



中国石油员工培训系列教材

# 石油天然气井下作业井控

《石油天然气井下作业井控》编写组 编

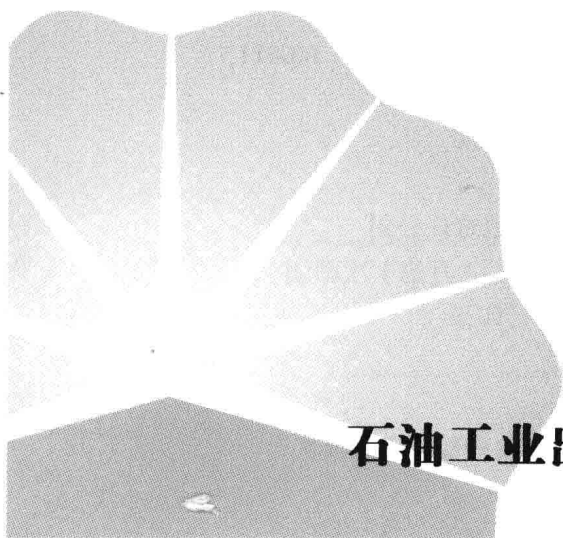


石油工业出版社

中国石油员工培训系列教材

# 石油天然气井下作业井控

《石油天然气井下作业井控》编写组 编



石油工业出版社

## 内 容 提 要

井控作业是石油天然气勘探开发过程中的重要环节,是油气安全生产工作的重中之重,实现井控本质安全,关键在于提高员工井控素质。

本书以成熟的井控基本理论和工艺技术为基础,强调现场实践环节,突出规范操作,系统阐述了包括大修、小修、压裂、试油、测试等井下作业过程中的井控知识,均由具有丰富井控专业知识和现场实践经验的专家编写。

本书主要用于对现场从事井控工作的人员进行培训。

## 图书在版编目(CIP)数据

石油天然气井下作业井控/《石油天然气井下作业井控》编写组编.  
北京:石油工业出版社,2008.12  
(中国石油员工培训系列教材)  
ISBN 978-7-5021-6881-0

I. 石…

II. 石…

III. 井下作业(油气田)-井控技术-技术培训-教材

IV. TE358

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 176520 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)64210389

经 销:全国新华书店

印 刷:北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

---

2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷

787×960 毫米 开本:1/16 印张:23

字数:396 千字

---

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

# 《石油天然气井下作业井控》

## 编 委 会

主 任：杨庆理

副主任：秦文贵 金 华 潘仁杰

成 员：徐学军 张建华 李国顺 王子云

邹 野 彭梓东 王鹏飞 孙孝真

刘德正 孙 虎 张 骏 陈 胜

兰润生 兰忠孝 冉金成 杨 毅

赵明文 李 娜 刘启路 贾忠杰

杨开雄 叶志成 张立芬 路继臣

孙玉玺 刘海密 王增年 焦树江

# 前言

井下作业的主要工作内容包括大修、小修、压裂、试油、测试等作业。在井下作业过程中,井下的不确定因素很多,无论油气水井的压力高低,都有发生井喷的危险。

随着油气勘探开发工作的不断深入,井下作业井控工作显得尤为重要,特别是近几年来油气井失控现象较多;同时井下作业施工标准要求高、施工难度大,所以只有不断研究油气井井下作业井控技术,不断提高作业人员的井控意识和操作水平,才能安全、有效地实施井下作业,在安全开发油气层的同时保护油气层。

为认真贯彻落实中国石油天然气集团公司(以下简称“集团公司”)油气田企业安全环保工作座谈会精神,狠抓《中国石油天然气集团公司石油与天然气井下作业井控规定》的执行,进一步加强井控工作,特别是高压、高含硫、高危地区油气井的井控工作,确保勘探开发生产安全;进一步加强各油气田井下作业井控培训工作,强化井控培训的全面性,使我国的井下作业井控技术向科学化、标准化和正规化发展,推进井控培训工作的制度化、规范化、科学化,培养高素质石油工程作业队伍,确保安全生产,中国石油天然气集团公司和新疆石油管理局组织中国石油西部井控培训中心、大庆油田钻井井控培训中心、四川石油井控培训中心、大港油田井控培训中心、大庆油田井下作业井控培训中心、华北油田井控培训中心等有关专家,结合井下作业井控技术发展的现状,编写了本教材。

教材在理论上未做深入的探讨,侧重于阐述成熟的井控基本理论及工艺技术,强调现场实践环节,注重教材的实用性。为了增强先进性,并考虑与国际接轨,教材内容参照了最新颁布的行业标准、集团公司的有关规定,和国外一些井控培训机构的教材;同时,为使教材内容涵盖面更广,操作性更强,请各油田具有多年井控经验的专家进行了审阅,并根据专家的意见进行了修改和补充。

本教材适用于专业技术人员、生产管理人员、现场操作人员、现场服务人员和相关技术人员的培训。各油田可根据不同岗位和不同专业的需要借助本教材进行有针对性的培训。

本教材主要由伍仟新、黄守国、樊明冲、田项业等同志共同编写完成。其中井控技术部分主要由黄守国、伍仟新、樊明冲和田项业负责编写；井控设备部分主要由伍仟新、黄守国、田项业和樊明冲负责编写；综合知识部分主要由樊明冲、伍仟新、田项业和黄守国负责编写；井喷案例分析部分由田项业、伍仟新、樊明冲、黄守国负责编写。最后，由伍仟新负责全书的统稿和修改。本教材的编写，得到了中国石油天然气集团公司各级领导的热情帮助和指导，得到了新疆石油管理局兄弟油田各井控培训中心的大力支持和帮助，还得到了一些井下作业单位专家、工程技术人员的大力支持和帮助，在此一并表示衷心感谢！特别感谢以郭荣华为组长的专家评审组对教材所提出的宝贵意见。

尽管我们做了最大努力，但由于时间仓促，本教材难免有不足之处，敬请同行及读者给予批评指正。

编者

2008 年 10 月

# 说明

本教材共有五部分内容,包括:井控技术部分(共六章)、井控设备部分(共六章)、综合知识部分(共两章),以及井喷案例分析部分和附录部分。

本教材适用于专业技术人员、生产管理人员、现场操作人员、现场服务人员和相关技术人员的培训。在培训过程中,各油田可根据《集团公司井下作业井控培训教学大纲》的要求,对不同岗位和不同专业的人员进行有针对性的培训。现将培训内容做如下说明。

**专业技术人员:**包括工程设计及施工设计人员、设计审核(审批)人员、井下作业技术管理部门的领导及相关技术人员、作业队干部、工程技术服务人员、井下作业监督、采油监督、安全监督(监理)、井下作业公司安全管理人员。井控技术及井控设备两部分内容要求掌握。

**生产管理人员:**包括管理局及井下作业公司主管生产的领导、安全部门的领导(科级以上)、油田公司涉及井下作业管理和监督的各级机关领导(科级以上)。井控技术部分的内容要求全部掌握;第十一章和第十二章中有关试压工艺和要求只做一般性的了解,其他井控设备部分的内容要求掌握。

**现场操作人员:**主要是作业队的小班人员。井控技术部分中的第一章、第三章、第四章与第五章内容要求掌握,第六章的内容要求了解;重点掌握第七章、第八章、第九章内容,第十章、第十一章和第十二章内容要求了解。

**现场服务人员:**包括井控车间的技术人员和设备维修、服务人员。井控技术部分中的第一章、第三章内容要求掌握,第四章、第五章与第六章的内容要求了解;井控设备部分的内容要求重点掌握。

**相关技术人员:**包括地质设计人员、地质设计审核(审批)人员、

地质监督、测井(测试)人员、工程测试专业技术人员,以及相关部门的各级领导、压裂酸化专业技术人员。井控技术部分中的第一章、第三章、第四章内容要求掌握,第二章、第五章和第六章内容要求了解;井控设备部分只做一般性的了解,了解井控设备的组成及功用。

其他三部分内容各培训人员都要求掌握。



# 目 录

## 第一部分 井 控 技 术

|                            |      |
|----------------------------|------|
| 第一章 井控技术概述 .....           | (3)  |
| 第一节 井控基本知识 .....           | (3)  |
| 第二节 井喷失控的危害及原因 .....       | (6)  |
| 第三节 做好井控工作 .....           | (9)  |
| 第四节 井下作业井控与钻井井控的区别 .....   | (14) |
| 第二章 井控设计要求 .....           | (18) |
| 第一节 设计的井控要求 .....          | (18) |
| 第二节 井控设计的内容及应急计划 .....     | (22) |
| 第三章 压力 .....               | (26) |
| 第一节 井下各种压力的概念 .....        | (26) |
| 第二节 井底压力分析 .....           | (32) |
| 第四章 溢流与控制 .....            | (35) |
| 第一节 溢流的原因与预防 .....         | (35) |
| 第二节 气侵的影响 .....            | (38) |
| 第三节 修井液自动外溢和井喷的条件 .....    | (44) |
| 第四节 溢流的发现与控制 .....         | (50) |
| 第五章 井下作业过程中的井控工作 .....     | (58) |
| 第一节 施工前的井控准备工作 .....       | (58) |
| 第二节 施工中的防喷工作 .....         | (61) |
| 第三节 井下作业过程中发生井喷的安全处理 ..... | (74) |
| 第六章 压井 .....               | (77) |
| 第一节 压井概述 .....             | (77) |
| 第二节 压井液的选择 .....           | (79) |

|     |               |      |
|-----|---------------|------|
| 第三节 | 压井方法 .....    | (84) |
| 第四节 | 井底常压法压井 ..... | (89) |
| 第五节 | 特殊井压井工艺 ..... | (93) |

## 第二部分 井控设备

|      |                           |       |
|------|---------------------------|-------|
| 第七章  | 井控设备概述 .....              | (101) |
| 第一节  | 井控设备的组成及功用 .....          | (101) |
| 第二节  | 井控装置的选择及使用 .....          | (106) |
| 第八章  | 闸板防喷器 .....               | (113) |
| 第一节  | 手动闸板防喷器 .....             | (113) |
| 第二节  | 液压闸板防喷器 .....             | (121) |
| 第九章  | 环形防喷器及旋转防喷器 .....         | (145) |
| 第一节  | 环形防喷器的结构及工作原理 .....       | (145) |
| 第二节  | 环形防喷器的合理使用及维护保养 .....     | (155) |
| 第三节  | 旋转防喷器 .....               | (159) |
| 第十章  | 液压防喷器的控制装置 .....          | (166) |
| 第一节  | 控制装置的结构及工作原理 .....        | (166) |
| 第二节  | 控制装置主要部件 .....            | (173) |
| 第三节  | 控制装置现场安装调试及正常工作时的工况 ..... | (194) |
| 第十一章 | 节流压井管汇及内防喷工具 .....        | (200) |
| 第一节  | 节流压井管汇 .....              | (200) |
| 第二节  | 液动节流管汇与液控箱 .....          | (208) |
| 第三节  | 内防喷工具及简易防喷工具 .....        | (215) |
| 第十二章 | 井控相关设备 .....              | (225) |
| 第一节  | 完井井口装置 .....              | (225) |
| 第二节  | 井控辅助设备及工具 .....           | (240) |

## 第三部分 综合知识

|      |                         |       |
|------|-------------------------|-------|
| 第十三章 | 井下作业 HSE 管理体系基本知识 ..... | (255) |
| 第一节  | HSE 管理体系概述 .....        | (255) |
| 第二节  | HSE 管理体系基本知识 .....      | (258) |

|             |                         |              |
|-------------|-------------------------|--------------|
| 第三节         | 井下作业施工中的 HSE 管理 .....   | (266)        |
| <b>第十四章</b> | <b>硫化氢防护及防火防爆 .....</b> | <b>(270)</b> |
| 第一节         | 硫化氢的基本知识 .....          | (270)        |
| 第二节         | 硫化氢的特性及危害 .....         | (271)        |
| 第三节         | 井下作业防范硫化氢的基本做法 .....    | (275)        |
| 第四节         | 硫化氢的检测与防护 .....         | (280)        |
| 第五节         | 防火防爆 .....              | (298)        |
| 第六节         | 重大事故应急救援预案编制方法 .....    | (305)        |

## 第四部分 井喷案例分析

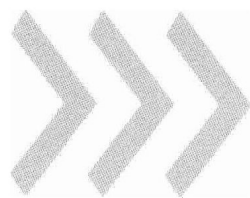
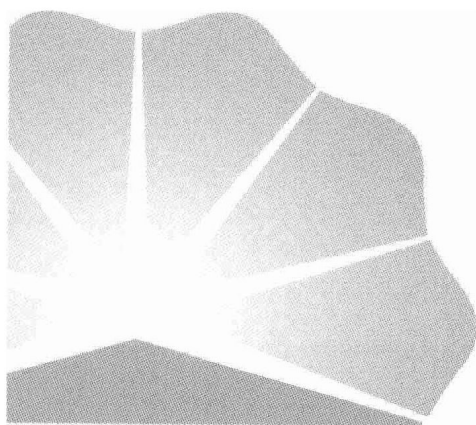
|     |                                |       |
|-----|--------------------------------|-------|
| 案例一 | × × × 井井喷事故(试油作业) .....        | (317) |
| 案例二 | × × × 井井喷事故(射孔作业) .....        | (321) |
| 案例三 | × × × 井井喷事故(酸化作业) .....        | (324) |
| 案例四 | × × × 井原钻机试油井喷失控事故(测试作业) ..... | (326) |
| 案例五 | × × × 井井喷事故(修井作业) .....        | (328) |
| 案例六 | × × × 井井喷事故(其他作业) .....        | (333) |

## 附录部分

|      |                                       |       |
|------|---------------------------------------|-------|
| 附录   | 中国石油天然气集团公司石油与天然气井下作业井控<br>管理规定 ..... | (337) |
| 参考文献 | .....                                 | (355) |

第一部分

# 井控技术





# 第一章 井控技术概述

在井下作业过程中,井下的不确定因素很多,情况十分复杂,无论油(气、水)井的压力高低,都有发生井喷危险的可能性。虽然近年来在广大井下作业工作者的努力下,井下作业过程中发生井喷的井数(次)只占很小的比例,但是所造成的人员伤亡、环境污染、设备和油气井损坏事故,其损失十分惊人,造成了很大的负面影响。

随着油田开发时间的延长,需要进行维修作业的油(气、水)井呈迅速增多的趋势,为了恢复油(气、水)井的正常生产,保证油(气、水)井维修作业的正常进行,实现油气层保护和井下作业安全的双重目的,井下作业井控培训的重要性越来越为石油行业所重视。中国石油天然气集团公司先后于2002年、2004年和2006年三次规范和修订完善了《中国石油天然气集团公司石油与天然气井下作业井控规定》,充分体现出集团公司对井下作业井控工作的高度重视。

## 第一节 井控基本知识

### 一、井控的概念

井控,即井涌控制或压力控制,就是采取一定的方法控制住地层孔隙压力,基本上保持井内压力平衡,保证井下作业的顺利进行。总而言之,井控就是实施油气井压力的控制,就是用井筒系统的压力控制地层压力。

井下作业过程中的井控作业要从其目的和一口井今后整个生产年限来考虑,既要安全、优质、高速地维修好井,又要有利于保护油气层,提高采收率,延长油气井的寿命。所以,要依靠良好的井控技术进行近平衡压力的井下作业。

目前的井控技术已从单纯的防喷发展成为保护油气层、防止破坏资源、防止环境污染等多项内容,是快速低成本井下作业技术的重要组成部分和实施近平衡压力井下作业的重要保证,是保证井下作业安全的关键技术。做好井控工作,既有利于保护油气层,又可以有效地防止井喷、井喷失控或着火事故的发生。

## 二、井控分级

人们根据井涌规模和采取的控制方法的不同,把井控作业分为三级,即一(初)级井控、二级井控和三级井控。

### 1. 初级井控

初级井控也叫一级井控,就是采用适当的修井液(本书指的修井液为井下作业过程中所使用的液体)密度,建立足够的液柱压力去平衡地层压力的工艺技术。此时没有地层流体侵入井内,井侵量为零,自然也无溢流产生。

### 2. 二级井控

二级井控是指仅靠井内修井液液柱压力不能控制地层压力,井内压力失去平衡,地层流体侵入井内,出现井侵,井口出现溢流,这时候要依靠关闭地面设备建立的回压和井内液柱压力共同平衡地层压力,依靠井控技术排除气侵修井液,处理掉溢流,恢复井内压力平衡,使之重新达到初级井控状态。

二级井控是井控培训的重点内容,是井控技术的核心,也是防喷的重点。

### 3. 三级井控

三级井控是指当二级井控失效后,所采取的各种紧急措施。此时井涌量大,最终失去控制,发生了井喷(地面或地下),这时候要利用专门的设备和技术重新恢复对井的控制,使其达到二级井控状态,并进一步恢复到初级井控状态。

三级井控就是平常说的井喷抢险,可能需要灭火、邻近注水井停注等各种具体技术措施。三级井控应尽量避免发生。

一般地说,在井下作业时要力求使一口井始终处于初级井控状态;同时做好一切应急准备,一旦发生溢流、井涌、井喷,能迅速做出反应,加以解决,恢复正常的井下作业。

### 三、与井控相关的概念

#### 1. 井侵

地层流体(油、气、水)侵入井内的现象,通常称之为井侵。常见的井侵有油侵、气侵、水侵。

#### 2. 溢流

当井侵发生后,井口返出的液量比泵入的液量多,停泵后井口修井液自动外溢,这种现象就称之为溢流。

#### 3. 井涌

溢流进一步发展,修井液涌出井口的现象称之为井涌。

#### 4. 井喷

井喷是指地层流体(油、气、水)无控制地进入井筒,使井筒内的修井液喷出地面的现象(这里所说的井喷指的是地面井喷,见图 1—1 所示)。地层流体从井喷地层无控制地流入其他低压地层的现象叫地下井喷。如果没有特殊说明,本书所讲的井喷都是地面井喷。



图 1—1 井喷的场景

#### 5. 井喷失控

井喷发生后,无法用常规方法控制井口而出现敞喷的现象称之为井喷失控。这就是井下作业中的恶性事故,一般会带来严重的后果,造成巨大的损失。

综上所述,井侵、溢流、井涌、井喷、井喷失控反映了地层压力与井底压力失去平衡以后井下和井口所出现的各种现象及事故发展变化的不同严重程度。



## 第二节 井喷失控的危害及原因

### 一、井喷失控的危害

油、气井井喷失控是石油工业中的灾难性事故。几十年来,我们在井控方面虽然取得了很大成绩,也积累了经验;但是由于各种原因,近年来井喷失控事故屡屡发生,不断升级。据不完全统计,1949—1988年间,我国累计发生井喷失控的井230口,其中井喷失控后又着火的井78口,占井喷失控井的34%,因井喷失控着火烧毁和井喷后地层塌陷埋掉的钻机59台。其中1978—1988年的11年间发生井喷失控井133口,因井喷失控导致死亡5人,伤41人。1994—2004年发生16次严重井喷失控事故,尤其是罗家16H井,在社会上造成了严重的影响。现举几例,分述如下:

(1)1958年,四川长垣坝气田长1井,嘉陵江气藏井喷,气量超过 $1000 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,损失天然气达 $4.61 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,占该气田总储量的62%,致使该气藏几乎失去了开采价值。

(2)1986年8月中原油田卫146井发生强烈井喷,失控后,立即打乱了该局正常的工作。熊熊烈火当场烧死一人,重伤一人(后因抢救无效死亡),13人不同程度烧伤。为扑灭大火,曾先后动用消防车30余辆。受污染的良好面积达3000余亩,损失惨重。

(3)1994年9月28日15时,位于河北省石家庄市附近赵县的华北油田的一口预探井,在试油射孔作业中发生井喷,地层中大量硫化氢气体喷出井口,毒气扩散面积达10个乡镇80余个村庄,当地附近村民22.6万人被迫紧急疏散。

(4)2001年4月29日塔里木油田迪那2井在钻进至井深4875.59m时发生溢流。在压井施工过程中,套管压力迅速上升至66MPa,致使节流管汇与气液分离器连接的软管爆裂,引发大火,导致井口失控。火势蔓延至钻台,游车钢丝绳烧断,大钩游车砸断钻台上压井管线,天然气从钻具内直喷着火,井架从半腰中烧倒,死亡2人,重伤多人。抢险工作历时66天,于2001年7月4日控制了井喷,最后压井换装采油树,抢险结束。

(5)2003年12月23日22时04分,由四川石油管理局川东钻探公司承钻