

基于模拟退火算法优化谱聚类的有杆泵抽油井故障诊断

张文喜(盘锦辽河油田辽南集团有限公司, 辽宁 盘锦 124000)

摘要:示功图是油田生产中分析井下生产工况的主要方法。随着计算机性能的不断提高,基于计算机的示功图分析方法越来越受到重视。传统的有监督学习方式受限于依赖主观经验进行训练样本分类。对此,本文采用无监督学习进行有杆泵抽油井的故障诊断。将示功图进行8方向链码的重画,提取其图形特征向量。然后由模拟退火算法优化谱聚类的方法进行故障的分类。将本文所提出方法用于一口抽油井的故障诊断中,验证了其有效性。

关键词:模拟退火算法;优化谱聚类;有杆泵抽油井

有杆泵抽油井是油田生产中主要的人工举升方式,一般通过示功图分析来判断井下的工作状况。传统方法是通过人工分析来判断井下工作状况,首先由技术人员现场采集抽油井的示功图,然后上报到技术管理部门,经过分析后得到结论。这种人工诊断方式依赖主观经验,工作效率较低,不利于实现油田生产的实时监测。基于计算机的智能诊断方法是目前有杆泵抽油井井下工况诊断的研究热点^[1],本文采用8方向链码对示功图进行重画,提取能够表达图形特征的7个特征向量;然后采用谱聚类方法进行故障的自动分类,对其中的尺度参数和分类数目采用模拟退火算法进行优化选取。

1 示功图特征提取

链码是用曲线起始点的坐标和边界点方向代码来描述曲线边界的方法,常用的链码主要有4方向、8方向和16方向,如图1所示。

本文采用8方向链码重画示功图,即:0°、45°、90°、135°、180°、225°、270°和315°。

2 基于模拟退火算法优化谱聚类的工况分类

(1) 模拟退火算法(SA)

步骤1:初始化阶段。给出初始温度 T_0 ,初始最优解 S ,计算目标函数值 $f(S)$,迭代次数为 R ;

步骤2:根据当前最优解产生一个新解 S' ,计算其目标函数值 $f(S')$;

步骤3:计算两者的增量: $\Delta f = f(S') - f(S)$;

步骤4:如果 $\Delta f < 0$,则 S' 为当前解,否则以概率 $p = \exp(-\Delta f / kT)$ 接受新解,当 $c = \text{random}[0,1] < p$,则接受 S' 作为当前解,否则采用前解;

步骤5:重复执行步骤2~4, R 次;

步骤6:满足循环终止条件,输出最优解,否则返回步骤2重新执行。

(2) 模拟退火算法优化谱聚类算法(SA-SC)

Step 1:输入相似性矩阵 $S \in R^{n \times n}$,聚类类别数 k ;

Step 2:建立样本的相似性连接图,令 W 为其权值连接

矩阵;

Step 3:计算规范化度矩阵 D 和规范化拉普拉斯矩阵 L_{rw} ;

Step 4:计算 $L_{rw}u = \lambda Du$ 的前 k 个最小的特征值对应的特征向量 u_1, u_2, \dots, u_k ;

Step 5:令 $U \in R^{n \times k}$ 为特征向量 u_1, u_2, \dots, u_k 列排列所组成的矩阵;

Step 6:对于 $i=1, 2, \dots, n$,令 $y \in R^k$ 对应于 U 的第 i 行向量;

Step 7:利用SA算法将 R^k 空间中的样本数据 $(y_i)_{i=1, \dots, n}$ 聚类为 k 类, C_1, C_2, \dots, C_k ;

Step 8:输出聚类结果 A_1, A_2, \dots, A_k ,为 $A_i \in \{j|y_j \in C_i\}$ 。

3 实例验证

采集一口抽油井的126幅示功图进行验证,包含7种故障类型,分别为:“正常”、“油井出砂”、“泵下碰”、“泵上碰”、“抽油杆断落”、“固定阀漏失”、“游动阀漏失”。进行如下仿真实验,7个工况类型中分别取出2个样本作为待诊断样本,将112个已知故障类型的数据和14个未知故障类型的数据进行SA-SC聚类。将本文所采用方法与文献[3]的方法进行对比(重复运行30次),结果如表1所示。

表1 两种方法的聚类结果对比(mean±std)

方法	诊断准确率/%
文献[3]方法	72.11±12.78
本文采用方法	85.07±4.37

由表1可以看到,本文所提出方法具有较好的诊断准确度。

4 结语

油田生产中,依赖人工分析示功图实现井下工况诊断的方法存在局限性。对此,本文采用基于计算机诊断的方法,首先采用8方向链码重画示功图,提取能够表达示功图图形形状的7个特征参数作为特征向量,然后采用模拟退火算法优化谱聚类的方法进行分类,具有较高的诊断准确率。

参考文献:

- [1] 王凯. 基于产生式规则系统的抽油泵故障诊断[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(1): 116-120.
- [2] 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]. 东北大学, 2013.
- [3] Li K, Gao X W, Zhou H B, et al. Fault diagnosis for down-hole conditions in beam pumping units based on an improved fuzzy Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique[C]//International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. IEEE, 2014:279-284.

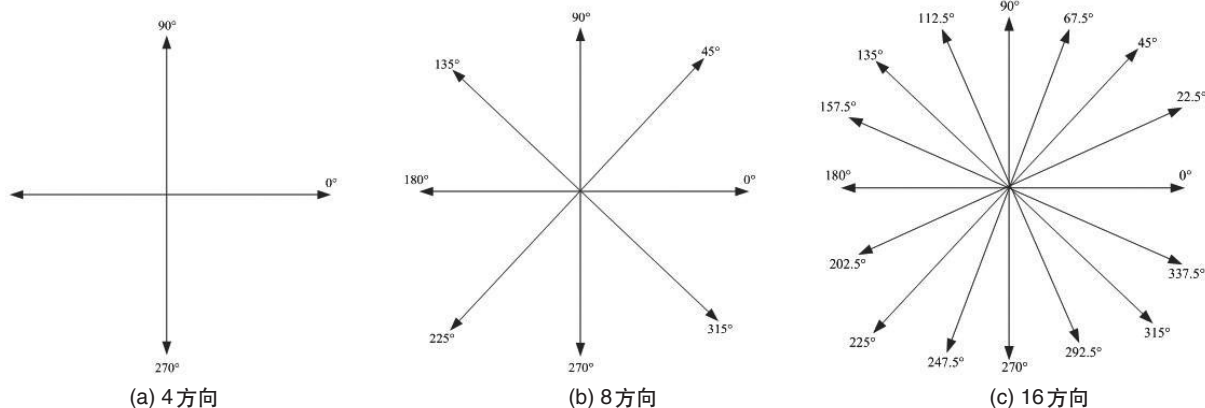


图1 不同类型链码