

基于改进马氏聚类方法的油田分类研究

尚福华¹, 姜 萌¹, 马 楠², 解红涛¹

(1. 东北石油大学 计算机与信息技术学院, 黑龙江 大庆 163318;
2. 中国石油天然气股份有限公司规划总院, 北京 100083)

摘 要:针对大庆低渗透油田开发效果变差、开发储量品位降低、优选区块技术难度增大,导致原有的评价方法、优选技术、开采方式难以满足低渗透油田发展需要的问题,提出了应用聚类分析的方法对低渗透油田储层进行分类。首先简述聚类分析以及马氏距离的基本原理,并根据油田不同储层参数对储层采出贡献程度不同的特点,以及原有马氏距离在估计协方差矩阵方面难度大导致计算效率低的问题,提出了马氏距离聚类过程中估计协方差矩阵的迭代法。该方法充分考虑到了变量权重和样本类别的影响,对协方差矩阵的估计进行改进,能够在一定程度上减少权值确定上的主观因素并提高计算效率。以油田开发实际数据为例进行实验分类,结果表明该方法是有可行性的。

关键词:聚类分析;马氏距离;油田分类;权重

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)08-0175-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.08.037

Research on Oil Classification Based on Improved Mahalanobis Clustering Method

SHANG Fu-hua¹, JIANG Meng¹, MA Nan², XIE Hong-tao¹

(1. Institute of Computer and Information Technology, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China;
2. PetroChina Petroleum Planning & Engineering Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: Aiming at the problem that original evaluation method, optimal technology and exploring way can't meet the development need in Daqing oilfield with low permeability, which caused by worse development effect, lower development grade, and the technology of prefer block is more hard, propose that applying the clustering analysis to classify the oil reservoir with low permeability. First, describe the basic principle of cluster analysis and Mahalanobis distance briefly, according to the characteristics that the oil of different reservoir parameters have different degree of contribution on reservoir recovery and the problem of the original Mahalanobis distance has low calculation efficiency in evaluating covariance matrix, present an iteration method to estimate the covariance matrix of Mahalanobis distance during the cluster analysis. The weights of variables and categories of samples are taken into account, estimation of the covariance matrix is improved, the method can reduce the subjective factors on determining weights and improve the computational efficiency in a certain extent. With actual oilfield development data as an example for classification, the experimental results demonstrate the effectiveness of the method.

Key words: cluster analysis; Mahalanobis distance; oil classification; weight

0 引言

随着大庆油田开发的不断深入,许多生产过程中的矛盾显现出来,原始的方法技术很难满足低渗透油田持续发展的需要,因此从油田储层结构特征着手对油藏分类迫切需要解决。

现阶段有许多油藏分类方法,如依据开发特征分

类由阎豫提出^[1],依据油藏开发特征与类型对国内油藏划分成七类由林志芳提出,依据油藏开发地质特征将国内油藏划分成二十亚类由裘亦楠提出,唐曾熊依据上述内容提出了重点考虑储层渗流特征、储层流体特征、油藏几何形态并结合开发特征的表述分类的方法^[2]。但是针对外围砂岩油藏的单一性而言,上述以

收稿日期:2014-10-16

修回日期:2015-01-22

网络出版时间:2015-07-21

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61170132);国家重大专项(2011ZX05020-007);黑龙江省教育科学技术研究资助项目(12521055)

作者简介:尚福华(1962-),男,教师,博士后,硕士,研究方向为人工智能、机器学习、数据挖掘等;姜 萌(1989-),女,硕士研究生,研究方向为人工智能及机器学习。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150721.1453.101.html>

国内的整体油藏作为研究对象进行的分类比较粗糙,针对性不突出^[3]。由于油田各物性参数有一定的独立性,各因素的相关性在分类时需要考虑,因此为符合油田开发需求,需要研究更科学的分类方法,基于此文中采用聚类分析方法对储层进行分类。

聚类分析,是一类多元化统计分析方法,分类准则是基于变量或样品的相似性进行的,经常使用的方法有动态聚类、系统聚类等^[4-6]。有以下两种常用的聚类分析分类统计量:

(1)加权的明氏(Minkowski)距离。对于分类的影响,该距离反映不同指标重要性是通过权重来进行判别的^[7-9],缺点在于对指标变量间存在的交互关系没有考虑到;

(2)马氏(Mahalanobis)距离。虽然考虑到了指标变量的协方差矩阵结构(相关性)对分类的影响,但忽略了不同指标变量的相对重要程度是不同的,并且多数情况计算结果比欧氏距离差,原因在于协方差矩阵的估计问题^[10]。

依据上述内容,将各指标的相对重要性和相关性综合考虑通常是油田实际问题中需要注意的,文中提出一种改进的马氏距离方法,以弥补实际生产中的不足。

1 方法原理

1.1 聚类分析方法原理

1) 聚类分析基础。

聚类是一种自主性的学习过程,是进一步处理和研究数据的基础,是一种数据预处理过程。数学表示聚类问题的方式:给定数据集合 $V = \{v_i \mid i = 1, 2, \dots, n\}$, 其中 v_i 为数据对象。依据数据对象间的相关程度将数据集合分成 k 组,并满足:

$$\{C_j \mid j = 1, 2, \dots, k\}$$

$$C_j \subseteq V$$

$$C_i \cap C_j = \emptyset$$

$$\bigcup_{j=1}^k C_j = V$$

则该过程称为聚类, $C_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 称为簇^[11-13]。

2) 数据变换方法。

通常情况下所考察的 m 个变量、量纲、数量级单位、取值范围均不相同,因此需要进行数据的变换处理,以便使不同取值范围不同量纲的数据可以统一进行比较。有以下几种常用的变换方法:

(1) 中心化变换方法。

$$x_{ij}^* = x_{ij} - \bar{x}_j (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

保持协方差阵不变,在变换后数据的均值为 0,是

一种便捷、用于计算样本协方差阵的变换。

(2) 标准化变换方法。

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j} (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

对每一个样本进行转换,使之标准差为 1,均值为 0,并且变量的量纲与经过变换的数据不相关。

(3) 极差标准化变换方法。

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{R_j} (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

对每一个样本进行转换,使之标准差为 1,均值为 0,且 $|x_{ij}^*| < 1$,在后面的计算分析中可以降低误差的产生率;并且经过变换后的数据同样是无量纲量。

(4) 极差正规化变换方法。

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \min_{1 \leq i \leq n} x_{ij}}{R_j} (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

变换后的数据 $0 \leq x_{ij}^* \leq 1$;极差为 1,也是无量纲的量。

3) 相似性度量。

根据样本间相似性来分组实现对样本(对象)进行聚类,为了确保样本分类合理,因而严格筛选相似性度量对聚类分析尤为关键。计算相似度的度量主要有两种类型函数:距离函数和相似系数函数。设有两个 m 维向量 $\mathbf{X}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})^T$ 和 $\mathbf{X}_j = (x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jm})^T$, 用 d_{ij} 表示第 i 个样品 $\mathbf{X}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})^T$ 和 $\mathbf{X}_j = (x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jm})^T$ 间的距离。常用的距离有:

(1) 明氏距离。

$$d_{ij}(q) = \left(\sum_{a=1}^p |x_{ia} - x_{ja}|^q \right)^{1/q}$$

缺点:

①明氏距离跟各项指标的量纲相关;

②明氏距离没有对指标间的相关性进行考虑。

(2) 兰氏距离。

$$d_{ij}(L) = \frac{1}{p} \sum_{a=1}^p \frac{|x_{ia} - x_{ja}|}{x_{ia} + x_{ja}}$$

此方法仅适用于所有 $x_{ij} > 0$ 的情况,虽然兰氏距离对降低各项指标间量纲的影响有作用,但是它没有考虑到指标间的相关性。

(3) 马氏距离:设指标的协差阵用 Σ 代表,即

$$\Sigma = (\sigma_{ij})_{p \times p}$$

$$\text{其中, } \sigma_{ij} = \frac{1}{n-1} \sum_{a=1}^n (x_{ai} - \bar{x}_i)(x_{aj} - \bar{x}_j), i, j = 1, 2,$$

$$\dots, p, \bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{a=1}^n x_{ai}, \bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{a=1}^n x_{aj}。$$

假设 Σ^{-1} 存在,那么两个样品之间的马氏距离为 $d_{ij}^2(M) = (\mathbf{X}_i - \mathbf{X}_j)^T \Sigma^{-1} (\mathbf{X}_i - \mathbf{X}_j)$ 。

此处 \mathbf{X}_i 是样品 \mathbf{X}_i 的 p 个指标所形成的向量,也就

是初始资料阵中第 i 行向量。样品 X_j 同理。马氏距离可以去除各项指标间相关性的干扰^[14]。基于马氏距离的优点,在大庆油田分类研究中采用此距离进行计算,但马氏距离中协方差的估算复杂,因此文中对其进行改进。

1.2 改进马氏距离

对马氏距离计算,首先要做的是针对现有样本做协方差矩阵估量,产生的估计值一定会与样本中个体的类别有关,但是由聚类分析来完成类别的判定,这样就产生了死循环。因此,将马氏距离应用到实际的聚类分析操作上是很不方便的。目前,通常使用全部数据的样本协方差矩阵来替代马氏距离中的协方差矩阵,并且在聚类过程始终恒定。此种方法的局限性较大,忽略了影响取样结果的因素:类别。

文中将对协方差矩阵估量影响的两个因素一样本类别以及变量权重考虑在内,对协方差矩阵的估计进行了改进。

假定正定阵 Σ 是协方差矩阵,则有 $\Sigma^{-1/2}$,使 $\Sigma^{-1} = \Sigma^{-1/2} \Sigma^{-1/2}$ 。其中, $\Sigma^{-1/2} = T \Lambda^{-1/2} T'$, $\Lambda^{-1/2} = \text{diag}(\lambda_1^{-1/2}, \lambda_2^{-1/2}, \dots, \lambda_p^{-1/2})$, $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ 是 Σ 的特征值, T 的列向量是相对的单位特征向量。据此, p 维空间内 X_i 和 X_j 两点的加权马氏距离如下:

$$d_{ij} = ((X_i - X_j) \cdot \Omega \Sigma^{-1} \Omega (X_i - X_j))^{1/2} =$$
$$((\Omega \Sigma^{-1/2} (X_i - X_j)) \cdot (\Omega \Sigma^{-1/2} (X_i - X_j)))^{1/2} =$$
$$((\Omega T \Lambda^{-1/2} T' (X_i - X_j)) \cdot (\Omega T \Lambda^{-1/2} T' (X_i - X_j)))^{1/2} = ((Y_i - Y_j) \cdot (Y_i - Y_j))^{1/2}$$

其中, Σ 为 p 个变量对应的协方差矩阵; $\Omega = \text{diag}(\sqrt{\omega_1}, \sqrt{\omega_2}, \dots, \sqrt{\omega_p})$, ω_i 为权重系数, $\sum_{i=1}^p \omega_i = 1$ 。只需要做线性变换 $Y_l = (\Omega T \Lambda^{-1/2} T') X_l, l = i, j$, 则可将 X_i 与 X_j 的马氏距离转换为 Y_i 和 Y_j 的欧氏距离,这个处理过程暂且称之为“马氏化加权数据处理”;随后,采用欧氏距离的聚类分析方法处理数据,并且对线性变换矩阵 $\Omega T \Lambda^{-1/2} T'$ 再次估计,估计依据为聚类结果,循环操作“马氏化加权数据处理”与欧氏距离的聚类分析,到结果收敛为止。该改进方式全面考虑了相异量纲和相关性对聚类结果的影响以及各指标间的重要性差异。

文中应用马氏距离聚类分析改进后的方法具体算法如下:

- (1)明确类数 k , 并且对各变量的权重 ω_i 进行设定, $i = 1, 2, \dots, p$, 进行初始聚类操作;
- (2)依据步骤 1 的结果,估计各类相对的协方差矩阵 $\hat{\Sigma}_q, q = 1, 2, \dots, k$;

(3)估计整体协方差矩阵 $\hat{\Sigma} = \frac{1}{n - k} \sum_{q=1}^k (n_q -$

$1) \hat{\Sigma}_q$, 对 Λ 和 T 进行运算,以及变换矩阵 $\Omega T \Lambda^{-1/2} T'$, 其中 n 为总体的样本量, n_q 为第 q 类的样本量;

(4)将马氏化加权数据处理应用于数据操作,得到新的数据集;

(5)将欧氏距离聚类分析应用于新的数据集;

(6)循环步骤(3)–(6),直到聚类结果为收敛。

算法表述如图 1 所示。

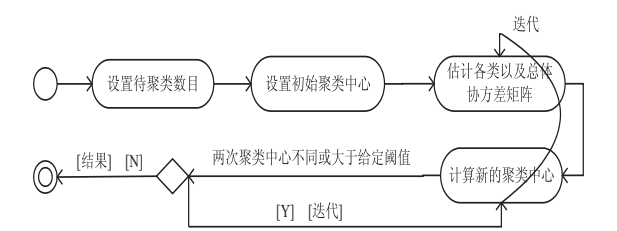


图 1 改进马氏聚类分析算法

2 实验

文中根据专家经验以及历史资料分析,选用渗透率、平均喉道半径、孔喉比、启动压力梯度 4 个参数进行分类,分类参数见表 1。

表 1 岩心分类参数

序号	渗透率/ ($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)	孔喉比	平均吼道 半径/ μm	启动压力梯 度/ $\text{MPa} \cdot \text{m}^{-1}$
1	0.26	260	0.20	0.559 5
2	2.64	47	1.20	0.047 4
3	0.94	128	0.29	0.196 1
4	0.10	394	0.14	0.621 3
5	3.57	42	2.21	0.037 7
6	0.24	266	0.20	0.519 4
7	0.88	143	0.15	0.196 1
8	0.79	152	0.20	0.191 0
9	39.90	7	8.25	0.003 5
10	0.13	313	0.20	0.691 3
11	0.40	207	0.21	0.418 2
12	0.34	231	0.19	0.417 6
13	0.36	217	0.19	0.431 9
14	0.53	164	0.17	0.350 8
15	0.70	160	0.20	0.143 5
16	8.22	18	3.60	0.027 7
17	0.70	154	0.19	0.214 8
18	38.77	10	7.13	0.005 0
19	1.92	62	1.96	0.156 9
20	6.75	22	3.70	0.029 7
21	1.26	87	1.33	0.116 0
22	0.92	148	0.25	0.157 6
23	0.8	157	0.18	0.215 4
24	7.16	21	3.57	0.028 7
25	0.36	220	0.17	0.380 2
26	10.95	15	4.27	0.008 7

续表 1

序号	渗透率/ ($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)	孔喉比	平均吼道 半径/ μm	启动压力梯 度/ $\text{MPa} \cdot \text{m}^{-1}$
27	2.28	55	2.13	0.043 0
28	0.123	303	0.16	0.525 7
29	0.46	182	0.19	0.309 3
30	10.89	10	4.80	0.017 3
31	5.23	27	3.24	0.031 6
32	49.47	5	9.57	0.001 4
33	0.24	262	0.17	0.526 8
34	9.58	15	2.97	0.018 8
35	37.13	10	5.39	0.006 3
36	10.75	15	4.27	0.028 7
37	2.79	42	2.13	0.043 0

依据 1.2 中的改进方法结合聚类分析步骤计算分类参数,分类结果表明当取 4.6 为相似距离值时,可以按照 I 类、II 类、III 类和 IV 类将低渗透储层类别分为四类,其对应的储层性质为良好、中等、差、很差。其中 I 类包含 6 个样品,II 类包含 12 个样品,III 类包含 5 个样品,IV 类包含 19 个样品,不同类别岩心渗透率有着明显不同的界限,孔喉比、喉道半径、渗透率间和启动压力梯度的相关性良好,见表 2。

根据岩心聚类分析结果,按照四个区间对渗透率划分,分别是小于 $0.9 \times 10^{-3} \sim 2.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, $2.5 \times 10^{-3} \sim 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, $10 \times 10^{-3} \sim 50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 根据渗透率分布区间把大庆外围低渗透区块分为 4 类,结果见表 3。

表 2 低渗透岩心分类结果

分类	渗透率/ ($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)	平均喉道 半径/ μm	平均孔 喉比	启动压力梯 度/ $\text{MPa} \cdot \text{m}^{-1}$
I (良)	10.96 ~ 49.48	4.28 ~ 9.58	5 ~ 15	0.001 5 ~ 0.008 8
II (中)	2.65 ~ 10.90	1.99 ~ 4.81	9 ~ 46	0.017 4 ~ 0.047 4
III (差)	0.95 ~ 2.29	0.29 ~ 2.14	54 ~ 127	0.043 0 ~ 0.196 0
IV (很差)	0.10 ~ 0.92	0.13 ~ 0.25	147 ~ 393	0.143 5 ~ 0.691 3

表 3 区块分类结果

综合类别	动用面积/ km^2	动用储量/ 10^4t	综合含水/%	采出程度/%	区块
I	223.79	9 494.9	37.46	16.99	新肇 76-76、新肇、龙南、台 106、葡 37、试验区北、朝 651 南、朝 46 断块、朝 5 断块、朝 5 西断块、试验区、朝 51 轴、敖 8、树 101、源 14、朝 56 区、朝 81 断块
II	178.58	11 590	23.55	7.39	长 8、长 31、五 214、三 502、葡西、新站、树 323、东 17、升 383、东 17、朝 2 断块轴部、朝 203 断块轴、朝 632-64 断块
III	107	5 512.5	51.29	5.87	茂 11、树 103、树 8、树 2、升南、宋芳屯 3 矿、宋芳屯 5 矿、肇 292、肇州、龙虎泡高台子、茂 401、茂 801、葡南扶余
IV	21.8	1 218	4.99	2.21	树 127、茂 8、茂 9、双 51、布木格、试验区及西部

从分析结果来看,将区块按照综合类别 I、II、III、IV 进行分类,分类后的动用面积、动用储量、综合含水、采出程度与实际生产结果是一致的。根据 I、II、III、IV 类储层特征,可以做到及时对布井方案或注采方案进行调整,使采收率提高。

3 结束语

马氏距离具有计算结果不受量纲影响、减轻前期处理工作量的优点,适用于油田储层参数影响因素多并且量纲标准不一致的特点,但马氏距离方法中协方差矩阵很难准确估计,势必会对油田分类准确性造成影响。在此基础上提出改进马氏距离方法,将马氏距离聚类分解成“马氏化加权数据处理”和“欧氏距离聚类”两个过程,循环直至结果收敛。应用大庆油田实际数据进行实验表明,改进的马氏距离聚类具有明显

优势,聚类准确性以及效率明显提高。

参考文献:

[1] 杨满平,任宝生,贾玉梅. 低流量油藏分类及开发特征研究[J]. 特种油气藏,2006,13(4):48-50.

[2] 王文环,袁向春,王光付,等. 特低渗透油藏分类及开采特征研究[J]. 石油钻探技术,2007,35(1):72-75.

[3] 唐曾熊. 油气藏的开发分类及描述[M]. 北京:石油工业出版社,1994.

[4] 孙吉贵,刘 杰,赵连宇. 聚类算法研究[J]. 软件学报,2008,19(1):48-61.

[5] 王 骏,王士同,邓赵红. 特征加权距离与软子空间学习相结合的文本聚类新方法[J]. 计算机学报,2012,35(8):1655-1665.

[6] 于 剑. 论模糊 C 均值算法的模糊指标[J]. 计算机学报,2003,26(8):968-973.

- 口上;
- (3) 将套接字设置为监听模式, 准备接收服务器请求;
- (4) 当服务器端请求到来后, 接收连接请求, 返回一个新的对应于此连接的套接字;
- (5) 用返回的套接字和服务端通信, 接收服务器端发送过来的炮号;
- (6) 关闭套接字。

客户端接收炮号之后, 通过磁盘映射对数据进行处理, 把 BMP 红外图像文件转换成 flv 格式的红外视频, 并添加到 EAST VOD Website, 提供实验数据的浏览 (逐帧查看或连续播放)、下载和共享等服务功能, 以便实验人员查找、分析和处理相关的实验数据。然后如此循环, 继续等待下一炮数据的采集, 进行图像格式转换与炮号的远程传输。

3 结束语

EAST 红外 CCD 诊断系统的图像采集与处理已完成硬件搭建和程序设计, 并结合其他诊断系统进行了相关调试, 目前已成功应用于 EAST 装置的放电实验中。结果表明, 图像清晰, 程序稳定, 实现了等离子体放电过程中的实时显示、存储、回放, 同时满足了实验中安全性、采集和传输高速性的要求。物理实验人员可以及时了解装置的运行情况, 实施相应的保护措施^[14], 保障其安全稳态运行。基于 TCP/IP 协议, 采用典型的 C/S (客户机/服务器) 模式远程传输炮号, 为建立数据共享服务系统奠定了基础, 在实际应用中有重要意义。

参考文献:

[1] 邓 玮, 胡晓燕. HL-2A 实验装置等离子体图像采集及回放的实现[J]. 成都航空职业技术学院学报, 2005, 21(1):

(上接第 178 页)

[7] 徐 凯, 陈小平. 一种多足步行机器人行走状态分析模型[J]. 软件学报, 2009, 20(8): 2170-2180.

[8] 李 震, 宋淑然, 洪添胜, 等. 基于颜色特征和聚类的马氏距离图像分割法[J]. 计算机工程与设计, 2006, 27(8): 1352-1353.

[9] 朱伟冬, 胡剑凌. 基于马氏距离的稀疏表示分类算法[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(11): 27-30.

[10] Hirano S, Okuzaki T, Hatal Y, et al. A rough set-based clustering method with modification of equivalence relations[C]//Proc of PAKDD. [s. l.]: [s. n.], 2001.

[11] Younis K, Karim M, Hardie R, et al. Cluster merging based on

50-52.

[2] 张 卡, 黄勤超, 肖炳甲. EAST 长时间数据采集及远程实时显示系统[J]. 微计算机信息, 2007, 23(1-1): 115-117.

[3] Wang Fumin, Gan Kaifu, Gong Xianzu, et al. Temperature distribution and heat flux on the EAST divertor targets in H-mode[J]. Plasma Science and Technology, 2013, 15(3): 225-229.

[4] 朱大焕. 面对等离子体钨/铜功能梯度材料优化及性能研究[D]. 合肥: 中国科学院等离子体物理研究所, 2012.

[5] 甘开福. EAST 与 NSTX 偏滤器热负荷研究[D]. 合肥: 中国科学院等离子体物理研究所, 2012.

[6] Gao Yu, Gan Kaifu, Gong Xianzu, et al. Study of striated heat flux on EAST divertor plates induced by LHW using infrared camera[J]. Plasma Science and Technology, 2014, 16(2): 93-98.

[7] 奚维斌. EAST 装置技术诊断数据采集系统设计[J]. 电子测量技术, 2006, 29(2): 86-87.

[8] 黄礼华, 庄 革, 张 明, 等. J-TEXT 托卡马克数据采集系统设计[J]. 微计算机信息, 2009, 25(6-1): 74-76.

[9] Gasilov N. A method for calculating active feedback system to provide vertical position control of plasma in a Tokamak[J]. Pramana, 2007, 68(4): 591-602.

[10] Alves D, Felton R, Jachmich S, et al. Vessel thermal map real-time system for the JET Tokamak[J]. Review of Modern Physics, 2012, 15(5): 054701.

[11] 舒双宝, 罗家融, 薛二兵, 等. HT-7 托卡马克装置高速 CCD 成像系统的研究[J]. 微计算机信息, 2011, 27(1): 6-8.

[12] 苏义鑫, 李 鹏. VC 在红外热波图像源文件可视化转换中的应用[J]. 激光与红外, 2007, 37(9): 809-811.

[13] 高程希, 吴成东, 张云洲, 等. 基于 TCP/IP 协议的远程图像/数据传输研究[J]. 机电工程, 2011, 28(9): 1102-1105.

[14] Arnoux G, Devaux S, Alves D, et al. A protection system for the JET ITER-like wall based on imaging diagnostics[J]. Review of Scientific Instruments, 2012, 83: 1-3.

weighted mahalanobis distance with application in digital mammograph[C]//Proc of aerospace and electronics conference. [s. l.]: [s. n.], 1998.

[12] Masalazu I, Shin-Ichiro O, Hirotomo A. Character recognition with Mhalanobis distance based on between-cluster information[R]. [s. l.]: [s. n.], 1998.

[13] Jain A K, Flynn P J. Image segmentation using clustering[M]//Advances in image understanding: a festchrift for azriel rosenfeld. Piscataway: IEEE Press, 1996.

[14] Gelbard R, Goldman O, Spiegler I. Investigating diversity of clustering methods: an empirical comparison[J]. Data & Knowledge Engineering, 2007, 63(1): 155-166.

基于改进马氏聚类方法的油田分类研究

作者：[尚福华](#)，[姜萌](#)，[马楠](#)，[解红涛](#)，[SHANG Fu-hua](#)，[JIANG Meng](#)，[MA Nan](#)，[XIE Hong-tao](#)

作者单位：[尚福华, 姜萌, 解红涛, SHANG Fu-hua, JIANG Meng, XIE Hong-tao\(东北石油大学 计算机与信息技术学院, 黑龙江 大庆, 163318\)](#)，[马楠, MA Nan\(中国石油天然气股份有限公司规划总院, 北京, 100083\)](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2015(8)

引用本文格式：[尚福华](#). [姜萌](#). [马楠](#). [解红涛](#). [SHANG Fu-hua](#). [JIANG Meng](#). [MA Nan](#). [XIE Hong-tao](#) [基于改进马氏聚类方法的油田分类研究](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(8)