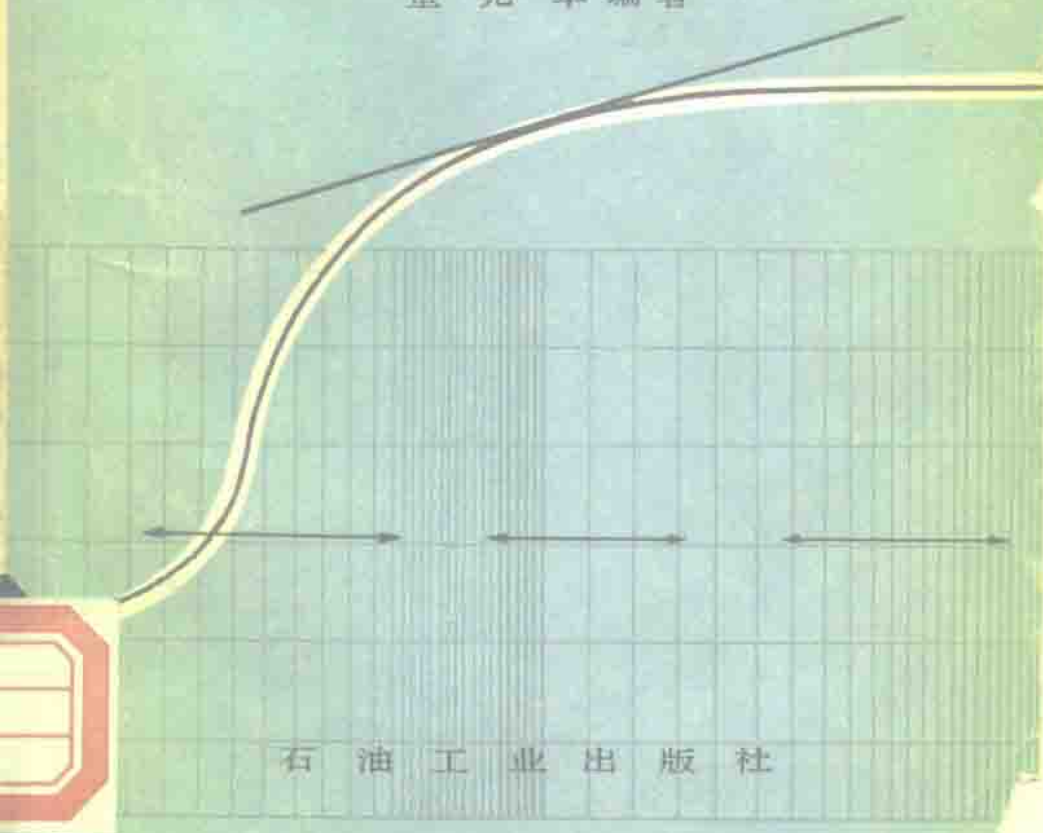


# 压力恢复曲线 在油、气田开发中的应用

童宪章编著



石油工业出版社

# 压力恢复曲线 在油、气田开发中的应用

童宪章 编著

石油工业出版社

应用压力恢复曲线研究和了解油田开动态的方法，近二十年来在国内外获得了广泛地应用，已成为编制油田开发方案、指导现场生产实际不可缺少的一个手段。

本书结合我国油、气田开采工作经验，介绍了应用压力恢复曲线解释油、气田开动态的基本理论和方法。如应用压力恢复曲线计算油层渗流参数、测定平均地层压力、分析井底完善程度，应用压力恢复曲线求生产井附近断层距离、求油层储量参数等方法，以及天然气井、注水井压力恢复曲线的应用等，另外还介绍了压力恢复曲线的基本公式、不关井测压力恢复曲线的方法，多相流动状态下压力恢复曲线的解释和续流线段的整理等。

为了便于读者更好地理解，书中列举了我国一些油、气田现场应用的实例。

本书内容力求理论结合实际，对现场地质、采油工作人员都有参考价值。

## 压力恢复曲线在油、气田开发中的应用

童宪章 编著

\*

(根据原石油化学工业出版社纸型重印)

石油工业出版社出版

(北京安定门外外馆东后街甲36号)

通县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

\*

850×1168毫米 32开本 10印张 265千字 印1—2,000

1982年10月北京新1版 1983年6月北京第1次印刷

书号：15037·2360 定价：0.96元

科技新书目：56-156

## 前 言

为了使我国的油、气田生产达到持续地稳产,这就要求油、气田地质工作人员充分利用较少的探井和生产井,取全取准和油藏动态有关的各项技术资料,作为编制开发方案和指导生产的依据。近二十年来,在国内外油、气田中广泛应用的压力恢复曲线分析法是完成这一任务的有效方法。

在本书中通过我国一些油、气田中采油采气工人的实践经验,介绍应用压力恢复曲线解释油、气田动态的基本理论和方法。这些方法中有些是一般文献中常见的,也有一部分是在我国油、气田开采实践中发现并初步证明有效的。在编写中注意到以下几点:

一、计算方法力求简单,适合一般油、气田技术人员。对一部分国外文献中介绍的较繁琐的计算方法则尽可能提出代用的简易方法,并用实例对比两种不同方法的计算结果;

二、书中绝大部分实例都来自我国各油、气田。一方面说明某些理论方法在我国油、气田中应用的具体情况,另一方面也表现出我国石油工人在生产实践中理论结合实际的工作成果;

三、尽可能扩大应用范围。编写内容包括了油井、气井和注水井,考虑了多相流动问题和续流线段整理方法。此外还介绍了和其它试井资料综合应用的方法。

由于编写人员的水平和工作条件所限,书中内容很不成熟,可能有不少错误,只能作为有关工作人员的初步参考资料。希望读者同志提出批评指正。

一九七六年五月

# 目 录

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| <b>第一章 产油井压力恢复曲线的基本公式</b> .....          | 1   |
| 第1节 产油井压力恢复曲线的实用意义 .....                 | 1   |
| 第2节 基本公式的简要推导过程及其应用形式 .....              | 1   |
| 第3节 一口探井关井两次后压力恢复曲线的整理方法 .....           | 9   |
| <b>第二章 压力恢复曲线理论和实际结合的问题</b> .....        | 12  |
| 第1节 理想条件与实际情况的差距对分析结果的影响 .....           | 12  |
| 第2节 保证测得高质量压力恢复曲线的工作程序 .....             | 17  |
| <b>第三章 压力恢复曲线公式的实际应用</b> .....           | 20  |
| 第1节 应用压力恢复曲线计算油层渗流参数 .....               | 20  |
| 第2节 应用压力恢复曲线测定平均地层压力 .....               | 31  |
| 第3节 应用压力恢复曲线分析井底完善程度 .....               | 51  |
| <b>第四章 应用压力恢复曲线求生产井附近断层距离</b> .....      | 88  |
| 第1节 压力恢复曲线的断层反映 .....                    | 88  |
| 第2节 断层反映的理论研究和公式推导 .....                 | 88  |
| 第3节 工作中必须注意之点 .....                      | 92  |
| <b>第五章 应用压力恢复曲线求油层储量参数的方法</b> .....      | 97  |
| 第1节 方法的说明 .....                          | 97  |
| 第2节 利用一口井压力恢复曲线求 $fh$ 值公式的推导 .....       | 98  |
| 第3节 利用压力恢复曲线直接估算油井控制储量的方法 .....          | 111 |
| 第4节 利用一口生产井和一口观察井求储油能量值( $fh$ )的方法 ..... | 113 |
| <b>第六章 不关井测压力恢复曲线的方法</b> .....           | 120 |
| 第1节 方法原理说明 .....                         | 120 |
| 第2节 公式的推导和实例 .....                       | 120 |
| <b>第七章 解释压力恢复曲线所需技术资料及记录表式</b> .....     | 135 |
| 第1节 解释压力恢复曲线时所需基础资料 .....                | 135 |
| 第2节 压力恢复曲线记录表式 .....                     | 136 |
| <b>第八章 天然气井的压力恢复曲线</b> .....             | 141 |

|              |                                 |            |
|--------------|---------------------------------|------------|
| 第1节          | 实际和理论依据 .....                   | 141        |
| 第2节          | 气井压力恢复曲线的基本形式 .....             | 141        |
| 第3节          | 应用气井压力恢复曲线计算气层的渗流参数 .....       | 144        |
| 第4节          | 应用气井压力恢复曲线推算地层压力 .....          | 151        |
| 第5节          | 应用气井压力恢复曲线评价产气井井底完善程度 .....     | 156        |
| 第6节          | 应用气井压力恢复曲线推断可能存在的断层 .....       | 162        |
| 第7节          | 应用压力恢复曲线求产气层的储量参数 .....         | 169        |
| 第8节          | 天然气井压力恢复曲线与系统试井结果的综合应用 .....    | 187        |
| <b>第九章</b>   | <b>注水井压力恢复(降落)曲线的分析研究 .....</b> | <b>197</b> |
| 第1节          | 注水井压力恢复曲线解释工作的重要意义 .....        | 197        |
| 第2节          | 利用注水井压力恢复曲线所能解决的问题 .....        | 197        |
| 第3节          | 注水井压力恢复曲线的基本公式 .....            | 198        |
| 第4节          | 典型注水井压力恢复曲线的形态分析 .....          | 201        |
| 第5节          | 应用注水井压力恢复曲线求地层压力的方法 .....       | 205        |
| 第6节          | 应用注水井压力恢复曲线求各项渗流参数 .....        | 221        |
| 第7节          | 应用注水井压力恢复曲线求井底完善程度 .....        | 223        |
| 第8节          | 应用注水井压力恢复曲线进行注水动态分析 .....       | 233        |
| <b>第十章</b>   | <b>多相流动状况下压力恢复曲线的解释方法 .....</b> | <b>248</b> |
| 第1节          | 问题的提出 .....                     | 248        |
| 第2节          | 理论的推导 .....                     | 249        |
| 第3节          | 油气双相流动状况下压力恢复曲线的解释 .....        | 249        |
| 第4节          | 油水双相流动状况下压力恢复曲线的解释 .....        | 269        |
| <b>第十一章</b>  | <b>压力恢复曲线续流段整理方法 .....</b>      | <b>279</b> |
| 第1节          | 基本公式的推导 .....                   | 279        |
| 第2节          | 基本公式的应用 .....                   | 281        |
| 第3节          | 对上述方法的改进 .....                  | 287        |
| 第4节          | 简易方法的提出 .....                   | 298        |
| 第5节          | 续流校正法的其他种实用公式 .....             | 306        |
| <b>附录(一)</b> | <b>压力恢复曲线基本公式的推导过程 .....</b>    | <b>310</b> |
| <b>附录(二)</b> | <b>应用压力恢复曲线求幂积分函数的数值 .....</b>  | <b>313</b> |
| <b>参考文献</b>  | <b>.....</b>                    | <b>314</b> |

# 第一章 产油井压力恢复曲线的基本公式

## 第 1 节 产油井压力恢复曲线的实用意义

压力恢复曲线的基本公式是根据油田地下水动力学理论推导出来的。在公式的推导过程中规定了一系列的假设（例如地层是均质的，流体是单相的……）。可是在现实的油田中，这些假设常常和实际有很大出入，最好的情况也只能是近似的符合。这样就不免使人怀疑这种公式的实用价值。可是通过油田生产实践中大量资料和经验证明，只要工作人员在应用曲线时掌握着公式的有效限度，在很多场合下，都可以应用曲线和公式有效地解决生产中的重要问题。实际上这一方法在很多油、气田中已发展为常用的、不可缺少的手段。另一方面也要指出，由于一般油层情况常比理想情况复杂得多，因而在某些情况下，对解释曲线所得结果必须结合其它因素，综合考虑其可靠性。有时还会遇到一些难以解释的曲线，但这些都不足以取消大多数曲线的实用意义。油田研究工作者的任务却正是在现有的水平上更进一步从大量实践中提炼材料，做到“去粗取精、去伪存真、由此及彼、由表及里”，造成新的理论系统，更好地解决生产问题。

## 第 2 节 基本公式的简要推导过程及其应用形式

在这里我们只简单地介绍主要的推导步骤和阶段形式，比较详细的推导过程可参看附录（一）。

**第一步骤** 在无限大均质地层中，当可压缩流体由一口井的四周向井点作径向流动时，必须满足三个基本的物理定律，它们是：

1. 可压缩流体的体积随压力变化的定律；

2. 物质不灭定律;

3. 流体通过孔隙介质时所遵循的达西定律。

把以上三个规律用数学方式统一起来, 就得到基本的微分方程式如下:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial r} = \frac{\mu C f}{K} \frac{\partial P}{\partial T} \quad (1-1)$$

或

$$\frac{\partial^2 P}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial r} = \frac{1}{\eta} \frac{\partial P}{\partial T} \quad (1-2)$$

式中  $P$ ——压力, 大气压;

$r$ ——油层中任一点距生产井的距离, 厘米;

$T$ ——时间, 秒;

$\mu$ ——流体在地层条件下粘度, 厘泊;

$C$ ——地层中可压缩流体和岩石孔隙的综合弹性系数,  
1/大气压;

$f$ ——油层岩石的有效孔隙率, 小数;

$\eta$ ——导压系数 ( $K/\mu C f$ ), 厘米<sup>2</sup>/秒;

$K$ ——地层岩石对流体的渗透率, 达西。

公式 (1-2) 的形式和广泛应用的热传导方程式完全一样。

事实上, 无论是热传导问题、电传导问题、以及流体在孔隙介质间的渗流问题, 都可以用这一微分方程式来描述。

公式 (1-2) 在这里的物理意义是: 如果地层和流体的导压系数为  $\eta$ , 当流体向生产井方向作径向流动时, 在距井任意半径  $r$  处的压力  $P$  乃是时间  $t$  的函数, 如要求得在具体情况下油层中压力随时间的分布, 就需要根据具体的边界条件, 求出上述热传导方程的一个特解, 这就是本文的下一步骤。

第二步骤 在无限大地层中, 油层厚度为  $h$  厘米, 原始压力为  $P_0$  大气压, 一口井以不变产量  $q$  (厘米<sup>3</sup>/秒) 生产  $t$  秒时间后, 假定岩性和流体性质都是恒定的, 则任何一点的压力  $P_r$  (大气压) 可以通过解 (1-2) 式得出如下;

$$P_r = P_o + \frac{q\mu B}{4\pi K h} E_i(-r^2/4\eta T) \quad (1-3)$$

式中  $P_r$ ——地层中距生产井  $r$  厘米处一点在时间为  $t$  时的压力，  
大气压；

$P_o$ ——油层中原始地层压力，大气压；

$q$ ——生产井的稳定产量（地面值），厘米<sup>3</sup>/秒；

$\mu$ ——流体粘度，厘泊；

$B$ ——地层原油体积系数，无因次比值；

$K$ ——油层对流体的有效渗透率，达西；

$h$ ——油层的有效厚度，厘米；

$r$ ——任意一点距生产井距离，厘米；

$\eta$ ——导压系数，厘米<sup>2</sup>/秒；

$T$ ——生产井生产时间，秒。

式中  $E_i\left(-\frac{r^2}{4\eta T}\right) = E_i(-X)$ 。是数学上一种幂积分函数，它的

定义和计算方法在附录（二）中介绍。因为在分析油井压力恢复曲线时，在一般情况下只要用它的近似值就足够了。当  $X$  小于 0.02 时， $E_i(-X)$  的数值可以足够精确地以  $(\ln X + 0.577)$  表示，亦即

$$E_i(-X) \doteq \ln X + 0.577$$

或

$$E_i(-X) \doteq \ln(1.78X) \quad (1-4)$$

上式中的  $\ln$  符号是自然对数的意思。自然对数和普通对数的转换关系是

$$\ln(X) = 2.3 \lg(X)$$

在分析研究油井压力时，(1-3)式中的  $P_r$  一般指的是井底压力也就是在井壁位置的压力，这时  $r$  应为井的半径  $r_w$ （这里假定井是完善的）。实际经验证明，即使  $t$  值甚小时（例如只有几分钟），绝大多数情况下， $(r_w^2/4\eta t)$  的数值不会大于 0.02。因此可以利用 (1-4) 式的近似关系，即

$$E_i\left(-\frac{r_w^2}{4\gamma T}\right) = \ln\left(\frac{1.78r_w^2}{4\gamma T}\right)$$

这样我们就可以把(1-3)式写作

$$P_w = P_o - \frac{qB\mu}{4\pi Kh} \ln\left(\frac{4\gamma T}{1.78r_w^2}\right) \quad (1-5)$$

或

$$P_w = P_o - \frac{qB\mu}{4\pi Kh} \ln\left(\frac{2.25KT}{\mu Cfr_w^2}\right) \quad (1-6)$$

式中  $P_w$  指的是生产井井壁位置的流动压力，从上式可看出，它随着  $T$  的增大而逐渐下降。

这里有必要引进“井壁的完善程度”和“折算半径”的概念。国内外油田大量实践资料说明，由于完井工艺及其他因素的影响，一般油井常可分为完善的、不完善的和超完善的三类，它们可用井的折算半径  $r_c$  的概念说明如下：

完善井——折算半径等于完井半径（钻头或套管半径），

不完善井——折算半径小于完井半径，

超完善井——折算半径大于完井半径。

此外还有各种各样表示井的完善程度的概念，如完善系数，井壁阻力系数等。关于它们各自的含义以及彼此间的相互关系，将在后面第三章中加以叙述。

现在我们把第(1-5)和(1-6)式中的  $r_w$  改写为  $r_c$ ，并把自然对数转换为普通对数，则公式变为更广泛而通用的形式如下：

$$P_w = P_o - \frac{2.3qB\mu}{4\pi Kh} \lg\left(\frac{2.25KT}{\mu Cfr_c^2}\right) \quad (1-7)$$

式中  $P_w$ ——井底流动压力，大气压；

$P_o$ ——油藏原始压力，大气压；

$q$ ——井的稳定产量（地面值），厘米<sup>3</sup>/秒；

$B$ ——地层原油体积系数，无因次比值；

$K$ ——油层对流体的有效渗透率，达西；

$\mu$ ——流体粘度，厘泊；

- $h$ ——油层的有效厚度，厘米；  
 $T$ ——井的生产时间，秒；  
 $C$ ——地层流体和岩石孔隙的综合弹性系数，1/大气压；  
 $f$ ——岩石的有效孔隙率，小数；  
 $r_c$ ——井的折算半径，厘米。

有时我们要直接使用(1-7)式计算问题，为了方便，把式中各参数单位，尽可能改用工程常用单位，则得出下式：

$$P_w = P_o - \frac{21.91qB\mu}{Kh} \lg \left( \frac{8.1KT}{\mu Cfr_c^2} \right) \quad (1-8)$$

上式中 $P_o$ 和 $P_w$ 的单位为以工程大气压(公斤/厘米<sup>2</sup>)， $q$ 的单位为(米<sup>3</sup>/日)， $K$ 的单位为毫达西， $h$ 的单位为米， $T$ 的单位为小时，其余参数的单位仍与(1-7)式相同。

第三步骤 现在假设该井在生产了 $T$ 时间后，突然关井停产(井壁处不再有流体进入井筒)，以水动力学观点看来，可以认为该井仍继续以 $q$ 产量生产，但从 $T$ 时起又开始以一个新的( $-q$ )产量生产。油藏中任一点的压力等于这两个产量影响的迭加值，用公式表示如下：

$$\begin{aligned}
 P_t &= P_o - \frac{2.3qB\mu}{4\pi Kh} \left[ \lg \frac{2.25K(T+t)}{\mu Cfr_c^2} \right] + \\
 &\quad + \frac{2.3qB\mu}{4\pi kh} \left( \lg \frac{2.25Kt}{\mu Cfr_c^2} \right) \\
 &= P_o - \frac{2.3qB\mu}{4\pi Kh} \lg \frac{T+t}{t} \quad (1-9)
 \end{aligned}$$

式中  $P_t$ ——关井 $t$ 时间后井底流压，大气压；  
 $t$ ——关井时间，秒。

其余各参数含义及单位同(1-7)式。(1-9)式也可以改写成以下形式：

$$P_t = P_o + \frac{2.3qB\mu}{4\pi Kh} \lg \frac{t}{T+t} \quad (1-10)$$

上式就是最重要的压力恢复曲线基本公式。式中各参数单位同

(1-9) 式。可以注意到在对数符号后面的分数  $[t / (T + \Delta t)]$  是一个无因次项，其中的  $T$  和  $t$  只要用任何相同的时间单位就可以。在实际应用公式时，如果井并不是一直以产量  $q$  生产的，则公式中的  $q$  值应为关井前一定时间（一般要求 5 天以上）的稳定产量。而  $T$  则是  $q$  去除这口井累计产量的商，即  $T = \frac{\Sigma q}{q}$ ，因此我们把  $T$  称作折算的生产时间。对 (1-10) 式进行分析可以看出以下几点：

1. 前述生产井关井后的压力为  $\left(\frac{t}{T + t}\right)$  的函数。

2. 由于  $\frac{t}{T + t}$  是一个小于 1 的数值，以 1 为最大极限，

因而  $\lg \frac{t}{T + t}$  总是为负数，而以零为最大极限， $P_i$  的数值随着  $\Delta t$  增大而增加，最后以  $P_0$  为最大极限。在无限大地层中，这一结果是完全可以料到的。

3. 如在单对数的座标纸上，以普通座标表示  $P_i$  或  $(P_0 - P_i)$ ，以对数座标表示  $\left(\frac{t}{T + t}\right)$  来绘制  $P_i$  和  $\left(\frac{t}{T + t}\right)$  的相关曲线（此法后简称第一法），则得出的将是一根直线，直线的斜率将等于  $\left(\frac{2.3qB\mu}{4\pi Kh}\right)$ ，这一个斜率值我们通常用一个简单符号  $i$  来代表。即  $i = \frac{2.3qB\mu}{4\pi Kh}$ ，实际上  $i$  值即曲线上一个对数周期间（例如从 10 到 100）的压力差值。

4. 把上述曲线向上延伸到  $\left(\frac{t}{T + t}\right)$  等于 1 时， $P_i$  达到它的最大极限值  $P_0$ 。

图 (1-1-A) 是我国 X 油田中一口探井在试油时测得的典型例子。从图中可以看出曲线具有两个明显的直线段。第一个很陡

的直线主要是由于关井后井壁处还继续有油流入井筒（续流现象）而形成的，第二个直线段是代表（1-10）式的压力恢复线段。对这一线段的分析应用，将在以后举例详述。

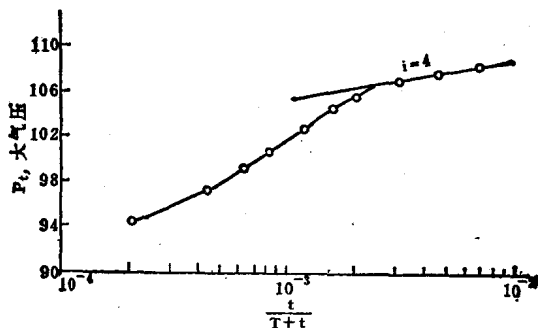


图 1-1-A X油田一口井的压力恢复曲线  
(按第一法绘制)

现在我们要推导出另外一种普遍应用的压力恢复曲线公式。如果用（1-10）式减（1-7）式，则得到：

$$P_i - P_w = \frac{2.3qB\mu}{4\pi Kh} \lg \left( \frac{2.25KT}{\mu Cfr_c^2} \frac{t}{T+t} \right) \quad (1-11)$$

当T的数值比t大出很多时，可以认为T值和T+t值接近相等，即  $T \approx T+t$ ，因而上式可简化为：

$$P_i = P_w + \frac{2.3qB\mu}{4\pi Kh} \lg \left( \frac{2.25Kt}{\mu Cfr_c^2} \right) \quad (1-12)$$

式中各参数含义及单位与（1-7）式和（1-10）式全同。（1-11）式也是一个最重要而广泛应用的压力恢复曲线公式。但必须记住，（1-11）式和（1-10）式相比，由于假定  $T = T+t$ ，因而它的正确性就相应地要差一些。

现在我们对（1-11）式加以分析，首先把它写成更简化的方式如下：

$$\begin{aligned} P_i &= P_w + i \lg(Yt) = P_w + i \lg Y + i \lg t \\ &= X + i \lg t \end{aligned} \quad (1-13)$$

上式中

$$X = P_w + \frac{2.3qB\mu}{4\pi Kh} \lg\left(\frac{2.25K}{\mu Cfr_c^2}\right)$$

从 (1-12) 式可以明显地看出,  $P_i$  和  $\lg t$  的关系, 正和 (1-10)

式中  $P_i$  和  $\lg \frac{t}{T+t}$  的关系一样, 因此可以推断出以下几点:

1. 生产井关井后的压力是关井后时间  $t$  的函数;
2. 从 (1-12) 式看出, 关井后  $P_i$  总是比  $P_w$  要大, 因而

$\left(\frac{2.25Kt}{\mu Cfr_c^2}\right)$  必然要大于 1 (当  $t$  值很小时公式是无意义的), 当  $t$  值不断增大,  $P_i$  值不断增大, 直到  $P_i = P_w$  即达到极限, 过此  $t$  再增大, 公式也是无意义的;

3. 从 (1-13) 式可以看出,  $P_i$  和  $\lg t$  成直线关系, 在单对数坐标纸上作  $P$  和  $t$  的关系曲线, 以对数坐标表示  $t$ , 则可得一直线 (此法以后简称第二法), 直线的斜率也等于  $\left(\frac{2.3qB\mu}{4\pi Kh}\right)$ , 即前面所述的  $i$  值。

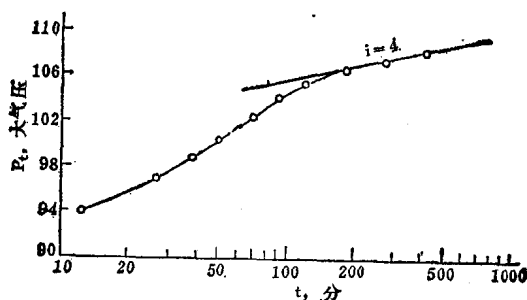


图 1-1-B X油田一口井的压力恢复曲线  
(按第二法绘制)

图 (1-1-B) 就是一个用  $P_i$  和  $\lg t$  关系绘制的压力恢复曲线的实例。绘制这一曲线的基本资料和图 (1-1-A) 一样, 是从我国 X 油田的一口探井取得的, 所不同的在于曲线绘制方法。

对比两幅图中的曲线即可以看出: 两个曲线几乎完全相似,

且具有相同的斜率值。这说明当  $(T/t)$  值大到一定程度时，两种绘制曲线方法将得到相同的结果。

到此为止，我们已推导出两个最基本的，普遍应用的压力恢复曲线公式，即 (1-10) 式和 (1-12) 式。在下文中我们将不断重复地应用这两个式子。在应用中我们必须记住以下几点。

1. 在推导公式的过程中，为了避免数学上陷于过分繁琐，不得不把油层和流体性质以及生产条件加以理想和简单化。因而，当实际条件和理想条件相差过大时，公式的应用性就遇到了限制。在下一章中我们将简单地对这些假设条件和实际可能情况加以对比分析；

2. 公式 (1-10) 和 (1-12) 的推导基础和过程基本相同，后者是前者的近似式。在大多数情况下，二者都能使用，而且后者在应用时更方便一些。在一定情况下，公式 (1-12) 是不能应用的；

3. 在公式推导过程中，用对数函数代替幂积分函数，也只是近似正确的，在使用时也应注意它的必要条件。

### 第 3 节 一口探井关井两次后 压力恢复曲线的整理方法

在探井试油工作中常遇到这样的问题。一口井在关井两次后才测压力恢复曲线，在整理资料时有时就需要考虑第一次关井所造成的影响。假设油藏原始压力为  $P_0$ ，最初以平均日产量  $q$  连续生产  $T_1$  时间，然后关井  $t_1$  时间，以后又开井生产  $T_2$  时间，此段平均日产量仍为  $q$ ，然后又关井测压力恢复曲线。按照迭加原理，测压力恢复曲线时，

$$\Delta P = P_0 - P_t = \frac{2.3q\mu B}{4\pi Kh} \lg \left[ \frac{(T_1 + t_1 + T_2 + t)(T_2 + t)}{(t_1 + T_2 + t)t} \right] \quad (1-14)$$

可以把上式和 (1-9) 式对比

$$\Delta P = \frac{2.3q''B}{4\pi Kh} \lg\left(\frac{T+t}{t}\right) \quad (1-9)$$

(1-9) 式中的  $T$  相当于 (1-14) 式中的  $(T_1+t_1+T_2)$ ，可以看出，考虑到第一次关井的影响，在 (1-9) 式的最后一项括号内需要乘一个系数，此系数为  $\left(\frac{T_2+t}{t_1+T_2+t}\right)$ ，也就是说，在绘制压

力恢复曲线时，原来所用横坐标为  $\left(\frac{t}{T+t}\right)$ ，现在需要乘以  $\left(\frac{t_1+T_2+t}{T_2+t}\right)$ 。这样整理出来的曲线，才有可能表现出斜率直线

段，否则直线段就可能不显明。

以上所述的是比较严格的方法，但从 (1-14) 式中可以推出以下两种特殊情况：

1. 如果  $T_1$  比  $(t_1+T_2+t)$  小得多，则  $\frac{T_1+t_1+T_2+t}{t_1+T_2+t}$  接近于 1，因而可得近似式

$$\Delta P = \frac{2.3q''B}{4\pi Kh} \lg\left(\frac{T_2+t}{t}\right) \quad (1-15)$$

这样就可以完全不考虑第一次生产时间和关井时间，把第二次开井当作原始状况处理。计算  $T_2$  时所用累计产量只要用第二次生产期间的总产量，而不要使用该井真实的累计产量。

2. 如果  $t_1$  比  $(T_2+t)$  小得多，则  $\frac{(T_2+t)}{(t_1+T_2+t)}$  接近于 1，因而可得近似式

$$\Delta P = \frac{2.3q''B}{4\pi Kh} \lg\left(\frac{T_1+t_1+T_2+t}{t}\right) \quad (1-16)$$

在此情况下，就可以不考虑第一次关井的影响，假设那一段时间还是开井生产的，但在计算累计生产时间  $(T_1+t_1+T_2)$  时所用的累计产量应为该井实际的总累计产量。

上面所提出的三个式子中，(1-14)式是比较准确的，但整理工作量要大一些，其余两个式子则是近似简化的结果，只有在一定具体情况下才能使用。

如果在测压力恢复曲线前关井不止两次，也可根据上面所引用的迭加原理进行处理。