第 6 卷 第 2 期
2000 年 6 月

黄 金 地 质
GOLD GEOLOGY

Vol. 6 No. 2
Jun., 2000

山西堡子湾金矿床元素地球化学成矿预测研究

赵利青[1,2]，卿 敏[2]，雷时斌[2]，杨卫明[3]，向永生[2]，罗 平[2]，牛翠祎[2]

(1. 中国科学院矿物资源探查研究中心，北京 100101; 2. 武警黄金地质研究所，河北 廊坊 065000; 3. 江西金山金矿，江西 德兴 334300)

摘要: 堡子湾金矿是华北地台北缘受印支—燕山期线性隐爆角砾岩带控制的金矿床，产于角砾岩体内，产状与角砾岩体基本一致。对该金矿进行了平面、剖面、纵投影面的元素地球化学研究，通过相关分析确定了最佳指示元素，建立了元素地球化学异常模式，进行了回归预测、用与金相关性最好的 As/Ni 值进行了预测及综合预测，确定了有利的找矿部位。

关键词: 金矿床; 地球化学; 成矿预测; 山西

中图分类号: P618.51; P595 文献标识码: A 文章编号: 1006-558X (2000) 02-0047-08

1 矿床地质概况

堡子湾金矿床位于华北地台北缘阳高山前破碎带的二级构造大吴窑—胡窑张扭性断裂带西段。区内出露地层主要为太古宇集宁群。印支—燕山期中酸性浅成侵入岩，次火山岩体、脉岩及隐爆角砾岩的广泛发育为区内岩浆活动的突出特征，主要包括石英二长(斑) 岩—二长花岗 (斑) 岩，呈 NEE 向带状分布，其隐爆角砾岩带控制了矿体的形成与分布。该矿床是以 Au 为主，伴生有 Ag、Cu 以及 Pb、Zn 的金-多金属矿床。矿床产于角砾岩体内，产状与角砾岩体基本一致，产出范围 116～19 勘探线，矿带延长 1 430 m，出露宽 30～100 m，延深大于 400 m。1 号主矿体产于角砾岩体中部，分为 4 个支脉，平面上呈复杂脉状、透镜状，具分支复合、膨胀收缩、尖灭再现的特征; 剖面上呈支脉状，在 1 400 m 标高上下为无矿带，总体走向 80°，倾向 SSE，倾角 60～70°。矿石矿物组合为黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、金银矿物、砷黝铜矿、碳酸盐矿物、明矾石、玉髓、高岭石，属典型中低温热液矿物组合。金银矿物以银金矿为主，含少量自然金、自然银。主要载金矿物以黄铁矿为主，其次为方铅矿、砷黝铜矿，非金属矿物石英也是重要载金矿物之一。矿石微量元素组合为 As、Zn、Pb、Ag、Cu、Sb、Au 等。

堡子湾金矿的矿质来源与岩浆热液的关系密切，与成矿直接有关的岩体为印支期隐爆角砾岩带及其中的石英二长 (斑) 岩。其成因类型应属于与次火山岩有关的高硫浅成中低温热液型金矿床，是我国目前发现的一种特殊的呈线性分布的隐爆角砾岩型金矿床。

利用现有勘查资料和勘查工程，通过系统的采样和元素的三维分布特征研究，利用元素间的相关关系及元素分带的一般规律，

收稿日期: 2000-01-17。李莉编辑。

作者简介: 赵利青 (1965-)，男，山西兴县人，武警黄金地质研究所高级工程师，现为中国科学院矿物资源探查研究中心博士后，从事矿床及地球化学研究工作。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

力求从空间上把握矿体分布规律，进行矿体的定性、定量、定位预测，指导进一步的勘查工作[1~3]。

2 矿床微量元素组合特征

2.1 金矿石微量元素含量特征

采集地表、钻孔、坑道中原生晕样品202件，其中有55件Au含量大于1×10^{-6}。各元素平均富集系数由大到小的顺序为Bi、Au、Ag、Pb、W、As、Zn、Cu、Sb、Mo、Hg、B、Mn，其中富集系数大于15的元素有Bi、Au、Ag、Pb、W、As、Zn、Cu、Sb，V、Ni、Ti的富集系数小于1。矿石伴生有益组分有Cu、Ag、Pb、Zn，而且As含量也不高。202件样品中有33件Pb含量超过$1\,000\times10^{-6}$，它们的Au含量变化于0.052×10^{-6}～11.100×10^{-6}之间，平均3.669×10^{-6}，Zn含量平均为$7\,251\times10^{-6}$。有33件Zn含量超过$1\,000\times10^{-6}$的样品，其Au含量变化于0.01×10^{-6}～9.78×10^{-6}之间，平均2.539×10^{-6}，Pb平均含量为$4\,213\times10^{-6}$。从这些数据可以看出，Pb、Zn矿化与Au矿化有着密切的关系。

2.2 金与其他微量元素间的相关性

202件样品相关分析结果如下（元素间呈显著相关关系，按相关系数由大到小排列），Au与As、Zn、Pb、Ag、Sb、B、(-) Ni显著相关，与Cu、Bi、Mn相关，即As、Zn、Pb、Ag、Sb是很好的指示元素。Ag与Pb、As、Sb、Mn、Zn、Au、Bi、Hg，Cu与Bi、V、As、B，Zn与Sb、Pb、Hg、Au、Ag、As，Pb与Zn、Sb、Hg、Ag、As、Au、Mn，As与Au、Ag、Pb、Mn、Hg、Zn，Sb与Zn、Pb、Hg、Ag、Au、(-) B，Hg与Zn、Pb、As、(-) B、(-) W、Ag，Bi与Ag、Cu，W与Ti、(-) Hg、B，Mo与Mn，B与(-) Hg、V、Au、W、Mn、(-) Sb、Cu，Mn与Ag、As、Ti、Pb、V、Mo，Ti与V、W、Mn、Cu，V与Ti、B、Cu、(-) Hg显著相关。

R型聚类分析谱系图在显著性相关水平下所有元素可分为Au、As，Ag、Mn，Sb、Zn、Pb、Ag，Mo，B、W，Ti、V，Bi、Cu，Ni八个矿化组。从上看出Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Hg、Bi、W、Mo等与热液活动带入有关，V、Ti、Mn、B等为围岩组分。

2.3 矿床微量元素组合特征

综合矿石微量元素含量特征和所有样品微量元素相关性特征，确定矿床的微量元素组合为Au、As、Zn、Pb、Ag、Cu、Sb（此外，Ni是与Au反消长的重要元素），为中低温元素组合。

3 微量元素的三维空间分布特征

3.1 异常元素浓度分带标准

对所采全部矿石样品原始数据应用逐步剔除法计算了各元素的背景值，以背景值加上2倍均方差作为异常下限，异常下限的2、4倍作为中、内带异常下限（表略），其中金的外、中、内带标准为0.025×10^{-6}～0.050×10^{-6}、0.05×10^{-6}～0.10×10^{-6}、大于0.1×10^{-6}。

3.2 1 380 m标高附近微量元素的平面分布特征

将1 370、1 380、1 390 m标高所采样品近似为同一平面，绘制了104～14勘探线1 380 m标高附近的Au、Ag、W、As、Sb、Hg含量等值线图（图略），由于所采样品分布不均匀，所以等值线特征有所歪曲。元素平面图分布特点为：1) Au在4线附近最富；2) As、Ag、Pb、Zn、Sb、Hg与Au相似，均出现中、内带异常；3) Sb、Hg明显分为两个富集区，分别指示4线附近和11线以东两个金矿化地段；4) W、Mo、Bi、V、Ti、Ni、B等在围岩中含量较高，Mn的分布有时与Au类似（如4线附近），有时在围岩中富

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

集，Cu 也偏向于远离金矿化。

3.3　剖面微量元素的空间分布特征

1) 从 15 线剖面各元素等值线图 (图 1) 看，Au 有两个富集标高，As、Sb、Hg、B 等在浅部和深部均有富集，出现中、内带异常，W、Mo、Bi、Mn、Ti、V、Ni 等则在围岩中富集，Pb、Zn 与 Au 同步发育，但在深部非金矿化区也有较高的含量。剖面元素分布研

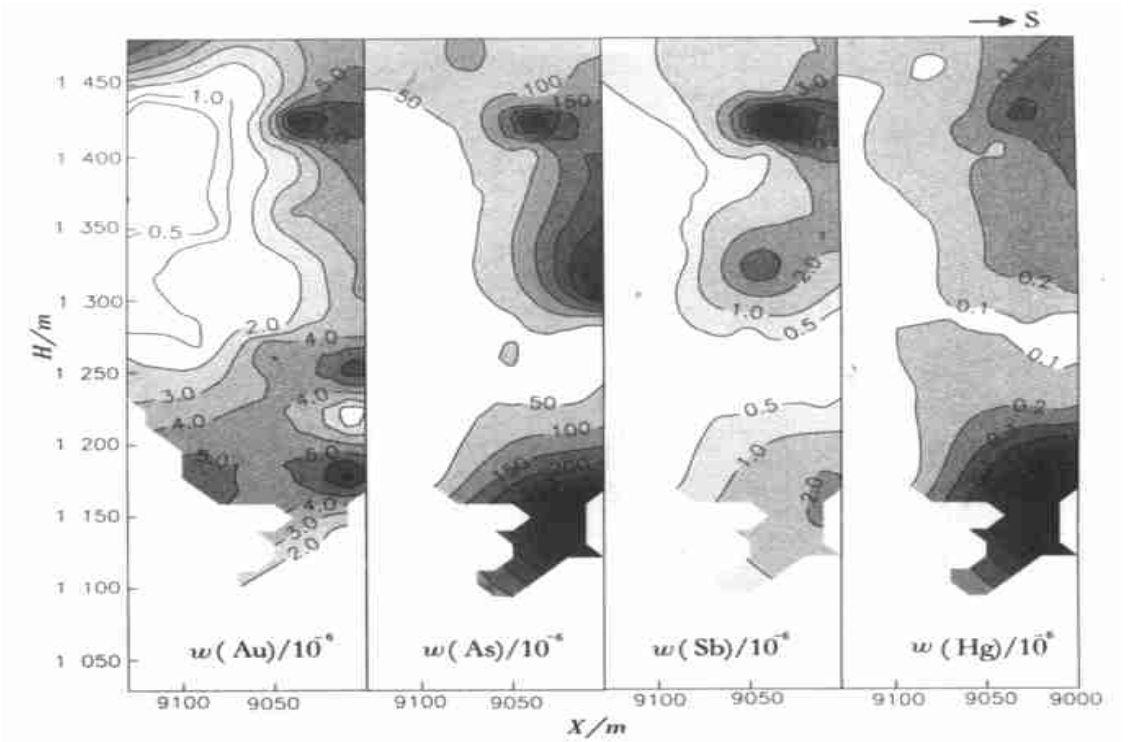

图 1　15 勘探线剖面 Au、As、Sb、Hg 含量等值线图

究所揭示的金矿化垂向上出现两个富集标高的规律很重要，据此可用于推测深部矿化，两个富集标高之间的间距为 200 m 左右。

2) 13 线 I_2 号矿体 Au 及其伴生微量元素在空间上显示出一定的规律分布。13 线剖面各元素含量显示，除 Au、Ni 在矿体中部显示高含量外，Cu、Pb、Zn、Ag、Mo、Ti、Bi、Hg 等多数元素从矿体上部到下部呈现增高的趋势，As、Sb 及 Mo、Bi、Mn、Co 在 I_2 号矿体头部和尾部均表现出相对富集，这与该矿体在 1 340 和 1 085 m 标高尖灭相一致，而 As、Sb、Hg 在矿体下部出现则是深部矿体叠加所致。此外，金矿化不同标高富集的规律仍存在，而且深部似有好于浅部的特点，1 100 m 标高附近 (深部) Pb、Zn、Ag、Cu 矿化较强，同时 As、Sb、Hg 的异常也较强。

3.4　纵投影面微量元素的空间分布特征

将不同工程的样品投影到纵投影面上，对于同一穿脉中的样品则取其平均值作为纵投影面上的单点。分别对本次采样和收集到的冶金地球物理勘查院物化探研究所样品数据进行正规化处理，以消除两次分析的系统误差，然后综合起来绘制各元素的纵投影等值线图 (图 2)。在 105～18 线之间共获得有效数据点 400 个，从图 2 可以看出以下特点。

1) Au 的分布可分出较明显的两个或 3 个富集标高，在 13～17 线间分别位于 1 420、1 250、1 150 m 标高以下，其间距分别为 170、100 m；在 4～5 线 1 400 m 出现第一个富集标高，1 220 m 附近出现第二个富集标

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://w

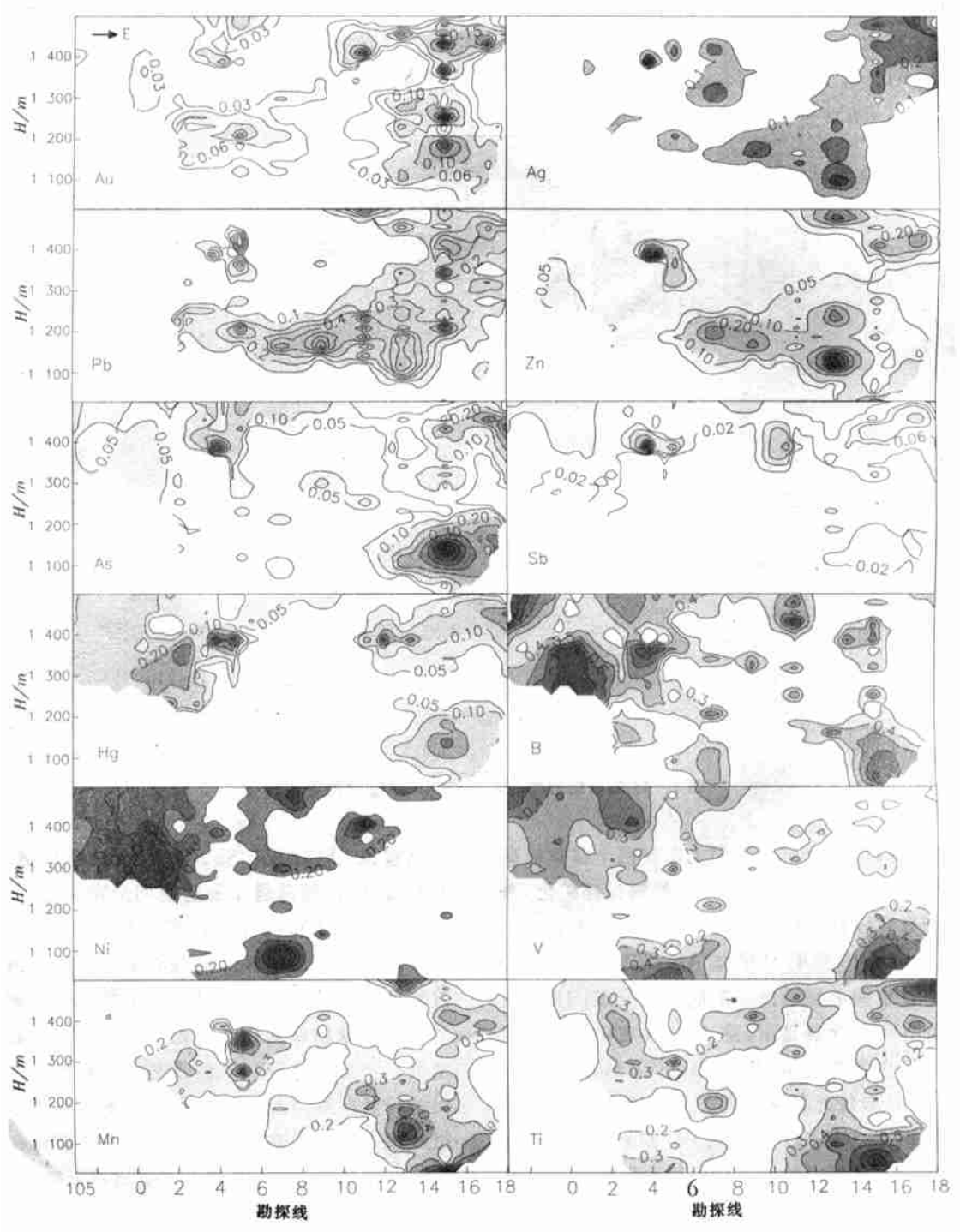

图 2 105～18 勘探线各元素含量正规化数据纵投影等值线图

高，二者间距约 180 m；走向上无矿区为7～9线，间距为 100～150 m。总之，金矿化分段、向西侧伏富集的规律十分明显，可作为预测参考指标。此外，15 线深部向东、18 线

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

近地表向东仍应有 Au 异常带稳定延伸。

2) Ag、Pb、Zn 的分布十分类似，很有意义的是在深部 1 200 m 附近出现连续的高含量带(包括了 7～9 线无矿区)，显示出 Au 与 Pb、Zn 矿化之间一定程度的分离。Cu 与 Ag 的分布有一定的相似性，反映出 Cu 与 Ag 矿化既有关又有分离的特点，Cu 高含量多分布在非 Au、Ag、Pb、Zn 矿化区。

3) As、Sb、Hg 明显反映出浅部富集的特征，深部异常应该是矿体头晕叠加的结果，指示深部矿体的存在，即深部 15 线向东应有矿体存在。105～4 线 1 300 m 标高以上发育较好的 As、Sb、Hg 及 B 异常，单纯从这些异常看，深部应该有较好的金矿化，尤其是 0～2 线间，但 Ni 异常的发育又说明矿化规模不会太大。4 线 1 380 m 标高附近较好的金矿化处同时发育 As、Sb、Hg、W 异常，指示其矿化向深部不会有太大的延深，与实际吻合。

4) Bi、Mo、V、Mn、Ti 等元素表现出在围岩中富集的特点，即分布在 Au 等成矿元素异常的外围，V、Mn、Ti 等在 15 线深部(约 1 050 m)的高含量可能反映偏基性岩石的存在。

4　矿床微量元素垂向分带序列

选择 15 线剖面作为研究元素地球化学垂向分带的典型剖面。采集了坑道和钻孔副样测定有关元素，把样品大致分为 5 个标高，计算得到浓度分带序列如下(序列 1)：Cu-B-Sb-Hg-Ti-Mn-V-Ni-W-As-Bi-Mo-Ag-Au-Zn-Pb；以 3 个钻孔控制的上部矿体计算得到如下序列(序列 2)：(Sb-Cu-B)-(Hg-Mn-Pb-Zn)—(Au-Ag-Ti-V-Ni-As-W-Mo-Bi)。参照李惠总结的我国石英脉和蚀变岩型热液金矿床原生晕指示元素理想垂直分带序列[4～5]可以认为，序列 2 更接近一般的分带序列。结合前面已经讨论过的矿石中微量元素空间分布特征，综合得出堡子湾金矿床指示元素组合为：矿体前缘元素 Hg、B、Sb、(As)；矿体(近矿)元素 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As；矿体尾晕元素 W(未附纵投影图)、Bi、Mn。

5　元素地球化学异常模式及成矿预测

5.1　元素地球化学异常模式

堡子湾金矿床元素地球化学异常模式概括如下。

1) 形成原生晕异常的主要元素有 Au、Ag、Bi、Pb、W、As、Zn、Cu、Sb、Mo、Hg、B、Mn，其中 Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb 为 Au 的最佳指示元素组合。

2) 元素理想垂直分带序列从上至下为 Hg-B-Sb-As-Ag-Pb-Cu-Au-Zn-Bi-W。

3) 原生晕元素组合分带为：矿体顶部及前缘异常 Hg、B、Sb；矿体中上部异常 As、Ag、Au；矿体中下部异常 Au、Cu、Pb、Zn；矿体尾晕 W、Bi、Mn。

5.2　成矿预测

5.2.1　*元素空间变化规律及其预测*　主要是研究与金矿成矿有关的微量元素空间分布(图 1、2)，借助有关指示元素含量的变化趋势对工程未控制区进行预测。通过元素空间变化规律(主要是存在分段、侧伏富集规律)，结合原生晕地球化学异常模式(主要是元素异常组合或配套)，提出了有利找矿靶区两处：1) 18 线以东浅部及深部；2) 105～4 线南部 1 300 m 标高以上。

5.2.2　*As/Ni 值的意义及成矿预测*　As、Ni 分别是与 Au 正、负相关性最好的指示元素，二者的比值可进一步强化与 Au 的相关关系。利用正规化数据计算各样品的 As/Ni 值，最后绘制其纵投影等值线图(图 3)，该值比单纯直观观察 As、Ni 异常更具定量特点，从另一个角度进行成矿预测。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://w

从图3中看出，As/Ni值明显有3个高值区，即2～5线南部1 380 m标高以上，15～18线1 350m以上；12线向东1 200～1 050 m之间，而且后两个地段向东均未封闭，指示仍有矿体产出。后两个富集段垂向上相间150 m，水平相距100 m，按此规律分析在2～5线深部(可能在1～4线，以2～3线为中心)富集地段的北部1 250～1 100 m标高之间有矿体产出。

5.2.3 逐步回归预测 由于Au与其他元素有紧密的关系，因此可以用其他元素的数据预测Au含量的高低，此预测值可一定程度上消除测Au的误差，对预测盲矿有重要参考意义。

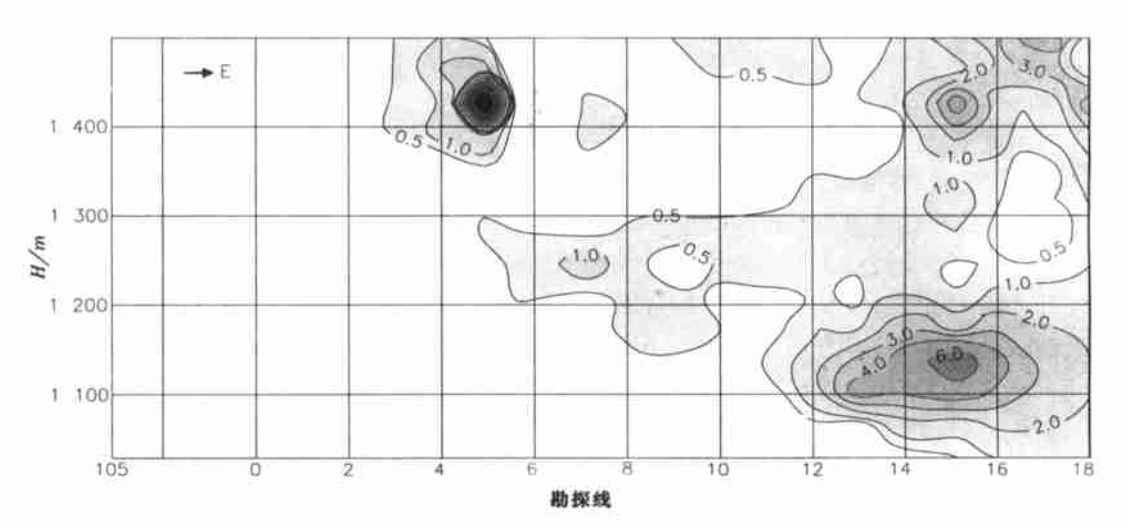

图 **3** **As/Ni** 值纵投影等值线图

利用202件样品的数据结果进行了Au与其他元素的逐步回归分析，得出如下方程

$$w(\mathrm{Au})/10^{-9} = 771.71 + 0.121\,\mathrm{Zn} - 11.974\,\mathrm{Ni} + 11.794\,\mathrm{As} + 6.704\,\mathrm{Bi} - 1\,077.897\,\mathrm{Hg} + 16.303\,\mathrm{B}$$

(各元素单位为10^{-6})。 (1)

利用绘制纵投影等值线图的正规化数据(400个)求得逐步回归方程

$$\mathrm{Au} = 0.078 + 0.146\,\mathrm{Cu} - 0.045\,\mathrm{Mn} + 0.215\,\mathrm{Ti} + 0.139\,\mathrm{As} + 0.192\,\mathrm{Sb} - 0.143\,\mathrm{Bi} + 0.098\,\mathrm{Hg} + 0.073\,\mathrm{Mo}。$$ (2)

上述两方程的复相关系数分别为0.56、0.57，剩余标准差分别为1 997、0.13，F统计量分别为15.0、23.8。

利用方程(1)的预测结果绘制了1 380 m标高附近平面(图4 A)、15线剖面(图4 B)的Au回归预测值等值线图，利用方程(2)的回代估值绘制了纵投影等值线图(图5)。

1 380 m标高Au回归平面等值线分布特征与Au原始数据观测值分布图一致。其中最有意义的是0线南穿脉有较高的预测值(0线南穿脉8个样品的预测值均大于0.5×10^{-6}，而观测值均小于1×10^{-6})。说明0线南部有望发现更好的金矿化。15线剖面回归预测值表现出明显的两个富集标高，即1 300 m以上和1 150 m附近及以下，二者间距约100 m。

从图5可以看出：1)与已知矿体对应一致的区域有4线1 380m中段，5线地表和1 200m标高，13～18线1 350m以上和1 200～1 100 m之间；2)预测矿化区比实际控制区大的区段有105线地表、0线附近地表、7线1 300 m标高附近，这些地段有较好的找矿前景；3)预测的深部矿(化)体(1 250

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

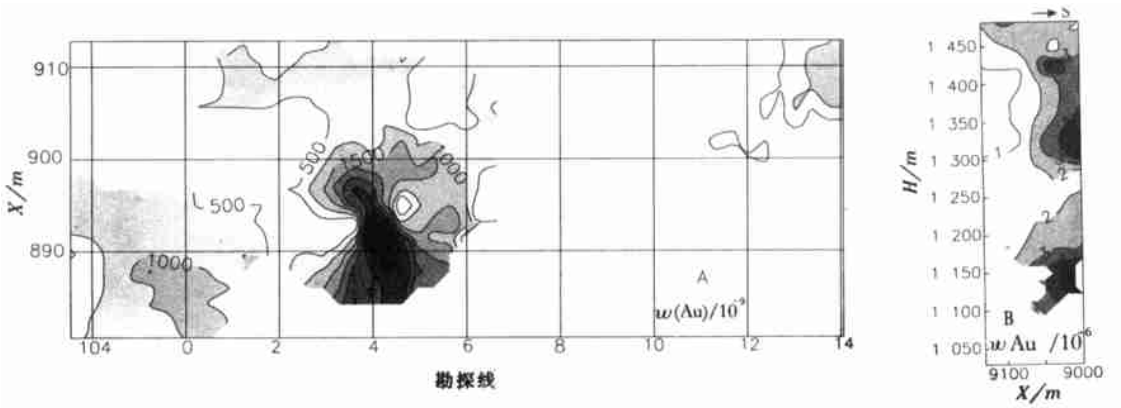

图 **4**　金回归值等值线图

A－ 1 380 m 标高附近平面；B－ 15 勘探线剖面

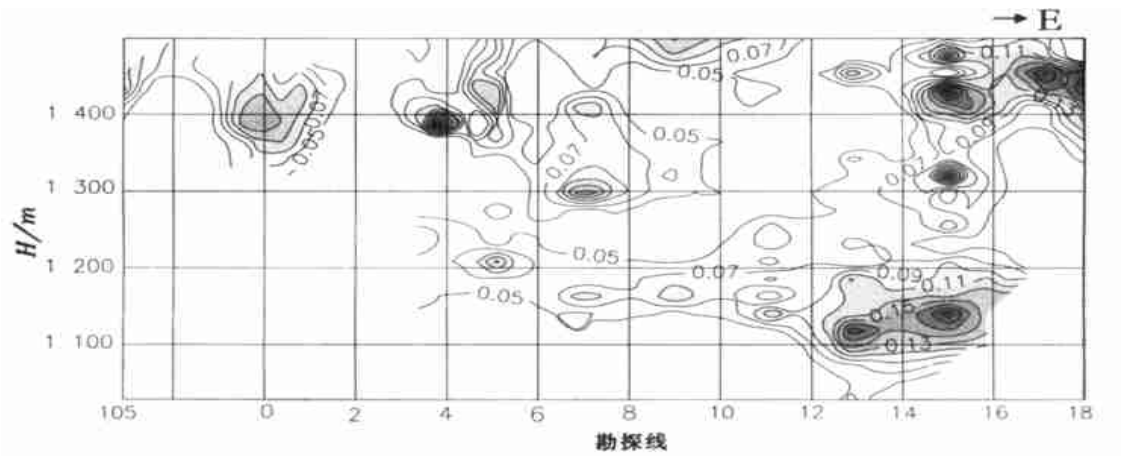

图 **5**　**105～18** 勘探线金回归值纵投影等值线图

～1 100 m 标高) 较连续, 并微向东侧伏, 在 7～9 线之间也有矿化, 这一特点值得注意, 按此趋势推测 0 线 1 220 m 标高 (与 0 线浅部矿化相距 150 m) 附近可能有矿体产出, 17～18 线 1 100 m 标高上下及再向东侧应有矿体产出; 4) 18 线近地表预测值较高, 等值线未封闭, 预测 18 线以东 1 450～1 370 m 标高有矿体产出。

5.2.4　综合预测结果　1) 17～18 线及以东1 050～1 200m 标高之间, 18 线以东 1 450～1 370 m 标高之间, 2～5 线深部 (可能在 1～4 线, 以 2～3 线为中心) 以北 1 250 ～1 100 m 标高之间, 105～4 线 (尤其是 0～2 线) 南部 1 300 m 标高以上有矿体产出; 2) 0 线附近地表、7 线 1 300 m 标高附近有较好的找矿前景; 3) 推测 0 线 1 220 m 标高附近可能有矿体产出。

在成文过程中, 冶金地球物理勘查院物化探研究所提供了部分原生晕样品的原始数据, 同时, 研究工作得到大同黄金矿业有限责任公司的资助, 在此一并表示衷心地感谢。

参考文献:

[1] 赵利青. 控矿断裂形态模拟及深部矿体预测 —— 以胶东望儿山断裂为例 [J]. 黄金地质, 1996, 2 (1): 12～16.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://w

[2] 赵利青. 界河金矿深部的构造地球化学预测 [A]. 第五届全国勘查地球化学学术讨论会会议论文摘要 [C]. 北京: 地质出版社, 1993.
[3] 赵利青. 蚀变带元素地球化学成矿预测法——以金龙山微细浸染型金矿为例 [J]. 地质找矿论丛, 1997, 12 (3).
[4] 李惠. 石英脉型和蚀变岩型金矿地球化学异常模式 [M]. 北京: 科学出版社, 1991.
[5] 李惠. 热液金矿床原生叠加晕的理想模式 [J]. 地质与勘探, 1993, (4).

Metallogenic prognosis of elemental geochemistry of Puziwan gold deposit, Shanxi

ZHAO Li-qing[1,2] QING Min[2], LEI Shi-bin[2], YANG Wei-ming[3], XIANG Yong-sheng[2], LUO Ping[2], NIU Cui-yi[2]
(1. *Research Center for Mineral Resources Exploration, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100101; 2. *Gold Geological Institute of the Armed Police Force, Langfang, Hebei* 065000; 3. *Jinshan Gold Mine, Dexing, Jiangxi* 334300)

Abstract: Puziwan gold deposit is controlled by linear concealed blast breccia zone of Indo-Chinese epoch to Yanshan Period in North China platform. Samples were taken systematically from different exploration project. Characteristics of distribution and geochemistry of elements in plane, cross section and longitudinal projection surface were studied. General rule of elemental, distribution rule of orebodies in space and the best indicator elements were determined by correlated analysis, the model of element geochemical anomaly were set up. Based on these, possible orebodies position were forcasted qualitatively and quantitatively. And then favorable exploration area were put forward by regression method, As/Ni ratio and comprhensive method.

Key words: gold deposit; geochemistry; metallogenic prognosis; Shanxi

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w