

概率图解法软件研制及其在东升庙矿床研究中的应用

王 琳^{1,2}, 彭润民^{1,2}, 韩雪峰³, 林美春³

(1 中国地质大学(北京), 北京 100083;

2 中国地质大学“岩石圈构造、深部过程及探测技术”教育部重点实验室, 北京 100083;

3 内蒙古化工地质勘察院, 呼和浩特 430074)

[摘 要] 文章根据概率图解法原理, 利用 VB 可视化编程技术, 完成了概率图筛分软件的研制。并通过该软件对东升庙矿床矿石品位混合总体进行筛分处理, 探究其成矿期次信息。已有研究表明: 一次成矿作用形成的矿床, 其矿石品位的累积概率图是一条直线。而东升庙矿床的 8 条代表性勘探线中 4 种主要成矿元素 TS、Zn、Pb、Cu 品位的累积概率图均为曲线且出现明显拐点, 经多次作图检验证实有效拐点数为 1, 由此得到新的成矿期次信息, 揭示该矿床经历了两期成矿作用, 即中元古代同沉积 - 海底喷气矿化期和后期改造矿化期, 这对于研究其成矿物质来源和成矿机理具有重要的意义。

[关键词] 概率图 筛分 东升庙 成矿期

[中图分类号] P628 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495 - 5331(2008)01 - 0089 - 05

确定矿床的成矿期次是研究矿床成因的关键性问题之一。在有足够样品量的前提下, 概率图解法可有效地分析矿床的形成过程, 但需要进行大量的计算才可完成。目前还没有出现可视化效果好、参数调节灵活、并提供不同参数设定下筛分图对比的概率图解法软件。本文旨在研制并开发以概率图解法原理为基础, 以 Windows 平台为依托的可视化制图软件, 实现概率图解法筛分功能的集成化, 并利用该软件对内蒙古东升庙矿床的形成过程进行研究, 为分析东升庙矿床的成矿期次提供了新的依据。

1 概率图解法软件的研制

1.1 概率图解法的基本原理

矿床是复杂地质作用的结果, 矿床形成后又经历不同形式和不同程度的变化。由于矿床的形成具有多来源、多阶段和多成因的特点, 所以可以将矿床的形成过程看作是多个总体的混合或叠加。在数学上这种混合或叠加可以用混合总体筛分的数学模型来描述^[1]。

辛克莱 (1976) 研究表明, 大多数内生金属矿床的成矿元素品位都具有正态分布的特点, 而符合正

态或对数正态分布是概率图解法处理数据的前提。概率图解法的基本原理是: 一期成矿作用形成的矿床, 其矿石品位累积概率图是直线; 若品位累积概率图是曲线且出现 1 个有效拐点, 则代表有两期成矿作用发生; 同理出现 2 个有效拐点代表有三期成矿作用发生^[3]。

1.2 软件研制的主体思路与创新点

软件实现了从 Access 通用数据库读取数据, 利用概率图成图原理将具有复杂成因机理的矿石品位总体累积概率图绘制在二维坐标系中, 根据作图需要对组距和边界品位值等参数进行设置, 得到符合要求的一系列数据点, 用不同次数的函数曲线对数据点进行拟合, 找到拟合程度最好的作为原始数据总体的曲线。根据原始数据曲线有效拐点的数目将其筛分为 2 个或多个总体, 并针对其线性形态变化和筛分后单总体品位值高低进行地质解释, 为研究矿床成矿物质来源和成矿期次提供有价值的信息。

在确定矿石品位总体是否属于混合总体时, 有时会因为样品数据量过少或分组不恰当而误将单总体画成多总体, 因此软件中应该提供多个参数设置方案, 便于进行对比, 从中选择最理想的参数组合作

[收稿日期] 2006 - 12 - 18; [修订日期] 2007 - 03 - 12。

[基金项目] 国家重点基础研究发展计划项目 (编号: 2006CB403503)、国家自然科学基金项目 (批准号: 30572064)、国家自然科学基金重点项目 (批准号: 40234051) 和内蒙古自治区地质勘查招标项目 (编号: 2004—01—KY2) 联合资助。

[第一作者简介] 王 琳 (1979 年—), 女, 2005 年毕业于中国地质大学 (北京), 获硕士学位, 在读博士生, 现主要从事地学信息处理与 GIS 应用方面的研究工作。

图。目前很多筛分软件不能快捷的显示这种参数调节的效果,而且在成图参数上的设置也不尽如人意。针对这种情况,文章在新开发的筛分软件中增加了矿石边界品位值、组距及品位坐标轴最大、最小值的设置,方便分析不同参数设置下品位筛分图的差异。边界品位是用来划分矿与非矿界限的最低品位,边界品位值的设置,可以更好的反映其统计特征,减少对无意义的品位值的复杂计算,进而提高运行效率。同样,不同的组距设置也会直接影响数据点的疏密程度。品位坐标轴的起始值默认为原始品位总体的品位最大值和最小值,但有时最大值与最小值之间的品位值要超出边界品位值,这样在边界值之外的品位就应该舍去,否则将使得作图的有效区域过小,可见相应地改变品位坐标轴的起始坐标是非常必要的。

1.3 数据筛分步骤与流程图

矿石品位筛分过程如下:对矿石品位值进行累加求和,取平均值,求标准差,确定分组的组距。Shaw (1964)^[4]认为,分组组距最好选择在数据标准

差的四分之一到二分之一之间。因此文章中组距的选取范围就是品位值标准差的四分之一到二分之一之间的所有数值,可以根据筛分拟合的理想程度确定适当的组距。用分组后每个组的组中值代表本组的品位,即组值,并求出分组后各组值在总体中出现的频率百分比。以组值为横坐标,以其在混合总体中出现的频率百分比累积值为纵坐标,在概率图上描出原始数据点。用一条光滑的函数曲线来逼近原始数据点,计算出这条函数曲线的所有拐点值,并筛选出作图有效的拐点个数 R ,进而确定筛分次数 N ($N = R + 1$)。原始品位值曲线与筛分后各单总体的理想联合曲线拟合度最好时的拐点视为有效拐点,通过原始品位数据曲线的均值、标准差与理想联合曲线的均值、标准差的对比 (表 2)也可以定量检验拟合的精度,拟合度不理想的拐点可以舍去。进行 N 次筛分后,即可得出筛分图及筛分后单总体的统计信息,通过这些我们就可以对矿床的成矿期次进行分析,以上步骤简化为数据处理流程图 (图 1)。

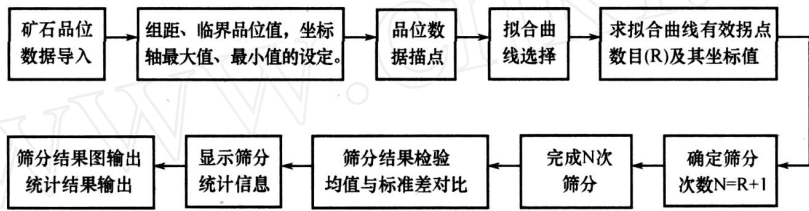


图 1 数据流程图

1.4 应用概率筛分软件的优势

应用该软件对矿石品位总体进行筛分有如下三方面优点:第一,提高了筛分矿石品位混合总体的精确度。矿床成因和成矿过程的复杂性决定了成矿元素品位总体可能是单总体,也可能是多个单总体的混合。前者与后者的地质意义有很大不同,筛分软件可以有效的避免因手工计算产生的误差,较为精确计算出单总体的个数。第二,提供便于直观分析的筛分图。利用可视化编程手段,显示不同参数设置下的矿石品位筛分图,便于进行快捷的分析和对比,进而找到理想的作图参数设置组合。第三,快速完成数据的批量处理,实用性及普及性强。概率筛分法与计算机技术的结合,有效地提高了运算效率,并确保了一定误差范围内的准确性。电子计算机的图形显示功能,实现了混合品位总体筛分的自动化与可视化。软件中设置具有人机对话功能的参数调节手段,既有利于引导使用者的正确操作,同时也提高了统计分析的效率。

2 概率图解法软件在东升庙矿床研究中的应用

2.1 东升庙矿床研究概况

内蒙古狼山位于东经 107°北纬 41°,东升庙矿床 (图 2)是华北地台北缘西段狼山—渣尔泰山成矿带的代表性矿床之一,它产在狼山南麓的渣尔泰裂谷中,其成矿作用过程是比较复杂的,再加上成矿后的构造变化就更为复杂,前一作用过程的产物又被后来的成矿作用过程所改造、叠加,故只能根据现在保存下来的混杂的地质作用产物来推断其初始组成与结构,并推断其演变过程。关于其矿床地质特征与成因,前人已做大量研究^[5-13],这里不再赘述。在过去的研究中,多只关注矿床的形成过程,包括成矿环境、矿质来源、控矿因素以及成矿作用方式等,而对成矿后变化、改造这一重要内容却未能从定量的角度进行研究,有学者认为东升庙矿床具有多期成矿的特征^[14,15],但对其具体成矿期次的确定,尚缺乏研究。文章利用研制的筛分软件对东升庙矿床

8条代表性勘探线的锌、铅、铜、硫品位总体进行筛分,旨在探究其具体的成矿期次,并定量分析每个成矿期中品位总体的组成比例。

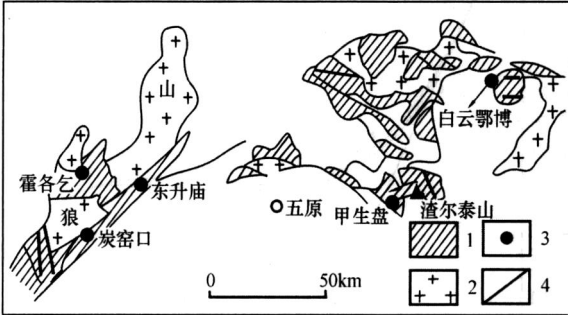


图 2 狼山—渣尔泰山成矿带典型矿床分布图
(据 Wang K, Zhao Y, 1994和 Miu Y, Ran C, 1992综合)
1—中元古代渣尔泰 - 狼山群; 2—酸性侵入体; 3—典型矿床; 4—正断层和逆断层

表 1 东升庙矿床勘探剖面品位数据分布情况

勘探线	TS (样品数)	Zn (样品数)	Pb (样品数)	Cu (样品数)
4	313	284	285	260
8	481	337	337	325
12	360	302	302	302
14	643	553	542	493
18	288	259	259	259
20	120	118	104	46
24	180	164	164	132
28	120	120	120	119

据化工部内蒙古地质队, 1990。

东升庙矿床的 8 条勘探线中均含有 TS、Zn、Pb 和 Cu 4 种主要成矿元素。表 1 说明了品位数据的分布情况,通过软件处理后共得到筛分结果图 51 幅。现以 12 号勘探线为例,每种成矿元素各一幅筛分图 (图 3~图 6),其筛分后统计数据如表 2。

表 2 12号勘探线品位总体筛分统计信息

样品名称	最大值 /%	最小值 /%	平均值 /%	标准差 /%	组距 /%	有效拐 点数 / 个	拐点纵 坐标 / %	边界品 位值 / %	筛分 次数	理想平 均值 / %	理想标 标准 / %
TS	27.69	0.23	16.238	5.882	3.0	1	44.088	8.0	2	16.244	6.077
Zn	33.27	0.01	6.427	7.472	3.2	1	7.977	0.5	2	6.495	6.674
Pb	7.04	0.01	2.07	1.816	0.9	1	15.311	0.5	2	2.046	1.635
Cu	3.25	0.01	1.035	0.657	0.3	1	12.031	0.5	2	0.963	0.638

2.2 品位筛分图地质解释

综合观察 8 条勘探线的 51 幅品位筛分图,发现其具有一致的规律性,现以具有代表性的 12 号勘探线的 4 幅结果图为例,解释从中得出的成矿期次信息。

2.2.1 硫元素 (TS)

硫元素原始矿石品位曲线的拐点纵坐标为 44.088,说明筛分后的高、低品位单总体分别约占原混合总体的 56%和 44%。筛分后高低两个单品位总体呈近平行的趋势 (图 3),即两个单总体的标准差接近,可见两个单总体组成混合总体的比例接近一致,说明高低品位总体充分叠加,且分别控制混合品位总体的高值部分和低值部分,显示出两期成矿的特征。根据硫同位素测定资料,有一部分硫基本上与火山成因硫同位素组成的变化范围相吻合,并且还有相当部分与赋矿围岩中的硫一致,反映出是火山带来的成矿物质中的硫与陆源侵蚀带来的矿质中的硫共同组成原始矿源层中的硫元素,而上述硫品位总体筛分出的高低品位单总体也验证了这一点,并且得到了两部分硫组成的准确比例。

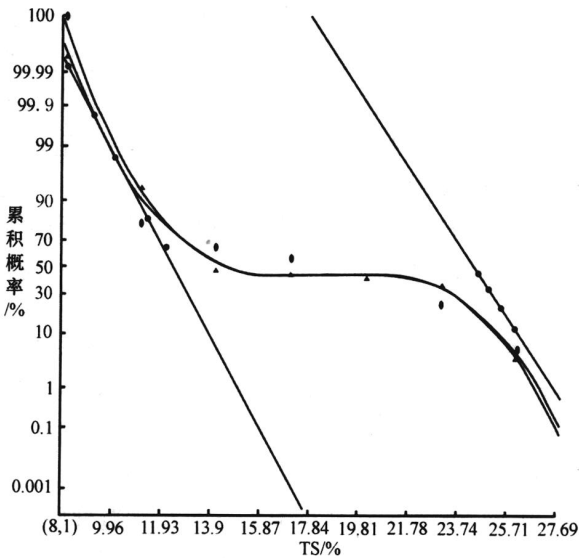


图 3 12号勘探线 TS品位两总体筛分

2.2.2 锌元素 (Zn)

锌品位累积概率曲线有效拐点的位置偏向前端 (图 4),其拐点纵坐标为 7.977,所以锌混合总体的品位值大部分受高品位单总体的影响,高品位总体约占 92%,可看作背景值。且从图上可看出拟合曲线

对混合品位总体的前端拟合程度较好,说明筛分出的低品位总体数值比较准确。而拐点后部的混合总体曲线局部拟合出现误差,初步判断原因是占主导位置的高品位矿体在后生矿化期中遭受一系列有规律的叠加改造,导致锌元素的重新分散富集或迁移,说明二次叠加成矿作用对锌元素的富集影响较大。

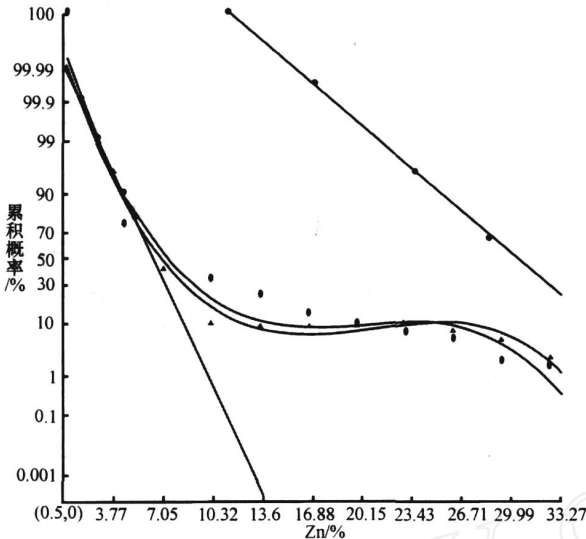


图 4 12号勘探线 Zn品位两总体筛分

2.2.3 铅元素 (Pb)

与 Zn元素相似, Pb元素品位概率图也具有两期矿化的特征 (图 5)。其高品位单总体在混合品位总体中起主导作用,约占 85%,主要来源于海底喷流-沉积,属于同沉积矿化。而低品位单总体仅占混合总体组成的 15%,主要来源于后生改造矿化期。数据处理中,不同组距值的选取在作图上对品位筛分的结果影响不大,其主要原因是 Pb的品位值大部分来源于高品位总体,数值分布比较均一,波动较小。

铅锌是本矿床的主要成矿元素, Pb平均品位为 2.07%, Zn平均品位为 6.427%, Zn/Pb比值对矿床成因的研究,能够提供较重要的信息。不同成因热液型矿床的 Zn/Pb比值不同,岩浆期后热液型矿床,其 Zn/Pb比值往往小于 2;而沉积改造型层控矿床,其 Zn/Pb比值往往大于 2;本矿床 Zn/Pb比值为大于 2,与改造型层控矿床 Zn/Pb比值相一致,说明本矿床具有层控特征,且的确经历了后期改造矿化作用。

2.2.4 铜元素 (Cu)

在本次研究的数据中,满足 Cu品位值大于 0.3%边界品位的数据不多。用不同的组距作图,均表现为混合品位总体前端拟合较好 (图 6)。根据

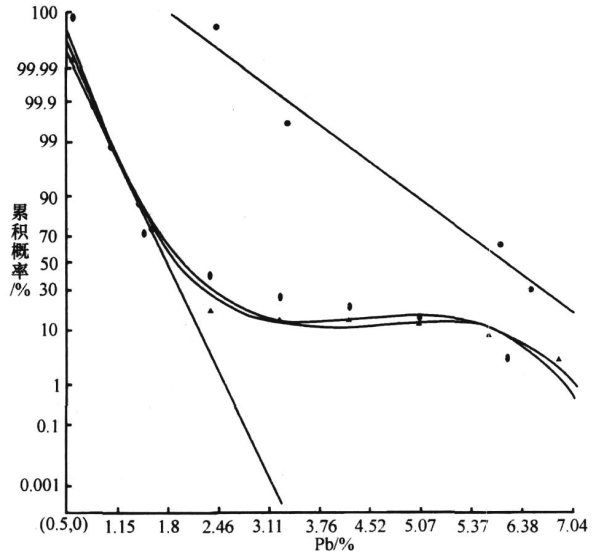


图 5 12号勘探线 Pb品位两总体筛分

Co/Ni比值判断黄铁矿为内生,因为黄铁矿与黄铜矿共生,所以矿床中的黄铁矿以及共生的黄铜矿可能均为内生成因,因此推测此部分 Cu元素来源于海底火山喷发,多金属硫化物沉积作用形成,又由于岩浆侵入围岩,发生蚀变,致使矿层和围岩中的 Cu参与改造成矿。Cu元素的两种不同来源,说明后期叠加成矿作用对矿床中 Cu元素的富集影响很大。同样根据容矿围岩的稀土元素含量高于矿石的稀土元素含量^[18],也可反映出是 Cu元素的组成是两种物质来源,即相应的两期成矿作用的结果。

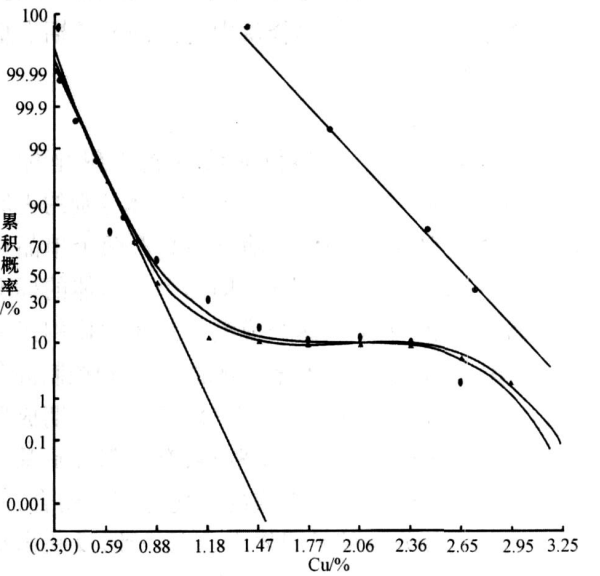


图 6 12号勘探线 Cu品位两总体筛分

3 结论

概率图解法是一种若干数据集在单一图解中的

紧凑图形的表示,既可以实现概率密度多峰分布的识别与筛分,也是一种针对正态数据集的高效、直观的作图方法。文章根据其原理研制的软件能够在很大程度上拓展它的应用范围,与原始概率图计算方法相比,软件既节省了计算时间,又提高了筛分精度,通过简洁的图形表示,一目了然的判断出数据集是单一总体还是混合总体,复杂的计算过程隐藏在界面后,让使用者感到软件操作的简单与快捷,提高了工作效率。

东升庙多金属矿床是华北地台北缘西段的重要代表性矿床,一直被认为是中元古代的热液喷流-沉积变质矿床,其形成过程中,有明显的、间歇性的海底火山喷发^[19],然而除了与火山活动及古陆提供成矿物质形成的矿源层密切相关外,后期构造变形对矿床的形成也是至关重要的因素。文章利用研制的筛分软件对东升庙矿床 8 条代表性勘探线的 4 种主要成矿元素品位 (TS、Zn、Pb、Cu)总体的概率图进行筛分,依据筛分曲线出现的有效拐点数目为 1,说明成矿元素来源有两种,据此推断该矿床确有两期矿化作用叠加发生:即海底拉张喷溢-沉积成矿期和后期构造挤压变质-叠加成矿。

[参考文献]

[1] 崔 彬,赵 磊,詹朝阳,等. 硫同位素混合总体筛分[J]. 地球学报, 2003, (6): 494 - 496.
[2] A. J. 辛克莱. 概率图在矿床勘探中的应用[M]. 北京:地质出版社, 1976.
[3] 侯景儒,郭光裕. 矿床统计预测及地质统计学的理论与应用[M]. 北京:冶金工业出版社, 1993.
[4] Shaw. Denis M. Interpretation geochemique des elements en traces dans les roches cristallines[M]. Paris: Massonet Cie, 1964.
[5] 彭润民,翟裕生. 内蒙古狼山—渣尔泰山中元古代被动陆缘热

水喷流成矿特征[J]. 地学前缘, 2004, 11(1): 257 - 268.
[6] 彭润民,王鉴津,隋竹慧,等. 内蒙古东升庙矿床火山作用新证据的发现及其意义[J]. 化工矿产地质, 1996, 18(3): 179 - 185.
[7] 彭润民,翟裕生,王志刚. 内蒙古东升庙、甲生盘中元古代 SEDEX 矿床同生断裂活动及其控矿特征[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(4): 404 - 409.
[8] 李兆龙,许文斗,庞文忠. 内蒙古中部层控多金属矿床硫、碳和氧同位素组成及矿床成因[J]. 地球化学, 1986, (1): 13 - 23.
[9] 刘国军,王建平. 内蒙古镁铁质-超镁铁质岩型铜镍矿床成矿条件与找矿远景分析[J]. 地质与勘探, 2004, 40(1): 17 - 20.
[10] 施林道,谢贤俊,巩正基. 狼山—渣尔泰山中元古代裂陷槽有色金属矿床[M]. 北京:地质出版社, 1994.
[11] 王魁元,赵彦明,曹秀兰. 华北地台北缘元古宙典型铅锌矿地质[M]. 北京:地质出版社, 1994.
[12] 彭润民,翟裕生. 内蒙古东升庙矿区狼山群中变质“双峰式”火山岩夹层的确认及其意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1997, 22(6): 589 - 594.
[13] 刘玉堂,金 岩,徐九华. 内蒙古狼山后山地区海相火山岩特征及找矿前景[J]. 地质与勘探, 2005, 41(3): 38 - 44.
[14] 翟裕生,邓 军,彭润民. 矿床变化与保存的研究内容和研究方法[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(4): 341 - 345.
[15] 肖荣阁,彭润民,王美娟,等. 华北地台北缘西段主要成矿系统分析[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(4): 362 - 368.
[16] Wang K, Zhao Y. Geology of Proterozoic Typical Pb - Zn Ore Deposits in the Northern Margins of the North China Platform. Beijing[J]. Geological Publishing House, 1994: 1 - 8, 115 - 164.
[17] Miu Y, Ran C. Geological and Geochemical Features of submarine Sedimentary—Exhalative Mineralization in Dongshengniao Pb - Zn - S Mineral Deposit[J]. Inner Mongolia: Geochemica, 1992, (4): 375 - 382.
[18] 夏学惠. 内蒙狼山成矿带东升庙多金属硫铁矿床成矿特征及成因探讨[J]. 矿床地质, 1992, 11(4): 374 - 383.
[19] 牛树银,许传诗,胡 晓,等. 内蒙狼山地区的控矿构造研究[J]. 长春地质学院学报, 1991, 21(3): 313 - 319.

PROBABILITY DIAGRAM SOFTWARE AND ITS APPLICATION IN THE DONGSHENGNIAO DEPOSIT

WANG Lin^{1,2}, PENG Run-min^{1,2}, HAN Xue-feng³, LIN Mei-chun³

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083; 2. Key Laboratory of Lithosphere Structure, Deep Process and Detection Technique, China University of Geosciences and Ministry of Education, Beijing 100083; 3. Inner Mongolia Institute of Geological Prospecting, Ministry of Chemical Industry, Hohhot 010074)

Abstract: According to probability diagram theory, probability diagram screening software has been finished using visual basic technique. Mixed massing of ore grades in the Dongshengniao deposit has been screened in ore to seek new information of mineralization periods. Previous results suggest that cumulative probability curve of ore grades, which belongs to one mineralization period, show a straight-line. While cumulative probability curves of four primal elements like TS, Zn, Pb, and Cu from 8 representative exploration lines of the Dongshengniao deposit all appear one apparent point, indicating new mineralizing period information. It is concluded that two mineralization periods, middle Proterozoic syn-deposition ocean floor exhalation mineralizing period and epigenetic mineralizing period, happened in the Dongshengniao deposit.

Key words: probability diagram, screening, Dongshengniao, mineralizing period