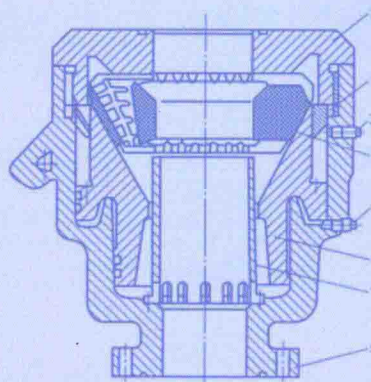
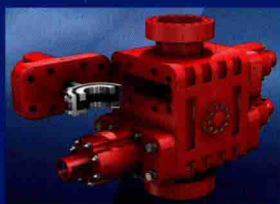




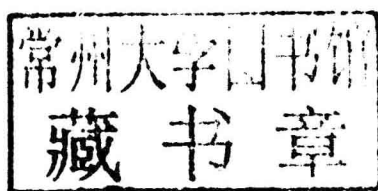
郭 虹 张发展◎主编

井下作业井控技术与设备 基本知识读本



井下作业井控技术与设备 基本知识读本

郭 虹 张发展 主编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书包括井下作业井控技术和井下作业井控设备两部分内容,井下作业井控技术主要讲述了井控的基本概念、井控设计要求、压力、溢流原因及检测、关井程序、井下作业过程中井控工作、压井等知识。井控设备主要讲述了闸板防喷器、环形防喷器、其他防喷器,液压防喷器控制装置,节流压井管汇及内防喷工具,井控相关设备的基础知识。

本书适合从事井下作业和井控的现场人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

井下作业井控技术与设备基本知识读本/郭虹,张发展主编.
北京:石油工业出版社,2014.12

ISBN 978-7-5183-0529-2

I. 井…

II. ①郭…②张…

III. 井下作业-井控-基本知识

IV. TE358

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 281841 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

编辑部: (010) 64523562

发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 保定彩虹印刷有限公司

2014 年 12 月第 1 版 2014 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 16.75

字数: 310 千字

定价: 38.00 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

近年来，随着油气田开发的深入，注水高压区的形成、高气油比区域的增多、油气田多层系的开发、水平井数量的大幅增多、带压作业等，井下作业新的井控险情逐步出现。加之部分新工艺、新设备在现场的使用，某些新标准和技术规范的更新，对原有井控知识的更新就显得非常必要。为了进一步满足井下作业井控培训需求，提高现场作业人员井下作业井控知识和技能，根据油气田井下作业的实际，编写了本教材。全书分为上、下篇，共 13 章。上篇井控技术，为第 1 章到第 7 章：第 1 章 井控技术概述；第 2 章 井控设计要求；第 3 章 压力；第 4 章 溢流的原因及检测；第 5 章 关井程序；第 6 章 井下作业过程中的井控工作；第 7 章 压井；下篇井控设备，为第 8 章到第 13 章。第 8 章 井控设备概述；第 9 章 闸板防喷器；第 10 章 环形防喷器及其他防喷器；第 11 章 液压防喷器的控制装置；第 12 章 节流压井管汇及内防喷工具；第 13 章 井控相关设备。

本教材具有以下特点：（1）针对井下作业井控关井程序，根据现场井控装置配备的不同分别对手动防喷器、无钻台液压防喷器、有钻台作业关井操作程序三种情况进行了研究，按井控工作岗位详细描述了各岗操作步骤、具体操作方法。（2）近年来水平井数量逐年增多，水平井井控技术亟待推广，编写了水平井气侵特殊性和水平井压井技术及压井有关计算。（3）针对射孔、压裂、试油、气队现场交叉作业，井控各自分工不明确的问题，编写了交叉作业的井控工作。（4）依据目前在用标准对井控设计的内容、井控设备中引用标准作了更新。（5）井控设备部分编写了国内最新研制的地面防喷器控制装置及应急控制系统，介绍了连续油管防喷器，封闭式电缆射孔防喷器，带压作业井控装置等。

编 者

2014 年 10 月

目 录

上篇 井控技术

第 1 章 井控技术概述	(3)
1.1 井控基本知识	(3)
1.2 井喷失控的危害及原因	(5)
第 2 章 井控设计要求	(9)
2.1 设计的井控要求	(9)
2.2 井控设计的内容	(13)
第 3 章 压力	(16)
3.1 井下各种压力的概念	(16)
3.2 井底压力分析	(20)
第 4 章 溢流的原因及检测	(21)
4.1 溢流的原因与预防	(21)
4.2 气侵的影响	(23)
4.3 溢流的发现	(29)
第 5 章 关井程序	(31)
5.1 手动防喷器的关井操作程序	(32)
5.2 无钻台液压防喷器的关井操作程序	(44)
5.3 有钻台作业关井操作程序	(59)
第 6 章 井下作业过程中的井控工作	(62)
6.1 施工前的井控准备工作	(62)
6.2 施工中的防喷工作	(64)
6.3 井下作业过程中发生井喷的安全处理	(77)

第 7 章 压井 (80)

7.1 概述 (80)

7.2 常用压井方法 (84)

7.3 井底常压法压井 (88)

7.4 特殊井压井工艺 (92)

下篇 井控设备

第 8 章 井控设备概述 (101)

8.1 井控设备的组成及功用 (101)

8.2 井控装置的选择及使用 (105)

第 9 章 闸板防喷器 (114)

9.1 手动闸板防喷器 (114)

9.2 液压闸板防喷器 (122)

第 10 章 环形防喷器及其他防喷器 (150)

10.1 环形防喷器的结构及工作原理 (150)

10.2 环形防喷器的合理使用及维护保养 (161)

10.3 其他防喷器 (166)

第 11 章 液压防喷器的控制装置 (176)

11.1 控制装置的结构及工作原理 (176)

11.2 控制装置主要部件 (185)

11.3 控制装置现场安装调试及正常工作时的工况 (208)

第 12 章 节流压井管汇及内防喷工具 (213)

12.1 节流压井管汇 (213)

12.2 液动节流管汇与液控箱 (223)

12.3 内防喷工具及简易防喷工具 (229)

第 13 章 井控相关设备 (239)

13.1 完井井口装置 (239)

13.2 井控辅助设备及工具 (252)

参考文献 (261)

上篇 井控技术

第1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。一旦发生井喷，会造成人员伤亡、环境污染、设备和油气井损坏，其损失十分惊人，负面影响很大。

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，必须做好井下作业井控技术。

1.1 井控基本知识

1.1.1 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。

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。

1.1.2 井控分级

根据井涌规模和采取的控制方法的不同，把井控作业分为3级，即初级井控、二级井控和三级井控。

1.1.2.1 初级井控

初级井控，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。

1.1.2.2 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。

1.1.2.3 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、抢险等具体技术措施。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一级井控状态；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。

1.1.3 与井控相关的概念

1.1.3.1 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。

1.1.3.2 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。

1.1.3.3 井涌

溢流进一步发展，修井液涌出井口的现象称之为井涌。井内涌出流体超过

开口（转盘面）不超过井口（转盘面）以上 2m。

1.1.3.4 井喷

地层流体（油、气、水）无控制地涌入井筒，使井筒内的修井液喷出地面，喷出流体超过转盘面（井口）2m 以上。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。

1.1.3.5 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。

1.1.3.6 “三高井”

所谓“三高”油气井是指高压油气井、高含硫油气井、高危地区油气井。

（1）高压油气井是指以地质设计提供的地层压力为依据，当地层流体充满井筒时，预测井口关井压力可能达到或超过 35MPa 的井。

（2）高含硫油气井是指地层天然气中硫化氢含量高于 $150\text{mg}/\text{m}^3$ 的井。

（3）高危地区油气井是指在井口周围 500m 范围内有村庄、学校、医院、工厂、集市等人员集聚场所，油库、炸药库等易燃易爆物品存放点，地面水资源及工业、农业、国防设施（包括开采地下资源的作业坑道），位于江河、湖泊、滩海和海上的含有硫化氢地层天然气中硫化氢含量高于 $15\text{mg}/\text{m}^3$ 、一氧化碳等有毒有害气体的井。

1.2 井喷失控的危害及原因

1.2.1 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，石油行业在井控方面取得了很大成绩，也积累了经验；随着油气田开发的深入，新区块、水

平井、多层系开发，井控新险情不断涌现，井喷失控事故仍屡屡发生。

井喷失控是石油工程作业过程中性质严重、损失巨大的灾难性事故，其危害可概括为以下几个方面：

(1) 井喷失控易引起失控着火、爆炸或喷出有毒气体而造成人员伤亡，影响周围千家万户的生命财产安全。

(2) 井喷失控使油气无控制地喷出井口进入空中，造成环境污染，影响农田水利、渔场、牧场、林场建设。

(3) 井喷失控还会严重伤害油气层、破坏地下油气资源，极易引起火灾和地层塌陷，造成机械设备毁坏、油气井报废，带来巨大的经济损失。

(4) 井喷失控涉及面广，在国际、国内造成不良的社会影响；影响井下作业队伍的形象，对企业的生存和发展不利。

(5) 井喷失控使井下作业的井更加复杂化。

(6) 井喷失控打乱全面的正常工作秩序，影响全局生产。

1.2.2 井喷失控的原因

针对以往的事故案例，纵观各油气田井喷失控的实例，分析井喷失控的原因，大致可归结为以下几个方面。

1.2.2.1 客观原因

(1) 多数油、气井中有高压层和漏失层。作业施工时，井筒内压井液受油气层高压液体的影响，其密度逐步降低，以及漏失层的严重漏失，造成井筒内液柱压力小于地层压力，致使液柱压力与地层压力失去平衡，又无及时的补救措施，而引起井喷。

(2) 因井口设备装置、井身结构、油层套管、技术套管等内在质量问题，完井固井质量问题，以及受地面、地下流体的侵蚀和长期生产维护不及时等诸多因素的影响，造成设备损坏，套管破裂渗漏，也能引起井喷。

(3) 井下工具、封隔器胶皮失灵，起钻时造成抽汲油层，同样会引起井喷。

1.2.2.2 主观原因

(1) 井控意识淡薄是导致事故发生的根本原因，如思想麻痹、违章操作、侥幸心理、井控制度不落实等。

①井口不安装防喷器。井口不安装防喷器主要是认识上的片面性，想尽量少地投入作业设备盲目节省作业成本。认为井下作业工艺简单，工期较短，用不着安装防喷器；认为是老油田（或者地层压力低），不会发生井喷，用不着安装防喷器。井控设备不足，只保证重点井和特殊工艺井。

②井控设备的安装及试压不符合要求。

③防喷设备、工具不配套，设备故障等。井控装备老化，投入不足。

④基层井下作业队伍应急处置能力不强。平时的应急预案演练不扎实，遇到紧急情况，手忙脚乱、动作不熟练，不能规范应对紧急情况。

⑤基层队伍尤其是井下作业队伍井控技能满足不了井控安全要求。

⑥空井时间过长，无人观察井口。

⑦洗井不彻底。

⑧不能及时发现溢流或发现溢流后处理措施不当，如在排除溢流压井过程中造成的井喷失控。

⑨规章制度不健全或执行不力。

⑩热力开采井因注热蒸汽后焖井时间短，起管柱未灌修井液而发生井喷（喷出热蒸汽）。

（2）起管柱产生过大的抽汲力。尤其是带大直径的工具（如封隔器等）时必须控制上提速度。

（3）起管柱不灌或没有灌满修井液。

（4）油层套管完好程度的影响。

（5）设计的影响。

①地质设计方案未能提供准确的地层压力资料，造成思想准备不足，防范措施不落实。如使用的修井液密度低于地层压力当量密度，致使井筒液柱压力不能平衡地层压力，导致地层流体侵入井内。

②施工设计方案中片面强调保护油气层而使用的修井液密度偏小，导致井筒液柱压力不能平衡地层压力。

③由于地质、工程设计的失误，有关油层描述参数不准确，井控设计数据不准确，使井下作业施工带有一定的盲目性。

（6）注水井不停注或未减压。

（7）修井液中混油过量或混油不均匀，造成液柱压力低于地层孔隙压力。

1.2.2.3 不可预见的原因

- (1) 由于电测解释等技术问题，造成资料分析失误。
- (2) 修井液体受高压气流的影响，气侵速度加快，预防措施及手段满足不了地层突发变化的需要。
- (3) 自然灾害等人们不可预见的因素。

第2章 井控设计要求

按照中国石油天然气集团公司中国石油天然气集团公司石油与天然气《井下作业井控技术规范》(Q/SY 1553—2012), 井下作业的地质设计、工程设计、施工设计中必须有相应的井控要求或明确的井控设计, 主要包括: 满足井控安全的各种资料数据、施工前准备工作、合理的井场布置、适合地层特性的修井液类型、合理的修井液密度、符合部颁标准的井控装备系统、有关法规及应急计划等。

2.1 设计的井控要求

井下作业设计是根据油田开发的要求来编制的。多年的实践证明, 正确地进行井下作业设计, 不仅能够确保井下作业施工安全可靠地进行, 而且还将提高施工效果和取得较好的经济效益。井下作业井控设计应在地质设计、工程设计和施工设计中有具体内容及要求, 设计应按程序审核、审批。

井控设计是实现油气井压力控制的前提, 是井下作业安全施工的前提, 是避免井喷失控的前提。地质设计的目的是为工程设计提供详细的资料。工程设计对地质设计的基本要求主要有两方面: 一是地面与施工安全有关的数据。主要明确所提供井位是否符合安全距离的要求; 标注或说明井周围环境、设施以及隐蔽工程等。二是地下与井控安全有关的数据。主要提供本井孔隙、破裂压力、浅气层、油气水显示和复杂情况; 提供有毒有害气体情况(层位、埋藏深度及含量等)。施工设计是依据地质设计和工程设计编制, 主要包括井控装置准备、安装、试压要求; 压井液(灌入液)准备和灌液措施; 含硫化氢等有毒有害井气防设备的配备; 细化施工工序各项井控措施等。

2.1.1 地质设计的井控要求

地质设计（地质方案）中应提供压力数据、井或邻井有毒有害气体含量、地层流体性质和产能、井身结构、固井情况、特殊地层、油套管情况、作业层温度、井况、井场周围环境、人居情况调查资料以及与井控有关的提示。

2.1.1.1 压力数据

- （1）作业层钻开时钻井液性能、油、气、水显示及地层漏失情况。
- （2）本井和邻井原始地层压力、目前地层压力。
- （3）异常低压层、高压层压力情况提示。
- （4）注水、注气（汽）区域的注水、注气（汽）压力。

2.1.1.2 本井或邻井有毒有害气体含量

- （1）硫化氢含量。
- （2）一氧化碳、二氧化碳含量。
- （3）其他有毒、有害气体含量。

2.1.1.3 地层流体性质和产能

- （1）产层流体（油、气、水）性质、气油比等。
- （2）油、气、水产量（测试产量及无阻流量）、注水、注气（汽）量等。

2.1.1.4 井身结构、固井情况、特殊地层、油套管情况

- （1）各层套管钢级、壁厚、外径、螺纹和下入深度，生产套管分级固井时分级箍的位置。
- （2）人工井底、套管试压情况、水泥返高和固井质量。
- （3）目前井下管柱的结构、钢级、壁厚、外径、螺纹类型、下入深度。
- （4）丛式井组中邻井井身结构、套管情况、油管情况、试采简况、地层互相连通情况等。
- （5）地质分层与岩性，钻进中遇放空层、特大漏失层、塑性地层、易垮塌地层提示。
- （6）定向井、水平井应提供井眼轨迹数据。

2.1.1.5 作业层温度

各作业层温度情况，异常高温提示。

2.1.1.6 井况

(1) 试油、修井、采出或注入油、气(汽)、水情况。

(2) 目前井下及井口情况,包括射孔井段、水泥塞或桥塞位置、油管柱的钢级、壁厚、外景、螺纹类型、下入深度、井下工具名称规格、生产套管损坏或腐蚀情况、产量及各种流体的性能、采油(气)井口装置的规格、闸阀完好状况、有无泄漏等。

(3) 井下复杂情况或存在的安全隐患。

2.1.1.7 井场周围环境、人居情况调查资料

(1) 在地质设计中标注和说明井场周围一定范围内(含硫化氢油气田探井井口周围3km、生产井井口周围2km范围内)的居民住宅、学校、厂矿(包括开采地下资源的矿业单位)、国防设施、高压电线、地貌情况、水资源情况以及风向变化、人口分布等环境勘察评价资料等情况。

(2) 地下管网等情况。

2.1.2 工程设计的井控要求

工程设计应根据地质设计提供的地层压力和流体性质,预测井口最高关井压力,根据地质设计的参数,明确压井液的类型、密度、性能、备用量及压井要求等进行,生产套管控制参数计算及生产套管适应性分析,确定防喷器、节流压井管汇及井口装置的类型、规格及数量,进行油管柱的选择与强度计算,应对井控装置现场安装后提出试压具体要求,对井下作业个重点工序提出相应的井控要求和技术措施,根据地质设计提供的井场周围一定范围内的环境、人居情况以及硫化氢等有毒有害气体的含量,制定相应的井控防范措施。

(1) 根据地质设计提供的地层压力和流体性质,预测井口最高关井压力。

(2) 压井液密度设计应根据地质设计与作业层位的最高地层压力当量密度值为基准,另加一个安全附加值确定压井液密度。附加值可选用下列方法确定:

①油水井为 $0.05\sim 0.10\text{g}/\text{cm}^3$,气井为 $0.07\sim 0.15\text{g}/\text{cm}^3$ (含硫化氢等有毒有害气体的井取最高值)。

②油井、水井压力附加值 $1.5\sim 3.5\text{MPa}$,气井压力附加值为 $3.0\sim 5.0\text{MPa}$ 。

③煤层气井密度附加值为 $0.02\sim 0.15\text{g}/\text{cm}^3$ 。