

# 基于功率-位移图的调径变矩抽油机井工况诊断新模型

范喜群<sup>1</sup>, 孟红霞<sup>2</sup>, 周瑞琦<sup>2</sup>, 马 海<sup>1</sup>, 张凯瑞<sup>2</sup>

(1. 中国石化河南油田分公司, 河南 南阳 473132; 2. 中国石油大学(华东)石油工程学院, 山东 青岛 266580)

**摘要:** 基于自主研发调径变矩抽油机井 8 种典型工况的功率-位移图, 利用灰色理论和曲线矩方法提取图形特征值, 建立了典型功率-位移图特征值库; 实测功率-位移图归一化处理后, 提取特征值, 并与特征值库进行灰色关联分析, 根据最大关联度诊断油井工况。经现场 90 口油井实测功率-位移图工况诊断的检验, 灰色理论诊断法诊断符合率为 84.4%, 曲线矩诊断法诊断符合率为 88.9%, 且部分工况类型诊断符合率较低。基于两种方法的诊断结果, 对每种方法的单一工况诊断符合率进行分析, 计算概率矩阵, 建立了基于灰色理论和曲线矩的功率-位移图联合诊断模型, 经 90 口油井工况诊断检验, 总符合率为 92.2%, 且每种工况的诊断符合率均提升至 90% 以上, 能够为调径变矩抽油机井工况智能诊断和生产优化提供技术支持。

**关键词:** 功率-位移图; 联合诊断; 灰色理论; 曲线矩; 调径变矩抽油机井

**中图分类号:** TE933 **文献标志码:** A

## New model for diagnosing working conditions of adjustable-diameter and variable-torque pumping wells based on power-displacement diagram

FAN Xiqun<sup>1</sup>, MENG Hongxia<sup>2</sup>, ZHOU Ruiqi<sup>2</sup>, MA Hai<sup>1</sup>, ZHANG Kairui<sup>2</sup>

(1. Henan Oilfield Company, SINOPEC, Nanyang 473132, China; 2. China University of Petroleum, Qingdao 266580, China)

**Abstract:** Based on the independently developed power-displacement diagrams of adjustable-diameter variable-torque pumping wells in 8 typical working conditions, the characteristic values of the graphs were extracted through grey theory and curve moment method, to establish the corresponding characteristic value library of the typical power-displacement diagram. After the measured power-displacement diagram was normalized, the characteristic value was extracted, and the grey correlation analysis was performed with the characteristic value library to diagnose the oil well working condition according to the maximum correlation degree. According to the diagnostic test of 90 oil wells, the diagnostic coincidence rate of the grey theory diagnosis method was 84.4%, the diagnosis coincidence rate of the curve moment diagnosis method was 88.9%, and the diagnosis coincidence rate of some working condition types was relatively low. Based on the diagnosis results of the two methods, it was analyzed the coincidence rate of the single working condition diagnosis of each method, the probability matrix was calculated, and it was established the power-displacement diagram joint diagnosis model based on grey theory and curve moments. After the tests of 90 oil wells, the total coincidence rate was 92.2%, and the diagnosis coincidence rate of each working condition was improved to more than 90%, which can provide technical support for intelligent diagnosis and production optimization of adjustable-diameter and variable-torque pumping wells.

**Key words:** power-displacement diagram; comprehensive diagnosis model; grey theory; curve moment; adjustable diameter and changeable torque pumping well

功率-位移图是反映电机输入功率随悬点位移变化的封闭曲线, 可用于诊断抽油机井地面和井下设备的工作状况<sup>[1]</sup>。目前调径变矩抽油机井工况主要依据示功图诊断, 由于缺乏典型功率-位移图谱和有效的识别方法, 致使调径变矩抽油机井功率-位移图得不到有效利用<sup>[2]</sup>。目前示功图和功率-位移图(有时简称“电功图”)的图形识别方法主要

收稿日期: 2019-12-02; 改回日期: 2020-01-08。

第一作者简介: 范喜群(1969—), 教授级高级工程师。主要从事采油工程技术和生产技术管理工作。E-mail: fanxiqun@aliyun.com。

基金项目: 中国石化“提高采油系统效率与智能化监控技术”(P15121); 中国石化河南油田分公司石油工程技术研究院“稠油井实时工况诊断及系统效率评价优化方法研究”(31350024-18-ZC0607-0002)。

有专家系统、差分曲线、人工神经网络等方法。由于专家系统法仅能判断单种工况,差分曲线法因曲线做相减运算而造成信息丢失,人工神经网络法所需训练样本数量过大等问题,诊断结果均不够理想。因此,本文优选灰色理论和曲线矩法提取典型功率-位移图特征值,建立特征值库,采用灰色关联分析法进行图形特征识别和油井工况诊断,并基于两种方法各自诊断结果,构建每种方法单一工况诊断符合率的概率矩阵,建立基于灰色理论和曲线矩的

功率-位移图联合诊断模型,提高了每一种油井工况诊断准确率和整体工况诊断符合率。

1 灰色理论和曲线矩的油井工况诊断模型

1.1 典型功率-位移图

调径变矩抽油机井不同工况(正常、泵充不满、气体影响、固定阀漏失、游动阀漏失、上碰泵、下碰泵和活塞脱出工作筒)下的典型功率-位移图如图1所示。

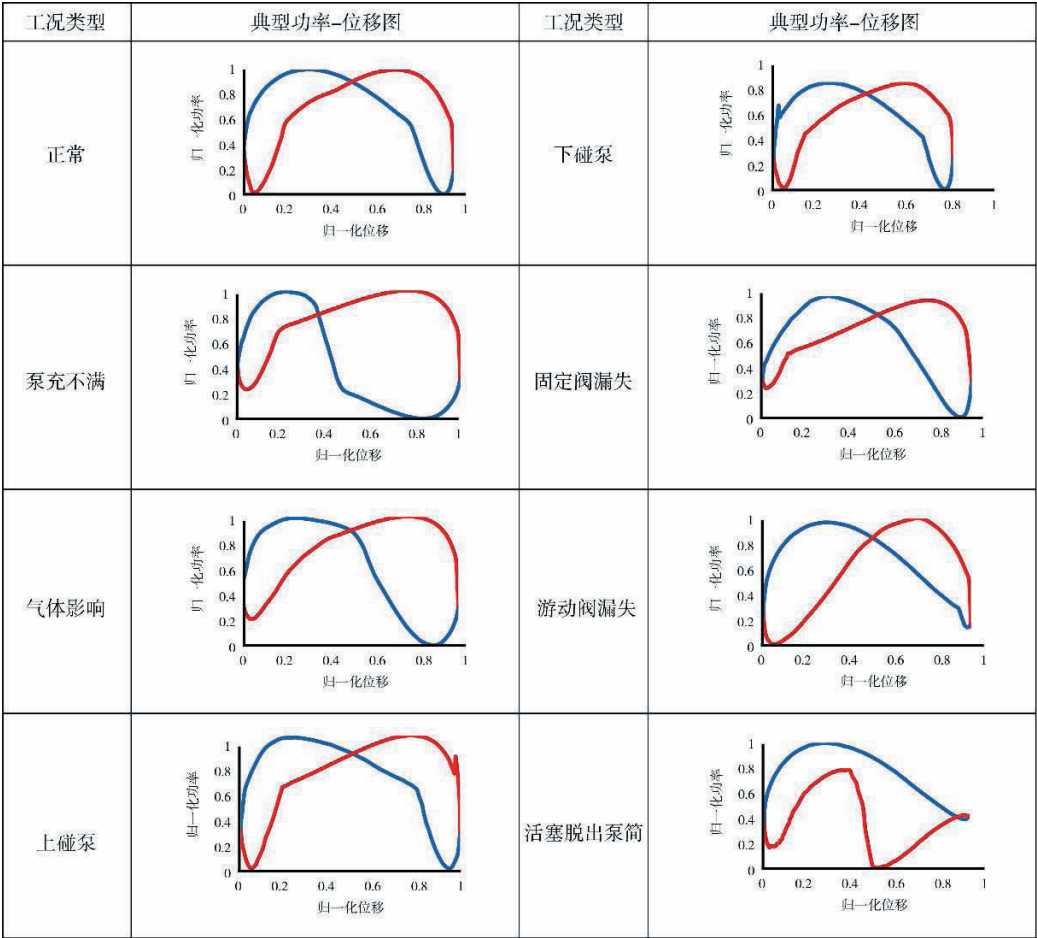


图1 典型功率-位移图  
来自中国石油化工股份有限公司“提高采油系统效率与智能化监控技术”项目报告。  
红色为上冲程曲线;蓝色为下冲程曲线

1.2 灰色理论法提取特征值

将二维的曲线图像转变为灰度矩阵,通过对灰度统计特征的识别,能够更准确的识别图像特征<sup>[3]</sup>。将功率-位移图转化为灰度矩阵的过程分为3步:

- (1)将归一化后的功率-位移图置于100×100的网格中,将全部网格值初始化为0;
- (2)将功率-位移图曲线经过的网格灰度赋值为1;

- (3)按照等高线的原则对其余网格进行赋值:在曲线边界内部,每远离边界曲线一格灰度值增加1,在曲线边界外部,每远离边界曲线一格灰度值减少1。

依据数理统计原理,在得到灰度矩阵后,计算灰度矩阵的6个灰度统计特征(包括灰度均值 $\bar{g}$ 、灰度方差 $\sigma^2$ 、灰度偏度 $S$ 、灰度峰度 $P$ 、灰度能量 $E$ 和灰度熵 $T$ ),作为识别图形特征的特征值。假设功率-位

移图的灰度矩阵为 $G(J, K)$ , 矩阵中元素 $g_{jk}(1 \leq j \leq J, 1 \leq k \leq K)$ 表示灰度矩阵网格上对应的灰度值, 则灰度级的概率及灰度特征值的计算公式如式(1)——(7)所示<sup>[4-5]</sup>。

$$p(r) = b(r)/(JK) \quad (1)$$

$$\bar{g} = \sum_{r=1}^R rp(r) \quad (2)$$

$$\sigma^2 = \sum_{r=1}^R (r - \bar{g})^2 p(r) \quad (3)$$

$$S = \frac{1}{\sigma^3} \sum_{r=1}^R (r - \bar{g})^3 p(r) \quad (4)$$

$$P = \frac{1}{\sigma^4} \sum_{r=1}^R (r - \bar{g})^4 p(r) \quad (5)$$

$$E = \sum_{r=1}^R [p(r)]^2 \quad (6)$$

$$T = - \sum_{r=1}^R [1 - p(r)] \lg[1 - p(r)] \quad (7)$$

式中,  $R$ 为功图的灰度级别,  $b(r)$ 为某一灰度值 $r$ 的元素个数,  $p(r)$ 为灰度级的概率,  $p(r) = b(r)/(JK)$ ,  $J$ 和 $K$ 分别为矩阵的行数和列数。

对8种典型工况下的功率-位移图进行灰度矩阵处理, 并计算6个灰度特征值, 得到典型工况灰度特征值样本库(见表2)。将需要诊断的实际功率-位移图进行归一化和灰度处理后计算特征值, 通过诊断模型与样本库进行对比, 推断油井的实际工作状态。

表2 典型工况灰度矩阵特征值样本库

工况	均值	方差	偏差	峰度	能量	熵
正常	1.831	5.456	6.112	5.536	3.905	0.010 2
泵充不满	1.691	5.511	6.759	6.169	3.937	0.009 9
气体影响	1.860	5.552	7.041	6.545	3.922	0.010 0
固定阀漏失	2.064	5.672	6.852	6.293	3.996	0.009 3
游动阀漏失	1.972	5.541	5.328	4.760	3.931	0.009 9
上碰泵	1.883	5.426	6.724	6.122	3.898	0.010 3
下碰泵	1.977	5.455	5.709	5.133	3.918	0.010 1
活塞脱出	1.527	5.248	5.839	5.076	3.845	0.010 8

### 1.3 曲线矩法提取特征值

曲线矩由于概念清晰, 识别精确率稳定, 能够有效地反映图像的本质特征, 在模式识别和图像分类领域得到了广泛应用<sup>[6-7]</sup>。功率-位移图是一条由离散点 $(x_i, y_i), i=1, 2, \dots, N$ , 组成的曲线, 其 $p+q$ 阶曲线矩 $m_{pq}$ 定义为:

$$m_{pq} = \sum_{i=1}^N x_i^p y_i^q \Delta l_i \quad (p, q=0, 1, 2, \dots, N) \quad (8)$$

式中,  $x_i$ 为离散点横坐标;  $y_i$ 为离散点纵坐标;  $i$ 为曲线边缘上第 $i$ 个离散点;  $N$ 为离散点的总数;  $\Delta l_i$ 为相邻两个离散点之间的直线距离,  $\Delta l_i = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}$ 。

各阶中心矩的计算公式如式(9)——(13)<sup>[8]</sup>。

$$\mu_{11} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^1 (y - \bar{y})^1 \Delta l_i = m_{11} - \bar{x} m_{01} = m_{11} - \bar{y} m_{10} \quad (9)$$

$$\mu_{20} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^2 (y - \bar{y})^0 \Delta l_i = m_{20} - \frac{2m_{10}^2}{m_{00}} + \frac{m_{10}^2}{m_{00}} = m_{20} - \bar{x} m_{10} \quad (10)$$

$$\mu_{02} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^0 (y - \bar{y})^2 \Delta l_i = m_{02} - \frac{2m_{01}^2}{m_{00}} + \frac{m_{01}^2}{m_{00}} = m_{02} - \bar{y} m_{01} \quad (11)$$

$$\mu_{30} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^3 (y - \bar{y})^0 \Delta l_i = m_{30} - 3\bar{x} m_{20} + 2m_{10} \bar{x}^2 \quad (12)$$

$$\mu_{03} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^0 (y - \bar{y})^3 \Delta l_i = m_{03} - 3\bar{y} m_{02} + 2m_{01} \bar{y}^2 \quad (13)$$

$$\text{其中, } \bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}.$$

曲线的各阶矩都是具有物理意义的: 一阶矩 $m_{10}$ 和 $m_{01}$ 用来确定曲线的灰度重心; 二阶中心矩 $\mu_{20}$ 、 $\mu_{11}$ 和 $\mu_{02}$ 用来衡量曲线的大小和方向; 三阶中心矩 $\mu_{30}$ 和 $\mu_{03}$ 表示图形的不对称性。 $\mu_{03}$ 表示曲线关于垂直轴线不对称性度量,  $\mu_{30}$ 表示曲线关于水平轴线的不对称度量<sup>[9]</sup>。

将功率-位移图分为上冲程曲线和下冲程曲线两部分, 分别进行特征值提取, 得到两组特征向量:

反映上冲程曲线的7个曲线矩特征值 $\varphi_A = [\varphi_{A1}, \varphi_{A2}, \varphi_{A3}, \varphi_{A4}, \varphi_{A5}, \varphi_{A6}, \varphi_{A7}]$ ;

反映下冲程曲线的7个曲线矩特征值 $\varphi_B=[\varphi_{B1}, \varphi_{B2}, \varphi_{B3}, \varphi_{B4}, \varphi_{B5}, \varphi_{B6}, \varphi_{B7}]$ 。

将这两组特征向量组成一个向量即 $\varphi=[\varphi_A, \varphi_B]$ ,作为功率-位移图的特征向量。通过计算14个特征向量，能更准确地描述功率-位移图的细节

特征。

对8种典型功率-位移图的上、下冲程曲线提取曲线矩特征值,得到两组代表各个工况上、下冲程曲线的曲线矩特征值样本库,典型工况下的功率-位移图曲线矩特征 $\varphi_A$ 和 $\varphi_B$ 分别见表3和表4。

表 3 上冲程曲线矩特征值样本库

工况	$m_{01}$	$m_{10}$	$\mu_{20}$	$\mu_{02}$	$\mu_{11}$	$\mu_{30}$	$\mu_{03}$
正常	0.220	0.056	1.422	1.422	2.264	6.234	4.736
泵充不满	0.197	0.158	1.628	1.121	2.931	5.482	5.176
气体影响	0.183	0.041	1.551	1.533	2.302	5.534	4.894
固定阀漏失	0.202	0.014	1.592	1.539	3.124	4.221	6.175
游动阀漏失	0.181	0.144	1.384	1.490	1.880	5.923	4.275
上碰泵	0.163	0.012	1.461	1.506	2.260	5.595	4.322
下碰泵	0.234	0.060	1.432	1.379	2.354	8.286	4.645
活塞脱出	0.168	0.029	1.833	3.073	3.367	5.165	4.989

表 4 下冲程曲线矩特征值样本库

工况	$m_{01}$	$m_{10}$	$\mu_{20}$	$\mu_{02}$	$\mu_{11}$	$\mu_{30}$	$\mu_{03}$
正常	0.236	0.186	1.280	1.387	1.810	3.762	4.269
泵充不满	0.201	0.253	1.550	1.524	1.751	3.696	4.671
气体影响	0.225	0.207	1.351	1.396	1.741	3.649	4.422
固定阀漏失	0.201	0.166	1.412	1.425	1.882	4.252	4.618
游动阀漏失	0.215	0.105	1.511	1.072	2.402	6.236	5.036
上碰泵	0.254	0.201	1.214	1.357	1.852	3.738	4.430
下碰泵	0.189	0.179	1.426	1.518	1.758	3.516	3.886
活塞脱出	0.135	0.366	1.918	0.943	3.069	7.223	5.781

1.4 灰色关联诊断模型

灰色关联理论主要通过建立关联矩阵,分析影响因素与研究对象之间的关联度<sup>[10]</sup>。运用灰色关联对油井工况进行诊断时,需要将典型工况下的功率-位移图特征值作为比较数列,将待诊断功率-位移图特征值作为参考数列,比较数列和参考数列进行量化处理,计算两者之间的关联系数,得到实际工况特征值与各个典型工况特征值之间的关联度,根据最大关联度确定油井实际工况<sup>[11-12]</sup>。

灰色关联分析法的基本步骤如下:

(1)确定比较数列。油井共有8种典型工况,每种工况包含7个特征值,则比较数列可由式(14)矩阵表示:

$$(X'_1, X'_2, \dots, X'_8) = \begin{pmatrix} x'_1(1) & x'_2(1) & \cdots & x'_8(1) \\ x'_1(2) & x'_2(2) & \cdots & x'_8(2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x'_1(7) & x'_2(7) & \cdots & x'_8(7) \end{pmatrix} \quad (14)$$

(2)确定参考数列。将实际功率-位移图的特征值作为参考数列,则参考数列可记为:

$$X'_0=(x'_0(1), x'_0(2), \cdots, x'_0(7)) \quad (15)$$

(3)数据归一化。由于原始数据通常在量纲和数量级上存在差异,为了便于比较,需要在计算关联度之前对原始数据进行归一化处理。采用初值法对数据进行处理,如式(16)所示,其中 $i=0,1,2\cdots$

8;k=0,1,2...7。

$$x_i(k)=\frac{x_i'(k)}{x_i'(1)} \tag{16}$$

归一化后的矩阵如式(17)所示。

$$(X_1,X_2\cdots,X_8)=\begin{pmatrix} x_1(1) & x_2(1) & \cdots x_8(1) \\ x_1(2) & x_2(2) & \cdots x_8(2) \\ \vdots & \vdots & \vdots \vdots \\ x_1(7) & x_2(7) & \cdots x_8(7) \end{pmatrix} \tag{17}$$

(4)逐个计算每个比较序列与参考序列对应元素的绝对差值  $|x_0(k)-x_i(k)|$  ,最小值 $\min_{i=1}^8 \min_{k=1}^7 |x_0(k)-x_i(k)|$  和最大值 $\max_{i=1}^8 \max_{k=1}^7 |x_0(k)-x_i(k)|$  。

(5)计算关联系数。分别计算每个比较序列与参考序列对应元素的关联系数,式(18)中 $\rho$ 为分辨系数,取值范围为(0,1)。 $\rho$ 越小,关联系数间的差异越大,区分能力越强,通常取值为0.5。

$$\zeta_i(k)=\frac{\min_i \min_k |x_0(k)-x_i(k)| + \rho \min_i \min_k |x_0(k)-x_i(k)|}{|x_0(k)-x_i(k)| + \rho \min_i \min_k |x_0(k)-x_i(k)|} \tag{18}$$

(6)计算关联度。对比较序列分别计算其各个指标与参考序列对应元素的关联系数均值,作为该比较序列与参考序列之间的关联度。

$$r_i=\frac{1}{7} \sum_{k=1}^7 \zeta_i(k) \tag{19}$$

(7)对各组比较序列的关联度进行排序,根据最大关联度确定最终诊断结果。

2 基于灰色理论与曲线矩的油井工况联合诊断模型

假设待测油井的总体样本数 $n$ ,根据 $n$ 口油井的诊断结果,以 $n_i(i=1,2,3\cdots 8)$ 分别表示诊断结果为正常、泵充不满、气体影响、固定阀漏失、游动阀漏失、上碰泵、下碰泵和活塞脱出工作筒工况的样本个数;以 $m_j(j=1,2,3\cdots 8)$ 分别表示在诊断结果相同

的样本中实际工况为正常、泵充不满、气体影响、固定阀漏失、游动阀漏失、上碰泵、下碰泵和活塞脱出工作筒的样本个数。则通过某一诊断方法得到某种诊断结果时,在该诊断结果下油井的实际工况为某一种工况的概率为 $A_{ij}=m_j/n_i$ 。

假设灰色理论诊断模型和曲线矩诊断模型的实际工况概率矩阵分别为 $A_{ij}$ 、 $B_{ij}$ ,灰色理论诊断模型的诊断结果为泵充不满,曲线矩诊断模型的诊断结果为气体影响,则通过联合工况诊断得到实际工况的概率应为 $(A_{2j}+B_{3j})/2$ ,然后根据最大概率确定诊断结果。

通过灰色理论诊断模型和曲线矩诊断模型对H油田90口井的功率-位移图进行诊断,根据各自的诊断结果,计算两种方法对应的概率矩阵,见表5和表6。

表 5 灰色理论诊断法实际工况概率表

	正常	泵充不满	气体影响	固定阀漏失	游动阀漏失	上碰泵	下碰泵	活塞脱出
$A_1$	0.76	0	0	0.10	0	0.10	0.04	0
$A_2$	0	1	0	0	0	0	0	0
$A_3$	0	0.15	0.70	0	0.15	0	0	0
$A_4$	0.17	0	0	0.83	0	0	0	0
$A_5$	0	0	0.09	0	0.73	0.09	0.09	0
$A_6$	0	0	0	0	0	1	0	0
$A_7$	0	0	0	0	0	0	1	0
$A_8$	0	0	0	0	0	0	0	1



表 6 曲线矩特征诊断法实际工况概率表

	正常	泵充不满	气体影响	固定阀漏失	游动阀漏失	上碰泵	下碰泵	活塞脱出
$B_1$	0.8	0	0	0.05	0	0.1	0.05	0
$B_2$	0	1	0	0	0	0	0	0
$B_3$	0	0.09	0.82	0	0.09	0	0	0
$B_4$	0.08	0	0	0.92	0	0	0	0
$B_5$	0.08	0	0.08	0	0.76	0	0.08	0
$B_6$	0	0	0	0	0	1	0	0
$B_7$	0	0	0	0	0	0	1	0
$B_8$	0	0	0	0	0	0	0	1

3 实例计算与分析

3.1 基于灰色理论特征值的诊断分析

对X08井的实测功率-位移图(见图2)进行灰度处理并得到对应的灰度矩阵,根据灰度矩阵计算其6个灰度统计特征,分别为(1.70,5.41,6.24,5.71,3.89,0.01)。将其作为参考序列,与8种典型工况的灰度特征值组成的比较序列进行灰色关联分析,得到的关联度分别为(0.83,0.90,0.88,0.78,0.71,0.87,0.72,0.88),根据最大关联度0.90,确定该井的工况诊断结果为泵充不满。

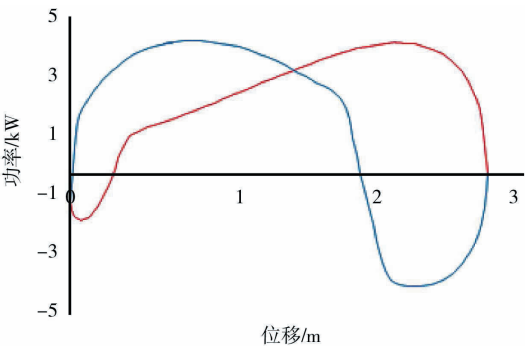


图2 X08井实测功率-位移图

对H油田90口井的实测功率-位移图进行工况诊断,诊断结果见表7。

表7 基于灰度理论特征值的灰色关联诊断结果

工况类型	油井数	诊断符合率
正常	18	88.9%
泵充不满	12	83.3%
气体影响	10	90.0%
固定阀漏失	12	83.3%
游动阀漏失	10	80.0%
上碰泵	10	70.0%
下碰泵	10	80.0%
活塞脱出	8	100.0%

90口井的总体诊断符合率为84.4%,其中诊断符合率在85%以上的工况为正常、气体影响和活塞脱出工作筒,说明灰色理论诊断法对这3种工况的诊断较为适用。

3.2 基于曲线矩特征值的诊断分析

对X08井实测功率-位移图(如图1所示)的上冲程和下冲程曲线分别提取7个不变曲线矩特征值,组成两组特征值向量,作为灰色关联分析的参考序列,即 $\varphi_A=[0.20,0.08,1.58,1.24,2.71,11.35,5.11]$ 和 $\varphi_B=[0.25,0.26,1.43,1.41,1.76,3.42,4.26]$ 。将两组参考序列分别与8种典型工况的上冲程和下冲程曲线矩特征值组成的比较序列进行灰色关联分析,对两组关联度对应元素间取平均值,得到平均关联度为(0.82,0.94,0.90,0.88,0.87,0.91,0.85,0.76)。根据最大关联度0.94,确定该井的工况诊断结果为泵充不满。

对H油田90口井的实测功率-位移图进行工况诊断,诊断结果见表8。

表8 基于曲线矩特征的灰色关联诊断结果

工况类型	油井数	诊断符合率
正常	18	88.9%
泵充不满	12	91.7%
气体影响	10	90.0%
固定阀漏失	12	91.7%
游动阀漏失	10	90.0%
上碰泵	10	80.0%
下碰泵	10	80.0%
活塞脱出	8	100.0%

90口井的总体诊断符合率为88.9%,其中诊断符合率在85%以上的工况为正常、泵充不满、气体影响、固定阀漏失、游动阀漏失和活塞脱出工作筒,说

明曲线矩诊断法对这6种工况的诊断较为适用。

3.3 联合诊断分析

以X40井为例,灰色理论诊断法得到的诊断结果为气体影响,实际工况的概率对应为 $A_3$ ,曲线矩诊断法得到的诊断结果为泵充不满,实际工况的概率对应为 $B_2$ ,则联合诊断的结果应为  $(A_3+B_2)/2=(0,0.58,0.35,0,0.07,0,0,0,0)$ ,根据最大概率值,确定联合诊断的结果为泵充不满,与实际工况相符。

对H油田90口井的实测功率-位移图通过联合工况诊断模型进行诊断,诊断结果见表9。

表9 联合诊断结果表

工况类型	油井数	诊断符合率
正常	18	94.4%
泵充不满	12	91.7%
气体影响	10	90.0%
固定阀漏失	12	91.7%
游动阀漏失	10	90.0%
上碰泵	10	90.0%
下碰泵	10	90.0%
活塞脱出	8	100.0%

90口井的总体诊断符合率为92.2%,且每一工况的诊断符合率均提升至90%以上。

7口误诊井的情况分析:X11井的实际工况为泵充不满,由于泵充不满程度较小,被误诊为气体影响;X18井的实际工况为气体影响,由于进入泵筒内的气量小,曲线特征与游动阀漏失工况更加相似;X22井的实际工况为游动阀漏失,由于漏失程度较大,被误诊为气体影响;X27、X48井的实际工况分别为上碰泵和下碰泵,由于在上下冲程末端曲线没有明显的凸起,被误诊为正常工况;X63井的实际工况为正常,由于下冲程曲线没有明显拐点,因此被误诊为固定阀漏失;X67井的实际工况为固定阀漏失,由于漏失程度较小,被误诊为正常工况。根据分析结果可以看出,联合诊断新方法能够提高每种工况的诊断符合率。

4 结论

(1)建立了灰色理论诊断模型和曲线矩诊断模型,对H油田90口井的实测功率-位移图进行工况诊断,灰色理论诊断法的总体诊断符合率为84.4%,曲线矩诊断法的总体诊断符合率为88.9%;根据单一工况诊断准确性分析认为,灰色理论诊断法对正常、气体影响和活塞脱出工作筒3种工况的诊断较

为适用,曲线矩诊断法对正常、泵充不满、气体影响、固定阀漏失、游动阀漏失和活塞脱出工作筒6种工况的诊断较为适用。

(2)基于两种方法的诊断结果,对每种方法的单一工况诊断符合率进行分析,计算概率矩阵,建立了基于灰色理论和曲线矩的油井功率-位移图联合诊断模型,经90口油井的诊断检验,总符合率为92.2%,且每种工况的诊断符合率均提升至90%以上,提高了油井每一种工况诊断准确率和整体诊断符合率。

参考文献:

[1] 陈德春,肖良飞,张瑞超,等.基于电功图的抽油机井工况诊断模型[J].中国石油大学学报(自然科学版),2017,41(2):108-115.

[2] 陈德春,吕飞,姚亚,等.基于电功图的皮带式抽油机井工况诊断新模型[J].大庆石油地质与开发,2017,36(5):119-123.

[3] 吴伟,陈国定,何焱.基于人工神经网络和灰度矩阵的泵功图诊断[J].西安石油大学学报(自然科学版),2007,22(3):119-121.

[4] WANG X, GUAN C, GAO R. The improved grey correlation fault diagnosis for oil pumping well[C]//Proceedings of 2013 2nd International Conference on Measurement, Information and Control, Harbin, China: IEEE, 2013: 1184-1187.

[5] 龔莹.基于灰色理论的抽油井泵功图诊断技术研究[J].微电子学与计算机,2005,22(3):77-80.

[6] HU M K. Visual pattern recognition by moment invariants[J]. IRE Transactions on Information Theory, 1962, 8(2): 179-187.

[7] 仇治学.基于示功图分析的有杆泵抽油井故障诊断方法研究[D].沈阳:东北大学,2011.

[8] 李琨.基于示功图的游梁式抽油机井下故障诊断方法研究[D].沈阳:东北大学,2013.

[9] 岳继红,左维军,李洪伟.抽油机井示功图矩特征识别方法[J].油气田地面工程,1999,18(3):15-16.

[10] 许广繁,杨善林.灰色理论在有杆抽油井故障诊断中的应用[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2013,36(10):1265-1268.

[11] 袁震.抽油井在线自动诊断技术的研究与实现[D].青岛:中国石油大学,2011.

[12] 李训铭,周志权.基于BP神经网络和灰色理论的示功图故障诊断[J].电子设计工程,2012,20(17):23-25,31.

(编辑 韩 枫)