

采油管理实务

主 编 霍兴旺 赵慧梅
副主编 孙华杰 周亚清 程淑艳

吉林人民出版社

内 容 提 要

本书详细地分析了悬点光杆的受力情况；细致地描述了理论示功图及意义；对实测示功图反映的泵况、井况、油层的供液情况及其他方面进行了分类与分析；独特地、创造性地对示功图进行计算和应用；列举了油井生产案例分析；详细介绍了油井的常见操作、管理分析方法、增产措施、提高采收率的技术。

本书可供采油工、采油工程、技术管理人员以及油气开发相关专业的大、中专院校的学生使用。

序

本书在示功图分析方面非常全面、客观、准确，尤其在示功图的计算与应用方面，有独特创新的开发与拓展，是油井管理的有利工具，是提高油井管理质量、水平、经济效益，降低生产成本的有效方法与措施，是采油工程技术管理人员的良师益友，对提高他们的业务能力、工作水平将产生很大作用。该书的出版发行将填补国内外示功图分析与应用知识的空白。

另外，本书详细地介绍了油井的日常管理、方法、措施。

作 者

2007 年 12 月

前 言

示功图的分析与应用，随着石油开发企业由粗放型向集约型发展而转化，管理的水平与质量的逐步提高，显得尤为重要。

通过对示功图的分析，可以了解掌握抽油井的井况、泵况和液况；可以及时地发现影响油井正常生产的一些因素与问题，为将其在萌芽中解除提供了及时的信息；从而降低解决或处理影响油井正常生产事故的费用与成本；为实现油井精细化管理起到很大的作用。因此示功图不仅是油井管理的手段而且是节约创效的措施。本书详细地描述了油井的常见操作方法与技巧，阐述了油井故障分析处理，介绍了油井增产措施、提高采收率的技术。

由于本书编写时间仓促，编者水平有限，难免有不足之处，望广大读者批评、指正，提出宝贵意见。

作 者

2007 年 12 月

目 录

第一章 驴头悬点或光杆的受力分析	1
第一节 静载荷.....	1
第二节 动载荷、摩擦载荷及其他因素的影响.....	3
第二章 理论示功图	6
第一节 理论示功图的概念及绘制条件.....	6
第二节 绘制理论示功图.....	7
第三章 实测示功图的分析	12
第一节 示功图的概念及其录取要求	12
第二节 示功图的分析	13
第四章 示功图的计算与应用	27
第一节 悬点负荷及其利用率的计算	27
第二节 冲程、活塞冲程、泵的充满系数、泵效及油井 产量计算核实	28
第三节 断点与漏点的计算	30
第四节 确定更合适的防冲距加大、减小的长度	31
第五节 油井生产案例分析	33
第五章 抽油机常见的操作	35
第一节 游梁式抽油机的平衡	35
第二节 防冲距	38
第三节 加井口盘根	39

第四节 更换抽油机的皮带	41
第六章 抽油机常见故障的分析处理	43
第七章 不正常井的管理技术	48
第一节 出砂井的管理技术	48
第二节 结蜡井的管理技术	52
第三节 出水井的管理技术	61
第八章 抽油井井况分析	70
第一节 抽油井系统效率及深井泵工况分析	70
第二节 油田动态分析概述	83
第三节 油田动态分析的基础资料	88
第四节 单井动态分析	102
第五节 注采井组的动态分析	119
第六节 开发单元的动态分析	124
第七节 油田开发动态分析常用图件的编绘	133
第九章 抽油井增产措施	152
第一节 油层酸处理	152
第二节 油层水力压裂	156
第十章 提高采收率的途径与技术	167
第一节 提高采收率的途径及方法	168
第二节 采油新技术简介	173

第一章 驴头悬点或光杆的 受力分析

对实测示功图分析得非常准确，达到能测出来就能分析出来的水平，必须清楚悬点或光杆的受力情况。

第一节 静载荷

静载荷就是游梁式抽油机在运转时，作用在悬点或光杆的不随悬点或光杆位移变化而变化、相对稳定的作用力，包括以下几种：

一、悬点或光杆上行时

1. 杆柱在空气中的重量

$$P_{\text{杆}} = F_{\text{杆}} * L * \rho_{\text{杆}} * g \quad (1-1)$$

式中

$P_{\text{杆}}$ —杆柱在空气中的重量 (N 或 KN)

$\rho_{\text{杆}}$ —杆柱的密度，吨/ m^3

L —杆柱的长度，米；若单级杆即下泵深度

$F_{\text{杆}}$ —杆柱的横截面积， cm^2 或 m^2

g —重力加速度，一般取 $g = 9.8 \text{m/S}^2$

2. 杆柱与管柱之间的环形液柱的重量

$$P_{液} = (F_{活} - F_{杆}) \times L \times \rho_{混} \times g \quad (1-2)$$

式中:

$P_{液}$ —环形液柱的重量, N、KN

$F_{活}$ —活塞的横截面积 (cm^2 、 m^2)

$\rho_{混}$ —油、水混合液的密度, 吨/ m^3 、 kg/m^3

3. 最大静载荷

$P_{杆}$ 与 $P_{液}$ 之和为悬点或光杆所受的最大静载荷。即:

$$P_{静max} = P_{杆} + P_{液} \quad (1-3)$$

二、下行时

下行时杆柱与活塞在油管油水混合液中向下运动, 因此悬点光杆所受的力是:

$$\begin{aligned} P'_{杆} &= P_{杆} - P_{浮} \\ &= F_{杆} \times L \times \rho_{杆} \times g - F_{杆} \times L \times \rho_{混} \times g \\ &= (\rho_{杆} - \rho_{混}) F_{杆} \times L \times g \\ &= (\rho_{杆} - \rho_{混}) F_{杆} \times L \times g \times \rho_{杆} / \rho_{杆} \end{aligned}$$

$$\rho'_{杆} = (\rho_{杆} - \rho_{混}) / \rho_{杆} \times P_{杆}$$

令 $K = (\rho_{杆} - \rho_{混}) / \rho_{杆}$ K 称为杆柱的失重系数

$$\text{即 } P'_{杆} = KP_{杆} \quad (K = 0.85 \sim 0.92) \quad (1-4)$$

式中:

$P'_{杆}$ —杆柱在油、水混合液中作用在光杆上的力, N、KN

$P'_{杆}$ 是悬点或光杆所受的最小的静载荷。

三、 $P'_{液}$

$P'_{液}$ 是假想的整个活塞横截面积以上的液柱的重量 (N、KN);

$$P'_{液} = F_{活} \times L \times \rho_{混} \times g \quad (1-5)$$

四、 $P_{杆}$ 、 $P_{液}$ 、 $P'_{杆}$ 和 $P'_{液}$ 四者之间的关系

$$P_{杆} + P_{液} = P'_{杆} + P'_{液} \quad (1-6)$$

证明:

$$P_{杆} - P'_{杆} = P_{浮} \quad (1-7)$$

$$P'_{液} - P_{液} = P_{浮} \quad (1-8)$$

$$\text{所以 } P_{杆} - P'_{杆} = P'_{液} - P_{液}$$

$$\text{故 } P_{杆} + P_{液} = P'_{杆} + P'_{液}$$

第二节 动载荷、摩擦载荷及其他因素的影响

一、动载荷

动载荷是随悬点光杆运动状况及其位置的变化而变化,作用在悬点或光杆上的力,主要包括惯性载荷和振动载荷。

1. 惯性载荷

由于悬点光杆带动杆柱、液柱,上、下往复地变速运动,因此产生惯性力即惯性载荷。

上行的前半冲程是杆柱、液柱在光杆的带动下做加速运动,其加速度方向向上,且逐渐减小,而在下死点处,加速度最大,惯性力也最大,其方向向下,增加了悬点、光杆的负荷;后半冲程是减速运动,其加速度方向向下,其逐渐增大,而在上死点处,达到最大,惯性力也达到最大,方向向上,减轻悬点或光杆的负荷。下行,加速度及惯性力与上行基本一致。

惯性载荷大小与杆柱、液柱的质量成正比;与悬点的加速

度成正比；其方向与加速度方向相反。

冲程、加速度、惯性力与其对悬点的作用如下表：

冲 程		加速度	惯性力	对悬点载的影响
上冲程	前半个冲程	向上	向下	增加悬点载荷
	后半个冲程	向下	向上	减少悬点载荷
下冲程	前半个冲程	向下	向上	减少悬点载荷
	后半个冲程	向上	向下	增大悬点载荷

二、摩擦载荷

杆柱、液柱在运动过程中，受到摩擦力的作用，虽然占悬点的负荷比例较小，但在示功图上反应比较明显。摩擦载荷有以下几种：

1. 杆柱与管柱

杆柱在上下往复运动过程中，与管柱之间产生摩擦力，上行时作用于杆柱的摩擦力向下，增加悬点或光杆负荷，下行则减小。尤其是定向井或水平井二者之间摩擦力很大，易发生断脱、管漏现象。因此在造斜处杆柱上安装防摩器，降低二者之间的摩擦力，延长其使用寿命。

2. 杆柱与液柱

杆柱在下行时与液柱之间存在摩擦力，方向向上，减少悬点光杆负荷。

若油稠或结蜡严重二者之间摩擦力很大，使杆柱下行困难，光杆卡子与悬绳器的压板发生相对的运动，二者下行速度不一致出现相离距离，而上行时压板与卡子发生猛烈地撞击，易发生停抽事故等，应采取措施清蜡、降粘，保证油井正常

生产。

3. 管柱与液柱之间

上行时，向上运动的环行液柱与管柱之间产生摩擦力，增加了悬点、光杆的负荷。

4. 活塞与衬套或泵筒之间

活塞上行时，增加悬点光杆负荷；下行时，减少悬点光杆负荷，使底部杆柱易产生弯曲，杆柱易疲劳断脱。

三、其他因素影响

1. 井口油压

油压越高，上行时增加悬点光杆负荷，下行时减少负荷。

2. 沉没压力

沉没压力的大小不仅影响泵的充满程度，还影响悬点光杆负荷。上行时沉没压力将对活塞底部有向上推举的作用。

总之，以上四种载荷均作用在悬点或光杆上，但起主导作用的是静载荷占悬点负荷的 85% ~ 95%，其三种载荷处在次要地位，仅占悬点负荷的 5% ~ 15%，但在示功图上显示明显。

第二章 理论示功图

理论示功图是分析实测示功图的基础，而实测示功图是理论示功图的主体反映，但有时反差较大。

第一节 理论示功图的概念及绘制条件

一、概念

理论示功图是只考虑静载荷，而不考虑其他载荷；只考虑杆柱、管柱弹性伸长或缩短，而不考虑其他一切影响因素的理想条件下的光杆受力与其位移的关系曲线。

二、绘制理论示功图的条件

1. 泵的质量完好，且凡尔能够及时、瞬间地打开或关闭；
2. 只考虑静载荷、杆柱管柱弹性伸长或缩短，而不考虑其他一切的影响因素；
3. 供液充分，且液体是不可压缩的。

第二节 绘制理论示功图

一、确定坐标轴

以横轴表示光杆的位移；以纵轴表示光杆的受力。

二、确定坐标的分度值

1. 横坐标

横坐标的分度值由减程比来确定；减程比就是单位长度的横坐标所表示实际光杆或悬点位移的大小值。

即，减程比 = 光杆悬点位移（冲程）/图上横坐标的长度；例如：45:1

2. 纵坐标

纵坐标的分度值由力比来确定；力比就是单位长度的纵坐标所表示悬点光杆受力的大小值，即，力比 = 光杆受力/纵坐标长度；

例如；力比 $k = 2.0 \text{ kN/mm}$

三、计算 $P'_{\text{杆}}$ 、 $P'_{\text{液}}$ 、 λ_1 、 λ_2 及入

若某油井泵挂（下泵深度） L 为 580m，用 ZYG19 抽油杆，截面积 $f_{\text{杆}}$ 为 2.58 cm^2 ，每米重量 $q_{\text{杆}} = 23 \text{ N/m}$ ；油管 ϕ 为 62mm，横截面积 $f_{\text{管}}$ 为 11.9 cm^2 ；泵为 CYB56t，活塞截面为 24.63 cm^2 ，含水为 20%，油的密度 $\rho_{\text{油}}$ 为 0.860 吨/m^3 ，冲程为 1.45m，杆柱、管柱的弹性模量 E 为 $2.1 \times 105 \text{ Mpa}$ ；所用测试仪器的力比为 1 kN/mm ；减程比为 45/1， $g = 10 \text{ m/s}^2$

1. 计算 $P'_{杆}$

油水混合液密度 $\rho_{混}$

$$\begin{aligned}\rho_{混} &= f_w \times \rho_w + (1 - f_w) \times \rho_o \\ &= 0.20 \times 1 + (1 - 0.20) \times 0.86 = 0.888 \text{ 吨/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P'_{杆} &= P_{杆} \times L - P_{浮} \\ &= q_{杆} \times L - f_{杆} \times L \times \rho_{混} \times g \\ &= 23 \times 580 - 2.85 \times 10^{-4} \times 580 \times 0.888 \times 10^3 \times 10 \\ &= 11872.0N = 11.9KN\end{aligned}$$

式中 f_w —含水率

2. $P'_{液}$

$$\begin{aligned}P'_{液} &= AP \times L \times \rho_{混} \times g \\ &= 24.63 \times 10^{-4} \times 580 \times 0.888 \times 10^3 \times 10 \\ &= 12685N = 12.7KN\end{aligned}$$

3. 计算光杆所受的最大静载荷 $P_{静max}$

$$\begin{aligned}P_{静max} &= P'_{杆} + P'_{液} \\ &= 11872 + 12685 \\ &= 24557N = 24.6KN\end{aligned}$$

4. 计算 Δ_1 、 Δ_2 和 Δ

Δ_1 —在 $P'_{液}$ 的作用下，杆柱的弹性伸长或缩短的长度；

Δ_2 —在 $P'_{液}$ 的作用下，管柱的弹性伸长或缩短的长度；

Δ —冲程损失

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$$

$$\begin{aligned}\Delta_1 &= L \times P'_{液} / f_{杆} \times E \\ &= 580 \times 12685 / 2.85 \times 10^{-4} \times 2.1 \times 10^5 \times 10^6 \\ &= 133mm\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_2 &= L \times P'_{液} / f_{管} \times E \\ &= 580 \times 12685 / 11.9 \times 10^{-4} \times 2.1 \times 10^5 \times 10^6\end{aligned}$$

$$= 29 \text{ mm}$$

$$s = s_1 + s_2$$

$$= 133 + 29$$

$$= 162 \text{ mm}$$

四、建立坐标、列表、描点、连线

1. 建立坐标

由力比、减程比建立坐标，如图；

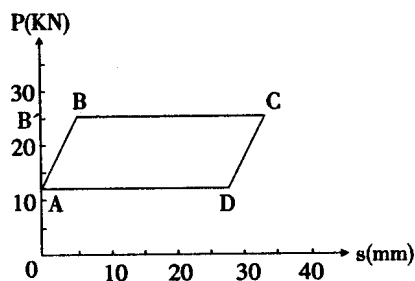


图 2-1

2. 列表

		上 行			下 行		
光杆位移	实际长度 mm	0	162	800... 1450	162	800	1450
	横轴长度 mm	0	3.6	15.6... 32.2	316	15.6	32.2
光杆受力	实际静截面 KN	11.9	24.6	24.6... 24.6	11.9	11.9	11.9
	纵坐标上 长度 mm	11.9	24.6	24.6... 24.6	11.9	11.9	11.9

3. 描点

如图描出六个典型的点。

4. 连线

将六点依次地连接起来，产生了平行四边形 ABCD，因此理论示功图是一个平行四边形 ABCD。

五、理论示功图平行四边形 ABCD 点线面的意义

1. 点

A—悬点光杆的下死点；

B—活塞刚刚开始向上运动的起点；

C—悬点、光杆的上死点，也是活塞向上运动的终点；

D—活塞刚刚开始向下运动的起点。

2. 线

AB—增载线：悬点、光杆所受的静载以下死点开始上行时，越来越大由 P' 杆直至增到最大静载 $(P'_{杆} + P'_{液})$ ，杆柱、管柱弹性变形也逐渐增大，直至二者之和达到冲程损失入；

ABC—悬点、光杆的上行线；

BC—横向的长度为活塞上行的距离即活塞上冲程，而纵向的高度（即到横轴距离）为悬点光杆的最大静载荷 $(P'_{杆} + P'_{液})$ ；

CD—减载线：液柱载荷 $P'_{液}$ 由杆柱转移到管柱上，悬点光杆静载逐渐减小，由最大静载直至达到最小静载 $P'_{杆}$ ；

CDA—悬点、光杆的下行线；

DA—横向活塞下行的距离即活塞下冲程，而纵向的高度（到横轴的距离）为悬点光杆的最小静载荷 $P'_{杆}$ ；

AC—A 点与 C 点的水平距离为悬点、光杆的冲程；

BB'—冲程损失入；

即 $W = S_{\text{光}} - S_{\text{活}}$ 。

3. 平行四边形 ABCD 所围面积

理论示功图平行四边形 ABCD 所围面积的大小，表明了理想条件下抽油机一个冲程所做有用功的大小值，因此从物理角度命名为游梁式抽油机—深井泵装置的理论示功图，简称理论示功图。

六、考虑惯性载荷的理论示功图

根据抽油机悬点光杆的运动状态和惯性力，考虑惯性载荷的理论示功图将是一个左侧较高右侧较低的倾斜的平行四边形。如图 (2-2)

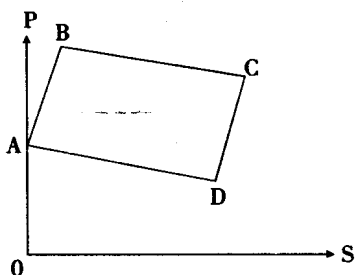


图 2-2