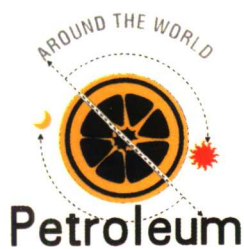


胡博仲 周继德 徐国兴 编著

有杆泵井的参数优选和诊断技术



3

石油工业出版社

SYGYCBS

有杆泵井的参数优选和诊断技术

胡博仲 周继德 徐国兴 编著

石 油 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书以采油工艺理论为基础,结合作者的实践经验,对油井的产量预测、抽油设备的选择、抽油参数的优选、地面设备工作状况的判断、系统效率的实测计算等问题进行了系统的论述。同时,通过作者工作经历的 40 多个实例,全面阐述了有杆泵井的参数优选和诊断技术。本书对从事采油工艺生产的科技人员、管理干部和现场工作人员是一本实用的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

有杆泵井的参数优选和诊断技术/胡博仲等编著.

北京:石油工业出版社,1999.9

ISBN 7-5021-2652-X

I. 有…

II. 胡…

III. ①采油井-抽油机-参数分析

②采油井-抽油机-故障诊断-诊断技术

IV. TE933

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 45845 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 16.75 印张 416 千字 印 1—3000

1999 年 8 月北京第 1 版 1999 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2652-X/TE·2120

定价: 30.00 元

前 言

在油田开发中，有的油井因原始地层能量低或油稠而不能自喷，或虽能自喷，但产量过低时，就必须借助机械的能量进行采油；尽管国内外都广泛地采用了注水保持地层能量的措施，但由于某些地质、技术和经济等原因，而未能有效地保持地层能量，油井不能自喷时，也得借助机械的能量进行采油；有的油田注水效果较好，油层能量充足，但随着油井含水的上升，为了保持油井的产油量，而需放大生产压差，以提高排液量时，还得借助机械的能量进行强采。

目前采用的机械采油方法有气举采油和深井泵采油。深井泵采油又分为有杆泵采油和无杆泵采油。有杆泵采油包括游梁式深井泵装置和无游梁装置的螺杆泵采油。无杆泵采油包括电动潜油泵、水力活塞泵、射流泵等。虽然随着采油工艺技术的发展，适合于深井、斜井、稠油等复杂条件下的水力活塞泵，以及大排量的电动潜油泵的使用比例逐渐增加，但由于游梁式深井泵装置具有结实可靠、使用方便、调参容易（无论是深井和浅井，还是产量较高和产量很低的井都适用）、成本较低等许多优点，因而目前甚至将来，它在机械采油中仍占很重要的地位。

本书的所谓有杆泵井，就是指游梁式深井泵装置采油的井，即通常所说的抽油机井。为了管好有杆泵井，提高有杆泵井的抽油效率，要做的工作很多。但有杆泵井的参数优选，包括机（抽油机）、杆（抽油杆）、泵（深井泵）的设计，以及诊断技术，则既是有杆泵采油的主要内容，又是有杆泵井的关键技术之一。本书正是围绕着参数优选和诊断技术，分为九章来叙述的。

第一章是油井的产量预测方法。产量预测出来后，就是机、杆、泵设计。第二章即是选择抽油设备的计算方法。第三章是抽油参数的优选方法。通过录取第一性资料（如产液量、液面深度、示功图等）进行分析、诊断、优选。第四章写了利用液面等资料计算压力的问题。第五章介绍了地面设备的诊断方法；第六章讲了井下设备的诊断方法，并把带喷井的泵况判断方法作为重点来介绍。第五章、第六章的诊断，一般是定性地说明有杆泵井的工作是否正常，不正常的原因等问题，而没有从量的角度分析问题。为了定量地分析井下设备和地面装备以及油井的工作状况，还需要对某些参数进行计算。第七章的内容便是有关参数的计算。第八章是系统效率的实例计算和系统效率的计算方法。由于用注水方法保持一定压力开采的油田，当注水效果很好，以及抽油初期，油井地层能量充足时，有杆泵井连抽带喷现象较多，因此第八章重点介绍了带喷井的系统效率计算方法。第九章的内容为综合实例。第九章的内容比较丰富，除了综合运用前八章所讲的产量预测、参数优选、压力计算、泵况诊断和参数计算等知识（即所谓“软件”）外，还有与之相密切联系的井下工具等（即所谓“硬件”）内容，既包括了不可忽视的技术问题，又涉及到了容易出现的管理问题。

本书对每个问题的写法，一般是本着四个环节进行，即提出问题（目的、意义），怎样解决问题（建立数学模型、介绍公式），应用举例（主要是为了让读者掌握计算程序），方法的适用条件（说明方法的优点和缺点，存在什么问题，从而确定攻关方向）。这样写的目的，是为了让读者不要花太多的精力和时间，去死记硬背某个结论，而是要领悟一些解决问题的

思路，掌握必要的方法，以便在实际工作中去创新。

本书的出版得到了大庆石油管理局第一采油厂张广成和杜国民同志的大力支持，特表示衷心感谢。孙冠杰同志对本书的出版给予了热情的帮助，深表敬意。

目 录

第一章 油井的产量预测	(1)
第一节 产量预测的重要意义	(1)
第二节 产量预测方法	(1)
第三节 产量预测实例	(6)
第四节 4 种预测产量方法的特点与适用性	(10)
第二章 抽油设备的选择	(15)
第一节 合理选择抽油设备的必要性	(15)
第二节 选择抽油设备的计算方法	(15)
第三节 3 种方法的计算实例	(30)
第四节 对 3 种方法的评价	(36)
第三章 抽油参数的优选	(39)
第一节 参数优选的意义	(39)
第二节 抽油参数的优选方法	(39)
第三节 其他参数的计算	(51)
第四节 实例	(56)
第五节 3 种优选参数方法的特点和优选参数需要解决的问题	(63)
第六节 参数优选的简明方法	(65)
第七节 多级组合杆柱的优选方法	(72)
第四章 用液面法计算有杆泵井的压力及测试仪简介	(75)
第一节 用液面等资料计算压力的必要性	(75)
第二节 用液面法计算泵入口压力	(75)
第三节 计算泵入口压力的其他方法	(81)
第四节 液面法计算流压	(87)
第五节 液面法计算地层压力	(90)
第六节 液柱恢复速度法计算地层压力	(93)
第七节 现代试井法计算地层压力	(96)
第八节 液面测试仪简介	(100)
第五章 地面设备工作状况的判断	(105)
第一节 抽油机平衡状况的判断	(105)
第二节 减速箱曲柄轴是否超扭矩的判断	(118)
第六章 井下诊断及诊断仪简介	(123)
第一节 井下诊断的必要性	(123)
第二节 光杆示功图法	(123)
第三节 井下示功图法	(126)
第四节 憋压诊断法	(134)

第五节	M 法	(139)
第六节	声测法	(143)
第七节	组合法	(145)
第八节	诊断仪器简介	(147)
第七章	有关参数的计算	(157)
第一节	参数计算的意义	(157)
第二节	从示功图上计算的参数	(157)
第三节	从压力恢复曲线上计算的常用参数	(169)
第四节	有杆泵井带喷量的计算	(175)
第五节	热洗法清蜡周期的计算	(177)
第六节	检泵周期的计算	(179)
第八章	系统效率的实测计算与计算方法的探讨	(182)
第一节	系统效率的实测计算	(182)
第二节	系统效率的常规计算方法	(189)
第三节	喷抽井系统效率计算方法的探讨	(189)
第四节	计算实例	(197)
第五节	误差原因分析与计算方法的建议	(202)
第九章	诊断与综合实例	(204)
第一节	井下示功图法判断泵况实例	(204)
第二节	其他实例	(213)
参考文献		(260)

第一章 油井的产量预测

第一节 产量预测的重要意义

油井的产量预测，就是预测油井在某一流压下的产量，以便为油井上抽或转轴提供选机选泵的参数，以及为调参挖潜提供重要依据。产量预测的准确与否，直接关系到转抽或上抽以及调参后的生产情况和经济效益。例如，若把油井的产量预测高了，则会使所选的机型或泵径偏大，油井的供液能力跟不上，就得重新换小机改小泵；如果产量预测低了，则会使所选的机型或泵径偏小，又不得不重换较大设备，否则将会使油井潜力不能发挥或设备发生故障。这样，不仅工作量大，还要造成人力、物力等的浪费。

产量预测，是根据油井的压力等资料，来建立产量和生产压差之间的关系，并根据这一关系计算产能，预测未来的油井动态。

多年来，国内外采油工程技术人员做了大量工作。从世界范围看，早期开发的油田，大多采用靠天然能量开发的方式。在消耗地层能量开发的方式下，随着油田开发期的延长，地层压力不断下降。当井底流动压力下降至饱和压力以下，油井周围油层中溶解气就开始从原油中分离出来，在压力作用下，油和气同时向井筒流动。尤其是在注水开发和天然水驱开发油田中，当井底流动压力降至饱和压力以下，油井周围会出现油、气、水三相同步流动。因此，要计算油井的产能，必须研究油井流入动态关系（Inflow Performance Relationship 简称为 IPR）。随着油田开发技术和理论的发展，这种研究不断地深入，发展了用 IPR 曲线分析和预测油井动态的方法。

第二节 产量预测方法

到目前为止，产量预测的方法多达几十种。虽然方法很多，但基本理论（和思路）都是相近的。现在，把大庆油田常用的 4 种产量预测方法作一简要叙述。

一、广义 IPR 法

这是 1980 年 L.D. 佩特（Paffon）发表的产量预测方法，其 IPR 曲线见图 1—1，计算公式为：

当 $p_e > p_f > p_b$ 时

$$J_o = \frac{q_o}{p_e - p_f}$$

$$q_b = J_o (p_e - p_b)$$

$$q_c = \frac{q_b}{1.8 \left(\frac{p_e}{p_b} - 1 \right)}$$

$$q_x = q_b + q_c$$

当 $p_c > p_b > p_f$ 时

$$q_c = \frac{q_o}{1.8 \left(\frac{p_e}{p_b} \right) - 0.8 - 0.2 \frac{p_f}{p_b} - 0.8 \left(\frac{p_f}{p_b} \right)^2}$$

$$q_b = 1.8 \left(\frac{p_e}{p_b} - 1 \right) q_c$$

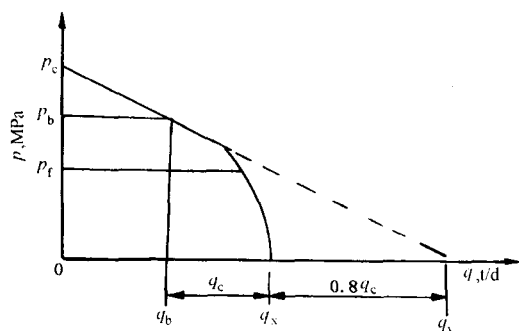


图 1-1 混合型油井流入动态曲线

q_y ——单相油流时理论最大产油量, t/d。

考虑油、气、水三相流时, 采用三相 IPR 曲线 (见图 1-2), 其计算公式为:

$$J = \frac{q_f}{p_e - p_f}$$

$$q_M = q_b + \frac{J p_b}{1.8}$$

$$q_x = q_M + f_w \left(p_e - \frac{q_M}{J} \right) \frac{J}{q - 8f_w}$$

$$p_f = p_e - \frac{q}{J_o} \quad (0 < q_f < q_b)$$

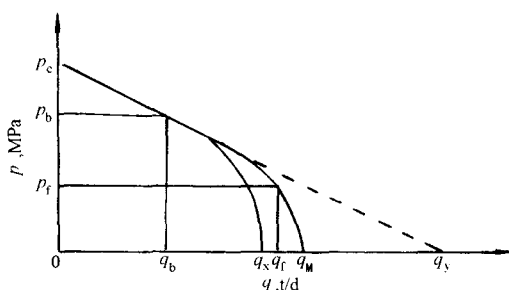


图 1-2 三相流时油井流入动态曲线

$$p_f = f_w \left(p_e - \frac{q_f}{J_o} \right) + 0.125 (1 - f_w) p_b \left\{ -1 - \left[81 - 80 \frac{q_f - q_b}{q_M - q_b} \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (q_b < q_f < q_M)$$

$$p_f = f_w \left(p_e - \frac{q_M}{J} \right) - (q_f - q_M) \frac{9 - 8f_w}{J_o} \quad (q_M < q_f < q_x)$$

式中 q_f ——油井的产液量, t/d;

q_M ——井底流动压力降为零时, 三相流的最大产液量, t/d;

J ——采液指数, t/(d·MPa);

f_w ——油井的含水率, 小数。

用上面的计算式, 由 p_f 求 q_f 很不方便, 同时压力范围的假设条件 ($p_e > p_f > p_b$ 和 $p_e > p_b > p_f$) 不适用于 $p_e < p_b$ 的情况, 因此改用下面的计算形式:

如果 $p_{f1} > p_b$, 则

$$J = \frac{q_{fl}}{p_{el} - p_{fl}} \quad (1-1)$$

$$q_b = J (p_{el} - p_b) \quad (1-2)$$

$$q_x = q_b + \frac{J p_b}{1.8} \quad (1-3)$$

$$q_M = q_y + f_{w1} (p_{el} - \frac{q_y}{J}) \frac{J}{9 - 8f_{w1}} \quad (1-4)$$

$$p_y = f_{w1} (p_{el} - \frac{q_y}{J}) \quad (1-5)$$

如果 $p_{fl} < p_b$, 则

$$q_c = \frac{q_{fl}}{1.8 \frac{p_{el}}{p_b} - 0.8 - 0.2 \frac{p_{fl}}{p_b} - 0.8 (\frac{p_{fl}}{p_b})^2} \quad (1-6)$$

$$q_b = 1.8 (\frac{p_{el}}{p_b} - 1) q_c \quad (1-7)$$

如果 $p_{l2} > p_b$, 则

$$q_{l2} = J (p_{e2} - p_{l2}) \quad (1-8)$$

如果 $p_{l2} < p_y$, 则

$$q_2 = q_M + \left[f_{w2} (p_{e2} - \frac{q_M}{J}) - p_{l2} \right] \frac{J}{(9 - 8f_{w2})} \quad (1-9)$$

如果 $p_{l2} > p_y$, 则

$$q_2 = \left(-\frac{B}{2A} \right) + \sqrt{\frac{B^2}{4A^2} - \frac{C}{A}} \quad (1-10)$$

$$B = 2Z \frac{f_{w2}}{J} + \frac{80Y^2}{X} \quad (1-11)$$

$$A = \frac{f_{w2}^2}{J^2} \quad (1-12)$$

$$C = Z^2 - 81Y^2 - 80Y^2 \frac{q_b}{X} \quad (1-13)$$

$$Z = p_{l2} + Y - f_{w2} p_{e2} \quad (1-14)$$

$$Y = (1 - f_{w2}) \frac{p_b}{8} \quad (1-15)$$

$$x = q_y - q_b \quad (1-16)$$

以上式中下角 1、2 分别表示为自喷转抽（或新井上抽）前、后和调参前、后。

二、相对采油指数法

彭鹏商、李抗美从 1982 年开始研究转抽后采油指数的变化规律，以计算机数据库中的大量数据中为基础，建立了相对采油指数预产法，其相对采油指数曲线见图 1—3，预产的计算步

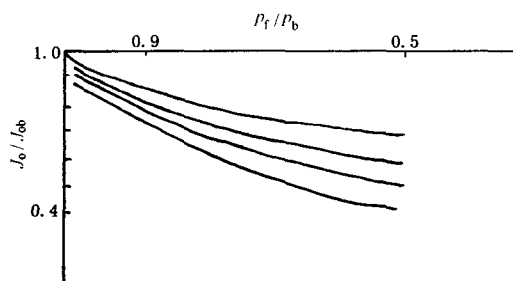


图 1—3 大庆萨中地区采油指数递减曲线

骤如下。

1. 计算饱和压力时的采油指数

当 $p_{fl} > p_b$ 时

$$J_{ob} = \frac{q_{o1}}{p_{e1} - p_{fl}} \quad (1-17)$$

当 $p_{fl} < p_b$ 时

$$J_{ob} = \frac{q_{o1}}{p_{e1} - p_{fl}} \left[E \left(\frac{p_{fl}}{p_b} \right) + D \right] \quad (1-18)$$

2. 计算转抽后的相对采油指数

当 $p_{f2} \geq p_b$ 时

$$\frac{J_o}{J_{ob}} = 1 \quad (1-19)$$

当 $p_{f2} < p_b$ 时

$$\frac{J_o}{J_{ob}} = \frac{1}{E \left(\frac{p_{f2}}{p_b} \right) + D} \quad (1-20)$$

3. 计算转抽后的采油指数

$$J_o = J_{ob} \left(\frac{J_o}{J_{ob}} \right) \quad (1-21)$$

4. 计算转抽后的产量

$$q_{o2} = J_o (p_{e2} - p_{f2}) \quad (1-22)$$

$$q_2 = \frac{q_{o2}}{1 - f_{w2}} \quad (1-23)$$

式中 J_{ob} ——井底流动压力等于饱和压力时的采油指数，t/(d·MPa)；
 E 、 D ——与地层压力和饱和压力有关的系数（见表 1—1），无量纲。

表 1—1 大庆油田各采油厂的 E 和 D 值

地区	$p_e/p_b < 1.25$		$p_e/p_b \geq 1.25$	
	E	D	E	D
第一采油厂	-1.8854	3.0158	-0.8264	1.8812
第二采油厂	-2.3362	3.3154	-0.9875	2.0142
第三采油厂	-2.1495	3.2533	-0.4998	1.5297
第四采油厂	-1.4613	2.5735	-0.4878	1.5311
第五采油厂	-2.9278	4.0000	-1.0815	2.1420
第六采油厂	-2.8043	3.8662	-0.8859	1.9182

三、压力幂数法

这是周继德同志根据大庆油田某些区块的实测统计资料，作出相关曲线后，推导出的产

量预测表达式。

1. 推导思路

(1) 地层压力大于饱和压力

若井底流动压力大于饱和压力，则产量与井底流动压力为直线关系（图 1—4 阴影部分）。

(2) 地层压力小于饱和压力

此时，井底流动压力也一定小于饱和压力，其产量与井底流动压力为幂函数关系。将曲线延伸（见图 1—5），可导出产量预测的计算公式。

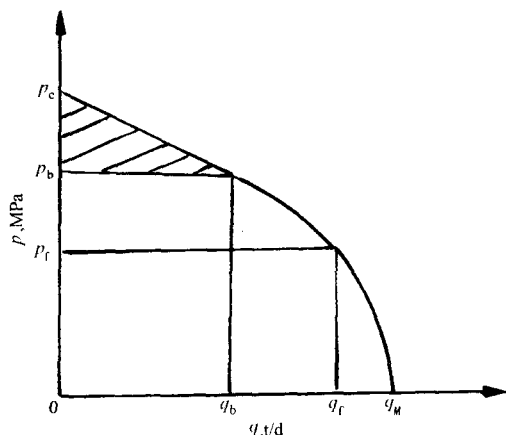


图 1—4 油井流入动态曲线 ($p_c > p_b$)

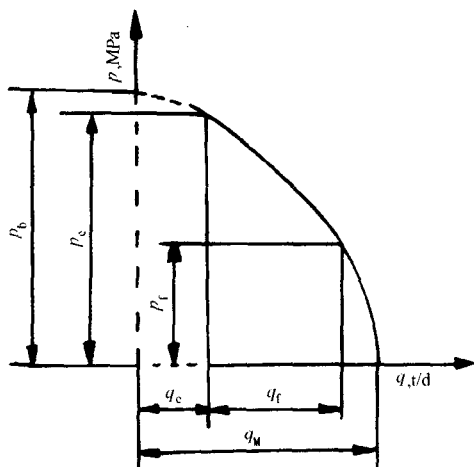


图 1—5 油井流入动态曲线 ($p_c < p_b$)

2. 确定压力幂数值 N

经大庆油田 69 口井的统计，压力幂数值 N 主要与含水率有关，并且为直线关系（见图 1—6），其方程式为：

$$N = 6 - 4f_w \quad (1-24)$$

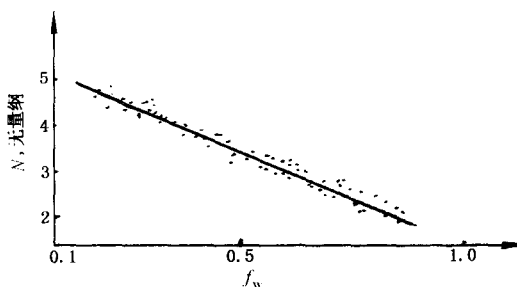


图 1—6 $N - f_w$ 关系曲线

3. 预测产量步骤和计算式

在已知目前（即转抽或调参前）的产量、地层压力、井底流动压力、饱和压力、含水率的前提下，按表 1—2 中的公式和步骤预测将来（转抽或调参后）的产量。

压力幂数法预测产量的使用效果以及计算公式的详细推导过程，见文献 [2]。

四、抛物线法

这是大庆石油管理局职工大学李发印研究出的一种产量预测方法。因为该方法的曲线形状就象抛物线一样，故叫抛物线法。

抛物线法的计算公式为：

$$q_{\Pi} = q_{\Pi} \frac{(p_{e2} - p_{\Pi}) \sqrt{p_{\Pi}}}{(p_{e1} - p_{\Pi}) \sqrt{p_{\Pi}}} \quad (1-25)$$

表 1—2 压力幂数法预测产量步骤和计算公式

转抽或调参前	压力范围	$p_{e1} > p_b$		$p_{e1} < p_b$
		$p_{f1} < p_b$	$p_{f1} > p_b$	
	计算式	$J = q_{f1} / (p_{e1} - p_{f1}), q_b = J (p_{e1} - p_b)$ $q_M = \frac{q_b p_b}{N (p_{e1} - p_b)} + q_b$		$q_M = \frac{q_{f1} p_b^{N1}}{p_e^{N1} - p_{f1}^{N1}}$
转抽或调参后	压力范围	$p_{e2} > p_b$		$p_{e2} < p_b$
		$p_{f2} < p_b$	$p_{f2} > p_b$	
	计算式	$q_{f2} = q_M - (q_M - q_b) \left(\frac{p_{f2}}{p_b} \right)^{N2}$	$q_{f2} = J (p_{e2} - p_{f2})$	$q_{f2} = \frac{q_M}{p_b^{N2}} (p_{e2}^{N2} - p_{f2}^{N2})$

第三节 产量预测实例

一、转抽后预测产量实例

中 101—23 井, 自喷生产情况为: $p_b = 9.80\text{MPa}$, $p_{e1} = 10.10\text{MPa}$, $p_{f1} = 9.35\text{MPa}$, $q_1 = 65\text{t/d}$, $f_{w1} = 0.820$, 要求井底流动压力降为 7.0MPa , 地层压力保持不变, 预测转抽后的产液量 (假设含水率不变)。

根据要求条件: 地层压力和含水率不变, 即 $p_{e2} = p_{e1} = 10.10\text{MPa}$, $f_{w2} = f_{w1} = 0.820$ 。

1. 用广义 IPR 法计算

由式 (1—1) 得

$$J = \frac{65}{10.10 - 9.35} = 86.7\text{t}/(\text{d} \cdot \text{MPa})$$

由式 (1—6) 得

$$q_c = \frac{65}{1.8 \times \left(\frac{10.10}{9.80} - 1 \right) - 0.8 - 0.2 \times \frac{9.35}{9.80} - 0.8 \times \left(\frac{9.35}{9.80} \right)^2} = 477.7\text{t/d}$$

由式 (1—7) 得

$$q_b = 1.8 \times \left(\frac{10.10}{9.80} - 1 \right) \times 477.7 = 26.32\text{t/d}$$

由式 (1—3) 得

$$q_y = 26.32 + 86.7 \times \frac{9.80}{1.8} = 498.4\text{t/d}$$

由式 (1—4) 得

$$q_M = 498.4 + 0.82 \times (10.10 - 498.4/86.7) \times \frac{86.7}{9 - 8 \times 0.82} = 625.2 \text{ t/d}$$

由式 (1—5) 得

$$p_y = 0.82 \times (10.10 - \frac{498.2}{86.7}) = 3.5701 \text{ MPa}$$

由式 (1—16) 得

$$X = 498.4 - 26.32 = 472.08 \text{ t/d}$$

由式 (1—15) 得

$$Y = (1 - 0.82) \times \frac{9.80}{8} = 0.196 \text{ MPa}$$

由式 (1—14) 得

$$Z = 7.0 + 0.196 - 0.82 \times 10.10 = -1.288 \text{ MPa}$$

$$A = 0.82^2/86.7^2 = 9.387 \times 10^{-5} \text{ MPa}^2 \cdot \text{d}^2/\text{t}^2$$

由式 (1—11) 得

$$B = 2 \times (-1.288) \times 0.82/86.7 + \frac{80 \times 0.196^2}{472.08} = -1.8448 \times 10^{-2} \text{ MPa}^2 \cdot \text{d}^2/\text{t}^2$$

由式 (1—13) 得

$$C = (-1.288)^2 - 81 \times 0.196^2 - 80 \times 0.196^2 \times \frac{26.32}{472.08} = -1.6241 \text{ MPa}^2$$

由式 (1—10) 得

$$q_2 = \frac{1.8448 \times 10^{-2}}{2 \times 9.387 \times 10^{-5}} + \sqrt{\frac{(-1.8448) \times 10^{-2}}{4 \times (4.93875) \times 10^{-5}} - \frac{-1.6241}{9.3875 \times 10^{-5}}}$$

$$= 98.26 + 164.2 = 262.5 \text{ t/d}$$

2. 用相对采油指数法计算

$$q_{ol} = 65 \times (1 - 0.82) = 11.7 \text{ t/d}$$

因为 $p_{cl}/p_b = p_{c2}/p_b = 10.10/9.80 = 1.031 < 1.25$, 故由表 1—1 知, $E = -1.89$, $D = 3.00$ 。

(1) 井底流动压力等于饱和压力时的采油指数

因为 $p_{fl} = 9.35 \text{ MPa} < p_b = 9.80 \text{ MPa}$, 所以由式 (1—18) 得:

$$J_{ob} = \frac{11.7}{10.10 - 9.35} \left[-1.89 \times \left(\frac{9.35}{9.80} \right) + 3.00 \right] = 18.66986 \text{ t/(d} \cdot \text{MPa)}$$

(2) 转抽后的相对采油指数

因为 $p_{\Sigma} = 7.00 \text{ MPa} < p_b = 9.80 \text{ MPa}$, 所以由式 (1—20) 得:

$$\frac{J_{\alpha 2}}{J_{ob}} = \frac{1}{-1.89 \times \frac{7.00}{9.80} + 3.00} = 0.6061$$

(3) 转抽后采油指数

由式 (1—21) 得

$$J_{\alpha 2} = 18.66986 \times 0.6061 = 11.3158 \text{ t/(d} \cdot \text{MPa)}$$

(4) 转抽后产液量

由式 (1—22) 得

$$q_{\alpha 2} = 11.3 \times (10.10 - 7.00) = 35.03 \text{ t/d}$$

由式 (1—23) 得

$$q_2 = \frac{35.03}{1 - 0.82} = 194.6 \text{ t/d}$$

3. 用压力幂数法计算

$$N_1 = 6 - 4f_{w1} = 6 - 4 \times 0.82 = 2.72 = N_2$$

因 $p_{cl} = 10.10 \text{ MPa} > p_b = 9.80 \text{ MPa}$, $p_{fl} = 9.35 \text{ MPa} < p_b = 9.80 \text{ MPa}$, 所以由表 1—2 的有关公式得:

$$q_b = 86.67 \times (10.10 - 9.8) = 26.00 \text{ t/d}$$

$$q_M = \frac{26.00 \times 9.8}{2.72 \times (10.10 - 9.8)} + 26.00 = 338.25 \text{ t/d}$$

又因 $p_{\Sigma} = 10.10 \text{ MPa} > p_b = 9.80 \text{ MPa}$, $p_{\Sigma} = 7.00 \text{ MPa} < p_b = 9.80 \text{ MPa}$, 所以由表 1—2 的有关公式得:

$$q_2 = 338.25 - (338.25 - 26.00) \times \left(\frac{7.00}{9.8} \right)^{2.72} = 213.2 \text{ t/d}$$

4. 用抛物线法计算

由式 (1—25) 得

$$q_2 = 65 \frac{(10.10 - 7.0) \sqrt{7.0}}{(10.10 - 9.35) \sqrt{9.35}} = 232.5 \text{ t/d}$$

以上 4 种方法对中 101—23 井的产量预测情况, 见表 1—3。

表 1—3 4 种方法对中 101—23 井的预测产量

项 目 \ 方 法	广义 IPR 法	相对采油 指数法	压力幂数法	抛物线法	实 测
预测产量 t/d	262.5	194.6	213.2	232.5	218.0
相对误差 %	20.4	-10.7	-2.2	6.7	

从表 1—3 看出, 广义 IPR 法预测产量偏大, 其它方法接近实测值。

二、调参预测产量实例

中 2—7 井, 调参前: $p_{e1} = 10.01\text{MPa}$, $p_{12} = 9.02\text{MPa}$, $q_{11} = 174\text{t/d}$, $f_{w1} = 0.925$; 调参后 (冲次由 8min^{-1} 调至 12min^{-1}): $p_{e2} = 9.39\text{MPa}$, $p_{12} = 7.67\text{MPa}$, $q_{12} = 249\text{t/d}$, $f_{w2} = 0.870$ 。

分别用 4 种方法计算的预测产量值和调参前、调参后的生产情况见表 1—4。

表 1—4 中 2—7 井有关参数

时 间	阶 段	预测方法	抽油参数			地层 压力 MPa	流压 MPa	产液 t/d	含水率 %
			泵径 mm	冲程 m	冲次 min^{-1}				
1987 年 3 月	调参前		83	3.6	8	10.01	9.02	174	92.5
1987 年 6 月	调参后		83	3.6	12	9.39	7.67	249	87.0
		广义 IPR 法						314	
		相对采油指数法						103	
		压力幂数法						283	
		抛物线法						278	

从表 1—4 看出, 抛物线法预测产液 278t/d, 误差为 11.6%; 压力幂数法预测产液为 283t/d, 误差为 12.8%; 广义 IPR 法预测产液为 314t/d, 误差为 26.1%; 按相对采油指数法预测产液为 103t/d, 误差为 -58.8% (这比调参前的产液 174t/d 还少)。

三、IPR 曲线的实例

中 77—203 井, $p_b = 10.40\text{MPa}$, 转抽前、后生产情况和用 4 种方法的预测产液情况见表 1—5。IPR 曲线见图 1—7。

表 1—5 中 77—203 井有关数据

时 间	生 产 方 式	预测产量方法	地层 压力 MPa	井底流动压力 MPa	产液 t/d	选电泵 m^3/d
1985 年 2 月	自喷		10.14	8.41	205	
1986 年 10 月	电泵		10.14	7.14	307	320

续表

时 间	生产 方式	预测产量方法	地层 压力 MPa	井底流动压力 MPa	产液 t/d	选电泵 m ³ /d
		广义 IPR 法			328.2	320
		相对采油指数法			307.1	320
		压力幂数法			301.0	320
		抛物线法			327.6	

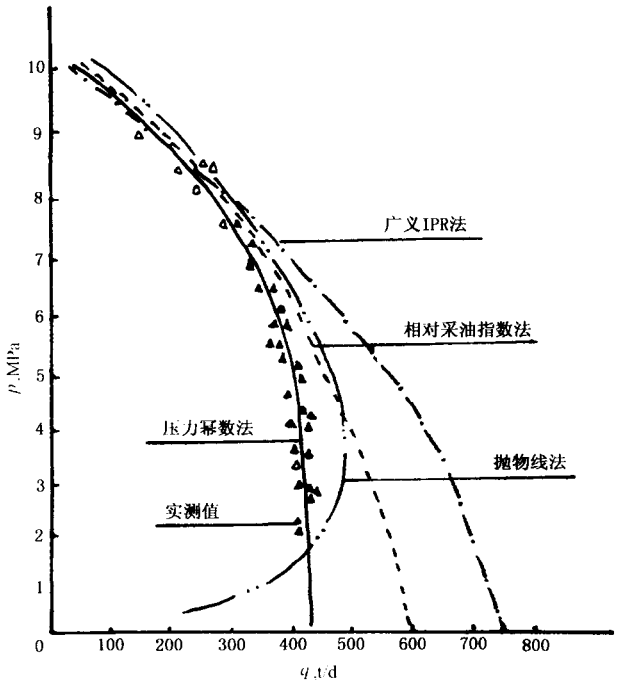


图 1—7 中 77—203 井的 IPR 曲线

从表 1—5 看出，由于按 4 种方法所预测的产量相关不大，因而选择的电泵排量也相同（320m³/d）。

但井底流动压力较低时，4 种方法所预测的产量相差较大。从图 1—7 可以明显地看出：当井底流动压力越低时，产量的预测值为：广义 IPR 法偏高越多，相对采油指数法次之，压力幂数法接近实测值，抛物线法比较特殊： $p_i = 10.14/3 = 3.38\text{MPa}$ 时，最大产液量为 507.8t/d；至这个极值点之后，产量随着井底流动压力的降低而降低。但该井缺乏更低井底流动压力时的产量，所以是否为抛物线形状，无法证实。

第四节 4 种预测产量方法的特点与适用性

一、共同点

1. 应用范围相同

广义 IPR 法、相对采油指数法、压力幂数法和抛物线法都适用于单相流、双相流和油、气、水三相流条件下，自喷或非自喷井的产量预测。

2. 井底流动压力在饱和压力点以上的预测产量表达式都相同

3 种方法当井底流动压力在饱和压力点以上的产量预测公式都相同，即产量与生产压差为线性关系。