

国外油气勘探开发新进展丛书

GUOWAIYOUQIKANTANKAIFAXINJINZHANCONGSHU



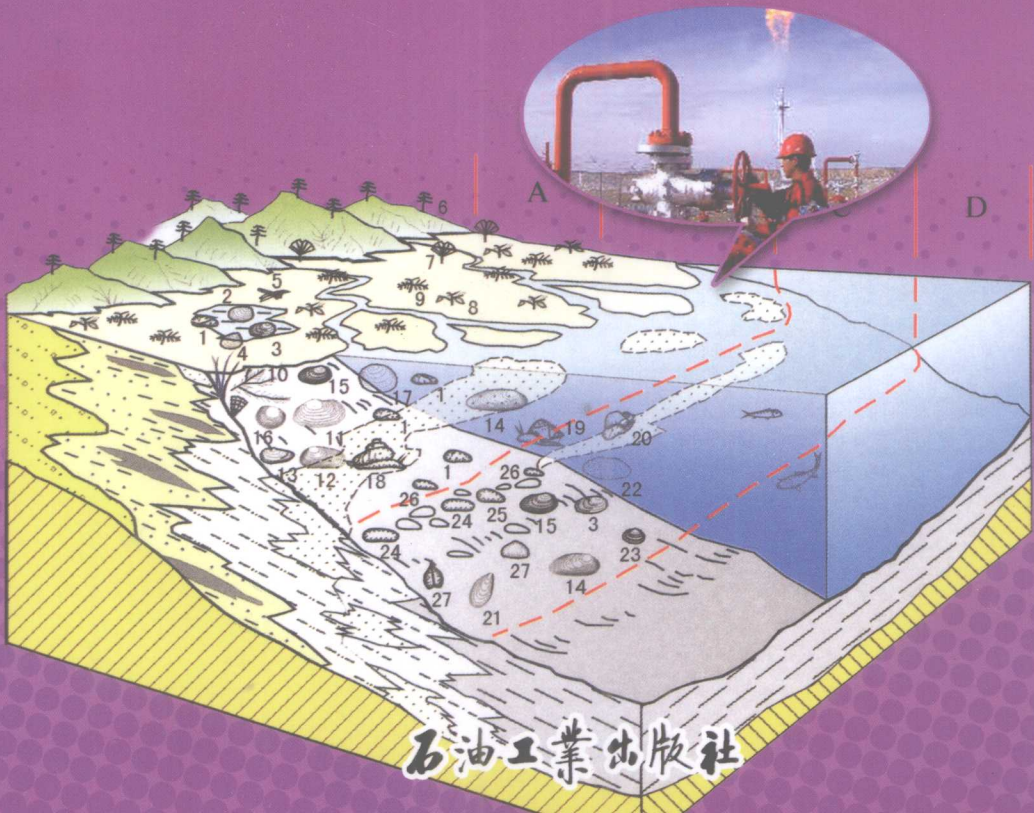
Gas

Well

Deliquification

气井排水采气

[美] 詹姆斯·利 亨利·尼肯斯 迈克尔·韦尔斯 著
何顺利 顾岱鸿 田树宝 等译



石油工业出版社

国外油气勘探开发新进展丛书(六)

气井排水采气

[美]詹姆斯·利 亨利·尼肯斯 迈克尔·韦尔斯 著
何顺利 顾岱鸿 田树宝 等译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书从气井井筒流动特征、积液原因、积液危害、排水采气技术及液体的来源出发,介绍了气井积液诊断方法、临界流动模型、曲线分析、油管尺寸筛选、柱塞气举、水力泵、电潜泵、螺杆泵、泡沫的应用、气举及其他排水采气技术。列举了一些在油气工业中被证明行之有效的办法。采用这些方法可以消除或降低井底积液的影响,从而改善气井生产。

本书适合于从事气井采气工艺的现场技术人员、科研人员及相关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

气井排水采气/[美]詹姆斯·利等著;何顺利,顾岱鸿,田树宝等译.
北京:石油工业出版社,2009.3
(国外油气勘探开发新进展丛书.第6辑)
书名原文:Gas Well Deliquification
ISBN 978-7-5021-7000-4

- I. 气…
- II. ①利…②何…
- III. 采气井-排水采气
- IV. TE353

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 013364 号

Copyright©2003, Elsevier. All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

本书经 Elsevier. 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:01-2006-6591

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)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:中国石油报社印刷厂

2009 年 3 月第 1 版 2009 年 3 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:12.5

字数:300 千字

定价:50.00 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（六）》

编 委 会

主 任：赵政璋

副 主 任：杜金虎 张卫国

编 委(按姓氏笔画排序)：

马 纪 刘德来 孙明光

何顺利 张仲宏 周家尧

侯玉芳 顾岱鸿 章卫兵

序

为了及时学习国外油气勘探开发新理论、新技术和新工艺,推动中国石油上游业务技术进步,本着先进、实用、有效的原则,勘探与生产分公司和石油工业出版社组织多方力量,对国外著名出版社和知名学者最新出版的、代表最先进理论和技术水平的著作进行了引进,并翻译和出版。

从2001年起,在跟踪国外油气勘探、开发最新理论新技术发展和最新出版动态基础上,从生产需求出发,通过优中选优已经翻译出版了五期28本专著。在这套系列丛书中,有些代表了某一专业的最先进理论和技术水平,有些非常具有实用性,也是生产中所亟需。这些译著发行后,得到了企业和科研院校广大生产管理、科技人员的欢迎,并在实用中发挥了重要作用,达到了促进生产、更新知识、提高业务水平的目的。该套系列丛书也获得了我国出版界的认可。2002年丛书第2辑整体获得了中国出版工作者协会颁发的“引进版科技类优秀图书奖”,2006年丛书第4辑的《井喷与井控手册》再次获得了中国出版工作者协会的“引进版科技类优秀图书奖”,产生了很好的社会效益。

今年在前五期出版的基础上,经过多次调研、筛选,又推选出了国外最新出版的6本专著,即《螺杆泵与井下螺杆钻具》、《气井排水采气》、《钻井和修井作业实用公式与计算手册(第二版)》、《未来能源》、《油藏工程手册》、《层序地层学原理》,以飨读者。其中《油藏工程手册》、《层序地层学原理》以原版影印版的方式引进出版,以满足广大读者希望能够看到原汁原味的外文书的期望,这也顺应了国内石油行业广大员工外语水平普遍提高的趋势。

在本套丛书的引进、翻译和出版过程中,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工程技术人员担任翻译和审校人员,使得该套丛书能以较高的质量和效率翻译出版,并和广大读者见面。

希望该套丛书在相关企业、科研单位、院校的生产和科研中发挥应有的作用。

中国石油天然气股份有限公司副总裁

译者前言

本书译自詹姆斯·利、亨利·尼肯斯和迈克尔·韦尔斯所著的《气井排水采气》(《Gas Well Deliquification》)。詹姆斯·利教授是美国 API 和 SPE 电潜泵、气举及人工举升分会的会员,曾任美国 Texas 技术大学石油工程系主任,是著名的采油采气工艺专家。

本书系统阐述了气井积液形成的机理、各种物理和化学排水采气方法的原理、设计流程和实施方法,是一本全面了解排水采气工艺的重要参考书。

全书由何顺利、顾岱鸿组织中国石油大学(北京)油气工程海外研究所有关人员翻译,其中:序言、第一章和第二章由何顺利翻译,第三章、第四章和第五章由顾岱鸿翻译,第六章和第九章由张红玲翻译,第十二章、第十三章和第十四章由田树宝翻译,第七章由高旺来翻译,第十章和第十一章由田冷翻译,第八章由刘广峰翻译,附录由门成全翻译。全书由何顺利、顾岱鸿、田树宝统一校对。研究生张俊璟在翻译过程中做了大量辅助工作,在此表示感谢。

限于译者水平,翻译错误与不当之处在所难免,望读者指评指正。

译者

2009年1月

原书前言

大多数气井产出物中含有水或凝析液,当气井压力和产量下降时,液体开始在管柱内积聚。本书介绍了预测和分析积液的方法,也列举了一些在油气工业中已经证明行之有效的方法。采用这些方法可以消除或降低井底积液的影响,从而改善气井生产。本书对气井管理和操作人员将有所帮助。

詹姆斯·利
亨利·尼肯斯
迈克尔·韦尔斯

目 录

1 绪论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 气井井筒多相流动	(1)
1.3 井底积液的原因	(3)
1.4 井底积液的危害	(3)
1.5 排水采气技术	(3)
1.6 生产气井中液体的来源	(5)
2 气井井底积液的诊断	(8)
2.1 引言	(8)
2.2 孔板压力峰值	(8)
2.3 流量递减曲线分析	(10)
2.4 套压上升且油压下降	(10)
2.5 压力测试确定油管液面	(11)
2.6 气井的动态监测	(12)
2.7 油套环空中的举升过程	(12)
2.8 停止产液	(14)
2.9 小结	(14)
3 临界流速	(16)
3.1 引言	(16)
3.2 临界流动概念	(16)
3.3 某一深度下的临界流速	(22)
3.4 水平井的临界流速	(23)
4 系统节点分析	(25)
4.1 引言	(25)
4.2 油管动态曲线	(26)
4.3 油藏生产动态曲线(IPR)	(26)
4.4 油管工作曲线和 IPR 曲线的交点	(28)

4.5	油管的稳定性和流动点	(30)
4.6	致密气藏	(30)
4.7	节点分析实例——确定油管尺寸	(31)
4.8	节点分析实例——降低井口压力	(32)
4.9	利用测试数据研究油管动态的节点分析方法	(32)
4.10	小结	(34)
5	油管尺寸筛选	(36)
5.1	引言	(36)
5.2	小尺寸油管的优缺点	(36)
5.3	选择小尺寸油管的原则	(37)
5.4	没有 IPR 曲线时油管尺寸的确定	(39)
5.5	生产实例 1——油管更换结果	(39)
5.6	生产实例 2——油管更换结果	(40)
5.7	油管尺寸调整前后的评价	(41)
5.8	油管的安装位置	(43)
5.9	当前油管末端悬挂小尺寸油管	(44)
5.10	小结	(44)
6	压缩作用	(46)
6.1	引言	(46)
6.2	节点法实例	(46)
6.3	致密气藏气井的压缩	(47)
6.4	柱塞气举系统中的压缩	(47)
6.5	有杆泵系统中的压缩	(47)
6.6	电潜泵系统中的压缩	(49)
6.7	压缩机类型	(49)
6.8	喷气式压缩机或者喷射器	(52)
6.9	小结	(54)
7	柱塞气举	(55)
7.1	引言	(55)
7.2	柱塞	(56)
7.3	柱塞周期	(57)
7.4	柱塞气举可行性分析	(58)
7.5	柱塞系统流程	(63)
7.6	问题分析	(67)
7.7	柱塞气举新概念	(78)

7.8	低产井的处理	(80)
7.9	柱塞气举总结	(82)
8	泡沫在排水采气中的应用	(85)
8.1	引言	(85)
8.2	液体移出的程序	(85)
8.3	泡沫排水筛选	(86)
8.4	泡沫基础知识	(88)
8.5	操作建议	(93)
8.6	小结	(99)
9	水力泵	(101)
9.1	引言	(101)
9.2	优缺点	(104)
9.3	1 $\frac{1}{4}$ in 射流泵	(106)
9.4	系统成本比较	(107)
9.5	水力泵实例	(108)
9.6	小结	(108)
10	有杆泵排水采气	(110)
10.1	引言	(110)
10.2	有杆泵工作原理	(111)
10.3	泵的抽空控制	(112)
10.4	防止气体进泵的气水分离器	(114)
10.5	通过有杆泵处理气体	(117)
10.6	液体回注到封隔器以下的地层	(120)
10.7	通过泵的示功图形状分析其他问题	(121)
10.8	小结	(123)
11	气举	(125)
11.1	引言	(125)
11.2	连续气举	(126)
11.3	间歇气举	(126)
11.4	气举系统构成	(127)
11.5	连续气举设计目标	(128)
11.6	气举阀	(128)
11.7	气举完井	(130)
11.8	无气举阀的气举	(135)
11.9	小结	(135)

12 电潜泵	(138)
12.1 引言	(138)
12.2 电潜泵系统	(138)
12.3 产气井	(140)
12.4 完井和分离器	(142)
12.5 产出水的回注	(143)
12.6 小结	(144)
13 螺杆泵	(145)
13.1 引言	(145)
13.2 螺杆泵系统的选择	(147)
13.3 参数优选和考虑因素	(149)
13.4 辅助设备	(153)
13.5 螺杆泵系统故障排除	(154)
13.6 小结	(155)
14 其他排水采气方法	(157)
14.1 引言	(157)
14.2 利用热力方法处理凝析水	(157)
14.3 间歇开采	(160)
14.4 油管/环空交替控制方法	(161)
14.5 油管流动控制方法	(161)
14.6 低于临界速度以下气井继续生产的油管内接箍方法	(161)
14.7 小结	(162)
附录 A 临界速度公式的推导	(164)
A.1 引言	(164)
A.2 方程的简化	(166)
A.3 Turner 方程	(166)
A.4 Coleman 方程	(167)
附录 B 柱塞气举方程的推导	(168)
B.1 引言	(168)
B.2 最小套压	(168)
B.3 最大套压	(169)
B.4 小结	(169)
附录 C 天然气基础知识	(171)
C.1 引言	(171)
C.2 相图	(171)

C.3	气体表观相对分子质量和相对质量	(171)
C.4	气体定律	(172)
C.5	Z 因子	(173)
C.6	气体地层体积系数	(174)
C.7	静态气柱下的井底压力计算	(174)
C.8	利用 Cullender 和 Smith 方法计算不产液气井的井底流压	(175)
C.9	产液气井的压降计算	(176)
C.10	气井产能表达式	(178)
单位换算表		(182)

1 绪 论

1.1 引言

气井积液是指气井中由于气体不能有效携带出液体而使液体在井筒中聚积的现象。气井中的液体逐渐累积导致产量下降,生产时间缩短,甚至停产。本书讨论了如何识别气井积液现象,如何解决这个问题,提出了几种诊断井底积液的方法,同时指出如何才能有效地降低井底积液对气井生产的影响。

本书介绍了多种常用的解决井底积液问题并有助于气井生产的方法。无论对于高产井还是低产井,积液都可能影响气井生产,具体情况取决于油管尺寸、井口压力及产液量。本书中将介绍以下内容:

- (1) 井底积液的识别。
- (2) 积液问题模型的建立。
- (3) 井筒积液最小化的气井设计问题。
- (4) 考虑积液问题气井的设计和分析方法。
- (5) 低产气井减小井筒积液影响的最佳方法及优缺点。
- (6) 应用不同人工举升方法排除积液的工艺过程及适应性分析。
- (7) 优选举升方法排除积液时应考虑的因素。

1.2 气井井筒多相流动

要研究气井中液体的影响,必须要了解流动条件下液相和气相的相互影响。

垂直管中的多相流动通常分为四种基本流型,如图 1-1 所示。不同的流型取决于在流动断面气相和液相的流速以及气相与液相含量。气井生产过程中任意时间内都可能存在这四种流型中的一种或多种。

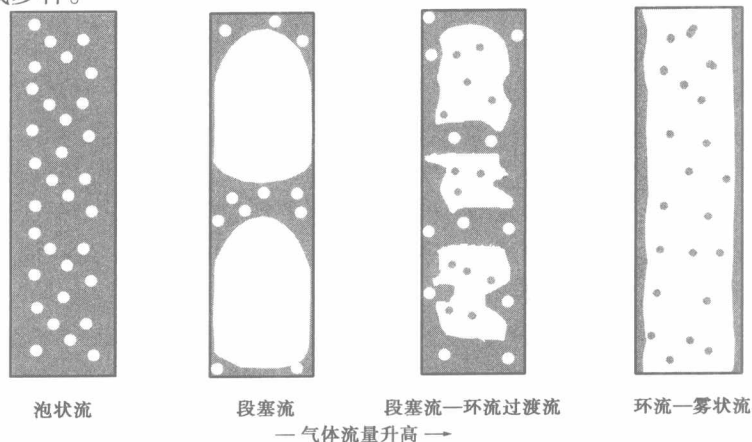


图 1-1 垂直多相管流流型示意图

泡状流:油管几乎全部充满了液体,自由气以小气泡的形式存在于液体中,超越液体逐渐上升,液体与管壁接触,气体起到降低混合物密度的作用。

段塞流:气泡在上升的过程中不断增大并聚集成较大的气泡然后变成段塞流;液相仍然是连续相,环绕在气体段塞周围的液体薄膜会向下滑脱。此时,气相和液相相对压力梯度的影响都很大。

段塞流—环流过渡流:气相变为连续相,液体为分散相,一部分液体以液滴的形式悬浮在气体中。尽管气相是压力梯度的控制因素,但是液相的影响仍然很大。

环流—雾流:气体是连续相,大部分液体以雾滴的形式存在于气体中。尽管管壁内覆盖着一层薄薄的液膜,但压力梯度主要受气相的影响。

在气井生产过程中,可能会出现一种或多种流型,图 1-2 所示的是一口气井从投产初期到停产关井过程中的流型变化。图中假设油管没有下到射孔段中部,因此从油管鞋到射孔段中部,流体是在套管内流动。

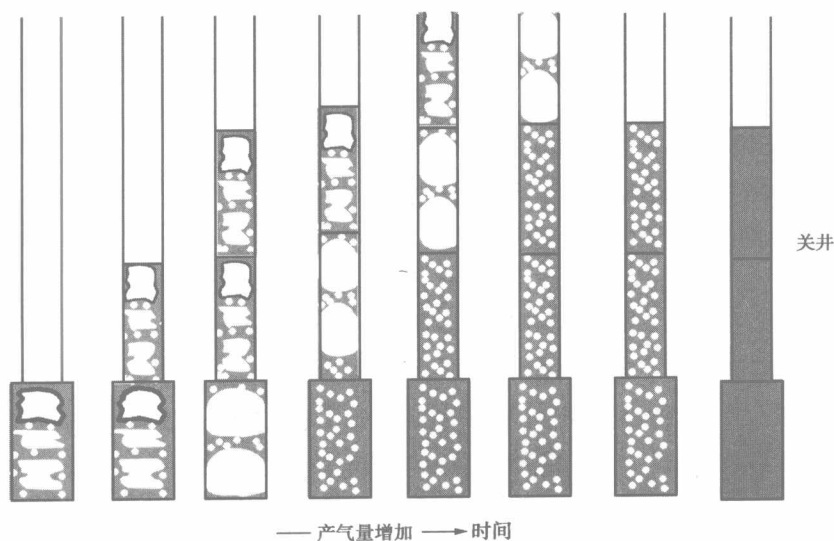


图 1-2 气井生产过程中的流型变化

投产初期,井筒内气体流速较高,油管内的流型主要为雾流,而从油管鞋到射孔段中部可能会出现泡状流、过渡流或段塞流。随着生产时间延长,产量下降,从射孔段到地面的流型会随气体流速的降低而改变。产气量下降导致产液量升高。井筒上部流型一般为雾流,但地面条件变化较大时也会出现过渡流。出现过渡流时,由于产气量持续降低,导致产量不稳定,过渡流会逐渐变为段塞流。过渡流一般伴随着产量的急剧下降。当井筒上部出现稳定的雾流时,井筒下部则可能出现泡状流或段塞流。

如果产气量持续递减,气体无法把液体携带至地面,井口处不稳定的段塞流可能会再次过渡成流量相对恒定的稳定流。此时,气泡会通过滞留在井筒中的液柱向上运动。

如果采取的措施不当,气井产量会持续降低直至最终报废。但气井也有可能存在积液的情况下,持续生产很长时间,但此时气体穿过液体后向上运动,不会携带出液体。

1.3 井底积液的原因

如果气体流速足够高,可以将一部分液体携带到地面。气体流速较高时,会形成雾流,液滴分散在气体中,只有少部分液体滞留在油管(也就是持液率低)或生产套管中。重力损失产生的压力损失较小。

根据洲际石油天然气契约委员会 2000 年的统计结果,美国 411793 口低产油井平均日产油 2.16bbl,223707 口低产气井平均日产气 $15.4 \times 10^3 \text{ft}^3$ 。对于那些处于边缘效益的低产气井,优化配产和排除积液可使气井继续生产。然而并不只有低产气井存在井底积液现象,有些气井尽管产气量较高,当油管尺寸较大或井口压力较高时也会产生积液。

由于摩阻的影响,产量较高的气井井筒压降较大;相反井筒积液产生的压降相对较小。这一点在本书以后的章节中还会进行详细的讨论。

井筒中气体流速随时间逐渐降低,而气体携带的液体速度下降得更快,液体逐渐凝结,形成段塞流,最后在井底形成积液,增加了液体在井内流体中的比重。气井生产过程中,井筒积液导致气井产量下降,甚至停产。

完全生产干气的气井很少。有些气井会直喷排液,流体向上流动过程中,由于温度和压力的变化,凝析油和水会冷凝出来;有时底水锥进或其他原因也可能导致液体流入井筒。

大多数情况下,气井排液方法与液体来源无关。若某些方法只针对特定的凝析液,此时必须首先确定凝析是形成积液的原因,否则不会取得好的效果。

1.4 井底积液的危害

井底积液会形成不稳定的段塞流,并导致气井产量下降。如果不能连续排除井筒积液,最后可能会导致气井产量很低。

如果气井产量很高,足以将大部分或所有液体携带出井筒,地层压力和产量会保持稳定,通过气井流入动态曲线(IPR)可以预测气井的产量(见第 4 章)。

如果气井产量太低,井底积液会造成井筒压降升高,增加液体对气层的回压,导致产气量下降,并可能低于所谓携液的“临界产量”。随着井底积液的增加、井底压力上升,导致产量下降或停产。

气井停产。气井生产后期,液体充满射孔眼,气泡只能穿过液体到达地面,此时气井以低产量稳定生产且没有液体产出,如果没有井史资料,有人可能就会认为这只是一口低产气井而不是由于井底积液造成的。

无论是高渗储层还是低渗储层,所有产水气井最终在气藏枯竭时都会出现井底积液。当气井产量较低时,即使是气液比非常高且产液量少的气井也会出现积液现象,致密储层(低渗透)的气井尤其如此。致密储层的产气量较低,气体在油管中的流速也很低。有些采用大直径油管的气井产量很高,在投产初期可能就会有产生井底积液现象。Lea、Tighe、Libson 和 Henry 曾介绍了井底积液及气田开发中一些常见问题及解决方法。

1.5 排水采气技术

下面将列举一些气井排水采气的方法,这些方法根据气藏压力进行分类,可以单独使用,也可以综合运用。

这里并没有把所有的方法都列举出来,如通过泵注系统将水注入到封隔器下,使气体从油

套环空中产出,这些特殊的方法将会在有关杆泵和电潜泵排水采气等章节中讨论;此外,本文也没有详细研究下泵深度和经济因素。

对于长期生产的气井来说,最经济的方法就是最优化方法,选择优化方法的标准是:该方法在同类气田中已经成功应用;可用蒸汽设备;设备可靠;有操作设备的人力资源以及良好的举升能力。

1.5.1 气藏压力大于 1500psi 的情况

- (1) 估算出气井最佳自喷流量。
- (2) 为了计算摩阻和将来有可能发生的积液效应,利用节点分析方法来估算油管尺寸。
- (3) 考虑使用连续油管的可能性。
- (4) 估算井口油压及最大产能下的最小油压。
- (5) 考虑环空流动或者环空和油管流动以降低摩阻效应。

1.5.2 气藏压力在 500 ~ 1500psi 之间的情况

对于中等压力的气井,为保持气井连续生产,采用小直径油管,或降低井口压力,使流量大于临界流量。

- (1) 低压系统。
- (2) 柱塞举升。
- (3) 小直径油管。
- (4) 降低井口压力。
- (5) 在较短的生产时间内进行常规抽汲。
- (6) 井底放空(环境不允许)。
- (7) 将表面活性剂注入油管或将液体注入到油管或套管。
- (8) 注水以增加地层压力。

1.5.3 气藏压力在 150 ~ 500psi 之间的情况

- (1) 更低的压力系统。
- (2) 柱塞举升——用于大直径油管气井。
- (3) 小直径油管。
- (4) 降低井口压力。
- (5) 表面活性剂。
- (6) 毛细管管柱,通常直径较小。
- (7) 用有杆泵进行抽空控制。
- (8) 间歇气举。
- (9) 水力射流泵或者水力活塞泵。
- (10) 抽汲。
- (11) 注水。

1.5.4 特低压力系统(气藏压力低于 150psi)

- (1) 有杆泵。
- (2) 有些气井使用柱塞排液。
- (3) 毛细管管柱。

- (4)降低井口压力。
- (5)间歇气举,替换式气举。
- (6)水力喷射泵或者水力活塞泵。
- (7)抽汲。
- (8)注水。

1.6 生产气井中液体的来源

许多气井不仅产气而且也会产出凝析油和水。当气藏压力低于露点压力时,液态凝析物会随气体一起产出;当油藏压力高于露点压力,凝析油先以气相的形式随气体一起进入井筒,然后在油管或分离器中凝结。

产出水可能有以下几种来源:

- (1)边底水的锥进。
- (2)如果底水能量充足,底水最终会侵入井筒。
- (3)水可能会从距产层较远处的其他产层进入井筒。
- (4)与气体一起产出的游离地层水。
- (5)水或烃类随气体一起以气相状态进入井筒并且在油管中冷凝成液体。

1.6.1 水锥

即使气井下部的水层没有射孔,当产气量足够大时,气体也会将地层水携带到地面。由于水平井的产层和下部水层之间的坡度较小,当产气量较高时也会发生这种现象,通常不叫“锥进”而是叫“脊进”。

1.6.2 地层水

由于压力的影响含水层中的水最终会到达井筒,并导致井底积液。

1.6.3 其他层的产出水

裸眼井或多层合采井通常会发生这种情况,但同时也可以将这种缺点变成优点,当产层下部存在水层时,可以通过泵入或利用重力的作用,将水注入到下部的的水层,从而使气体产出到地面,而不会发生井底积液现象。

1.6.4 地层游离水

当含气层和含液层厚度较薄或有其他原因时,各种地层水可能会随气体一起进入井筒。

1.6.5 凝析水

当饱和气体或部分饱和气体进入井筒时,射孔孔眼处不会有液体析出,但井筒上部可能发生凝析现象。在生产管柱中,发生凝析的地方压力梯度会升高,凝析也与流速有关,凝析后液体会滑落并堆积在孔眼或产层处。

水在大气中的凝析现象很常见(如下雨)。在一定的压力和温度下,一定量的水蒸气会与大气中的气体保持平衡。当温度降低或压力上升时,维持这种平衡所需要的水量就会减少,而多出来的水蒸汽会凝析成液相;如果温度升高或者压力降低,为了维持这种平衡,自由水(如果有的话)就会气化成气相。

烃类气体中也会发生类似的现象,在一定的地层温度和压力下,产出气中可能会含有一定量的水蒸气,图 1-3 给出了不同温度压力下水在天然气中的溶解度,单位为 $\text{bbl}/10^6\text{ft}^3$ 。由图可以看出,当压力低于 500psi 时,随着压力降低,含水率会急速升高。