第21卷 第1期 桂 林 工 学 院 学 报 Vol. 21 No. 1
2001年1月 JOURNAL OF GUILIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY Jan. 2001

文章编号:1006 - 544X(2001)01 - 0073 - 04

灰色关联法在白银矿田矿床预测中的应用

王国富，刘 明，刘石年，孙振家

(中南大学资源环境与建筑工程学院，湖南长沙 410083)

摘 要：根据灰色关联原理，对白银矿田及小外围与成矿关系密切的15个地质、物探、化探综合找矿标志进行了关联度扫描，并在黑石山、白银厂和李家大沟地区获得了关联度异常。黑石山异常较好地反映了已知的火山穹隆；白银厂异常则与已知的小铁山、折腰山—火焰山、铜厂沟、拉牌沟、缸沟矿床（点）吻合；而李家大沟异常位于具有与前者相似成矿地质环境的预测区，预测其下部存在着隐伏火山穹隆和矿床。因此，利用老矿山已有的大量资料，选择合适的预测方法，在其深边部进行“二轮找矿”具有实际意义。

关键词：灰色关联滤波；矿床预测；铜多金属矿；白银矿田；甘肃

中图分类号：P628.1；P612；P618.41 **文献标识码**：A

白银矿田是我国著名的铜多金属基地，国内外不少学者从不同方面、利用不同手段对矿田作了许多深入细致的研究工作，并取得过令人瞩目的成果，但矿山目前仍面临资源严重不足的问题。1997～1999年，我校课题组在此开展了矿田小外围的矿床预测，本文结合这次科研工作，利用灰色关联滤波法对矿田小外围进行了矿床预测。

1 矿田地质概况

白银矿田位于华北地台南陆缘北祁连早古生代造山带石青硐 - 白银火山岩亚带的白银裂谷中[1]。岩性为一套巨厚的、富钠质的寒武—志留系双峰式火山 - 沉积杂岩，以半圆形不整合面为界，圈内岩石基本为中寒武统白银厂群酸性火山岩，构成含矿围岩；圈外主要为奥陶系基性岩、沉积杂岩及侏罗系，此外还有少量中酸性火山岩。

矿田受裂谷控制，褶皱、断裂构造发育，并产有白银厂和黑石山2个火山穹隆。矿床与火山穹隆的关系密切，前者就产有多个矿床。东西向断裂和北西向剪张断裂的交汇部位不但控制着矿床的分布和穹隆的产出，并与次级断裂一起控制着矿体的形态和产状。矿田内劈理构造发育，构造置换变形较为强烈。

矿田包括3个矿化蚀变带，即折腰山 - 火焰山矿带、小铁山 - 四个圈矿带、铜厂沟 - 拉牌沟矿带，蚀变带上产有6个大中小型铜、铅、锌等多金属矿床和若干个铜矿（化）点，数百个矿体。矿床与石英角斑凝灰岩密切相关，具一定的层控分带性。

围岩蚀变亦具有分带性，主要为绢云母化、硅化、黄铁矿化、富镁绿泥石化、绿帘石化、重晶石化，前两者是蚀变岩石的主要蚀变类型。

收稿日期：2000 - 06 - 08；**修订日期**：2000 - 07 - 27

基金项目：国家“九五”科技攻关项目（No. 96 - 914 - 03 - 03 - 02 和 No. 96 - 914 - 04 - 03）

作者简介：王国富（1967 - ），男，吉林长春人，工程师，在读博士研究生，构造地质专业。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2 矿床预测

2.1 灰色关联滤波法原理

根据灰色控制系统理论[2]，通过分析矿床的形成环境、成矿规律以及控矿因素，利用找矿标志建立参考数列系，即灰色子波系，对由研究区的相应找矿标志构成的比较数列系进行关联扫描，圈定关联度异常，进行矿床预测[3,4]。其步骤如下：

①设矿床的找矿标志有 n 种地质、物探、化探信息，则参考数列系由 n 维标志空间信息数列组成，记为 R_i，$i=1,2,\cdots,n$，即

$R_1=(r_1(1),r_1(2),r_1(3),\cdots,r_1(K_1))$，

$R_2=(r_2(1),r_2(2),r_2(3),\cdots,r_2(K_2))$，

……

$R_n=(r_n(1),r_n(2),r_n(3),\cdots,r_n(K_n))$，

它们组成 n 维灰色子波模型，式中 K_i $(i=1,2,3,\cdots,n)$ 是参考数列的长度，一般为奇数。灰色子波的中点与矿床在地面的投影位置重合。

②按以上方式，建立与参考系对应的比较数列系，记为 X_i，$i=1,2,3,\cdots,n$

$X_1=(x_1(1),x_1(2),x_1(3),\cdots,x_1(J_1))$，

$X_2=(x_2(1),x_2(2),x_2(3),\cdots,x_2(J_2))$，

……

$X_n=(x_n(1),x_n(2),x_n(3),\cdots,x_n(J_n))$，

式中 J_i $(i=1,2,3,\cdots,n)$ 是比较数列系的长度。

③用参考数列系对比较数列系沿采样剖面逐点滑动，利用下式计算关联数列的关联系数 γ[2]，即

$$\gamma(r_i(k),x_i(k))=\frac{\min\limits_{i\in N}\min\limits_{k\in K}|r_i(k)-x_i(k)|+\zeta\max\limits_{i\in N}\max\limits_{k\in K}|r_i(k)-x_i(k)|}{|r_i(k)-x_i(k)|+\zeta\max\limits_{i\in N}\max\limits_{k\in K}|r_i(k)-x_i(k)|}$$

ζ 为分辨系数，取值 0～1。

④利用加权法将关联系数集中为一个值，则关联度为：$Z_i=\sum\limits_{k=1}^{n}\alpha_k\gamma(r_i(k),x_i(k))$，

其中 $\sum\limits_{k=1}^{n}\alpha_k=1$；$Z_i$ 为比较数列 X_i 的关联度；α_k 为关联系数的权系数。Z_i 记录于与参考数列中心对应的比较数列采样点位置上，利用 Z_i 作图。

2.2 相关信息的采集及各系数的确定

根据 1∶2.5 万地质图及其它图件，按原生晕采样点位置（点距 250 m）读取数据，共 2 565 个点(单元)，考虑到含矿地层的上下关系、矿床与穹隆及断裂构造的关系、矿床的地质综合场特征[5]，共选取地质、物探、化探找矿标志 15 个，即：火山岩、NW 向和 NE 向构造各 3 组；重力剩余值及磁力；Ag，As，Ag/（Cu + Pb + Zn），Cu + Pb + Zn，Ag ×As ×（Cu + Pb + Zn）的趋势剩余值以及 Ag/ As 的趋势剩余值，共 38 475 个信息量。

关联系数的大小与分辨系数的选取有一定的关系，通过选择不同的分辨系数 ζ 可以影响关联系数的变化区间。在做关联滤波时，根据因素间的动态关联程度，一般分辨系数 $\zeta=0.5$～0.6。在本研究区，采用对 ζ 扫描的方法[6]，确定 $\zeta=0.6$。

因 15 个变量对预测的贡献大小不同，权系数 α_k 取不等权。首先考虑到白银矿田主要受酸性火山岩和穹隆的控制，取火山岩的权为 0.12，三组构造（6 个）的权均为 0.08；其次重磁的贡献也较大，权系数分别为 0.07 和 0.06，余者贡献相当，皆取 0.045。

2.3 矿床预测及其评价

参考数列系采用面积型综合地质、物探、化探信息数列，这些信息实际上是矿床的物质场、能量

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

场等地质综合场特征的反映[7]。小铁山矿床是已知的矿床中研究程度较高的一个盲矿床，其地质场、地球物理场、地球化学场具有代表性，故以小铁山矿床为中心点，采用 500 m ×500 m 网格，组成 2 × 2 的方形（3 ×3 个数据）作为参考数列窗口，将参考数列 R_i 组成的窗口对研究区比较数列 X_i 作滑动关联扫描，获得关联度异常。

预测中共获得 3 个异常（图 1），从西往东依次位于黑石山、白银厂、小外围李家大沟。

（1）黑石山异常（A）位于黑石山火山穹隆上，所处的岩性为较单一的酸性火山岩。该区与白银厂相比，其岩性特征和构造特征不但相似，而且地表孔雀石化分布范围也较大，其关联度异常幅值也高，且与激电异常相伴。因而，黑石山穹隆历来受到各方的重视，但一直未获得重大突破。一般认为黑石山穹隆的上部原来是含矿的，由于受到构造作用的影响，穹隆受到剥蚀，使含矿的穹隆上部被剥蚀殆尽，目前所见的仅是剩下的穹隆根部和少许矿化，从该处具有高于白银厂的温压场特征上看，也证实了上述认识[5]。

（2）白银厂异常，由几个异常组成，包括小铁山（B）、铜厂沟（C）、拉牌沟（D）、缸沟（E）、折腰山 - 火焰山（F）异常和一个未知异常（I）以及高石台脑异常（H）。除 I、H 外，这些异常均位于小铁山和折腰山 - 火焰山火山穹隆或火山喷口上，所处的岩性主要为酸性、中基性火山岩及千枚岩，与已知的矿床（点）相吻合。但因为折腰山、火焰山矿床为露天开采，未在其上采集到合适的化探原生晕样品而损失了部分预测信息，因而两矿床上未形成各自的异常，但其异常面积最大。由于工作比例尺较小（1∶2.5 万）和矿体间的距离不够大，单个矿体的分布情况无法准确地反映出来。高石台脑异常（H）由 2 个组成，与中澳合作项目获得的磁激电异常吻合，但位于黄土覆盖区，地质情况不详。异常 I 的情况也不详。

（3）李家大沟异常（G）位于小外围预测区内，可分为两部分。与白银厂相比，虽然异常规模、强度都较小，但研究认为该异常具有重要意义。

第一，具有矿床存在的岩性条件。异常所处的岩石为中酸性火山岩、少量的硅质岩和千枚岩，同已知矿床相比，它们是含矿的酸性火山岩的上部岩石，其下应存在着相应的酸性火山岩。

第二，具有矿床存在的构造条件。一是野外观测到，该处在构造上表现为一个向南东倾伏的背斜，且核部岩性为中酸性火山岩，表明隐伏穹隆亦向南东倾伏；二是北祁连裂谷在白银一带存在着一系列东西向的断裂，这些断裂控制着白银厂诸矿床的分布，而该异常又恰恰位于这些矿床的东部。

第三，具有矿床存在的地球物理环境。异常和白银厂矿区位于同一重力异常梯度带上，同为负磁异常显示，且该处存在着剩余的重力异常，尽管重力剩余异常不能反映矿体的存在，但可作为隐伏穹隆存在的间接指示。

第四，具有矿床存在的温压场特征。从西往东，温压场的分布由高而低，即黑石山一带的温压场最高，白银厂矿区温压场低，李家大沟具有更低的温压场特征，这符合矿床和火山穹隆的空间上的分布规律，即从南西向北东方向穹隆埋深逐渐增大，其地表显示的温压场也由高向低，李家大沟具有更低的温压场特征说明隐伏穹隆埋深更深。

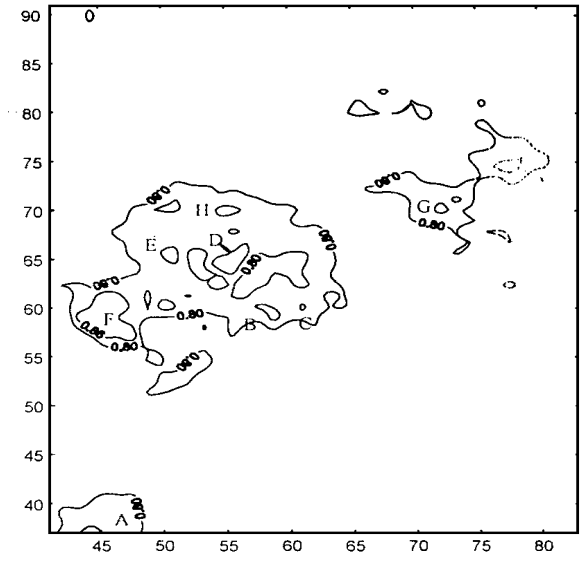


图 1　白银矿田综合信息量关联度异常等值线图

Fig. 1　The correlativity anomaly contour of comprehensive information content in Baiyin ore - field

A —黑石山；B —小铁山；C —铜厂沟；D —拉牌沟；E —缸沟；F —折腰山 - 火焰山；G —李家大沟；H —高石台脑；I —未知异常

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

第五，该区有三频激电异常。三频激电异常是隐伏矿存在的良好标志，根据三频激电成果，在安徽铜陵凤凰山成功地找到了埋深 100 多 m 的、厚度达 60 多 m 富铜矿体；同样，物探在小铁山深部及石青硐的找矿效果也是非常显著的，在盲矿床（体）上有明显的物探异常显示[8]。该预测区具有良好的三频激电异常是隐伏矿床可能存在的又一信息。

3 结论与意义

在分析白银矿田的成矿地质背景的基础上，对矿田的地物化信息进行灰色关联处理，获得的关联度异常显示矿田小外围李家大沟可能存在着隐伏火山穹隆和矿床，其规模与已知矿床相当，但埋深较大。根据这一方法，合理利用某一地区的成矿综合信息，尤其是老矿区深边部及其外围的综合信息，对其进行矿床预测，不但可为矿山的下一步工作提供新思路，而且对解决危机矿山的资源问题具有重要的现实意义。

参考文献：

[1] 夏林圻，夏祖春，任有祥，等. 祁连山及邻区火山作用与成矿 [M]. 北京：地质出版社，1998. 6.
[2] 邓聚龙，灰色控制系统 [M]. 武汉：华中理工大学出版社，1997. 315.
[3] 徐忠祥，吴国平，彭 放，等. 油气物探异常灰色定位预测 [J]. 地球科学，1998，23 (2)：158～162.
[4] 徐忠祥，吴国平，陈守余. 隐伏铜镍矿异常灰色关联滤波圈定法 [J]. 地球科学，1997，(22) 6：614～618.
[5] 王国富. 甘肃白银矿田地质综合场研究与矿床定位预测 [D]. 长沙：中南工业大学，1999.
[6] 徐忠祥，吴国平. 灰色系统理论与矿床灰色预测 [M]. 武汉：中国地质大学出版社，1993. 184～188，200～204.
[7] 刘石年，段嘉瑞，毛先成. 地质综合场论 理论·方法·应用 [M]. 长沙：中南工业大学出版社，1996. 111～143.
[8] 贺 庆. 甘肃白银厂小铁山矿床深部找矿新进展 [J]. 有色金属矿产与勘查，1999，(8) 6：432～434.

An applycation of gray correlative filter method to ore deposit prognosis in Baiyin ore - field

WANG Guo-fu, LIU Ming, LIU Shi-nian, SUN Zhen-jia
(College of Resource, Environment and Civil Engineering, Central South University, Changsha 410083, *China)*

Abstract: According to the gray system theory, 15 signs including geology, geophysics and geochemistry closed to mineralzation have been correlatively scanned in the Baiyin ore - field and its nearby area, and three correlativity anomalies have been acquired in Heishishan, Baiyinchang and Lijiadagou areas. The Heishishan anomalies better reflect the known dome and the Baiyinchang anomalies are identical to Xiaotieshan, Zheyaoshan - Huoyanshan, Tongchanggou, Lapaigou, and Ganggou deposits (or mineralization spots), meanwhile, the Lijiadagou anomalies are situated in an unknown forecasting area where its mineralization background is similar to that of the formers. At last, the authors have predicted the hidden deposits and domes according to the acquired anomalies, and have drawn a conclusion that a suitable prognosis - method based on the plenty data of the old mine can attain valuable information of the second - round exploitation in the deep part and the sides of the mine.

Key words: gray correlative filter; ore deposit prognosis; copper - polymetallic ore; Baiyin ore - field; Gansu

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net