

矿、黄铜矿一类四面体晶格的矿物中，并能形成独立的硫镉矿 (CdS)。在表生地球化学作用下，Cd 易富集于土壤中。因此，Cd 的次生异常对寻找与硫化物关系密切的火山热液型金矿具有良好的指示意义。

图 1、2 所示的是洞嘎金矿点两个异常地段各元素的次生晕异常。从图中可以看出，Cd、Au 异常分布基本一致，并在异常中心均见有金矿化体产出。在雄村矿化地段，Pb、As、Bi、Ag 等的异常主要分布在金矿化体周围，显示出异常元素具水平分带特征。在洞嘎金矿化地段，Cu、Ag、Sb 异常与金矿化体分布具一致性。上述各元素异常的分布特征表明，Cd 异常对找金的指示作用更好。

为了进一步揭示 Au、Cd 异常的内在关系，抽取普查矿化地段的 14 件土壤样品的 Au、Cd 分析数据进行线性回归分析，

Au、Cd 的相关系数为 0.79，回归方程为：

$$Au = -3.58 + 0.02Cd$$

抽样地段的土壤样品中，Au 平均含量为  $58.5 \times 10^{-9}$ ，最高含量为  $550 \times 10^{-9}$ ；而矿化体中 Au 的平均品位为 44.3g/t，最高为 71.5g/t。表明 Au 从岩石至土壤的迁移过程中，其贫化度 (P) 为 1/760。为使公式运算合理，取置信度  $D=0.5$ ，可按以下公式由土壤中元素含量推算达边界品位的矿化体。即：

$$Au(\text{矿化体}) = D/P(-3.58 + 0.02Cd)$$

推算结果表明，凡 Au、Cd 异常叠加地段，Au 含量高于  $40 \times 10^{-9}$ ，Cd 含量高于  $250 \times 10^{-9}$ ，就有可能发现达边界品位的金矿化体。根据这一推断结果，在洞嘎和雄村矿化地段发现了 6 条矿化体，Au 平均含量为 0.87g/t ~ 4.78g/t。说明 Cd 异常应用于该区普查找金可取得很好的地质效果。

## Using Cd as a Tool to Search Volcano-Hydrothermal Gold Deposit

Zhu Xipao

Formation mechanism of Cd anomaly over volcano-hydrothermal gold deposit is discussed in this paper based upon its physical-chemical and geochemical properties. By making use of Cd anomalous characteristics of Dongga gold mineralized point in Tibet, referring the relationship between Cd anomaly and gold orebody has achieved better results.

## 确定金矿床元素分带序列的新方法\*

李扬 邱德同 季峻峰

(南京大学地球科学系)

矿床元素分带序列的确定通常是基于对地球化学剖面的研究，可由矿床原生晕图直接归纳出来。这种方法以其直观明了的特点得到了广泛的应用。但是，在具体工作过程中，完整的典型剖面选择常常具有一定的困难，根据剖面圈定的元素分带序列就显得不够全面、准确。本文利用一种新方法，即逐步回归多元统计方法来确定金矿床元素的分带序列。

### 1. 方法原理

基于逐步回归的基本原理，笔者以赣西北地体两个典型金矿床为例，针对 Au 矿化强度不同的样品组合，分别进行回归分析，确定不同矿化阶段中 Au 的回归方程，揭示微量元素在不同矿化阶段中的地球化学行为，从而阐明整个矿化过程中微量元素的活动历史，建立元素的分带序列。

\* 国家自然科学基金资助项目。

本文 1992 年 5 月收到，11 月改回，李春兰编辑。

## 2. 应用实例

高田金矿和桃源金矿是赣西北地区两个代表性矿床。前者为变质热液型单金矿化；后者为岩浆热液叠加型Au、Ag为主多金属矿化<sup>[1,2]</sup>。矿石类型均以破碎带蚀变岩型为主。根据具体情况，在桃源

金矿内挑选3类样品：I类， $Au \geq 1000 \times 10^{-9}$ ，II类， $100 \times 10^{-9} \leq Au < 1000 \times 10^{-9}$ ，III类， $10 \times 10^{-9} \leq Au < 100 \times 10^{-9}$ ；在高田金矿内挑选两类样品：I类， $Au \geq 100 \times 10^{-9}$ ，II类， $10 \times 10^{-9} \leq Au < 100 \times 10^{-9}$ 。分别进行逐步回归分析，结果见表1。

表1 Au逐步回归分析结果

矿床	样品类型	N	含Au量 $\times 10^{-9}$	$F_1$	Au标准回归方程	R	$r_m$
桃 源	I	8	$\geq 1000$	3	$Au = 0.962Zn - 0.303Ag + 0.265Mo - 0.097W$	0.998	0.96
	II	16	100~1000	3	$Au = 1.92Bi - 1.43Ag + 0.63Pb + 0.23Mo$	0.942	0.75
	III	15	10~100	3	$Au = 1.00As - 0.52W + 0.348Sn - 0.302Sb$	0.910	0.75
高 田	I	9	$\geq 100$	2	$Au = 0.954Ag - 0.304Bi - 0.278Hg$	0.936	0.82
	II	15	10~100	2	$Au = 0.581As + 0.554Ag + 0.422Bi + 0.02Zn - 0.19Hg$	0.959	0.81

(N-样品数;  $F_1$ -回归标准值; R-复相关系数;  $r_m$ -Au最大相关系数)

所建立的标准回归方程其复相关系数  $R > r_m$ ，说明回归方程性能良好，指示性优于任何单个元素；从回归过程中发现，即便适当降低  $F_1$  的值，各回归方程仍旧相同，说明方程稳定性较好；矿化蚀变程度不同，相应所建立的标准回归方程有一定的差异，说明微量元素具有一定的蚀变分带性<sup>[3,4]</sup>。

回归方程中微量元素先后顺序与回归过程中元素被引入的次序相同，即代表了被引入元素对Au影响程度的大小。被引入元素其地球化学行为既可以促进Au矿化，也可能抑制Au矿化，这与元素的相关性有关。据研究<sup>[2]</sup>，桃源金矿微量元素存在两类组合：① Au-Pb-As-Mo-Zn-Ag-Cu；② Ti-Ni-V-Co-Mn-W，高田金矿也存在两类微量元素组合：① Au-Ag-As-Sb-Hg；② V-Ti-Cr-Zn-Ni-Co-Pb-Sr-Ba。

在桃源矿床中，I类样品为矿石样品组合，代表矿质沉淀阶段，亦即最强矿化阶段，在该阶段Au与Zn、Ag、Mo、W关系紧密，但W是不利于Au矿化的因素，二者之间是相互排斥的，Zn首先被引入且未见于其他回归方程中。这是近矿指示元素的特点。Zn作为近矿指示元素与Au的赋存状态有关。II类样品是矿化样品的组合，代表强烈矿化蚀变的热液活动阶段，在该阶段，Bi、Ag、Pb、

Mo与Au的关系紧密，其中Bi、Pb未见于上述成矿阶段，故而应为该阶段的特征元素。III类样品为蚀变样品的组合，代表矿化过程早期的热液蚀变阶段。在该阶段，As、W、Sn、Sb与Au的关系最为紧密，其中W、Sn与Au之间是相互排斥、相互制约的，故而应是矿化带之外的代表元素。As、Sb是该阶段特征元素，亦即矿体的远程指示元素。综上所述，桃源金矿元素的分带序列为（从矿脉到围岩）：Au-Zn-Ag、Mo-Bi、Pb-As、Sb-W、Sn。这一分带序列与实际情况是吻合的。同理可确定高田金矿元素分带序列（从矿脉到围岩）为：Au-Ag-As、Bi-Hg。

## 参考文献

- [1] 刘英俊、李扬等，中国科学(B辑)，1992(10)，1080~1088。
- [2] 刘英俊、李扬等，地质找矿论丛，1992(4)。
- [3] George S. Koch, Jr. Richard F. Link, Statistical Analysis of Geological Data, John Wiley & Sons, Inc. 1971, Vol.2: 94~105, 131~142。
- [4] Boyle, R. W., Canada Geological Survey Bulletin, 1979, 43~50, 90~118, 390~430。