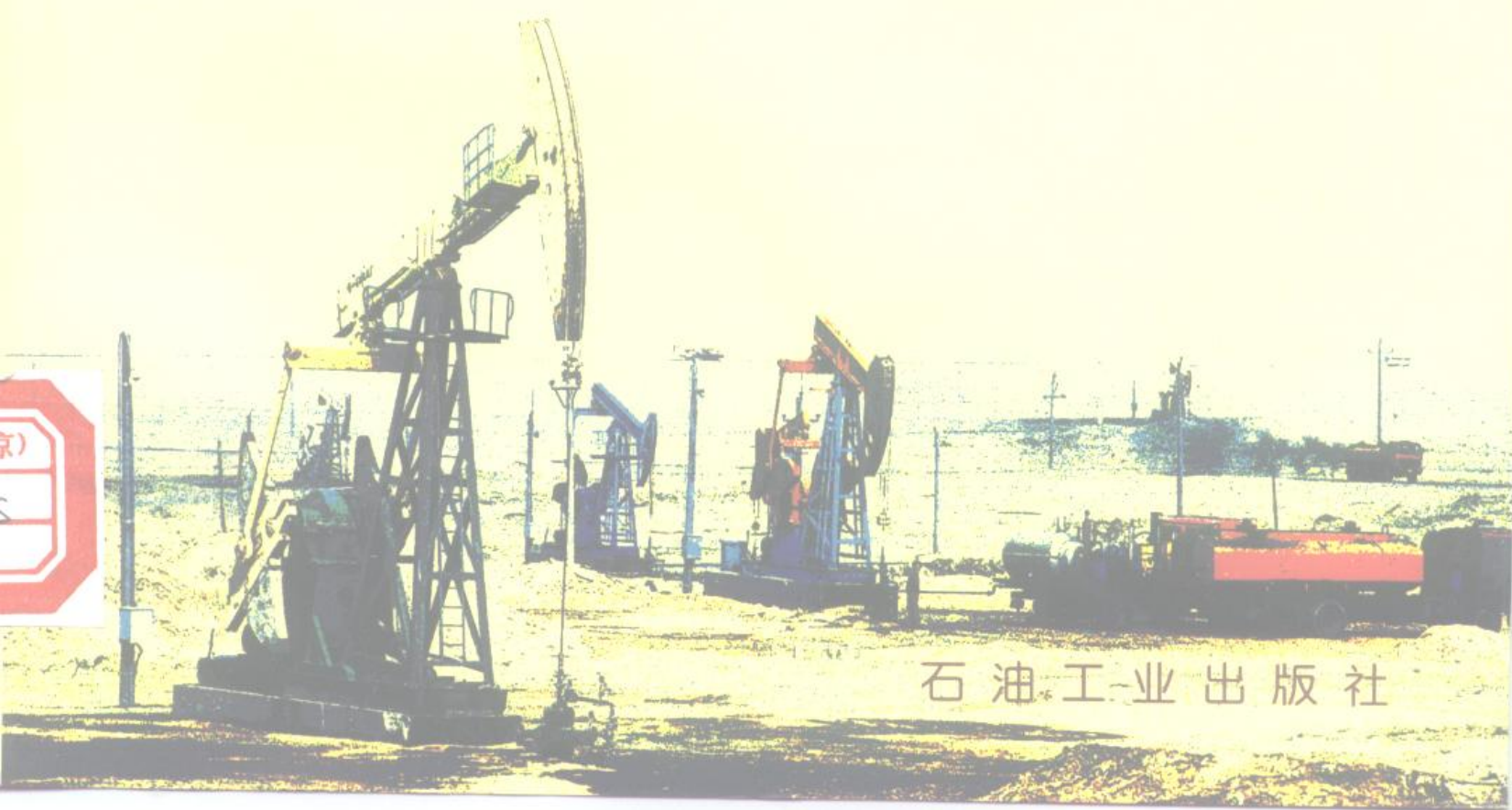


大庆油田

机械采油

配套技术

胡博仲 主编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书着重介绍了大庆油田开采方式转变过程中,研究发展完善起来的机械分层采油工程配套技术。全书共分九章,主要介绍了:产能预测与采油方式选择、机械采油井常规配套技术、异型抽油机现场应用、非常规井采油技术、机械采油井系统效率、机采井诊断技术、机械采油系统管理、抽油机井设备故障的判断及处理方法、抽油机检测与报废等内容。

本书可供从事采油生产、科研、管理的专业技术人员和有关领导,以及石油院校相关专业的师生参考。

DP26/34

图书在版编目 (CIP) 数据

大庆油田机械采油配套技术/胡博仲主编.

北京:石油工业出版社,1998.7

ISBN 7-5021-2330-X

I. 大...

II. 胡...

III. 机械采油-技术

IV. TE355.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 16573 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)

北京普莱斯特录入排版中心排版

石油工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 20.5 印张 521 千字 印 1—4000

1998 年 6 月北京第 1 版 1998 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2330-X/TE·1943

定价: 30.00 元

《大庆油田机械采油配套技术》

编 委 会

主 编 胡博仲

副主编 周继德 王玉山

编 委 董福州 张成祜 岳广胜 周清华 柴连善

刘富润 陆昆江 王松林 王权杰 金东明

徐慎荣 陆仁桓 杨元健 李 志 徐志良

王玉普

参加编写人员

李 青 李五仁 魏继德 孟宪军 李延洲

杨 军 徐秀芬 王跃祖 高国寅 郑 贵

蔡晓辉 宋廷官 孙冠杰 孟令尊 吴俊海

王德喜 刘进义 贾敏华 钟伯明 靖国和

刘殿林 陈瑞生 周 波 徐文学 桑广森

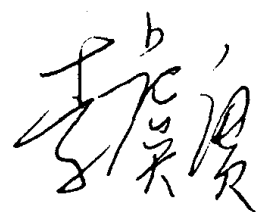
梁志斌 李运福 王长生 徐国兴

序 言

机械采油作为常规的人工举升开采方式，由于其技术成熟便于掌握，工作性能可靠，适应性较强，因而在当今世界各国油田生产中占有举足轻重的地位。据统计，1996年美国、俄罗斯和中国分别有机械采油井56万口、10.5万口和7.6万口，各占其油井总数的98%、95%和97%左右。1996年在中国陆上油田生产的1.41亿吨原油中，有1.28亿吨即91%的原油是通过机械采油这一举升方式开采出来的。大庆油田自1960年投入注水开发，到1980年底，油田综合含水率已达60.4%，随着井底流动压力不断升高，油井自喷产液能力已逐步降低。在这种情况下，要继续保持油田高产稳产，必须不失时机地将开采方式由自喷采油转变为机械采油，通过机械采油调整压力系统，放大生产压差，以提高油井产液量，实现油田稳产。为此，从1981年开始，大庆油田就把自喷采油转变为机械采油，作为改善高含水期油田总体开采效果，实现长期高产稳产的一项战略措施。经过15年坚持不懈地努力，到1995年底，全油田机械采油井数已由1980年的734口增加到20648口，机械采油井占油井总数的比例由1980年的15.6%上升到1995年99.3%，机械采油已成为油田主要人工举升开采方式。在此期间，通过自喷井转抽，累计当年增油量近3000万吨，为弥补老井自然递减，实现年产原油5000万吨以上连续20年稳产，提供了重要保障。大庆油田机械采油发展的显著特点，就是发扬“三老四严”作风，狠抓“三基”工作，坚持把机械采油作为油田稳产的一项基础技术，运用系统工程方法，认真搞好技术、管理、后厂建设、生产服务和科技开发等五个方面的配套工作，扎扎实实地为油田稳产打好基础。在技术上，针对油田开发生产特点，研究形成了抽油机井和电潜泵井两个10项配套工艺技术，以及螺杆泵抽油配套工艺技术，有效地提高了机采井系统效率，节约了大量举升能耗，延长了检泵周期。在管理上，建立了从管理局到采油队的机采管理系统，研究应用了机械采油系统管理方法和机采井宏观控制图，积极推行“五率一平衡”机采井日常生产管理制度。在后厂建设上，成立电潜泵公司负责技术配套和设计维修，分区分厂建有抽油机、抽油泵和抽油杆维修（厂）车间，为提高抽油装备水平及完好率创造了条件。在生产服务上，各采油厂都组建了抽油机安装队、检泵作业队、机采井测试队和维修队，为机采井高效运行提供了可靠保障。在科技开发上，形成了以采油工艺研究所为骨干、以各采油厂工程技术大队为主体的科研—生产—推广三结合科技开发网络，有效地发挥了科技是第一生产力的作用。

由胡博仲同志主编的《大庆油田机械采油工程技术》，着重介绍了在大庆油田开采方式转变过程中，研究发展完善起来的机械分层采油工程技术。这套工程技

术既有鲜明的大庆特色，又有较强的可操作性，并在实践中有效地改善了大庆油田高含水期的开发效果，因而对从事采油生产、科研、管理专业技术人员，以及有关单位和部门的领导同志，具有一定的参考价值。在当今世界科技发展日新月异的大背景下，希望这本书的出版，能在推动我国机械采油工程技术发展中，起到承上启下、继往开来的作用。随着我国石油工业的不断发展，机械采油工程技术同其它石油专业工程技术一样，将面临着一系列新的挑战。这就要求从事这方面工作的领导同志和专业科技人员，在学习应用诸如计算机人工智能、电力电子控制等新技术新方法上，迈出更大、更快的步伐，努力把传统机械采油工程技术与现代最新科技成果更好地结合起来，进一步提高我国机械采油系统效率和整体经济效益，在贯彻落实陆上石油工业“稳定东部、发展西部”的战略方针中，发挥更好、更大的作用。

A handwritten signature in black ink, appearing to be '李锐' (Li Rui), written in a cursive style.

1997年7月

前 言

大庆油田 1960 年投入注水开发,1981 年开始由自喷采油转为机械采油,到 1995 年底,机械采油井数已达到 20648 口,占油井总数的 99.39%。随着机采井数的逐年增加,与之配套的机采工程技术日趋完善,在保障大庆油田连续实现年产原油 5000 万吨以上稳产中,发挥了重要作用。

大庆油田属陆相非均质、多油层砂岩油藏,为了充分挖掘各类储层的生产潜力,在自喷开采阶段就发展应用了一套同井分层开采工艺技术。油田开采方式由自喷采油转为机械采油以后,对机采工程技术发展提出了新的挑战。即要求在保障机采井长期、稳定、高效运行的基础上,更好地实现机采条件下的分层开采,以提高油田开发整体经济效益。大庆油田的机采工程技术正是沿着这条技术路线不断发展完善起来的。实践证明,这套机采工程技术不仅适应了大庆油田高产稳产的需要,而且取得了十分显著的经济效益。据统计,1981—1995 年期间,通过广泛应用这套机采工程技术,累计当年增产原油近 3000 万吨,创效近 120 亿元。

进入“九五”以来,大庆油田已基本形成水驱和聚驱并存、长垣内主力油田与长垣外低渗透油田并举的开发格局。机械采油在原有分层条件下如何实现细分采油;在聚驱条件下如何实现高效开采;在低渗透油田如何实现增效开采;将成为大庆油田机采工程技术的主攻方向。

当前,我国石油工业正面临着跨世纪的挑战和机遇,为了促进我国机械采油工程技术的发展,大庆石油管理局决定编撰出版《大庆油田机械采油配套技术》。本书共分九章,由胡博仲任主编,王玉山和周继德任副主编,李青、李玉仁、李延洲、周继德、徐秀芬、王耀祖、高国寅、王长生和贾敏华等同志参加了各章的编写。在本书的编写过程中,大庆石油学院杨敏嘉、崔振华、刘玉泉、张宏亮、郑俊德、王常斌等诸位老师,曾多次赐教并审阅了书稿,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,本书不妥之处,恳请专家及同行们批评指正。

编者

1998 年 4 月 25 日

目 录

第一章 产能预测与采油方式选择	(1)
第一节 产能预测与采油方式选择概述.....	(1)
第二节 产能预测.....	(2)
第三节 采油方式选择.....	(7)
第四节 产能预测和采油方式选择示例	(13)
第二章 机械采油井常规配套技术	(17)
第一节 抽油机井配套技术	(17)
第二节 潜油电泵采油配套工艺技术	(62)
第三节 螺杆泵采油及配套技术	(80)
参考文献.....	(115)
第三章 异型抽油机现场应用	(116)
第一节 CYJBZ10-8-73HY 双摆增程式抽油机	(116)
第二节 KCJ12-8-37HZ 宽带抽油机	(117)
第三节 CYJY10-5.5-73HB 扇形长冲程抽油机	(119)
第四节 LCYJ10-8-105HB 塔架式抽油机	(120)
第五节 CYJ10-5.5-73HB 六连杆增程式抽油机.....	(121)
第六节 KCJC10-10-37HB 车载式抽油机	(123)
第七节 CYJ10-6-53HB 无游梁抽油机.....	(125)
第八节 CYJ10-5-48 异型游梁式抽油机	(126)
第九节 XCYJ10-3-37HB (0°~45°) 斜直井抽油机	(127)
第十节 CYJY6-2.5-26HB 矮型异相曲柄平衡抽油机	(129)
第十一节 数控抽油机.....	(131)
第十二节 ZXC16-5-20F 直线往复式抽油机	(133)
第四章 非常规井采油技术	(135)
第一节 非常规井的特点.....	(135)
第二节 杆柱摩擦力的计算及扶正器间距设计.....	(136)
第三节 几种配套设备.....	(143)
第四节 压裂技术.....	(145)
第五节 小井眼采油技术.....	(148)
参考文献.....	(151)
第五章 机械采油井系统效率	(152)
第一节 概述.....	(152)
第二节 系统效率计算与测试.....	(153)
第三节 系统效率分析.....	(170)
第四节 提高系统效率的措施.....	(185)

参考文献	(196)
第六章 机采井诊断技术	(198)
第一节 抽油机井泵况诊断方法	(198)
第二节 电泵井泵况诊断方法	(218)
第三节 螺杆泵井泵况诊断技术	(236)
参考文献	(239)
第七章 机械采油系统管理	(240)
第一节 机采方式选择与设计原则	(240)
第二节 机、泵设备优选与下泵设计	(241)
第三节 设备安装与作业施工管理	(249)
第四节 机械采油井资料录取及要求	(251)
第五节 抽油机井生产指标的统计方法	(253)
第六节 潜油电泵井生产指标的统计方法	(259)
第七节 抽油机井动态控制图的应用	(261)
第八节 潜油电泵井动态控制图的制作原理	(272)
第九节 电泵井集中监测系统	(279)
参考文献	(286)
第八章 抽油机井设备故障的判断及处理方法	(287)
第一节 抽油机电器故障的判断及处理方法	(287)
第二节 抽油机减速箱故障的判断及处理方法	(289)
第三节 抽油机四连杆机构故障判断及处理方法	(290)
第四节 井口流程故障的判断及处理方法	(293)
第五节 抽油泵及杆、管柱故障的判断及处理方法	(294)
第九章 抽油杆检测与报废	(297)
第一节 抽油杆检测	(297)
第二节 抽油杆缺陷评定	(309)
参考文献	(317)

第一章 产能预测与采油方式选择

第一节 产能预测与采油方式选择概述

对于一口油井来说,在投产工作开展之前,首先要进行产能预测。预测出油井产液能力,作为采油方式选择的依据,进而确定与产液能力相适应的采油方式,确定抽油设备型号和工作参数。

油田在未投入开发之前,没有油井实测的产液量和流压资料,这时的油井产能预测,可根据勘探所取得的油层厚度、渗透率、在油层温度下的原油粘度、地层压力以及设计的井距和井径等数据,用达西定律进行产能粗略预测。

对于已投产油井,因已有至少一个生产点的动态数据,就可以用流入动态关系曲线法预测。

1981年大庆油田引入沃格尔流入动态关系式和广义IPR曲线进行产能预测,根据已知生产点的流压静压和产液量,求流压改变后的产液量,以此作为抽油设备选择或生产参数调整的依据。

进入80年代以后,大庆油田油井转抽,需进行大量井的产能预测,而产能预测的可靠性,直接关系到采油方式选择和参数运用是否恰当,关系到转抽效果,因此有必要对产能预测方法做更深入的研究,先后提出和应用了数种产量预测方法,其中大庆石油管理局勘探开发研究院根据先期转抽的部分井转抽前后的动态资料经计算机处理,建立起相对采油指数法产能预测关系式,对不同区块给出了相应的统计系数。各采油厂有关工程技术人员也根据本厂已转抽井资料进行研究分析,大庆石油管理局第三采油厂提出和应用了压差指数叠加法。

这些方法,因是在生产实践资料的基础上经过理论分析和处理所得到,反过来再应用于本开发区,有更好的适应性,特别是第三采油厂分析总结出的压差指数叠加法,还揭示了在特低流压下与达西曲线关系发展方向相反的规律,即在高饱和压力地区的高气液比时期,并不是流压越低生产压差越大产液量越高,而是当流压降到一定值后,产液量不增甚至下降,经采用4口井电泵变频抽油降压,验证了这一规律的存在。

转抽时期所进行的产能预测工作研究成果,不仅对当时的转抽效果起到了保证作用,而且也为此后抽油生产中的参数调整奠定了技术基础。

经产能预测求得在给定流压、静压条件下的可靠产量之后,要进行采油方式选择。到目前世界上已进行现场应用的采油方式除自喷采油外,已有有杆泵、电动潜油泵、螺杆泵、水力活塞泵、射流泵、气举、振动泵、潜油螺杆泵、隔膜泵和提捞采油等多种方式,这些采油方式各有自己的优缺点和适应条件,大庆油田对其中的有杆泵、电潜泵、螺杆泵、水力活塞泵、射流泵、气举、提捞采油等方式先后进行了应用或试验,到目前已形成以有杆泵和电潜泵采油为主,螺杆泵辅之的采油方式,提捞采油正进行现场应用试验,水力活塞泵和气举经现场试验后未生产应用。

第二节 产能预测

一、流入动态关系 (IPR) 曲线法

流入动态关系式是对油井或油藏流入动态特性的描述, 根据这些公式, 可在已知某一排量时井底流压和静压的情况下, 求出任一排量下的流压或任一流压下的排量, 这些公式是以下面两个基本公式为基础导出的。

直线的 PI 公式:
$$J_b = \frac{q}{p - p_{wf}} \quad (1-1)$$

曲线的 IPR 公式:
$$\frac{q}{q_{\max}} = 1 - 0.2\left(\frac{p_{wf}}{p}\right) - 0.8\left(\frac{p_{wf}}{p}\right)^2 \quad (1-2)$$

式中 q ——流压为 p_{wf} 时的产量;

$q_{\max}$ ——油井最大产量;

p ——地层静压;

p_{wf} ——井底流压;

J_b ——直线段采液指数。

这两个公式的基本意义为: 对于静压高于饱和压力的油藏, 流入动态曲线应由两段组成, 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, 这一段流入动态曲线为直线。当流压低于饱和压力时, 井底附近地层开始脱气, 液相饱和度下降, 采油指数下降, 流压越低则脱气圈越大, 液相饱和度越小, 采油指数越小。如果静压低于饱和压力, 则流入动态曲线没有直线段, 因这种情况下流压不可能高于饱和压力, 这种情况下的流入动态特性为曲线。同理, 如果渗流流体只是纯水, 则流入动态曲线应无曲线段。

为在生产中便于应用, 以沃格尔基本关系式 (1-1) 和式 (1-2) 为基础, 把实际应用条件分成两类。

一是静压低于饱和压力, 在这种条件下, 把沃格尔基本关系式 (1-2) 进行移项处理, 变成如下形式, 即可直接应用。

$$q_{\max} = \frac{q}{1 - 0.2 \frac{p_{wf}}{p} - 0.8 \left(\frac{p_{wf}}{p}\right)^2} \quad (1-3)$$

$$q = q_{\max} \left[1 - 0.2 \frac{p_{wf}}{p} - 0.8 \left(\frac{p_{wf}}{p}\right)^2 \right] \quad (1-4)$$

即先求出油井最大产量 $q_{\max}$, 继而求出某流压下的产量 q 。

二是在静压高于饱和压力的条件下, 这时可分为四种情况。

第一种情况, 是已知的状态 1 生产点和要预测产量的状态 2 生产点都在直线段上, 因这两个生产点的流压都高于饱和压力, 两点的采液指数不变, 都等于饱和压力点的采液指数, 于是可按式 (1-1) 先求出该点采液指数, 然后求出当流压为 p_{wf} 时的产液量 q , 即

$$J_b = \frac{q_1}{p - p_{wf1}} \quad (1-5)$$

$$q = J(p - p_{wf}) \quad (1-6)$$

第二种情况，是两个状态点流压都低于饱和压力，两点都处在曲线段上，这时可按整理出的如下公式组求解，即：

$$q_c = \frac{q_1}{1.8 \frac{p}{p_b} - 0.8 - 0.2 \frac{p_{wf}}{p_b} - 0.8 \left(\frac{p_{wf}}{p_b} \right)^2} \quad (1-7)$$

$$q_b = 1.8q_c \frac{p - p_b}{p_b}$$

$$q_2 = q_c \left[1 - 0.2 \frac{p_{wf2}}{p_b} - 0.8 \left(\frac{p_{wf2}}{p_b} \right)^2 \right] + q_b \quad (1-8)$$

式中 q_c ——曲线段最大产量；

p_b ——饱和压力；

其余符号同前。

即先求出曲线段最大渗流量 q_c ，再求出直线段产量 q_b （即饱和压力点产量），最后得到预测的流压为 p_{wf2} 时的产量 q_2 。

第三种情况，是已知的状态 1 点流压高于饱和压力，处在直线段上，要预测的状态 2 流压低于饱和压力，处在曲线段上，可用如下关系式顺序计算。

$$J_b = \frac{q_1}{p - p_{wf1}} \quad (1-9)$$

$$q_b = J_b(p - p_b) \quad (1-10)$$

$$q_{mi} = J_b \cdot p \quad (1-11)$$

$$q_c = \frac{1}{1.8}(q_{mi} - q_b) \quad (1-12)$$

$$q_2 = q_c \left[1 - 0.2 \frac{p_{wf2}}{p_b} - 0.8 \left(\frac{p_{wf2}}{p_b} \right)^2 \right] + q_b \quad (1-13)$$

式中 q_{mi} ——油井拟最大产液量；

其余符号同前。

第四种情况，已知的状态 1 点流压低于饱和压力，处于曲线段上，状态 2 流压高于饱和压力，处于直线段上，这种情况下的应用较少，只是在下调参时才可用到，这时的计算关系式为：

$$q_c = \frac{q_1}{1.8 \frac{p}{p_b} - 0.8 - 0.2 \frac{p_{wf1}}{p_b} - 0.8 \left(\frac{p_{wf1}}{p_b} \right)^2} \quad (1-14)$$

$$q_b = 1.8q_c \frac{p - p_b}{p_b} \quad (1-15)$$

二、相对采油指数法

1982年大庆石油管理局勘探开发研究院以计算机数据库资料统计结果为基础,建立了相对采油指数预产方法,该方法在已知饱和压力 p_b 、转抽前静压 p_1 、流压 p_{wf1} 、日产油量 q_{o1} 和含水率 f_1 ,并给出转抽后静压 p_2 和含水率 f_2 条件时,按下述关系计算转抽后的产量。

1. 计算饱和压力点的采油指数

当 $p_{wf1} \geq p_b$ 时

$$J_{ob} = \frac{q_{o1}}{p_1 - p_{wf1}} \quad (1-16)$$

当 $p_{wf1} < p_b$ 时

$$J_{ob} = \frac{q_{o1}}{p_1 - p_{wf1}} [A(\frac{p_{wf1}}{p_b}) + B] \quad (1-17)$$

2. 计算转抽后的采油指数

当 $p_{wf2} \geq p_b$ 时

$$\frac{J_o}{J_{ob}} = 1 \quad (1-18)$$

当 $p_{wf2} < p_b$ 时

$$\frac{J_o}{J_{ob}} = \frac{1}{A(p_{wf2}/p_b) + B} \quad (1-19)$$

$$J_o = J_{ob}(\frac{J_o}{J_{ob}}) \quad (1-20)$$

3. 计算转抽后的产量

日产油量

$$q_{o2} = J_o(p_2 - p_{wf2}) \quad (1-21)$$

日产液量

$$q_{l2} = \frac{q_{o2}}{(1 - f_2)} \quad (1-22)$$

4. 含水校正

含水为 f_2 时的产油量校正如下(q'_{o2}):

$$q'_{o2} = q_{o2} \frac{B_1 + B_2 f_2 + B_3 f_2^2}{B_1 + B_2 f_1 + B_3 f_1^2} \quad (1-23)$$

式中 A, B, B_1, B_2, B_3 是统计常数。

三、压力指数法

这种预测产量方法是根据大量实测资料统计结果,发现当流压低于饱和压力时,产量与流压成指数关系,由此建立起压力指数预产公式。当转抽前后地层压力低于饱和压力时,则有:

$$q_2 = q_c [1 - (\frac{p_{wf2}}{p_b})^N] - q_e \quad (1-24)$$

$$q_c = p_b^N \cdot q_1 / (p_{e1}^N - p_{wf1}^N) \quad (1-25)$$

$$q_e = q_c [1 - (\frac{p_{e2}}{p_b})^N] \quad (1-26)$$

统计得出指数 N 与含水率 f 有关, 其经验公式为:

$$N = 6 - 4f \quad (1-27)$$

四、压差指数叠加法

在已知生产状态点的流压低于饱和压力的情况下, 流压进一步下降, 即生产压差进一步放大, 采液指数将下降, 如果能找到生产压差放大与采液指数降低之间的关系, 就可以进行转抽或放参所需的产能预测了。通过对生产动态数据的观察与分析, 得到如下统计规律, 即生产压差放大值 (当时以大气压为压力单位时) 与采液指数下降百分数之和均在一个常数附近, 该常数随油藏条件和流体物性条件的不同对不同地区有所差别 (采油三厂的过渡带地区该值稍小于 100, 纯油区稍大于 100)。列成关系式如下:

$$(p_{wf1} - p_{wf2}) + 100 \frac{J_2}{J_1} = C \quad (1-28)$$

如采用目前的法定单位, 即压力单位用 MPa, 则上式变为:

$$0.1(p_{wf1} - p_{wf2}) + \frac{J_2}{J_1} = C \quad (1-29)$$

这时 C 值亦缩小 100 倍。

通过对已实施井资料统计出 C 值以后, 将上式整理后可得到降压后的采液指数表达式

$$J_2 = J_1 [C - 0.1(p_{wf1} - p_{wf2})] \quad (1-30)$$

式中 J_1, J_2 ——分别为降压前后的采液指数, $t/(d \cdot MPa)$;

p_1, p_2 ——降压前后的流压, MPa;

C ——统计常量。

由于只用一个简单的表达式即可进行产能预测, 所以非常适合生产现场在各种随机条件下进行产能预测应用。

五、未投井的达西关系预测法

对于未投产井来说, 因没有已知的生产点动态数据, 不能用前述方法预测油井产能, 这种情况下为满足确定采油方式和选择抽油设备所需, 要求预测油井产能时, 可以采用达西关系法, 即应用达西公式, 通过勘探过程中已取得的油层渗透率、有效厚度、原油粘度以及井网设计参数和油田开发所要求的流压、静压, 计算出油井可能产量。按达西公式的原型为:

$$q = \frac{2\pi Kh(p_G - p_J)}{\mu \ln \frac{R_G}{R_J}} \quad (1-31)$$

式中 q ——产液量, m^3/s ;

K ——渗透率, m^2 ;

h ——油层有效厚度, m ;

μ ——液体粘度, $Pa \cdot s$;

p_G, p_J ——供给边缘压力和井底压力, Pa ;

R_G, R_J ——供给半径和油井半径, m 。

例 1: 某区块渗透率为 $2960 \times 10^{-16} m^2$ (300mD), 油层有效厚度 10m, 原油粘度 0.02Pa

• s (20cP), 地层压力 8.0MPa, 按反九点法布井, 井距 300m, 8½in 井眼裸眼完井, 不经储层改造直接投产, 要求在 2.0MPa 流压下生产, 试预测油井产能。

解: 先确定供给半径和油井半径。单井控制面积 90000m², 折成供给半径为:

$$R_G = \sqrt{\frac{90000}{3.14}} = 169\text{m}$$

$$R_j = \frac{8.5 \times 25.4}{2 \times 1000} = 0.108\text{m}$$

于是按达西公式有

$$q = \frac{2\pi kh(p_G - p_l)}{\mu \ln \frac{R_G}{R_j}}$$

$$= \frac{2 \times 3.14 \times 2960 \times 10^{-16} \times 10 (8.0 - 2.0) \times 10^6}{0.02 \times 7.36}$$

$$= 7.58 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$$

$$= 65.5 \text{m}^3/\text{d}$$

即该井日产液能力为 65.5m³, 若按原油密度 0.86t/m³, 可折成日产 56t。

在实际应用中, 若油井采用射孔完成或投产前经压裂改造, 将使油井成为不完善井或超完善井, 改变了渗流条件, 这种情况下就应使用完善系数进行修正。

六、预产工作中有关问题处理

1. 预产所用的动态资料录取与分析

预产所用的动态资料, 一般包括当前的日产液量、日产油量、含水率、地层压力、井筒流压、饱和压力等, 同时取得开发方案上对转抽后的流压和地层压力的要求或安排。

取得上述预产所需资料后, 需进行分析和考察以下几个方面内容, 以确定这些资料是否可直接应用。

1) 看地层压力、井筒流压和产液量是否有对应性, 即是否是同一时期和同一工作状况、同一生产参数下的数据。如果流压、液量、静压测取的时间间隔较长, 或有工作制度变化(如自喷井调油嘴或抽油井改变抽汲参数), 或机采泵况状态变化、或地层压力受钻井关井时影响等, 三个动态数据之间如不属于同一状态下的数据, 就不能直接用来预产, 要进行修正处理或重新录取资料。

2) 看生产层位是否变动。有的井在以前的自喷生产过程中, 井下已有堵水或配产管柱, 而要求拔出管柱下泵转抽, 或原无堵无配而要求转抽时采取堵水措施, 这种情况下预测下泵后的产量, 因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, 就会造成失误。因此应根据分层资料在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) 看生产压差是否过小。如果所取得的自喷生产数据中的生产压差很小, 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之间呈双曲线关系, 在原生产压差较大的情况下, 所取得的压力数据与实际有一定误差时, 对采液指数的影响并不严重, 而在原生产压差很小时, 同样大的压力误差对采液指数的影响就很大, 而原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, 则对预测的产液量影响就很大。会使采油方式选择或抽油设备选择造成失误, 因此在这种情况下就要凭经验或实施井统计结果进行修正, 有条件情况下, 要重新录取资料核实。

2. 前后静压一致情况下的产能预测处理

地层压力的变化就意味着油井供液能力的变化，而采油设备使用寿命长，井下作业费用贵，不宜频繁改动，因此在产能预测时要考虑几年后即地层压力随开发阶段不同而变化后的油井供液能力。

在油井其它条件下不变只是静压变化时，因在高于饱和压力范围内采液指数不变，所以直线段斜率不变，即流入动态曲线随静压的变化纵向上平行移动，当静压降至饱和压力以下时，直线段消失。于是对于静压变化后的产能预测，可先由目前生产点有关数据，按静压不变进行产能预测，然后根据将来的静压变化值求出产液量变化值，从而可依据目前静压条件下的流入动态曲线预测到静压变化后的产液量。

3. 在无静压时的两生产点法处理

在油田生产过程中，由于某些原因，有的井不能测静压或取不到近期的地层压力，而地层压力又是产能预测、生产分析和方案调整的关键数据，因此对没有静压资料的井应设法利用相关数据进行推算。

推算地层压力可以按流入动态特性曲线所展示的规律采用双生产点法。如果已取得的某井的两个生产点的产液量和流压，就可以在以压力为纵坐标，以产液量为横坐标的平面上作出这两个点，这两个点连线的斜率，就是这一流压范围内油井采液指数的负倒数。

过这两个生产点作直线与纵坐标轴相交，如果已知的两个生产点的流压都高于饱和压力，则这个交点就是该井静压，如果这两个生产点的流压都低于或有一个低于饱和压力，则这个交点的压力就是静压的近似值，也是静压的最大可能值，实际静压要比该值偏低一些，两个生产点的流压越低，这个偏差越大。对于自喷井待转抽选择采油方式或抽油设备而做产能预测工作，因自喷井通过调油嘴改变工作制度取两个生产点的资料很容易，而且两个自喷工作点流压均较高，一般都高于饱和压力或在饱和压力附近，因此用两生产点法所求得的静压是比较可靠的。

第三节 采油方式选择

一、各种采油方式的特点及适用条件

1. 自喷

自喷采油是最简单的采油方式，该采油方式工艺简单，管理方便，采油生产成本很低，但必须是地层能量充足，地层压力高，且油层渗透率较高、原油物性较好的井，在举升自喷液柱所需流压、能满足采油速度要求的条件下，才能应用。大庆长垣内部在开发初期除过渡带少量井外，均采用自喷采油方式。

2. 有杆泵

有杆泵采油是应用最普遍的采油方式，世界上应用有杆泵采油最早的美苏（前）两国已有 120 余年的应用历史，由于有杆泵应用广泛，其设备结构直观，操作者对该工艺最熟悉，是它的主要优点，由于其广泛应用，管理及维护队伍成龙配套，所以该采油方式更容易被接受。由于该采油方式除地面电机外，全部是机械件，设备自身不受温度压力等生产条件的影响，可以适应较大范围的下泵深度，大庆为巴基斯坦 16 型机下泵深度达 2700m，而且坚固耐用，工

作状态直观,维护工作简单明了,适应的排量范围也较宽,日产油 150t 以内均是它的正常应用范围。缺点是地面设备笨重,还涉及到装机基础因素,换机工作量大,因此难以做到随油井供液能力调换。同时因其笨重使之在沼泽地或水泡子等恶劣地表环境应用时基础准备工作难度大。

此外,由于其设备庞大和非匀速往复运动,使其系统效率较低,一次投资亦高,大庆长垣投入开发以自喷采油为主,只在边部过渡带油层物性和原油物性差的局部应用少量中小型抽油机,到 1980 年开始全部转抽之前,共有抽油机井 170 余口。

1980 年开始全面转抽,对预测产能在 150t/d 以下的井,全部采用有杆泵转抽,抽油机从 3 型到 16 型均有应用,抽油泵以 $\phi 32\text{mm}$ 到 $\phi 83\text{mm}$ 普遍应用,为使有杆深井泵满足能在 150t/d 以上的井生产需要,还试验应用了 $\phi 95\text{mm}$ 泵,在抽油机应用种类上,除应用常规游梁式和前置式机外,为了节能降耗和大排量井环空测试,以及斜直井采油等需要,还先后试制和应用了多种异型抽油机,如旋转驴头抽油机、异相平衡抽油机、无游梁抽油机、塔架式抽油机以及斜直井抽油机等。

3. 电动潜油离心泵

电动潜油离心泵又称电潜泵或电泵,它的主要特点是排液能力大,国内实际应用的排量范围为 $30\sim 700\text{m}^3/\text{d}$ (主要应用于 $200\text{m}^3/\text{d}$ 以上的井, $200\text{m}^3/\text{d}$ 以下的泵应用较少,小排量泵是近年为拓宽电潜泵应用范围研制和应用的)。而且因电潜泵井排量大原油物性好,井筒内温度高,不易结蜡,所以电潜泵井的生产管理简单方便。因电潜泵的电器部件在井下,所以使用温度环境受到限制,一般应在 120°C 以下,由于温度的原因,限制了下泵深度,国外有的泵可以在地热井中 (232°C) 高温下工作,但在高温下电机和电缆的寿命将缩短。另外由于电潜泵是离心泵,气液比不能过高,否则泵不能正常工作,易造成过多的欠载停机。

电潜泵的主要缺点是不能灵活地进行工作参数调整,应用变频控制器虽然可在一定范围内进行排液能力调整,但变频设备较贵,且技术管理要求高,只能在少量大泵井上使用。

此外,由于电机在井下,需要保证一定的过流散热条件,所以不能应用于低渗透油田和产能太低的井,以免发生抽空损坏。同时由于价格的原因,用于产能太低的井经济上也不尽合理。

大庆油田自 60 年代开始研制电潜泵,到 80 年代大量应用于油井生产,到目前全油田已有电潜泵井千余口,应用于大庆长垣内部采油一厂至六厂,在技术管理上已形成配套技术。

4. 螺杆泵

螺杆泵采油装置结构简单,在同样排液能力下,其系统装置一次投资低于有杆泵和电潜泵,由于它是由地面装置驱动杆柱匀速旋转驱动井下泵,不象抽油机那样拖动杆柱作大幅度往复运动,因此地面装置小巧简单,系统效率比有杆泵高,耗电少,可比有杆泵节电 $5\%\sim 7\%$,耗电是潜油电泵的一半左右。由于泵定子是橡胶件,所以耐温受到限制,不宜超过 70°C ,温度限制了泵深,泵深应在 2000m 以内,排量一般为 $250\text{m}^3/\text{d}$ 以下,在常规井眼条件下大排量多头泵理论上可达到 $450\text{m}^3/\text{d}$,由于螺杆泵是钢体转子与橡胶定子为过盈配合运转,所以不能应用于供液能力太低有抽空危险的特低产井,以免造成橡胶干磨损坏(应用成功的抽空控制装置除外)。螺杆泵可以通过改变地面驱动装置转速而在一定范围内调整泵的排液能力,在灵活性方面优于电潜泵,但没有抽油机调参范围大,抽油机可以在冲程冲次两个方面调参,而螺杆泵只能在转速方面调整,转速一般不能超过 $300\text{r}/\text{min}$,否则难以长时间稳定运转。但它的地面驱动装置因体积小可随泵在井下作业时一同调换。由于螺杆泵是通过螺旋挤压排

液，且橡胶具有可塑性，因此在对稠油、砂、气的适应性方面要优于电潜泵和有杆泵。

螺杆泵的定容挤压式排液所带来的缺点就是它不能象有杆泵那样以任一排量洗井，它的洗井流量不能大于泵理论排量，而且洗井液温度也不能超过定子橡胶所能耐受的温度。如果以高压大排量强行洗井，则螺杆泵在洗井液的驱动下会超速旋转，这时抽油杆柱承受的是卸扣方向扭矩，很容易造成杆柱脱扣。

螺杆泵的另一个缺点就是不能停机时间过长，特别是大泵，这个问题更明显，若因测静压或其它原因关井，再启机时就难以启动，须上吊车拨活杆柱后再启动，给生产管理造成不便。

大庆油田从1986年开始试验应用螺杆泵采油，先是从加拿大格瑞芬公司引进2台螺杆泵，在采油三厂和采油六厂各下一口井，此后陆续应用过法国、德国、美国泵和国产泵，应用的排量能力为 $5\sim 250\text{m}^3/\text{d}$ ，应用的下泵深度为 $500\sim 1400\text{m}$ ，应用中对防油管脱扣、防杆柱反转、抽空控制以及定子橡胶的研究等配套和相关工艺进行了不同程度的研究与应用，同时作了无油管抽油的探讨，但目前平均检泵周期还不够理想，与有杆泵、电潜泵相比还有较大差距。

5. 水力活塞泵

水力活塞泵是一种液压驱动的可无杆抽油系统，靠油管中的动力液传递动力，驱动井下泵往复运动，实现井液的举升。

水力活塞泵主要优点是因其可用液力起下，从而可显著减少动管柱检泵工作量，同时因其是液力驱动，井下泵为机械件，下泵深度不受限制，能够适应深井，只要动力液压力足够，国外水力活塞泵最深下到 5486m 。

泵的排量可以通过改变工作冲数实现无级调节，在 $2\frac{7}{8}\text{in}$ 油管条件下最大排量可达到近 $400\text{m}^3/\text{d}$ 。

由于动力液可携带热量和化学剂，使它在高凝油、稠油等复杂条件油藏的开采中具有一定优越性。

水力活塞泵的缺点一是生产资料录取难度大，在单管柱条件下，因其动力液和产出液须经油套环形空间混合返出，油套环形空间须使用封隔器封死，所以生产中不能像其它机采方式井那样测动静液面录取流静压。流压的测取，在井下泵上段装接泵顶部测试控制器，把井下泵吸入压力引导到泵的顶部，测后起出测压器，解释压力计量卡片取得泵吸入口压力。或采用泵顶部随泵测试方法，将测压器与泵顶部测试控制器连接起来，安装在沉没泵上段，随泵一起投入井中运转、测试，测完后起出带测压装置的沉没泵，取出压力记录卡片。静压测试可采用与测流压相同的测试工艺，或将沉没泵和低阀起出后下压力计测试，所以压力资料录取工作较其它采油方式难度大。

产液量的计量须在混合液计量的基础上，减去动力液的流量。因是间接数据，在计量仪器设备条件以及操作控制等方面都须有较好的稳定性和可对比性，否则容易造成较大误差或资料无法应用。

含水率的测试因同样存在着非直接问题，因此对高含水原油来说很难取到有代表性的含水油样。此外，用水力活塞泵采油，地面须配备动力液处理系统和高压控制管汇等，该种抽油系统的管理比其它机械采油方式较为困难。

大庆油田自喷转抽时期于1984年在采油六厂试验应用水力活塞泵，共试验3口井，其动力液用地层高压产出水，井内管柱采用单级封隔器投入式开循环结构，产出液与用后动力液