以在处理井下事故与复杂情况的过程中，必须从设备、工具、技术方案、技术措施、人员素质各个方面进行综合考虑。

(2) 快速原则

一旦发生井下复杂问题，其情况会随着时间的推移而更趋恶化。如果井内失去循环，就增加了井塌、油气上窜的可能，井塌又进一步加剧了卡钻，油气上窜又进一步增加了井喷的可能。所以在安全第一的原则下，必须抓紧时间进行处理，要迅速地决策，迅速地组织，迅速的施工，工序衔接要有条不紊。随着井下情况的变化及人们认识的加深，部分修改或全部修改原定方案的事是常有的，所以在确定第一方案的同时要有第二甚至第三方案的考虑，早作准备。要争取以最快的速度见到实际的效果。

(3) 灵活原则

处理井下复杂问题是一个多变的过程，很难有一个一成不变的方案。有时井下情况变了，人们的思想认识也要随着改变。要做到灵活机动，这一点最关键的是实时地掌握现场的第一手信息，特别是关键时刻的关键信息，有些信息稍纵即逝，很难捕捉到，有些信息一般人认为无所谓，而聪明的工作者却可据此得出符合实际的认识，及时地调整方案，加速了处理过程。所以我们既要重视过去的经验，又不拘泥于过去的经验；既要灵活机动，又不违反客观规律；既要大胆思考，又要符合逻辑思维程序。

(4) 经济原则

由于井下问题的复杂性，处理的难易程度相差很大，在目前技术水平下有的事故没有处理成功的可能性；有的事故虽有处理成功的可能性，但难度很大，需要耗费相当多的物资和时间；有的事故初期看来处理难度不大，但在处理过程中，井下情况却变得越来越复杂；有的事故用不同的方案进行处理会有不同的经济效果。因此面对不同的情况，从各种处理方案的安全性、有效性、工艺的难易程度、工具材料费用、占用钻机时间、环境影响等方面进行综合评估，在经济上合得来则干，合不来则止。发生事故本已造成了经济损失，处理事故的原则是把这种损失降到最低限度。

近年来，钻井技术已经有了很大的发展，如计算机技术、随钻测试技术、井下动力钻具、高效钻头、顶部驱动装置、钻井液技术等，不但提高了钻井速度，降低了成本，也减少了钻井的风险性。待将来钻井工程实现全过程的机械化、自动化，即实现闭环控制的时候，钻井事故与复杂情况将会大大减少。

随着钻井信息技术的发展和利用，将有可能测定钻头处的钻进参数、水力参数、地层特性、井眼走向、并有可能预测地层孔隙压力、漏失压力，这样一来钻井工程中的许多模糊性变得不模糊了，许多不确定性可以确定了，有助于避免钻井事故的发生，钻井管理工作将从避免风险转移到风险管理了。随着钻井技术的发展，处理井下事故的技术也必然会有飞速的发展，事故的处理将会更安全更迅速。但不管具体作业如何变化，而总的思路总的原则是不会变化的。

本书分章论述各种井下复杂问题的发生原因、特征、预防措施和处理办法，并引证一些近年来中国石化系统现场发生的典型事故实例，使读者加深认识。

第 1 章 井喷(涌)

地层流体(油、气、水)无控制地进入井内的现象,称为溢流;钻井中由于各种原因造成地层流体进入井筒,使钻井液连续或间断喷出(不超过转盘面)的现象叫井涌,无控制的井涌,使钻井液或地层流体的喷出加剧,超过转盘面以上后则叫井喷。井喷后,井口装置不能控制或虽可基本控制但出现了极为复杂的情况时均叫井喷失控。井喷失控是钻井工程中性质严重、损失巨大的灾难性事故。在钻井作业中,一旦发生井喷失控,将使油气资源受到严重破坏,还易酿成火灾,造成人员伤亡、设备毁坏、油气井报废、环境污染等严重后果。

井控是油气井压力控制的简称。井控技术是指对油气井压力控制的工艺、装置和一系列技术的总称。即采取一定的方式控制地层流体不进入井眼,以保持井内压力平衡,实现正常钻进;当地层流体进入井筒,发生溢流、井涌、井喷或井喷失控险情时借助井控设备、采取必要的技术措施消除险情,重新恢复井内压力平衡。另外,在钻井过程中,允许地层流体进入井眼,并将其循环到地面加以有效控制(即欠平衡钻井)也属于油气井压力控制技术的范畴。

根据井涌规模和采取的控制方法不同,井控作业一般可分为三种:

(1) 一次井控是依靠适当的钻井液密度来控制地层孔隙压力使得没有地层流体侵入井内,无溢流产生。一次井控的关键在于合理确定钻井液密度。

(2) 二次井控是指依靠井内正在使用中的钻井液密度不能控制住地层孔隙压力,地层-井眼系统压力失去平衡,地层流体侵入到井眼内,出现井涌,这时要依靠井控设备和井控技术,排除气侵钻井液,重建井内压力平衡,使之达到一次井控状态。二次井控的关键在于尽早发现溢流并迅速控制井口。

(3) 三次井控就是在井喷失控的状态下,使用适当的技术与设备重新恢复对井的控制,达到一次井控状态。这就是平常所说的井喷抢险。通常采用灭火、调换井口、打救援井等技术措施。

井控工作的指导原则就是要立足于一次控制,确保二次控制,杜绝井喷失控。

1.1 井喷(涌)的原因及征兆

1.1.1 井喷(涌)原因

钻井过程中,当井内钻井液液柱压力低于地层孔隙压力,就会失去地层-井眼系统的压力平衡,发生井涌、井喷。在钻遇异常高压油、气、水层时,由于措施不当或操作上的疏忽大意,更易于失去井下压力平衡,导致发生井喷的危险。发生井喷(涌)的主要原因有以下几点:

1) 井内钻井液液柱压力低于地层孔隙压力

(1) 地层孔隙压力掌握不准确 设计的钻井液密度偏低

在钻井设计时,对地层的孔隙压力尤其是异常高压地层的孔隙压力和深度掌握不准确,因而在没有准备或准备不充分的情况下钻开了异常高压油、气、水层,往往便会发生井涌、井喷。以往在新探区钻井时,由于没有准确的地层压力资料和邻井实钻资料可以参考,再加上没有进行及时的地层压力检测或地层压力检测准确率太低,设计的钻井液密度低于地层压

力的当量钻井液密度；在已经开发的老油田，由于受注水开发的影响，地下压力系统已不是原始的压力系统，多数开发地层的动态压力已经低于原始地层压力，有的甚至下降到静水柱压力以下，但部分地层或个别区域由于注入水能量的集中，形成了异常高压。老油田的动态压力检测还没有得到很好地解决，依据地层原始压力设计出的钻井液密度难以满足油气层压力控制的要求，容易导致井涌、井喷的发生。

(2) 钻井液密度降低

在钻遇异常高压地层时，地层流体侵入井筒又没有及时地排除。使钻井液密度下降，由于液柱压力下降，从而使地层流体更易于侵入井内，使密度和液柱压力进一步降低，最后导致井喷。

另外，钻井液中混入原油或其他密度低的处理剂过量、混合速度不均匀，也会造成钻井液密度降低。

(3) 钻井液液柱高度降低

起钻若不及时向井内灌钻井液或灌量不足、钻遇漏失层和其他因素引起的井漏，处理不及时或措施不当，使钻井液大量漏失，井内液面下降，井筒内的液柱压力降低，当液柱压力低于地层孔隙压力时，地层流体就会侵入井内而导致井涌甚至井喷。

2) 起钻时的抽汲作用

起钻上提时，由于抽汲作用使井底压力暂时降低，上提速度越快、钻井液粘切越高，抽汲作用就越大。最严重的抽汲现象就是钻头泥包等原因发生拔活塞。

3) 裂缝和孔隙性碳酸盐岩油气藏

该气藏产层往往也是漏层，因此，有时是先漏失，出口管返出量减少甚至断流，待井筒液面下降到一定程度后导致井喷

4) 井身结构设计不合理

表层套管或技术套管的下深不够，当钻到下部地层遇异常压力关井时，套管鞋处憋漏，引起地下井喷，给二次井控带来困难。

另外，防喷器配套标准低，安装、试压不符合要求；钻遇异常高压地层；相邻注水井不停注，未泄压，造成封闭区块过高憋压；发现溢流不及时或发现溢流后处理措施不当，未能及时地关井；有关岗位人员未通过合格的井控培训，井控素质差，产生误操作，思想麻痹，违章操作等都是导致井喷发生的直接或间接原因。

1.1.2 井喷(涌)征兆

油气(水)层由溢流而发展为井喷总有一个渐变过程，大都伴有一些异常现象，即所说的井喷(涌)预兆，只要有地层流体侵入井内，大都伴有如下现象：

1) 钻井液返出量增大 循环罐液面升高

当泵排量未改变时，地层流体进入井筒有助于钻井液在环空的加速上返，出口管处钻井液返出量会大于泵入量，尤其是天然气溢流在接近井口时，返出量会明显大于泵入量；在没有人地增加钻井液量的情况下，地层流体进入井筒会使钻井液总量增加、循环罐液面升高。

2) 悬重增加或减少、泵压上升或下降

打开高压油气层后，因井底压力突然增加，悬重会减少，泵压也会升高；当地层流体随钻井液在环空上返时，因天然气的膨胀，环空液柱平均密度下降，又可使循环系统压力下降，导致泵压下降；钻具在油气侵钻井液中所受的浮力减少，悬重会有所增加。若侵入流体