

判别分析在金矿核物探异常定性中的应用

唐桢,周四春,李娇龙,魏威,万志雄

(成都理工大学核技术与自动化工程学院,四川 成都 610059)

摘要:以马脑壳金矿为例,运用判别分析方法对核物探异常进行定性判别研究。通过SPSS软件运用费歇判别和逐步判别两种分析方法,定性非矿异常准确率分别达到83.3%和66.7%,定性有矿异常准确率分别达到89.7%和91.4%。

关键词:金矿勘查;核物探异常;判别分析;SPSS

中图分类号: P631;P632

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2011)04-0488-05

众所周知,物化探异常既可以由矿体本身产生也可能源于其他地质因素,即并非每个异常都有找矿意义,所有的物化探工作都需要对捕获的异常进行定性确认。

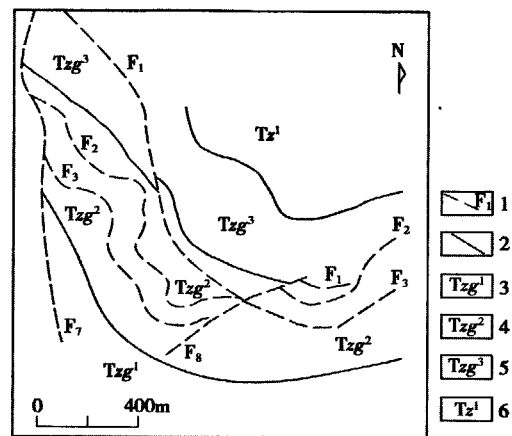
笔者以马脑壳金矿某勘查区金矿勘查工作为例,运用判别分析方法对核物探异常进行定性分析及相关研究。

1 地质概况

勘查区位于马脑壳矿段东侧某地,东西长1.8 km;北以 F_1 断层为界,南至 F_8 断层为限。面积4.05 km²(图1)。

勘查区内主要构造方向为北西—南东,由一系列褶皱和逆冲断层组成。北西向主要断裂: F_1 出露在矿区北部,属洋布梁推覆断裂的前锋断裂,为高角度逆冲断层,上盘为杂谷脑组下段地层,下盘为杂谷脑组上段地层,为区内重要的导矿和容矿构造; F_2 、 F_3 产于扎尕山组二段地层中,是矿区重要的容矿构造,断层面产状与地层产状基本一致,倾向北北东,倾角30°~40°,由挤压破碎角砾岩组成,热液蚀变发育,为矿区最主要的含矿构造带; F_5 断层为矿区成矿的南部边界断层。北北东向主要断裂: F_6 鹿耳韭沟断层; F_7 上马梁城沟断层,为平移性断层; F_4 杨布梁沟断层,为左旋平移断层。这些北北东断层切割北西向断裂。

矿区出露的地层为上三叠统杂谷脑组和中三叠统扎尕山组。杂谷脑组上段岩性为薄层、条带状灰岩,下段岩性为中—厚层状杂砂岩夹绢云板岩。扎尕山组上段为粉砂微晶灰岩、钙质绢云板岩和中厚



1—断层与编号;2—地质界线;3—三叠系扎尕山组下段钙质粉砂质板岩与钙质绢云板岩互层,夹结晶灰岩;4—三叠系扎尕山组中段钙质砂质板岩、钙质绢云板岩、变质砂岩夹砂质灰岩;5—三叠系扎尕山组上段粉砂微晶灰岩、钙质绢云板岩和中厚层石英砂岩;6—三叠系杂谷脑组下段中—厚层状杂砂岩夹绢云板岩

图1 勘查区地质略图

层石英砂岩;中段为钙质砂质板岩、钙质绢云板岩、变质砂岩夹砂质灰岩。为主要的含矿层位;下段为钙质粉砂质板岩与钙质绢云板岩互层,夹结晶灰岩透镜体^[1]。

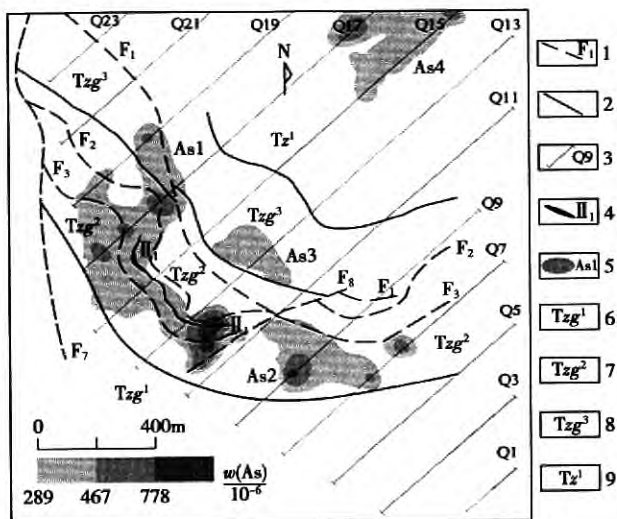
2 物化探方法及成果

根据工作区褐铁矿化、绿泥石化、碳酸盐化、硅化、雄黄矿化、辉锑矿化发育的围岩及断裂带、破碎带是良好的找矿标志的特点,开展了伽马能谱测量,以解决围岩蚀变圈定问题。

通过对金矿成矿元素或其他特征指示元素(如Zn、Cu、Pb、As、Sb、Fe等)的测量,可以圈定金矿有利赋存区域,快速获取金矿地球化学晕的位置与分布形

态。根据金矿一般产出于断裂及破碎带、热液脉上,有良好金、砷、锑、汞地球化学异常的特点^[2],开展了土壤 X 荧光测量,以获取前述元素信息,用于解决地球化学异常捕获问题。

对于土壤地球化学测量来说,金矿的最好指示元素是 As、Sb 和 Hg,特别是 As^[3]。在勘查区 4.05 km² 区域内,按 1:2 万比例尺,完成了 700 多个测点的伽马能谱与土壤 X 荧光测量,根据测量数据编制了 As 异常平面等值线图,圈定了 4 个 As 异常区(图 2)。



1—断层及编号;2—地质界线;3—测线及编号;4—矿体及编号;
5—As 异常及编号;6—三叠系扎杂山组下段;7—三叠系扎杂山组中段;8—三叠系扎杂山组上段;9—三叠系杂谷脑组下段

图 2 土壤 X 荧光测量 As 异常等值线平面

3 判别分析确认异常性质的原理

异常判别的基本理论是相似类比理论,即相同或相似的地质特征应有相同的地质产出。因此,人们可以通过对已知有矿地区的异常情况和待判别异常地区特征的对比如分析来推断待评价地区的性质,即从已知到未知的评价思想。

在数学上这类评价方法,被称为判别或识别。判别从建模的已知组数量来讲,一般分 2 组判别和多组判别。本项目,采用了费歇判别法、逐步判别等判别方法。

3.1 费歇判别

费歇(Fisher)判别又称典则判别(canonical discriminant)^[4],由提出该方法的 Fisher 而命名,适用于判别指标为定量的两类判别问题。

费歇判别分析法是根据观测到的样本的若干数量特征,对新获得的样本进行归类、识别,判断其所属类型的一种多元统计分析方法。该判别法对原始

数据分布无特殊要求。

判别分析实质上是依据能明显区分两类母体(有矿异常、非矿异常)的一组变量,建立起一个能最大限度分离两类母体的多变量判别函数,对未知属性的样品,只要测出其参数,算出判别函数值并与判别函数的临界值比较,就可以判断其归属。判别函数^[4-5]的一般形式如下:

$$R = \sum_{k=1}^p \lambda_k X_k = \lambda_1 X_1 + \cdots + \lambda_p X_p,$$

式中, R 为判别函数(discriminant function); λ_k 为判别系数; X_k 为变量的实测值。

利用建立 R 判别函数式的 2 个母体的各个样品的 P 个变量,分别求出其判别值,并分别记为 R_i^A 和 R_i^B 。由此求 A 类母体的判别得分值为

$$\bar{R}_A = \frac{1}{N_A} \sum_{i=1}^{N_A} R_i^A;$$

B 类母体的判别得分值为

$$\bar{R}_B = \frac{1}{N_B} \sum_{i=1}^{N_B} R_i^B;$$

判别函数临界值为

$$R_0 = 1/2(\bar{R}_A + \bar{R}_B)。$$

设母体 A 为有矿异常,母体 B 为非矿异常,且有 $\bar{R}_A > \bar{R}_B$,那么如果待判别异常的 $R > R_0$,便可将其判为有矿异常,否则判为非矿异常。

3.2 逐步判别

在多个变量中,有的变量对区分总体的判别能力可能很强,有的可能很弱,如果不加区别地把多个变量全部用来建立判别函数,必然增加大量的计算,还可能因为变量间的相关性引起计算上的困难(病态或退化)及计算精度的降低。另一方面由于一些对区分总体的判别能力很小的变量的引入,产生干扰,致使建立的判别函数不稳定,反而影响判别效果。这就自然地提出一个变量的选择问题,即如何从多个变量中挑选出对区分总体有显著判别能力的变量,来建立判别函数,用以判别归类。

逐步判别(stepwise discriminant analysis)的基本思想和逐步回归是类似的。逐个引入变量,每次把一个判别能力最强的变量引入判别式,每引入一个新变量,对判别式中的老变量逐个进行检验,如其判别能力因新变量的引入而变得不显著,应把它从判别式中剔除。这种通过逐步筛选变量使得建立的判别函数中仅保留判别能力显著的变量的方法,就是逐步判别法^[6]。

逐步判别分析只能保证对类别判断有统计意义的变量建立判别函数,并不一定是平均错判率最小

的判别函数^[4,7]。常用的方法是 Bayes 逐步判别,变量筛选的原则为统计显著性准则,方法有前进法、后退法和逐步法。每步引进或剔出一个变量,其标准是通过计算 Wilks 量进而作 F 检验,因而需确定显著性水平 α 和 F 值^[4]。

通过逐步判别分析建立的判别函数对待判别的异常进行分析,判别异常归属于有矿异常或是非矿异常。

4 异常的判别

对于数据处理及判别分析,我们是在数理统计软件 SPSS 上进行的。数据处理及分析结果均由 SPSS 软件计算得出。

4.1 特征变量的选取

为了对捕获的 As 异常区进行矿与非矿定性识别,我们对异常区内测量获得到的 14 个特征变量进行了选取。其中包括 10 个由 X 荧光仪器测量得到的特征变量(As、Sr、W、Cu、Zn、Cr、Mn、Ni、Fe、Ca)和 3 个由伽马能谱仪测量得到的特征变量(U、Th、K)以及 1 个土壤 α 强度的特征值。

根据单变量组间均值相等的假设检验结果显示,在 0.05 的显著水平下,变量 U、Th、K 和 Sr 以小于 5% 的犯错概率有显著的差异^[5-6],变量 Ca、Cr 和 Ni 的犯错率仅仅略高于 5% 也有着较为显著的差异。除此之外的其他变量的犯错率远大于 5%,将不考虑其作为判别函数的变量。因此我们一共选定了 7 个变量作为建立 Fisher 判别函数的变量,分别是 U、Th、K、Sr、Ca、Cr、Ni。需要注意的是,在建立逐步判别分析函数时,并没有把 7 个变量全部引入到函数中,而是仅将判别能力最为显著的变量(Ca、Th)引入到判别函数中。

需要说明的是,根据 As 与 Au 有明显的共生关系,通过圈定 As 异常区可以很好地指示金矿。但是根据单变量组间均值相等的假设检验结果显示,在不同 As 异常区内的 As 并没有较为显著的差异,因此 As 不具备成为判别函数变量的条件。而其他一些金矿床伴生元素或指示元素,如 U、Th、K、Sr、Cr、Ni^[3],却有较为显著的差异,另外 Ca 也具有显著的不同。

由此通过圈定 As 异常区,在异常区内选取具有显著差异的金矿床指示性元素或伴生元素,以及其他具有显著差异的元素作为判别函数的变量。

4.2 采样点选取

通过工作区异常特征数据的计算分析,成图后显示 As 异常区域较多(如图 2 所示),但并不是每

个 As 异常区域都是含金的有矿异常,必须判断异常性质。为此,我们选取已经确定含有金矿且显示 As 异常的地区(有矿异常区)和已经确定不含矿但也显示 As 异常的地区(非矿异常区)作为已知的异常定性的标准,建立判别函数 R ,并求出判别函数的临界值 R_0 ,然后将未知的异常求得函数值结果与 R_0 比较,由此判别其为有矿异常或是非矿异常。

选取北部 As 含量异常地区内的异常点为建立模型的非矿异常点;选取南部断层附近的 As 含量异常地区内的异常点为建立模型的有矿异常点。根据工作区内的测得的数据(整个工作区内,测得的 As 含量的平均值为 289×10^{-6} ,其标准差为 178),将计算得出的 As 含量值划分为三类:A 类,As 平均含量到其加上 1 倍标准差 $[(289 \sim 467) \times 10^{-6}]$;B 类,As 平均含量加上 1 倍标准差到平均含量加上 2 倍标准差 $[(467 \sim 645) \times 10^{-6}]$;C 类,As 平均含量加上 2 倍标准差以上($>645 \times 10^{-6}$)的异常点。

在北部异常地区中,As 含量异常的点共计 26 个,其中 A 类点占 84.6%,其平均含量为 362.39×10^{-6} ,B 类点占 11.6%,其平均含量为 529.5×10^{-6} ,C 类点占 3.8%,其平均含量为 867.5×10^{-6} 。

在南部异常地区,As 含量异常点共计 39 个,其中,A 类点占 69%,其平均含量为 341×10^{-6} ,B 类点占 21%,其平均含量为 568.66×10^{-6} ,C 类点占 10%,其平均含量为 784.53×10^{-6} 。

在北部、南部异常地区内分别选取 15 个点建立判别函数,根据各类点所占的比例,在北部地区中,选取接近 A 类平均含量的异常点 12.7 个(实际计算中选取 13 个),接近 B 类平均含量的点 1.7 个(实际计算中选取 2 个),接近 C 类平均值含量的点 0.6 个(实际计算中选取 1 个);同样根据比例选取南部地区中接近 A 类平均含量的点 10.35 个(实际计算中选取 10 个),B 类点 3.15 个(实际计算中选取 3 个),C 类点 1.5 个(实际计算中选取 2 个)。

4.3 模型建立

北部异常地区内选取的异常点设为第 0 组(非矿异常组);南部断层周围异常区内选取的异常点设为第 1 组(有矿异常组),分别用费歇判别、逐步判别进行分析。

对于非矿异常判别待判点,在北部地区 26 个异常点中选取 15 个模型建立标准点,剩余的 11 个点加上西北区 7 个异常点,一共有 18 个待判点。

对于有矿异常判别待判点,在南部地区 39 个异常点中选取 15 个模型建立标准点,剩余的 24 个点加上其他区域 34 个异常点,一共有 58 个待判点。

4.4 判别结果

4.4.1 交叉验证结果

费歇判别结果显示(表1)^[7],在15个待判点中,0组判对14个,错判1个,正确分类率为93.3%;1组判对13个,错判2个,正确分类率为86.7%。

表1 费歇判别交叉验证结果

参数	0组	1组	合计
正确数	14	13	27
正确率	93.3%	86.7%	90.0%
错误数	1	2	3
错误率	6.7%	13.3%	10.0%

逐步判别结果显示(表2),在15个待判点中,0组判对14个,错判1个,正确分类率为93.3%;1组判对15个,错判0个,正确分类率为100%。

表2 逐步判别交叉验证结果

参数	0组	1组	合计
正确数	14	15	29
正确率	93.3%	100%	96.7%
错误数	1	0	1
错误率	6.7%	0%	3.3%

4.4.2 待判点非矿异常判别结果

Fisher判别结果显示(表3):在18个待判点中,判为0组的有15个,占总体的83.3%;判为1组的有3个,占总体的16.7%。

逐步判别结果显示(表4):在18个待判点中,判为0组的有12个,占总体的66.7%;判为1组的有6个,占总体的33.3%。

表3 非矿异常待判点判别结果

判别方法	Fisher判别	逐步判别	综合判别
判为0组	15	12	13.5
所占率	83.3%	66.7%	75%
判为1组	3	6	4.5
所占率	16.7%	33.3%	25%

表4 有矿异常待判点判别结果

判别方法	Fisher判别	逐步判别	综合判别
判为0组	6	5	5.5
所占率	10.3%	8.6%	9.5%
判为1组	52	53	52.5
所占率	89.7%	91.4%	90.5%

4.4.3 待判点有矿异常判别结果

Fisher判别结果显示(见表3):在58个待判点中,判为0组的有6个,占总体的10.3%;判为1组的有52个,占总体的89.7%。

逐步判别结果显示(见表4):在58个待判点

表5 异常定性综合判别结果

异常区	有矿异常概率	非矿异常概率
北异常区	25.0%	75.0%
南异常区	90.5%	9.5%

中,判为0组的有5个,占总体的8.6%;判为1组的有53个,占总体的91.4%。

4.4.4 判别结果说明

验证结果与判别结果表明(表1~表5),分类正确率较高,所建立的判别模型稳定。根据Fisher判别结果、逐步判别结果及异常定性综合判别结果,可以判定南部断层附近显示的异常区有很高的概率,是有矿异常地区,而其他的显示异常的地区,非矿异常的概率很高。综合判别分析的结果为异常定性提供了可靠的数学依据。

5 结论

综上所述,得到以下的结论。

(1)在马脑壳地区,通过X荧光、伽马能谱等核物探测量,能够快速捕获与金矿有关的核物探异常。其中As异常与金矿关系最为密切,可以作为进一步找矿的研究区。

(2)在捕获的As异常区内,可以选取U,Th,K,Sr,Ca,Cr,Ni作为Fisher判别函数的判别变量,建立判别函数;选取Ca,Th作为逐步判别函数的判别变量,对As异常是否为矿(化)异常作出定性判别。

在本工作中得到四川九寨沟马脑壳金矿代万贵总工、重庆205地质队吴立新工程师的热情帮助,特在此表示诚挚地感谢!

参考文献:

[1] 王可勇,姚书振,杨言辰,等.川西北马脑壳微细浸染型金矿床地质特征及矿床成因[J].矿床地质,2004,23(4):495-501.

[2] 周四春,赵琦,陈慈德.现场多元素X荧光测量技术勘查金矿研究[J].核技术,1999,22(9):539-544.

[3] 章晔,华荣洲,石柏慎.放射性方法勘查[M].北京:原子能出版社,1990.

[4] 沈其军. SAS统计分析[M].北京:高等教育出版社,2005.

[5] 克劳斯·巴克豪斯,本德·埃里克森,伍尔夫·普林克,等.多元统计分析方法[M].上海:格致出版社,2009.

[6] 高惠璇.应用多元统计分析[M].北京:北京大学出版社,2005.

[7] 倪青山,刘小丹. SPSS应用实验教程[M].湖南:湖南大学出版社,2007.

THE APPLICATION OF DISCRIMINANT ANALYSIS TO NUCLEAR GEOPHYSICAL ANOMALY QUALITATIVE DETERMINATION IN GOLD ORE DEPOSITS

TANG Zhen, ZHOU Si-chun, LI Jiao-long, WEI Wei, Wan Zhi-xiong

(College of Applied Nuclear Technology and Automation Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: With the KNM gold ore deposit as an example, the authors carried out qualitative discrimination of nuclear geophysical anomaly by using discriminant analysis composed of canonical discriminant and stepwise discriminant analysis. Discriminant analysis was employed for gold prospecting, while SPSS software was used for data analysis. It is found that, with these two means, accurate characterization of barren anomalies reaches 83.3% and 66.7% respectively, while accurate characterization of ore-related anomalies reaches 89.7% and 91.4% respectively.

Key words: gold exploration; nuclear geophysical anomaly; discriminant analysis; SPSS

作者简介:唐桢(1987-),男,在读硕士研究生,成都理工大学核技术与自动化工程学院,研究方向:核技术在地学及相关学科中的应用。

· 书 讯 ·

《重磁电数据处理解释软件 RGIS》一书公开发行

《重磁电数据处理解释软件 RGIS》一书由地质出版社 2011 年 5 月出版,张明华、乔计花、黄金明、王成锡、韩革命、田黔宁、刘玲、胡麟臻等人编著。该书中,介绍了由中国地质调查局发展研究中心牵头研发,当前在我国广泛使用的重磁电数据处理与解释软件系统 RGIS 的使用方法,并从理论和实践的角度给出了相关重磁数据处理与反演解释方法常见的问题和注意事项。可作软件用户手册,也可作为物探专业学生参考书。

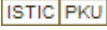
RGIS 软件系统具备基本的 GIS 功能和主要的物探重、磁、电专业数据整理、处理与解释功能,包括重力测量数据规范化整理、重磁数据预处理和滤波、延拓、求导、化极(包括低纬度、变纬度化极)、分量转换、水平总梯度、解析信号、曲化平、异常分离、界面反演、磁源深度计算、伪重或伪磁异常计算、2.5D 可视化重磁联合反演(包括 Δg 、 ΔT 、 Z_a 、 H_a)、三维重磁异常反演、相关分析、趋势分析、回归分析等处理,以及一维电测深、二维电阻率极化率正反演、二维 MT 反演、一维 TEM 正反演、2.5 维 TEM 正反演、电阻率地形改正等电法数据处理与反演功能。

RGIS 系统可用于完成如下工作:①基于 GIS 功能管理空间点位、图形,重力和航磁、地磁数据及电阻率、极化率、大地电磁、瞬变电磁数据;②数据投影转换与预处理;③重磁面积测量数据的频率域和空间域转换处理;④重磁剖面测量数据的频率域和空间域转换处理;⑤重磁异常正反演解释;⑥电法数据处理;⑦重力基础图件和重磁处理解释成果图件制作与输出;⑧电法拟断面图制作与输出。

(供稿 张明华)

作者：[唐桢](#)，[周四春](#)，[李娇龙](#)，[魏威](#)，[万志雄](#)，[TANG Zhen](#)，[ZHOU Si-chun](#)，[LI Jiao-long](#)，[WEI Wei](#)，[Wan Zhi-xiong](#)

作者单位：[成都理工大学核技术与自动化工程学院, 四川成都, 610059](#)

刊名：[物探与化探](#) 

英文刊名：[Geophysical and Geochemical Exploration](#)

年，卷(期)：2011, 35(4)

参考文献(7条)

1. [王可勇](#); [姚书振](#); [杨言辰](#) [川西北马脑壳微细浸染型金矿床地质特征及矿床成因](#) [期刊论文] - [矿床地质](#) 2004(04)
2. [周四春](#); [赵琦](#); [陈慈德](#) [现场多元素X荧光测量技术勘查金矿研究](#) [期刊论文] - [核技术](#) 1999(09)
3. [章晔](#); [华荣洲](#); [石柏慎](#) [放射性方法勘查](#) 1990
4. [沈其军](#) [SAS统计分析](#) 2005
5. [克劳斯?巴克豪斯](#); [本德?埃里克森](#); [伍尔夫?普林克](#) [多元统计分析方法](#) 2009
6. [高惠璇](#) [应用多元统计分析](#) 2005
7. [倪青山](#); [刘小丹](#) [SPSS应用实验教程](#) 2007

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wtyht201104011.aspx