

基于BP神经网络的断层封闭性评价

严恒,王丽君,高凌,吴碧波,姚意迅

(中海石油(中国)有限公司湛江分公司,广东 湛江 524057)

摘要:在前人关于断层封闭性研究基础上,总结当前评价断层封闭性的一些方法的不足,提出利用BP神经网络来评价断层封闭性的方法,分析影响断层封闭性的各种因素,把影响断层封闭性的因素分为定性和定量两类,并主要从定量上去考察断层的封闭性,优选出了三个因子来定量表征断层的封闭性,即:泥岩地层流体压力、断面正应力、断层泥比率(SGR),并以南海西部X油田实际断层资料为例,验证了该方法的适用性,并且认为该方法具有速度快、误差小、人为因素少且不用考虑输入神经元与输出神经元是否具有明确的关系等优点,是一种比较有效的断层封闭性评价方法。

关键词:断层封闭性;BP神经网络;泥岩地层流体压力;断面正应力;断层泥比率

中图分类号:TE122

文献标志码:A

Evaluation of fault sealing based on BP neural network

YAN Heng, WANG Lijun, GAO Ling, WU Bibo, YAO Yixun

(Zhanjiang Branch, CNOOC China Limited, Zhanjiang 524057, China)

Abstract: Based on previous researches on fault sealing and deficiencies of some current evaluation methods for fault sealing, BP neural network was proposed to evaluate the fault sealing. According to analysis of all influencing factors on the fault sealing, the factors were divided into two qualitative and quantitative types. The fault sealing was mainly evaluated from quantitative study. Three factors were selected as quantitative characterization of fault sealing, which are fluid pressure in shale formation, normal stress of fault, and shale gouge ratio. The method applicability was verified by actual fault data of X Oilfield in the western South China Sea. The method has advantages of quick velocity, small error, little artificial factor and no consideration of the relationship of input neurons and output neurons, which is considered as a more effective evaluation method of fault sealing.

Key words: fault sealing; BP neural network; fluid pressure in shale formation; normal stress of fault; shale gouge ratio

自从20世纪60年代断层封闭性研究开始以来,国内外众多专家、学者已经进行了大量的工作,并取得了一系列丰硕的成果。最早由Smith等提出了断层封闭的基本原理^[1],之后于1974年Engelde研究了断裂作用与断层泥生成间的关系^[2],Watts于1987年提出了“压力-深度图”法来分析断层的封闭性^[3],在1995年,Berg分析了泥岩剪切带的起源、性质、结构等,并讨论了其封闭能力^[4],之后许多专家学者提出了更多评价断层封闭性的方法:Knipe提出了岩性并置法判断断层的封闭性,Lindsay提出了使用泥岩沾污因子定量评价断层封闭性的方法^[5],在他的基础上,Yielding提出了利用SGR(断层泥比率)来评价断层的封闭性^[6]。国内专家

如吕延防使用非线性映射法与概率模拟法建立了早期探区断层封闭性判别模型^[7],鲁兵提出了“断层主滑面”的概念并应用它来评价断层的封闭性^[8],张立宽、罗晓容提出了断层连通概率的概念,并应用它来评价断层的封闭性^[9]。

大量的研究成果已经表明:断层的封闭性评价已经走向了多学科、多角度,并从定性到定量的研究阶段。尽管国内外众多专家学者对断层的封闭性研究做了大量的工作,但仍有不尽人意之处,因为断层封闭性研究本来就是一个复杂的系统工程,影响断

收稿日期:2019-07-24;改回日期:2019-09-12。

第一作者简介:严恒(1983—),硕士研究生,研究方向为油气地质综合研究。E-mail:yanheng@cnooc.com.cn。

层封闭性的因素众多,其中一些可以定量描述,然而有一些却只能定性描述,很难把它们统一起来,而且各因素之间又相互影响,它们与断层封闭性之间的关系不能用一个公式简单的加以概括,因而本文提出了利用 BP 神经网络来评价断层封闭性的方法,由于神经网络具有学习程度高,收敛速度快、误差小、不用考虑样本与结果之间是否具有明确的线性关系等优点,因而是定量评价断层封闭性的一种较为合适的方法^[10-11]。

1 影响断层封闭性的因素

在利用 BP 神经网络评价断层的封闭性之前,首先要了解影响断层封闭性的影响因素。综合前人

的研究成果,认为影响断层封闭性的因素主要归纳为定性成分和定量成分两大类。定性成分主要是断层类型、断面几何形态、断层生长活动性、是否断穿上覆岩层、断层组合、断层数目和构造样式等^[12]。而定量成分为断距、断层倾角、断层埋深、断面正应力、断层两侧泥岩地层的流体压力和断层泥涂抹等^[13]。

本次实例研究选取了南海西部 X 油田中浅层断裂为研究目标,该区断层主要形成于古近纪,主要断层面位为涠洲组,部分向上断至下洋组,向下断至流沙港组底部。剖面特征为正断层,断距较小,为几十米至两百米之间,多与断层两盘地层形成复式半地堑式构造(图 1)。

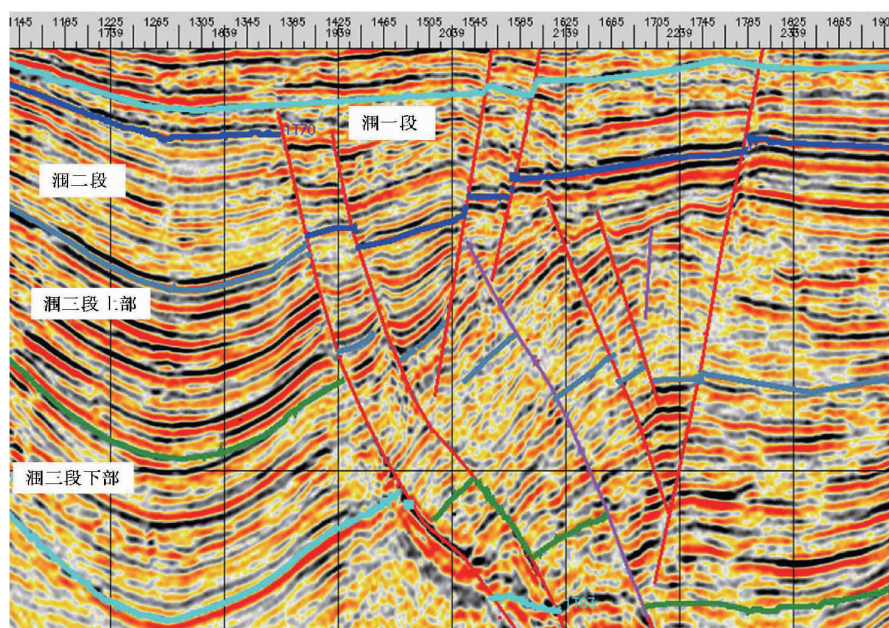


图 1 研究区典型断裂剖面

分析认为,泥岩地层流体压力是埋深和孔隙度的函数,断面正应力是断层倾角和区域构造应力的函数,泥比率(SGR)是断距和泥岩层厚的函数,这三个参数基本包括了断层封闭性定量分析的影响因素,是定量评价断层封闭性的理想选择^[9]。因此本次研究选取了最能定量表征断层封闭性的泥岩地层流体压力、断面正应力和泥比率(SGR)参数,进行断层封闭性分析。

2 神经网络评价断层封闭性

依据本次研究训练样本的特征,设计了 BP 神经网络,网络结构为 3 层,输入层神经元个数为 3 个,分别代表泥岩地层流体压力、断面正应力、泥比率(SGR),隐含层神经元个数则依据 BP 网络的公

式算出为 7 个,输出层神经元为 2 个,代表了断层的封闭和开启状态,分别用[1 0]和[0 1]来代表,设计训练次数为 3 000 次,训练误差为 0.01,训练速率为 0.01。

选取研究区横切断层,且过试油井的连井剖面,在不同深度处选取一些观测点,计算各个观测点的泥岩地层流体压力、断面正应力、泥比率(SGR),如表 1 所示。

利用断层两侧试油井的结论资料判断断层的封闭性,以[1 0]和[0 1]分别代表断层的封闭和开启,由此建立这三个参数与断层封闭性之间的联系,以此为样本来训练 BP 神经网络。在训练之前,需先将泥岩地层流体压力、断面正应力的值进行归一化,然后再带入训练网络。

表 1 X8 井不同流速对应的不同产气量

断层名称	观测点	观测点深度/m	归一化后的流体压力	归一化后的断面正应力	SGR/小数	断层封闭性
Well1_F	A	2 505. 00	0. 659 54	0. 527 05	0. 892 31	封闭
Well1_F	B	2 545. 00	0. 770 27	0. 562 92	0. 507 69	开启
Well1_F	C	2 580. 00	0. 573 95	0. 594 29	0. 357 14	封闭
Well1_F	D	2 646. 00	0. 612 89	0. 653 45	0. 210 00	开启
Well2_F	A	2 700. 00	0. 626 68	0. 699 94	0. 300 00	封闭
Well2_F	B	2 810. 00	0. 747 53	0. 798 21	0. 420 00	开启
Well2_F	C	2 940. 00	0. 890 36	0. 914 41	0. 190 00	开启
Well2_F	D	2 970. 00	0. 923 32	0. 941 19	0. 200 00	开启
Well2_F	E	3 040. 00	1. 000 22	1. 004 98	0. 210 00	开启
Well3_F	A	2 550. 00	0. 697 86	0. 568 56	0. 770 00	封闭
Well3_F	B	2 600. 00	0. 835 78	0. 613 40	0. 762 50	封闭
Well3_F	C	2 650. 00	0. 822 15	0. 658 22	0. 350 00	开启
Well8_F	A	2 130. 00	0. 000 45	0. 182 55	0. 523 08	封闭
Well8_F	B	2 180. 00	0. 055 38	0. 227 29	0. 153 85	开启
Well8_F	C	2 235. 00	0. 115 81	0. 276 50	0. 200 00	开启
Well8_F	D	2 190. 00	0. 300 16	0. 236 24	0. 876 92	封闭
Well8_F	E	2 235. 00	0. 371 66	0. 276 50	0. 661 54	开启
Well8_F	F	2 270. 00	0. 449 42	0. 307 79	0. 120 00	开启
Well8_F	G	2 175. 00	0. 262 12	0. 226 41	0. 866 67	封闭

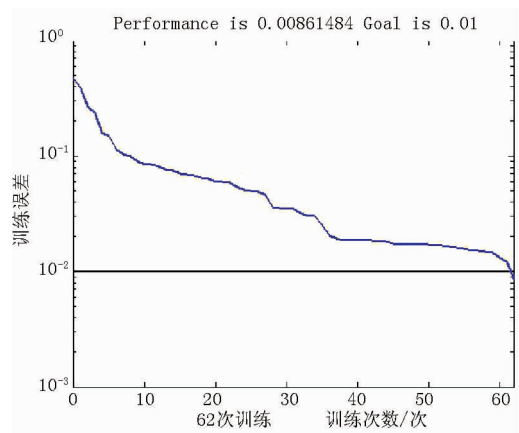


图 2 神经网络训练图

由该神经网络的训练过程图(图 2)可以看出,只经过了 62 次训练,该网络就达到了训练目标,收敛速度非常快,符合我们对网络的设计要求。

接着,使用这已训练好的 BP 神经网络,进一步评价区内尚未参加训练网络的断层封闭性。本次研究选取 well4 – well7 井油藏地质剖面(图 3),在 well6 – F、well7 – F1 和 well7 – F2 三条断层的断裂带附近选取了 A ~ I 共 9 个点,分别计算每个点处的泥岩地层流体压力、断面正应力、泥比率(SGR),计算结果如表 2 所示。

表 2 well4 – well7 油藏剖面各观测点断层封闭性判断参数

剖面名称	观测点	观测点深度/m	归一化后的泥岩地层流体压力	归一化后的断面正应力	SGR/小数	断层封闭性 (由神经网络得出)		断层封闭性 (由试油资料得出)
Well4 – well7 井油藏剖面	A	2 355. 00	0. 00	0. 00	0. 80	1. 000 0	0. 000 0	封闭
	B	2 495. 00	0. 32	0. 32	0. 17	0. 000 0	1. 000 0	开启
	C	2 740. 00	0. 68	0. 68	0. 06	0. 000 0	1. 000 0	开启
	D	2 600. 00	0. 36	0. 36	0. 85	0. 951 4	0. 053 3	封闭
	E	2 745. 00	0. 72	0. 72	0. 70	1. 000 0	0. 000 0	封闭
	F	2 980. 00	1. 00	1. 00	0. 15	0. 000 0	1. 000 0	开启
	G	2 580. 00	0. 36	0. 36	0. 88	0. 983 2	0. 019 1	封闭
	H	2 710. 00	0. 56	0. 56	0. 56	1. 000 0	0. 000 0	封闭
	I	2 940. 00	1. 00	1. 00	0. 12	0. 000 0	1. 000 0	开启

从表 2、图 3 中可见,9 个点中只是在 D、G 两点存在非常小的误差,但并没有影响到对断层封闭性的属性判别。使用 BP 神经网络得出的断层封闭性判别结果和由试油资料得出的结论整体吻合性好,说明使用训练好的 BP 神经网络来评价该区断层的

封闭性是可行的。结合 well4 – well7 井油藏剖面图(图 3)也可以看出,断层在油气的运移聚集中起了很大作用,该区油气主要来源于下伏地层,油气沿着断层开启位置处向上运移,而在断层封闭位置处聚集起来,形成油气藏。

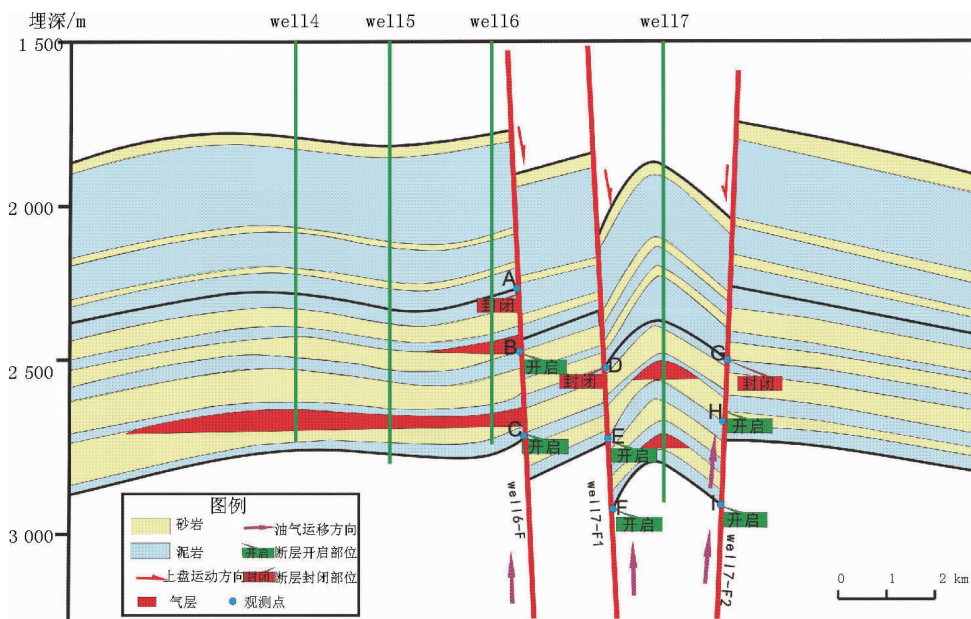


图 3 well4 – well7 井油藏剖面

3 结论

(1) 由于影响断层封闭性的众多因素与断层封闭性之间的关系不能用一个简单的公式加以概括,而且各因素之间又相互影响,利用 BP 神经网络来评价断层封闭性具有学习能力强、收敛速度快、非线性映射能力强的优点,是研究断层封闭性的较为合适的方法。

(2) 从定量方面去评价断层的封闭性,优选出泥岩地层流体压力、断面正应力、断层泥比率(*SGR*)三个参数最能定量表征断层封闭性。通过实例分析误差非常小,且利用训练好的神经网络来评价断层的封闭性效果非常好。

参考文献:

- [1] SMITH D A. Theoretical consideration of sealing and non – sealing faults[J]. AAPG Bulletin,1966,50 (5):363 – 374.
- [2] ENGELDE J T. Cataclasis and the generation of fault gouge [J]. Geological Society of America Bulletin,1974,85 (3):1515 – 1522.
- [3] WATTS N L. Theoretical aspects of cap – rock and fault seals for single – and two – phase hydrocarbon columns[J]. Marine and Petroleum Geology,1987,4(4):274 – 307.

- [4] BERG R R, AVERY A H. Sealing properties of Tertiary growth faults, Texas Gulf Coast [J]. AAPG Bulletin, 1995, 79 (3): 375 – 393.
- [5] LINDSAY N G, MUEPHY F C, WALSH J J, et al. Outcrop studies of shale smears on fault surfaces. Special Publication International Association of Sedimentologist [C]. 1993:113 – 123.
- [6] YIEDING G, FREEMAN B, NEEDHAM D T. Quantitative fault seal prediction [J]. AAPG Bulletin, 1997, 81 (6): 897 – 917.
- [7] 吕延防, 马福建. 断层封闭性影响因素及类型划分[J]. 吉林大学学报:地球科学版, 2003, 33 (2): 163 – 166.
- [8] 鲁兵, 孔宪政, 黎冰, 等. 断块构造与断块封闭间的关系[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26 (4): 14 – 17.
- [9] 张立宽, 罗晓容. 断层连通概率法定量评价断层的启闭性[J]. 石油天然气地质, 2007, 28 (2): 357 – 366.
- [10] 杨文采, 王宝珍. 神经网络技术及其在物化探中的应用[J]. 物探化探计算技术, 1994, 16 (4): 303.
- [11] 史忠科. 神经网络控制结构确定方法[J]. 西北工业大学学报, 1996, 14 (2): 265 – 269.
- [12] 郑秀娟, 于兴河, 王彦卿. 断层封闭性研究现状与问题[J]. 大庆石油地质与开发, 2004, 23 (6): 19 – 22.
- [13] 赵密福. 断层封闭性研究现状[J]. 新疆石油地质, 2004, 25 (6): 333 – 336.

(编辑 杨芝文)