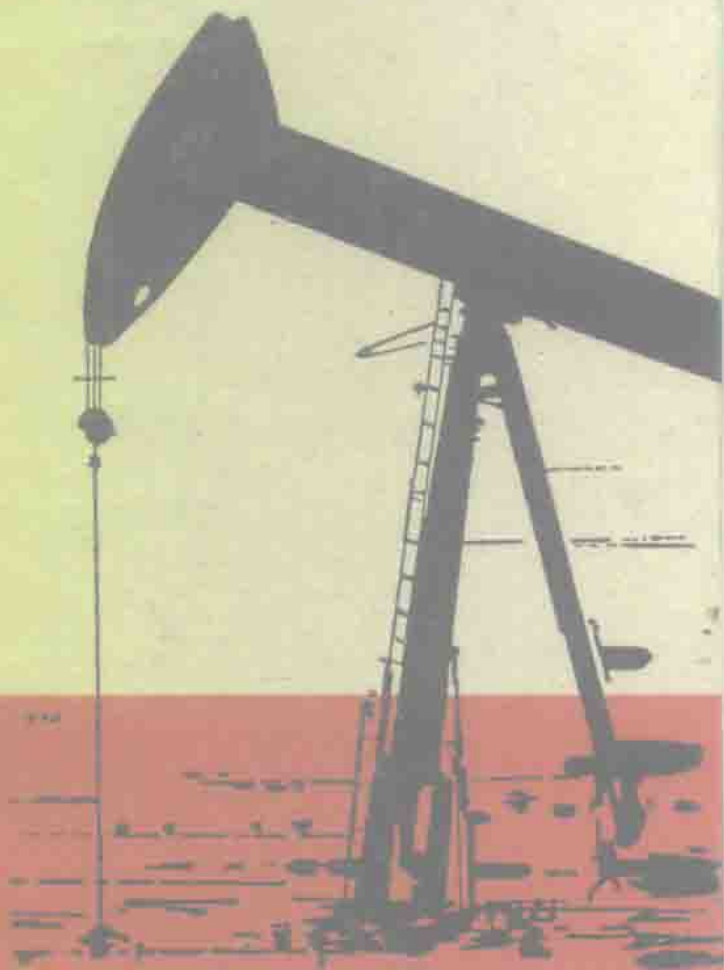


采油技术手册 (修订本)

第一分册
自喷采油技术



石油工业出版社

采油技术手册

(修订本)

第一分册 自喷采油技术

万仁溥 罗苗俊 主编

刘建新

唐家

高林康

樊

魏

院

图

江苏工业学院图书馆

藏书章

石油工业出版社

(京) 新登字 082 号

内 容 提 要

本手册介绍了有关自喷采油现场应用的生产压力系统分析方法、井口装置、油气水计量方法和常用仪表及分层采油和消防蜡等工艺技术。便于与采油有关的专业技术人员使用和参考。

采油技术手册
(修订本)

第一分册 自喷采油技术

万仁溥 罗英俊 主编

刘建新 唐家礼 高大康 樊灵 编

*

石油工业出版社出版

(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

*

850×1168 毫米 32 开本 $6\frac{3}{8}$ 印张 164 千字 印 1-3000

1994 年 9 月北京第 1 版 1994 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-1070-4 / TE · 993

定价: 8.00 元

修订版说明

原《采油技术手册》是采油专业的一部重要工具书，它的出版发行已在采油技术工作中起了重要的作用。但由于该手册出版于 70 年代初期，内容已显得陈旧，部分章节单薄不全，特别是近十年来在采油技术工作中又发展了一批新工艺、新技术、新工具，这些工艺、技术和工具有待于更多的技术人员掌握应用，以转化成更大的生产力。为此，经中国石油天然气总公司开发生产局同石油工业出版社商定，对原《采油技术手册》进行修订，重新编写。

新的《采油技术手册》由中国石油天然气总公司开发生产局和石油工业出版社共同组织编写，由万仁溥、罗英俊负责主编。

考虑到修订后的《手册》内容广泛、牵涉面广、篇幅长和工作量大的特点，以及从便于应用出发，新的《手册》将以分册的形式来完成。

新的《采油技术手册》暂定为十个分册，各分册的名称如下：

- 第一分册 自喷采油技术
- 第二分册 注水技术
- 第三分册 生产测井技术
- 第四分册 机械采油技术
- 第五分册 修井工具与技术
- 第六分册 增产措施设备技术
- 第七分册 防砂技术
- 第八分册 稠油热采工程技术
- 第九分册 压裂酸化工艺技术
- 第十分册 堵水技术

手册的各分册都既是独立的工具书，又是《采油技术手册》的一个组成部分，采油部门的各专业可根据需要选用其中的分册。

前 言

油田开发过程中，油井一般都要经历自喷采油阶段，即利用油井自身地层的能量将原油举升到地面。自喷采油是一种经济的采油方式，不需要人工补充能量。为要使油井以合理的产量稳定生产和延长油井自喷期，就要求生产的各个环节互相协调，并要有一定的设备、井下工具和工艺技术来保证。

随着我国石油工业的迅速发展，自喷采油技术从理论到现场实践都得到了提高。本手册概括了当前自喷采油现场的现状，介绍了生产压力系统分析、油气计量方法和仪表、分层采油和清防蜡技术等内容，以满足现场自喷采油的需要。

本手册第一章由高大康和樊灵编写，第二至第五章由唐家礼和刘建新编写，吴明林参加了初稿的编写工作。在编写过程中，得到大庆石油管理局油田开发处和采油一厂的同志们支持，特此致谢。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请读者批评指正。

编者

1993年5月

目 录

第一章 生产压力系统分析及其在自喷井生产中的应用	(1)
一、流入特性.....	(1)
二、管内多相流动特性.....	(10)
三、生产压力系统分析 (节点系统分析)	(14)
四、应用软件及计算实例.....	(31)
第二章 井口装置	(40)
一、井口装置规范 (SY 5156.1—87)	(40)
二、采油 (气) 树.....	(45)
三、套管头.....	(54)
四、油管头.....	(72)
五、井口阀门.....	(74)
六、节流器.....	(78)
七、井口阀钢圈.....	(82)
第三章 计量方法和常用仪表	(83)
一、量油.....	(83)
(一) 玻璃管量油的油量计算	(83)
(二) 玻璃管电极法量油的油量计算	(85)
(三) 翻斗自动量油装置及油量计算	(85)
(四) 涡轮流量计	(87)
(五) 刮板流量计	(88)
(六) 腰轮流量计	(93)
(七) 椭圆齿轮流量计	(98)
二、测气.....	(102)
(一) 孔板流量计	(102)

(二) 气体腰轮流量计	(119)
(三) LQR 型旋叶容积式气体流量计	(123)
三、原油含水率测量	(127)
(一) 微波原油含水分析仪	(127)
(二) 电容法原油含水分析仪	(127)
(三) 振动式密度计	(129)
(四) 差压式含水分析仪	(132)
第四章 分层采油工艺技术	(134)
一、单管封隔器分层采油	(134)
(一) 管柱结构	(134)
(二) 井下工具	(134)
(三) 井下油嘴选择	(163)
二、双管分层采油	(165)
三、油套管分采	(169)
第五章 清防蜡工艺技术	(172)
一、机械清蜡	(172)
(一) 原理	(172)
(二) 清蜡设备和工具	(172)
二、内衬油管防蜡	(176)
(一) 防蜡原理	(176)
(二) 玻璃衬里油管性能要求及检验	(176)
三、井下自控电热带电缆防蜡	(178)
(一) 结构	(178)
(二) 电缆自控原理	(178)
(三) 井下自控电热带电缆井设计	(179)
(四) 施工操作	(182)
(五) 注意事项	(184)
四、化学清蜡防蜡	(184)
(一) 作用原理	(184)
(二) 常用配方	(185)

(三) 加药车	(190)
五、磁防蜡技术	(190)
(一) 用途	(190)
(二) 结构	(191)
(三) 技术规范	(191)
(四) 使用注意事项	(191)

第一章 生产压力系统分析及其 在自喷井生产中的应用

生产压力系统分析，通常称为节点系统分析，是通过对生产系统中的各环节，如分离器压力、地面出油管线尺寸、油管柱尺寸、油嘴尺寸、井口压力、射孔参数和地层压力等影响因素进行敏感性分析，最后再进行综合评价，优化生产系统，以便获得最有效的目标产量。同时，这种方法还可以用于人工举升方法的选择，并可对油井的停喷和转为人工举升方法的时机进行预测分析。

一、流入特性

IPR 曲线即流入动态曲线是描述油井产量与井底流动压力的基本关系曲线。在进行生产系统分析时，IPR 曲线反映了油井的供液能力，即在不同井底流动压力下可以获得的油井产量。因此，流入特性参数计算是十分重要的。在绘制 IPR 曲线时，可应用简便的流入特性公式计算，结合系统试井等生产动态资料进行拟合，若有好的油藏模拟模型，则可以直接应用模拟计算的结果。

1. 流入特性公式

(1) 单相流

1) 单相流的达西公式

$$q_o = \frac{5.356 \times 10^2 K_o h (\bar{p}_r - p_{wf})}{\mu_o \bar{B}_o [\ln (r_e / r_w) - \frac{3}{4} + S]} \quad (1-1)$$

$$J_0 = \frac{q_0}{\Delta p} = \frac{5.356 \times 10^2 K_0 h}{\bar{\mu}_0 \bar{B}_0 [\ln(r_e / r_w) - \frac{3}{4} + S]} \quad (1-2)$$

- 式中 K_0 ——油层有效渗透率, μm^2 ;
 \bar{p}_r ——油藏平均压力, MPa;
 p_{wf} ——射孔段中部岩面流动压力, MPa;
 h ——油层有效厚度, m;
 q_0 ——产量, m^3/d ;
 r_e ——泄油半径, m;
 r_w ——井筒半径, m;
 $\bar{\mu}_0$ ——在 $(\bar{p}_r - p_{wf}) / 2$ 的平均压力下的原油粘度, $\text{mPa} \cdot \text{s}$;
 B_0 ——在平均压力下的地层原油体积系数;
 J_0 ——采油指数, $\text{m}^3 / (\text{d} \cdot \text{MPa})$;
 S ——表皮系数。

2) 主要参数的确定

渗透率 (K) 值, 通常可以用岩心在实验室试验中得到, 也可以应用试井解释的结果。

油层厚度 (h) 值, 代表整个生产层的厚度, 并不只是代表射孔段。对于斜井的生产层, h 代表垂直厚度; 对于底水油层, h 只代表油层的厚度。

油藏平均压力 (\bar{p}_r) 值, 最好从压力恢复曲线中获得, 也可以根据静液面或附近井的资料估算。

平均粘度 ($\bar{\mu}_0$) 及地层原油平均体积系数 (B_0) 值, 均可以根据 PVT 高压物性分析资料求得。如果没有 PVT 资料, 可以使用 Standing 或 Lasater 相关式估算。

泄油半径 (r_e), 可以从试井解释资料中得到, 也可以根据某一泄油面积的形状及油井的位置调整而得到。下面公式也可以用于计算流入特性⁽³⁾

$$q_0 = \frac{5.356 \times 10^2 K_0 h (\bar{p}_r - p_{wf})}{\bar{\mu}_0 \bar{B}_0 [\ln x^{-\frac{3}{4}} + S]} \quad (1-3)$$

式中 x 可以从图 1—1 中查出。

泄油半径虽然较难确定，但是由于使用自然对数 $\ln(r_e/r_w)$ 计算，误差相对较小。对于一般开发井网，常取井距之半计算。

井筒半径 (r_w) 值，可以用井径仪精确测出。一般是根据所用钻头的尺寸来确定。

表皮系数 (S) 值，可以从压力恢复曲线中求出。若没有压力恢复资料，可以进行油井实际生产动态资料拟合，求得 S 值。

(2) 两相流

Vogel 提出简单的计算气液两相流入特性的通用方程⁽⁵⁾

$$\frac{q_0}{q_{\max}} = 1 - 0.2 \left(\frac{p_{wf}}{\bar{p}_r} \right) - 0.8 \left(\frac{p_{wf}}{\bar{p}_r} \right)^2 \quad (1-4)$$

式中 p_{wf} ——井底流动压力，MPa；

\bar{p}_r ——油藏平均压力，MPa；

q_0 ——在 p_{wf} 压力下的产油量， m^3/d ；








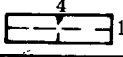

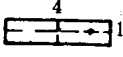

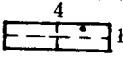


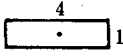
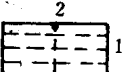
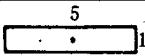
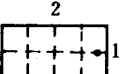

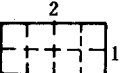


q_{\max} ——在 $p_{wf}=0$ 条件下油井最大理论产油量， m^3/d 。

上述公式是 Vogel 对一些溶解气驱油藏和不同特性流体通过计算得出的。图 1—2 也可以用来解决两相流问题。该公式应用于含水在 50% 以内的油藏，预测结果最佳。

(3) 单相流与两相流的结合

如图 1—3 所示，从通用方程可以进行求解计算

$$q_0 = \frac{5.35 \times 10^2 K_0 h}{\ln(r_e/r_w) - \frac{3}{4} + S} \left[\int_{p_b}^{\bar{p}_r} f(p) dp + \int_{p_{wf}}^{p_b} f(p) dp \right] \quad (1-5)$$

系统	X	系统	X
	$\frac{r_e}{r_w}$		$\frac{0.966A^{1/2}}{r_w}$
	$\frac{0.571A^{1/2}}{r_w}$		$\frac{1.44A^{1/2}}{r_w}$
	$\frac{0.565A^{1/2}}{r_w}$		$\frac{2.206A^{1/2}}{r_w}$
	$\frac{0.604A^{1/2}}{r_w}$		$\frac{1.925A^{1/2}}{r_w}$
	$\frac{0.61A^{1/2}}{r_w}$		$\frac{6.59A^{1/2}}{r_w}$
	$\frac{0.678A^{1/2}}{r_w}$		$\frac{9.36A^{1/2}}{r_w}$
	$\frac{0.668A^{1/2}}{r_w}$		$\frac{1.724A^{1/2}}{r_w}$
	$\frac{1.368A^{1/2}}{r_w}$		$\frac{1.794A^{1/2}}{r_w}$
	$\frac{2.066A^{1/2}}{r_w}$		$\frac{4.072A^{1/2}}{r_w}$
	$\frac{0.384A^{1/2}}{r_w}$		$\frac{9.523A^{1/2}}{r_w}$
	$\frac{1.485A^{1/2}}{r_w}$		$\frac{10.135A^{1/2}}{r_w}$

A —泄油面积。

图 1—1 不同泄油面积图型的系数
与油井在泄油面积中的位置⁽⁴⁾

A —泄油面积; $A^{1/2}/r_w$ —无量纲

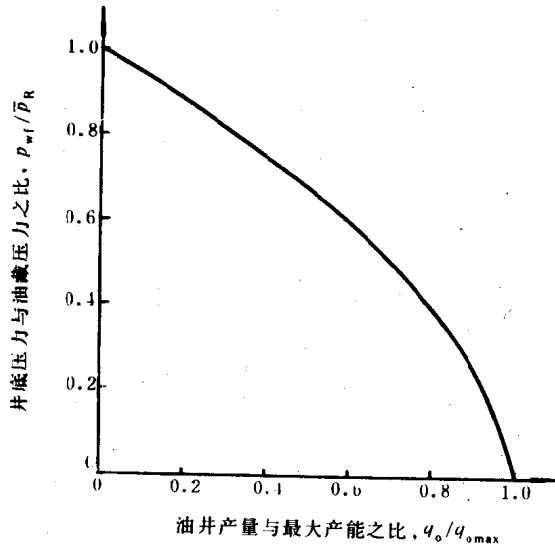


图 1—2 溶解气驱油藏流入特性关系曲线

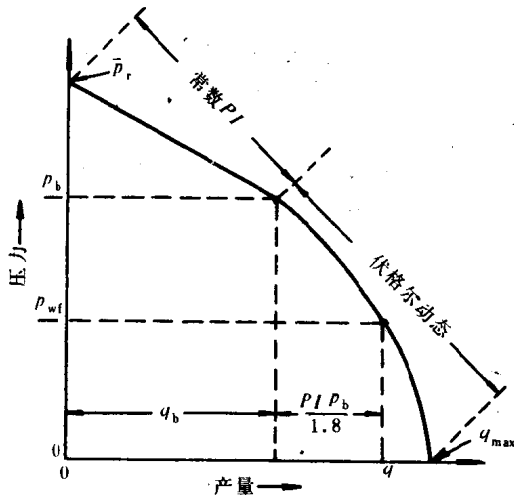


图 1—3 常数 PI 与 Vogel 动态的结合

当 $p_{wf} > p_b$ 时, J 值可根据达西定律计算

$$J = \frac{5.356 \times 10^2 K_0 h}{\mu_0 B_0 [\ln(r_e / r_w) - \frac{3}{4} + S]} \quad (1-6)$$

当 $p_{wf} < p_b$ 时, 可根据 Vogel 方程计算

$$q = q_b + (q_{\max} - q_b) \left[1 - 0.2 \left(\frac{p_{wf}}{p_r} \right) \right] \quad (1-7)$$

在 $p_{wf} = p_b$ 的情况下

$$q_{\max} = \frac{J p_b}{1.8} \quad (1-8)$$

由此便可作出完整的 IPR 曲线。

例 1 已知 $\bar{p}_r = 18\text{MPa}$, $p_b = 15\text{MPa}$, $K_0 = 20 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, $h = 20\text{m}$, $\bar{B}_0 = 1.2$, $\bar{\mu}_0 = 0.8\text{mPa} \cdot \text{s}$, $r_e = 200\text{m}$, $r_w = 0.152\text{m}$, $S = 0$ 。

计算: (1) q_b ; (2) 总的 q_{\max} ; (3) 在不同流压 ($p_{wf} = 17, 14\text{MPa}$) 下的 q_0 。

计算步骤:

(1) 根据达西定律先求 J 值

$$\begin{aligned} J_0 &= \frac{5.356 \times 10^2 K h}{\bar{B}_0 \bar{\mu}_0 \left(\ln \frac{r_e}{r_w} - \frac{3}{4} + S \right)} \\ &= \frac{5.356 \times 10^2 \times 20 \times 10^{-3} \times 20}{1.2 \times 0.8 \times \left(\ln \frac{200}{0.152} - \frac{3}{4} + 0 \right)} \end{aligned}$$

$$= 33.66\text{m}^3 / (\text{d} \cdot \text{MPa})$$

(2) 求饱和点压力下的产量

$$\begin{aligned} q_b &= J (\bar{p}_r - p_b) \\ &= 133.66 \times (18 - 15) \\ &= 1100.98\text{m}^3 / \text{d} \end{aligned}$$

(3) 求总的 q_{\max}

$$\begin{aligned} q_{\max} &= q_b + \frac{Jp_b}{1.8} \\ &= 1100.98 + (33.66 \times 15) / 1.8 \\ &= 381.48\text{m}^3 / \text{d} \end{aligned}$$

(4) 求不同井底流动压力下的产量

当 $p_{\text{wf}} = 17\text{MPa}$ 时 ($p_{\text{wf}} > p_b$)

$$\begin{aligned} q_0 &= J (\bar{p}_r - p_{\text{wf}}) \\ &= 33.66 \times (18 - 17) \\ &= 33.66\text{m}^3 / \text{d} \end{aligned}$$

当 $p_{\text{wf}} = 10\text{MPa}$ 时 ($p_{\text{wf}} < p_b$)

$$\begin{aligned} q_0 &= q_b + (q_{\max} - q_b) \left[1 - 0.2 \frac{p_{\text{wf}}}{p_b} - 0.8 \left(\frac{p_{\text{wf}}}{p_b} \right)^2 \right] \\ &= 1100.98 + (381.48 - 1100.98) \left[1 - 0.2 \left(\frac{10}{15} \right) - 0.8 \left(\frac{10}{15} \right)^2 \right] \\ &= 244.35\text{m}^3 / \text{d} \end{aligned}$$

(5) 最后将以上计算结果绘制成 IPR 曲线 (见图 1—4)。

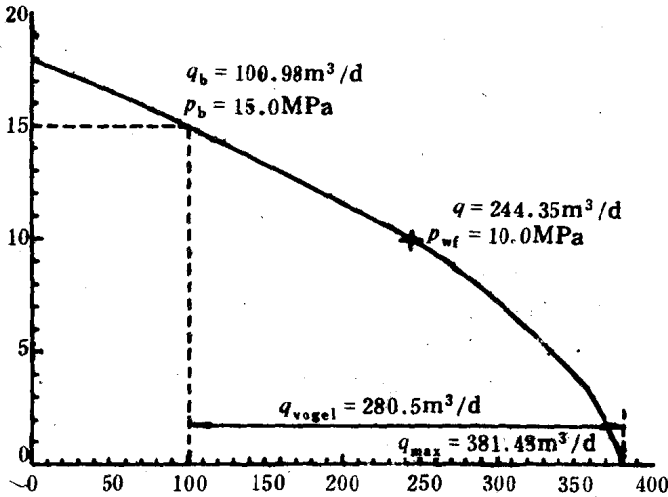


图 1—4 例 1 流入特性 (IPR) 曲线

2. 射孔段压降计算

评价射孔参数是完井的重要设计内容。在正常射孔条件下,射孔孔眼通道周围的油层已被压实和污染,而且其射孔密度、穿透深度及相位等,对油层的产量和流入特性都有影响。(射孔炮眼示意图见图 1—5)。

琼斯 (Jones)、布朗特 (Blount) 和格来兹 (Glaze) 整理出的,计算地层流体通过这些炮眼时产生的压力损失公式。

油井畅通炮眼的压降计算公式:

$$p_{\text{wfs}} - p_{\text{wf}} = aq^2 + bq$$