

• 工艺技术 •

基于 PCA 和 ReliefF 的潜山界面识别方法研究

郭明宇 崔国宏 马福罡 陈 真

(中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司)

郭明宇,崔国宏,马福罡,陈真. 基于 PCA 和 ReliefF 的潜山界面识别方法研究. 2019,30(1):17-20

摘 要 钻遇潜山的作业风险决定了潜山界面识别技术在录井中的重要地位。为解决渤中油田某构造花岗岩潜山与上覆砂砾岩岩性难以区分的难题,引入 X 射线元素录井和 X 射线全岩衍射录井技术,利用岩屑元素和矿物含量变化确定地层界面和岩性的变化,但其应用中存在各种元素和矿物分异度不够、潜山界面的变化不明显等问题。在此条件下,引入 ReliefF 算法、PCA 降维、支持向量机等数学方法及思维,用于处理现场成果数据并构建新图板,提高潜山界面识别的分异度。通过数学方法与地质录井的结合,提出了潜山界面识别的新思路,对渤中油田某构造后续作业以及渤海地区其他潜山构造的界面识别产生积极影响。

关键词 潜山界面 识别方法 ReliefF 算法 PCA 支持向量机

中图分类号:TE 132.1 **文献标识码**:A **DOI**:10.3969/j.issn.1672-9803.2019.01.004

0 引 言

随着渤海油田勘探的深入和一系列大中型油气田的发现,太古界潜山已经成为渤海油田重要的勘探层系。渤海油田太古界潜山岩性主要为花岗岩、花岗片麻岩、二长片麻岩等,由于地层压力系数低、裂缝发育,在钻探过程中极易发生井漏、井涌、井喷等工程事故,存在较大的风险和难度。卡准潜山界面,对于保证钻井及后续作业的安全,同时也为保证在潜山顶部裂缝发育带求取更高的产能有着重要的意义^[1-2]。渤海油田太古界潜山具有埋藏深、上覆岩性复杂的特点,由于深层地震资料解释的局限性,潜山界面难以准确预测,同时由于 PDC 钻头和提速工具的使用,岩屑细小难辨,这些都给作业现场准确卡取太古界潜山界面带来极大的挑战。

近年来,渤海油田引入了 X 射线元素录井技术和 X 射线全岩衍射录井技术,直接测量岩屑中元素和矿物含量,现场地质人员可以通过地层元素和矿物含量的变化来判断地层界面,给太古界潜山界面的卡取提供了新的技术手段^[3]。但是新技术的应用还存在一些问题:首先,各种元素和矿物分异度不够,各种元素和矿物含量的变化在潜山界面的变化

并不明显^[2];此外,X 射线元素录井能检测岩屑中 17 种元素^[4](Si、Na、K、Fe、Mg、Ca、Al、Mn、Cl、Ba、Ti、V、Sr、P、S、Ni、Zr)以及 X 射线全岩衍射录井能检测 13 种矿物(石英、长石、黏土矿物、方解石、白云石、铁矿物、石膏、硬石膏、重晶石、方沸石、浊沸石、角闪石、辉石),如何利用所获取的大量数据建立有效的解释图板,也是目前面临的难题^[5]。

本文通过特征选择和特征提取等数学方法,对目标区渤中某构造已钻井 X 射线元素录井数据和 X 射线全岩衍射录井数据进行敏感元素的筛选和降维处理,建立了二维可视化图板,并应用于后续井的潜山界面卡取,取得了较好的效果,也为大量录井数据的应用提供了新思路^[6]。

1 元素和矿物数据处理

1.1 潜山界面敏感元素及矿物筛选

按照已有的地质认识,将渤中某构造已钻井太古界潜山上覆地层和本体根据岩性的不同,从上至下划分为砂砾岩储集层段、致密砂砾岩段、过渡砂砾岩段和花岗岩段^[7-8];根据岩性的不同将元素录井检测到的上述 17 种元素和衍射录井检测到的 13 种矿物进行分类统计。利用 ReliefF 算法,根据各个特

郭明宇 工程师,1982 年生,2005 年毕业于中国石油大学(华东)资源勘查工程专业,现在中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司从事钻井地质工作。通信地址:300452 天津市滨海新区海川路 2121 号渤海石油管理局大厦 C 座。电话:(022)66502080。E-mail:guomy@cno-oc.com.cn

征和类别的相关性赋予各特征参数不同的权重,权重越大表示该特征对样本的区分能力越强,通过设置阈值就可以选择新的特征子集,提取敏感参数,从而实现降维的目的^[9-10]。其主要步骤如下:

- (1)从所有样本中,随机取出1个样本 X_i 。
- (2)在与该样本 X_i 同类的样本组内,取出 k 个最近邻样本(Near Hits)。
- (3)在所有其他与样本 X_i 不同类的样本组内,也分别取出 k 个最近邻样本(Near Misses)。
- (4)计算每个特征参数的权重。

使用 Matlab 软件编写 ReliefF 降维函数,通过对 17 种元素数据进行计算,分别得到各种元素的权重系数,从中选取权重系数值较高的 5 种元素(Si、Fe、Mg、P、Ba)为区分渤中某构造太古界潜山界面的敏感元素(图 1)。

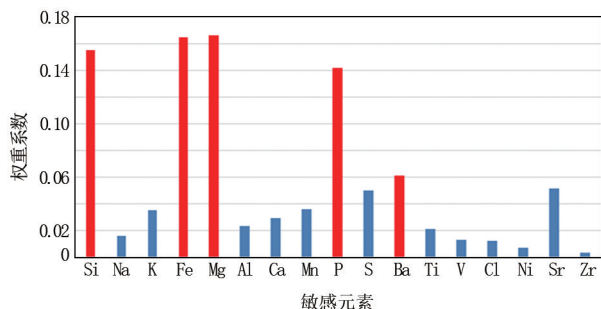


图 1 元素权重分布

因为除石英、长石、黏土矿物、伊利石、非晶质矿物外,其他矿物含量无或极低,所以只对这 5 种矿物数据进行计算,分别得到各矿物的权重系数,并且主动选取其中 3 种权重系数较大的矿物,得到石英、长石、黏土矿物为区分渤中某构造太古界潜山界面的敏感矿物(图 2)。

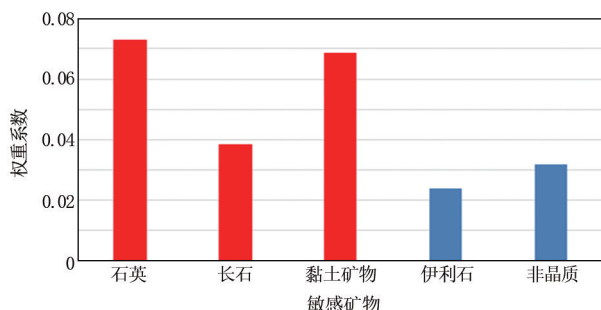


图 2 矿物权重分布

1.2 主成分分析步骤及降维结果

降维算法以分析数据内部结构为基础,以非监督学习的方式,利用较少的信息归纳总结或解释数据。这类算法可以用于多维数据的可视化,同时也

用来简化数据以便监督式学习使用。常见线性降维方法主要有主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)及线性判别分析(Linear Discriminant Analysis, LDA),非线性方法一般为等距映射(Isomap)及局部线性嵌入(Locally Linear Embedding, LLE)^[11]。

本文所用的是 PCA 降维方法,通过线性变化将原始数据变为一组与各维度线性无关的表示,可用于提取数据的主要特征分量,常用于高维数据的降维。根据 PCA 的数学原理,总结了 PCA 算法的一般步骤^[12]。设有 m 条 n 维数据:

- (1)将原始数据按列组成 n 行 m 列矩阵 A 。
- (2)将 A 的每一行进行零均值化。
- (3)求出协方差矩阵 $C = \frac{1}{m}AA^T$ 。
- (4)计算协方差矩阵的特征值及对应的特征向量。
- (5)将特征向量按对应特征值大小从左到右按列排列成矩阵,取前其中 k 列组成矩阵 T 。
- (6) $X=AT$ 即为降维到 k 维后的数据。

使用 Matlab 软件编写的 PCA 降维函数并计算变换矩阵 T 后,利用 T 对原始矩阵 A 进行降维。将 Si、Fe、Mg、P、Ba 五个敏感元素,化为一个参数,其形式为:元素(PCA) = $a_1Si + a_2Fe + a_3Mg + a_4P + a_5Ba$;将石英、长石、黏土矿物三个敏感矿物化为一个参数,其形式为:衍射(PCA) = b_1 石英 + b_2 长石 + b_3 黏土矿物。

具体结果如表 1 所示。从元素(PCA)和衍射(PCA)计算公式中可以看出, Si 和石英对计算结果的影响较大。

表 1 元素及矿物主成分计算公式

| 类别 | 主成分计算公式 |
|----|---|
| 元素 | 元素(PCA) = $0.9417Si - 0.3094Fe - 0.1322Mg - 0.0076P - 0.0008Ba$ |
| 矿物 | 衍射(PCA) = 0.9353 石英 - 0.3458 长石 - 0.0745 黏土矿物 |

2 二维可视化解释图板的建立

将砂砾岩储集层段、致密砂砾岩段、过渡砂砾岩段和花岗岩段对应的敏感元素及矿物含量利用主成分计算公式进行计算,以衍射(PCA)为纵坐标,以元素(PCA)为横坐标,根据已有的岩性分类数据,绘制二维可视化解释图板。从砂砾岩储集层段、致密砂

砾岩段、过渡砂砾岩段和花岗岩段在该图板上的投点可以看出,砂砾岩储集层段、致密砂砾岩段、过渡砂砾岩段由于岩性类似投点相对比较集中,且越接近潜山界面,岩性逐渐从砂砾岩储集层段过渡砂砾岩段变化与太古界潜山本体花岗岩区分明显。常规解释评价图板分类边界划分大多具有主观随意性,本次边界线的划分采用支持向量机多项式模型(Polynomial Model)核函数进行绘制,进一步提高了解释图板的适用性^[13-14]。由于砂砾岩储集层段、致密砂砾岩段、过渡砂砾岩段区分度不高,本次只绘制了太古界花岗岩潜山本体和上覆砂砾岩的边界线,用于太古界潜山界面的识别(图3)。

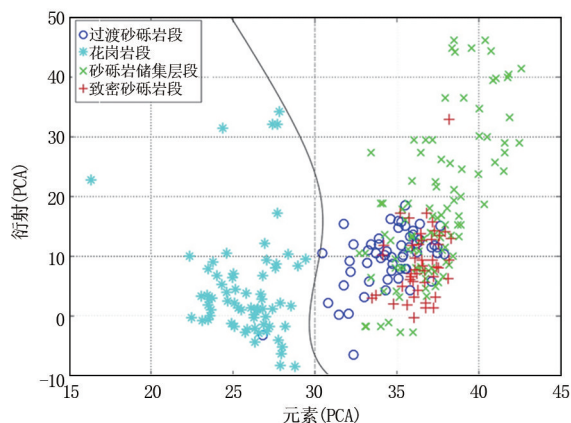


图3 衍射(PCA)-元素(PCA)二维可视化解释图板

3 二维可视化解释图板的应用

该解释图板在渤中某构造后续钻井中的应用结果(表2)表明,能够很好地区分所钻遇岩性的差别,辅助现场地质人员卡取太古界潜山界面。

表2 衍射(PCA)-元素(PCA)二维可视化解释图板界面识别

| 井名 | 砂砾岩厚度/m | 图板解释界面/m | 测井验证界面/m | 误差/m |
|----|---------|----------|----------|------|
| 1井 | 457.00 | 4020.00 | 4024.00 | 4 |
| 2井 | 436.00 | 4248.00 | 4248.00 | 0 |
| 4井 | 45.00 | 4443.00 | 4445.00 | 2 |

以渤中某井为例,本井太古界潜山上覆砂砾岩厚度未知,预测进入潜山深度4521.00 m。在实钻过程中,钻进至井深4380.00 m后岩性突变,对元素录井及全岩衍射录井获得的参数进行PCA降维处理,成果数据投点至“衍射(PCA)-元素(PCA)二维可视化解释图板”中,大部分落于图板分界线右侧,初步证实暂未进入潜山;后续钻进过程中,每1

~2 m 取样分析1次,并将元素录井及全岩衍射录井数据处理结果投入图板中,除偶然有数据点落于图板分界线左侧外,大部分点均能指向正确岩性区域;当钻进至4443.00 m后,分析数据点开始落于图板分界线左侧,并且持续指向花岗岩岩性区域,结合现场岩屑观察,认为本井4443.00 m为潜山界面(图4)。

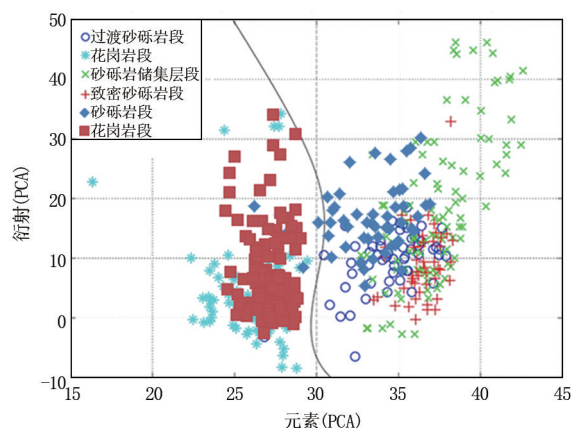


图4 衍射(PCA)-元素(PCA)二维可视化解释图板某井应用

钻后测井曲线校正及后续研究结果证实,潜山界面为4445.00 m,与现场录井界面基本一致,误差仅2 m。这表明该方法对现场潜山界面的识别具有很好的指导作用。由于井数限制,该方法还有待于在实践中进一步完善及验证。

4 结束语

(1)引入ReliefF算法、PCA降维、支持向量机等数学方法和思维,对X射线元素录井及X射线全岩衍射录井数据进行再处理,提高了数据的衍生利用率。

(2)基于数学方法处理的数据,最终构建了衍射(PCA)-元素(PCA)二维可视化解释图板,提高了识别潜山界面的分异度。

(3)数学方法的引入以及基于此类数据的图板建立,为渤海油田海量录井数据的分析提供了新的思路。

参考文献

- [1] 阚留杰,毛敏,陈伟,等. 渤海油田潜山界面识别录井技术及其组合[J]. 录井工程,2016,27(3):79-83.
KAN Liu jie, MAO Min, CHEN Wei, et al. Identification logging technology and its combination of buried hill interface in Bohai Oilfield[J]. Mud Logging Engineering, 2016, 27(3): 79-83.

- [2] 张国田,赵宏明,刘新华,等. 元素录井技术在兴古 X 断块古潜山岩性识别和界面卡取中的应用[J]. 录井工程,2014,25(2):64-69.
ZHANG Guotian, ZHAO Hongming, LIU Xinhua, et al. Application of element logging technology in lithology identification and interface determination of Xinggu X fault block[J]. Mud Logging Engineering, 2014,25(2):64-69.
- [3] 张国龙,闫长青,张国庆,等. X 射线荧光元素录井在南堡油田潜山卡层中的应用研究[J]. 录井工程,2012,23(1):20-24.
ZHANG Guolong, YAN Changqing, ZHANG Guoqing, et al. Application research of X-ray fluorescence element logging in horizon determination of buried hill in Nanpu oilfield [J]. Mud Logging Engineering, 2012,23(1):20-24.
- [4] 刘海军. 碳酸盐含量分析技术在花古区块下古生界潜山界面卡取的应用[J]. 录井工程,2017,28(4):22-27.
LIU Haijun. Application of Carbonate content analysis technology in the determination of lower paleozoic buried hill interface in Huagu block[J]. Mud Logging Engineering,2017,28(4):22-27.
- [5] 张国田,郑新卫,王丹丹,等. X 射线荧光元素录井在辽河油田的应用[J]. 录井工程,2012,23(4):10-16.
ZHANG Guotian, ZHENG Xinwei, WANG Dandan, et al. Application of X-ray fluorescence element logging in Liaohe Oilfield [J]. Mud Logging Engineering, 2012,23(4):10-16.
- [6] 赵利娟. X 射线荧光元素录井技术标准应用方法研究[J]. 中国石油和化工标准与质量,2017,37(10):146-147.
ZHAO Lijuan. Research on application method of X-ray fluorescence element logging technical standard [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality,2017,37(10):146-147.
- [7] 吴俊石. X 射线元素录井在南川页岩气田龙马溪—五峰组地质分层中的应用[J]. 化学工程与装备,2018(2):106-110.
WU Junshi. Application of X-ray element logging in geological stratification of Longmaxi Formation-Wufeng Formation of Southern Sichuan shale gas field [J]. Chemical Engineering & Equipment,2018(2):106-110.
- [8] 孙哲,韦阿娟,江尚昆,等. 元素录井技术在渤海潜山岩性识别中的应用[J]. 特种油气藏,2017,24(5):78-84.
SUN Zhe, WEI Ajuan, JIANG Shangkun, et al. Application of element logging technology in identifying buried hill lithologies in Bohai Sea[J]. Special Oil & Gas Reservoirs,2017,24(5):78-84.
- [9] 蒋玉娇,王晓丹,王文军,等. 一种基于 PCA 和 ReliefF 的特征选择方法[J]. 计算机工程与应用,2010,46(26):170-172.
JIANG Yujiao, WANG Xiaodan, WANG Wenjun, et al. New feature selection approach by PCA and ReliefF [J]. Computer Engineering and Applications, 2010,46(26):170-172.
- [10] 陶阳,王帆,侍洪波,等. 基于 ReliefF 的主元挑选算法在过程监控中的应用[J]. 化工学报,2017,68(4):1525-1532.
TAO Yang, WANG Fan, SHI Hongbo, et al. Principal component selection algorithm based on ReliefF and its application in process monitoring[J]. CIESC Journal,2017,68(4):1525-1532.
- [11] 于成龙. 基于 PCA 的特征选择算法[J]. 计算机技术与发展,2011,21(4):123-125.
YU Chenglong. Features selection algorithm based on PCA[J]. Computer Technology and Development, 2011,21(4):123-125.
- [12] 薛章鹰,刘兴权. 结合 ReliefF、GA 和 SVM 的面向对象建筑物目标识别特征选择方法[J]. 测绘工程,2017,26(2):52-56,61.
XUE Zhangying, LIU Xingquan. Feature selection method for object-oriented building targets recognition based on ReliefF, GA and SVM[J]. Engineering of Surveying and Mapping,2017,26(2):52-56,61.
- [13] 韦娜,王涛. 结合 ReliefF 与支持向量机的特征选择方法研究[J]. 计算机应用与软件,2008,25(1):283-285.
WEI Na, WANG Tao. Research into the feature selection method by combining ReliefF and support vector machine[J]. Computer Application and Software, 2008,25(1):283-285.
- [14] 程玉胜,胡飞,程百球. 面向高维数据 PCA—ReliefF 的 EP 模式分类算法[J]. 安庆师范学院学报(自然科学版),2015,21(4):28-32.
CHENG Yusheng, HU Fei, CHENG Baiqiu. EP pattern classification algorithm for high dimensional data PCA-ReliefF[J]. Journal of Anqing Teachers College (Natural Sciences Edition),2015,21(4):28-32.