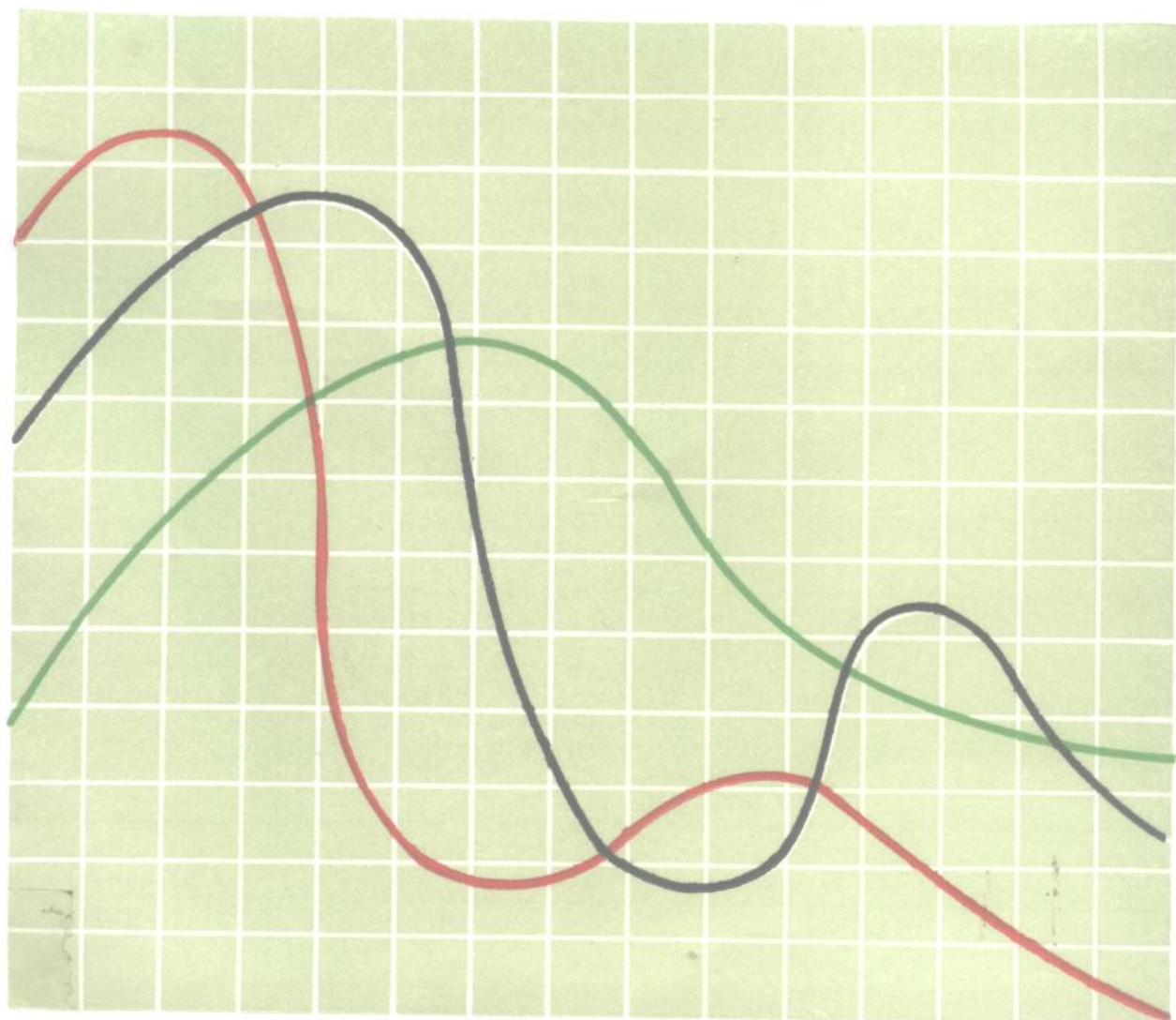


陈元千 著

油气藏工程计算方法

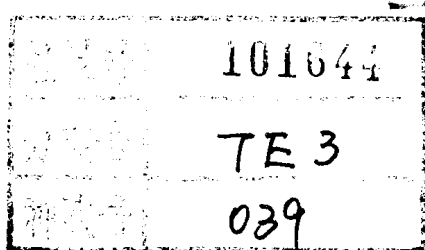
(续 篇)



(北京)

3

石油工业出版社

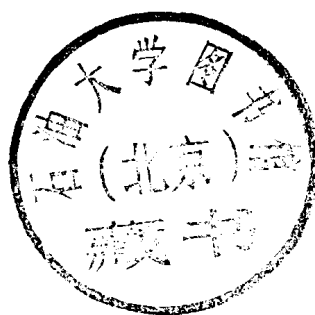


油气藏工程计算方法 (续篇)

Petroleum Reservoir Engineering
Calculation Methods(Continuation)

陈元千 著

Chen Yuanqian



石油工业出版社

Petroleum Industry Press

(京)新登字082号

内 容 提 要

本书是一本专业技术文集,共包括三部分45篇论文和一个附录。其中第一部分是有关矿场试井和油气井产能预测等方面的内容20篇;第二部分是有关储量计算和油气藏动态预测等方面的内容15篇;第三部分是有关相关经验公式和油气藏工程标准化等方面的内容10篇。在附录部分,介绍了油气藏工程的常用参数,以及SI制、米制和英制的计量单位。

本书内容实际、方法简便,实用性强,可供矿场从事油气藏工程方面的技术人员使用,也可供大专院校和科研单位的有关人员参考。

0756/13

油气藏工程计算方法 (续篇)

Petroleum Reservoir Engineering
Calculation Methods (Continuation)

陈元千 著

Chen Yuanqian

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京顺义燕华印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 19印张 471千字 印 2,001—4,000

1991年12月北京第1版 1994年5月北京第2次印刷

ISBN 7-5021-0573-5/TE·548

定价: 15.00元

序

本书是陈元千同志有关油藏工程方面论文的一本选集。其中的大多数文章已在国内的各种技术刊物上发表。书中包括了关于试井与产能预测方面的论文20篇；储量估算与油藏动态预测方面的论文15篇；有关矿场常用参数的相关经验公式5篇；以及有关单位标准化方面的论文5篇；共四个方面的论文45篇。书中有关单位标准化方面的论文，严格说并不是油藏工程的内容。但是这些都是在油藏工程中经常遇到的一些问题，特别是在我国已经采用SI制作为法定的计量单位，许多工程技术人员对此还不太熟悉，常常觉得有些困扰。因此本册中选入了这些论文，以供广大的油藏工程技术人员参考应用。

油藏工程作为一门独立的科学技术，形成的时间较晚，大体上是在40年代的早期。由于它所研究的对象是一个地质实体，因此不可能不表现出某些意义上的地质特性。很多问题的结论不是严格的定量数据，而带有定性或半定量的性质。由于油气藏深埋在地下，除了通过钻井取心、测井和试井等方法，从井筒中取得一些相应的参数而外，对于井间油藏情况的了解，只能通过建立的某种地质模型来加以推断。这样尽管计算技术已经高度发达，油藏数值模拟已经取得了很大的进展，而统计和经验相关方法，在油藏动态的预测和分析中，仍有很大的作用。而且在矿场工程师的日常工作中，没有可能，也没有必要，动用一些大型计算机进行频繁的数值模拟研究。应用这类经验和相关分析方法，可以对油藏动态进行至少是半定量的分析和预测，据此制定相应的技术措施，改善油田的开发状况。正是在这个意义上，本集中收集的论文有着很好的实用价值。

陈元千同志是一位在油藏工程方面有着30多年的研究和实际经验的工程师。本集中收进的各篇论文，是他在多年对各个油田进行油藏动态分析中经验的积累。其中有的是对油藏性质的了解和参数的确定；有的是对油藏开发动态的分析和预测。这些文章中也包括了陈元千同志对前人已发表的一些通用公式的完善和修改，使之更符合实际情况的要求。由于这些方法和公式都经过了矿场的使用和验证，因而具有较高的实用性和可信性，可以直接用于油藏动态的分析。如果出现一些误差的话，这里提供的一些方法和原理，也可以用来作进一步的修正。因此，这是一本有着很高实用价值的论文选集。

我希望本书的出版，将为广大的油藏工程工作者提供一种有力的工具，使它们在工作中有一些可靠的依据，以不断改善我国油田的开发效果。

秦同洛 教授

1990年3月12日于北京

Preface

This book is a selection of articles written by Mr. Chen Yuanqian, and most of them have been published in some technical journal. There are 45 papers in this volume, including 20 papers dealing with well testing and the prediction of oil (gas) well productivities, 15 papers dealing with reserve estimation and the prediction of reservoir performance, 5 papers dealing with empirical formula commonly used in field practices, and 5 papers dealing with the application of SI system of units in reservoir engineering calculation. Although the discussion of the system of units is somewhat universal, these corresponding papers are selected for the purpose of giving a convenience to the reservoir engineers in view that SI system of units which has been defined by our national authorities to be used as a standard system in our country, and therefore a problem of unit conversion will occur inevitably in their routine works.

As a technical science, reservoir engineering has been established since early 40's. The subject to be studied in oil (gas) engineering—a oil (gas) reservoir is clearly characterized by its geological features, i. e. no strict quantitative results will be obtained and only qualitative results or semi-quantitative results will occur usually. Moreover, an oil (gas) reservoir, being buried deeply underground, can only be studied by drilling wells and subsequent technical measures taken through these well bores—coring, well logging, well testing and well production, while the interwell reservoir properties can only be estimated according to some geological models which are established more or less arbitrarily. Thus, matter of uncertainty will always be included in reservoir study, even with the highly developed computer science and numerical simulation technology today. Statistical techniques and empirical formulas, therefore, will find their useful positions in this case. At least, semiquantitative results could be obtained by reservoir engineers which can be used to analyze and predict reservoir behavior, and technical measures can be planned for the improvement of its development based upon these prediction. This is more important in the routine work of a field reservoir engineer where computerized reservoir simulation is not warranted. Thus, the articles included in this book will find their practical value in this sense.

Mr. Chen has engaged in reservoir engineering study for more than 30 years. All these papers included is the results obtained in solving problems occurred

in various oil (gas) reservoirs which he has been studied. All the formulas in these articles are taken from openly published literatures with some developments and modifications practically or theoretically made by Mr. Chen for a better match with the actual field data. Since these results have been verified by field data from various oil (gas) reservoirs, they are highly practical and reliable and can be applied in actual field practice. In some cases, they can be used with some slight modifications by the principles outlined in these articles, provided that some deviations occur in the match of calculated with the actual field data.

It is expected that the publication of this book may give a useful tool to the reservoir engineers, and a better reservoir management may result due to their more careful and detailed reservoir behavior analysis.

Qin Tongluo
Professor, RIPED
March, 12, 1990
Beijing

目 录

1. 矿场试井及产能预测	(1)
1.1 预测油井产能的新方法	(3)
1.2 湍流对油井产能的影响及简单的预测方法	(10)
1.3 预测电泵井产能的简易方法	(18)
1.4 气井未来产能的简易预测方法	(23)
1.5 改进等时试井资料应用的新方法	(29)
1.6 气井压降曲线拟稳定阶段关系式的推导及应用	(37)
1.7 利用压力恢复曲线确定油井控制储量的通式及其应用条件	(48)
1.8 利用典型曲线图确定地层压力	(54)
1.9 变产量压降曲线资料的应用	(62)
1.10 扩展的马斯卡特法的应用	(67)
1.11 确定驱动半径的新方法	(75)
1.12 Mckinley典型曲线关系式的单位变换及应用	(81)
1.13 确定气井流动效率的新方法	(87)
1.14 确定气井流动效率的一点法	(94)
1.15 确定气井湍流表皮系数的方法	(102)
1.16 确定部分射开污染井表皮系数的方法	(107)
1.17 完井对水锥和气锥控制的分析	(113)
1.18 RFT测试资料在油气藏评价中的应用	(118)
1.19 确定地层流体界面位置的一点测试图解法	(134)
1.20 层间干扰对油井产能的影响	(138)
2. 储量计算及动态预测	(141)
2.1 确定油田伴生气采收率的方法	(143)
2.2 广义的Копытов公式的推导及其应用	(151)
2.3 确定递减类型的新方法	(157)
2.4 水驱曲线法在气田开发上的应用	(163)
2.5 利用水驱曲线判断递减类型	(168)
2.6 利用水驱曲线交汇法确定油田的可采储量	(175)
2.7 校正水驱曲线的方法	(178)
2.8 水驱曲线的典型图版及应用	(185)
2.9 预测水驱油田采收率的诺模图	(191)
2.10 确定定容封闭弹性驱动油藏地质储量的压降法及诺模图	(196)
2.11 确定定容复杂类型气藏地质储量的简单方法	(202)
2.12 计算油气藏储量的容积法	(209)
2.13 提高采液速度保持油田稳产	(213)

2.14	排水采气对水驱气藏采收率的影响	(219)
2.15	确定气藏可采储量的方法	(226)
3.	相关经验公式及标准化	(235)
3.1	确定地层原油物性的相关经验公式	(237)
3.2	确定天然气物性的相关经验公式	(243)
3.3	确定地层水物性的相关经验公式	(249)
3.4	确定酸性天然气偏差系数的方法	(253)
3.5	平均相对渗透率曲线的方法	(257)
3.6	相对渗透率曲线和毛管压力曲线的标准化方法	(261)
3.7	平均相对渗透率曲线的标准化方法	(267)
3.8	对SY5155—87标准的几点补充说明	(271)
3.9	对SY5155—87标准中几个特定单位表示法的说明	(274)
3.10	利用不同单位制表示的气藏工程常用公式	(276)
	附录	(288)
	后记	(294)

Contents

1. Well Testing and Productivity Prediction	(1)
1.1 A New Method for Predicting Productivity of Oil Well	(3)
1.2 The Effect of Turbulence on Oil Well Productivity and a Simplified Treatment Technique	(10)
1.3 A Simple Method for Predicting Productivity of Electric Pump Wells	(18)
1.4 A Simple Method for Predicting the Future Productivity of Gas Wells	(23)
1.5 A New Method for the Application of Modified Isochronal Testing Data	(29)
1.6 The Derivation of the Pseudo-Steady State Period of Pressure Drawdown Curve and Its Applications	(37)
1.7 A General Formula and Its Limitations for Determination of Oil In-place Around a Producing Well by Using Pressure Buildup	(48)
1.8 Determination of Reservoir Pressure from Type Curve Graphs.....	(54)
1.9 Application of the Data for Pressure Drawdown Curve With Variable Rate	(62)
1.10 Application of the Extended Muskat Method.....	(67)
1.11 A New Method of Determining the Drainage Radius	(75)
1.12 Application of the Relationship of McKinley's Type Curve.....	(81)
1.13 A New Method of Determining Flow Efficiency of Gas Well.....	(87)
1.14 One Point Method for Determining Flow Efficiency of Gas Well	(94)
1.15 Method of Determining Turbulent Skin Factor of Gas Well	(102)
1.16 A Method of Determining Skin Factor in a Partially Perforated Damaged Well.....	(107)
1.17 Analysis of Well Completion for Controlling Water and Gas Coning.....	(113)
1.18 Application of the RFT Testing Data on Reservoir Evaluation.....	(118)
1.19 Graphically Method to Determine Reservoir Fluid Interface by One-point Testing	(134)
1.20 The Disturbance Among Formations to the Effect of Oil Well Productivity	(138)
2. Reserve Estimation and Performance Prediction	(141)
2.1 Methods of Determining Associated Gas Recovery Efficiency in Oil Reservoirs.....	(143)

2.2	Application and Derivation the Formula of Generalized Kopatov.....	(151)
2.3	A New Method of Identifying the Types of Decline Curve.....	(157)
2.4	Application of Water Drive Curve Method on Gasfields Development.....	(163)
2.5	Determination of Decline Types Using Water Drive Curves.....	(168)
2.6	Cross Plot Method of Water Drive Curves to Determine Recover- able Reserves	(175)
2.7	Methods of Correcting Water Drive Curve	(178)
2.8	Application and Type Graph of Water Drive Curve	(185)
2.9	Nomographs of Predicting Recovery Efficiency in Water Drive Oilfields	(191)
2.10	Pressure Drop Method and Nomograph to Determine Oil In-place of Volumetric Undersaturated Oil Reservoir	(196)
2.11	Simple Method to Determine Geological Reserves of Volumetric Complex Gas Reservoir	(202)
2.12	Volumetric Method of Calculating Oil and Gas Reserves.....	(209)
2.13	Raising Liquid Withdrawal Rate Keeping Plateau Production of Oilfields	(213)
2.14	The Effect of Water Withdrawal in Production Gas on Recovery Efficiency of Water Drive Gas Reservoirs	(219)
2.15	The Methods of Determining Recoverable Reserves of Gas Reservoirs	(226)
3.	Correlation and Standardization	(235)
3.1	Correlations of Determining Reservoir Oil Properties.....	(237)
3.2	Correlations of Determining Reservoir Gas Properties	(243)
3.3	Correlations of Determining Reservoir Water Properties	(249)
3.4	Method of Determining Deviation Factor of Sour Natural Gas.....	(253)
3.5	Method of Averag ing Relative Permeability Curves.....	(257)
3.6	Normalized Methods of the Curves for Relative Permeability and Capillary Pressure.....	(261)
3.7	Normalized Method of Averaging Relative Permeability Curves	(267)
3.8	Additional Explanations about SY 5155-87 Standard	(271)
3.9	Illustration of Expressive Methods of Special Units for SY 5155- 87 Standard	(274)
3.10	Using Different Unit Systems to Express Common Formulas of Gas Reservoir Engineering.....	(276)
	Appendix	(288)
	Author's Words	(294)

1. 矿场试井及产能预测

Well Testing and Productivity Prediction

1.1 预测油井产能的新方法

提 要

井底流动压力高于饱和压力时, 储层流体呈单相原油流动; 低于饱和压力时, 近井地带出现油气两相流动区, 二者的油井产能公式大不相同。但可以通过本文给定的(9)式, 在井底流动压力低于饱和压力时, 利用测试的产量和相应的流动压力求饱和压力以上的采油指数。同时可以用文中的(13)式, 由高于饱和压力下的采油指数, 求取低于饱和压力下不同井底流动压力条件的采油指数。本文还提出了在特殊情况下, 如新投产的完善井, 井底流动压力等于零时的有关计算式。这些关系式对确定和预测探井或生产井的产能是有效的, 并由两个实例作了证明。

引 言

无论是探井或是生产井, 确定和预测油井的产能, 都是必不可少的工作。它不但涉及到油藏的早期评价, 而且也是编制油田开发规划和方案之所必需。因此, 这一工作得到了国内外油藏工程师的普遍重视。本文基于文献^[1]的理论研究成果, 提出预测油井产能变化的方法, 并通过我国的实例, 说明了方法的正确性和有效性。

方法的引导

基于文献^[1]的研究成果, 对于井底流动压力高于或低于饱和压力的两种情况, 预测油井产能的方法, 将分别引用和推导如下。

(1) 当 $p_{wf} \geq p_b$ 的单相原油流动时, 油井的产量公式为^[1]:

$$q_o = J_o(p_R - p_{wf}) \quad (1)$$

式中 q_o ——油井的产量, m^3/d 或 t/d ;

J_o ——井底流动压力在饱和压力以上时的采油指数, $m^3/(MPa \cdot d)$ 或 $t/(MPa \cdot d)$;

p_R ——地层压力, MPa ;

p_{wf} ——井底流动压力, MPa 。

当 $p_{wf} = p_b$ 时, $q_o = q_b$, 由 (1) 式得:

$$q_b = J_o(p_R - p_b) \quad (2)$$

式中 q_b ——井底流动压力等于饱和压力时的油井产量, m^3/d 或 t/d ;

p_b ——饱和压力, MPa 。

(2) 当 $p_{wf} < p_b < p_R$ 油井井底附近地带出现两相流动区时, 油井的产量表达式为^[1]:

$$q_o^* = q_b + (q_{AOF} - q_b)[(2-V)FEp_D - (1-V)FE^2p_D^2] \quad (3)$$

$$q_{AOF} = q_b + \frac{q_b p_b}{FE(2-V)(p_R - p_b)} \quad (4)$$

$$p_D = (p_b - p_{wf})/p_b \quad (5)$$

$$FE = 1 - [0.87mS / (p_R - p_{wf})] \quad (6)$$

式中 q^* ——在 $p_{wf} < p_b$ 下油井的产量, m^3/d 或 t/d ;

p_D ——无因次压力;

FE ——流动效率。完善井 $FE = 1.0$; 不完善井 $FE < 1.0$; 超完善井 $FE > 1.0$;

S ——表皮系数。完善井 $S = 0$; 不完善井 $S > 0$; 超完善井 $S < 0$;

m ——压力恢复曲线直线段的斜率, $MPa/cycle$;

V ——沃格 (Vogel) 参数。它的大小取决于地层能量 (压力) 的消耗程度和油井的采出程度^[1]。它的变化范围为 $0 \sim 1$ ^[2]。对于新井或投产早期生产的油井, 按照文献^[3]的研究 $V = 0.2$;

q_{AOF} ——当井底流动压力 $p_{wf} = 0$ 时的最大理论流量, 通称为绝对无阻流量, m^3/d 或 t/d 。

将 (4) 式代入 (3) 式得:

$$q^* = q_b \left[1 + \frac{p_b - p_{wf}}{p_R - p_b} - \frac{FE(1-V)(p_b - p_{wf})^2}{p_b(2-V)(p_R - p_b)} \right] \quad (7)$$

再将 (2) 式代入 (7) 式得:

$$q^* = J_o \left[(p_R - p_{wf}) - \frac{FE(1-V)(p_b - p_{wf})^2}{p_b(2-V)} \right] \quad (8)$$

由 (8) 式可以得到在井底流动压力低于饱和压力条件下, 利用测试的产量 q^* 和相应的井底流动压力 p_{wf} 数值, 求饱和压力以上采油指数 J_o 的关系式^[1]:

$$J_o = \frac{q^*}{(p_R - p_{wf}) - \frac{FE(1-V)(p_b - p_{wf})^2}{p_b(2-V)}} \quad (9)$$

若令 J^* 表示在 $p_{wf} < p_b$ 的条件下、不同生产压差的采油指数, 那么相应的油井产量可表示为:

$$q^* = J^* (p_R - p_{wf}) \quad (10)$$

将 (10) 式代入 (8) 式得

$$J^* = J_o \left[1 - \frac{FE(1-V)(p_b - p_{wf})^2}{p_b(2-V)(p_R - p_{wf})} \right] \quad (11)$$

再将 (11) 式改写为下式:

$$J^* = J_o \left\{ 1 - \frac{FE(1-V) \left[1 - 2 \left(\frac{p_{wf}}{p_b} \right) + \left(\frac{p_{wf}}{p_b} \right)^2 \right]}{(2-V) \left(\frac{p_R}{p_b} - \frac{p_{wf}}{p_b} \right)} \right\} \quad (12)$$

设饱和压力以下与以上的采油指数比为 η , 则得:

$$\eta = \frac{J^*}{J_o} = 1 - \frac{FE(1-V) \left[1 - 2 \left(\frac{p_{wf}}{p_b} \right) + \left(\frac{p_{wf}}{p_b} \right)^2 \right]}{(2-V) \left(\frac{p_R}{p_b} - \frac{p_{wf}}{p_b} \right)} \quad (13)$$

由 (13) 式可以看出, η 随 p_{wf}/p_b 的变化数值均小于 1.0。当 $p_{wf} = p_b$ 和 $p_{wf}/p_b = 1$ 时, $\eta = 1.0$, 即 $J^* = J_o$, 这也表明了 (13) 式的正确性。

对于新投产的完善井, $V = 0.2$ 和 $FE = 1.0$ 时, 由 (4)、(8)、(9)、(11) 和 (13) 式

可分别得到如下的简化式:

$$q_{\text{AOF}} = q_b \left[1 + \frac{p_b}{1.8(p_R - p_b)} \right] \quad (14)$$

$$q^*_{\circ} = J_{\circ} \left[(p_R - p_{wf}) - 0.4444 \frac{(p_b - p_{wf})^2}{p_b} \right] \quad (15)$$

$$J_{\circ} = \frac{q^*_{\circ}}{(p_R - p_{wf}) - \frac{0.4444(p_b - p_{wf})^2}{p_b}} \quad (16)$$

$$J^*_{\circ} = J_{\circ} \left[1 - \frac{0.4444(p_b - p_{wf})^2}{p_b(p_R - p_{wf})} \right] \quad (17)$$

$$\eta = \frac{J^*_{\circ}}{J_{\circ}} = 1 - \frac{0.4444 \left[1 - 2 \left(\frac{p_{wf}}{p_b} \right) + \left(\frac{p_{wf}}{p_b} \right)^2 \right]}{\frac{p_R - p_{wf}}{p_b}} \quad (18)$$

当 $p_{wf}=0$ 时, 由 (15) 式至 (18) 式可分别得到特定条件下的如下关系式:

$$q^*_{\circ} = q_{\text{AOF}} = J_{\circ}(p_R - 0.4444 p_b) \quad (19)$$

$$J_{\circ} = q_{\text{AOF}} / (p_R - 0.4444 p_b) \quad (20)$$

$$J^*_{\text{AOF}} = J_{\circ} \left(1 - 0.4444 \frac{p_b}{p_R} \right) \quad (21)$$

$$\eta_{\text{AOF}} = \frac{J^*_{\text{AOF}}}{J_{\circ}} = 1 - 0.4444 \frac{p_b}{p_R} \quad (22)$$

方法应用实例

下面通过我国两个油田两口井的实例应用, 说明本文提供方法的正确性和有效性。

(1) 克拉玛依油田的克193井是一口出油的探井, 系统试井测试的数据列于表1内。测得的地层压力 $p_R = 30.82 \text{ MPa}$; 由PVT取样分析测试的饱和压力 $p_b = 24.40 \text{ MPa}$; 由于是一口新井, 而又没有测试压力恢复曲线数据, 故取 $V = 0.2$ 和 $FE = 1.0$ 。试求该井的绝对无阻流量 q_{AOF} , 并进行产能预测。

表 1 克193井系统试井数据表

油嘴, d (mm)	日产量, q_o (t/d)	井底流动压力, p_{wf} (MPa)	采油指数, J_o (t/(MPa·d))
4	52.5	28.70	24.76
6	108.5	26.36	24.33
7	138.5	25.27	24.95
8	163.9	24.25	24.95

由表1可以看出, 前三个油嘴 (工作制度) 测试的井底流动压力均高于饱和压力, 因此, 所得饱和压力以上的采油指数基本相同, 取前三个油嘴测试的采油指数平均值 $J_o = 24.68 \text{ t/(MPa} \cdot \text{d)}$ 。在实际预测油井的产能变化工作中, 在饱和压力以上, 只需准确测试一个工作制度下的采油指数 J_o 就可以了。

将确定的 J 值和已知的 p_R 值与 p_b 值代入(2)式得:

$$q_b = 24.68(30.82 - 24.40) = 158.4 \text{ t/d}$$

再将 p_R 、 p_b 和 q_b 的数值代入(4)式得:

$$q_{AOF} = 158.4 \left[1 + \frac{24.40}{1.8(30.82 - 24.40)} \right] = 492.8 \text{ t/d}$$

在已知 p_R 、 p_b 和 J 的数值条件下, 给定饱和压力以下不同的井底流动压力, 由(15)、(17)和(18)式, 预测的 q^* 、 J^* 和 η 的结果列于表2。

表 2 克193井饱和压力以下预测结果表

流动压力, p_{wf} (MPa)	流动压力与饱和压力比 p_{wf}/p_b	日产量, q^* (t/d)	采油指数, J^* (t/(MPa·d))	采油指数比 η
24.40	1.0	158.4	24.68	1.0
20	0.820	258.3	23.87	0.967
15	0.615	350.7	22.17	0.898
10	0.410	420.6	20.20	0.817
5	0.205	468.1	18.13	0.735
2	0.082	485.7	16.85	0.683
1	0.041	489.8	16.43	0.666
0	0	492.0	16.00	0.648

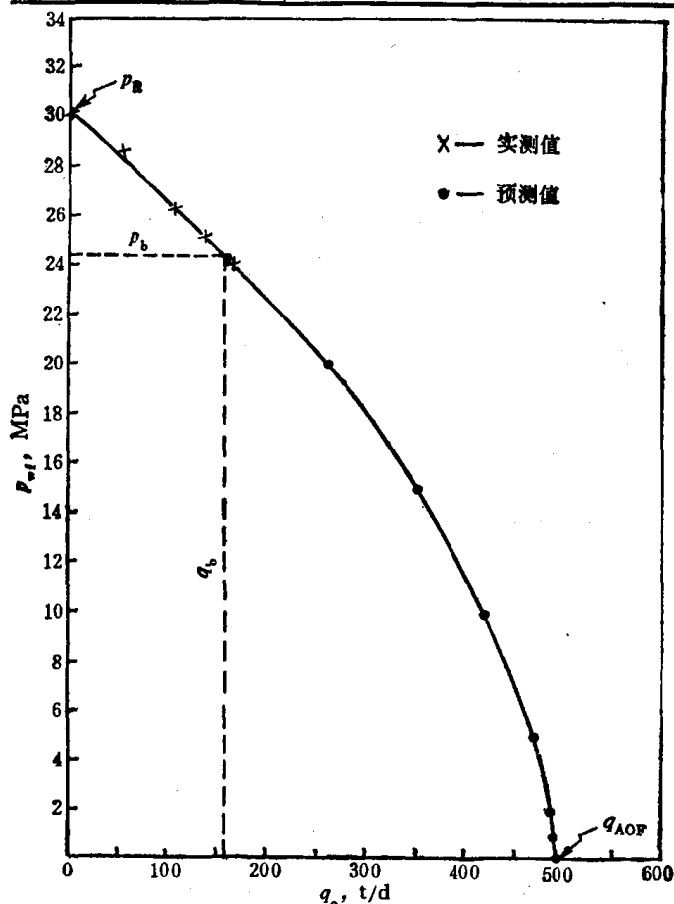


图 1.1-1 预测克193井的IPR曲线

将表2预测的结果绘于图1.1-1、图1.1-2和图1.1-3上。图1.1-1是克193井完整的IPR (Inflow Performance Relationship) 曲线, 即流入动态关系曲线, 或称为指示曲线, 4个实测数据点很好地同理论预测结果相符合。由图1.1-2和图1.1-3可以看出, 在饱和压力以下的采油指数 J^* 和采油指数比 η , 随井底流动压力的降低接近呈线性关系下降。这表明, 由于井底流动压力的降低和油气两相流动区的不断扩大, 对油井产油能力的影响不断增加。

(2) 大庆油田中区的中6—15井是一口新投产的开发井, 系统试井测试的数据列于表3内。测试的地层压力 $p_R = 9.8 \text{ MPa}$; 由PVT取样分析测到的饱和压力 $p_b = 8.8 \text{ MPa}$; 由于是一口新井, 且缺乏压力恢复曲线测试数据, 故取 $V = 0.2$ 和 $FE = 1.0$ 。试

求该井的绝对无阻流量 Q_{AOF} ，并预测该井的产能变化。

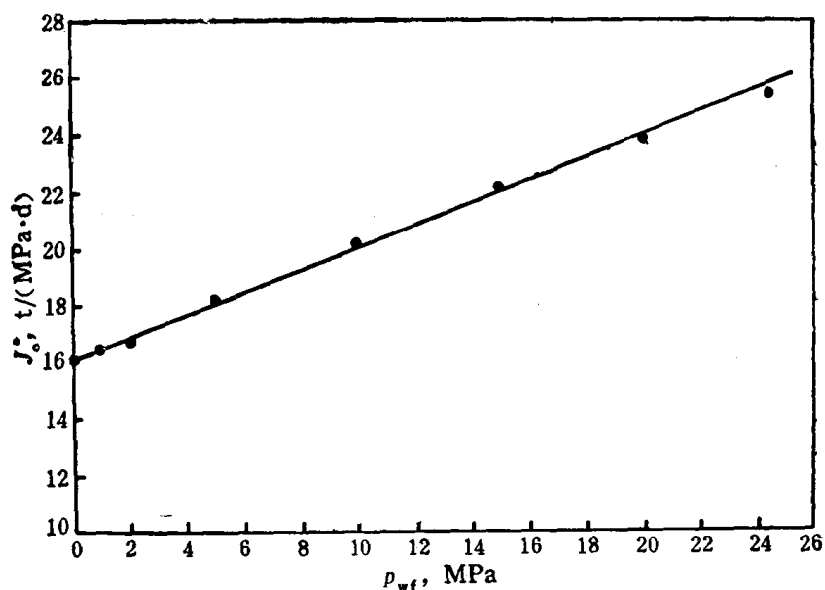


图 1.1-2 预测克193井 J^* 与 p_{wf} 的关系图

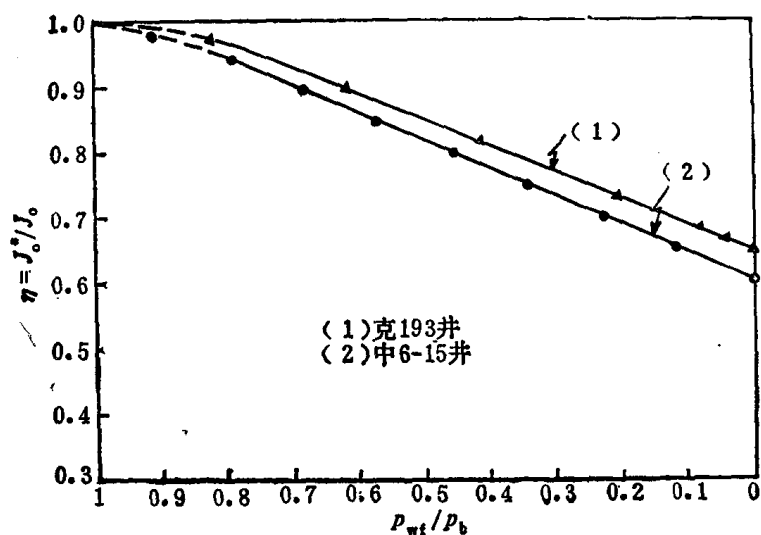


图 1.1-3 预测克193井和中6—15井的 η 与 p_{wf}/p_b 关系图

表 3 大庆中6—15井系统试井数据表

油嘴, d (mm)	日产量, q_o (t/d)	流动压力, p_{wf} (MPa)	采油指数, J_o (t/(MPa·d))
3.5	22.5	9.3	45.00
5.0	43	8.9	47.78
9.0	89	7.9	46.84
12	130	6.6	40.94

由表3看出，3.5mm和5mm两个油嘴测试的井底流动压力均高于饱和压力，所求得的采油指数 J_o 应当基本相同。而两者的数值略有差别，可能与产量或井底流动压力测量的准确度