



井下作业井控技术

集团公司井控培训教材编写组 编

中国石油大学出版社

集团公司井控培训教材编写组 编

井下作业井控技术

JINGXIA ZUOYE

JINGKONG JISHU

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

井下作业井控技术/集团公司井控培训教材编写组编.
东营:中国石油大学出版社,2008.7
中国石油化工集团公司井控培训教材
ISBN 978-7-5636-2607-6

I. 井… II. 集… 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 099632 号

丛 书 名: 中国石油化工集团公司井控培训教材
书 名: 井下作业井控技术
作 者: 集团公司井控培训教材编写组

责任编辑: 邵 云(电话 0546—8391282)
封面设计: 九天设计(电话 0546—8773275)

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)
网 址: <http://www.uppbook.com.cn>
电子信箱: sanbianshao@126.com
印 刷 者: 山东新华印刷厂德州厂
发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0546—8392565,8399580)
开 本: 185×260 印张:19.75 字数:508 千字 插页:2
版 次: 2008 年 7 月第 1 版第 1 次印刷
定 价: 39.00 元

集团公司井控培训教材编写组

组 长	雍自强				
副 组 长	赵金洲	孙清德	唐大鹏	戴 靖	何开平
	徐 进	王程忠	陈网根	刘 刚	
成 员	(按姓氏笔画排序)				
	王齐华	王学良	牛建新	牛新民	卢 永
	叶金龙	朱澄清	刘宝书	刘宪春	许银龙
	孙启忠	李文生	李占英	李国卿	李孟杰
	肖春鸿	何惟国	汪金卢	汪海松	张之悦
	张礼峰	张志良	张桂林	陈 旭	陈薇芬
	苗锡庆	范喜群	林雍森	明柱平	罗开林
	罗裕强	胡群爱	徐德安	黄廷胜	颜廷杰
	薛建国	魏文忠			

PREFACE 序

井控是石油天然气勘探开发业务中安全工作的重点。一旦发生井喷,轻者会使井下情况复杂化,对油气资源造成损害;重者会导致井喷失控,使油气资源受到严重的破坏,易酿成火灾,造成人员伤亡、设备毁坏、油气井报废,使自然环境受到污染,直接危及企业和国家的形象。做好井控工作,防止井喷,尤其是防止井喷失控事故的发生,事关人民群众和现场施工人员的生命安全,事关构建和谐社会的大局。井控工作搞好了,既能够避免发生重特大井喷事故,又能够确保取得预期的油气成果,提高经济效益。

为了提高井控培训效果,集团公司油田经营管理部牵头组织有关部门、院校、油田企业井控专家,在现有井控培训教材的基础上,结合当前井控新标准、新装备、新技术、新理论和施工中遇到的高压、高含硫化氢、易喷、易漏等难题,编写了这套集团公司井控培训专用教材,本教材可满足钻井、作业、测录井等不同专业以及设计、管理、技术、操作、维修等不同岗位人员对井控培训的需要,也可作为从事井筒工作人员的自学用书。

希望广大干部职工认真学习,在井控工作中坚持“以人为本”的科学发展观,认真贯彻“安全第一,预防为主,综合治理”的方针,不断提高井控意识和技能,全面做好井控安全工作。

中国石油化工集团公司党组成员、副总经理

A large, bold, handwritten signature in black ink, reading '张辉' (Zhang Hui).

2008年7月8日



前言

井下作业是石油工程技术系列的重要组成部分,主要从事油气井的中途及完井测试、新井投产、酸化压裂、冲砂防砂、修井作业、检泵换泵等作业施工。井下作业过程中,井下的不确定因素很多,无论油气井的压力高低,都存在发生井喷的危险。作业施工中一旦发生井喷和井喷失控事故,既威胁着作业人员和设备的安全,又破坏地下油气资源,而且还对环境造成严重的破坏。为了进一步搞好井控培训工作,中国石油化工集团公司油田经营管理部组织编写了这套井控技术培训教材。

本教材由中国石油大学刘瑞文,集团公司油田经营管理部李占英,胜利石油管理局张桂林、张之悦、王国防负责统编和审核。上篇第一章、第二章由张之悦编写,第三章由范连锐编写,第四章、第五章由李国卿编写,第六章由王瑞娥编写,第七章由张志良编写,第八章由青曦晖编写;下篇第一章由颜廷杰编写,第二章由范连锐编写,第三章由杨永涛编写,第四章由方晓庆编写,第五章由林娜编写,第六章由张礼峰编写,第七章由张合倩编写,第八章由陈旭编写,附录由陈祖萍编写。

本书在编写过程中,得到了集团公司,胜利、中原、江汉、河南、江苏、华东、西南、西北、华北等油气田领导、专家和工程技术人员的大力支持和帮助,在此一并表示衷心感谢!

由于时间仓促,水平有限,本书难免有错误和不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2008年7月

上 篇

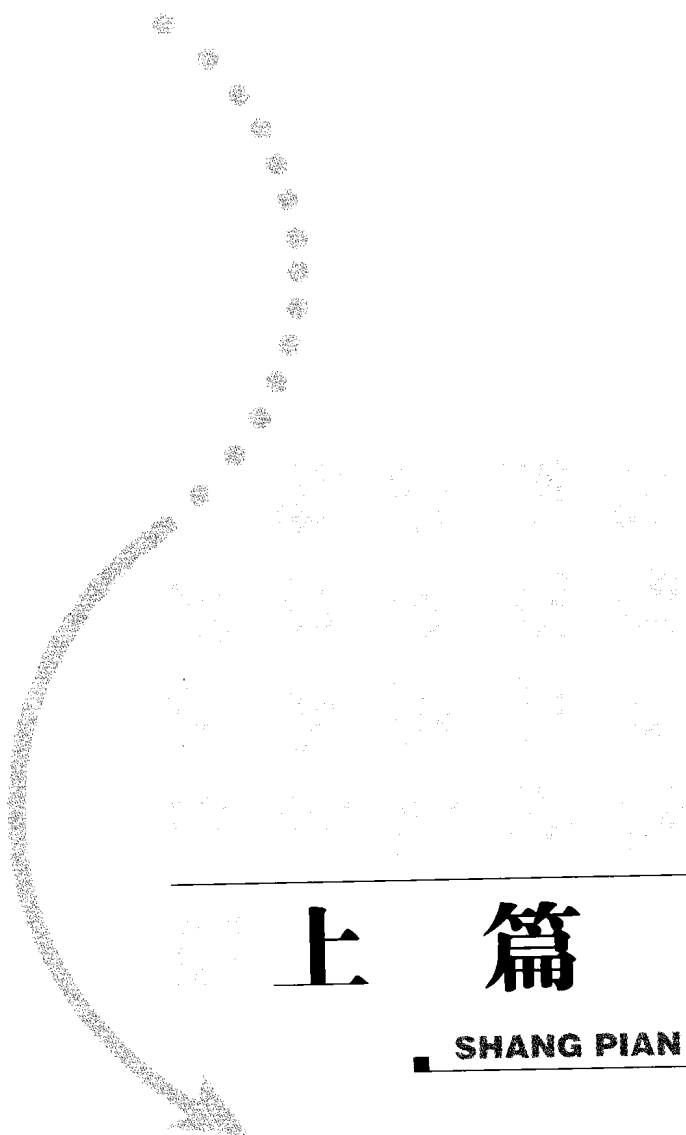
第一章 井控基本知识	3
第一节 井控相关术语	3
第二节 井喷的原因及危害	4
第三节 不同类型油气藏的压力特点	5
第四节 完井方法	11
第二章 井下各种压力的概念及其相互关系	15
第三章 井控设计	22
第一节 井控设计的依据	22
第二节 井控设计应考虑的内容	23
第三节 井控设计基本要求	26
第四章 井内流体的运移	35
第一节 溢流的主要原因	35
第二节 溢流的预兆	38
第三节 溢流的预防	39
第四节 井内气体的膨胀和运移	40
第五章 常规井控技术	45
第一节 关井方法	45
第二节 不同工况下的关井程序	45
第三节 关井立(油)管压力的确定和关井最大允许套管压力	49
第四节 溢流处理原理	52
第五节 司钻法压井	58
第六节 反循环司钻法压井	70
第七节 工程师法压井	74
第六章 非常规井控技术	79
第一节 体积控制法	79
第二节 硬顶法(挤压法)压井	83
第三节 油管离开井底压井	84
第四节 井漏或层间串流	85

第五节 强行起下管柱操作	86
第六节 带压作业	89
第七章 常见作业的压力控制	93
第一节 射孔作业	93
第二节 测试作业	97
第三节 酸化压裂作业	99
第四节 冲砂、防砂作业	101
第五节 检泵作业	101
第六节 钻塞及打捞作业	102
第七节 洗井、不压井、诱喷作业	103
第八章 井控演练及日常检查	106
第一节 作业施工工况演练	106
第二节 井喷抢险应急演练	107
第三节 井控日常检查	108

下 篇

第一章 井控设备概述	113
第一节 井控设备的功用与组成	113
第二节 防喷器的特点与组合	115
第二章 环形防喷器	120
第一节 环形防喷器的功用与类型	120
第二节 环形防喷器的结构和工作原理	121
第三节 环形防喷器技术规范及合理使用	131
第三章 闸板防喷器	137
第一节 闸板防喷器的功用和类型	137
第二节 闸板防喷器的结构特点与工作原理	138
第三节 闸板防喷器的侧门	146
第四节 闸板防喷器的机械锁紧及活塞杆的二次密封装置	149
第五节 常用闸板防喷器的闸板	154
第六节 闸板防喷器的技术规范与合理使用	158
第四章 防喷器控制系统	162
第一节 液控箱	162
第二节 液控台	165
第三节 控制装置的主要部件	171

第四节 防喷器控制装置的安装、调试及故障处理	191
第五章 井控管汇	195
第一节 井控管汇	195
第二节 节流压井管汇的主要阀件	198
第六章 完井井口装置	206
第一节 概述	206
第二节 套管头	207
第三节 采油树	219
第四节 四通与法兰	224
第七章 管柱内防喷工具和液气分离器	232
第一节 旋塞阀	232
第二节 井下安全阀	233
第三节 管柱止回阀	235
第四节 背压阀和油管堵塞器	239
第五节 防顶装置	240
第六节 液气分离器	241
第七节 油气井抢喷装置	243
第八章 设备安装与试压	250
第一节 井控设备的安装	250
第二节 井控设备试压	252
附 录	256
附录一 石油与天然气井井控管理规定	256
附录二 油气水井井下作业井控技术规程	264
附录三 含硫化氢油气井井下作业推荐作法	274
附录四 常用单位换算	300
参考文献	304



上篇

SHANG PIAN

第一章 井控基本知识

井下作业是实施石油、天然气勘探与开发的重要手段,随着油田勘探开发的不断进步,对井下作业井控技术和员工素质的要求越来越高。井控工作是一项系统的安全工程,牵涉设计、装备配套、生产组织、现场管理、员工培训等多个环节。相关企业必须把井控技术的研究和发展作为一项重要工作,不断提高井控意识、技术素质和管理水平,才能更安全、优质、高效的实施井下作业施工。也就是说,井控技术是安全实施井下作业的关键和保障。

第一节 井控相关术语

(1) 井控(Well Control):井控是实施油气井压力控制的简称。在井下作业过程中,只有控制地层压力,保持井内压力平衡,才能保证作业施工的顺利进行。

(2) 井侵(Influx):当地层压力大于井底压力时,地层孔隙中的流体(油、气、水)将侵入井内,通常称为井侵。最常见的井侵为气侵、水侵和油侵等。

(3) 溢流(Overflow):井侵发生后,井口返出的钻井液量大于泵入液量,停泵后井口钻井液自动外溢,这种现象称为溢流。

(4) 井涌(Well Kick):溢流进一步发展,井液涌出井口的现象称为井涌。

(5) 井喷(Well Blowout):地层流体(油、气或水)流入井内并引起井内流体喷出钻台面的现象。根据井喷流体喷出的位置不同,井喷可分为地面井喷和地下井喷两种。

地面井喷:井喷流体经井筒喷出地面的现象,称为地面井喷。

地下井喷:井喷流体经井筒流入其他低压地层的现象,称为地下井喷。

(6) 井喷失控(Out of Control for Blowout):井喷发生后,无法用常规方法控制井口而出现井口敞喷的现象称为井喷失控。这是井下作业过程中最恶性的作业事故。

(7) 井控的三个阶段:根据井控内容和控制地层压力程度的不同,井控作业通常分为三个阶段或三级,即一级井控、二级井控和三级井控。

一级井控(也称初级井控):指以合理的井液密度平衡地层孔隙压力,没有地层流体侵入井内、无溢流产生的井控技术(又称主井控)。

二级井控:溢流或井喷后,通过及时关井与压井重建井底压力平衡的井控技术。

三级井控:井喷失控后,重新恢复对井口控制的井控技术。

应力求使一口井经常处于一级井控状态,同时做好一切应急准备,一旦发生井涌或井喷能迅速进行控制、处理并恢复正常施工作业。

(8) 井控工作中的“三早”:早发现,早关井,早处理。

早发现:溢流被发现的越早,越便于关井控制,因此也越安全。国内现场一般将溢流量控

制在 $1\sim 2\text{ m}^3$ 之内发现,这是安全、顺利关井的前提。

早关井:在发现溢流或预兆不明显、怀疑有溢流时,应停止施工作业,立即按关井程序关井。

早处理:在准确录取溢流数据和填写压井施工单后,应尽快节流循环排出溢流,进行压井作业。

(9) 油气比:油井生产时,油和气同时从井中排出,每吨原油所带出的天然气量(m^3),称为油气比。

第二节 井喷的原因及危害

在井下作业中,一旦发生井喷,就会使井下情况复杂化,无法正常作业。同时,井喷后极易导致失控,造成油气资源破坏、自然环境污染,甚至造成设备损毁,油、气、水井报废,人员伤亡。所以,井喷失控是井下作业施工中性质严重、损失巨大的灾难性事故。

1. 井喷的原因

井喷的直接原因大体可以归纳为以下几个方面:

(1) 由于井控意识不强引起井喷。

- ① 未安装井控装置或安装不标准。
- ② 井口安装防喷器后未按规定程序试压。
- ③ 未按规定要求进行井控装置检测。
- ④ 未及时准确地发现溢流或其他井喷预兆。
- ⑤ 发现溢流或其他井喷预兆后未及时关井。
- ⑥ 未按设计要求进行压井或未按规定灌注压井液。
- ⑦ 起下管柱(特别是带大直径工具的管柱),未控制起下速度,产生抽吸或压力激动。

(2) 由于井控措施不当引起井喷。

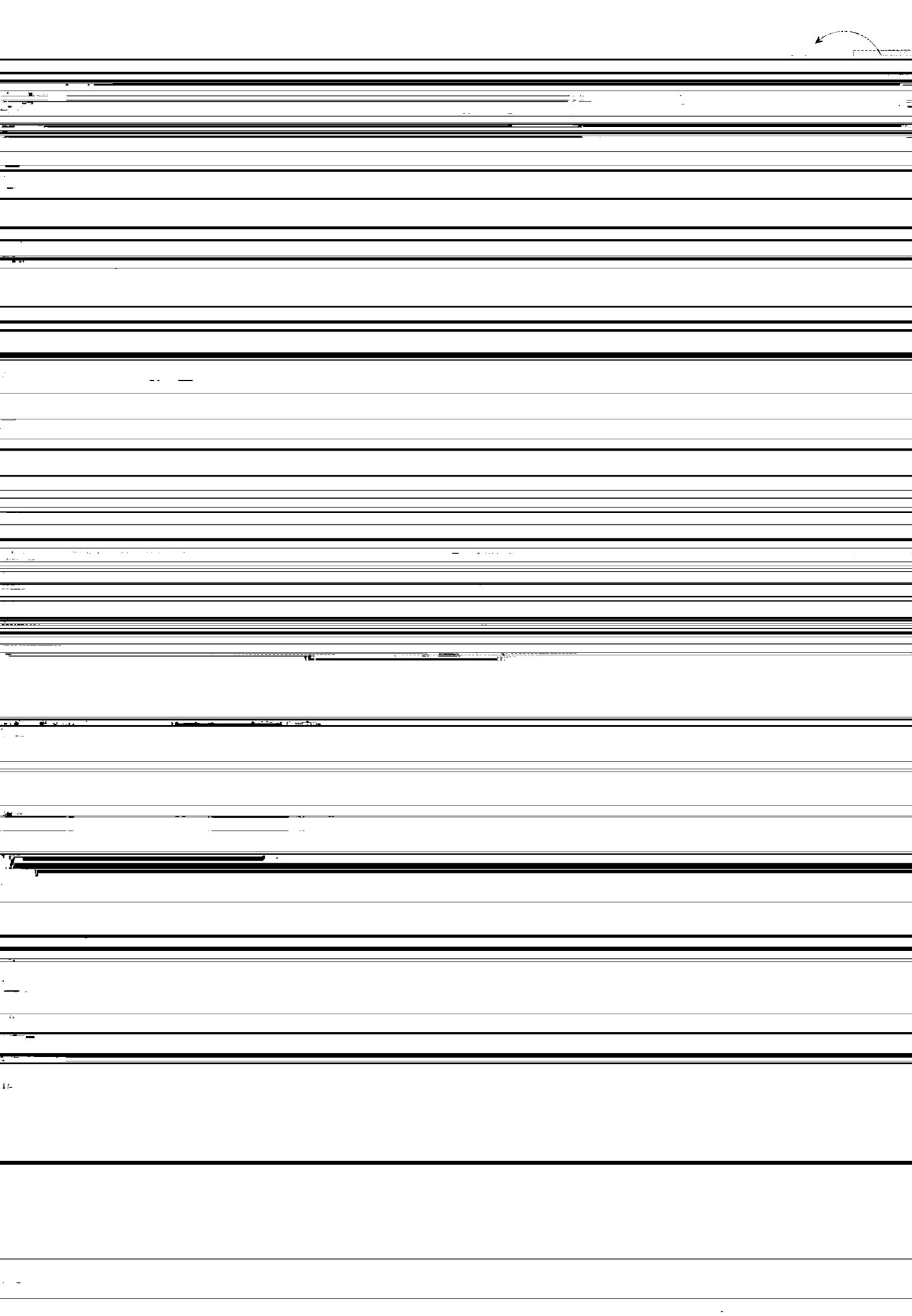
- ① 对地层或井筒认识不足,设计措施不到位,导致施工的盲目性。
- ② 负压射孔时负压差过大。
- ③ 受相邻注水井影响较大时,未及时关停,或停注后未泄压。
- ④ 施工过程中,控制措施不当。如测试、射孔施工,观察时间不够等。
- ⑤ 关井程序不正确。
- ⑥ 关井压力过高,超过井口控制装置、套管或地层的承压值。

(3) 由于其他原因引起的井喷。

- ① 地层出砂,油气流体刺坏井控装置。
- ② 管柱上顶撞坏井控装置。
- ③ 井控装置老化(特别是承压密封件),试压合格,但不能长时间承压。
- ④ 自然灾害等不可预见因素。

2. 井喷的危害

发生井喷处理不及时或处理措施不当极易导致井喷失控,将直接影响作业施工人员、周围居民和设备的安全,对地下油气资源和自然环境造成严重破坏,不仅给国家和企业造成巨大的经济损失,而且也给社会带来不良影响。



稠油产量所占总产量的比例也日益增多。

稠油油藏一般埋藏深度浅,约 400~1 500 m。油藏物性特征是孔隙度大,渗透率高,连通性较好,而且高渗透层多位于油层组的中、下部,油层厚度较大,但胶结疏松,成岩性差,岩石强度弱且很不稳定。如辽河高升稠油油藏,由于长期开采油层压力系数已降至 1.0 以下,最低到 0.5。

2. 裂缝性油藏

(1) 古潜山油气藏。

① 储层类型为裂缝型。主要受古地貌所控制,元古界、太古界甚至出露前震旦系变质岩系为储集层。裂缝不仅是油气渗流的通道,而且是油气的主要储集空间。由于地区不同,埋藏深度为 2 300~3 100 m。

② 裂缝发育具有不均匀性,但其发育广泛,多方向、多角度的裂缝彼此交错沟通,呈网状分布。一条裂缝可以很宽,但开度不一定很大,一般为 0.01~0.1 mm,喉道半径为 0.1~10 μm 。

③ 地层的非均质性。各套油气藏的物性及压力不一致,下部潜山段地层压力系数低,甚至小于 1.0,易漏失。上部沙四段地层压力系数为 1.28,易坍塌,地层压力系数差异大。

油气藏类型属于风化构造裂缝为主,伴以破裂质孔隙及溶蚀孔隙的裂缝型储集类型。裂缝发育,充填物主要是酸敏性矿物。

(2) 碳酸盐岩油气藏。

碳酸盐岩油气藏有裂缝孔隙型和裂缝型。裂缝发育各不相同,但裂缝起主要渗流作用。

碳酸盐岩岩块基质孔隙度和渗透率一般都很低,储集层的非均质性复杂多变,气层渗透率不一致,同一气藏不同部位也不相同。气藏压力差异大,像川东中石炭系气层压力系数为 1.2~1.44,三叠系嘉陵江统压力系数为 1.8~2.0,而且在其上部地层因裂缝溶洞易漏失,漏失量可达数千立方米,井喷、岩石塌落也同时存在。

三、油气的流动特点

油气的流动有两种:一是在天然能量的驱动下流动;二是在外力的驱动下流动。

1. 天然能量驱动

(1) 水压驱动。

水压驱动的驱油动力是天然的水头压力。油藏的产量是通过天然供水区对油藏的水侵,将地层原油替换出来。形成天然水压驱动的地质条件为:油层有分布较广的含水区与良好的供水露头,且供水充足,露头与油层之间的高差大,油层渗透性好且均匀,油层与供水区之间无断层或岩性遮挡。

油藏开采时,随着石油不断被采出,边水或底水逐渐向油藏内部推进,到油藏开采后期,油水比不断提高,直到油井逐渐被水淹没而完全产水为止。如果供水区水源丰富,能补偿采出之石油量,则油井的压力和产量不随时间改变,基本上保持稳定。具有水压驱动类型的油藏,地层压力始终高于饱和压力。所以,在采油过程中,油、气比基本在较低的水平上。随着油水边界的不断推进,含水率连续不断地升高。

水压驱动类型的开采特征是:

① 油层压力下降非常平缓,甚至基本保持稳定。这是由于从油藏中开采出的油气体积与侵入到含油区中水的体积在数量上基本相等所致。

② 在油藏开采期间,油气比通常变化很小。如果油藏不存在原始的自由气顶,即原生气顶,这一点就非常重要。因为边水或底水的侵入,油层压力将得到保持,所以溶解在油中的气体分离出来的数量相对来说是比较少的,而且是稳定的。

③ 油藏的产油量或含水率由于水以均匀的方式侵入到地层中故是平稳的,到开采后期因水的大量侵入产油量降低,而含水率则上升。

水压驱动类型的驱油效率主要取决于水压头的大小和油层渗透率的高低。

(2) 弹性水压驱动。

弹性水压驱动类型的驱油动力主要是油藏含油部分以外含水区的水和岩石的弹性膨胀力。这种驱动类型存在的地质条件为:地面没有供水露头,或者,虽有供水露头,但供水区水源不丰富,根本不能补偿采出原油而消耗的能量。此外,当含水区的面积远远大于含油区的面积且地层压力远远高于原油的饱和压力时,弹性水压驱动类型才得以实现。

具弹性水压驱动类型的油藏开采特点为:随着石油不断被采出,压力和产量逐步下降,单位压降产量上升;在油层压力下降到饱和压力之前,油气比保持不变;随着石油不断被采出,油水边界将逐渐向油藏方向推进。

(3) 弹性驱动。

弹性驱动类型的驱油动力是油藏本身的弹性膨胀力。具有此驱动类型的油藏多半是断层封闭或岩性封闭的油藏,且缺乏丰富的含水区。

弹性驱动类型油藏的开采特征基本上与弹性水压驱动的相似,但压力和产量下降更快,单位压降产量低。

(4) 气压驱动。

气压驱动油藏的驱油动力是气顶中压缩气体的弹性膨胀力。形成这种驱动类型的首要地质条件是:油藏应具有较大的原生或次生气顶;油藏渗透性较好且分布均匀;含油区与含气区之间无断层或岩性遮挡,这样才能使气顶压力有效地传递到油层内部。

气压驱动类型油藏的开采特征是:油藏产量随压力的下降而逐渐减少,油气比却逐渐上升,在气顶突入到生产井以后,油气比就急剧上升。

(5) 溶解气驱动。

溶解气驱动的驱油动力是从石油中分逸出来的溶解气气体的膨胀力。溶解气驱动能量的大小主要取决于油层中原油溶解气体的数量。溶解气驱动类型多出现在岩性封闭油藏、断层遮挡的断块油藏,以及油水接触带有一个氧化封隔圈的油藏,且油层压力低于饱和压力。

溶解气驱油藏是以消耗地层压力和溶解气能量的方式进行开采的,故其特征为:

① 压力急剧下降。这是由于没有外部流体或较大的自由气顶来占据被采出原油所空出的空间的结果。

② 无论在油藏哪个部位的井,油气比都急剧增加。当油藏压力降到饱和压力以下时,气体将从整个地层原油中分离出来,严重时会展集成流。气流因黏度比油小而超越油流,出现只产气不产油的断流现象。随着大量溶解气的采出,油气比又开始急剧下降,油藏能量逐渐趋于枯竭。

③ 生产无水原油。因无边水或底水作用,故油藏整个开采期间,产出的水极少或不产水。

(6) 重力驱动。

重力驱动类型的驱油动力是油层内石油本身的重力。重力驱动类型一般出现在其他驱

油能量已经消耗尽的油藏中,或者出现在那些已被破坏了的低能量油藏中。根据油层倾角的陡缓,可将重力驱油分为承压式重力驱油和自由面式重力驱油。

重力驱动油藏的开采特征主要有:

① 构造低部位油井的油气比较低。这是由于流体的重力分异作用使析出的气体向构造上方运移的结果,在原始未饱和油藏中,这些气体将形成次生气顶。在构造高部位的油井,其油气比增高。

② 产水很少或不产水。

③ 油藏压力递减的速度是变化的,这主要取决于保存气体的数量。因为重力驱油藏的压力将迅速下降,从原油中释放出来的气体必然向构造上方运移。如果这部分气体被位于高部位的井采出,这就导致地层压力更快的下降。相反的,若油藏中的这部分气体被保存下来,那么,油藏就能保存部分能量,油藏将在气顶驱及重力驱的联合方式下开采,因此,油藏压力降低的速度就会减少。

从以上分析不难理解,为了最大限度地利用重力驱动的生产机理,油井应部署在尽可能低的构造部位,因为,这将最大限度地把沿构造上倾方向运移来的气体保存住。

石油自油层流向井底,就是油层中各种驱油动力不断克服各种阻力的结果,这个过程是一个不断消耗油层内部能量的过程,一旦油层的驱油动力不足以克服流动阻力,油藏能量已到枯竭阶段,石油向井底的流动便终止了。这时便要靠外力来驱动了。

2. 外力驱动

在长期的油田开采生产实践中,人们找到了一种方法,就是人工向油层内注水、注气或注其他溶剂,向油层输入外来能量,保持油层的压力。

(1) 人工注水。

人工注水,是在油田开发过程中通过高压注水泵将合格水注入油层中,以保持或提高油层压力。注水开发油田是国内外普遍采用的油田开发方式。通过注水对油层补充能量,是保持油层压力、延长自喷采油期、提高采油速率和采收率的一项重要措施。用人工注水开发油田,由于油水井之间互相影响很大,因此注水开发油田必须有一套合理的注采系统,使油田在此系统的控制下长期生产。目前现场上应用的注水方式或注采系统,主要有边缘注水、切割注水、面积注水、点状注水四种。

① 边缘注水。

边缘注水就是在油田边部钻一批注水井,进行注水,保持油层压力。边缘注水一般在面积不大,构造比较完整,边部与内部连通性好,压力能够有效地传播时采用。边缘注水根据油水过渡带的地质情况,又分为3种,即缘外注水:注水井按一定方式分布在外油水边界处,向含油区内注水;缘上注水:注水井按一定方式分布在油水过渡带上,向含油区内注水;边内注水:注水井按一定方式分布在含油边界以内,向含油区内注水。

② 切割注水。

对于含油面积很大、储量丰富、油层性质稳定的油田,除了在油田外缘钻注水井外,还需在油田内部钻注水井,将油田分割成若干区块分别注水,每一个切割区可以看成是一个独立的开发单元,保证油田中部的采油井也能收到注水井的注水能量,确保一定的采油速率。

③ 面积注水。

面积注水方式是将注水井与生产井按一定的几何形状和一定的比例均匀地部署在整个开发区上。面积注水可以分为四点法、五点法、七点法、九点法、歪七点法等。如通常运用较