

国内外井下作业井控技术

石 军 编著

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

国内外井下作业井控技术

石 军 编著

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

内 容 提 要

本书介绍了国内外近年来井下作业井控的技术、设备及措施,摘译了部分国外井下作业井控关键技术,总结并例举了一些作业井控失控案例,给出了各种作业工况下的井控措施。

本书可供从事井下作业技术的设计、管理和现场监督人员参考和阅读,也可作为井下作业井控培训的教材,对于参与国际石油工程建设的技术人员也有指导作用。

图书在版编目(CIP)数据

国内外井下作业井控技术/石军编著. —北京:中国石化出版社, 2007

ISBN 978-7-80229-461-5

I. 国… II. 石… III. 井下作业(油气田) - 井控技术
IV. TE358

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 178622 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010) 84271850

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

中原石油报社彩色印刷厂印制

新华书店北京发行所经销

880×1230 毫米 16 开本 12.25 印张 348 千字

2007 年 11 月第 1 版 2007 年 11 月第 1 次印刷

定价:32.00 元

前 言

近年来,我国各油气田,尤其是东部老油田修井作业量逐年增加,作业过程中井涌、井喷、失控着火及爆炸事故亦时有发生,石油石化系统愈来愈重视井下作业井控技术。中原油田作为东部一个进入中后期开发的油气田,井下作业井控问题也显得十分重要,两年前发生的濮3-347井井喷失控特重大事故让人们记忆犹新。目前中原油田正在四川达州一带勘探开发普光气田,同样面临着深井高温高压、含硫化氢气体的油气井井下作业问题,另外油田外闯国际市场的钻井、修井队伍亦逐年壮大,90多支队伍分布在非洲、中亚、南美和中东地区,数千人定期回国轮训石油技术,包括井下作业井控技术。作者正是在这种形势下应油田作业系统部分领导的启迪和安排,从去年下半年开始着手收集、翻译和整理国内外有关井下作业井控的资料,通过调研和收集,感觉国内在这方面能够参考的资料不像钻井井控那样丰富,国外有些资料把钻井和井下作业井控联系在一起,由于时间仓促,只选编了九章,即井下作业工程简介、作业井控常识与基本概念、井下作业溢流控制与防喷、常规关井及压井、井控设备、节流压井管汇及井控装置、非常规井控技术、国际石油作业井控人员必读、井下作业井控失控及相关事故案例等。

本书的资料收集与选择、国外部分内容的翻译由中原油田培训中心国际化人才培训部原主任、高级工程师徐恩信同志主持进行,定稿后又经李国卿、程俊林二位专家审阅修改,在此深表谢意。

由于井下作业井控的发展历程与钻井井控相比还显得较短,且作业工况繁多,例如酸化、压裂、大修、堵水、试油、射孔等,一本《国内外井下作业井控技术》既显得重要,又显得内容匮乏,加之作者水平有限,书中定会有存在不足之处,望读者指正为盼。

目 录

第一章 井下作业工程简介	(1)
第一节 清蜡	(1)
第二节 冲砂	(2)
第三节 通井	(3)
第四节 找水和堵水工艺	(4)
第五节 化学堵水技术	(8)
第六节 找窜工艺	(8)
第七节 挤水泥	(12)
第八节 注水泥	(15)
第九节 注水泥塞	(15)
第十节 管杆类落物处理	(17)
第十一节 电泵被卡的打捞	(19)
第十二节 绳类及小件落物打捞	(20)
第十三节 深井打捞工艺简介	(21)
第十四节 酸化	(21)
第十五节 压裂	(24)
第十六节 防砂方法及分类	(28)
第十七节 油井检泵	(38)
第十八节 井口故障的一般修理方法	(44)
第十九节 射孔	(46)
第二章 作业井控常识与基本概念	(49)
第一节 井控常识	(49)
第二节 各种压力定义与概念	(50)
第三节 压力系统的平衡关系	(53)
第四节 修井与钻井井控的区别	(55)
第五节 井喷失控的原因与危害	(55)
第六节 如何做好井控工作	(58)
第三章 井下作业溢流控制与防喷	(61)
第一节 气侵的特点	(61)
第二节 修井液自动外溢和井喷的条件	(62)
第三节 溢流的原因分析与预防措施	(65)
第四节 如何发现与控制溢流	(67)
第五节 作业施工中如何防喷	(69)
第四章 常规关井及压井	(76)
第一节 不同工况下的关井程序	(76)
第二节 关井油(立)管压力的确定和关井最大允许套管压力	(79)
第三节 溢流控制原理	(81)
第四节 常压法压井的特点及操作程序	(82)
第五章 井控设备	(87)

第六章 节流、压井管汇及井控装置	(106)
第一节 概述	(106)
第二节 节流、压井管汇上的主要阀件	(107)
第三节 节流、压井管汇的保养与使用	(109)
第四节 控制装置	(110)
第五节 FK2403 型控制装置	(111)
第六节 控制装置的主要部件	(112)
第七节 控制装置现场调试	(119)
第八节 控制装置常见故障及处理	(121)
第九节 FKQ 4005A 型控制装置	(121)
第七章 非常规井控技术	(125)
第八章 国际石油作业井控人员必读	(130)
第一节 管柱在井底时	(130)
第二节 管柱不在井底时	(131)
第三节 硬关井和软关井步骤	(132)
第四节 特殊关井步骤	(132)
第五节 关井油管压力和关井套管压力	(133)
第六节 压井流体密度和关井套管压力	(134)
第七节 使用关井油管压力计算地层压力	(137)
第八节 使用关井油管压力计算流体重量增加值	(138)
第九节 关井油管压力和关井套管升高	(139)
第十节 司钻法	(140)
第十一节 司钻法的普通技巧	(141)
第十二节 司钻法的局限性	(142)
第十三节 等待加重法	(143)
第十四节 等待加重法的特点	(143)
第十五节 等待加重法的步骤	(144)
第十六节 填写“等待加重法”压井施工单	(145)
第十七节 并行法	(147)
第十八节 体积法	(148)
第十九节 体积法的步骤	(149)
第二十节 低节流压力方法	(150)
第二十一节 挤入法	(151)
第二十二节 承压和强行起下钻操作	(152)
第二十三节 用环形防喷器进行带压下钻	(153)
第二十四节 用闸板防喷器带压下入作业管柱	(157)
第二十五节 强行下钻及所用的装置	(159)
第九章 井下作业井控失控及相关事故案例	(161)
附录一 中国石化华北局推荐的关井操作岗位人员分工和关井程序	(167)
附录二 井下作业井喷应急处理及安全措施	(172)
附录三 不同地层流体流入井内的影响	(174)
附录四 气体的运移与计算	(175)
附录五 含硫(油)气田井下作业安全规程	(176)
附录六 硫化氢性质与防护	(181)

第一章 井下作业工程简介

第一节 清 蜡 (Paraffin Removal)

油井在生产过程之所以结蜡,原因是油井产出的原油中含有蜡。结蜡有两个过程,首先是蜡从原油中析出,然后聚集、粘附在管壁上。原来溶解在原油中的蜡,在开采过程中凝析出来是由于原油对蜡的溶解能力下降所致。当原油的组分、温度、压力发生变化并使其溶解能力下降时,将一部分蜡从原油中析出。

在同一温度条件下,轻质油对蜡的溶解能力大于重质油的溶解能力,原油中所含轻质组分越多,蜡的结晶温度越低。即蜡不易析出,保持溶解状态的蜡量就越多。任何一种石油对蜡的溶解量随着温度的下降而减少。因此,在高温时溶解的蜡量,在温度下降时将有一部分要凝析出来。在同一含蜡量下,重油的蜡结晶温度高于轻质油的结晶温度,可见轻质组分少的石油,蜡容易凝析出来。

在压力高于饱和压力的条件下,压力降低时原油不会脱气,蜡的初始结晶温度随压力的降低而降低。在压力低于饱和压力的条件下,由于压力降低时油中的气体不断分离出来,降低了对蜡的溶解能力,因而使初始结晶温度升高,压力越低,分离气体越多,结晶增加得越高,这是由于初期分出的是轻组分气体甲烷、乙烷等,后期分出的是丁烷等重组分气体,后者对蜡的溶解能力影响较大,因而使结晶温度明显增高。此外,溶解气从油中分出时还要膨胀吸热,促使油流温度降低,有利于蜡晶体的析出。

实验结果表明,随着石油中胶质含量的增加。可使结晶温度降低。因为胶质为表面活性物质,可吸附于石蜡结晶表面上来阻止结晶的发展,沥青是胶质的进一步聚合物,它不溶于油,而是以极小的微粒分散在油中,对石蜡晶体有分散作用。但是,当沉积在管壁的蜡中含有胶质、沥青质时将形成硬蜡,不易被油流冲走。

油中的细小颗粒和机械杂质将成为石蜡析出的结晶核心,使蜡晶体易于聚集长大,加速了结蜡的过程。油中含水量增高时,由于水的热容量大于油,可减少液流温度的降低,另外,由于含水量的增加,容易在油管壁形成连续水膜,使蜡不容易沉积在管壁上。因此,随着油井含水的增加,结蜡程度有所减轻。但是含水量低时结蜡就比较严重,因为水中盐类析出沉积于管壁,有利于蜡晶体的聚集。

油井生产实际表明,高产井结蜡没有低产井严重,因为高产井的压力高,脱气少,初始结晶温度低,同时液流速度大,井筒中热损失小,油流温度高,蜡不易析出。即使有蜡晶体析出也被高速油流带走不易沉积在管壁上。如果管壁粗糙,蜡晶体容易粘附在上面形成结蜡,反之不容易结蜡。管壁表面亲水性愈强,愈不容易结蜡,反之,容易结蜡。

油井结蜡的危害和清蜡方法 (Damage of paraffin and removing method)

油井结蜡不仅造成大量的日常管理清蜡与修井清蜡工作量,还会对油井生产,甚至油田开发带来严重的影响。油井结蜡主要危害有以下几个方面:

- (1) 油井结蜡给日常管理带来大量工作,增加了井下事故发生的可能性和几率。
- (2) 油井结蜡后,使出油通道内径逐渐缩小,增大油流阻力,降低了油井产能,甚至将油流通道堵死,造成油井减产或者停产。
- (3) 机械采油井结蜡后,不仅使油流通道减小,还会使抽油泵失灵,降低抽油效率,严重者会将

深井泵卡死,损坏设备等。

(4) 油层结蜡,将堵塞油层孔隙,阻碍油流入井内,会缩小出油面积,减少油流来源,从而使油井减产。

(5) 油井结蜡严重时,给清蜡带来困难,并容易发生顶钻、卡钻及井下落物事故。同时,有些油井用一般清蜡方法难以处理,必须采取作业清蜡,给修井带来大量的工作。

(6) 油井结蜡严重时,增加了日常清蜡或作业清蜡时间,影响了油井出油时间,降低了油井开采时率,影响油井产量和油田开发速度。

(7) 油井结蜡给油气集输,油田开发带来许多困难,需要采取许多工艺和技术措施,使开发成本增高,影响油田开发的经济效果。

清蜡就是将粘附在油井管壁、抽油泵、抽油杆等设备上的蜡清除掉。常用的方法有机械清蜡和热力清蜡。

1. 机械清蜡 (Wax removal with mechanical method)

(1) 刮蜡片清蜡

利用井场电动绞车将刮蜡片下入油井中,在油管结蜡井段上、下活动,将管壁上的蜡刮下来被油流带出井口,该方法适用自喷井和结蜡不严重的井。

(2) 套管刮蜡

套管刮蜡的主要工具是螺旋式刮蜡器。将螺旋式刮蜡器接在油管下面,利用油管的上下活动将套管壁上的蜡清理掉,也可以利用转盘带动刮刀钻头刮削;同时利用液体循环把清理下的蜡带到地面。

2. 热力清蜡 (Thermal wax removal)

(1) 电热清蜡

电热清蜡是以油井加热电缆,让电能转化为热能供给油流加热,使其温度升高达到清蜡、防蜡目的。

(2) 热化学清蜡 (Thermal and chemical wax removal)

利用化学反应产生的热能来清蜡。

(3) 热油循环清蜡

利用本井生产的原油,经加热后注入井内不断循环,使井内温度达到蜡的熔点,蜡被逐渐熔化并随同油流到地面。

(4) 蒸汽清蜡 (Wax removal with steam)

将井内油管起出来,摆放整齐,然后利用蒸汽汽车的高压蒸汽熔化并刺洗管内外的结蜡。

第二节 冲 砂 (Sand Washing)

由于油层胶结疏松或油井工作制度不合理,以及措施不当造成油井出砂,油井出砂后,如果井内的液流不能将出砂全部带至地面,井内砂子逐渐沉淀,砂柱增高,堵塞出油通道,增加流动阻力,使油井减产甚至停产,同时会损坏井下设备造成井下砂卡事故。因此,必须采取措施清除积砂,通常采取水力冲砂和机械捞砂。目前常用的是水力冲砂。

冲砂就是用高速流动的液体将井底砂子冲散,并利用循环上返的液流将冲散的砂子带至地面的工艺过程。

1. 冲砂液的要求

(1) 具有一定的粘度,以保证有良好的携带能力。

(2) 具有一定的密度,防止井喷和漏失。

(3) 配伍性好,不伤害油藏。

2. 冲砂方式

- (1) 正冲: 冲砂液沿管柱流向井底, 由环形空间返出地面。
- (2) 反冲: 与正冲相反。
- (3) 旋转冲砂: 利用动力源带动工具旋转, 同时用泵循环携砂, 大修冲砂常用此方法。
3. 冲砂方案内容和要求
 - (1) 冲砂井地质方案必须提供准确的油层、产层物性、生产动态、井身结构等资料。
 - (2) 方案应注明人工井底、水泥面或丢手工具所在深度, 及砂面位置和井内落物等情况。
 - (3) 方案应提供射孔井段, 特别是高压井段、漏失井段及压力值。
 - (4) 方案要求保留部分砂柱时, 必须注明冲砂深度。
 - (5) 对管内防砂井冲砂, 必须标明防砂管柱结构示意图。
 - (6) 在方案中必须注明对水敏性地层、高漏失井段进行防粘土膨胀、蜡球封堵炮眼、混气冲砂等。
4. 操作步骤 (Operation procedure)
 - (1) 准备工作。检查泵及储液罐, 连接好地面管线, 准备好足量的冲砂液。
 - (2) 探砂面。用冲砂管柱探砂面, 冲砂工具距油层 20m 时, 应放慢下放速度, 当悬重下降则表明遇到砂面。
 - (3) 冲砂。离砂面 3m 以上开泵循环, 正常后下放管柱冲砂至设计深度。出口含砂量小于 0.1%, 视为冲砂合格。
 - (4) 观察砂面。上提管柱至油层顶部 30m 以上, 停泵 4h, 下放管柱探砂面, 观察是否出砂。
 - (5) 记录有关参数: 泵参数、砂面参数、返出物参数。
 - (6) 掩埋沉砂。
5. 注意事项 (Main points of attention)
 - (1) 不准带泵、封隔器等其他井下工具探砂面和冲砂。
 - (2) 冲砂工具距油层上界 20m 时, 下放速度应小于 0.3m/min。
 - (3) 冲砂前油管提至离砂面 3m 以上, 开泵循环正常后, 方可下放管柱。
 - (4) 接单根前充分循环, 操作速度要快, 开泵循环正常后, 方可再下放管柱。
 - (5) 冲砂过程中应注意中途不可停泵, 避免沉砂将管柱卡住或堵塞。
 - (6) 对于出砂严重的井, 接单根前必须充分洗井, 加深速度不应过快, 防止堵卡及憋泵。
 - (7) 连续冲砂 5 个单根后要洗井一周, 防止井筒悬浮砂过多。
 - (8) 循环系统发生故障, 停泵时应将管柱上提至砂面以上, 并反复活动。
 - (9) 提升系统出现故障, 必须保持正常循环。
 - (10) 泵压力不得超过管线的安全压力, 泵排量与出口排量保持平衡, 防止井喷或漏失。
 - (11) 水龙头必须拴保险绳。

第三节 通 井 (Drifting)

一、通井的目的 (Purpose of drifting)

清除套管内壁上的杂物或毛刺, 使套管内畅通无阻, 核实人工井底深度, 以确保射孔安全顺利进行。

二、通井的主要质量标准 (Main quality standard of drifting)

通井深度必须通至人工井底或设计要求深度, 起出通井规后无伤痕、无变形; 通井规通至规定的深度后, 进行充分循环洗井, 清除从井壁上刮下的脏物。要求井内压井液清洁, 性能达到设计要求; 通井过程中遇阻或通至人工井底时, 加压不得超过 30kN。超过 30kN 应起出检查、分析原因。

三、通井规尺寸 (Size of drift gauge)

通井规外径小于套管最小内径的 6~8mm, 壁厚为 3.5~5mm、有效长度为 1.2m, 特殊作业井

其有效长度应大于下井工具的大直径管长度 50 ~ 100mm。对于水平井、斜井,通井规尺寸选择要根据套管记录而定,采用橄榄形状,最大外径小于套管最小内径的 6 ~ 8mm,有效长度为 30 ~ 40mm。

四、通井操作要求 (Operation rule of drifting)

(1) 普通井通井:通井时,通井规的下放速度应小于 0.5m/s。通井规下至距人工井底 100m 时,要减慢下放速度;通井规下至人工井底后,上提完成在人工井底 2m 以上,用 1.5 倍井筒容积的洗井液反循环洗井,以保持井内清洁;起出通井规后,要详细检查,发现痕迹需进行描述,分析原因,并上报技术部门,采取相应措施。

(2) 老井通井:通井规下放速度小于 0.5m/s。通至射孔井段,变形位置或预定位置以上 100m 时,要减慢下放速度,缓慢下至预定位置。其他操作与普通井通井相同。

(3) 水平井、斜井:①通井规下至 45°拐弯处后,下放速度要小于 0.3m/s,并采用下一根→提一根→下一根的方法。若上提时遇卡,负荷超过悬重 50kN,则停止作业,待定下步措施。②通井至井底时,加压不得超过 30kN,并上提完成在井底 2m 以上,充分反循环洗井。③提出通井规,纯起管速度为 10m/(45 ~ 60s),最大负荷不得超过油管安全负荷,否则停止作业,研究好措施后再干。④起出通井规后,详细检查,并进行描述。

(4) 裸眼井:通井规下放速度小于 0.5m/s,通井规距套管鞋以上 100m 左右时,要减慢下放;通井规通至套管鞋以上 10 ~ 15m;起出通井规后,详细检查,发现痕迹进行描述和分析,并上报技术部门,采取相应措施;用光油管(或钻杆)通井至井底;上提 2m 以上后彻底循环洗井;起出光油管(或钻杆);筛管完成井与裸眼井要求相同。

五、注意事项 (Main points of attention)

(1) 对于井斜小于 45°和未射孔、大修等作业时的井采取普通通井操作。

(2) 老井通井前,一般要探清井内砂面位置,特殊情况下要进行热洗和刮削。然后,再进行通井施工。通井中途暂停施工,无特殊情况通井规应提至射孔井段顶界以上 30m,并彻底反循环洗井后,方能坐井口暂停。

(3) 水平井、斜井通井时,在通井规进入井斜 45°井段后,必须连续作业,通井规通至预定位置后,必须用低固相修井液循环替出井内液体,并彻底洗井。

(4) 裸眼井通井的整个施工过程要连续,无特殊情况不得停工。钻头在裸眼井段停留时间不得超过 6h。

第四节 找水和堵水工艺 (Water Detection and Plugging)

开发油田普遍会遇到油井出水现象,尤其是水驱油田开发的中后期,油井出水更是不可避免的。由于油层的不均质性以及开发方案或开采措施不当等原因,使水在横向上和纵向上推进很不均匀,造成油田过早水淹,消耗了地层能量,大大降低了油藏采收率。同时,由于地层大量出水冲刷地层,造成地层出砂坍塌,使油井停产甚至报废。另外,地层水严重腐蚀抽油杆、油管、套管、输油管线等采油设备,加重油水分离工作量,增加了采油成本。发现油井出水后,要尽快利用各种找水措施确定出水层位,并根据具体情况采取相应的堵水措施。

一、油井出水的原因及找水工艺 (Cause of water produced and detection method)

油井出水按其来源可分为注入水、边水、底水、上层水、下层水和夹层水。

由于油层的非均质性及开采方式不当,使注入水及边水沿高渗透层及高渗透区不均匀推进,在纵向上形成单层突进,在横向上形成舌进,使油井过早水淹。

当油田有底水时,由于油井生产在油层中造成的压力差,破坏了由于重力作用所建立起来的油水平衡关系,使原来的油水界面在靠近井底处呈锥形升高,即所谓的“底水锥进”现象。其结果

在油井井底附近造成水淹,含水上升,产油量下降。

注入水、边水和底水在油藏中虽然处于不同的位置,但它们都与要生产的原油在同一层中,可统称为“同层水”。“同层水”进入油井,造成油井出水是不可避免的,但要求缓出水、少出水,因此,必须采取控制和必要的封堵措施。

上层水、下层水及夹层水是从油层以外的水,往往是由于固井质量不高、套管损坏或误射水层造成的,这些水在可能的条件下均应采取封堵水层的措施。

1. 油井找水技术(Water detection technique for oil well)

找水是指油井出水后,通过各种方法确定出水层位和流量的工作。

在油田开发过程中,油井出水是不可避免的。发现油井出水后,首先必须通过各种途径确定出水层位,而后才能采取必要的堵水措施。目前,确定出水层位的方法主要有下述几种。

(1) 综合对比资料判断出水层位

对出水井的地质情况(如开采层位、各层油水井连通情况、各层渗透性和断层以及边水、底水、夹层水的情况等)和井身质量等资料,进行仔细研究,对采油动态资料(产量、压力、生产气油比、含水、水质分析、注水情况等)进行综合分析、对比,判断出水层位。也可以结合小层平面图及油水井连通图和注采井生产关系推断可能的出水层位,这是一种静态资料结合来判断出水层位的间接方法,但还需同其它方法配合才能最后确定出水层位。

(2) 水化学分析法(Chemical analysis for water)

水化学分析法是利用产出水的化验分析结果来判断其为地层水或注入水的方法。该方法主要是依靠地层水和注入水在组成上的明显不同而进行的判断。地层水一般具有高矿化度,或含有硫化氢及二氧化碳等特点。不同深度的地层水,其矿化度和水型也不同。

(3) 根据地球物理资料判断出水层位

根据地球物理资料判断出水层位,目前应用较多的主要有流体电阻测井、井温测井和同位素测井三种。

① 流体电阻测井(Resistivity logging with fluid in wellbore)。

流体电阻测井是根据不同矿化度的水具有不同的导电性(即电阻率不同),用电阻计测出油井中流体电阻率变化曲线,从而确定出水层位的方法。其测定步骤大致为:先往井内注入一种与地层水具有不同含盐量的水,进行循环洗井。将井内原有液体循环替出,然后测量井内流体电阻率分布,得到一条控制电阻率曲线;再将液面抽汲降低到一定深度后进行一次测井,抽汲量的大小取决于外来水量的大小。这样交错进行,抽汲一段,测量一次,直到根据电阻率的变化发现出水层位为止。

这种测量方法的设备比较简单,但找水工艺比较复杂,需要多次进行抽汲提捞和测井工作。该方法不适用于高压水层。对于高渗透水层,由于地层水在降压过程中大量流出和在井筒中大量扩散,使根据电阻率曲线突变位置确定的上、下限与实际出水层位不符。在因套管损坏而出水的井中,只能测出套管损坏的位置,而测不出实际出水层位。因此,这种方法的应用范围受到很大限制。

② 井温测井(Temperature logging)。

井温测井是指利用地层水具有较高温度的特点来确定出水层位的方法。先用均质流体冲洗井筒,待井筒内的液柱温度分布稳定后,测量井内温度分布曲线(静温曲线),然后通过气举或其它措施降低液面,使地层水进入井内,一直达到测出温差为止。降低液面后所测井温曲线(流温曲线)发生突变的部位便是外来水(地层水)进入井内的位置。如果套管破裂的地方与出水层不重合,则流体要在套管外流动一段距离,由于套管外流体与井内液体的热交换,所以温度曲线上有一段较平稳的高温显示,由于水的比热容大于油的比热容,在出水层往往有高温异常显示,因此,也可利用直接测得的井温曲线来判断出水层位,但要求井温仪必须有较高的灵敏度。

③ 同位素测井(Isotope logging)。

同位素测井是指向井内注入同位素液体,通过提高出水层段的放射性强度来判断出水层位的找水方法。

2. 机械法找水 (Water detection with mechanical method)

(1) 压木塞法

对于因油井套管某一处损坏而引起出水的井,可将一外径适宜的木塞放入套管,然后向套管内压入液体迫使木塞下行,最后木塞停留的地方正好是套管损坏的位置。

(2) 封隔器找水 (Water detection with packer)

封隔器找水就是利用封隔器将各层分开,然后分层进行求产,找出出水的层位。这种方法的优点是工艺简单,能够准确地确定出水层位。缺点是施工周期长,无法确定夹层薄的油水层的位置。另外,在窜槽井中,必须封窜以后才能进行找水施工。

(3) 找水仪找水

这是一种在油井正常生产的情况下,向井内下入仪器确定油井出水层位及流量的找水方法。此种方法的优点是能够准确地确定出水层位,并能够确定含水油层的持水率。缺点是对油井测试条件要求较高,有时为了保证找水的准确性还需要一些辅助工序的配合。

二、机械堵水技术 (Water plugging with mechanical method)

机械堵水技术就是利用封隔器密封套管空间来解决层间的矛盾,封堵高含水层。这种方法施工简单,便于施工与操作;费用低,不需要消耗任何堵水剂或降水剂。如果采用不压井井口装置进行不压井施工作业,将减少对油层的污染,堵水成功率高,封堵水层效果好。其缺点是对堵水井的条件要求较高,使用有一定的局限性。采用封隔器堵水的前提条件有:

适用于单一的出水层或含水率很高,没有采油价值的出水层;在出水层上部或下部有较稳定的夹层,且夹层厚度大于5m;堵水管柱以及井下工具质量合格,工作状况良好;油层套管无损坏,井身结构状况良好;出水层岩性坚硬,结构完好,无严重出砂现象;封隔井段的油层套管无变形、损坏等。

1. 封隔器卡水方式 (Water blockage with packer)

封隔器卡水主要有以下四种方式:封上采下、封下采上、封两头采中间、封中间采两头。实际工作中究竟采用哪种卡水方式,主要视该井出水层和油层的数目以及相互间的位置来决定。

2. 封隔器卡水管柱及工具

封隔器卡水必须依靠一套可靠的配套工具和井下管柱来实现。现场常用的主要有以下几种:

(1) 整体式卡水管柱 (Integrated tubing string for blocking water)

这套堵水管柱适用于 $\phi 56\text{mm}$ 以下深井泵的卡水作业,最多只能卡两层,施工比较简单。但检泵时卡水管柱随泵挂一同起出,增加了堵水成本。同时该种卡水管柱因泵受压而往往采用费用较高的过桥泵,目前已基本被淘汰。

(2) 卡瓦悬挂式卡水管柱

卡瓦悬挂式卡水管柱是将丢手接头、卡瓦封隔器、压缩式封隔器下至预定位置后,封隔器通过水力(或转动管柱)实现密封及丢手,解封时需下工具打捞。

(3) 可钻式封隔器插入卡水管柱

该卡水管柱主要由可钻式封隔器和插入密封系统组成,封隔器可以单级使用,也可以多级使用。中心管畅通且下端带活门单级使用,坐于油层上部,可关闭油层,用于不压井作业。利用插入管柱可以封堵任何一个或几个射孔井段,达到堵水目的。也可以代替水泥塞封堵下部高含水层。

(4) 平衡式卡水管柱

平衡式卡水管柱主要由Y341型封隔器、丢手接头及配产器组成。该管柱主要通过各封隔器之间的压力平衡,使卡水管柱在无锚定条件下处于稳定静止,提高了卡堵水成功率。解封时,只需下工具捞获卡水管柱上提即可。

(5) 抽油机井滑套式测堵联作卡水管柱

这套管柱是根据地质方案将油层分成几个层段,并用封隔器将各层之间分开,在相应层段管柱上安装滑套开关,下井时各级滑套开关均处于关闭状态,与管柱下部的连通器配套使用,可实现不压井作业。卡水管柱支撑在人工井底,加液压时,封隔器先坐封,经油管投入撞击杆,实现管柱丢手。Y341-114型封隔器自身带有平衡机构,与具有泄压功能的KQS-90液压连通器配套使用可以实现丢手卡水管柱的平衡。滑套开关是找水、卡水管柱的关键工具,通过滑套开关弹簧爪定位体和电动开关器弹簧爪相配合,完成滑套的打开和关闭动作,进而实现滑套对相应层段的生产或封堵。

该套管柱适用于抽油机井的分层找水、卡水,适用于套管内径不小于124mm,并且泵外径不大于90mm的抽油机井,只有符合这些条件,电动开关测试仪才能经油套环空顺利起下。一次下入电动开关测试仪即可完成井下任意一级滑套开关的开关动作,并与地面仪表配合完成相应层段产液量及含水率的计量。根据堵后的生产情况,在油井正常生产的条件下,可以实现任意卡水层段的反复调整。

(6) 泵抽井液压式一次可调多层卡水管柱

该套卡水管柱下井前,先要根据地质情况或找水资料制定两套卡水方案。然后根据第一套卡水方案组成卡水管柱,下入过程中油管内外密封,可实现不压井作业。管柱下到预定位置后,油管加压,封隔器坐封。同时,上下两个泄压器衬套柱塞下行,但仍能保证管柱密封,堵水器柱塞上行,内进液孔打开,由于承压接头有4个单流通道,管柱仍处于密封状态,不会影响坐封效果。当完成封隔器坐封以后,油管压力下降,泄压器滑套在弹簧力的作用下向下滑动,第一级泄压器工作,油管内外连通,第二级泄压器单向连通,处于打开状态,堵水器开始工作。投入 $\phi 43\text{mm}$ (或 $\phi 48\text{mm}$)钢球后打压丢手,完成后下泵生产。投产后发现第一套方案有误时,通过地面打压即可完成调层,实施第二套方案,步骤是:停泵关闭生产闸门,从套管打压,(一般要求第一级承压球座上压差在8~10MPa,即可实现调层),作用在堵水器上的压力迫使堵水器内的调层开关下行,当下滑到固定位置时,球座进入扩孔槽孔张开, $\phi 43\text{mm}$ (或 $\phi 48\text{mm}$)钢球继续下行到第二级堵水器球座上,依次改变每一级堵水器的开关状态,达到调层的目的。

该套管柱适用于各种泵抽管柱,堵水器可以多级使用,可以实现一次调多层的目的,但不能反复调层。

三、电缆桥塞在油井堵水作业中的应用

桥塞是目前在国内外越来越广泛使用的一种油井层间分隔装置。按其输送方式及坐封方式不同可分为电缆桥塞和机械桥塞两大类。电缆桥塞用电缆输送,机械桥塞采用油管或钻杆输送。由于机械桥塞施工周期较长,工作量相对较大,并且施工中容易出现問題,因此在现场施工中一般都采用电缆桥塞。采用桥塞施工主要是解决注水泥塞工艺中难以解决的问题:

①在漏失层段以上实施注水泥塞作业比较困难,其主要原因是无法建立循环。对于此类油气井在漏失层段以上使用桥塞后,即可顺利进行封堵漏层工作。

②某些油水井出水层压力很高,井口出现水涌的现象,实施注水泥塞作业比较困难,应用电缆桥塞则不受此限制。

③对于油层密集的油气井,层间间隙非常小,通常只有几米可供注水泥塞的距离,所注水泥塞因强度不够难以承受大的压差;另外,水泥塞深度的准确性难以把握。而采用电缆桥塞封堵,由于电缆桥塞的耐压差可达70MPa,同时电缆桥塞依靠测井仪器的校深坐封位置准确,误差一般小于0.5m,这样完全可以达到封隔的准确性及承受较大压差的技术要求。

④对于4000m以上的深井及超深井,常规的注水泥塞作业的施工成功率较低,采用电缆桥塞则能较好地解决这一难题。

电缆桥塞除以上优点外,还具有施工简便、施工速度快、结构简单、质量轻、维修保养方便等特点,目前越来越成为油田开发中后期堵水工艺的一种重要手段。其主要缺点是:当不需要桥塞时只能套铣掉,不能打捞。

第五节 化学堵水技术 (Water - plugging with Chemicals)

一、化学堵水机理

化学堵水是以某些特定的化学剂作为堵水剂,将其注入地层高渗透层段,通过降低近井地带的相渗透率,达到减少油井产水,增加原油产量的目的。

油井化学堵水的作用机理为:依靠工艺手段使聚丙烯酰胺选择性地进入含水饱和度较高的中低渗透层或出水裂缝,在残余阻力(主要是物理堵塞)作用下,层内或缝洞内形成人工遮挡,抑制水的窜流,推进,从而使驱替能量扩大到含油饱和度较高的中低渗透层或裂缝孔道,改变纵向上的产液剖面 and 裂缝系统的产量布局,提高水驱效率,从而改善油藏的开发效果。

二、碳酸盐岩油田堵水剂适用条件

华北油田化学堵水技术研究与应用工作是从碳酸盐岩油藏开始的。自1981年第一口油井实施化学堵水获得成功之后,措施井次逐年上升。堵水剂的种类也由低强度堵剂发展到高强度堵剂,由有机堵剂发展到无机堵剂,并形成了高、中、低温系列,基本满足了碳酸盐岩油田油井堵水的需要,成为碳酸盐岩油藏实施“控水稳油”和改善开发效果的一项重要技术。

碳酸盐岩油田化学堵水措施已经从纵向上的产液剖面调整发展到对裂缝系统内部的调整。按其堵剂性能和封堵目的,分有机堵剂和无机堵剂两大类。

1. 有机堵剂适用条件

- (1) 油井处于油田较高部位,目前油水界面至油层顶部的距离大于10m。
- (2) 油井含水率在30%~90%,平均月含水上升速度小于5%。
- (3) 油井产层接替潜力大,剩余可采油量大于 3×10^4 t。
- (4) 钻井放空不大于0.5m,每米漏失量不大于 30m^3 ,渗透性好、层间差异大的井。
- (5) 对于自喷井,要求井口压力高于管线回压0.9MPa以上;对于机械采油井,要求供液能力较强。

2. 无机堵剂适用条件

- (1) 油井处于油田较高部位,未被完全水淹,目前油水界面至油层顶部的距离可小于10m。
- (2) 油井含水率在80%~95%,平均月含水率上升速度大于5%。
- (3) 油井具备产层接替条件,剩余可采油量不少于 3×10^4 t。
- (4) 钻井放空可大于0.5m,每米漏失量可大于 30m^3 ,渗透性好、层间差异大的井。
- (5) 油井严重出水,有机堵剂堵水无效,具备机械采油条件的井。

三、碳酸盐岩油田在不同含水开采阶段的堵水剂及施工工艺

碳酸盐岩油田化学堵水,应针对不同开采阶段、不同含水期和不同裂缝类型,在进行相应的室内研究和现场试验基础上,采用以聚丙烯酰胺为主要原料的高温冻胶堵剂(YA2-HB)、高温溶胶堵剂(YA9-HB)、聚丙烯酰胺树脂凝胶堵剂(YA4-HB)、聚丙烯酰胺复合凝胶堵剂(YA4³-HB)、F908、TDC-1B堵水剂,以无机原料为主的石灰乳堵剂(YD10-HB)和以多元聚合物为主体原料的HB-952堵水剂,可用于不同含水开采阶段碳酸盐岩油田化学堵水。

第六节 找窜工艺 (Channel Detection)

一旦油水井发生了管外窜槽,就应及时进行封窜处理,在封窜之前要准确找出窜槽的位置,采取针对性措施,恢复正常生产。

一、找窜方法

1. 声幅测井找窜

声幅测井时,先由声源振动发出声波,经井内液体、套管、水泥环和地层各自返回接收器。声

波在套管中传播速度大于在其它介质中的传播速度,而声波幅度的衰减与水泥环和套管,水泥环和地层的胶结程度有关。通过研究得出:声波幅度的衰减反比于套管的厚度,正比于水泥环的密度。也就是说,套管壁越薄,水泥环越致密,声波幅度的衰减就越大。应用这一原理就可以检查套管外水泥环的固结情况及水泥面的上返高度等情况。固井良好的井段,大量声波被水泥与地层吸收,测得曲线幅度为低值;固井质量不好的井段,声波不能被水泥与地层吸收或吸收很少,曲线幅度很高。

声幅测井的施工步骤为:

(1)先按施工设计要求,选择好适当密度的压井液进行压井,然后卸掉采油树,起出井内原管柱。

(2)下入冲砂管柱,将冲砂笔尖接在下井第一根油管的底部上紧,下入井内探砂面,然后反循环冲砂至人工井底。

(3)起出冲砂管柱,卸掉冲砂笔尖,然后下外径小于套管内径4mm的通井规,通井至被找窜层以下30~60m。

(4)起出通井管柱,遇到套管变形、破损或落物,应先处理正常后再下声幅测井仪器测井。

(5)分析声幅测井仪器测得的声幅测井曲线,找出管外窜槽位置。

声幅测井资料的解释为:

一般情况下,水泥固结好,声幅曲线幅度低;水泥固结差,声幅曲线幅度高。在水泥面处,有从高幅度到低幅度的突变,因此,根据声幅曲线可以判断水泥胶结的好坏。

当声幅曲线呈高值显示时,可以断定为无胶结及无水水泥环两种情况。如果在水泥面以下的井段,只能判断为胶结不良,而在水泥面以上,则以无水水泥环判断。

2. 同位素测井找窜

同位素测井找窜,是往地层内挤入含放射性的液体,然后测得放射性曲线,将其与油井的自然放射性曲线做比较,排除影响因素,研究此井段的伽马射线强度来鉴别套管外是否窜通。

同位素测井找窜的施工步骤为:

(1)编写施工设计。根据施工目的,决定施工方式和使用同位素的名称、强度及浓度,计算配制活化液等。

(2)选择好适当密度的压井液进行压井,然后卸掉采油树,加深油管探砂面,如砂面高度不符合施工设计要求,冲砂至人工井底,起出井内管柱。

(3)按规定选用合适的通井规通过预测井段,以保证测井仪器在井筒内自由起下,无阻、无卡。起出通井管柱,测放射性测井曲线,也称为自然放射性曲线。

(4)下入放射性同位素找窜管柱,通常为油管+K344-114封隔器+745-5节流器+球座。

(5)室内按设计要求溶解配制放射性同位素,尽量使用半衰期短的放射性同位素配制,用铝制容器将其送往施工现场,接好正循环洗井管线。

(6)水泥车开泵用清水正循环洗井一周停泵。投球,待球入座后开泵正挤入同位素液体,挤入顶替液、清水。

(7)关井24h,使地层充分吸收同位素液体。

(8)接好水泥车管线,反循环大排量洗井,洗井液量为井筒容积的2~3倍,待球洗出后继续洗井两周以上。洗出的液体要尽量减少对环境的污染,同位素残液要深埋。

(9)起出井内管柱,再次测放射性曲线,分析对比挤入前后的测试曲线,找出管外窜通位置。如果发现封隔器上部或下部层段的放射性强度有明显增加,则说明此处层间有窜通、窜槽现象。

3. 封隔器找窜

封隔器找窜是现场应用较广泛的一种方法,即使用封隔器下入欲测井段,用来封隔欲测井段与其它油层,然后根据所测资料来分析判断是否窜槽。该方法施工简单,找窜结果准确可靠,既能定性又能定量给出窜通层段的窜通量(压力、流量),为封窜提供设计依据。

目前现场常用水力压差式封隔器。根据找窜时使用封隔器的数目可分为单水力压差式封隔器找窜和双水力压差式封隔器找窜两种方法;根据找窜并油层压力情况的不同,又可分为低压井找窜、高压井找窜和漏失井找窜三种方法。方法不同,找窜的工艺和要求也不同,下面分别简单介绍。

按封隔器数量分类的找窜方法包括:

(1) 单水力压差式封隔器找窜

将一级水力压差式封隔器(属 K344 系列)下至找窜的两个层段夹层中部,封隔器下部连接 DQ0654-5 型节流器,最下部接单流阀。找窜时,从油管内注入高压液体,通过测量与观察来判断欲测层段间有无窜槽。具体方法有以下两种:

一是套压法:套压法是采用观察套管压力的变化来分析判断欲测层段之间有无窜槽的方法。若套管压力随着油管压力的变化而发生相应变化,则说明封隔器上、下层段之间有窜槽;相反,若套管压力不随油管压力的变化而变化,则说明层间无窜槽。

二是套溢法:套溢法是指以观察套管溢流来判断层段之间有无窜槽的方法。具体测量时采用变换油管注入压力的方式,同时观察,计量套管流量的大小与变化情况,若套管溢流量随油管注入压力的变化而变化,则说明层段之间有窜槽;反之,则无窜槽。

(2) 双水力压差式封隔器找窜

双水力压差封隔器找窜与单水力压差式封隔器找窜原理基本一致,其区别是双水力压差式封隔器找窜在节流器下面再接一级水力压差封隔器。两级封隔器刚好卡在下部层位射孔段的两端,节流器正对着射孔井段。

具体做法是,将验窜管柱下入预测井段位置,从油管内注入高压液体,用套溢法进行观察判断。

单水力压差式封隔器找窜法适于在最下两层中找窜,而且下部层段无漏失情况;在多油层且下部层段又有漏失的情况下,用双水力压差式封隔器找窜效果较好。

按油层情况分类的找窜方法包括三种:

一是低压井找窜:先将找窜管柱下入设计层位,测井溢进时,则证明管外不窜;如返出量大于溢流量,先将封隔器提至射孔段以上,验其密封性,若封隔器是密封的,则证明地层是窜通的。

找窜时应仔细观察排量、泵压、进出口水量等变化情况,并将这些数据详细记录在报表上,作为分析判断窜槽的依据。施工时还应注意以下事项:

a. 找窜前要先进行冲砂、通井,探测套管等工作,以便了解该井套管的完好情况及井下有无落物等;

b. 油管数据要准确,找窜管柱下入位置无误差,封隔器位置应尽量避开套管接箍;

c. 测量窜槽时应坐好井口,若井口用自封封井器密封,应防止封隔器在憋压时上顶;

d. 当测量完一点时要上提封隔器,活动泄压,缓慢上提,以防大量出砂造成卡住验窜管柱;

e. 找窜过程中资料显示有窜槽,应上提封隔器至射孔段以上验证其密封性,若封隔器密封则说明资料结果正确,反之更换新封隔器重测。

二是高压井封隔器找窜:在高压自喷井找窜时,可用不放喷不压井的井口装置将找窜管柱下入预定层位。油管及套管装灵敏压力表。测窜时,从油管泵入液体,使油管与套管造成压差,并观察套管压力是否随油管压力变化而变化,若是,且封隔器完好,则证明此层段间有窜槽现象。

三是漏失井找窜:漏失严重的井段找窜时,因井内液体不能构成循环,因而无法应用套压法或套溢法验证,应采取强制打液体与仪器配合的找窜方法。例如:采用油管打液体套管测动液面的方法;采用套管打液体油管内下压力计测压的方法进行找窜。

二、封堵窜槽的方法

1. 水泥封窜技术

水泥封窜技术是在欲封堵层段挤入一定量的水泥浆,使之进入欲封堵层窜槽内,使水泥浆凝

固来达到封堵窜槽的目的。根据水泥浆进入地层的方式不同,水泥封窜又可分为循环法、挤入法、循环挤入法三种方法。由于水泥封窜工艺简单、成本低,是现场上广泛应用的一种方法。

一是循环法封窜:

循环法封窜,是指将封堵用的水泥浆以循环的方式,在不憋压力的情况下替入窜槽井段的窜槽孔缝内,使水泥浆在窜通孔缝内凝固,封堵窜槽井段。

根据封窜管柱连接方式和所用工具不同,循环法封窜又分为单水力压差式封隔器封窜和双水力压差式封隔器封窜两种。

单水力压差式封隔器封窜时,封窜前只露出夹层以下一个层段,其它层段则应采用人工填砂的方法掩盖。封隔器应坐于夹层上。井口部分应当采用自封封井器来密封,以便封窜工作的顺利进行。

用双水力压差式封隔器封窜时,将两个水力压差式封隔器中间连接节流器下入井内,下封隔器应坐于窜通层以下紧靠窜通层位的夹层上。上封隔器坐于已窜通的夹层上,封堵时,水泥浆由两级封隔器中间的节流器喷出,由窜通的下部油层进入窜通部位将窜槽封堵住。

循环法封窜的施工步骤是:

- a. 按施工设计要求下入封堵窜槽管柱,使封隔器坐于设计要求的夹层位置。
- b. 投球、冲洗窜槽部位。
- c. 泵入水泥浆。
- d. 替液至节流器以上 10 ~ 20m 处,略待水泥浆稠化后上提封窜管柱。
- e. 上提管柱,使封隔器位于射孔段以上后反洗井,以便冲洗出多余的水泥浆,一般洗井液数量达到井筒容积的 1.5 ~ 2.0 倍时为合格。
- f. 起出 1 ~ 2 根注灰油管,关井候凝 48h。
- g. 试压、检验封堵情况。

二是挤入法封窜:

挤入法封窜,是在憋有适当压力的情况下,将水泥浆挤入窜槽部位,以达到封窜的目的。

该施工方法封窜比较可靠,能够封堵复杂的窜槽。但封窜过程中会有大量水泥浆进入油层,容易堵塞油流通道,污染油层,工艺较复杂,易造成井下事故。

由于井况不同,挤入法封窜可分为封隔器封窜和油管封窜两种。

用封隔器封窜其管柱结构自下而上由单流阀、球座、节流器、水力压差式封隔器及油管组成。为避免或减少挤水泥时污染其它油层,封隔器下入位置应根据层段的不同而选择。

当窜槽以上油层较多时,采用由上向下挤水泥的方法,将下部孔段填砂掩盖,将封隔器坐在紧靠窜通层上部的夹层上,水泥浆自上而下挤入窜槽内,凝固后将窜槽封堵。

当窜槽以上油层少时,采用自下往上挤水泥的方法。这种方法是先将下部射孔段填砂,只需部分射孔段。封堵时水泥浆由此往上返进入窜槽内,凝固后达到封堵窜槽的目的。

用封隔器挤水泥封窜施工步骤:

- a. 将封堵窜槽管柱下入井内,封隔器下至预定的夹层上,其下部接 DQ0654 - 5 型节流器及球座;
- b. 反洗井至合格;
- c. 投球试挤清水,直到泵压平稳为止;
- d. 按设计要求挤入水泥浆;
- e. 用清水将水泥浆替挤至 DQ0654 - 5 型节流器以上 10 ~ 20m 处;
- f. 上提管柱,将封隔器提至射孔井段以上;
- g. 反洗井至合格;
- h. 起出 1 ~ 2 根油管,关井候凝 24 ~ 48h;
- i. 钻掉水泥塞;