

国外油气勘探开发新进展丛书 (四)

GUOWAIYOUQIKANTANKAIFAXINJINZHANCONGSHU

Blowout and Well Control Handbook

井喷与井控手册

[美] 罗伯特·D. 格雷 著
高振果 王胜启 高志强等 译
吴 奇 郑新权 审

石油工业出版社



石油科技图书出版中心
010-64222278 64222296

国外油气勘探开发新进展丛书（四）

GUOWAIYOUQIKANTANKAIFAXINJINZHANCONGSHU

- 井喷与井控手册
- 综合渗流模拟
- 油藏工程基本原理
- 气藏工程
- 油井打捞作业手册——工具、技术与经验方法
- 多分支井技术

总策划：张卫国

策划编辑：章卫兵

责任编辑：李 中 刘 岩

责任校对：王 颜

封面设计：中子画艺术设计

ISBN 7-5021-5554-6



9 787502 155544 >

ISBN 7-5021-5554-6/TE · 4231

定价：78.00元

国外油气勘探开发新进展丛书(四)

井喷与井控手册

[美] 罗伯特·D. 格雷 著

高振果 王胜启 高志强等 译

吴 奇 郑新权 审

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是一部理论性和现场可操作性相结合的油气井控制技术专业著述。全书共十一章,详细介绍了井控设备、常规和特殊情况下的压力控制程序、井控流体动力学、井控中的特殊作业、救援井设计与作业、地下井喷、井喷实例、应急计划和科威特灭火等内容。

本书可供从事钻井工程和油井作业技术人员、现场工程监督参考和培训使用,同时也可作为石油院校相关专业参考书。

图书在版编目(CIP)数据

井喷与井控手册/[美]罗伯特·D. 格雷著;高振果等译.
北京:石油工业出版社,2006.7

(国外油气勘探开发新进展丛书. 第4辑)

书名原文:Blowout and Well Control Handbook

ISBN 7-5021-5554-6

I. 井…

II. ①格… ②高…

III. ①油气钻井-井喷-技术手册

②井控技术-技术手册

IV. TE28-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 058637 号

Copyright © 2003 by Elsevier Science.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced, stored in a retrieval system, or transcribed in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and recording, without the prior written permission of the publisher.

本书经 Elsevier Science 授权翻译出版,中文版权归石油工业出版社所有,侵权必究。

著作权合同登记号图字 01-2004-4911

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.cn

发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:北京晨旭印刷厂

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:17.5

字数:440 千字

定价:78.00 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

《国外油气勘探开发新进展丛书(四)》

编 委 会

主 任：胡文瑞

副 主 任：赵政璋 张卫国

编 委：(按姓氏笔画排序)

王玉普 王连刚 闫建华 刘德来

吴 奇 杜金虎 杨能宇 张仲宏

张烈辉 郑新权 周家尧 郭万奎

咸月瑛 高志强

序

为了跟踪国外油气勘探开发的新理论、新技术、新工艺,提高中国石油天然气股份有限公司油气勘探开发的理论和技术水平,提高整体经济效益,中国石油天然气股份有限公司勘探与生产分公司有计划地组织有关专家对国外油气勘探开发及生产方面的新技术、新理论、新成果进行调研引进、吸收,并翻译出版,推荐给油田广大技术人员及管理干部,以期能达到促进生产、更新知识、提高业务水平及技术水平的目的。第一批、第二批与第三批引进 16 本专著后,产生了较好的社会效益,得到了广大读者的高度关注和认可,普遍认为翻译质量高,出版质量好,内容满足实际需要。

为了进一步搞好中国石油天然气股份有限公司石油勘探开发的科技发展事业,促进石油工业发展,我们在前三辑出版的基础上,经过多次调研、筛选,又推选出国外最新出版的 6 本专著翻译出版,即《井喷与井控手册》、《综合渗流模拟》、《油藏工程基本原理》、《气藏工程》、《油井打捞作业手册——工具、技术与经验方法》、《多分支井技术》,以期追踪国外油气田勘探开发的热点问题和切合我国油气田开发实际需要的实用技术。

在全套丛书的引进、翻译出版过程中,勘探与生产分公司和石油工业出版社组织了一批著名专家、教授和有丰富实践经验的油田工程技术人员担任该书的翻译和审校工作,使本套丛书得以高质高效地出版。希望各油田及科研院校从事于勘探、开发工作的管理人员、技术人员以及研究人员读读这套丛书,同时在实践中应用之,这将会对今后的工作起到一定的指导和推动作用,为搞好油田勘探开发,实施低成本战略,创造更大的效益做出贡献。

中国石油天然气股份有限公司副总裁

译者前言

随着勘探开发领域的不断扩展延伸,钻井所遇到的复杂性和难度越来越大,对钻井技术和管理的要求也越来越高,为了适应勘探开发对钻井的更高要求就必须首先做到钻井的安全生产。而油气井控制技术是钻井过程中实现安全生产的一项关键技术,如同我们驾车行驶时方向盘和刹车那么重要,途中的汽车失去了方向盘或刹车会酿成严重的交通事故,钻井过程中一旦油气井失去控制往往会造成设备毁坏、人员伤亡、油气井报废、油气资源破坏、环境污染、大量抢险资金投入、正常生产秩序被打乱以及不良的社会影响。正是基于上述考虑,钻井工作者历来十分重视井控技术的掌握与发展。

在井控技术应用中,我们遵循的原则是:以钻井液密度和性能与地层配伍为基准做好油气井的一次控制,这是前提;以及时发现溢流,及时关井,尽快压井,重新建立压力平衡为重点,做好油气井二次控制,这是井控的核心;当然,失控后井喷抢险为主要内容的三次控制是我们大家所不愿意见到的,杜绝它,这是井控工作要努力追求的目标。要想避免或减少油气井三次控制的发生,少打或不打遭遇战,就必须首先做好油气井的一次控制和二次控制,尤其是要求钻井生产主要岗位人员接受井控培训,通过实践熟练掌握二次控制技术基本功是我们一直倡导和要求的,也是钻井现场操作者应该掌握的重要技术环节。

《井喷与井控手册》是一本重点介绍钻井过程中如何进行油气井二次控制的著作,书中不仅列举了传统典型的司钻法及等待加重法压井程序,而且还介绍了动力压井法、动量压井法、体积压井法、顶入压井法等国内不常采用、不被人所熟知的压井程序。无论哪种方法,都是以井口最大允许压力为前提,以既不压漏地层又不使地层流体再次侵入井筒为原则,这和国内压井理念是相吻合的。本书突出了实践性和理论性的统一结合,对每一种压井方法都列举了实际案例,同时又给予公式推导演练,证明其方法的科学性和理论上的成立。本书介绍的油气井二次控制方法的案例是从现场中来的,有的方法是成熟的,是值得推广应用的,有的方法是处于探讨性的,是作为个案提出来的,可以磋商。该书作者曾经在1991年参加过举世瞩目的海湾战争后科威特油井大火抢险灭火工作,有丰富的井控实践和理论基础,相信他的著作会给国内同行带来启迪和裨益。相信通过国际技术交流一定会丰富和发展国内井控技术,以求进一步降低井喷失控率,使有限的投入资金获得更大的勘探开发效益,这也是我们译本书的出发点。

参加本书翻译的同志有王胜启(第1、3章)、秦礼曹(第2章)、汪光太(第4章)、李淑白(第5、8、10章)、高振果(第6、11章)、方慧(第9章)、高志强(第7章、前言、后记)。全书由高振果统稿,吴奇主审,郑新权、徐明会审稿。

尽管译者付出了艰辛和努力,但由于水平所限,不免会有不妥或不准确之处,恳请读者指正。

译者

2006年5月

原书前言

井控问题一直是使人感兴趣的问题。大自然以油气井失控造成井喷的形式释放原始能量的现象是令人生畏的。井控是一回事,而猛烈井喷的控制是另外一回事。

只要世界上任何地方有钻井作业,就会有井控和失控问题。我们之中有些人认为,这些问题总是某些错误造成的后果,因而是可以消除的。我不这样认为。我看到过一些例子,我不认为任何人可以避免。这些问题是工作的一部分,在这个领域里走下去吧。

事故的后果是严重的。即使是最简单的井喷也可以导致几百万美元的设备及宝贵的自然资源的损失。还可能导致更为宝贵的人员生命损失。井控问题和井喷不是个别的,这些问题发生在大公司的作业中,也发生在小公司的作业中。这些问题发生在诸如深井、高压气井的作业中,也发生在简单的浅井的作业中。当地面压力在 82.7MPa 与 0.1MPa 之间变化,情况很糟糕时,危及人们的生命。因此井控问题和井喷的潜在危险总是存在的。

原书鸣谢

我愿意感谢我的撰稿人鲍勃·卡德先生,杰拉德·L·舒尔森先生和里查德·卡登先生。作为 30 多年的亲密朋友和同事,鲍勃·卡德不仅向本著作提供了稿件,而且还提供了他的全部经验。我一度考虑,鲍勃在井控的各个方面比我们任何人都懂得的更多。后来我认识到,他比我们每个人合起来懂得的还多。鲍勃有丰富的经验、知识和专门技能。

我也愿意感谢杰里·舒尔森,他为本著作投寄了稿件。作为一个亲密的朋友,业务上的合作者和同事,杰里和我密切合作,开创了本书中提出的许多概念。杰里是当今这个部门里最好的钻井工程师。在复杂的情况下,没有一个人比杰里·舒尔森更使我愿意与之在一起。

里查德·卡登自从在蒙大拿技术学院的学生时代就是我的朋友和同事。他是一位杰出的工程师,我们在一些复杂的项目中一起工作。里奇在技术上知识很扎实,他努力为本书提供稿件,并保证本书质量。

我愿意感谢我的终身朋友普雷斯顿·L·穆尔博士对我的鼓舞。没有一个人比普雷斯顿对钻井贡献得更多。他是 40 多年前我在大学时的鼓舞者。他今天仍然在鼓舞着我。20 世纪 60 年代后期,在世界闻名的普雷斯顿钻井实践研讨会上,他和我开创了许多井控概念和技术,现在这些概念和技术在石油工业界被认为是经典。

最后,我要感谢 GSM 的全体人员,他们勤奋工作,带着职业的荣誉感保证本书的质量。特别是我必须提到和感谢我的朋友、助手和秘书格伦达·诺尔曼夫人。尤其是在我们其他人完成了工作之后,她还耐心地阅读了手稿中的每一个词,发现了许多错误。

目 录

1 井控设备	(1)
1.1 压力、振动、冲蚀、腐蚀	(2)
1.2 螺纹连接	(8)
1.3 防喷器组	(8)
1.4 节流管线	(9)
1.5 节流管汇	(12)
1.6 应急管线	(16)
1.7 分离器	(17)
1.8 压井管线	(20)
1.9 旋塞	(20)
2 钻进过程中常规压力控制程序	(22)
2.1 井涌和井喷的原因	(22)
2.2 井涌显示	(23)
2.3 关井程序	(24)
2.4 循环出流入井筒的地层流体	(26)
2.5 总结	(47)
3 起钻时的压力控制程序	(49)
3.1 起钻时发生溢流的原因	(49)
3.2 关井程序	(55)
4 井控中的特殊情况、难点及其操作程序	(64)
4.1 井口压力的重要性	(64)
4.2 常规压力控制程序中的安全系数	(76)
4.3 井涌时钻头不在井底的循环	(78)
4.4 典型程序——喷嘴堵塞的影响	(79)
4.5 典型程序——钻柱短路的影响	(79)
4.6 确定关井立压	(80)
4.7 确定侵入井筒的流体类型	(81)
4.8 压力损失	(82)
4.9 应用常规压力控制程序时的套压变化	(85)
4.10 恒套压、恒立压和等待加重法的修正	(96)
4.11 低节流压力法	(97)
4.12 反循环法	(97)
4.13 超密度等待加重法	(100)

4.14	小井眼钻井——连续取心要考虑的问题	(103)
4.15	侵入流体运移时强行下钻	(105)
4.16	井控作业中的油基钻井液	(107)
4.17	浮式钻井船钻井和水下作业要考虑的问题	(111)
	参考文献	(118)
5	井控中的流体动力学	(120)
5.1	顶入压井	(120)
5.2	体积压井	(125)
5.3	动力压井	(139)
5.4	动量压井	(144)
	参考文献	(149)
6	井控中的特殊作业	(150)
6.1	强行起下作业	(150)
6.2	灭火和封井	(170)
6.3	冷冻	(176)
6.4	快速分接 (Hot Tapping)	(176)
6.5	喷射切割	(176)
	参考文献	(177)
7	救援井设计与作业	(178)
7.1	历史	(178)
7.2	邻近测向测井的可靠性	(183)
7.3	商用井眼测量工具的可靠性	(184)
7.4	救援井和井喷井之间的地下距离	(187)
7.5	救援井和井喷井之间的地面距离	(188)
7.6	总结	(189)
7.7	救援井设计概述	(189)
	参考文献	(191)
8	地下井喷	(193)
8.1	4000ft 以上的套管	(198)
8.2	4000ft 以下的套管	(206)
8.3	流体窜入层—密集序列地震 (Close Order Seismic)—放喷井	(209)
8.4	剪切闸板	(211)
8.5	水泥和重晶石段塞	(211)
	参考文献	(213)
9	实例分析:伊恩罗斯 (E. N. Ross) 2 号井	(214)
9.1	井喷分析	(221)
9.2	观察与结论	(234)

10 应急计划 (235)

11 奥—敖达(AL—AWDA) 项目:科威特油井大火 (237)

 11.1 项目概述 (238)

 11.2 问题 (242)

 11.3 控制程序 (246)

 11.4 灭火 (248)

 11.5 切割 (250)

 11.6 统计资料 (251)

 11.7 安全 (253)

 11.8 结论 (253)

后记 (254)

附录 本书所用英制单位换算关系 (266)

1 井控设备

“可以看到,我们正在经历着一次井喷”。09:40 气体到达地面。

09:40 到 12:30

返出流体脱气后,天然气迅速到达地面。井队报告大多数联结部位和软管都发生了渗漏。在高压管汇与气压式分离器之间的一个 $3\frac{1}{2}$ in 由壬接头处,钻井液和天然气严重漏失。分离器安装在第一个罐的末端。天然气正从分离器的底部喷出。大约 10:00,由于吸入空气中混入天然气,钻台上马达开始加速旋转。井队关闭了马达。

在 10:30 环形防喷器开始严重漏失。关闭上闸板防喷器。

12:30 到 14:00

试图用钻井液和清水继续循环。

14:00 到 15:00

套压继续增高。从井下喷出物仅剩天然气。高压管汇与脱气器之间的管线被冲坏,刺漏更加严重。这时改用应急管线放喷,应急管线的多数联结处也发生刺漏,气流冲出应急管线和分离器。

天然气在 15:10 着火,火焰比井架高。井架在 15:20 倒塌。

这段描述摘自于一个真实的钻井报告。一般情况下如果设备方面不出问题,井喷是很难发生的。如果存在着上述描述过的设备问题,常规的井控问题就可能导致灾难性的井喷。在一些很少发生井涌的地区,承包商和施工者使用没有经过周密设计的辅助井控系统是很常见的。因此,当发生井控问题时,控制系统不能满足需要,再加上其他设备问题,井喷就不可避免地发生了。

本书是一本高级的井控操作手册,而不是对防喷器和测试方法进行探讨。因此主要讨论设备的作用、井控系统的组成和一些经常遇到的井控问题。

常言道“看似不需要的东西会起很大的作用”,这句话对井控系统非常实用。我们在实际工作中常见的情况是,在钻井过程中没有实际动用井控系统,好像也没什么问题。然而许多遇到的问题的根源就在于此。对许多钻机来讲,井控系统从来没有动用过,并且也可能将永远也用不上。

一些井队经常遇到井涌,用常规的井控方法可以将溢流循环控制。在这种情况下,稍加注意就足够了。对于多数这种情况来说,井场人员不需要考虑设备如何装配和安装的牢固程度。

在一些地方,经常用“边喷边钻”的欠平衡钻井技术钻井。在这种情况下,井控系统非常重要并且对井控的每一个细节都应加倍重视。

在极少数情况下,发生井涌失控或欠平衡由可控变为失控。在这种情况下,保持非常完好的井控系统有时几乎是不可能的。当这种情况发生时,任何操作都要非常谨慎。

不幸的是,不是总能预测到什么时间和什么地点将会发生这种罕见的井喷。简单易行的

办法是第一时间正确地处理它。有时最糟糕的情况就是我们碰巧侥幸地逃过了一次井喷。但是后来当我们处理同样问题的时候,总是试图以相同的方式反复做同样的事情,甚至想看看我们是否还能侥幸地逃过更多井喷。最终井喷早晚会在我们身边发生。因此,我们最好是第一次就正确地处理它。

1.1 压力、振动、冲蚀、腐蚀

当我们身边的事情都变得复杂难于处理时,需要考虑的问题是“这些问题已存在多长时间了?”。要回答这个问题,通常需考虑压力、冲蚀、腐蚀和振动等因素。

1.1.1 压力

如果井控系统的额定压力是 10000psi 并且已经试压到了 10000psi,只要其余三个因素保持不变(这种情况很少发生),它可以很容易地工作到这个压力。对于一个装置,工作压力与其测试压力通常存在着很大不同。例如:一个 10000psi 工作压力的防喷器的测试压力应是 15000psi。这意味着防喷器的芯子应当在 10000psi 的条件下工作,而在静止条件下它应当能承受 15000psi 的压力。

井口、阀以及所有其他组件也是同样的。这很容易理解为什么一个阀有一个工作压力和一个测试压力。然而我们也很自然地产生疑问:四通没有可活动的部件,为什么也有一个工作压力和一个测试压力?似乎它的工作压力和测试压力应该一样。

1.1.2 振动

当装置振动时,其工作压力就下降。目前还没有可以预测振动影响的模型。剧烈振动时所有的连接部位都有松动的趋势。就像第 9 章所描述那样,在伊恩罗斯井(E. N. Ross),钻井泵上的高压旋转接头在压井过程中由于振动造成松动,导致硫化氢溢出,气体被点燃,钻机被烧毁。

1.1.3 冲蚀

井控系统的冲蚀是经常遇到的严重问题。在日常钻井循环出溢流物和气体时,由于溢流速度小且井控系统与流体的接触时间短,冲蚀通常不严重。在高溢流速度情况下,冲蚀就会加剧。这就是为什么许多井控系统不能适用于复杂条件。当然复杂条件也不是经常存在。

许多井喷事故中,干气没有严重的冲蚀作用。至少没有什么硬度会高于 N-80 钢级。北非的一口生产井放喷时,喷速大约是每天 $200 \times 10^6 \text{ft}^3$,伴随有约 100000bbl 原油。井喷持续达 6 个星期,但井口和放喷管线没有明显冲蚀现象。用壁厚测试仪测试表明壁厚没有明显减少。

美国南部一口深井井喷时,3.5in 钻杆(套管是 7in)的喷速每天超过 $100 \times 10^6 \text{ft}^3$,地面压力低于 1000psi。人们很自然关心钻杆是否被严重冲蚀或被切断。大约 10d 之后起出钻杆时发现钻杆被冲刷得很光亮。除此之外,钻杆没有受到其他影响。

不巧的是,还没有一本磨损方面的参考手册。生产设备的磨损在 API RP 14E 中有比较全面的规定。设备设计为长寿命并且井控系统也设计为短时间内可用于极端恶劣条件,API RP 14E 还提供了井喷条件下与装备冲蚀有关的问题和因素分析。对于所遇到流体的临界速度推荐了一些实用的关系式。API 给出的关系式如下:

$$V_c = \frac{c}{\rho^{\frac{1}{2}}} \quad (1.1)$$

$$\rho = \frac{12409S_l p + 2.7RS_g p}{198.7p + RTz} \tag{1.2}$$

$$A = \frac{9.35 + \frac{zRT}{21.25p}}{V_e} \tag{1.3}$$

- 式中 V_e ——流体冲蚀速度,ft/s;
 c ——经验常数,非连续工作 $c = 125$,连续工作 $c = 100$;
 ρ ——操作温度下气体/液体混合密度,lb/ft³;
 p ——操作压力,psi;
 S_l ——平均液体相对密度;
 R ——气体/液体比率,标准条件下,ft³/bbl;
 T ——操作温度,°R;
 S_g ——气体相对密度;
 z ——气体压缩系数;
 A ——需要的最小过流横截面积,in²/(1000bbl/d)。

方程(1.1),方程(1.2)和方程(1.3)已经用于图 1.1 中,它来源于 API 14E,可以用于预测影响冲蚀的因素。因为可压缩流体的速度随压力的降低而增加,图中给出了避免速度随压力降低而呈指数方式增加所需的过流横截面积。

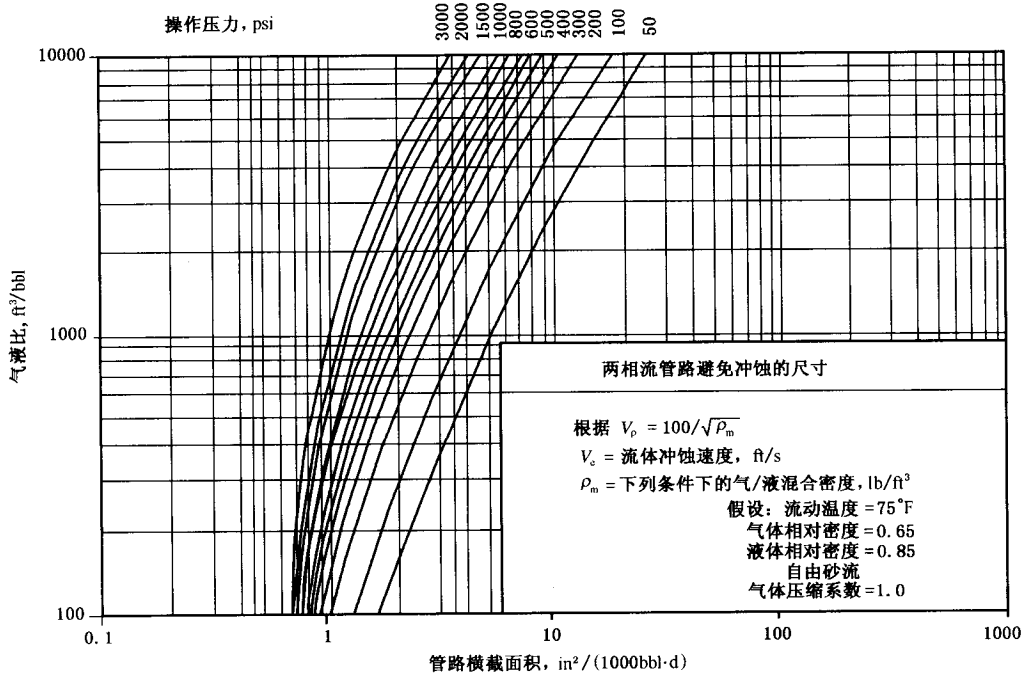


图 1.1 冲蚀速度图

然而,从图 1.1 和方程(1.1),方程(1.2)和方程(1.3)可以看出,高气/液比率比低气/液比率更容易发生冲蚀。

固相的存在导致了系统的冲蚀变得不可预测。专门从事压裂模拟以及与钻井液管线有关的油田服务公司,非常清楚在固液两相情况下,固相的冲蚀作用。对地面设备的测试表明,放喷管线、节流管汇、带有弯头的旋转接头和短半径弯接头在大约 40ft/s 的速度下,甚至压力高达 15000psi 时可保持完好 6 个月。

进一步测试表明:除速度之外,管线的磨损是由冲击角或钻井液固相的冲击角和管线的强度、延展性和固相的硬度等决定。在冲击角为 10° 或再小一点硬脆性材料的磨损几乎为零。在这些试验中,最大的磨损速度发生在冲击角在 $40^\circ \sim 50^\circ$ 的时候。水泥浆中的固相比管材表面更硬时,磨损速度增加。砂子比钢材的硬度稍大一点,重晶石的硬度比铁矿粉要小很多。

砂子和重晶石这样的固相在井喷或压井时混入气体和钻井液中情况下,管线的冲蚀和磨损速度还没有权威的数据。不用怀疑,钢材在多数条件下存在冲蚀问题。API 14E 仅说明了这个经验常数 c ,对于砂岩 c 应该小一些。

流体中的固相对井控系统的损坏非常严重。得克萨斯州惠勒县(Wheeler)的阿帕奇(Apache) Key 1—11 井就是一个典型例子。Key 1—11 井是得克萨斯历史上最严重的一次井喷,当然也是最困难和难以被预测的一次井喷。大于 90ft 厚的莫若(Morrow)砂岩,喷速超过了每天 $90 \times 10^6 \text{ ft}^3$ 。Key 1—11 井是安娜达克(Anadarko)盆地所钻的最好的一口井。1981 年 10 月 4 日,在等待管线连接时,该井莫名其妙地发生了井喷。把井口、80ft $2\frac{7}{8}\text{in}$ 油管、80ft $7\frac{5}{8}\text{in}$ 套管和 12ft $10\frac{3}{4}\text{in}$ 表层套管喷出井口。喷出物毫无阻拦地喷到大气中。

Key 1—11 井于 10 月底被控制住。3d 后所有的放喷管线都打开来释放压力。如图 1.2 中所示, 45° 的弯接头完全被冲蚀报废。此外,一个连接到放喷管线上的 $7\frac{1}{8}\text{in}$ 10000psi 阀也被冲掉。

井口控制装置移去后井口继续溢流,进行了后续的压井作业。喷出的砂粒具有特殊的颜色,被认为是来自油管和 2 层套管柱分隔开的产层。

Key 1—11 井井控操作的应注意的另外一点是:加工组装了一个 20in, 10000psi 的井口装置来控制井口。由于体积大又很重,井口装置被分成几部分装到井口上。在安装第二部分时钻井队发现第一部分的螺栓已松动。因此,第一部分又被拆下来进行检查。如图 1.3 所示,套管头在钻机槽以外被严重冲漏,在紧固四通螺栓和吊装第二部分的不到 2h 内,就发生了严重的冲蚀。

随着时间的增加,发现井内流出流体更强的破坏作用。采用动量压井时, $7\frac{5}{8}\text{in}$ 套管内下入了一部分 $5\frac{1}{2}\text{in}$ 套管。在 $5\frac{1}{2}\text{in}$ 套管的井口处安装了一个 10000psi 的阀。压井结束后井口只停流了大约 1h 后又重新发生溢流。那个 10000psi 的阀仅使用了几分钟, $5\frac{1}{2}\text{in}$ 套管就被冲蚀到通过内螺纹能看到其内部的螺栓。可以想象冲蚀是多么严重。

所有井控设备内部和节流管线的内部必须用钨、铬、钴合金来防止冲蚀。井控作业将要结束时,平均每月从外溢流体中分离并运走 2000 yd^3 的固相物质。

像这样严重的井不一定是高压井和深井。2000 年 3 月 12 日,加拿大阿尔伯达塔博(Tabor)附近的一口井发生了井喷,虽然井深只有 3500ft 而且地层压力是正常压力,但溢流速度估计在每天 $20 \times 10^6 \sim 40 \times 10^6 \text{ ft}^3$ 。

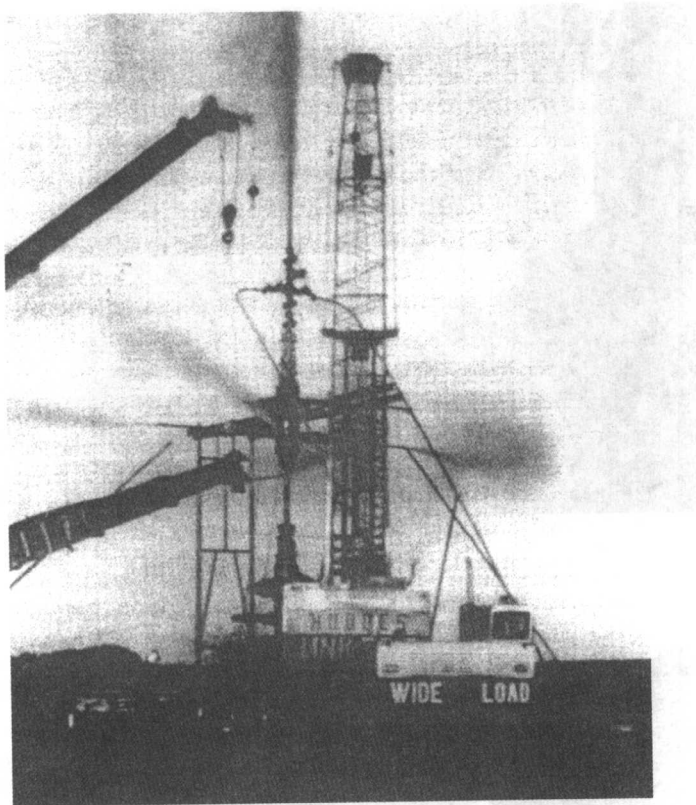


图 1.2 key1—11 井

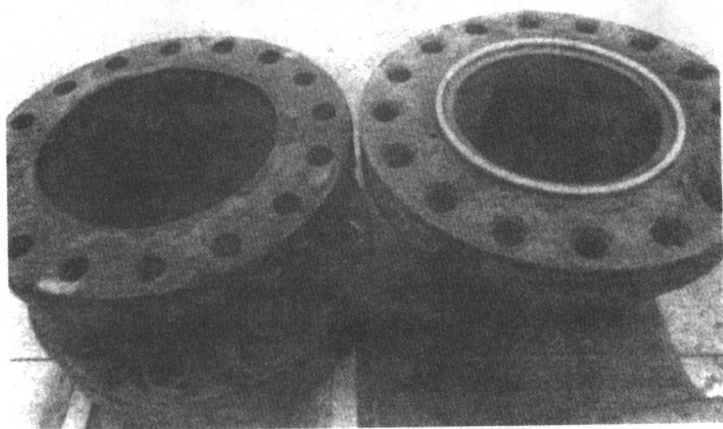


图 1.3 严重冲蚀的套管头

井喷发生 30min 后,节流管线上就冲蚀出几个洞,地面管汇房内充满了天然气。后来检查发现节流管汇上有数个洞。图 1.4 所示就是其中的一个。不到 2h 钻井四通冲蚀断掉(图 1.5)。