

机械采油技术管理方法

李 青 金东明 戈炳华 编著



北京)

5.5

● 石油工业出版社

登录号	085446
分类号	TE355.5
种次号	005

机械采油技术管理方法

李青 金东明 戈炳华 编著



200470622



00776578

石油工业出版社

(京)新登字 082 号

内 容 提 要

全书共分三篇,分别叙述了杆泵、电动潜油离心泵和水力活塞泵的技术管理方法;每篇的基本内容为设备选择、工艺设计、统计、动态分析、诊断方法、参数调整、检泵周期预测和方案编制等。

本书的读者对象是从事机械采油技术管理工作的工程技术人员、石油院校采油专业师生及具有一定实践经验的采油工人。

图书在版编目(CIP)数据

机械采油技术管理方法/李 青 等 编著

—北京:石油工业出版社,1994.12

ISBN 7-5021-1365-7

I. 机…

II. 李…

III. 机械采油—技术管理—方法

IV. TE355.5

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里2区1号楼)

北京图文印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

* * *

787×1092 毫米 16 开 20.5 印张 510 千字 印1—3000

1994 年 12 月 北京第 1 版 1994 年 12 月 北京第 1 次印刷

定价:20.00 元

3653

序

随着老油田自喷转抽和新油田陆续投入开发,我国的机械采油井数在迅猛增长,机械采油的技术管理工作也发展很快。特别是近十年来,无论是工艺方法还是管理方法,都取得了长足的进步,由零星技术和经验型管理向系统化、科学化转变。为使从事机械采油技术管理工作的同志能系统地掌握矿场上机械采油技术管理工作诸方面的内容,特编撰了本书。

本书的内容是从油井确定了采油方式后讲起,包括抽油设备选择、检、下泵工艺设计、生产管理和技术管理指标统计、单井和区域生产动态分析、测试诊断、参数调整等机械采油技术管理方面的一系列技术方法。在有关技术界限和规范方面,书中一律采用已颁布的国家标准或行业标准;对目前尚未发布标准的内容,日后标准发布时如与之有矛盾之处,则以发布的标准为依据。

鉴于我国油田的机械采油方式目前无论在井数上还是产量上都是以有杆泵、电动潜油泵和水力活塞泵为主,所以本书仅阐述这三种举升方式的技术管理。在具体内容的取舍上,对石油院校教科书中已详细阐述过的内容,原则上略去不写,除部分内容因系统性的需要而简述外,一般不再详述,而侧重于现场应用。

本书适用于从事机械采油技术管理工作的工程技术人员、石油院校采油专业师生,也可供具有一定实践经验的采油工人阅读。

本书的第一篇和第二篇由李青和金东明编写,第三篇由戈炳华编写,沈秀通审阅;第一篇完稿后由王德民审阅,最后由周继德对第一篇和第二篇内容进行了通审。本书在编写过程中得到了孙冠杰、刘进义同志的大力支持和帮助,在此一并致谢。

编者

1994年8月

目 录

第一篇 有杆泵常规抽油技术管理方法

第一章 抽油设备选择	4
第一节 抽油设备选择概述	4
第二节 油井产能预测	6
第三节 求解下泵深度	21
第四节 选泵	24
第五节 选杆	33
第六节 选抽油机	41
第七节 抽油设备选择的现场应用说明	51
第八节 抽油设备选择综合示例	52
第二章 检、下泵工艺设计	61
第一节 检下泵工艺设计的基础准备工作	61
第二节 核定泵径、泵深和杆柱	62
第三节 抽油泵型式、间隙等级和有效泵筒长度的确定	63
第四节 油管配用	64
第五节 常规抽油管柱及其井下工具选配	66
第六节 其它抽油管柱结构设计	69
第七节 检下泵工艺设计书	75
第三章 生产统计	78
第一节 生产统计概述	78
第二节 单项统计方法	79
第三节 生产统计表	93
第四章 生产动态分析	96
第一节 生产分析概述	96
第二节 开发区块的产量分析	96
第三节 协调状况分析与工况图	99
第四节 措施效果分析	102
第五节 单井生产分析	111
第五章 抽油机井诊断方法	119

第一节	抽油机井诊断技术概述	119
第二节	功图相面诊断法	122
第三节	功图拉线诊断法	132
第四节	功图转换诊断法	143
第五节	双憋曲线诊断法	149
第六章	抽汲参数调整	158
第一节	参数调整概述	158
第二节	参数调整计算方法	159
第三节	参数调整的负载校核计算	173
第四节	关于抽汲参数若干问题讨论	187
第七章	检泵周期和检泵井次的预测	191
第一节	检泵周期预测	191
第二节	检泵井次的预测	194
第八章	机采调整方案编制	196
第一节	机采调整方案的内容	196
第二节	机采调整方案的编制方法	197
参考文献		201

第二篇 电动潜油离心泵采油技术管理方法

第一章	电动潜油离心泵采油概述	204
第一节	引言	204
第二节	电动潜油离心泵装置的组成	204
第三节	电动潜油离心泵的结构特点和工作原理	211
第二章	选泵	215
第一节	确定下泵深度	215
第二节	确定排量	218
第三节	计算扬程	219
第四节	级数和功率的计算	222
第三章	电泵井生产分析与诊断	223
第一节	电流卡片分析	223
第二节	电泵井憋压诊断法	236
第四章	电泵井调整措施分析	249
第一节	换泵	249
第二节	调油嘴	250
第三节	套管回流	252
第四节	间歇抽油	253
第五节	其它调整方式	253

第三篇 水力活塞泵采油技术管理方法

第一章 水力活塞泵采油	256
第二章 水力活塞泵采油概述	257
第一节 系统的组成及工艺特点	257
第二节 井下泵	261
第三节 配套专用设备	270
第四节 动力液	280
第三章 水力活塞泵应用条件与设计	283
第一节 水力活塞泵抽油与其它抽油方式比较	283
第二节 水力泵的最大排量和扬程范围	283
第三节 水力活塞泵采油工艺设计	284
第四章 下泵作业与试运投产	290
第一节 水力活塞泵井管柱结构型式	290
第二节 水力活塞泵下泵作业施工要求	297
第三节 水力活塞泵地面流程试运要求	297
第四节 水力活塞泵井的投产	298
第五章 水力活塞泵采油生产管理	299
第一节 水力活塞泵采油生产的管理体系	299
第二节 水力活塞泵采油系统资料数据的采集与处理	299
第三节 水力活塞泵采油系统工作参数的控制	308
第四节 水力活塞泵井工况诊断	309
第五节 水力活塞泵井的宏观控制管理工况图	311
第六节 专用设备的维护与修理	313
第六章 水力喷射泵采油	317
第一节 结构原理	317
第二节 水力喷射泵的工作特性参数	318
第三节 水力喷射泵抽油工艺参数设计方法步骤	319

第 一 篇

有杆泵常规抽油技术管理方法

李 青 金东明 编著
王德民 周继德 审校

就有杆深井泵采油方式来说,由于抽油设备(主要是指抽油机)形式和油井种类的不同,又具有不同的特点。对于抽油机来说,除常规游梁式抽油机外,又发展应用或提出了曲柄连杆式无游梁抽油机(包括塔架式增程抽油机、低矮型无游梁抽油机等)、液压抽油机、增距式抽油机、链条抽油机、旋转驴头抽油机、对称抽油机以及其它各种型式的抽油机等。这些非常规型抽油机种类中,有些由于结构形式的变化,悬点运动规律,已不同于常规游梁式抽油机,则各种载荷和泵、杆受力关系等也将有相应变化,技术管理工作中也就不能直接使用常规游梁式抽油机的全部解析式去进行各种应用计算了。对于油井来说,由于近年来斜井、定向井的投产,在用有杆深井泵采油时各项受力关系也将与直井有所不同。综上所述,在有杆深井泵非常规抽油的情况下,各种力学关系要重新考虑,不能与常规型等同对待。由于有杆泵常规抽油井(即常规游梁式抽油机,直井)目前仍占绝大多数,所以本篇只讨论有杆泵常规抽油的技术管理方法。

第一章 抽油设备选择

第一节 抽油设备选择概述

当一口油井或一个开发区确定采用有杆深井泵方式采油后,对采油厂矿的工程技术部门来说,首先要做好三抽设备(抽油机、抽油泵和抽油杆简称为三抽设备,下同)的选择工作,以便恰当地使用抽油设备,达到既能满足生产需要,又经济合理的目的。

抽油设备选择是基于开发方案要求和油井产能,对将要转为抽油生产的井,诸如自喷转抽(即自喷井转为抽油机井)、新井上抽(即对新打的井不经其它采油方式直接上抽油机抽油生产)或其它采油方式改抽井等,确定应使用的三抽设备规格。具体地说,就是确定应使用的抽油机型号、抽油泵的泵径、抽油杆的各级直径和长度,并定出冲程和冲次的组合。

一、选择抽油设备的基本原则

要合理地选择抽油设备,应遵循以下几条基本原则:

1. 符合油层及油井的工作条件

所选的抽油设备,应该适应该井或该地区的自然条件 and 生产条件,诸如气候条件、地表条件、流体物性条件、生产维护条件等等。比如稠油地区,抽油机的选择就应该考虑那些具有较大冲程的变型机种,而抽油泵的选择亦应有相应考虑,如泵筒长度能满足抽油机最大冲程长度的要求,泵径不能太小,间隙等级不必太高等等。

2. 能充分发挥油层的生产能力

所选择的抽油设备,应该在其经济寿命期内,能满足油井在开发界限上的最大供液能力,以防止因抽油设备的限制而使生产受到影响。具体地讲,就是所选的抽油机须适应其经济寿命期内的油井产液能力,以防止在抽油机主要部件尚未到维修高峰期时,因满足不了油井排液量的需要而过早换型,造成换型经济损失。对选用的泵、杆来说,须适应一个检泵周期内的油井产能,以防止在泵况良好时因规格过小满足不了排液量和负载的变化需要而提前作业更换。只有这样才能保证油井在合理协调状况下长时间地稳定生产,不出现因更换设备规格而造成的无谓施工或设备的浪费。

3. 设备利用率较高而又能满足安全生产的需要

所选的抽油设备,应在使用周期中的大部分时间内有较高的载荷利用率、扭矩利用率、电机功率利用率以及抽油杆应力利用率等经济技术指标,但又不致于因超负荷而造成设备非寿命损坏。

4. 有较高的系统效率和经济效益

选用抽油设备应从多方面统筹考虑,尽可能采用先进技术设备,把高指标低成本低消耗统筹考虑,以获得尽可能高的经济效益。

二、选择抽油设备的方法及特点

选择有杆泵抽油设备的方法,从大的方面来说有两种,就是图表选择法和计算选择法。

1. 图表选择法

图表选择法是通过查有关图表来选择抽油设备,选择过程如下:

根据油井的预测产液量和需要的下泵深度,查抽油机临界特性图(如参考文献[2]中的图 1-40 和图 1-41),选出对应的抽油机型号和泵径。根据抽油杆柱选择图(如参考文献[2]中的图 1-70)或抽油杆尺寸查用表(如参考文献[2]中的表 1-9)选出抽油杆柱。还可根据电动机功率选择图(如参考文献[2]中的图 1-42 和图 1-43),确定电动机功率,以及根据平衡重选择图(如参考文献[2]中的图 1-46)确定所需要的平衡半径。

图表选择法的特点是简单直观,只要掌握了图表的基本查用方法,就可以进行设备选择工作。所以在 80 年代之前,应用比较普遍,矿场多用这种方式 结合经验 来选择抽油设备。

关于图表选择法的具体图表的结构设计原理以及查用方法,因在以往的石油院校有关教材及有杆泵采油的其它各种书籍中多有不同程度的介绍,这里就不赘述了。

尽管图表法应用简单,但由于这种形式自身特点的局限性,又不可避免地存在着很多缺陷:由于平面图能容纳的变量有限,使很多因素难以顾及;因新图表在书本上出现并到达应用者手中必然要比新产品的出现滞后一大步,很多情况下会形成无图表可查或现有图表不能应用的局面。我国的抽油机在不断地更新换代,很多新产品图上不能包括;制造抽油机的厂家众多,抽油机型号亦杂。而且,即使是型号名称相同的抽油机,其实际尺寸和配备的参数也不尽相同。即便是在新系列标准 JB 1576-75 发表以后^①,所生产的不完全相同的抽油机也已超过 50 种(中华人民共和国石油天然气行业标准 SY 5057-85 也只规定了 21 种)。再如选机、泵所用的抽油机临界特性图各泵区所对应的排量界限,是该机所具有的最大参数配该泵径和设定泵效而得出的,而实际上各油田因流体条件和油井条件不同,且受开发政策要求和开采阶段的影响,选择抽油设备所考虑的泵效也就差别很大,难以求同。对抽油杆柱选择图等图表来说,也存在着同样道理的局限性。这些因素图表选择法难以克服,阻碍了其进一步广泛使用。特别是近十年来油田上计算机应用的飞速发展,计算量大已不再是应用计算法选择抽油设备的障碍。目前,各采油厂矿的技术部门都配有电子计算机,抽油设备的选择工作,也已由图表法转入到计算法。

2. 计算选择法

计算法选择抽油设备,就是根据油井的条件和生产动态,使用按物理逻辑关系建立的有关解析表达式,从产能预测开始逐步进行计算,以此选出满足要求的泵、杆、机等抽油设备。

计算法由于具有灵活性,可以把油井具体条件和有关要求,作为参量代入解析式中,使选择的抽油设备更合乎实际,满足要求。

就计算选择法本身来说,各人做法也不尽相同,表现在选择各项设备的先后步骤不同和对具体量进行计算时使用的关系式不同,在选择步骤上大体有两种做法。一种是按图 1-1-1 所示的步骤框图的顺序,根据油井的预测最大产量初步确定泵径、冲程和冲次,根据需要的下泵深度和初定的抽汲参数初选抽油杆柱组合。再根据初选的泵径、冲程冲次及抽油杆柱计算悬点最大载荷和减速箱输出轴扭矩。根据计算得到的最大载荷和扭矩及初选的冲程冲次,查各型抽油机规范表,选出需要的抽油机型号,最后再进行参数配合及抽油机和抽油杆柱的校核。如校核不合格,则调整其中的某些参量后重新进行校核。另一种做法是在确定了油井产量和下泵深度的基础上,先试选抽油机,初定冲程冲次。然后再计算泵径和试选杆柱,最后进行各项校

^① 新系列标准也已成为历史,已另有 SY 5057-85 抽油机标准。

核,如校核不合格则再重选和校核。

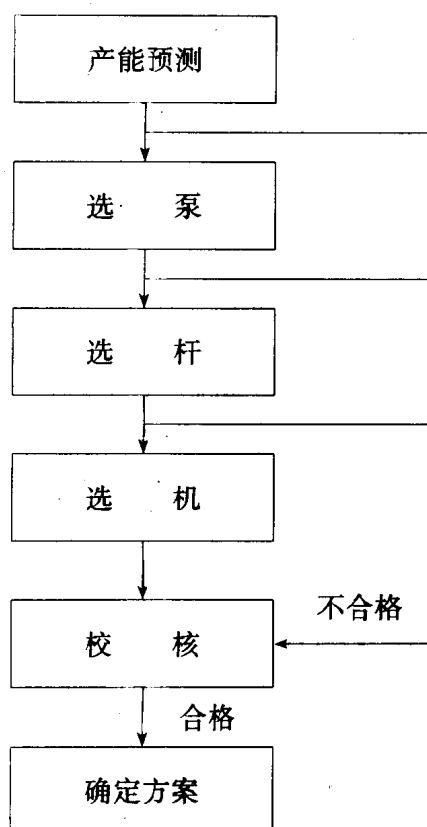


图 1-1-1 计算选择法步骤框图

按照上述试选校核的方式选择抽油设备,其试选校核的重复次数,既与选择者的经验和水平有关,也与要求的合格标准有关,要求各项设备和参数间的相互配合越靠近合理匹配点,则试选校核的重复次数也会越多。本书介绍的抽油设备选择方法,选择步骤是按图 1-1-1 所展示的顺序,即由地层到井筒再到地面,以后者满足前者的需要为序自下而上地逐步求取。在选择计算中,对于产量和泵、杆、机等各项计算中的相互关联的待求量,是通过解方程的方式进行求解,这样就避免了多次的试选校核工作,使之一次达到或靠近要求值,这样也有利于用计算机系统地执行。尽管解方程本身计算量稍大一些,但这点计算量对计算机来说无所谓,而使用试选校核的方法却要运用很多的人机对话或采用多次的判定和循环计算步骤,占用的机时反而更多,而且用人机对话形式对操作者的专业素质要求也高。

第二节 油井产能预测

一、资料的录取与分析

对于抽油设备选择来说,产能预测是基础,只有比较准确地预测出油井的不同生产阶段的供液能力,才能恰当地选择抽油设备。

在进行产能预测之前,先要取得油井有关资料。它们包括:日产液量、日产油量、含水率、生产气油比(该数据是计算低流压下油井产能的重要数据,只是目前尚未普遍应用)、地层压力、井底流压、饱和压力、人工井底深度、油层中部深度,以及目前井身技术状况等(后三项并非预产需要,而是为设备选择提供依据)。同时还要了解开发方案上对转抽后的流压和地层压力的要求。

取得油井的这些资料后,要进行分析,主要分析和考察以下几个方面:

1. 地层压力、流压和产液量是否具有对应性

首先要看所得到的日产液量、地层压力和井底流压是否是同一时期的生产数据,有没有较好的对应性。一般地说,所取得的油井日产液量是近期的月选值,而流压也是每月都测,如果不是该流压的测取与液量选值之间该井刚好有过工作制度的变化或有关施工,则流压和产液量之间会有较好的对应关系,意即是同一生产状态下的数据。但地层压力则不然,由于测静压要关井,为减少关井测压对产量的影响,两次静压的测取时间间隔较长,数月甚至逾年。如果所得到的静压的测取时间与流压、液量所在月份间隔较久,而这期间油井又受到钻关(为钻井期间降低地层压力而关停注水井称为钻关)、超欠注或相邻诸生产井工作制度大幅度变化(如邻域成片转抽)等阶段因素的影响,则这个静压就与液量、流压没有较好的对应性,就应考虑这些因素对预产结果可靠性的影响;即采取重测静压或推算静压的措施(推算静压的方法有两种:一是根据受同一影响且条件相近的邻井的静压变差来修正本井静压;二是采用本节后面所讲的两点法来推算静压)。

2. 生产层位是否变动

有的井在以前的自喷生产过程中,井下已有堵水或分层配产管柱,而转抽时要求拔堵、拔配下泵;或原无配、堵管柱而要求在转抽时采取堵水措施,这样转抽前后生产层位不一致。如果只以当前全井笼统的压力、产量为基础进行预产,则会造成失误,结果使下泵后供采不能在合理点上协调。因此应根据分层资料预产或全井笼统预产后把变动层位所占的比率予以加入或扣除。

3. 生产压差是否过小

如果所取得的自喷生产数据中生产压差很小,则所得到的自喷采液指数就会很大。由于采液指数和生产压差的双曲线关系,在生产压差较大的情况下,所取得的压力数据与实际如有一定误差 Δp 时,对采液指数 J 的影响不大(如图 1-1-2 中的 ΔJ_1)。而在生产压差很小时,同样大的误差 Δp 对采液指数的影响就较大(如图 1-1-2 中的 ΔJ_2)。而小压差井转抽后压差放大的幅度也大,以这个误差较大的采液指数再折算到转抽后放大的生产压差,则对预测的抽后产液量的影响就很大了。因此,在这种情况下就要予以考虑,一般在取得的自喷生产压差小于 1.5MPa 的情况下,就要考虑对预测结果进行修正。修正值的大小和自喷生产压差的比率关系可以根据已转抽的原小压差井的预产值与实际结果的统计偏差关系来确定。

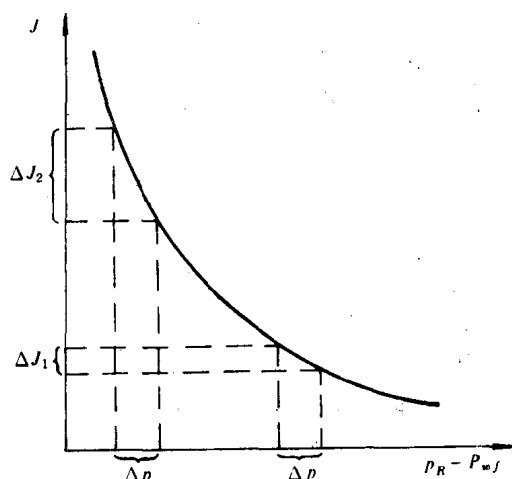


图 1-1-2 采液指数与生产压差的偏差关系

收集好油井基本数据,并弄清它们对预测结果的可能影响以后,就可以进行预产计算了。

二、产能预测的方法和 IPR 曲线的基本概念

1. 产能预测的主要方法

目前国内进行产能预测的方法,应用最普遍的是以沃格尔(Vogel)基本方程式为基础的修正或导出方法。此外,还应用或提出了相对采油指数法、压力指数法、压差—指数叠加法以及抛物线法等等。

目前油田上实际应用的各种预产方法,都属于黑箱方法。是根据经验统计结果进行一定理论分析后建立的简单解析模型,按地区差异定出常量。由于解析式中没有反映油藏条件和流体性质的有关参量,因此通用性差,只能根据区域试用结果进行修正,使之符合该区域的总体特点,但对单井还有可能产生较大误差。只有建立起含油层和流体条件参量而又不过于复杂的流入动态解析模型^①,才能解决通用问题。

由于沃格尔方法应用比较普遍,所以,我们这里只介绍一套由沃格尔方程式导出的预产方法的应用。

2. IPR 曲线的基本概念

对于某一油井来说,若限定其它条件不变而只让流压变化,则在每一个流压值下就会有一个产量值与之对应。这就形成了一条流压—产量关系曲线(如图 1-1-3 或图 1-1-4),即流入动态(Inflow Performance Relationship)曲线,简称 IPR 曲线。

^① 即使建立起这样的解析模型,也只适用于油层未经改变的井,因油层经压裂酸化或污染后近井地带渗透性大为变化,渗透率又成为不明确的参量。

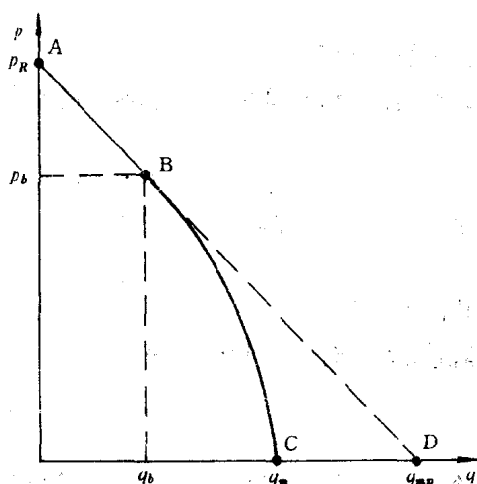


图 1-1-3 静压高于饱和压力的 IPR 曲线

给定一组生产数据,按照某一种计算方法,就可以确定一条 IPR 曲线。确定这条曲线及求解另一流压下产量的过程,就是产能预测。

对于静压高于饱和压力的油藏,IPR 曲线由两段组成。在流压大于饱和压力时,油藏中只有液相流动,渗流应符合达西定律,流量与生产压差成一次线性关系,采液指数为常量,IPR 曲线为一直线,如图 1-1-3 中的 AB 段所示。当流压低于饱和压力后,井底附近地层开始脱气,使液相饱和度下降,采液指数下降。流压越低则脱气圈越大,液相饱和度越小,采液指数越小,IPR 曲线如图 1-1-3 中的 BC 段所示。如假设油层流体不含气,即气油比为零,或假设含水为 100% 时,由于没有气体的影响,则按达西定律,IPR 曲线将是一条直线,如图 1-1-3 中的 AD 线所示,当流压为零时油井产量将为 q_{mp} ,称为拟最大产量。对于静压低于饱和压力的油藏,因为地层脱气,采液指数随着流压的降低而下降,IPR 曲线如图 1-1-4 所示,相当于图 1-1-3 中的 BC 段的形状。

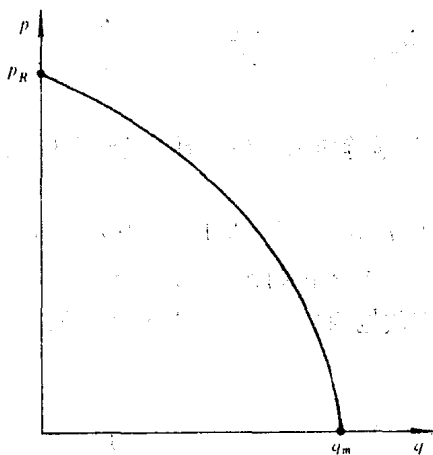


图 1-1-4 静压低于饱和压力的 IPR 曲线

我们进行产能预测,就是在已知状态 1 条件下的有关生产参数,求状态 2 即流压为 p_{wf2} 时的产量 q_2 。

三、预产计算

1. 静压低于饱和压力条件下的预产计算

在静压低于饱和压力的情况下,流压和产量关系由基本沃格尔方程式所描述,即

$$\frac{q}{q_m} = 1 - 0.2 \frac{p_{wf}}{p_R} - 0.8 \left(\frac{p_{wf}}{p_R} \right)^2 \quad (1-1-1)$$

式中 q ——流压为 p_{wf} 时的油井产液量;

q_m ——油井最大产量,即流压为零时的油井产量^①;

p_{wf} ——任一流压;

p_R ——油层静压。

基本沃格尔方程式是在 7 个假设条件下通过对实际资料的计算机统计处理所建立的半经验公式。其假设条件为

(1) 边界圆形、封闭的,井在中心,井壁全打开;

(2) 孔隙介质是均匀的,且各向同性;

(3) 重力影响可以忽略;

(4) 岩石和水的压缩性忽略不计;

(5) 油气两相局部平衡,且组分不变;

(6) 油气两相压力一致,毛管力影响忽略不计;

(7) 渗流液体属于稳定流状态。

由基本沃格尔方程式(1-1-1)又可导出

$$q_m = \frac{q}{1 - 0.2 \frac{p_{wf}}{p_R} - 0.8 \left(\frac{p_{wf}}{p_R} \right)^2} \quad (1-1-2)$$

$$q = q_m \left[1 - 0.2 \frac{p_{wf}}{p_R} - 0.8 \left(\frac{p_{wf}}{p_R} \right)^2 \right] \quad (1-1-3)$$

(1-1-2)式和(1-1-3)式就是静压低于饱和压力条件下预产的基本计算式。现举一例,以说明其用法。

例 1-1-1 某井饱和压力为 10.8MPa,静压为 10MPa,流压为 3.2MPa,日产液量为 20t,问当把流压降到 1.5MPa 时,日产液量将是多少?

解:先按已知的状态 1 的生产数据由(1-1-2)式求出该井的最大渗流量

$$q_w = \frac{q_1}{1 - 0.2 \frac{p_{wf_1}}{p_R} - 0.8 \left(\frac{p_{wf_1}}{p_R} \right)^2}$$

^① 近年的理论分析和矿场实践表明,油井的最大液量点并不一定在流压为零的点,这将是因油井条件而异,流动效率大于 1 时用基本沃格尔公式计算流压与产量关系所得到的那种 IPR 曲线类型是存在的,并不是不可能,只因尚未得到一致公认,所以本书暂遵从原有说法,不作它论。