

基于模糊神经网络的义县萤石成矿预测

孙 祥¹, 杨子荣¹, 徐大地²

(1. 辽宁工程技术大学 资源与环境工程学院, 辽宁 阜新 123000;

2. 辽宁省化工地质勘查院, 辽宁 锦州 121000)

摘 要: 成矿预测的模糊综合评判方法中评价因素权重确定时具有较强的人为因素, 模糊神经网络方法可以建立在无模型基础上, 自动获取输入与输出的关系, 在专家确定权重初始值的情况下, 通过网络训练确定出最优权重值, 这在一定程度上减少了人为因素的影响。应用该方法对义县萤石成矿远景区进行了评价, 其评价结果与实际一致。表明该方法可推广到其他区域、其他矿种的预测, 但应根据预测对象的实际情况建立控矿因素集和相应的隶属度函数。

关键词: 萤石; 成矿预测; 模糊神经网络; 义县; 辽宁

中图分类号: P612; P619. 215 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2008)02-0149-04

0 引言

辽宁省义县一带萤石矿资源丰富, 区内成矿条件良好, 历经多年普查和勘探, 积累了丰富的地质、物化探资料, 已有中小型矿产地多处, 但也和全国其他重要成矿区一样, 易于发现的露头矿、浅部矿和已知矿日趋减少, 找矿难度不断加大。在老矿山深部及外围寻找矿体既可以充分利用已有的地质、物化探和遥感资料和原有的矿山设施, 又有利于所在地区经济的持续发展。所以, 在矿区深部及外围进行隐伏矿定位预测具有重要的理论意义和实际应用价值。

目前, 有许多传统数学地质方法^[1-3]用于成矿预测, 并取得了一定的找矿效果。但因其存在固有的缺点(如对成矿预测的各项指标采用二态指标、三态指标等只能用 1, 0, -1 表示), 在一定程度上降低了成矿预测的准确性和可信度; 其后又有学者提出了模糊评判方法^[4], 该方法对影响成矿预测的各项指标采用隶属度函数表示, 提高了预测的准确性和可靠度, 但应用模糊综合评判方法时评价因素权重的确定具有较强的人为因素, 又有学者提出了神经

网络方法^[5], 该方法着眼于人脑的微观网络结构, 是一种透过学习、自组织化和非线性动力学理论形成的并行分析方法, 在处理与解决问题时不需要建立精确数学模型, 适合于表现多影响因子的非线性复杂因果规律。

本文提出的模糊神经网络系统在建立对象输入输出关系时与传统数学方法不一样, 它可以建立在无模型的基础上, 并利用其较强的学习训练特性, 自动获取对象的输入输出关系表达, 还可以将专家的评价语言作为系统的干扰项引入, 这在一定程度上减少了人为因素对预测结果的影响。本文即是探讨模糊神经网络方法在成矿预测中的应用。

1 模糊神经网络方法^[6-8]

模糊神经网络模型根据隐伏矿预测理论、方法和发展趋势, 考虑成矿往往是受多种因素的控制和影响, 并且成矿与其多因素之间是不确定的、复杂的非线性关系等特点, 综合利用模糊数学中模糊综合评判理论及神经网络方法, 针对义县萤石矿深部矿体的成矿因素及特点建立了隐伏矿定位预测模型。该方法充分发挥了专家及模糊综合评判、神经网络

收稿日期: 2007-04-04; 改回日期: 2007-07-11

基金项目: 辽宁省国土资源科学技术计划研究项目(KJ-2005-001)和辽宁工程技术大学基金联合资助。

作者简介: 孙祥(1980-), 男, 安徽无为, 博士研究生, 主要从事矿产资源预测及评价研究工作。通信地址: 辽宁省阜新市辽宁工程技术大学资源与环境工程学院, 邮编: 123000, E-mail: sunxiang8003@sina.com

在处理寻找隐伏矿床中所遇到的模糊现象、非线性复杂行为的优势,对研究区的矿化程度或成矿有利度的优劣进行评价,评判条件是成矿密切相关的多个控矿因素,如断裂因素、地层因素、地球物理因素、地球化学因素等。其具体建模步骤如下:

(1) 研究区域典型矿床,确定控矿因素集合 U (含 m 个元素) 和成矿远景区集合 V (含 n 个级别)。

(2) 构造评价矩阵 R_{mn} 。首先对控矿因素集合 U 的单因素 u_i 作单因素评价,确定 u_i 对矿床级别集合 v_j 的隶属度 r_{ij} ,这样就得出第 i 个因素 u_i 的单因素评判集 $r_i = \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}\}$ 。它是评语集 V 上的模糊子集。这样 m 个评价因素的评判集就构成了一个总的评价矩阵 R 。

(3) 确定控矿因素的权重集合 A (含 m 个元素)。控矿因素的权重是衡量控矿因素集中某一子因素对总评价影响程度相对大小的量,权重越大,则意味着该因素对成矿预测的影响越大,反之则小。本文首先通过专家确定权重初始值,再通过神经网络确定出最优值。

(4) 根据模糊集合理论,由 $V = A \cdot R$ 确定综合评价集合 V (含 n 个元素),再根据最大隶属度原则对预测区进行评价。

2 义县萤石矿矿区地质特征

矿区位于义县构造盆地西部,区内下白垩统义县组火山岩大面积出露,长城系大红峪组、高于庄组及蓟县系雾迷山组白云质灰岩局部出露,萤石矿即位于大红峪组、高于庄组和雾迷山组中。

本区断裂构造主要呈 NE 向、NW 向和 EW 向,依据区域构造特点和断裂所切割的地层可知,它们是燕山运动的产物,矿区为“S”型背斜构造,西翼岩层倾向 225 ~ 260°, 倾角 25 ~ 50°, 东翼岩层倾向 60 ~ 70°, 倾角 36 ~ 40°。

褶皱构造的核部成矿最好,常构成鞍状矿体;断裂带附近也可见萤石矿体,系成矿热液沿断裂构造活动,在有利的层间脆弱带部位形成矿体。岩浆活动可以带来大量的挥发组分,由于火山喷溢阶段主要处于开放的环境中,F 元素的活动性很强,大部分散逸于大气中间,难以富集成矿,因此本区义县组火山岩中的 F 丰度未显示出异常。钻孔资料显示后期有闪长岩脉、花岗斑岩岩脉侵入,已形成的火山岩地层起到了良好的封闭作用,岩浆期后热液中的大

量 F 等挥发性组分逐步富集,这种富 F 的热液在对流循环过程中从围岩中萃取部分 F 和 Ca,在合适的条件下富集成萤石矿床,该区萤石矿床类型属中低温热液充填交代型。与矿化有关的蚀变主要有硅化,其次是重晶石化、高岭土化、绿泥石化和碳酸盐化。

3 成矿远景区的模糊神经网络预测

3.1 确定控矿因素集和成矿远景区集

根据义县萤石矿区地质特征,结合该区的地球物理、地球化学资料,确定该区萤石矿控矿因素为:构造、围岩、围岩蚀变、岩浆活动、F 异常、CaO 异常、重力异常、航磁异常。则控矿因素集 $U = \{\text{构造, 围岩, 围岩蚀变, 岩浆活动, F 异常, CaO 异常, 重力异常, 航磁异常}\} = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7, u_8\}$; 成矿远景区集 $V = \{\text{有利区, 较有利区, 不利区}\} = \{v_1, v_2, v_3\}$ 。

3.2 各因素隶属度的确定

通过征求地质专家的意见,由其给出每一控矿因素对成矿远景区集的隶属度(表 1)。

3.3 确定权重向量 W

确定权重向量 W 的过程中, w_i ($i = 1, 2, \dots, 8$) 表示因素 u_i ($i = 1, 2, \dots, 8$) 的重要程度,即分配到 u_i 的权重,且须满足

$$\sum_{i=1}^8 w_i = 1, 0 \leq w_i \leq 1 \quad (1)$$

权重实际上是一个相对量,它的确定是否恰当,直接影响评价结果,本次各因素权重采用神经网络的方法取值,首先由专家对权重打分给出 1 个初始值 W_0 ,再通过 BP 神经网络的学习过程,应用如下公式来调整权重 W :

$$V_0 = W_0 \quad R = (v^1, v^2, v^3) \quad (2)$$

其中, $v_j = \sum_{i=1}^8 w_i \cdot r_{ij}, j = 1, 2, 3$

$$W(n+1) = W(n) - \frac{E_p}{W}, n = 0, 1, 2, \quad (3)$$

$$E_p = \frac{(V - Y)^2}{2} \quad (4)$$

其中, η 为网络学习率, V 为模糊评判方法确定的实际输出, Y 为期望输出。

该网络经过 106 次学习后收敛且满足误差要求,其所确定的各影响因素权重如表 2。

表 1 义县萤石矿各控矿因素隶属度

Table 1 Grade of membership of fluorite deposit metatoltect in Yixian

评价因素		评价级别		
		好	一般	差
构造	褶皱核部	0.7	0.2	0.1
	多期断层复合交汇	0.6	0.2	0.2
	断层少,且无复合交汇	0.5	0.3	0.2
	无断层,但节理裂隙发育	0.4	0.3	0.3
	无断裂	0.1	0.2	0.7
围岩	灰岩、白云质灰岩	0.6	0.3	0.1
	白云岩	0.5	0.3	0.2
	其他岩石	0.1	0.3	0.6
围岩蚀变	硅化	0.6	0.3	0.1
	重晶石化、高岭土化、碳酸盐化	0.5	0.3	0.2
	无蚀变现象	0.1	0.3	0.6
岩浆活动	侵入于义县组的岩体	0.6	0.3	0.1
	无岩浆岩侵入	0.2	0.3	0.5
F 异常	1 级异常区	0.7	0.2	0.1
	2 级异常区	0.6	0.2	0.2
	3 级异常区	0.5	0.2	0.3
	无异常	0.1	0.2	0.7
CaO 异常	1 级异常区	0.7	0.2	0.1
	2 级异常区	0.6	0.2	0.2
	3 级异常区	0.5	0.2	0.3
	无异常	0.1	0.2	0.7
重力异常	对成矿有利异常	0.6	0.3	0.1
	无异常	0.4	0.3	0.3
	对成矿不利异常	0.1	0.3	0.6
航磁异常	对成矿有利异常	0.6	0.3	0.1
	无异常	0.4	0.3	0.3
	对成矿不利异常	0.1	0.3	0.6

表 2 义县萤石矿控矿因素权重

Table 2 Weight of ore control factors for Yixian county fluorite deposit

控矿因素	构造	围岩	围岩蚀变	岩浆活动	F 异常	CaO 异常	重力异常	航磁异常
权重	0.35	0.15	0.08	0.15	0.10	0.08	0.04	0.05

3.4 确定模糊综合评判集 V

权重向量 W 与隶属度矩阵 R 的合成就是最终评价结果,即:

$$V=W \quad R=(v_1, v_2, v_3) \tag{5}$$

根据最大隶属度原则, V 集合中最大元素所对应的成矿远景区级别即为最终的评判结果。

具体评价时,首先应对预测区划分网格,目的是为了确定地质变量观察尺度和各控矿因素取值,提高评价结果的准确性,具体单元划分标准可参见文献^[3],再利用 GIS 中空间叠加技术^[9-11],得出每个

单元的各控矿因素的隶属度矩阵,最后根据式(5)计算出每个单元的综合评价结果,形成成矿远景区图(图 1)。

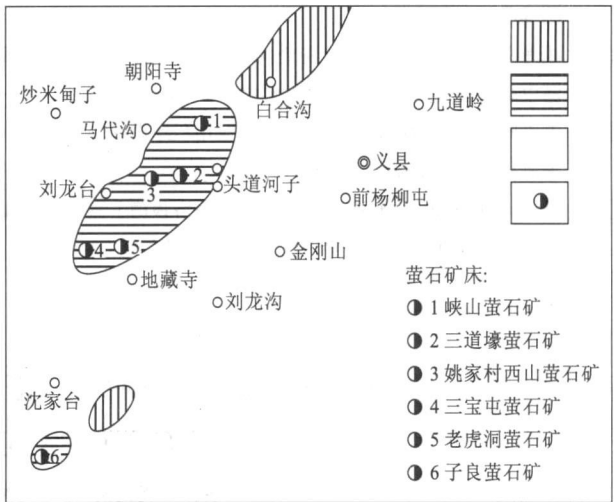


图 1 义县萤石矿成矿远景区图

Fig. 1 Metallogenic prospective areas for fluorite deposit in Yixian

4 结论

(1) 成矿预测是一个多因素影响的复杂系统,利用模糊综合评判的方法,根据最大隶属度原则确定了远景区的级别,同时利用神经网络较强的学习训练特性,自动获取各因素的权重,缓解了人为因素对预测结果的影响。

(2) 总结了义县萤石控矿的 8 个因素,利用模糊神经网络进行了远景区预测,现有的萤石矿床位置位于模型所预测的成矿有利区内,说明模型合理,可以用于成矿预测。

(3) 该方法可以推广到其他区域、其他矿种的预测,但是应结合预测对象的实际情况建立控矿因素集和相应的隶属度函数,同时为了减小预测误差,应提高专家语言的精度。

参考文献:

[1] 刘淑文. 特征分析方法在区域成矿预测中的应用[J]. 西安工程学院学报, 2002, 24(2): 26-28.

[2] 陈炳贵. 应用逻辑信息法对湖南香花岭地区酸性侵入岩体矿化规模的定量评价及预测研究[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(3): 971-980.

- [3] 赵鹏大. 矿床统计预测[M]. 北京: 地质出版社, 1994. 113-219.
- [4] 刘名龙, 黄德墉, 李勃, 等. 模糊综合评判模型在会泽铅锌矿隐伏矿定位预测中的应用[J]. 地质找矿论丛, 2005, 20(1): 57-60.
- [5] 顾尚义, 毛健全, 张启厚. 神经网络法在水城 赫章铅锌矿预测中的应用[J]. 贵州工业大学学报, 1997, 38(1): 6-11.
- [6] 王士同. 模糊系统、模糊神经网络及应用程序设计[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1998. 10-66.
- [7] 姜德义, 蒋再文, 章永武, 等. 模糊神经网络预测公路隧道揭煤突出危险性[J]. 重庆大学学报, 2000, 23(S1): 200-202.
- [8] 成卫, 李国超, 张瑾, 等. 基于自适应神经网络模糊系统的交通事故损失预测[J]. 昆明理工大学学报, 2004, 39(2): 126-129.
- [9] 付海涛, 王恩德. GIS 技术在成矿预测中的应用实例——以杨家杖子矿田为例[J]. 矿床地质, 2005, 24(6): 684-691.
- [10] 陈建平, 王功文, 侯昌波, 等. 基于 GIS 技术的西南三江北段矿产资源定量预测与评价[J]. 2005, 矿床地质, 24(1): 15-24.
- [11] 杜灵通, 吕新彪. GIS 在矿产资源评价中的应用[J]. 地质找矿论丛, 2003, 18(4): 275-278.

THE FUZZY-NEURAL NETWORK-BASED FLUORITE DEPOSIT PREDICTION IN YIXIAN

SUN Xiang¹, YANG Zi-rong¹, XU Da-di²

(1. Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning, China;

2. Liaoning Chemical Geological Prospecting Institute, Jinzhou 121000, Liaoning, China)

Abstract: Fuzzy-neural network is a method established without any model and may automatically get the relationship between input and output. With the initial weighting value established by experts the optimum weighting can be obtained by network training which can weaken the influence of man-induced factors. The method was applied in the prediction of fluorite deposit in Yixian with result correspondent to the fact and it can be used in other fields and predication of other ore deposit if the metallogenic and the grade of membership are correctly established on practical situation of appraisal area.

Key Words: fluorite; metallogenic prognosis; fuzzy-neural network; Yixian; Liaoning province