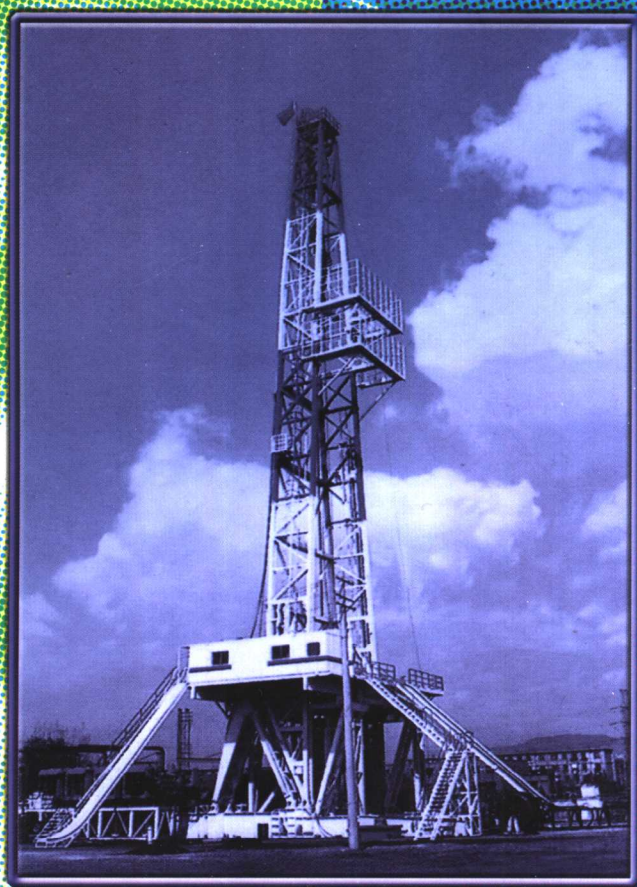


钻井事故 与 复杂问题

(修订版)
© 蒋希文 编著



石油工业出版社

钻井事故与复杂问题

(修订版)

蒋希文 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是国内第一部详细论述钻井事故与复杂问题的专著,也是作者从事石油钻井 40 余年工作经验的总结和升华。作者力求理论与实践的辩证统一,在大量实践经验的基础上,做了必要的理论阐述和探讨,同时,穿插列举不同类型的钻井事故和复杂问题的实例,使读者在接受感性认识的同时,加深对问题的深刻理解,具有很重要的实践指导意义。

适于从事石油钻井工作的领导、专家和科研、工程技术人员、相关院校师生,特别是钻井队长和钻井监督参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

钻井事故与复杂问题/蒋希文编著.

北京:石油工业出版社,2002.6

ISBN 7-5021-3193-0

I. 钻…

II. 蒋…

III. ①油气钻井-事故-预防

②油气钻井-事故-处理

IV. TE28

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 77490 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

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 开本 24.5 印张 625 千字 印 4001—7000

2002 年 6 月北京第 1 版 2002 年 6 月北京第 3 次印刷

ISBN 7-5021-3193-0/TE·2422

定价: 50.00 元

序 言

《钻井事故与复杂问题》这本书是继 50 年代玉门油田曹绍莘同志编写的《钻井打捞技术》一书之后,又一本较全面地介绍预防与处理钻井事故和复杂情况的专著。这本书不但系统地介绍了处理钻井事故的经验,而且还系统地介绍了预防钻井事故的经验。在介绍的经验中还包括了近些年现场实践的预防和处理钻井事故的新经验。

21 世纪石油工业面临增加石油后备储量的压力,勘探地区条件恶劣,油藏埋藏深,勘探开发费用高。同时,老油田类型多,面临减缓递减、提高最终采收率的压力。面临各种作业如何减少污染、保护环境、有利健康(HSE)的压力。21 世纪全球将进入知识经济时代、信息时代、工程科技时代。21 世纪的钻井将是自动化、智能化钻井时代。这个时期钻井的特点是:①多学科的综合研究和应用,是钻井、地质、测井、电子、化学、力学、控制学等学科的综合研究和应用;②钻井信息采集,不但是从地面还将从地下采集,从预测技术逐步发展实测技术,实现随钻测量包括 MWD(随钻测量)、LWD(随钻电测)、PWD(随钻测环空压力)、SWD(随钻地震测量)等;③在多种类型老油田中,钻不同类型井,使钻井成为提高采收率的有效手段。根据不同类型油气藏特点,需要选择钻以下类型井:水平井、多分支井、侧钻水平井、径向水平井、套管内侧钻井、重钻井(老井加深、老井侧钻等)、大位移井、小井眼井等,以最大限度地提高油气田开发水平。

钻井是一种隐蔽的地下工程、要找油气等资源,就要钻井、就要钻穿各种地层。钻井时可能会遇到井下地层、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,这样,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。

认真搞好全井的设计,是安全钻井的关键。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,以避免和减少打遭遇战。多年的经验证明,最重要的还是生产一线的钻井队长、钻井技术员、钻井工程师、钻井监督、经验要丰富,技术要过硬,这样,在复杂的情况下,才能有过硬的应变能力。

目前,一部分承包项目,只图省钱,出现了该下套管的不下,给钻井造成井下复杂,甚至出现井下事故等不应发生的情况。有的承包项目片面地强调安全钻进,泥浆密度过高,这样就枪毙了油层,而有的项目不管井下情况如何,一味地降低泥浆密度,结果造成井塌、卡钻、倒扣、侧钻、甚至报废了井,这是当前新区探井打得慢、油气田发现得晚的最重要的原因。

本书有以下几个特点:①将钻井事故做了分类,即,卡钻事故、井下落物事故、测井事故、井喷事故、井漏、钻具断落事故、固井事故;②总结了钻井处理事故的四条原则;③总结了各类钻井事故发生的原因,事故发生的象征、事故如何预防以及事故如何正确处理等。

相信这本书的出版，将成为各油田钻井公司、钻井队的生产一线人员如钻井队长、钻井技术员、钻井工程师、钻井监督、钻井大队长（钻井分公司经理）、钻井公司经理、主任工程师、固井技术人员、泥浆技术人员等必备用书。特别是钻井队长、钻井技术员、钻井工程师、钻井监督如能认真学习和掌握这些方法，必定会大幅度地减少钻井事故和井下复杂情况。即使发生了事故，也能正确果断地处理，减少事故的损失。本书也可作为钻井技术人员的培训教材。

本书对盐岩层给钻井带来危害与事故的预防总结得还不够，还缺少对井喷着火的预防与处理的介绍，希望本书再版时加以补充，但从总体上讲，本书是钻井事故与复杂情况的预防和处理方面不可多得的一本专著，有重要的实践指导意义。

李克向

2000年10月20日

目 录

绪论	1
第一章 卡钻事故	7
第一节 粘吸卡钻	12
第二节 井壁失稳与坍塌卡钻	32
第三节 砂桥卡钻	50
第四节 缩径卡钻	58
第五节 键槽卡钻	71
第六节 泥包卡钻	81
第七节 落物卡钻	87
第八节 干钻卡钻	93
第九节 水泥卡钻	97
第十节 震击解卡工具	100
第十一节 套铣、倒扣与切割	123
第十二节 侧钻	152
第二章 钻具断落事故	156
第一节 钻具事故发生的原因	156
第二节 钻具的使用、维护与管理	161
第三节 钻具断落后的井下情况分析	163
第四节 打捞断落钻具的工具及使用方法	166
第五节 辅助打捞工具及使用方法	182
第六节 钻具断落事故实例	195
第三章 井下落物事故	204
第一节 落物事故发生的原因	204
第二节 井内有落物的象征	205
第三节 预防井内落物的措施	205
第四节 井下落物的处理	206
第五节 井下落物事故实例	220
第四章 测井事故	225
第一节 测井事故发生的原因	225
第二节 测井事故的预防	225
第三节 电缆事故的处理	226
第四节 落井仪器的打捞	234
第五节 测井事故实例	236
第五章 井喷事故	239
第一节 溢流产生的原因	239

第二节	井喷前的预兆·····	241
第三节	井喷的预防·····	242
第四节	井喷的处理·····	247
第五节	井控装置·····	274
第六节	井喷事故实例·····	301
第六章	井漏·····	310
第一节	井漏的原因和机理·····	310
第二节	漏失层位的判断·····	313
第三节	漏层压力的计算·····	319
第四节	井漏的预防·····	320
第五节	井漏的处理·····	322
第六节	成功处理井漏的实例·····	348
第七章	固井中的复杂问题与事故·····	352
第一节	套管事故·····	352
第二节	注水泥作业中的复杂问题与故障·····	360
第三节	固井事故实例·····	379
参考文献	·····	384

绪 论

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、井身结构及固井、井身剖面设计与控制、钻柱设计、钻头使用、钻井液设计与油气井压力控制、钻井水力学与钻进参数的优化配合、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。但是钻井是一项隐蔽的地下工程，存在着大量的模糊性、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，重者导致全井的废弃。据近年来的钻井资料分析，在钻井过程中，处理复杂情况和钻井事故的时间，约占施工总时间的6%~8%，一个拥有上百台钻机的油田，一年中就有6~8台钻机在做无用功。何况资金的消耗并不和时间成比例，而是要大得多，这是多么惊人的浪费。任何一个钻井工作者都不愿和事故打交道，也不乐意看到诸多复杂问题，但事物是相反相成的，不愿意看到复杂问题和钻井事故，这只能是人们的良好愿望。不懂得复杂问题与钻井事故的预防与处理办法的人，一旦碰到了这种问题往往会仓皇失措，举止无着，把小病治成大病，大病治成死病。而懂得复杂问题与钻井事故的预防和处理办法的人，一旦遇到这些问题则会心中有数，采取正确的措施，往往可以化险为夷，转危为安，这是一个成熟的钻井工作者必须具备的条件。

任何事物的发生与发展都有其主客观原因，钻井事故与复杂问题的发生与发展也不例外。因此钻井工作者必须对钻井事故与复杂问题发生发展的主要原因要有一个清晰的认识，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，主要有地质因素和工程因素两大类。

一、地质因素

钻井的对象是地层，就是要揭穿地层深处的奥秘。而地层结构有硬有软，压力系统有高有低，孔隙有大有小，如果对这些情况没有足够的了解，就难免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、压力下发生蠕变的盐岩层、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。这就使钻井过程往往不得不打遭遇战，因而复杂情

况屡屡发生。

二、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的利益所驱动，或明知故犯，或铤而走险，为钻井事故和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，而是犹柔寡断，无所举措，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，其恶果是显而易见的。工程上的因素，大多是人为的因素，因此通过过细地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，具有一定的模糊性和不确定性，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 d_c 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，在复杂情况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，才能有针对性地做出正确的决策。孙子兵法也说：“知彼知己，百战不殆”。对我们钻井工作来说，知彼就是要知道井下情况，知己就是要知道自己拥有的各种手段（设备、工具、人员素质等）。孙子又说：“多算胜，少算不胜”。这里的所谓算就是筹划，只要筹划周密，条件具备，就能取胜。筹划不周，条件缺乏，就不能取胜。钻井如作战，处理井下事故与复杂问题更是如此。知己容易知彼难，所以我们必须想尽一切办法弄清井下情况，并且要十分熟悉自己拥有的各种手段的性能及使用方法。并且每走一步，都要考虑可能会出现的问题及相应的处理办法，力争多“算”，力戒盲目。如果利用现有的资料，尚不足以弄清井下情况，还可以进行必要的侦察，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、工具钻具上的擦痕（下井前就要检查工具、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,确定下一步的处理方案。井下的情况复杂多变,人们的思想认识也应随机应变,不能固守一种模式、一种概念,在一条路上走到底。有些胜利的取得在于再坚持一下的努力之中,而另一些胜利的取得则在于另辟蹊径的应变之中。面对已经发生的情况,首先需要的是镇定的情绪,冷静的头脑,瞻前顾后,综合考虑,切忌头脑发热,手忙脚乱,贸然采取一些不计后果的危险措施。也要反对麻木不仁,无所举措,丧失将事故消灭于萌芽状态之中的良机。

处理井下事故与复杂情况应遵守以下四条原则:

1. 安全的原则

井下事故与复杂情况多种多样,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设备事故或人身事故。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,致使前功尽弃。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,不但要考虑如何进攻,而且要考虑如何退守,凡事要留有余地,留有后路。

2. 快速的原则

孙子兵法有云:“兵闻拙速,未闻巧久”,一旦发生井下事故或复杂问题,其情况会随着时间的推移而更趋恶化。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。须知抓住了时机就会化难为易,做到事半功倍;丧失了时机就会变易为难,只能落得个事倍功半,甚至劳而无功。但是,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。“凡事预则立,不预则废。”要争取以最快的速度见到实际的效果。同时对从事作业的人员来说,旷日持久,劳师无功,必然会影响工作情绪,一个士气低落的队伍是难以打攻坚战的时间就是金钱,时间就是制胜的法宝,可惜这一点往往被人们所忽视。

3. 灵活的原则

处理井下事故和复杂情况是一个多变的过程,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。灵活机动,捕捉战机非常重要。要做到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. 经济的原则

由于井下事故的复杂性,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。此路不通,另走他路。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。钻井复杂情况主要有:井涌、井漏、轻度井塌、砂桥、泥包、缩径、键槽、地层蠕变、地应力引起的井眼变形、钻井液污染及有害气体的溢出等。钻井事故主要有卡钻、井喷、严重井塌、钻具或套管断落、井下落物及钻出新井眼丢失老井眼等。以下将分章论述各种井下事故与复杂情况的发生原因、特征、预防措施和处理办法,并引证一些现场发生的事故实例,使读者加深认识。

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的减少。

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,这样以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。

随着钻井工艺技术的发展,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。

井下事故与复杂情况虽然不能直观,但通过各种现象,可以察其端倪,寻其规律。我们利用现有的条件,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,把发生井下复杂情况的各种特征列于表 0-1 中,利用表 0-1 基本上可以把井下复杂情况判断清楚。把发生井下事故的各种特征列于表 0-2 中,利用表 0-2 基本上可以把发生的井下事故类型判断清楚。

表 0-1 井下复杂情况诊断

复杂情况类型 判据		井漏	井塌	砂桥	溢流	泥包	缩径	键槽	钻具刺漏	钻头牙轮卡	钻头水眼刺	钻头水眼掉	钻头水眼堵
转盘转动情况	扭矩正常	B			B						B	B	
	扭矩增大		A	A		A ₁	A ₁		B	A ₁			
	别钻					A ₂	A ₂			A ₂			
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									A ₁
	缓慢下降								A		A		
	突然下降	A										A	
	别泵												A ₂

续表

复杂情况类型 判据		井漏	井塌	砂桥	溢流	泥包	缩径	键槽	钻具刺漏	钻头牙轮卡	钻头水眼刺	钻头水眼掉	钻头水眼堵
井口流量变化	正 常					B	B	B	B	B	B	B	
	增 大				A								
	减 小	A ₁	A ₁	A ₁									
	不 返	A ₂	A ₂	A ₂									
机械钻速	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. 角码 1, 2 表示同一判据中的两项可能同时存在，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

事故类别 判 据		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			A ₁	A ₁
	扭矩减小	A				A		
	跳 钻							A ₂
	别 钻						A ₂	A ₃
	不能转动		A					
钻具活动情况	上提遇阻		A	A			A	
	下放遇阻		A	A				
悬重变化	正 常					B	B	B
	下 降	A			B			
泵压变化	正 常						B	B
	上 升			A	B			
	下 降	A				A		
钻井液井口返出量变化情况	正 常	B	B			B	B	B
	增 大				A			
	减 小			A ₁				
	不返钻井液			A ₂				

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. 角码 1, 2, 3 表示同一判据中的三项可能同时存在，也可能只有一项或二项存在。

井下复杂情况有时是单一的，有时是复合的，但发生的初期总是单一的。若处理不当，就会产生连锁反应，如井漏就可能引起井塌；井塌就可能引起卡钻；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。井下事故也是一样，有时是单一的，有时是复合的。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。井下复杂情况与井下事故之间并没有一条不可逾越的鸿沟，复杂情况往往是事故的先导，事故往往是复杂情况继续恶化的必然结果。如井漏可以导致井塌，井塌可以导致卡钻；井身质量不好就可能产生键槽，键槽就可能造成卡钻。一切形式的其他卡钻都可能引起粘吸卡钻，凡此等等，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，所以在日常工作中，要注意井下出现的各种变化，把精力放在消除复杂问题上，而处理事故则是不得已而为之的事。

第一章 卡 钻 事 故

卡钻就是钻具失去了活动的自由，既不能转动又不能上下活动，这是钻井过程中常见的井下事故。卡钻可以由各种原因造成，如粘吸卡钻、坍塌卡钻、砂桥卡钻、缩径卡钻、键槽卡钻、泥包卡钻、干钻卡钻、落物卡钻、水泥固结卡钻等。各种卡钻产生的机理不同，处理的方法也各异。所以当卡钻事故发生后，首先要弄清卡钻的性质，要像医生看病一样，通过各种现象及可能获得的各种信息查出病因，才能对症下药。

卡钻总是发生在钻进、起钻、下钻三个不同的过程中。为了叙述方便起见，我们把各个工序中发生的各类卡钻事故的诊断方法以简明的表格形式列举出来，如表 1-1、表 1-2、表 1-3 所示。它可以帮助现场工作人员准确地判明卡钻的性质，同时也可以据此制成计算机软件，进行辅助判断。

表 1-1 钻进时发生卡钻事故的诊断

判 据		运 行 状 态	卡 钻 类 型						
			粘吸	坍塌	砂桥	缩径	泥包	干钻	落物
卡 钻 前 各 种 显 示	钻 进 中 显 示	跳 钻							A ₁
		别 钻				A ₁	A ₁	A ₁	A ₂
		扭矩增大		B	B	A ₂	A ₂	A ₂	A ₃
	钻 具 上 下 活 动 时 显 示	上提有阻短距离内阻力消失				A			
		上提一直有阻阻力忽大忽小		A	A		A		
		上提一直有阻阻力越来越大						A	A
		下放有较大阻力		B	B				
		下放有较小阻力					B		
	泵 压 显 示	泵压正常	B			B			B
		泵压逐渐上升		A ₁	A ₁	A	A ₁	A ₁	
		泵压逐渐下降					A ₂	A ₂	
		泵压波动忽大忽小		A ₂	A ₂				
	钻 井 液 井 口 返 出 量 显 示	进出口流量平衡	B			B	B	B	B
		井口返出量减少		A ₁	A ₁				
		井口不返钻井液		A ₂	A ₂				
	机 械 钻 速 变 化	机械钻速急剧下降						A	A
		机械钻速缓慢下降					A		
	钻 屑 显 示	返出量增多且有大量坍塌物		B	B				
		钻屑返出量减少					B	B	B
	卡 前 钻 具 运 行 状 态	钻具静止时间较长遇卡	A						
		钻具在上下活动中遇卡		A	A				A ₁
		钻具转动中遇卡				A	B	A	A ₂

续表

判 据	运 行 状 态	卡 钻 类 型						
		粘吸	坍塌	砂桥	缩径	泥包	干钻	落物
卡钻后各种显示	初始卡点位置	在钻头附近			A	A	A	A
		在钻铤和钻杆上	A	A	A			
	泵压显示	泵压正常	A		A			A
		泵压上升		A	A			
		泵压下降				A	A	
	井内循环状况	可以正常循环	B		B	B		B
		可以小排量循环		A ₁	A ₁		A ₁	
		井口不返失去循环		A ₂	A ₂		A ₂	

注：1.A项为充分条件，据此可为卡钻事故定性。

2.B项为必要条件，可以帮助判断。

3.角码1, 2, 3表示三项可同时存在，也可能只有一项或二项存在。

表 1-2 起钻时发生卡钻事故的诊断

判 据	运 行 状 态	卡 钻 类 型						
		粘吸	坍塌	砂桥	缩径	键槽	泥包	落物
卡钻前各种显示	钻具运行显示	钻柱静止时间较长	A					
		钻柱上行突然遇阻			A ₁	A ₁		A
		钻柱在一定阻力下可以上行		A ₁	A ₁		A	
		上起遇阻而下放不遇阻			A ₂	A ₂		A
		上起遇阻下放也遇阻		A ₂	A ₂		B	
		循环活动正常停泵就有阻力		A ₃	A ₃			
		无阻力时转动正常			B	B	B	
		无阻力时转动不正常		B	B			A
	井口显示	钻柱上行环空液面不下降		B	B		B ₁	
		钻井液随钻柱上行返出井口					B ₂	
		钻柱内孔反喷钻井液		A				
卡钻后各种显示	初始卡点	在钻头附近			A		A	A
		在钻铤顶部				A		
		在钻铤或钻杆部位	A	A	A			
	循环时泵压显示	泵压正常	A		A	A		A
		泵压下降					B	
		泵压上升		A ₁	A ₁		B	
		憋泵		A ₂	A ₂			
	井口显示	钻井液进出口流量平衡	A		A	A	B	A
		井口返出液量减少		A ₁	A ₁			
		井口不返出钻井液		A ₂	A ₂			

注：1.A项为充分条件，据此可以判定卡钻类型。

2.B项为必要条件，可以帮助判断。

3.角码1, 2, 3表明三项可能同时存在，也可能只有一项或二项存在。

表 1-3 下钻时发生卡钻事故的诊断

判 据		运 行 状 态	卡 钻 类 型				
			粘吸	坍塌	砂桥	缩径	落物
卡 钻 前 各 种 显 示	钻 柱 运 行 显 示	钻柱静止时间较长	A				
		下行突然遇阻				A	
		下行不遇阻上行遇阻					A
		下行遇阻上行也遇阻		A ₁	A ₁		
		下行遇阻阻力越来越大		A ₂	A ₂		
		下行遇阻阻力点相对固定				B	
		下行遇阻阻力点不固定		B	B		
		循环时可下行停泵有阻力		A ₃	A ₃		
		无阻力时转动正常				B	
		无阻力时转动不正常		B	B		A
	井口 显示	下钻柱时井口不返钻井液		A ₁	A		
		钻柱内孔反喷钻井液		A ₂	B		
卡 钻 后 各 种 显 示	初始卡 点位置	在钻头附近				A	A
		在钻铤或钻杆上	A	A	A		
	循环泵 压变化	泵压正常	B			B	B
		泵压上升		A	A		
	钻井液 井口返 出情况	钻井液进出口流量平衡	A			A	A
		钻井液出口流量减少		A ₁	A ₁		
		井口不返钻井液		A ₂	A ₂		

注：1.A 项为充分条件，据此可为卡钻事故定性。

2.B 项为必要条件，可以辅助判断。

3. 角码 1, 2, 3 表示其中一项存在即可作为主要判据，也可能有其中两项同时存在的情况。

在卡钻事故中，粘吸卡钻算是最简单的一种。但在一种卡钻事故发生之后，往往又会诱发另一种卡钻。如在缩径卡钻、键槽卡钻、落物卡钻发生之后，由于钻柱失去了自由活动的 ability，又会发生粘吸卡钻。粘吸卡钻发生之后，由于处理不当，又会诱发坍塌卡钻。所以在一种卡钻发生之后，要采取适当的措施防止另一种卡钻的发生，致使其形成复合式卡钻，这样处理起来就增加了难度。

当卡钻事故发生之后，首先要考虑的问题是为顺利解除事故创造条件。

(1) 必须维持钻井液循环畅通

要防止钻头水眼或环空堵塞。因为一旦循环失灵，就失去了注解卡剂的可能，也很容易诱发井塌和砂桥的形成，而且如想从钻杆水眼内下爆炸松扣工具也很难下到预定位置。

(2) 要保持钻柱完整

因为如把钻柱提断或扭断，断点以下的钻柱便失去钻井液循环，由于钻屑和井壁塌落物的下沉，有可能堵塞钻头和钻柱水眼，或者在环空形成砂桥。同时如果鱼顶正好处于大井径位置，打捞钻具时，寻找鱼头也非常困难。

(3) 不能把钻具连接螺纹扭得过紧

任何卡钻事故的发生，都有可能走到套铣倒扣的那一步，如果扭力过大，一则可能使母螺纹胀大损坏，使钻具从中间脱开。二则扭力过大，造成了倒扣的困难，必然要迫使你去做许多无效的工作，甚至使事故无法继续处理下去。

计算限制扭转圈数的公式如下：

$$N = \frac{100\tau H}{\pi GSD} = \frac{100H}{\pi GSD} \sqrt{(\sigma_1^2 - \sigma_2^2)/3} = 1.532 \times 10^{-5} \frac{H}{D} \sqrt{\sigma_1^2 - (qH/F)^2} \quad (\text{圈})$$

(1-1)

式中 N ——限制扭转圈数；

H ——卡点深度，即卡点以上钻柱长度，m；

D ——卡点以上钻柱外径，cm；

G ——剪切系数， $8 \times 10^4 \text{MPa}$ ；

τ ——限制剪切力， $\tau = \sqrt{(\sigma_1^2 - \sigma_2^2)/3}$ ，MPa；

σ_1 ——钢材屈服强度，MPa；

σ_2 ——钻柱危险断面处所受的实际拉应力， $\sigma_2 = qH/F$ ，MPa；

q ——钻柱在钻井液中的重量，N/m；

F ——管体切面积， cm^2 ；

S ——安全系数，取 1.5。

现将常用的 API 标准钻杆限制扭转圈数列于表 1-4，国产钻杆的限制扭转圈数列于表 1-5，供现场工作人员使用时参考。

表 1-4 API 钻杆限制扭转圈数

钢级	外径 mm	自由钻柱长度，m						
		1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000
S_{135}	60.3	21.0	42.0	62.0	80.0	97.0	111	121
	73.0	17.0	34.0	51.0	66.0	79.5	91.0	99.7
	88.9	14.0	28.0	41.8	54.0	65.0	74.8	81.8
	102	12.5	24.7	36.6	47.0	57.0	65.5	71.5
	114	11.0	22.0	32.5	42.0	50.8	58.0	63.5
	127	10.0	19.7	29.0	38.0	45.7	52.3	57.3
	140	9.00	17.9	26.5	33.7	41.5	47.6	52.0
	168	7.50	14.9	22.0	28.0	34.5	39.5	43.2
G_{105}	60.3	16.4	32.3	47.0	59.8	70.0	76.3	77.2
	73.0	13.5	26.5	38.6	49.2	57.5	62.7	63.4
	88.9	11.1	21.8	31.7	40.5	47.2	51.5	52.0
	102	9.70	19.0	27.9	35.4	41.5	45.1	45.5
	114	8.60	16.9	24.8	31.5	36.9	40.0	40.5
	127	7.80	15.2	22.3	28.3	33.2	36.0	36.5
	140	7.00	14.0	20.0	25.7	30.2	32.7	33.5
	168	5.80	11.6	16.7	21.3	25.1	27.2	27.5