

石油科学进展 27

裂缝油藏评价的 试井分析



石油工业出版社

京)

登录号	127078
分类号	TE344
种次号	011

石油科学进展 27

裂缝油藏评价的试井分析

[美]G. 达普拉特 著

孙庆和 冷鹏华 黄福堂 等译
李维安 校



石油0120995

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是石油科学进展丛书之 27, 具有综述石油开采新理论、新技术和新方法的特色。作者将试井分析技术应用于裂缝性油藏描述, 从一个新的角度研究了裂缝性油藏的特征。该书对于油藏工程技术人员在进行油气田开发生产和研究时有着重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

裂缝油藏评价的试井分析/

[美]达普拉特(Da Prat, G.)著;孙庆和 等译.

北京:石油工业出版社,1995.10

(石油科学进展 27)

书名原文:Well test analysis for fractured reservoir
evaluation

ISBN 7-5021-1582-X

I. 裂…

II. 孙…

III. 裂隙油气藏-试井-分析

IV. TE344

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里 2 区 1 号楼)

北京普莱斯特石油技术发展中心排版

地矿部河北测绘制印中心印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行*

*

787×1092 毫米 16 开 9 $\frac{1}{4}$ 印张 232 千字 印 1—2000

1995 年 10 月北京第 1 版 1995 年 10 月河北第 1 次印刷

定价:15.00 元

译者的话

《裂缝油藏评价的试井分析》一书由 G. DA PRAT 教授编著。该书内容丰富、概念严谨、图文并茂、语言简练,被 EISEVIER 科学出版公司列入《石油科学进展丛书》。它对从事油田开发、油田地质的科研、工程技术人员和院校师生有着重要的参考价值。

在翻译中略去原著中致谢、作者索引和题目索引三部分。

本书第一章、第四章和第五章由孙庆和译,前言、目录、第二章由冷鹏华译,第六章、第七章由黄福堂译,第九章、第十章由王超峰译,第三章、第八章由常玉珠译,全书由李维安审校。译文中不妥之处敬请读者批评指正。

译者

1995年5月

前 言

当我决定写一本关于天然裂缝油藏这样复杂问题的书时,我意识到,这方面技术正不断地改进,而且,由于使用高分辨率压力计和转子流量计证实了现存模型,试井解释新方法变得更实用了。

这本书并没有介绍裂缝油藏试井解释的新模型。但可以作为关于这些体系的压力和流量瞬变过程分析方面目前取得成果的指南。基本上,可将目录分为与不稳定试井有关的三个重要论题:

- ①定产量开采中的压力不稳定试井解释;
- ②递减曲线分析;
- ③干扰试井解释。

第一章提出了试井分析的概要。它包括压力导数法和压力及流量同步测量分析(褶积和反褶积技术)的回顾。熟悉这方面内容的读者可以略过这一章。

第二章提出了裂缝油藏的特征,并且分析了用于确定裂缝油藏的技术。包括过去 30 年中所提出的各种试井解释模型的概要介绍,并用实践的观点对比了这些模型。

第三章是关于裂缝油藏压力不稳定分析方面最重要的一章。提出了产生无因次井筒压力解的偏微分方程。同时考虑了拟稳态和瞬变介质间流体流动两种情况。通过他们的应用的实例说明了典型曲线的使用方法。

第四章介绍了最常用的试井解释方法——Horner 曲线的应用。同时给出了分析裂缝地层压力恢复数据的实际过程。

第五章提出了地层中无因次裂缝和基质压力解,或裂缝油藏的线源解。用模拟和现场实际例子说明了典型曲线的应用。

第六章讨论了裂缝油藏递减曲线分析的基本原理。尽管这个题目是涉及经济界限的关键因素——产量预测分析,但目前仍未受到足够的重视。由于缺少压力数据,而在估计裂缝油藏参数 ω 和 λ 时使用无因次瞬变流量解,随着流量计分辨率和精度不断改进,这种方法更有实用价值。

第七章提出了无因次基质和裂缝压力解,它需要研究裂缝油藏油井定压开采条件下的干扰试井数据。

第八章描述并列出了一个基本的计算机程序(用 FORTRAN 语言),用来解决一般双重孔隙体系问题。用户使用该程序,能得到特殊条件下的典型曲线。同时解释了对该程序所做的适当调整,包括瞬变的介质间流动和压力导数。

第九章是 Luis Prado 的著作,涉及到应用压力不稳定试井确定裂缝系统范围和裂缝走向。同时,提供了井周围均匀裂缝带中非稳定液体流动的解。

最后,第十章讨论了裂缝油藏中油井的开采,干扰试井和压力恢复试井设计。用数值例子说明了每种试井的规划和设计。

G. 达普拉特

目 录

译者的话

前言

第一章 试井分析	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 井筒储存和表皮效应	(1)
1.3 外部边界和地层间断	(1)
1.4 试井解释	(1)
1.4.1 偏微分方程	(2)
1.4.2 无因次压力解	(3)
1.4.3 无限油藏解	(4)
1.4.4 典型曲线拟合技术	(5)
1.4.5 半对数分析	(7)
1.4.6 干扰试井实例	(8)
1.4.7 流动状态识别.....	(10)
1.4.8 叠加原理—压力恢复试井.....	(10)
1.5 压力导数分析法.....	(11)
1.6 应用同时测压和井底流量的解释方法.....	(15)
1.6.1 褶积.....	(16)
1.6.2 反褶积.....	(20)
1.6.3 应用实例.....	(21)
1.7 井筒储存反褶积.....	(21)
第二章 天然裂缝油藏	(24)
2.1 引言.....	(24)
2.2 油藏描述.....	(24)
2.3 裂缝油藏的开采.....	(24)
2.4 试井分析.....	(26)
2.4.1 引言.....	(26)
2.4.2 实用的解释模型.....	(28)
2.5 目前试井解释模型的对比.....	(35)
第三章 定产量开采的不稳定压力分析	(38)
3.1 引言.....	(38)
3.2 偏微分方程.....	(39)
3.3 无因次井筒压力解.....	(43)

3.3.1	无限的外部边界	(43)
3.3.2	封闭的外部边界	(44)
3.4	典型曲线	(46)
3.5	应用实例	(53)
3.5.1	压力不稳定分析	(54)
第四章	压力恢复试井分析	(58)
4.1	引言	(58)
4.2	Horner 曲线	(58)
4.3	Pollard 曲线	(59)
4.4	改进的 Muskat 方法	(60)
4.5	应用实例	(63)
4.6	现场应用	(64)
4.7	分析裂缝油层压力恢复数据的实际程序	(66)
第五章	干扰试井分析——定产量生产	(71)
5.1	引言	(71)
5.2	基质和裂缝压力分布	(71)
5.3	应用典型曲线进行干扰试井分析	(73)
5.3.1	干扰试井实例	(74)
5.4	现场应用实例	(75)
第六章	定压开采中的不稳定产量试井分析	(82)
6.1	引言	(82)
6.2	偏微分方程	(83)
6.3	求解方法	(84)
6.4	不稳定产量	(85)
6.4.1	无限的外部边界	(85)
6.4.2	封闭的外部边界	(86)
6.4.3	短时间分析	(87)
6.4.4	长时间分析	(88)
6.5	产量预测分析	(89)
6.6	应用典型曲线进行递减曲线分析	(91)
6.7	典型曲线拟合实例	(93)
6.8	由递减曲线估计 $\omega, \lambda, \gamma_{eD}$ 和 S 值	(94)
第七章	定压开采中的干扰试井分析	(97)
7.1	引言	(97)
7.2	基岩和裂缝的压力解	(98)

7.3 典型曲线实际应用的设想.....	(99)
第八章 计算机辅助解释.....	(100)
8.1 引言	(100)
8.2 计算机程序	(100)
8.3 计算机辅助解释	(101)
8.4 修正的 Bessel 函数	(101)
8.5 解的导出	(103)
附录 A——试井的计算机解释	(105)
附录 B——计算机提供的修正的 Bessel 函数	(115)
第九章 应用压力不稳定试井确定裂缝范围和裂缝走向.....	(119)
9.1 引言	(119)
9.2 确定裂缝系统范围	(119)
9.3 用干扰试井确定裂缝走向	(124)
第十章 裂缝油藏的试井设计.....	(125)
10.1 引言.....	(125)
10.2 裂缝油藏的试井设计.....	(125)
10.2.1 压力恢复试井	(126)
10.2.2 干扰试井	(128)
10.2.3 产量递减试井	(131)
参考文献.....	(134)
单位换算表.....	(138)

第一章 试井分析

1.1 引言

这一章将讨论试井分析在油井条件和油藏特征评价方面的应用,这也是全书将致力探讨的问题。目前,市场上有许多该方面的书籍(Mattheus 和 Russel,1967;Earlougher,1977)。不熟悉这方面问题的读者可以参考这些书,它们既有理论也有现场实例,使读者更容易理解常用的试井分析方法。从实用观点出发,本章介绍了与试井数据获取及分析有关的基本概念。同时,概括了在试井分析领域已获得的先进方法,强调了目前最普遍使用的解释方法。

1.2 井筒储存和表皮效应

当进行压力和井底流量数据分析时,存在一种效应,根据这种效应大小的不同,它不仅能导致早期的数据无效,而且也能扰乱流动状态,例如可能是主要测试目标的径向流。这种效应称为井筒储存效应。图 1-1 是进行生产试井的典型设计图,这是压力恢复试井。为了解释井筒储存效应,假设井底无关井工具。压力表在关闭以前正在记录井底流压。由于井筒流体压缩性的关系,象关井这样的地面生产变化不能立即传递到井底(图 1-1a)。地层流体依据井筒和地层特征继续进入井筒一段时间。图 1-1b 中,早期的压力数据受到了井筒储存的影响,这种情况称为续流效应。

另一种涉及到井筒和井筒周围地层的效应是表皮效应。根据文献(Agarwal 等,1970;Ramay,1970),表皮效应是一种在井壁产生的附加压降(正的或负的)。图 1-2 是正(破坏)和负表皮效应的压力剖面图。这种压降或表皮效应对油井产量有影响。根据试井解释值,可以优化油井生产。试井测得的压降或表皮系数是总压降或视压降,它可以分成几项。在许多情况下,在专门的油井处理研究中,必须调查每一项。它们与下列条件引起的压降有关:

- (1)钻井引起井筒附近渗透率增加(增产处理);
- (2)紊流;
- (3)部分射孔;
- (4)斜井;
- (5)射孔条件(射孔密度和定相)。

1.3 外部边界和地层间断

可以认为井筒储存和表皮效应都是井筒的内部边界条件。与其相似,外部边界(外部泄油界限)或地层间断也将影响压力响应。

事实上,压力测试的目的就是获取地层类型及其流体的数据。在许多情况下,用这种测试证实地质模型预测的断层或边界(间断)的存在。这些断层或边界的存在将导致附加的压降,它是由于地层间断干扰井筒而产生的压降。如果油井在一个封闭泄油区或侧面有水驱的状态下生产,这口井将反映拟稳定态生产形式,或者在压力—时间曲线上呈现稳定的压力状态。

1.4 试井解释

试井解释的目的是通过压力—时间数据(图 1-1b)或同时测试的压力和油层流量数据(图 1-1a 和 b)的分析获取有关参数和函数。它们包括:

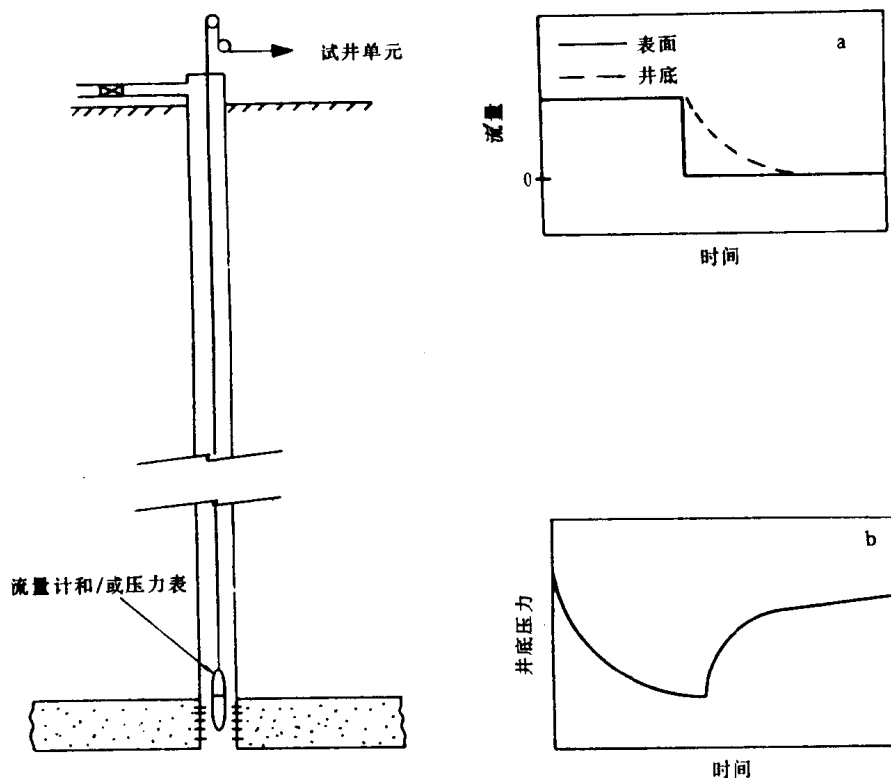


图 1-1 典型的生产试井设计图

a—地面关井没同时传递到井底；b—流动和压力恢复期的井底压力特征

- (1) 油井泄油区的平均渗透率；
- (2) 油层原始平均压力；
- (3) 井底条件(污染或改善)；
- (4) 泄油区体积；
- (5) 井间连通程度；
- (6) 地质模型的有效性；
- (7) 系统定义(油藏类型和压降是时间函数的数学模型)。

因此,根据试井的目的不同,可以获得另外的数据。例如,如果井被压裂,就可发现裂缝的距离和范围。

1.4.1 偏微分方程

可以通过典型曲线双对数和半对数分析解释压力—时间数据(Horner; Miller, Dyes 和 Hutchinson(M. D. H.))。通常,将获得的数据与描述特定油藏和井况的常规模型对比(Δp 对 Δt),模型处于理想的压力和时间状态。下面以均质体系为例,介绍理想压力状态与典型曲线拟合的求解方法。

对均匀孔隙介质而言,描述轻微压缩流体流动状态的微分方程由下列因素合成:

- (1) 质量守恒定律；
- (2) 状态方程；
- (3) 达西定律。

柱坐标方程是：

$$\frac{\partial^2 p}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial r} = \frac{\phi \mu C_t \partial p}{K \partial t} \quad (1-1)$$

式中 p ——压力, psi;
 r ——半径, ft;
 ϕ ——孔隙度, %;
 μ ——粘度, cP;
 C_t ——压缩系数, psi⁻¹;
 K ——渗透率, mD;
 t ——时间, h。

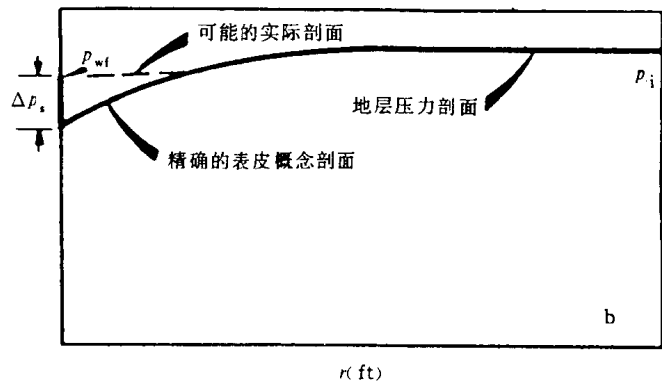
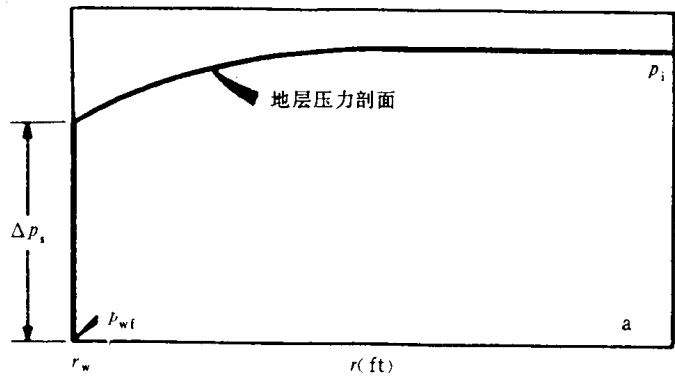


图 1-2 表皮效应, 井和地层中的压力分布

a—正表皮效应; b—负表皮效应

读者如果对该方程的推导感兴趣, 可参考 Matteus 和 Russel(1967)和 Earlougher(1977)的原著, 书中有详细的论述。

方程(1-1)中的假设是：

- (1) 径向水平流动;
- (2) 忽略重力效应;
- (3) 均质和各向同性孔隙介质;
- (4) 压缩性小且恒定的单相流体;
- (5) 层状和等温流动
- (6) 流体和岩性与压力无关

方程(1-1)可在多种边界条件下求

解。求解结果是不稳定压力试井解释的基础, 这在目前是有效的。我们将观察这种基本方程的一些解释结果。

1.4.2 无因次压力解

在无因次形式下, 方程(1-1)可表示为：

$$\frac{\partial^2 p_D}{\partial r_D^2} + \frac{1}{r_D} \frac{\partial p_D}{\partial r_D} = \frac{\partial p_D}{\partial t_D} \quad (1-2)$$

式中

$$p_D = \frac{Kh[p_i - p(r, t)]}{141.2qB\mu} \quad (1-3)$$

$$t_D = \frac{0.000264Kt}{\phi \mu C_t r_w^2} \quad (1-4)$$

$$r_D = \frac{r}{r_w} \quad (1-5)$$

这里介绍的无因次量可以简化流动方程的求解过程, 但应记住, 物理量直接与方程(1-3)至(1-5)中描述的无因次项成比例。

符 号 说 明

<p>A——泄油面积；</p> <p>B——地层体积系数, RB/STB；</p> <p>C_A——无因次拟稳态形状系数；</p> <p>C_t——总压缩系数, psi；</p> <p>C——井筒储存系数, bbl/psi；</p> <p>C_D——无因次井筒储存系数；</p> <p>h——地层厚度, ft；</p> <p>K——渗透率; mD；</p> <p>m——半对数直线斜率的绝对值, psi/周期；</p> <p>p——压力, psi；</p> <p>p_D——无因次压力；</p> <p>\bar{p}_D——p_D 的 Laplace 变换；</p> <p>p_i——原始油藏压力, psi；</p> <p>p_{wD}——无因次井筒压力；</p> <p>\bar{p}_{wD}——p_{wD} 的 Laplace 变换；</p> <p>p_{sD}——无因次井底压力；</p> <p>\bar{p}_{sD}——p_{sD} 的 Laplace 变换；</p> <p>p_{wf}——井底流压, psi；</p> <p>p_{ws}——关井井筒压力, psi；</p>	<p>p'——压力对时间的导数, psi/h；</p> <p>p'_D——无因次压力对时间的导数；</p> <p>p^*——Horner 曲线外推压力或视压力, psi；</p> <p>q——体积比, bbl/d；</p> <p>q_D——无因次流量；</p> <p>\bar{q}_D——q_D 的 Laplace 变换；</p> <p>q'_{D}——无因次流量对时间的导数；</p> <p>q_{ref}——参考流量, bbl/d；</p> <p>q_{sf}——井底流量, bbl/d；</p> <p>r——距井的径向距离, ft；</p> <p>r_D——无因次径向距离；</p> <p>r_w——井筒半径, ft；</p> <p>S——表皮效应；</p> <p>S——Laplace 空间变量；</p> <p>t——时间, h；</p> <p>t_D——无因次时间；</p> <p>t_{DA}——面积 A 上的无因次时间；</p> <p>t_n——离散时间, h；</p> <p>t_p——生产时间, h；</p>
--	---

下 标

<p>A——泄油区的；</p> <p>D——无因次；</p> <p>DA——无因次面积；</p> <p>i——原始的；</p> <p>n——离散点；</p> <p>ref——参考；</p>	<p>sf——井底；</p> <p>sD——无因次地层压力；</p> <p>w——井底, 井；</p> <p>wD——无因次井底, 井；</p> <p>wf——井底流动；</p> <p>ws——井底关井的井。</p>
--	--

希 腊 字 母

<p>μ——粘度, cP；</p> <p>ϕ——孔隙度, %；</p>	<p>τ——模型积分变量。</p>
--	-----------------------------------

1.4.3 无限油藏解

我们认为方程(1-1)的第一种求解针对无限油藏中的一口井。另外的假设条件是：

- (1) 井钻穿产层, 并且有一个无限小的井半径 $r \rightarrow 0$ ；
- (2) 油藏厚度均匀, 无限延伸；
- (3) 井中流量稳定；
- (4) 油藏原始压力 p_i 稳定, 均匀。

初始条件和边界条件的表达式如下：

初始条件—— $t_D=0$ (对所有半径(r_D)而言):

$$p_D(r_D, t_D) = 0 \quad (1-6)$$

边界条件——井中流量稳定, $t_D > 0$:

$$\lim_{r_D \rightarrow 0} [r_D (\frac{\partial p_D}{\partial r_D})] = -1 \quad (1-7)$$

无限外部边界—— $r_D \rightarrow \infty$ (对所有 t_D 而言):

$$p_D(r_D, t_D) = 0 \quad (1-8)$$

方程(1-6)表明,在生产之前,整个油藏的压力是均匀且相等的,它等于原始压力 p_i 。方程(1-7)是井中稳定流量条件的外部边界。方程(1-8)说明外部边界压力不受井的瞬时压力影响。

有了这些边界条件,运用 Boltzmann 变换可以求解方程(1-1)如下:

$$p_D(r_D, t_D) = -\frac{1}{2} \text{Ei}(-\frac{r_D^2}{4t_D}) \quad (1-9)$$

这就是著名的指数积分解。

图 1-3 是方程(1-9)的双对数曲线。为便于应用,将方程近似为:

$$p_D(r_D, t_D) \approx \frac{1}{2} [\ln(\frac{t_D}{r_D^2}) + 0.80907] \quad (1-10)$$

当 $t_D/r_D^2 > 100$ 时,可以应用此方程。

由于图 1-3 或半对数的近似,方程(1-10)可以计算油藏中任何时间和任何部位的压力。可以用于干扰试井或脉冲试井压力的数据解释。需要说明的是由于油藏压力测试与生产过程相比是短暂的,因此无限油藏的假设适用于大多数现场情况。这意味着即使一个油藏不是无限大(通常是这样),由试井引起的干扰不能达到边界,油藏也以一种无限系统生产,因此,早期的数据最真实。

图 1-3 关于干扰试井解释的应用可以扩展到下面要谈到的典型曲线拟合技术。

1.4.4 典型曲线拟合技术

典型试井曲线拟合技术是建立在与数学模型预测的曲线形态相同的基础上的(假定数学模型能充分解释实际油田和地层特征)。从方程(1-3)和(1-4)中无因次压力和时间的定义看也是这样:

$$p_D = \frac{Kh[p_i - p(r, t)]}{141.2qB\mu}$$

$$t_D = \frac{0.000264Kt}{\phi\mu C_r r_w^2}$$

将方程两边变成对数,得:

$$\log p_D = \log \Delta p + \log \frac{Kh}{141.2qB\mu} \quad (1-11)$$

$$\log \frac{t_D}{r_D^2} = \log t + \log \frac{0.000264K}{\phi\mu C_r r_w^2} \quad (1-12)$$

方程(1-11)和(1-12)表明 p_D 与 t_D/r_D^2 的对数曲线应与 Δp 与 Δt 的对数曲线形状相同。同时, \log

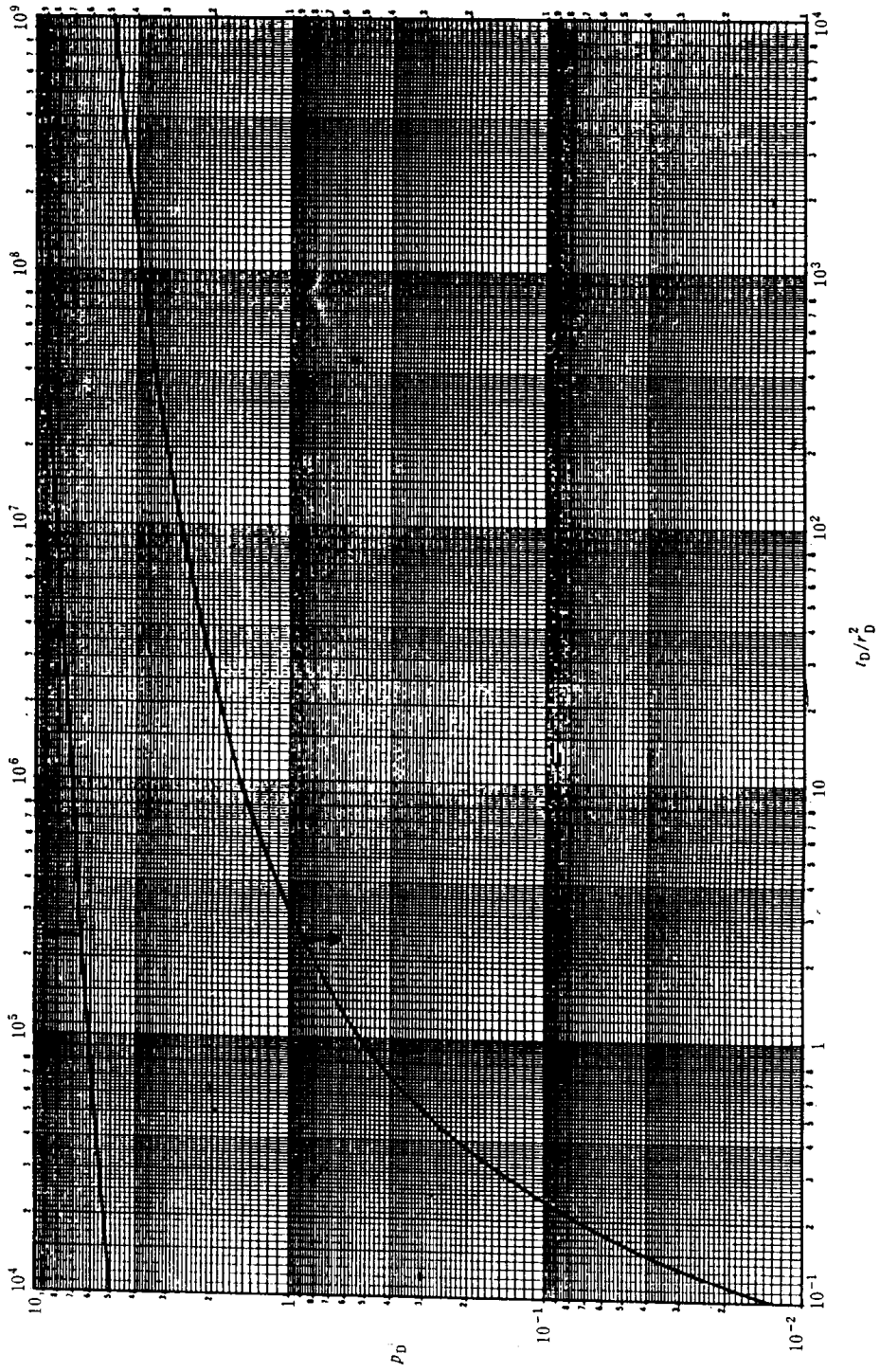


图 1-3 扩散方程指数积分的图形,也称为线源解

$(Kh/141.2q\mu B)$ 和 $\log(0.00026Kt/\phi\mu C_i r_w^2)$ 的值可以分别代替这些曲线纵坐标和横坐标。

总之, p_D 与 t_D/r_D^2 (或其它方便的参数组合) 的双对数曲线代表了一个给定边界条件下油藏井筒压力的理论响应或典型响应称为典型曲线。而 Δp 与 Δt 的双对数曲线则是油田实际数据。将后面的曲线与典型曲线重迭, 如果在典型曲线的发展中提出的假定完全代表实际的物理状况, 那么就可能获得能确定油藏参数的拟合点。这可以从方程(1-11)和(1-12)变换中看出:

$$\log\left(\frac{p_D}{\Delta p}\right)_M = \log \frac{Kh}{141.2qB\mu} \quad (1-13)$$

$$\log\left(\frac{t_D/r_D^2}{t}\right)_M = \log \frac{0.000264K}{\phi\mu C_i r^2} \quad (1-14)$$

式中下标 M 代表 $p_D/\Delta p$ 或 $(t_D/r_D^2)/t$ 在拟合点 $(p_D/\Delta p$ 或 $(t_D/r_D^2)/t$) 处的数值。因此从方程(1-13)和(1-14)可得:

$$Kh = 141.2qB\mu\left(\frac{p_D}{\Delta p}\right)_M \quad (1-15)$$

$$\phi C_i = \frac{0.000264K}{r^2\mu\left(\frac{t_D/r_D^2}{t}\right)_M} \quad (1-16)$$

目前所描述的概念用于不同流动模型试验数据与典型曲线的拟合。通常, 典型曲线是在不同假设条件下(例如线源井, 井筒储存效应、边界条件等), 导出井筒压力的解而产生的, 这些典型曲线既可通过分析也可通过数值处理技术得到。这种技术对试井数据的分析表明, 慎重选择典型曲线对于避免错误解释是至关重要的。

典型曲线的另一种用途是识别试井产生的不同流动状态。本章后部分将讨论这个问题。

1.4.5 半对数分析

考虑指数积分的对数近似值(方程 1-10), 得:

$$p_D(r_D, t_D) \approx \frac{1}{2} \left[\ln\left(\frac{t_D}{r_D^2}\right) + 0.80907 \right]$$

代替无因次项, 方程(1-3)和(1-4), (1-10)可以写成:

$$\Delta p = \frac{162.6qB\mu}{Kh} \left(\log t + \log \frac{K}{\phi\mu C_i r^2} - 3.23 \right) \quad (1-17)$$

这表示 Δp 与压力数据的 $\log t$ 的关系曲线应形成一条直线, 斜率为:

$$m = \frac{162.6q\mu B}{Kh} \quad (1-18)$$

截距(在 $\Delta t=1h$ 处)为:

$$\Delta p_{1h} = m \left(\log \frac{K}{\phi\mu C_i r^2} - 3.23 \right) \quad (1-19)$$

从方程(1-18)和(1-19), 可以分别计算出渗透率—厚度乘积(Kh)和孔隙度—压缩系数乘积

$(\phi\mu C_t)$:

$$Kh = \frac{162.6qB\mu}{m} \quad (1-20)$$

$$\phi\mu C_t = \frac{K}{\mu r^2} \times 10^{-(\Delta p_{1h}/m + 3.23)} \quad (1-21)$$

式中 m 是半对数直线的斜率。

下面例子说明了典型曲线拟合和半对数分析技术在干扰试井解释中的应用。

1.4.6 干扰试井实例

干扰试井的目的是确定井间连通的程度,估算井周围的渗透率—厚度乘积和孔隙度—压缩系数乘积。这种试井通常是测定一口相应的激动井流量变化引起观察井的压力响应。表 1-1 中包括了该实例的油藏和井的数据。

表 1-1 干扰试井实例

Δt (h)	$p_i - p_{ws}$ (psi)	Δt (h)	$p_i - p_{ws}$ (psi)	Δt (h)	$p_i - p_{ws}$ (psi)
0.0	0.0	10.0	33.0	120.0	81.0
1.0	2.0	18.0	41.0	150.0	86.0
1.5	5.0	24.0	48.5	180.0	89.0
2.0	7.0	36.0	57.5		
3.0	12.0	50.0	67.5		
5.0	21.0	90.0	75.0		

油藏和井数据; $r = 340\text{ft}$ (井距); $\phi = 0.12$; $h = 23\text{ft}$; $C_t = 8.3 \times 10^{-6}\text{psi}^{-1}$; $\mu_0 = 0.8\text{cP}$; $B_0 = 1.12\text{RBL/STB}$; $q = 427\text{STBD}$ 。

解:

让我们用典型曲线和半对数分析两种方法来解决这个问题。

典型曲线分析法:图 1-4 是压力—时间数据与指数积分典型曲线的拟合情况。从拟合点可以获得以下参数:

$$\Delta t = 50\text{h}$$

$$\Delta p = 16\text{psi}$$

$$t_D/r_D^2 = 8$$

$$p_D = 0.37$$

代入方程(1-15)和(1-16)中,得:

$$Kh = \frac{(141.2)(427)(0.8)(1.12)}{(23)} \left[\frac{(0.37)}{(16)} \right] = 54\text{mD}$$

$$\phi C_t = \frac{(0.000264)(54)}{(340)^2(0.8)(50/8)} = 9.7 \times 10^{-7}\text{psi}^{-1}$$

半对数分析法:图 1-5 是压力数据的半对数曲线。该图中的斜率 m 是 46/周期,代入方程(1-20)和(1-21),得:

$$Kh = \frac{(141.2)(427)(0.8)(1.12)}{(23)} \left[\frac{(0.37)}{(16)} \right] = 54\text{mD}$$

$$\phi C_t = \frac{(59)}{(340)^2(0.8)} \times 10^{-(14.5/46 + 3.23)} = 7.80 \times 10^{-7}\text{psi}^{-1}$$

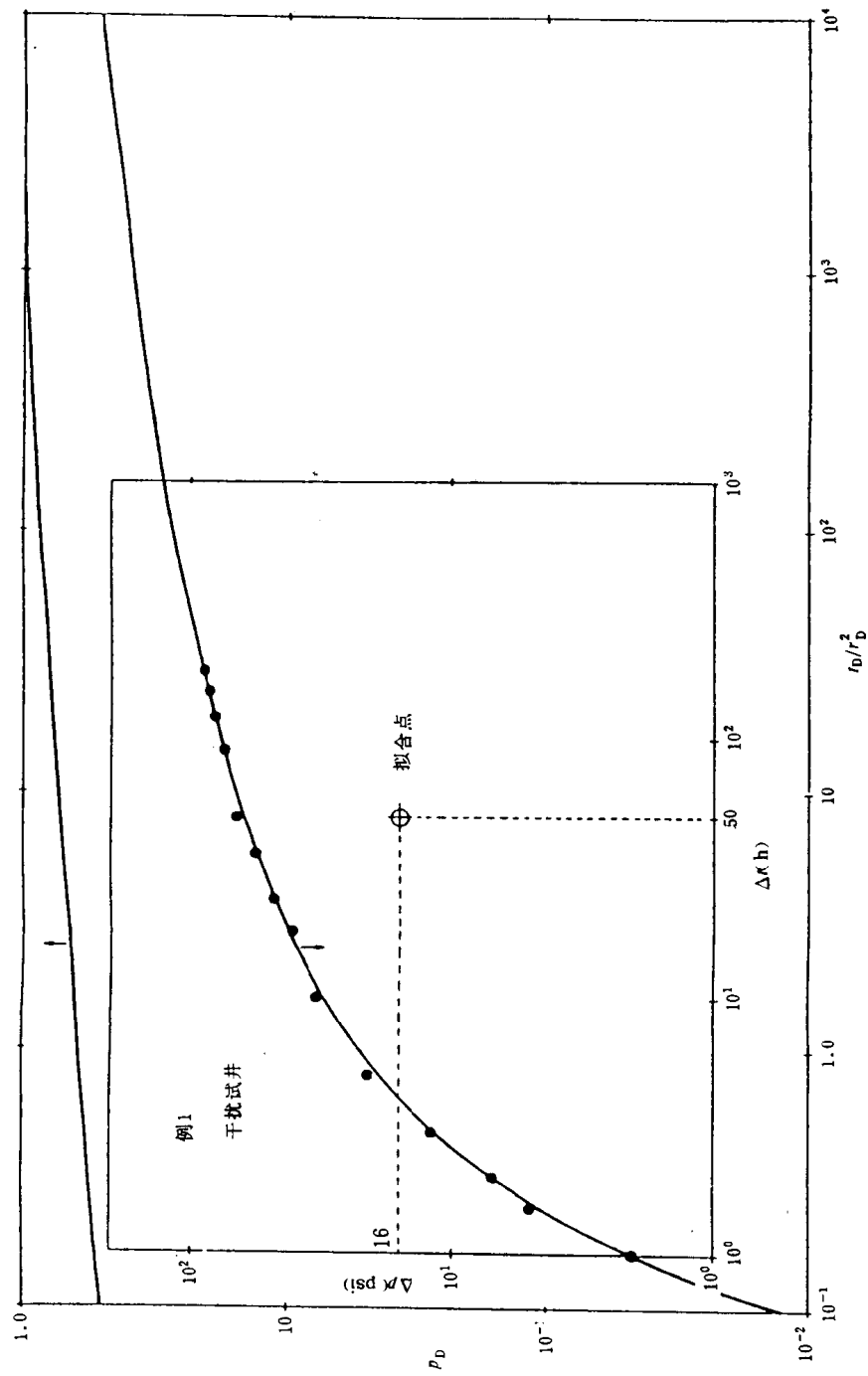


图 1-4 干扰试井实例中的典型曲线拟合解