

哀牢山金矿地质及物化探异常特征

吴 上 龙

(云南地矿局物化探队)

本文着重论述哀牢山金矿带的地质地球化学特征,地球物理特征以及用物探方法找金的前提。归纳出地质、物化探找矿的综合标志。对金矿成因进行了探讨。

关键词: 金矿床;地球化学特征;地球物理特征;综合找矿标志

哀牢山是扬子准地台西南边界上的一条巨型推覆构造体和变质带,它由中深变质的元古界哀牢山群和浅变质的古生界,从东向西推覆叠置组成。断裂构造及糜棱岩带十分发育,沿断裂呈“构造侵入”的超基性岩呈带分布。各种中酸性、碱性岩浆岩及其派生的暗色脉岩(煌斑岩)也有一定分布,特别是在金矿田及其附近,多呈岩枝及岩脉产出,亦有部分岩株。

成矿地质特征概述

已知金矿主要赋存于古生界中,成带展布,常沿超基性岩接触带及其附近的断裂破碎带或层间破碎带产出。赋矿岩石既可是破碎的变质砂岩、板岩、千枚岩,也可以是破碎的超基性岩、玄武岩及煌斑岩。呈碎裂结构、碎斑结构、碎粉结构等,总之以相当显著的破碎为矿化岩石的特征。近矿围岩普遍具有显著的硅化、碳酸盐化、黄铁矿化、锑水云母化、滑石化及褐铁矿化等围岩蚀变现象。强烈的破碎与蚀变是此类型金矿的重要特征标志之一。

矿体呈脉状成群出现,矿化极不均匀。矿体规模大小悬殊,长数至数百米、厚1~2m至30~40m。金以粒状、片状、树枝状的自然金为主,少量是存在于黄铁矿和毒砂矿物中的伴生金。其他金属矿物有白钨矿、黄铁矿、毒砂、辉钨矿、方铅矿、闪锌矿、黄

铜矿、磁铁矿、钛铁矿、褐铁矿等。按金与伴生金属矿物组合特征,可分为金—白钨矿矿石、金—黄铁矿矿石和金—辉钨矿矿石三类。金矿体及近矿围岩中普遍有一定数量的金属硫化物及氧化物伴生,是哀牢山金矿的又一地质标志。同时也是物探工作的地质前提。

目前,对哀牢山金矿的成因主要有两种认识:一种是与火山作用及火山热液活动有关的层控观点,主要依据是镇沅县和平丫口至新平县双沟街一带,金矿及金矿化沿一固定层位发育,该层(Pz^{3-5})由变质砂岩、砂板岩、炭质板岩、蚀变玄武岩及细碧角闪岩(?)组成。但是在长达300多km的哀牢山金矿带上,金矿并不都产于 Pz^{3-5} 地层中,甚至不限于变质古生界,与火山岩也不存在必然的依附专属性。另一种即本文的观点认为,哀牢山金矿是与中酸性—碱性岩浆热液活动有关的破碎蚀变岩型,主要依据是地球化学研究成果。此外,有些学者还从金矿总与超基性岩存在一定的空间联系,推论金来自超基性岩的变质热液,但缺乏直接证据。不同的成因观点都有一定的依据,只是据客观地质事实的不同侧面作出不同的解释,抽象出不同的成矿地质模型。但都肯定成矿与热液作用有关,各种构造破碎带是热液活动与成矿的空间,强烈的破碎与显著的热液蚀变现象是寻找此类型金矿的重要地质标志。

地球化学特征

1. 地球化学丰度及其特征

为了解哀牢山地区各地层和各类岩石中微量元素的原始丰度及变化,并探索矿源层等问题,选择未见矿化蚀变的地段作三条岩石地球化学剖面测量,横越整个变质带,按地

哀牢山地区岩石地球化学参数 表 1

元 素	克 拉 克 值		哀 牢 山 区 域 背 景		
	地 壳	超基性岩	超基性岩	深变质岩	浅变质岩
Au	4.3	5.0	1.64	0.69	1.04
Hg	0.08	0.01	0.08	0.04	0.04
Ag	0.07	0.05	0.02	0.04	0.04
As	1.8	0.5	1	0.8	7.2
Cu	55	20	2.2	11.6	31.8
Pb	13	0.1	0.3	11	94
Zn	70	30	84	52	109
Sb	1.2	0.1	1.9	0.2	2.2
W	1.3	0.1	0.3	0.5	0.4
Bi	0.9	0.001	0.2	0.5	0.5
Cr	100	2000	880	18	54
Ni	75	2000	5644	3	22
Co	25	200	99	6	10
V	135	40	18	32	60
Ti	4400	300	87	2335	3032

注: Au单位为ppb,其余为ppm;样品138个。

层及岩性单元系统采集岩石样品,测试结果如表1。可见哀牢山地区无论深、浅变质岩还是超基性岩,Au的区域丰度均在1ppb左右,远低于克拉克值。变质岩系不同岩性的岩石中Au含量变化不大,其范围是0.3~5.2ppb,分布均匀,Au与其他元素无明显相关关系。表明岩石中Au的区域背景丰度极低,且呈独立随机均匀分布,从而进一步说明Au在区域岩石中并不与某一特定岩层或某一地质作用相联系,即不存在矿源层(体)。

矿田范围岩石的Au丰度较区域背景明显增高。Au及相关元素浓集系数达10或以上。Au平均丰度约10ppb,煌斑岩高达39ppb,含量变化范围2~98ppb,呈不均匀分布;Au及相关元素在矿化破碎带中则有更为显著的浓集,平均浓度大多在650~1000

ppb,且离散度更高,离差往往是平均浓度的2~3倍,呈极不均匀分布。

哀牢山金矿带Au的原生地球化学丰度模式可归纳为:区域背景1ppb±,呈独立随机均匀分布→矿田丰度,10ppb±,不均匀分布→矿化带浓度, $n \times 100$ ppb,极不均匀分布。

土壤及水系沉积物的Au含量基本相同,其几何平均值分别是1.02和1.62ppb,离差分别是0.99和1.24ppb,异常下限分别是3和4.1ppb。可见在哀牢山区的表生地球化学条件下,Au既未贫化也无显著的富集,Au及含Au岩石的风化、搬运和混合主要是物理的机械过程。

2. 元素的共生组合与指示元素选择

哀牢山金矿带各主要矿田,岩石、土壤和根系沉积物等介质中,Au都与As、Ag、Sb、Hg、W、Cu等元素显著相关,与Cr、Ni、Co、V、Ti等元素不相关,各自形成族

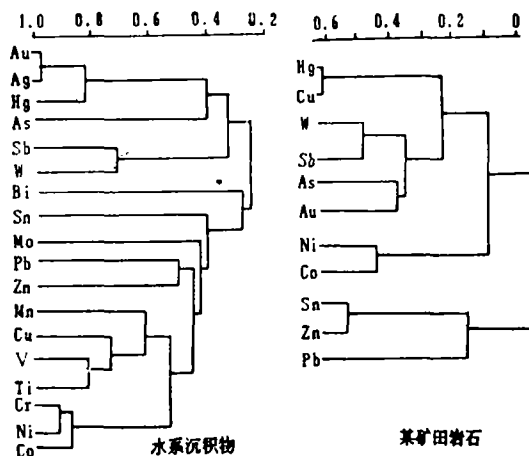


图 1 R型聚类谱系图

群(图1)。与Pb、Zn、Sn、Mo、Bi等元素的关系也不密切,但原生和次生异常中却与其有一定的相关性,常成为异常组合中的一员。

不同矿田或矿床的元素组合又略有差异,大致有Au、As、W组合,Au、As、Ag组合与Au、As、Sb组合三种类型。它们

分别与前述三种矿石类型相对应,标志矿体的不同剥蚀深度,由浅而深的标志元素是Sb→Ag→W。因此,哀牢山破碎蚀变岩型金矿的主要指示元素有Au、As、Ag、Sb、W、Hg、Cu等。

从元素共生组合关系还可发现,Au不与超基性—基性岩常见元素Cr、Ni、Co、V、Ti等相关,相反却与中酸性—碱性岩常见元素W、Bi、Mo有一定联系。故认为该矿床是与中酸性—碱性岩浆热液活动有关的破碎蚀变岩型金矿。

3. 指示元素的迁移扩散特征

化探研究表明,热液作用下指示元素的迁移扩散与含量分布服从指数规律,其数学表达式为

$$C_x = C_{\max} e^{-\frac{x}{K}}$$

式中: $C_{\max}$ ——邻近矿脉的最高含量; K ——迁移扩散系数,反映元素迁移扩散能力的大小; x ——至矿脉的距离; C_x —— x 处的元素含量。

据哀牢山部分金矿床原生晕剖面实测资料,按回归分析方法计算出各指示元素的迁移扩散系数, $K_{Au} = -8.2 \sim -26.5$,平均 -13.8 ; $K_{As} = -7.8 \sim -40$,平均 -18.1 ; $K_{Sb} = -11 \sim -61.9$,平均 -30 ; $K_W = -9.3 \sim -23.2$,平均 -17.6 ; $K_{Cu} = -86.6 \sim -125.1$,平均 -105.9 ; $K_{Hg} = -102.1 \sim -273$,平均 -173.9 。可见,Au、As、W迁移扩散能力最弱,扩散距离在20m以内,为内带元素;Sb、Cu迁移扩散能力和距离均属中等,约30~100m间,属中带;Hg的迁移扩散能力最强,扩散距离在100m以上,属外带元素。按扩散能力由小到大和分布的从内到外是Au→W→As→Sb→Cu→Hg。

4. 地球化学异常特征

(1) 原生异常:无论在平面还是剖面上,主要指示元素异常都呈狭窄的长条状围绕矿化破碎带展布,由内到外和由下到上的元素分带是W、Pb→Au、As→Sb→Cu→

Hg。

W和Pb异常最狭窄,仅10~30m,多零星分布在矿化带内部或旁侧,深部发育好些,属尾晕和内带元素。W异常浓度一般64~125ppm,极大值>2000ppm; Pb异常浓度一般20~60ppm,极大值500ppm。Au、As、Sb异常规模较大,常完整地包围整个矿化破碎带,浓集中心显著,与矿体吻合较好,属异常中带元素。Au、As异常宽20~50m,浓度分别是250~ $n \times 1000$ ppb及ppm; Sb异常规模略大,宽20~80m,浓度一般为32~200ppm,极大值>100ppm。Cu异常零星分布于矿化带旁侧,尤其是底板一侧,宽20~80m,属异常外带,浓度一般为60~500ppm。Hg异常宽度最大,约在100m左右或更宽,属前缘晕和异常外带元素,异常浓度一般为250~1000ppb,极大值9000ppb。

(2) 次生异常:1:20万区域化探发现,沿哀牢山变质带南北两段分别为Au含量在1.6~4ppb的高背景带,其间(元江—红河)为小于1.6ppb的低背景区将二者分开。在此高背景带上断续出现Au及相关元素的区域异常,这是矿带的地化标志之一。

已知金矿田均有一个区域异常与之伴随,异常的显著特点之一是指示元素分带齐全,一般由Au、As、Ag、Sb、Hg、W、Mo、Bi (Sn) 组成(图2),分带清晰,相互套合良好。Bi、(Sn)异常构成内带; W、Mo异常既可出现在中带也可出现于内带,图2异常即属于中带,而在另一些区域异常中又多与Bi、(Sn)异常相似; Au、As异常范围中等,属中带; Ag、Sb、Hg扩散范围最大,构成异常外带。浓度分带也较显著,按 $\log C = \log C_0 + k \log S$,以 $k = 2, 3, 4 \dots n$ 作为分带标准,所有指示元素皆可出现2~3个浓度带,部分异常和部分指示元素甚至可出现4~5个浓度带。第二个特点是异常浓度、离散性和规模都较大。Au异常平均浓度都大于30ppb,极大值都在100ppb以上,

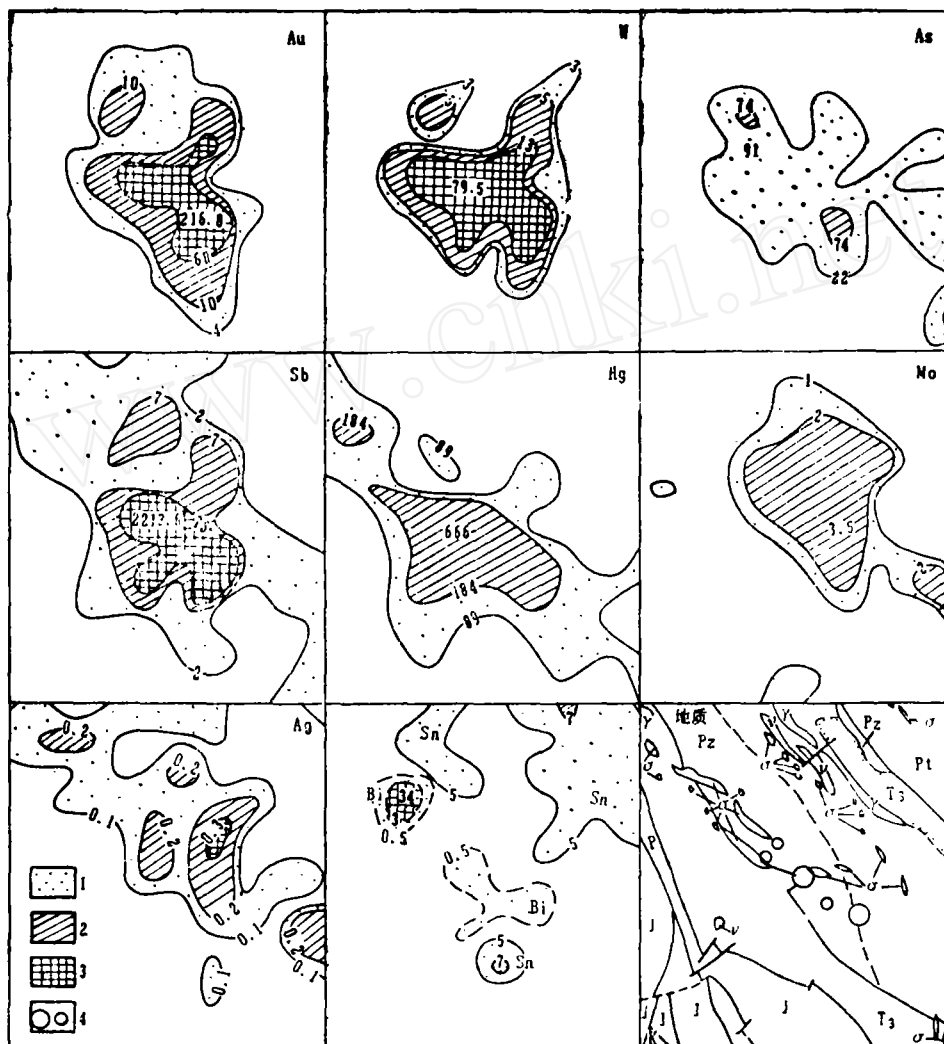


图 2 袁牢山某矿田水系沉积物地球化学异常平面图

K—白垩系, J—侏罗系, T₃—中三叠统, Pz—古生界变质岩, Pt—袁牢山群, σ—超基性岩, γ—基性岩, γ—混合花岗岩; 1—低浓度带; 2—中浓度带; 3—高浓度带 (Au、Hg为ppb, 其余为ppm); 4—矿床和矿点

变化系数(标准离差/均值)均大于1, 异常规模大于3000ppb·km²。而目前仅发现矿化及偶见矿体的区化异常, Au异常平均浓度多在10ppb左右, 极大值多小于60ppb, 变化变数也小于1, 对其中前缘元素异常发育者也值得重视。

地球物理特征与模型标志

1. 地球物理方法找矿前提

袁牢山金矿石中伴生有一定数量的金属

硫化矿物和氧化矿物, 显示出物探(电法)找金的地质前提与良好前景。为研究物探方法的有效性, 首先系统地对各主要矿区及矿体的各类岩(矿)石物性进行测定, 电性特征如表2所示。由表可见: 原生金矿体为低阻、高视金属因子、高极化体, 氧化金矿体是高阻、低视金属因子、高极化体, 二者都有别于除炭质板岩以外的其它围岩。原生金矿平均视极化率(η_v)达4.97%, 为其它围岩的2.6~7.4倍, 平均视电阻率(ρ_v) 101Ωm,

哀牢山金矿岩(矿)石物性参数表

表 2

岩 (矿) 石 名 称	标本 数	视 极 化 率 η_s (%)		视 电 阻 率 ρ_s (Ωm)		视金属因子 (η_s / ρ_s)
		平 均 值	变 化 范 围	平 均 值	变 化 范 围	
原生金矿	65	4.97	1.6~8.1	101	51~250	0.0492
氧化金矿	22	3.8	2.2~4.8	3504	1842~7685	0.00108
炭质板岩	13	9.4	7.4~12.6	21	11~51	0.44762
蚀变砂岩	39	1.9	0.3~6.4	3303	1798~6136	0.00057
变质(粉)砂岩	23	0.67	0.1~2.8	424	103~965	0.00158
硅质岩	6			386	202~552	
板岩	22			3393	364~11625	
超基性岩	15	1	0.3~2	189	122~343	0.00529
花岗岩	12	1	0.7~1.5	1162	670~2007	0.00086

仅为其它围岩的1/2~1/33。氧化金矿 $\eta_s = 3.8\%$, 为其它围岩的2~5.7倍, $\rho_s = 3504 \Omega m$, 为其它围岩的1.2~32.1倍。各类岩(矿)石视金属因子($J_s = \eta_s / \rho_s$)排列顺序是炭质板岩>原生金矿>超基性岩>氧化金矿>其它围岩。炭质板岩也是低阻高视金属因子高极化体, 与原生金矿比较其 η_s 、 J_s 异常幅值更高, ρ_s 值更低。当它与金矿体共生时则强化异常, 当它独立存在时则形成干扰异常, 其强度还高于矿异常, 此时可借助地质、化探标志加以区分。总之, 就物性特征和排除干扰异常的可能而言, 矿体与围岩之间存在显著的差异, 具备地球物理电法勘探的前提。

金矿及其围岩大多为无磁性或微磁性, 唯基性、超基性岩属强磁性岩石。由于金矿与其主要近矿围岩并无磁性差异, 因而不具备运用磁法寻找金矿的前提。但哀牢山破碎蚀变岩型金矿总与超基性岩带及其所标志的断裂带有空间上的联系, 矿体多出现在岩体接触带或附近, 因此磁法勘探亦可作为圈定基性、超基性岩体和研究断裂带的手段, 间接为探寻金矿服务。

2. 矿体异常特征

原生金矿体在不同装置和不同极距的激电剖面上均能产生高 η_s 、高 J_s 、低 ρ_s 异常, 仅由于反映深度不同, 异常幅值和异常宽度有所变化(图3)。 η_s 异常幅值变化范围是

3.1~4.3%, 相对于围岩区高1.9~9.5倍; ρ_s 异常极小值变化范围是50~150 Ωm , 仅为围岩区的1/3~1/8; J_s 异常幅值在不同矿体上变化较大。由 90×10^{-4} 直至 600×10^{-4} 不等, 但都较围岩区高6~15倍。 η_s 、 ρ_s 、 J_s 异常宽度视矿体规模、不同的观测极距而变化, 由20~100m不等, 同一极距的剖面上 η_s 、 ρ_s 、 J_s 三者的异常宽度相近。总之, 原生金矿激电异常无论异常幅值或是异常规模均十分显著, 预测效果较好。

在具备产生自然电场的水文地质条件下, 从物性可知原生金矿体能形成自电异常, 当矿体与炭质板岩共生时, 则能形成很强的异常(如图3), 其 ΔV 异常极小值达-150mV, 而围岩则产生幅值不大的正自电值, ΔV 10~50mV, 相差10倍左右。另一些矿床及矿体的自电异常幅值不如上例显著, 但仍可观测到-20~-50mV、与围岩区幅值相差5~6倍的自电负异常。还有一些矿床及矿体由于不利的水文地质条件, 而没有自电异常出现, 因此自然电场法找金效果还受到水文地质条件的制约, 只能作为辅助方法。

氧化金矿产生高 η_s 、高 ρ_s 、低 J_s 异常。 η_s 异常无论幅值或其与围岩区幅值的差异, 均与原生金矿相似; ρ_s 异常极大值变化范围是372~516 Ωm , 相对于围岩区高出2.3~3.4倍; J_s 为负异常, 极小值变化范围是

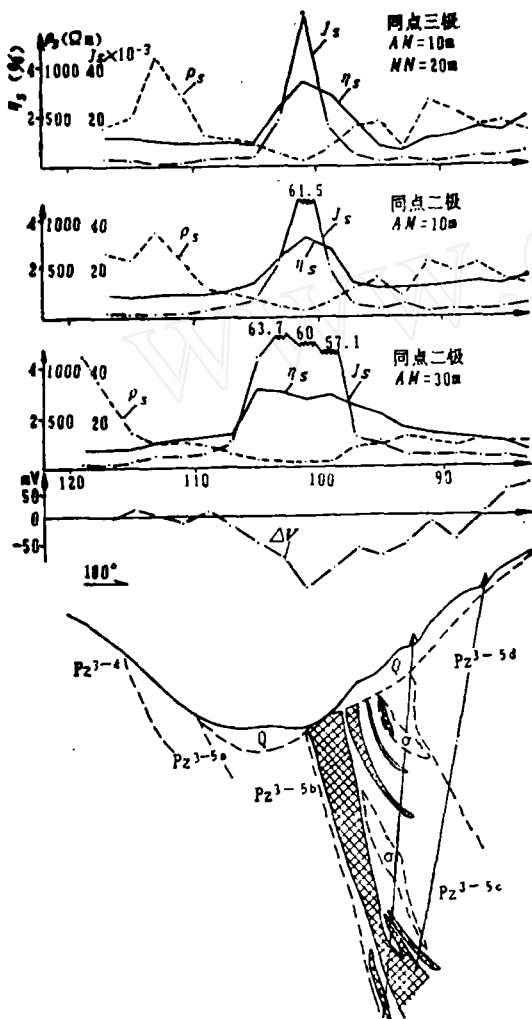


图3 袁牢山某金矿区电法综合剖面图

Q—坡积残积物; Pz^{3-5d}—绢云、硅质板岩夹炭质泥晶灰岩和硅质岩条带; Pz^{3-5c}—绢云、千枚板岩夹石英杂砂岩; Pz^{3-5b}—含炭质硅质岩或炭质板岩硅质绢云板岩; Pz^{3-5a}—绿泥绢云板岩偶夹灰岩小透镜体或条带; Pz³⁻⁴—薄层变质石英砂岩; σ—超基性岩体

$35 \times 10^{-3} \sim 50 \times 10^{-3}$, 约为围岩区幅值的1/2。当矿体氧化十分强烈硫化矿物已不复存在时, 仅表现为高 ρ_s 、低 J_s 异常, 而无 η_s 异常出现。

隐伏矿体当覆盖层厚度(h) < 矿体宽度(d)时, 仍有 η_s 异常出现, 仅异常幅值有所降低; 当 $h > d$ 时, η_s 异常消失或极微弱; ρ_s 曲线受覆盖层的影响更大, 隐伏矿体上方一般都不出现 ρ_s 异常(图4); 因此激电方法对隐伏矿体的探测是有条件的。

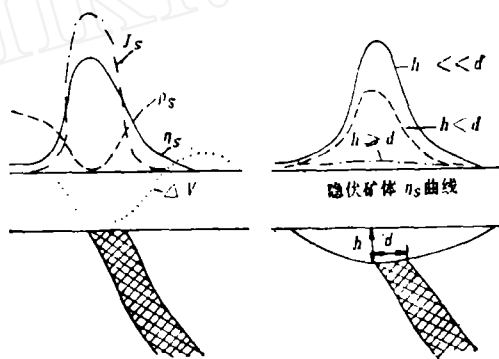


图4 金矿体的激电异常模型

η_s 异常曲线形态对矿体产状特征反应灵敏, 在矿体倾向一侧曲线下降较另一侧缓慢, 倾角越小, 这种差异越显著。另外当观测极距 $AM=5、10、30$ 米逐步增大时, η_s 异常幅值逐步降低, 同时异常亦明显向矿体倾向一侧扩展。利用 η_s 异常曲线形态及其随极距 AM 增大的变化特征, 可以大致判断矿体的产状。

金矿的地质、物化

探综合标志

袁牢山金矿主要的地质、地球化学、地球物理综合标志可归纳为

1. 强烈的破碎带, 显著的围岩蚀变, 一定数量的金属硫化矿物和氧化矿物分布, 破碎蚀变岩石Au丰度达100ppb左右或以上。

2. 以Au为主的(Au平均: 岩石10ppb左右, 土壤>100ppb, 水系沉积物>40ppb) Au、As、Sb、W、Cu、Hg、Bi、Mo组合

异常,或Au浓度稍低(水系沉积物 $>10\text{ppb}$,土壤 $>50\text{ppb}$),而前缘元素Sb、Hg较高的异常。

3. 高 η_s 、高 J_s 、低 ρ ,或高 η_s 、低 J_s 、高 ρ ,激电异常,自电 ΔV 负异常。

Geological Features and Geophysical-Geochemical Anomaly Characteristics of the Ailaoshan Gold Ore Belt

Wu Shanglong

This paper emphatically expounds geological features and geophysical-geochemical anomaly characteristics of the Ailaoshan gold ore belt and the premise of gold exploration with geophysical prospecting methods. An integrated guide for geological-geophysical-geochemical exploration has been summed up. Finally a discussion of gold metallogenesis is given.

胶东地区金矿床(点)地表 原生晕某些特征

分析总结胶东地区盛家沟、盘马、旧店、望儿山、玲珑108号和52号脉、三山岛、金青顶、焦家、玲南、破头青等已知金矿床(点)地表原生晕及断裂构造地球化学特征,结合矿床的矿化类型、延深、规模、地质条件等具体情况,得出了该区金矿床的某些地球化学标志:

1. Hg、As、Sb是前缘晕指示元素或预示矿体剥蚀较浅。浅剥蚀或未受剥蚀的中型以上金矿床均有明显的Hg异常。Bi、Mn、(Mo)是尾晕指示元素或预示矿体剥蚀较深。具有同等剥蚀程度的金矿床,地表原生异常规模与矿床规模呈近似正相关。

2. 出露矿或浅埋藏矿地表原生晕有两种情况:①Au、Ag、As、Sb、Hg、Cu、Pb、Zn、Bi等均有异常显示;②Au、Ag(As)异常发育,其他元素异常较弱。以上如Hg异常极发育,或Sb比Bi异常明显好,预示金矿体延深较大,有Be异常出现则预示找矿前景更好;如Bi、Mn、Mo比其他元素(Au、Ag除外)异常发育预示矿体剥蚀较深。此外,Cu比Zn异常明显好时,往往预示矿石品位较好。

3. 盲矿体地表原生晕也有两种情况:①Cu、

Pb、Zn、As、Sb、Hg,特别是后三者异常发育,Au、Ag异常较弱(Au比Ag弱);②Au、Ag异常较发育(Ag好于Au),As、Sb、Hg异常明显好于Bi、Mn、Mo异常,Pb比Zn异常发育。已确定为矿致异常者如Hg、Sb或其中之一异常特别发育,且Cu比Zn异常明显,或有Be异常时,预示找矿的前景很好。

以上2、3两项是针对花岗岩分布区。老地层分布区产出的金矿脉Mn、Mo、Co、Ni异常普遍发育,且有 $\text{Ni}/\text{CO}>1$ 。判别矿体剥蚀程度不能只看Mn、Mo两元素。

4. 胶东地区含金断裂构造地球化学特征为:出露矿均显示以Au为主的多种微量元素组合异常;剥蚀程度不同,异常强度也不一样,规模大者,且有Hg、Be异常出现,预示大型特大型矿床存在;含金断裂多有 $\text{Au}\cdot\text{Ag}\cdot\text{As}/\text{Ti}\cdot\text{Mn}>1/10$ 万,含盲矿地段As、Sb、Hg异常发育,伴有Pb、Ag、Au异常,Bi异常不发育;含矿断裂的不含矿地段与不含矿断裂的地球化学特征无明显差异,都不出现上述地球化学特征。

上述规律是根据现有化探资料总结的,难免有局限性,在应用时需结合具体地质情况,综合多方面的信息,避免片面性。

【冶金部物探公司物化探研究所 李富国】