

[油气生产实例分析系列丛书]

采油生产常见故障

诊断与处理

车太杰◎主编

石油工业出版社

油气生产实例分析系列丛书

采油生产常见故障诊断与处理

车太杰 主编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书从一个普通采油工的角度出发,简单直观地介绍了在采油生产过程中,注采井站及所用设备常见的故障诊断与处理方法。具体包括抽油机井生产故障诊断与处理、电动潜油泵井生产故障诊断与处理、螺杆泵井生产故障诊断与处理、注水井生产故障诊断与处理、采油生产其他故障诊断与处理等五个方面。

本书适合于采油工作人员、技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

采油生产常见故障诊断与处理 / 车太杰主编.

北京:石油工业出版社,2010.1

油气生产实例分析系列丛书

ISBN 978-7-5021-7442-2

I. 采…

II. 车…

III. 石油开采-机械设备-故障修复

IV. TE93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 183706 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

编辑部: (010) 64523582 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷

787×960 毫米 开本: 1/16 印张: 16.75

字数: 326 千字

定价: 32.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

出版者的话

2005年以来，我社根据基层企业的实际需要，组织了一大批岗位工人的培训教材，内容涉及技术培训、技能培训、技师培训、技能专家教诀窍、技术问答等等，受到基层员工的广泛欢迎。

2006年，我们听到这样一个案例：有一条油气管线发生破损，油气有些许泄漏。当班员工看到仪表上显示压力下降时，没有正确分析判断，直接重新启动泵，从而导致油品大量泄漏，造成严重的经济损失和环境污染。这个案例给了我们很多启示：一个员工如果没有把所学的知识和技能转化成处理实际工作的能力，那么这个学习过程是没有完成的。此后，我们进行了大量的调研工作，广泛听取了培训机构和基层员工的意见，策划了这套《油气生产实例分析丛书》。

《油气生产实例分析丛书》的定位就是通过理论上提供技术方法，给员工指出分析判断生产常见问题的具体路径；目的就是通过学习，能使员工掌握一些实用的技巧，能够正确判断日常工作中常见的生产问题，并排除故障，保障生产的正常进行；特点是实例多，实用性强。本套丛书既是现场解决生产问题的实用手册，也是岗位员工提高能力的图书，基层企业的技术人员、相关院校的学生也可以从中受益。

为保证本套丛书的写作质量，我们从基层精心组织了一批理论水平高超、现场经验丰富的作者队伍，车太杰就是其中之一。《采油生产常见故障诊断与处理》是本套丛书的第一本。为落实出版思路，他与出版社编辑反复沟通，讨论本书的大纲、写作方式，写出样章并不断修改。经过艰苦的工作，终于完成该书的写作。在此对他表示衷心的感谢。

石油工业出版社作为石油石化行业的专业出版社，肩负着传播石油科技知识、培养石油人才队伍的历史重任。我们在培训教材出版方面所做的一切工作，归根结底，就是要为广大石油员工提供提高自身能力的读物，为集团公司三支人才队伍建设提供物质支持，希望本套丛书的出版，能够达到我们的初衷。

2009 年 12 月

前 言

机械采油是我国主要的采油方式，在采油生产过程中任何一个环节发生事故与故障都会直接影响注采井的正常生产。因此，采油基层员工必须掌握注采井故障分析与诊断方法，通过分析与诊断找出故障的原因，采取相应的措施，以恢复注采井的正常生产，提高注采井的管理水平。

为了进一步提高采油基层员工注采井的管理水平，满足油田采油生产安全的实际需要，特组织编写本书。

本书突出了先进性、实用性和综合性等特点，在进行理论阐述的同时，从采油生产中出现的各类疑难问题、事故和故障中选出了大量的典型案例进行全面地剖析，依据主要特征分析疑难问题、事故和故障的产生过程和原因，通过科学的诊断方法，提出切实可行的处理及预防措施。

本书由车太杰担任主编，梁秀娟和白宏基担任副主编，王海波、孙福友、向庆峰、张晓惠、冯恒柱、王立臣、王月霞、牛云超等同志参加了各章节的编写。

在本书的编写过程中，得到了大庆技师学院和大庆油田有限责任公司第一采油厂、第六采油厂、第九采油厂等单位的大力协助，同时也得到了大庆油田采油工程研究院专家的关注和指导，在此一并表示感谢。

由于编者的经验和水平有限，书中难免会有不当之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2009年8月

目 录

第一章 抽油机井生产故障诊断与处理	1
第一节 基础知识	1
第二节 案例	96
第二章 电动潜油泵井生产故障诊断与处理	125
第一节 基础知识	125
第二节 案例	150
第三章 螺杆泵井生产故障诊断与处理	169
第一节 基础知识	169
第二节 案例	192
第四章 注水井生产故障诊断与处理	200
第一节 基础知识	200
第二节 案例	234
第五章 采油生产其他故障诊断与处理	248
参考文献	261

第一章 抽油机井生产故障

诊断与处理

第一节 基础知识

抽油机井在生产过程中经常发生一些故障,采油工作人员要根据生产动态资料进行生产状况分析,及时发现问题、分析判明原因并采取相应的措施。故障排除后,要及时观察效果,总结经验,以保证抽油机井的正常生产。

一、利用诊断技术诊断抽油机井泵况与故障处理

(一) 抽油机井液面诊断法

1. 静液面

静液面是油井关井后油套管环形空间中的液面恢复到静止时的液面。如图 1-1 所示,从井口到静液面的距离 L_s 称为静液面深度;从油层中部到静液面的距离 H_s 称为静液面高度,与它相对应的井底压力,即是油层压力(静压)。若井口压力为零时,静压 p_e 与静液面的关系为:

$$p_e = \rho_o g H_s = \rho_o g (H - L_s)$$

式中 ρ_o ——原油密度, kg/m^3 ;
 g ——重力加速度, N/kg ;
 H ——油层中部深度, m 。

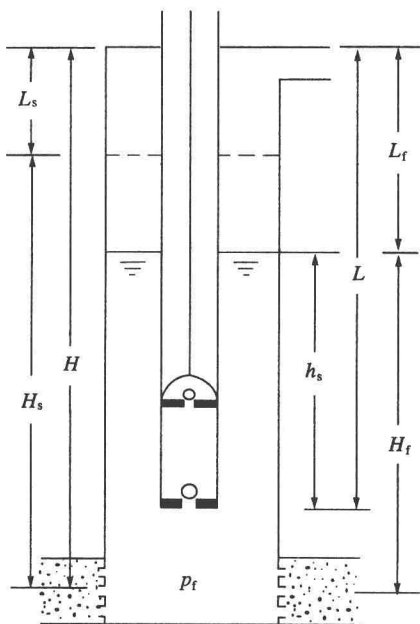


图 1-1 静液面与动液面的位置

2. 动液面

动液面是油井生产期间油套管环形空间的液面。动液面深度 L_f 表示井口到动液面的距离，动液面高度 H_f 表示油层中部到动液面的距离，井底流压 p_f 与动液面的关系为：

$$p_f = \rho_o g H_f = \rho_o g (H - L_f)$$

h_s 称为沉没度，它表示泵的吸入口沉没在动液面以下的深度，其大小应根据气油比的高低、原油进泵所需要的压头的大小来确定。

3. 采油指数

油井的采油指数为：

$$J = \frac{Q}{p_e - p_f} = \frac{Q}{\rho_o g (H_s - H_f)} = \frac{Q}{\rho_o g (L_f - L_s)}$$

令

$$K = J \rho_o g = \frac{Q}{H_s - H_f} = \frac{Q}{L_f - L_s}$$

则油井的流动方程可表达为：

$$Q = K(H_s - H_f) = K(L_f - L_s)$$

式中 Q ——油井产量， t/d ；

K ——称为米采油指数， $\text{t}/(\text{d} \cdot \text{m})$ 。

米采油指数 K 和采油指数 J 一样，也表示单位生产压差下的日产油量，只是这时的生产压差是用液柱高度差或液面深度差表示。

4. 液面声波反射曲线分析

1) 原理

先利用液面测试仪器测量声波从井口传播到液面再返回到井口所用的时间 t ，再求出声波在油套环形空间中传播的速度 v ，则液面深度可表示为：

$$L = v \frac{t}{2}$$

声波的传播速度主要与气体介质的密度有关。不同的油井，油套环形空间内气体的密度不同，所以声波的传播速度也不同。为了方便确定每口井的声速，有的井在动

液面以上的油管接箍处安装回音标, 根据回音标的反射波计算声速; 无回音标的井, 声波经过每一根油管接箍都会产生反射波, 根据油管接箍波计算声速 (一般要求靠近井口 20 根油管等长)。

2) 有回音标井液面声波反射曲线

声波在油套环形空间传播的过程中, 一部分声波从回音标处反射回来, 另一部分声波传到动液面才反射回来。这样, 回声仪便记录了两个反射波的传播时间。可以根据已知的音标深度和传播时间, 求出动液面深度。一般要求每次至少测两条声波曲线 (必须有音标声波反射曲线), 如图 1-2 所示。

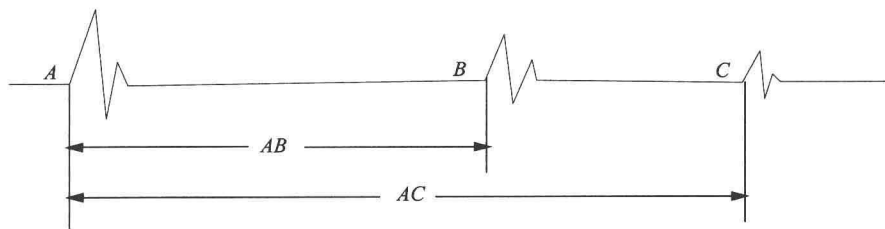


图 1-2 有音标井声波反射曲线

A 点—井口声响发生器发响的记录点; B 点—声波从音标反射到达井口时的记录点; C 点—声波从液面反射到达井口时的记录点; A 波是井口波, B 波是音标波, C 波是液面波。

一般对液面声波曲线的要求如下:

- (1) 波形清楚、连贯, 易分辨;
- (2) 两条曲线上的井口波、音标波 (未下回音标时无) 及液面波应分别对应重合;
- (3) 波峰幅度不小于 10mm;
- (4) 每条曲线上必须标井号、仪器号、油套压和测试日期。

由以上液面声波反射曲线可计算动液面深度 L_f :

$$L_f = \frac{AC}{AB} L_b$$

式中 L_b ——回音标的下入深度, m;

AB ——声波反射曲线上井口波到回音标波的距离, mm;

AC ——声波反射曲线上井口波到液面波的距离, mm。

3) 无回音标井液面声波反射曲线

对于没有安装回音标的井, 或回音标被淹没的井, 也可根据液面声波反射曲线计算, 如图 1-3 所示。A 波是井口波, C 波是液面波, n 是油管接箍的个数 (即油管的根数)。一根油管一个波峰, n 根油管就有 n 个波峰。

由以上液面声波反射曲线可计算动液面深度 L_f :

$$L_f = \frac{S_{\text{液}}}{S_{\text{箍}}} n \bar{L}$$

式中 $S_{\text{液}}$ ——声波反射曲线上井口波到液面波的距离, mm;
 $S_{\text{箍}}$ ——声波反射曲线上井口波到第 n 根油管接箍波的距离, mm;
 n ——油管接箍数;
 $\bar{L}$ ——每根油管的平均长度, m。

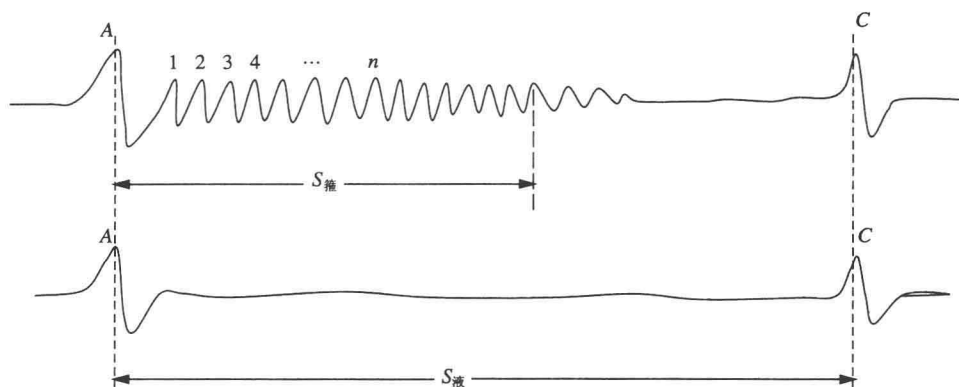


图 1-3 无音标井声波反射曲线

在测动液面时, 如果井口的套压不等于零, 则测得的动液面不能真实地反映井底流压, 而且在不同流压下测得的液面深度也无法反映油井能量的变化。在这种情况下, 要计算折算动液面, 即套压等于零时的动液面。

$$L_{fc} = L_f - \frac{p_c}{\rho_o g} \times 10^6$$

式中 L_{fc} ——折算动液面深度, m;
 L_f ——在套压 p_c 时测得的动液面深度, m;
 p_c ——套压, MPa;
 ρ_o ——井液密度, kg/m^3 ;
 g ——重力加速度, m/s^2 。

在抽油机井的生产中, 一般用动液面的高低来表示油井能量的大小, 所以要求定期测量动液面深度。根据动液面的变化, 判断油井的工作制度与地层能量的匹配情况, 并结合示功图和油井生产资料, 分析抽油泵的工作状况, 以便于及时发现问题, 采取措施。

5. 动液面（沉没度）变化原因及其分析

1) 原因

(1) 油层供液条件的变化。如果油层压力上升，供液能力增加，则动液面上升；如果油层压力下降，供液能力降低，则动液面下降。

(2) 工作参数选择不合理。

(3) 泵况变差。

2) 分析

(1) 动液面上升：

①当抽油泵工作正常，相联通的注水井的注水量增加时，动液面上升。

②当油井采取压裂、酸化等改造措施时，动液面上升。

③当油井工作状况不好或井下管柱漏失时，动液面上升。

④当抽油泵和抽油机工作参数偏小时，动液面上升。

⑤当油井套压由高到低变化时，动液面上升。

(2) 动液面稳定：

当与油井相联通注水井的注水量稳定，油井无压裂、酸化等改造措施，抽油泵和井下管柱正常时，抽油泵和抽油机工作参数合理时，油井套压平稳，动液面趋于稳定。

(3) 动液面下降：

①当相联通注水井的注水量减少，注采不平衡时，动液面下降。

②当邻近油井有提液措施时，导致平面矛盾，动液面下降。

③当油井本身有堵水、调参、换泵、检泵等措施时，动液面下降。

④当油井套压由低到高变化时，动液面下降。

(二) 抽油机井示功图诊断法

分析示功图是了解井下抽油设备工作状况和油井动态的一个重要手段。通过示功图分析，可以知道抽油机驴头悬点载荷变化情况，判断抽油装置各参数的配合是否合理，了解抽油设备性能的好坏和砂、蜡、水、气、稠等井况的变化，把示功图与液面资料结合起来分析，还可以了解油层的供液能力。

在分析示功图时，必须结合在平时油井管理中积累的资料，如油井产量、动液面、砂面、含砂情况以及抽油机运转中电流的变化和井下设备工作期限等。

1. 理论示功图及解释

1) 相关概念

(1) 理论示功图：在理想状况下，只考虑抽油机驴头悬点所承受的静载荷及由于

静载荷引起的杆管弹性变形, 而不考虑其他因素的影响, 所绘制的示功图。

(2) 实测示功图: 在抽油机—抽油泵装置工作时, 由测试仪器绘出的一条封闭曲线叫实测示功图。曲线围成的面积表示抽油泵在一个冲程中所做的功。

(3) 减程比: 光杆冲程在图上的长度与实际冲程长度之比, 用 a 表示, 单位为 mm。

$$a = \frac{S_{\text{图}}}{S_{\text{实}}}$$

(4) 力比: 实际悬点载荷与其在图上的长度之比, 用 b 表示, 单位为 kN/mm。

$$b = \frac{W_{\text{实}}}{W_{\text{图}}}$$

绘制理论示功图的目的在于与实测示功图相比较, 找出载荷变化的差异, 从而判断抽油泵的工作状况及杆、管和油层情况。

2) 绘制理论示功图时的理想条件

- (1) 抽油泵和油管没有漏失, 泵工作正常。
- (2) 油层供液能力充足, 泵能完全充满。
- (3) 不考虑动载荷的影响, 力的传递是瞬间的。
- (4) 不考虑油井受砂、蜡、水、气、稠油及腐蚀性物质的影响。
- (5) 不考虑油井连喷带抽。
- (6) 进入泵内的液体是不可压缩的, 阀是瞬时开闭的。

3) 理论示功图的绘制方法

- (1) 以冲程长度为横坐标, 以悬点载荷为纵坐标, 建立直角坐标系。
- (2) 计算光杆静载荷在纵坐标上的高度。

上行程时悬点所承受的最大静载荷 $W_{\text{max}} = W_r' + W_L'$

下行程时悬点所承受的最小静载荷 $W_{\text{min}} = W_r'$

$$W_r' = W_r \frac{\rho_G - \rho_{\text{ow}}}{\rho_G}; \quad W_L' = A_p L \rho_{\text{ow}} g$$

最大载荷在图上的高度 $OB' = \frac{W_{\text{max}}}{b}$

最小载荷在图上的高度 $OA = \frac{W_{\text{min}}}{b}$

式中 W_{max} ——驴头悬点最大载荷, N;
 W_r' ——抽油杆柱在液体中的重力, N;

W'_L ——柱塞以上相当于柱塞截面积的液体柱重力, N;
 $W_{\min}$ ——驴头悬点最小载荷, N;
 F_s ——抽油杆柱在液体中所受到的浮力, N;
 W_r ——抽油杆柱的重力, N;
 ρ_G ——抽油杆材料的密度, kg/m³; (通常取 $\rho_G=7850\text{kg/m}^3$);
 ρ_{ow} ——混合液柱的密度, kg/m³;
 A_p ——泵的柱塞截面积, m²;
 L ——抽油杆柱总长度 (或下泵深度), m;
 g ——重力加速度, 9.8N/kg。

(3) 计算光杆冲程、冲程损失及柱塞冲程在横坐标上的长度:

光杆冲程在图上的长度 $B'C = a \times S$

冲程损失在图上的长度 $B'B = a \times \lambda$

柱塞冲程在图上的长度 $S_p = S - \lambda$

其中, 单级抽油杆柱与油管柱的变形如下:

$$\lambda = \frac{W'_L L}{E} \left(\frac{1}{A_G} + \frac{1}{A_t} \right) = \frac{A_p \rho_{ow} g L^2}{E} \left(\frac{1}{A_G} + \frac{1}{A_t} \right)$$

多级抽油杆柱与油管柱的变形 (以二级为例) 如下:

$$\lambda = \frac{W'_L}{E} \left(\frac{L_1}{A_{G1}} + \frac{L_2}{A_{G2}} + \frac{L}{A_t} \right)$$

式中 S ——光杆冲程, mm;
 S_p ——柱塞行程, mm;
 λ ——冲程损失, mm;
 E ——钢的弹性模数, $2.1 \times 10^5 \text{MPa}$;
 A_G ——抽油杆柱截面积, m²;
 A_t ——油管金属截面积, m²;
 L ——抽油杆柱总长度 (或下泵深度), m;
 L_1, L_2 ——每级抽油杆柱的长度, m;
 A_{G1}, A_{G2} ——每级抽油杆柱截面积, m²。

(4) 绘制理论示功图并标注。

4) 理论示功图中点、线、面的意义

图 1-4 (a) 表示抽油杆柱完全是刚性的, 从光杆到柱塞的传递运动中没有时间滞后的理论示功图。A 点处为上冲程开始, 游动阀关闭, 抽油杆柱瞬时增载完毕 (从

A 点到 B 点), 固定阀打开, 从 B 点到 C 点载荷保持最大不变, 直到 C 点 (上死点) 为止。C 点处下冲程开始, 游动阀打开, 固定阀关闭, 抽油杆柱瞬时卸载完毕 (从 C 点到 D 点), 从 D 点到 A 点载荷保持最小不变, 直到 A 点 (下死点) 为止。在 A 点处, 又重复循环。

图 1-4 (b) 表示一个弹性系统的理论示功图, 实际上抽油杆柱不是刚性的, 从光杆到柱塞的传递运动中存在滞后现象。

(1) A 点——驴头在下死点位置, 此时游动阀由开转关, 光杆只承受杆在液体中的重力 W_r' 。

(2) B 点——上行程弹性变形完毕, 柱塞开始上行, 固定阀由关转开, 为增载终止点。

(3) C 点——驴头在上死点位置, 此时固定阀由开转关, 光杆只承受杆在液体中的重力和相当于柱塞截面积以上的液柱重力 $W_r' + W_L'$ 。

(4) D 点——下行程弹性变形完毕, 柱塞开始下行, 游动阀由关转开, 为卸载终止点。

(5) AB 线——悬点载荷增加的过程, 叫增载线, 游动阀和固定阀均关闭。

(6) BB' 线——驴头悬点向上移动但柱塞并未移动的距离, 为冲程损失的距离 λ 。

(7) BC 线——从长度上说, 表示柱塞上行程移动的距离 S_p , 为泵的吸入过程, 故叫吸入过程线; 从高度上说, BC 线与横坐标的距离, 表示上行程时驴头悬点承受的载荷, 又叫最大载荷线 (上载荷线)。

(8) CD 线——悬点载荷减少的过程, 叫卸载线, 游动阀和固定阀均关闭。

(9) B'C, D'A 线——驴头悬点向下移动但柱塞并未移动的距离, 为冲程损失 λ 。

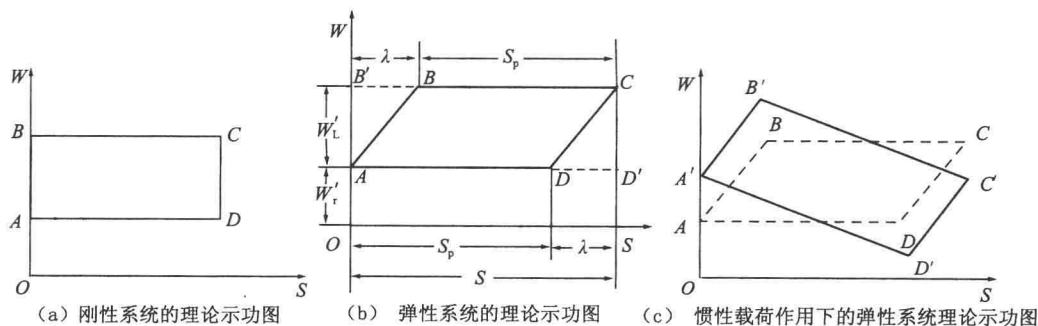


图 1-4 理论示功图

(10) DA 线——从长度上说,表示柱塞下行程移动的距离 S_p ,为泵的排出过程,故叫排出过程线;从高度上说, DA 线与横坐标的距离,表示下行程时驴头悬点承受的载荷,又叫最小载荷线(下载荷线);

(11) ABC 线——驴头悬点由下死点移动到上死点的过程,叫上行程线;

(12) CDA 线——驴头悬点由上死点移动到下死点的过程,叫下行程线。

(13) $B'C$, $D'A$ 线——驴头悬点在上、下冲程中所移动的距离,为光杆冲程 S 。

(14) $ABCD$ 面积——抽油泵在一个冲程中所做的功。

由此可以看出,示功图上的点、线既表明了驴头悬点载荷与位置的关系,也表明了泵的工作状况与位置的关系。

图 1-4 (c) 是把惯性载荷叠加到静载荷上,忽略弹性变形对惯性载荷的影响的理论示功图。作用在悬点的惯性载荷的变化规律与悬点加速度的变化规律是一致的,即在上冲程前半冲程使悬点载荷增加,后半冲程使悬点载荷减小;在下冲程前半冲程使悬点载荷减小,后半冲程使悬点载荷增加。因此,受惯性载荷影响的理论示功图是一个扭歪了的平行四边形 $A'B'C'D'$ 。

惯性载荷会使柱塞冲程增大。因为在下死点时有一个向下的最大惯性力使抽油杆柱伸长,表现在上冲程时吸入过程线延长;在上死点时有一个向上的最大惯性力使抽油杆柱缩短,表现在下冲程时排出过程线伸长。

2. 水驱实测示功图分析

理论示功图是很规则的平行四边形。而实测示功图,经常因同时有各种因素起作用而使示功图形状变得复杂化,有些图形相似而影响因素不同。因此,要准确分析示功图,就必须全面地掌握油井动、静态资料,设备和仪器的状况。既要根据示功图和油井的各种资料作全面分析,又要找出影响示功图的主要因素,有针对性地采取措施。

在进行实测示功图分析时,常采用对比相面法,即将实测示功图与理论示功图相比较,观察实测示功图各部分的缺失情况,用经验判断泵况。

1) 泵工作正常时的示功图

(1) 分析:图 1-5 (a) 所示的示功图图形与理论示功图相近,上下载荷线在理论上下载荷线附近,四角不缺失,有明显的增载和卸载线;上、下载荷线有较大的波动起伏状,说明该井冲次较高或下泵深度较深,振动大。

图 1-5 (b) 所示的示功图图形四角不缺失,有明显的增载和卸载线,上、下载荷线有波动起伏,示功图呈左高右低的扭曲状,抽油泵工作正常。

(2) 措施:加强油井管理,采取长冲程、小冲数的组合法,减小振动和惯性。

2) 气体影响的示功图

(1) 分析:气体影响的示功图如图 1-6 所示。上行程时,气体随油进入泵内,气

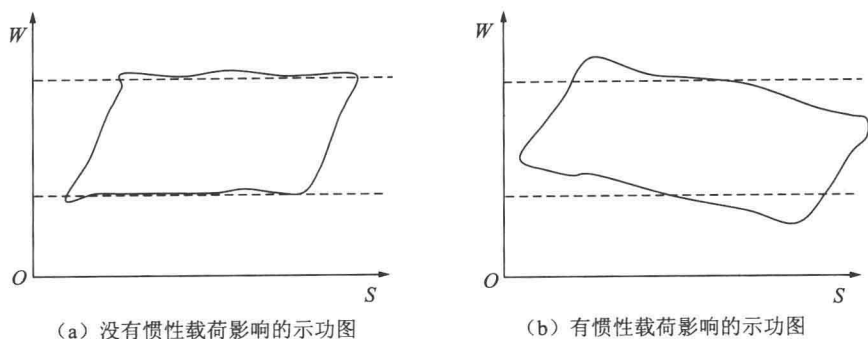


图 1-5 泵工作正常时的示功图

体体积膨胀使泵内压力不能很快降低,造成增载缓慢,固定阀推迟打开。泵内气体越多,增载越缓慢,固定阀打开的越滞后,进入泵内的液体越少,泵效越低,严重时会出现固定阀打不开的现象,即气锁现象。下行程时,泵内气体被压缩,使泵内压力增加缓慢,游动阀推迟打开,卸载缓慢,排出过程线变短,示功图呈“刀把形”,泵内气体越多,游动阀打开越迟缓,卸载越缓慢,严重时游动阀打不开,出现气锁现象。游动阀在何时打开,取决于进入泵筒内的气体数量,示功图上 D' 点决定了泵内进入的液体的体积,利用示功图可估算泵的充满系数。

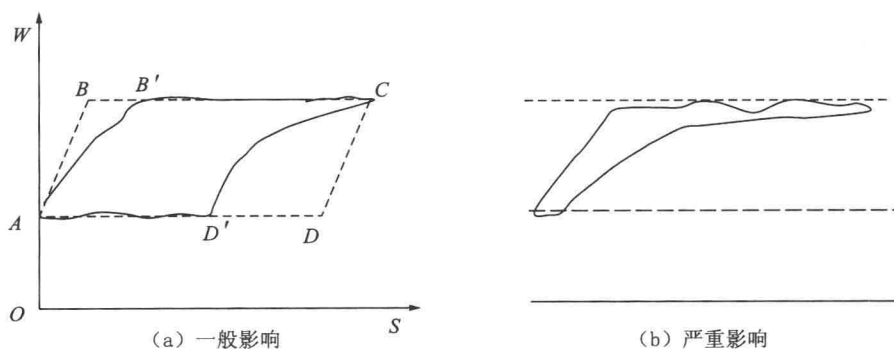


图 1-6 气体影响示功图

(2) 措施:放套管气;安装井下油气分离器(气锚);加深泵挂;气体影响严重时,井下安装高效油气分离器与井口套管放气阀配合。

3) 油层供液不足的示功图

(1) 分析:一般供液不足的示功图如图 1-7 (a) 所示。上行程时,示功图正常,只是泵筒未充满。下行程时,由于泵筒液面低,开始悬点载荷不降低,只有当柱塞碰到液面时才开始卸载,卸载线基本上与理论示功图的卸载线平行,示功图出现“刀把”现象,充满程度越差,刀把越长。当 S 、 W 大,柱塞下行速度快,碰到液面时会