

QICANG DONGTAI MIAOSHU HE SHIJING

气藏动态描述和试井

(第二版)

庄惠农 编著

石油工业出版社

气藏动态描述和试井

(第二版)

庄惠农 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书从储层动态描述的新视角,讲述如何应用试井资料研究油气藏、研究储层,把动态分析工作提升到一个新的层次。在书中不但讲解了试井的基本理论,还以“图形分析”为基本手段,讲解不同类型储层的流动特征,使试井分析更加形象化、实用化。书中还以中国近年来气田动态研究中的大量的计算机软件分析实例,验证了气藏动态描述的应用。

本书实用性强,可供从事油气田开发、油气藏工程等专业的工程技术人员及油田管理人员学习参考,也可用于石油大专院校相关专业学生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

气藏动态描述和试井/庄惠农编著. —2版.

北京:石油工业出版社,2009.12

ISBN 978-7-5021-7426-2

I. 气…

II. 庄…

III. ①气田动态—分析②采气井—试井

IV. TE3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 178636 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) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2009 年 12 月第 2 版 2009 年 12 月第 4 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 28.5

字数: 722 千字 印数: 5501—7500 册

定价: 98.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

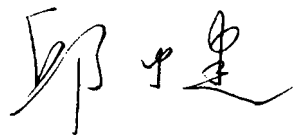
版权所有,翻印必究

第一版序言

本书作者庄惠农 1962 年毕业于北京大学，学习的专业是航空空气动力学。当时正值大庆油田发现、我国石油工业蓬勃发展的形势下，作者毕业后被分配到大庆油田，随即投身于油气田勘探开发的行列之中，并在童宪章院士等老一辈专家的感召下，开始研究石油试井。多年来持之以恒，锲而不舍，在专业领域取得了可喜的成绩。从天上到地下，变化不可谓不大。以学校中扎实的理论训练为基础，加上在现场取得的实践知识，终于结出了丰硕的果实。

本书从新的视角——“储层动态描述”来看待试井研究，把动态分析工作提升到一个新的层次。作者长期以来工作在油田现场，坚持理论联系实际。到中国石油勘探开发研究院工作以后，积极投入到我国大中型气田开发过程的研究中。特别是近 10 年来，在对靖边气田、克拉 2 气田、千米桥气田、苏里格气田等多个气田试井资料分析研究中，提出了许多仅从静态地质资料未能认识到的气田重要特征，为推动这些气田合理开发作出了贡献。这些珍贵的资料和经验融入本书，将对今后的油气田开发提供很好的借鉴。

该书涉及油气藏动态研究及现代试井分析的各个方面，是一本指导和规范油气田动态研究，特别是气藏动态研究的有实用价值的好书。

Handwritten signature in black ink, consisting of stylized Chinese characters '邱建' (Qiu Jian).

2003 年 9 月

第二版前言

《气藏动态描述和试井》一书第一版于 2004 年出版后，目前已售罄。各位专家和热心的读者在赐读本书过程中，对第一版内容及印刷错误提出多处改进意见。另外初稿完成后至今 4 年多来，作者有幸进一步参加国内一些大中型气田的动态研究工作，对气藏动态描述的理解又加深了一步，期间提出了“气井动态产能”的新概念，推导了“稳定点产能二项式方程”，用此方程确立气井的初始产能和动态产能，并在多个气田推广应用。在此基础上，对该书第一版中的一些重要内容作了补充和修改。

第一章概论中增加了关于气藏动态描述方法的综合论述，提出了以确定气井产能为核心内容的“气藏动态描述的新思路”。从而把气井初始的和动态的产能分析，气井动态模型的建立和追踪分析，气藏初始静压力梯度和后续的动态地层压力的追踪分析，以及解读地质基础条件对地下渗流的影响等几个方面结合在一起，形成了气藏动态描述研究的完整体系，用于气田开发过程中气藏研究。

第三章增加了第六节：稳定点产能二项式方程。这一部分针对目前产能试井资料录取、产能分析及产能指标应用于气田研究时出现的种种困扰，提出了针对气田区内每一口气井的，用投产初期的一个稳定产能测点，建立一种简单而实用的初始二项式方程方法，并以此为基础推导和建立后续的动态产能方程，追踪研究每一口气井的动态 IPR 曲线，动态无阻流量和动态的供气边界地层压力。这一方法已在多个气田现场，针对直井和水平井推广应用。

第六章内容做了部分调整。增加了苏里格气田苏 6 加密井区最新取得的干扰试井成果。这是在该地区已投产的千余口生产气井中，首次观测到井间压力干扰，由此确认了这一上万亿立方米储量含气区的临界连通井距。同时删去了较早录取的部分油藏实测例。

第八章全面改写，充实了近年来运用动态描述方法进行气藏研究的现场实例，是全面体现气藏动态描述新思路的重要内容。这一章除原有的靖边气田和克拉 2 气田以外，还收入了苏里格气田、榆林南气田和东方气田的气藏动态描述及追踪研究成果。这些内容同时也记录了这些气田的领导和专家，与作者服务的廊坊分院及作者本人，就气田开发中遇到的种种疑难问题合作攻关的成果，

凝结了我们共同的心血与友谊，令作者终生难忘。

除上面的主要补充内容以外，还改正了本书第一版中一些公式和图件的不妥之处。在此再一次感谢关心、爱护本书的各位专家，感谢他们的鼓励与帮助。

作者

2008 年 8 月

第一版前言

用试井方法，或者说用动态分析方法评价一个油气层，早在 20 世纪 40 年代就已在外国得到了应用。在我国，老一代的试井专家童宪章院士于 1960 年曾带领工作组亲临大庆油田现场，用外国发明不久的“赫诺方法”分析早期勘探井的测压资料，准确计算了储层的原始压力、渗透率、表皮系数等参数，开辟了我国油气田试井研究的先河。

作者本人 1962 年毕业后来到大庆，被老一辈专家的科学精神所感动，把自少年时代即萌生的献身航空事业的梦想，落实到了地下渗流研究，并转而做起了地下渗流研究中最接近油田实际的试井，不想一做就是 40 年。这 40 年不知爬了多少次井口，读了多少张测压卡片，作了多少口井的试井分析，也不知走了多少路。但终于有一天，悟出了一个简单的道理，所有这一切忙碌，就是要在地质研究以外，能够对油气储层另作一番描述，发现那些地质家们用静态方法看不到的东西，这就是本书名称的前半部分——“气藏动态描述”的由来。

40 年来试井本身也发生了很大的变化，从简单的压力恢复曲线分析，发展成了目前的“现代试井”。生产了高精度的电子压力计，发表了大量的理论研究成果，开发了完善的试井解释软件，从而形成了从动态角度描述储层的新的理念，而且在认识油气储层方面屡试不爽。

天然气藏的勘探开发与油藏有所不同，天然气的开发强调上下游一体化，早期的评价研究更突显其重要性，对动态描述的需求也更迫切。作者近 10 年来一直参与其中，体会也就更为深切。通过动态描述把气藏内部地质结构了解清楚了，开发的效益就会更好一些，否则将会给下一步的开发工作埋下隐患。

本书介绍的内容，大多是作者本人 40 年来对试井方法的解读和参与现场试井工作的体会。特别那些用来验证理论模型的现场实例，大多是作者本人实地参与录取和分析的。像早年在胜利油田录取的干扰试井和脉冲试井实例，20 世纪 90 年代靖边气田试采井的动态资料分析研究，近年来克拉 2 气田勘探和开发准备工作中的动态描述研究，鄂尔多斯盆地上古生界气藏的试采井动态模型评价研究，都是作者本人学习试井、理解试井的最好的课堂。

在编写这本书的过程中，得到了各方面的热情支持和帮助。油气田勘探开

发方面老一辈的专家王乃举、沈平平、孟慕尧、潘兴国、朱亚东、刘能强、陈元千、袁庆丰等，都耐心地给予指点，帮助改正了初稿中的许多不妥之处。中国石油天然气股份有限公司勘探与生产分公司的李海平副总工程师及中国石油长庆油田分公司的老领导金忠臣同志（原副总经理）、闵祺总地质师和塔里木油田的张福祥、长庆油田的谭中国等许许多多同志，帮助提供并完善了相关实例，在此一并表示感谢。这里还要感谢我所在的中国石油勘探开发研究院廊坊分院，感谢李文阳院长，正是他努力构建的科学研究氛围，使我在晚年得以发挥余热，在为油气田开发研究尽力作出贡献的同时，产生了写作这本书的决心和构想。另外还要特别提到的是，近 10 年来，作者本人所参与的有关气藏试井方面的研究工作，大都是由韩永新博士协助共同完成的，在针对靖边气田、克拉 2 气田、千米桥气田、苏里格气田、和田河气田、涩北气田等大中型气田的研究工作中，在解读气藏特征的同时，共同形成了新的理念。在此深表谢意。

这里还要说到的是，作者 40 年来仅仅就作了这么一件小事。在回顾以往、总结过去，把切身体会融入本书的过程中，不由得时时想起培育过我的各位老师，是他们教给我做学问时要实事求是、谨慎求证，处世时要诚信待人。虽然这些老师大多已过世，但我仍然以此微薄的成果奉献给他们。

最后还要感谢我的家人，我的夫人石彩云审阅了初稿的全部文字，并把它们转化成电子版文档，帮助我跨越了晚年这个小小的台阶。

作者

2003 年 8 月

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 编写这本书的宗旨	(1)
第二节 气田研究中试井所发挥的作用	(2)
一、气田勘探阶段	(4)
二、气田开发准备阶段	(6)
三、气田开发阶段	(8)
第三节 试井研究中的关键环节及运作方式	(9)
一、试井研究中的正问题和反问题	(9)
二、如何理解试井研究中的正问题	(10)
三、试井分析方法描述气藏——解反问题	(13)
四、试井解释软件支持下的气田试井研究	(14)
第四节 现代试井技术的特色	(15)
一、现代试井是解读储层特征的三大支柱技术之一	(15)
二、气藏动态描述方法	(17)
第二章 基本概念和气体渗流方程式	(21)
第一节 基本概念	(21)
一、稳定试井和不稳定试井	(21)
二、试井分析模型和试井解释图版	(22)
三、无量纲量和试井解释图版中的压力导数	(23)
四、井储效应和井储效应在图版曲线上的特征	(24)
五、天然气在地层中的几种典型的渗流状态及在解释图版上的特征	(26)
六、表皮效应、表皮系数和折算半径	(33)
七、开井时的压力影响半径	(34)
八、层流和湍流	(38)
第二节 气体渗流方程式	(40)
一、储层作为连续介质的定义	(40)
二、流动方程式	(41)
第三章 气井产能试井方法及实例	(56)
第一节 气井产能及无阻流量	(56)
一、气井产能的含义	(56)
二、气井产能指标的理解	(57)
三、气井的初期产能、延时产能和配产产量	(58)
第二节 三种经典的产能试井方法	(59)
一、回压试井法	(59)
二、等时试井法	(60)

三、修正等时试井法	(61)
四、简化的单点试井	(62)
五、各种测试方法压差计算示意图	(63)
第三节 产能试井资料整理方法	(63)
一、两种产能方程	(63)
二、两种产能方程的差别	(65)
三、产能方程的三种不同压力表达形式	(67)
第四节 影响气井产能的参数因素	(71)
一、均质无限大地层的产能方程中系数 A 、 B 的表达式	(72)
二、流动进入拟稳态时的产能方程	(73)
第五节 结合修正等时试井进行的气井短期试采	(75)
一、试采井的压力模拟	(75)
二、修正等时试井无阻流量计算方法的改进	(76)
第六节 稳定点产能二项式方程	(78)
一、提出稳定点产能二项式方程的背景	(78)
二、稳定点产能二项式方程	(83)
三、稳定点产能二项式方程理论推导和建立方法	(85)
四、现场应用实例	(89)
五、动态产能方程的建立方法	(93)
六、水平井稳定点产能二项式方程	(94)
第七节 气田开发方案设计中的产量预测	(103)
一、具备试气资料井的产能预测	(103)
二、开发方案设计井的产能预测	(105)
第八节 产能试井中几个问题的讨论	(111)
一、产能测试点的设计	(111)
二、为什么计算的无阻流量有时会低于井口实测产量	(114)
三、回压试井法测算无阻流量时存在的问题	(115)
四、单点法产能计算方法及误差分析	(118)
五、免去稳定流动点的产能试井	(124)
六、关于井口产能	(125)
七、用手工方法计算产能方程系数 A 、 B 和无阻流量	(125)
第四章 压力梯度法分析气藏特征	(129)
第一节 勘探井早期压力梯度分析及实测例	(129)
一、压力数据的采集及资料整理	(129)
二、压力梯度分析	(130)
第二节 地层条件下天然气密度及压力梯度计算	(132)
第三节 气田开发后的压力梯度分析	(133)
第四节 压力梯度分析的一些要点	(134)
一、测压资料录取的准确性	(134)
二、压力梯度分析应与地质研究紧密结合	(134)

第五节 气田投入开发后动态地层压力的获取	(135)
一、气田生产过程中的动态生产指标	(135)
二、几种不同含义的地层压力	(135)
三、用动态地层压力进行气藏分析	(137)
第五章 气藏动态模型和试井	(139)
第一节 概述	(139)
一、气藏的静态模型和动态模型	(139)
二、气井的压力历史标志着气井的生命史	(143)
三、用不稳定试井曲线的图形特征研究储层的动态模型特征	(149)
第二节 压力的直角坐标图——压力历史图	(159)
一、气井压力历史图的内容和画法	(159)
二、压力历史展开图中显示的地层和井的信息	(162)
第三节 压力单对数图	(164)
一、用图形特征计算参数的几种单对数图	(164)
二、单对数图用于试井软件分析	(168)
第四节 压力和压力导数的双对数图版及模式图	(169)
一、双对数图和现代试井分析图版	(169)
二、典型的特征图形——试井分析模式图	(185)
第五节 不同储层类型不稳定试井特征图及实例	(188)
一、均质地层的特征图(模式图形 M—1)及实例	(188)
二、双重介质地层的特征图(模式图形 M—2, M—3)及实例	(195)
三、具有压裂裂缝的均质地层特征图(模式图形 M—4, M—5)及实例	(203)
四、部分射开地层的特征图(模式图形 M—6)及实例	(212)
五、复合地层的特征图(模式图形 M—7, M—8)及实例	(216)
六、带有不渗透边界地层的特征图(模式图形 M—9~M—13)及实例	(223)
七、带有边界的裂缝发育带特征图(模式图形 M—14, M—15)及实例	(236)
八、凝析气井的特征图及实例	(244)
九、水平井试井的特征图(模式图形 M—16)及实例	(254)
第六章 干扰试井和脉冲试井	(258)
第一节 多井试井的用途及发展历史	(258)
一、多井试井的用途	(258)
二、多井试井方法的历史发展	(260)
三、如何做好干扰试井的测试和分析	(262)
第二节 干扰和脉冲试井原理	(265)
一、干扰试井	(265)
二、脉冲试井	(274)
三、多井试井设计	(278)
第三节 用多井试井法研究油气田的现场实测例	(282)
一、靖边气田(陕甘宁中部气田)的干扰试井研究	(282)
二、苏里格气田的干扰试井研究	(288)

三、胜利油田营 8 断块气井干扰试井研究·····	(296)
四、油田注采井之间连通性及断层密封性的测试研究·····	(297)
五、垦利古潜山油田的多井试井综合评价研究·····	(302)
第七章 煤层气井试井分析 ·····	(313)
第一节 煤层气井试井·····	(313)
一、煤层气井试井在煤层气层研究中的作用·····	(313)
二、煤层气试井与一般油气井试井的差别·····	(314)
第二节 煤层气层的渗流机理及试井模型·····	(315)
一、煤岩层的结构特征及煤层甲烷气的渗流·····	(315)
二、七种典型的煤层气试井动态模型·····	(316)
三、单相水裂缝均质流的特征及试井资料解释方法·····	(317)
四、甲烷气解吸条件下的单相流动及试井分析方法·····	(317)
第三节 煤层气井注入、压降试井方法·····	(321)
一、注入、压降试井装备及工艺·····	(321)
二、注入、压降试井设计·····	(322)
三、注入、压降试井资料的测评分析方法·····	(323)
第四节 煤层气井注入、压降试井实测资料分析解释·····	(327)
一、解释方法·····	(327)
二、实测例分析·····	(328)
第八章 气田试采和气藏动态描述 ·····	(332)
第一节 中国特殊岩性气田的试采·····	(332)
一、中国的特殊岩性气田·····	(333)
二、试采是解决特殊岩性气藏开发的有效途径·····	(334)
三、试采气井的工作制度安排·····	(335)
四、以气井试采资料为依据的储层动态描述·····	(339)
第二节 靖边气田开发准备中的气藏动态描述·····	(339)
一、靖边气田的地质概况·····	(339)
二、焦点问题·····	(339)
三、开发准备阶段的动态研究·····	(340)
第三节 克拉 2 气田短期试采和对气藏特征评价·····	(344)
一、地质概况·····	(344)
二、克拉 2 气田试井分析研究步骤及取得的认识·····	(344)
三、对克拉 2 气田的气藏描述·····	(372)
第四节 苏里格气田气藏动态描述追踪研究·····	(373)
一、综合情况·····	(373)
二、苏里格气田的地质概况·····	(374)
三、苏里格气田的动态描述过程·····	(374)
四、典型井的动态描述结果·····	(377)
五、从苏里格气田动态描述中取得的认识·····	(383)
第五节 榆林南气田气藏动态描述·····	(385)

一、综合情况·····	(385)
二、主力产区生产气井的产能分析·····	(387)
三、建立气井动态模型并进行追踪研究·····	(388)
四、榆林南气田的压力梯度分析·····	(390)
五、榆林南气田与苏里格气田储层特征比较·····	(392)
第六节 东方气田的气藏动态描述研究·····	(394)
一、综合情况·····	(394)
二、初始产能和动态产能的评价·····	(396)
三、气井和气藏的动态描述研究·····	(397)
四、东方气田长期生产动态资料变化规律分析·····	(399)
五、对于东方气田的综合认识·····	(400)
第七节 特别复杂岩性气田的动态研究问题·····	(401)
一、特别复杂的特殊岩性气田·····	(401)
二、渗流过程的双重介质和静态地质评价中的双重介质·····	(401)
三、气田试采和气藏动态描述是有效的研究手段·····	(403)
第九章 试井设计·····	(408)
第一节 试井设计的步骤和资料录取·····	(408)
一、试井设计的步骤·····	(408)
二、资料录取的基本要求·····	(412)
第二节 针对不同地质目标的不稳定试井模拟设计要点·····	(412)
一、均质地层试井设计·····	(412)
二、双重介质地层试井设计·····	(413)
三、均质地层压裂井试井设计·····	(414)
四、具有阻流边界地层的试井设计·····	(414)
五、气井产能试井设计·····	(415)
六、多井试井设计·····	(415)
七、试井设计师的责任和理念·····	(415)
参考文献·····	(416)
附录 1 符号意义及单位(法定)·····	(420)
附录 2 不同单位制下常用量的单位(不包括无量纲量)·····	(427)
附录 3 法定单位与其他单位的换算关系·····	(429)
附录 4 法定单位下试井常用公式·····	(431)
附录 5 不同单位制下公式系数的转化方法·····	(438)

第一章 概 论

第一节 编写这本书的宗旨

一般认为,现代试井发展于 20 世纪 80 年代初。在我国,随着改革开放的进展,差不多是同步引进了现代试井的方法、软件和先进的测试仪表及工具。回顾近 30 年的进展,可以看到,在许多重大气田的发现、开发准备及开发运作中,已成功运用了这门新兴学科的知识,这是十分可喜的。但另一方面,也必须看到,在某些地区、某些时候,现代试井应用得还不是那么理想,还有需要改进的地方。

发展到现阶段的现代试井,已不同于二三十年前的试井。正如其他学科那样,由于计算机软件的应用,如今的科技人员已很少依赖于手工的计算。因此,试井分析人员和油藏工程师,已不再需要频繁查阅试井书籍中的那些复杂的公式,用计算器去进行繁琐的计算。往往只须点击一些菜单项,即可得到所需的结果。

那么是不是说试井工作就变得很容易了呢?正相反,随着研究工作的深入,试井工作不是更容易了,而是遇到了更大的挑战。

首先,试井分析已不仅仅要求解释诸如储层渗透率等简单的参数,而且还要求提供介质类型、边界情况等有关深入储层内部的信息,最终要得到一个关于气井和气藏的“动态模型”——一个真实反映气井和气藏情况的动态模型,将用于气田评价和动态预测。

在我国,由于储层的类型十分丰富,工作的难度显得更为突出。在介质类型上,有砂岩孔隙性储层、碳酸盐岩的裂缝性储层、生物礁块状灰岩储层和火山岩团块状不规则分布储层;在储层平面结构上,有延伸较好的大面积均匀分布的地层,有断层切割的具有复杂边界的储层,还有河流相沉积形成的条带形岩性储层;从流体类型上看,有普通的干气气藏、凝析气藏,还有带有油环和边底水的气顶气藏;从储层压力上看,有正常压力系数的气藏,也有超高压的巨厚气藏,欠压的气藏。可以说是五花八门、丰富多彩。这无疑给试井分析人员和油藏工程师提出新的挑战。

另外,压力资料的质量已不是 30 年前的情况。那时的压力资料是用机械式压力计录取,从压力卡片上读出的压力数据,多则上百个点,少的不过十几个点。以这样的压力资料解释出的结果,不但内容简单,而且在解释上难得有什么争议。而目前,电子压力计录取的资料,动辄数万,多的上百万个压力点。不但测出压力恢复段,而且还要测出多次开井、关井情况下的压力变化“历史”。如果通过分析得到的“试井模型”与实际地层稍有差别,马上从检验过程中显示出来,来不得半点马虎。

因此可以说,现在的试井工作,已不单是油藏工程师手中的几个公式和简单的运算,而是一个系统工程。这个系统工程包含着以下几个内容:

- (1) 勘探开发的主管人员,必须适时提出恰当的测试项目;
- (2) 优化的试井设计;
- (3) 优质的现场压力、产量资料录取;
- (4) 运用试井分析软件解释压力资料,并综合地质和施工工艺资料进行储层参数评价;

(5) 结合气井试采时录取的压力、产量史资料, 进行气井和气藏的动态描述;

(6) 必要时研究新的试井模型, 充实到试井软件中加以应用。

以上这几方面的内容, 分属不同的环节和部门。但又彼此关联, 影响着最终成果:

(1) 只有当主管部门的领导深刻认识到试井资料在描述气藏特征、指导气田开发中的作用, 才能及时安排测试项目, 给予资金支持, 使项目得以实施。

(2) 只有执行一个优化的设计, 才能事半功倍, 录取到能够说明问题的压力资料。

(3) 压力资料的录取, 往往是雇请测试队完成。测试队虽然是照合同办事, 但他们应熟知什么是好资料, 如何才能达到设计要求。试井监督必须按设计要求验收资料, 保证资料的录取成功率。

(4) 资料分析最终体现测试结果的应用价值, 本书把这种分析归纳为“气藏动态描述”, 它是指, 以气井中录取到的压力、产量等动态资料为主要依据, 对气井的产气潜力做出评价, 同时对供气范围内的储层结构、储层参数、边界分布状况、单井控制的动储量等影响产气能力及产能稳定性的地质条件做出描述, 从而指导气田产能规划和开发方案设计。这往往是由动态分析人员和油藏工程师协作完成的, 而且这种分析结果只有取得主管部门的认可, 才能发挥应有的作用。

编著本书的宗旨就是, 从研究气田出发, 讲解如何站在各个不同环节的不同角度, 共同去认识试井资料, 认识气藏, 开发好气藏。

编写本书采取的做法是:

(1) 应用试井方法不仅着眼于气井, 更要着眼于气藏。从气田和气藏的研究出发来分析试井资料, 这是作者力图达到的目标。

(2) 建立一种图形分析方法。图形分析方法的基础是, 从渗流力学基本理论出发, 给出一套压力曲线的模式图, 把储层中的渗流特征与试井曲线特征, 建立有机的联系, 从而可以便捷地从测得的试井曲线, 了解储层的情况。

(3) 实例分析将是本书的又一重要特点。本书不但介绍气井的试井分析应用实例, 还要介绍应用试井进行气田研究的实例; 不但介绍一些成功的实例, 也会介绍通过不断摸索, 从失败的教训中总结经验, 最终取得成功的实例。

(4) 虽然书中也会用一章的篇幅介绍一些基本公式, 但本书将不会对每一个公式讲解如何计算和应用, 更不会去加以推导。有关这些公式的推导和应用, 有一些很好的专著可以参考^[1,2]。本书的出发点是, 读者在了解这些公式的前提下, 通过试井解释软件进行解释。本书将帮助读者把握正确的解释分析技术, 特别是针对气田的研究方法。

因此, 本书是一本现代试井应用的参考书。希望读者能在本书的帮助下, 理解现代试井的精髓, 取好、用好试井资料, 从而对气藏做出更符合气田实际的描述, 以试井为手段建立并确认气藏的动态模型。

第二节 气田研究中试井所发挥的作用

在气田整个勘探开发过程中, 试井发挥着不可或缺的作用。从一个新气区的发现井开始, 到落实气田的储量、进行开发建设, 直至气田开发生产的整个过程中, 在确认气层的存在、测取气井的产能、了解储层的地层参数、进行气田开发方案设计和开发后动态分析等方面, 无一不依靠试井。在表 1.1 中, 详细标明了勘探开发不同阶段, 试井所能发挥的作用。

表 1.1 试井在气田勘探开发中发挥的作用

实施项目	测试分析内容	了解储层含气情况	测试储层地层压力	产能测试 确认井的 无阻流量	不稳定试 井解释储 层渗透率	表皮系数 评价钻井 完井质量	压裂裂缝 长度及导 流能力	确定裂缝 性储层的 双重介 质参数	提供气井 生产时的 湍流系数	确定储层 的不渗透 的边界分布	干扰试井 测定储层 的横向 连通性	推测气藏 气井控制 的动储量	核实气藏 的动储量
		★	★	☆	★	★							
气田勘探阶段	勘探井钻探过程的 DST 测试	★	★	☆	★	★							
	勘探井完井试气	★	★	★	★	★	☆						
	详探井的 DST 测试 及完井试气	★	★	★	★	★	☆	☆					
	含气区块的储量评价	■	■	■	■	■	□	□					
开发准备阶段	开发评价井的产能 试井和其他不稳定试井	★	★	★	★	★	★	★	★	☆	☆	☆	
	酸化压裂措施改造		★	★	★	★	★	☆	★	☆			
	开发评价井的试采 和延长试井		★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
	气田储量核实		■	■	■	■	□	■		■	■		■
气田开发	气田数值模拟 制订开发方案		■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■
	气田动态监测		★	★	★	★	☆	☆	☆	☆	☆		★
	调整井的完井试气	★	★	★	★	★	★	★	★	☆			★

注：★——必须实施的项目；☆——可能实施的项目；■——必须使用的参数；□——可能使用的参数。

一、气田勘探阶段

1. 勘探井的 DST 测试

当一个新探区发现了有利的构造以后，部署了首批勘探井。在钻井过程中，通过气测或随钻测井，有可能发现油气显示。这时，这些油气显示是否意味着找到了能够产出工业气流的油气层，是没有把握的。若要确认油气层的存在，必须采取 DST (Drill Stem Test, 又称钻杆测试) 测试的方法。通过 DST 测试，如果测试层表现出旺盛的产气能力，则要进一步测试储层的压力和产量，并用不稳定试井方法，初步评估储层的渗透性，以及钻井时有没有对地层造成伤害。

旺盛的产气能力，预示着一个新的气田的诞生，而 DST 测试取得的产量、压力数据，则是新气田诞生的直接证据 (表 1.1)。

2. 勘探井的完井试气

进一步核实气田的规模及产气能力，一般要等到完井测试时进行。完井测试是在勘探井钻穿目的层并完钻以后，采取下套管或用其他方式完井，并进行逐层的完井试气。此时井壁稳定，测试条件较为完备，测试时间也更充裕，因此能够更确切地核实储层的各项参数。特别可以选择不同的流量试气，以推算气井的初始无阻流量 q_{AOF} 。

有一些低渗透的储层，例如鄂尔多斯盆地石炭、二叠系储气层和奥陶系的气层，有时单靠普通的射孔完井的方法达不到工业产气量，常常采取压裂或酸压的方法，经过强化措施来重新完井。此时重新评价表皮系数 S 及对压裂裂缝指标的分析，就显得十分重要 (以上测试项目参见表 1.1)。

一口井、一个测试层，射孔后达不到预期的产气量，有可能是储层的含气饱和度低，或者说白了就是没有气。但是，也有可能是有气，但是由于储层物性差，或钻井完井时对井底有伤害，形成了堵塞，而使气产不出来。区分产量偏低的原因，对于评价储层来说是至关重要的。

表皮系数是标志产气井受到伤害的重要参数。只要有条件录取到不稳定压力资料的测试层，必须重视这一环节。特别是对于高渗透储层，加上钻井液相对密度大，浸泡时间长，储层压力低时，形成的表皮污染会比较严重，影响产能的发挥。如果产层条件允许，可通过酸化来解堵；但是，如果通过试井，了解到储层的渗透性很低，譬如低到 0.1mD 或者更小，有时需要通过压裂措施来提高产能。

是否需采取强化措施，措施的效果如何，都要通过试井来作出判断。

3. 储量评估

一旦勘探井提供的产量资料及储层压力、储层渗透率等资料证实了气田的存在，立即会进入储量评估。

1) 储量评估时值得注意的几个问题

目前储量评估中更多的是应用静态资料，也就是物探、测井、岩心分析提供的数据，采用容积法计算地质储量。然后采取类比的方法，给定一个采收率系数，推算可采储量。

但是，通过近年来的实践，已看到仅靠静态参数评估的储量是有很大大风险性的。至少有以下几点值得引起注意。

(1) 对于成组系的裂缝性储层，容积法计算的储量误差非常大。

这里所说的组系性裂缝是指古潜山类型的、非均匀分布的裂缝性储层。这种裂缝性储层的特点是，油气存在于区域分布的、成组成系的、局部渗透性很高的裂缝系统中。基质岩块