

漠滨金矿区外围地层及矿区围岩中金的 负异常及其地球化学意义*

孙承轅 张 干

(南京大学地球科学系)

漠滨金矿区外围地层及矿区围岩中显示有规律的 Au 正、负异常套合模式,在成因上与矿床形式密切相关。本文研究了 Au 负异常模式中各区段的元素地球化学特征,探讨了湘西南漠滨型层控金矿床的形成机制,指出了 Au 负异常模式的找矿意义。

关键词 漠滨金矿 金异常模式 地球化学 微量元素组合

湘西南地区是江南古岛弧金矿成矿带的重要组成部分,分布有以单金—石英脉和金—锑石英脉为主要类型的金矿床。它们受控于区内广泛分布的元古界板溪群浅变质岩系。赋存于板溪群五强溪组中的漠滨金矿,是区内规模较大、具代表性的矿床,研究该矿区及其外围岩石中 Au 和其他微量元素地球化学特征,有助于揭示本区层控金矿床的成因机制,指导湘西南及邻区的地球化学找矿工作。

区域及矿床地质概况

湘西南地区在大地构造上位于江南古岛弧带的西南端。区内地层以元古界板溪群五强溪组和震旦系江口组为主,另有少量寒武纪、石炭纪、二叠纪及白垩纪地层。

五强溪组为一套浅绿片岩相变质的海相火山碎屑岩系,厚度达 4000~5000m,主要岩性为变质砂岩、砂质板岩、板岩及凝灰质板岩、沉凝灰岩等,具明显的沉积旋回性。系统的地质学、岩石化学和稀土元素地球化学研究表明,五强溪组形成于活动大陆边缘地质背景,是一套类复理石建造。

漠滨金矿赋存于五强溪组第二岩性段。矿区位于岩层走向由北东向近东西向的转折处,其西南为漠滨大断层(图 1)。区内广

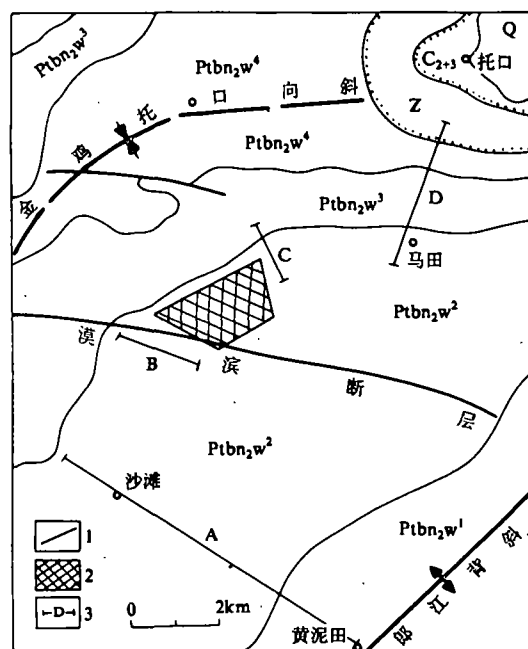


图 1 漠滨地区区域地质及采样剖面位置略图

Q—第四系; C₂₊₃—中上石炭统; Z—震旦系; Ptbnw—板溪群五强溪组; 1—断层; 2—漠滨金矿; 3—采样剖面及编号

* 国家自然科学基金资助项目。

本文 1992 年 5 月收到, 李春兰编辑。

泛发育各种层间剥离构造,含金石英脉即充填其间。金主要以粒度较大($>0.83\text{mm}$)的自然金产出,品位变化很大。主要金属矿物有黄铁矿、毒砂、自然金、黄铜矿、方铅矿、铜蓝、车轮矿、闪锌矿等。脉石矿物主要为石英,还有少量方解石、绿泥石和白云石等。根据矿物标型特征及其交生关系,可划分出金—石英、自然金—石英—硫化物及碳酸盐 3 个矿化阶段。矿区围岩蚀变微弱,有硅化、绿泥石化、毒砂化和黄铁矿化。

矿区及围岩中金的分布特征

为了研究矿区和外围岩石中 Au 的含量变化,作者分别对远离矿区的黄泥田—沙堆剖面 and 马田—托口剖面(图 1 中的 A 和 D),矿区附近的两条地层剖面(图 1 中的 B 和 C)及矿区内的代表性穿脉剖面进行了认真的地质观察和系统采样,定量分析了各剖面岩石中 Au 及其伴生微量元素的含量。

1. 远金矿剖面岩石中 Au 的分布特征

A、D 剖面位于远离漠滨金矿的五强溪组中,Au 分析结果(表 1)表明,本区五强溪组 Au 的平均含量为 0.7×10^{-9} 。与上部大陆地壳平均值(1.8×10^{-9} , Taylor, 1985)相比,呈现出明显的亏损特征。

表 1 远矿剖面各岩性段及不同岩性中金含量特征

岩性段、岩性	样品数	金含量特征	
		平均含量($\times 10^{-9}$)	变异系数(%)
第一岩性段	10	1.07	52
第二岩性段	24	0.50	57
第三岩性段	6	0.38	32
第四岩性段	5	0.80	38
沉凝灰岩	5	0.52	26
变余砂岩	18	0.60	76
凝灰质板岩	4	0.70	22
砂质板岩	12	0.60	70
板岩	6	0.85	51
剖面平均	45	0.70	61

在剖面的 4 个岩性段中,Au 含量呈现近矿区的二、三岩性段较低、远离矿区的

一、四岩性段较高的特征。剖面中不同岩性的 Au 含量相差不大,仅在 $0.52 \times 10^{-9} \sim 0.85 \times 10^{-9}$ 之间变化。因此,岩性变化不是引起岩性段之间 Au 含量不同的主要原因。笔者认为,这种含量上的显著差异是由于成矿作用引起的,即二、三岩性段离矿区较近,受矿化作用影响较大,因而岩石转移出去的 Au 也相对较多。

剖面岩石中 Au 含量明显偏离正态分布,呈现出负偏特征(图 2a),表明地层遭受过 Au 的淋失作用。

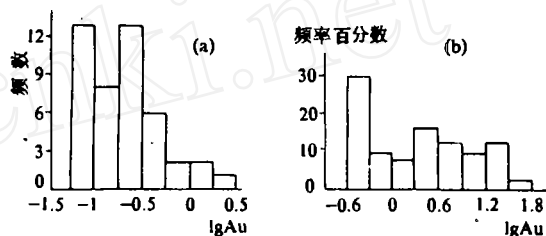


图 2 五强溪组 Au 含量对数频率分布直方图

a—远矿地层剖面;b—矿区围岩

2. 近矿剖面岩石中 Au 的分布特征

位于矿区南北两侧的地层剖面(B和C),均属于五强溪组第二岩性段,其中剖面 B 金的平均值 2.1×10^{-9} ,剖面 C 为 2.2×10^{-9} ,明显高于远矿剖面 Au 的平均值,呈现富集特征,而且 Au 的变异系数均较大,分别为 1.05 和 0.92,具较大的不均匀性。

3. 矿区围岩中 Au 的分布特征

矿区围岩 163 个岩样 Au 的平均含量为 2.2×10^{-9} ,变异系数为 1,Au 含量对数频率直方图(图 2b)呈现三峰分布特征,可粗略解析出 3 个子体,其中低值子体($\text{Au} < 2 \times 10^{-9}$)占样品总数的 50%以上,而 $\text{Au} < 0.5 \times 10^{-9}$ 的样品又占样品总数的 30%,表明矿区外围岩石中有相当部分 Au 处于贫化状态。

图 3 为矿区内两条代表性穿脉剖面中 Au、As、Sb 的含量变化曲线。从中可以看

出, 矿脉附近围岩中 Au 呈现高值异常, 而离开矿脉一定距离则呈明显的低值带, Au 含量不仅低于矿区围岩的平均值 (2.2×10^{-9}), 而且大大低于远矿剖面中受矿化作用影响很小的一、四岩性段 Au 的平均值

(0.98×10^{-9})。矿区中较大含金石英脉的上、下盘围岩中都存在着这种低值带, 其宽度 (规模) 与脉体矿化强度有关, 矿化强度越大, 两侧围岩中 Au 的低值带就越宽, As、Sb 与 Au 有相似的变化趋势。

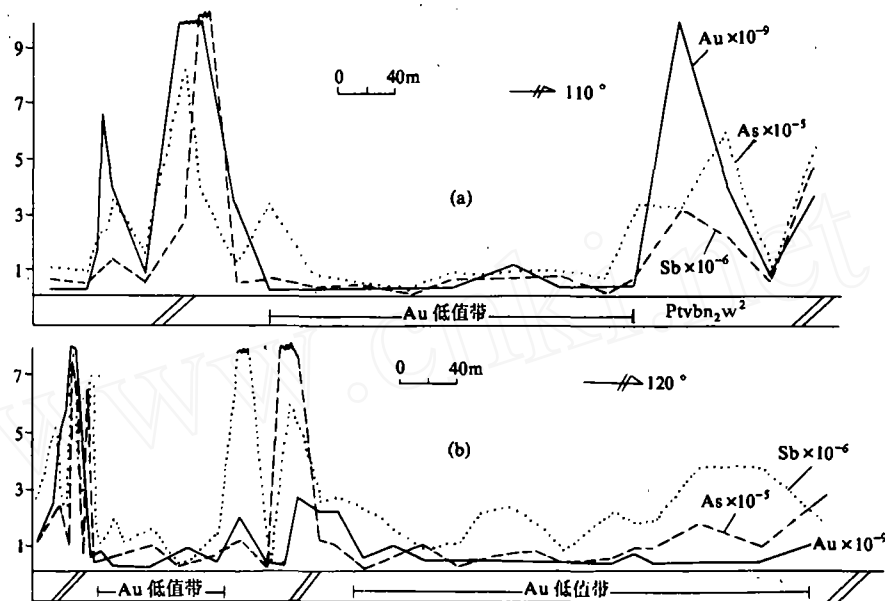


图3 漠滨金矿穿脉剖面 Au、As、Sb 含量曲线

a—290 中段 24 线穿脉; b—340 中段 12 线穿脉

负异常模式及元素组合特征

如果将远矿和近矿地层剖面与区内穿脉剖面联系起来, 则不难发现, 随着五强溪组剖面离矿区由远而近, 岩石中的 Au 含量呈现出有规律的不连续变化。根据这种变化, 可划分出 5 个区段。各区段中微量元素含量 (表 2) 及元素组合特征 (R 型聚类谱系图略) 也显著不同。

I 区段在空间位置上离矿区最远代表了未受矿化作用影响的背景区, 其 Au 的平均含量为 1.0×10^{-9} , 明显低于上部大陆地壳的 Au 丰度 1.8×10^{-9} 。在其余的 16 种微量元素中, 除 Hg 和 Sr 含量偏低外, 其他元素均接近或大于它们在上部大陆地壳中的平

均值。在 R 型聚类谱系图上, Au 与 As、Sb 有着密切的相关关系。

II 区段是矿区外的一个宽广的 Au 负异常区, Au 平均含量仅 0.5×10^{-9} , 表明该区段由于遭受以水热淋滤为主的地球化学作用, 使地层中的易活化 Au 被大量带出。与 Au 同步减少的还有 Ti、V、Ni、Mn、Ba 等。在 I 区段与 Au 相关的 As 和 Sb, 其含量却显著增加, 而 Ag 含量变化不大。因而与 I 区段相比, Au/Ag、Au/As、Au/Sb 比值都显著减小。Au 与 As、Sb 的关系明显弱化, 而与 Ti、V、Ba 等不活泼元素极显相关。

III 区段 Au 平均含量为 2.2×10^{-9} , 显著高于 I 区段, As、Sb、Hg 及 W 的含量

也明显增高, 但 Ag 及 Ni、Co 等含量下降, 因而 Au/Ag 比较大。元素相关性, III 区段中 Au 与 As、W、Hg 有较好的相关关系, 与 Ag 和 Pb 也相关。这种元素相关

组合一方面继承了 I 区段的 Au-As-Sb-Pb 组合特征, 另一方面又由于矿化作用的影响, 使 Au、As、Sb 趋向于共同富集, 并在相关体系中加入了 Hg 和 W。

表 2 各区段中微量元素含量及比值

元素	I (23)	II (25)	III (33)	IV (23)	V (20)	上部大陆地壳
Au	1.0	0.5	2.2	0.6	15.1	1.8
Ag	70	80	50	130	120	50
Cu	23	20	20	20	20	25
Pb	34	22	21	25	20	20
Zn	121	94	97	129	98	71
As	3.4	6.7	9.1	6.4	28.2	1.5
Sb	1.1	1.6	2.1	1.5	4.7	0.2
Hg	23	23	60	19	53	80
W	3.0	2.6	4.5	4.0	4.6	2.0
Cr	72	62	77	88	134	35
Ni	16	9	6	17	10	10
Co	13	12	9	15	15	10
V	62	52	65	63	57	60
Ti	3531	3208	3601	3499	2707	3000
Mn	706	444	491	910	678	600
Sr	109	124	78	165	116	350
Ba	977	677	923	754	514	550
Au/Ag	14×10^{-3}	6.3×10^{-3}	44×10^{-3}	4.6×10^{-3}	126×10^{-3}	36×10^{-3}
Au/As	3×10^{-4}	0.75×10^{-4}	2.4×10^{-4}	0.93×10^{-4}	5.4×10^{-4}	12×10^{-4}
Au/Sb	0.9×10^{-3}	0.3×10^{-3}	1.0×10^{-3}	0.4×10^{-3}	3.2×10^{-3}	9.0×10^{-3}
Co/Ni	0.81	1.33	1.47	0.88	1.50	1.0
Cr/Ni	4.5	6.9	16.3	5.2	13.4	3.5
空间位置	距矿区 > 5~8km	距矿区 3~8km	距矿区 0.5~1.5km	距主矿脉 50~300m	距主矿脉 < 5~10m	

注: (1) 上部大陆地壳元素丰度资料据 S. R. Taylor 等, 1985 (其中 Hg 为 1964 年资料); (2) 元素含量单位: Au、Ag、Hg 为 10^{-9} , 其余为 10^{-6} ; (3) 括号内数字为样品个数。

IV 区段 Au 的平均含量为 0.6×10^{-9} 。与 II 区段一样, 亦为 Au 的负异常区, 只是规模较 II 区段小, 其负异常宽度仅数十米至数百米。IV 区段中与 Au 显著相关的元素只有 Ag, 且相关系数不大, 表明 Au 在其活化转移过程中与其他微量元素发生了明显的分异。IV 区段由于 Ag 含量急剧升高, 因而 Au/Ag 比最小, 仅 4.6×10^{-3} 。Au/As、Au/Sb 等元素比值与 II 区段相近似。

V 区段为脉旁围岩, 其 Au 含量最高, 平均为 15.1×10^{-9} 。它们与矿脉一起, 受到上述两次金转移作用的叠加。随着 Au 含量的增高, As、Sb 含量同步增高, Ag 及其

他微量元素含量变化不大, 因而 Au/Ag 比明显增大(126×10^{-3})。由于该区段 Au 大量集中, 并且在岩石中多以自然金粒出现, 使金的相关体系遭到弱化, 这种弱相关体系的元素组合为 Au-As-Sb-Ag-Cu-Pb-Mn-Cr-Ni-Co。

在上述 5 个区段中, 除 I 区段作为漠滨金矿外围五台溪组 Au 的背景区外, 从 II 区段到 IV 区段, Au 含量经历贫化—富集—再贫化—再富集的变化过程, 两次贫化和两次富集为一共轭体系, 构成本区 Au 负异常模式 (图 4)。

综上所述, II、IV 两个区段均为 Au 亏

损带,其共同特点是 Au 含量低、相关体系简单、相关系数较小。区别在于,Ⅱ区段 Au 含量的变异系数(36%)小于Ⅳ区段(50%),反映Ⅱ区段岩石遭受 Au 含量平夷化作用,即 Au 的淋失作用较Ⅳ区段更为均匀和普遍;在规模上,Ⅱ区段大于Ⅳ区段,前者水平宽度达 2~5km,而后者仅数十米至数百米。这些差异表明形成Ⅱ、Ⅳ区段 Au 贫化的地质地球化学机制有所不同。

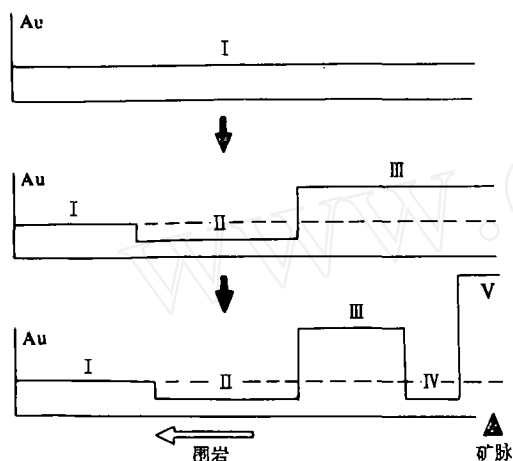


图 4 金负异常模式形成过程示意图

在空间位置上,Ⅱ区段以矿区为中心,在两侧岩石中呈对称分布;Ⅳ区段则以矿脉为中心,在其上、下盘岩石中对称分布。这种对称性直观地表明,从Ⅱ、Ⅳ区段中淋滤出来的 Au,分别向矿区和矿脉运移。联系到Ⅱ、Ⅳ区段在形成规模上的差别,可以认为:Ⅱ区段对矿区整体的形成有重要贡献,称为矿床级负异常;Ⅳ区段对矿脉矿化的进一步加强及富矿体的形成有很大影响,称之为矿体级负异常。此外,由于矿液是由外向内的中心式运移,而Ⅱ、Ⅳ两个区段又共同存在,故在形成时间上,Ⅱ区段比Ⅳ区段早,后者是以Ⅲ区段为背景形成的。这种 Au 负异常模式形成的阶段性,与漠滨金矿床两期金的成矿作用,即自然金—石英阶段和自然金—硫化物—石英阶段相对应,从而进一步证明了漠滨金矿床的成矿物质来源于

外围板溪群五强溪组。

讨 论

前已述及,Ⅱ、Ⅳ两个 Au 负异常区在形成规模及 Au 淋失作用的均匀程度等方面存在明显差别,反映了漠滨金矿床的两期金成矿作用在机制上有所不同。联系湘西南地区弧形构造与切层断裂联合控矿的构造控矿特征,以及矿区富矿体常与节理脉发育有关等特点,笔者认为,在地层的抬升、弧形构造及断裂形成过程中,变质热液与地下水环流热液相混合,浸取了地层岩石中的 Au 及其伴生微量元素,在构造应力的驱使下,向弧形构造以及与之相伴生的层间断裂中运移,由于压力骤降,CO₂ 气体逸散,致使 Au 络合物解体,导致 Au 的沉淀。这一过程即第一次 Au 的成矿作用,它形成了外围广泛的 Au 贫化,同时形成了以Ⅲ区段为代表的金富集区以及初步矿化的石英脉体,这种 Au 的活化、转移和富集主要与构造压滤作用有关。而在稍后阶段,由于矿区裂隙系统的进一步活动,使矿区地层浸渍于热液之中,岩石中 Au 遭受淋析进入热液,经过裂隙渗滤、流动(或)汇合,在适当的地方发生 Au 的沉淀。这一过程即第二次金的成矿作用,在Ⅲ区段的基础上,形成Ⅳ区段为代表的 Au 负异常区,并进一步使石英脉体矿化增强。需要指出的是,引起这一过程的动力,一方面是由于裂隙的再张开,从而形成围岩向裂隙的负压梯度,另一方面则因 Au 的沉淀导致 Au 的化学势较低(低于围岩中 Au 的化学势),进而造成围岩与沉淀场所的化学势差。因此,在这一过程中, Au 的溶解和沉淀是在不同场所同时发生的,它与第一次成矿作用过程中 Au 经溶解(淋析)→搬运→沉淀,是有显著差别的;因而笔者认为,第二次成矿作用主要与化学势差有关,可称之为“化学榨取”作用。顺便指出,由于“化学榨取”作用更借助于裂隙系统,它

对地层 Au 的平夷化作用更为不均匀,使得 IV 区段 Au 变异系数大于 II 区段,并且作用范围比较小,因而使 III 区段得以残留。

Taylor(1985)曾用元素的海水—上部地壳分配系数来表征元素在天然水中的活动性。他经计算给出的元素活动顺序为 $Au > As > Sb > W > Hg$, 即 Au 具最强的活动性。根据笔者对漠滨金矿床同位素及包裹体成分的研究,主要由下渗海水形成的地下水环流热液是成矿热液的重要组成部分,这样, Au 形成上述的负异常模式就不难理解。As、Sb 活动性仅次于 Au,故它们在贫化作用较强的 IV 区段有相似的贫化现象。

已有的研究表明,除 Au 外,其他一些重要成矿元素如 Cu、W、U、Pb、Zn 等,也常形成自己的元素负异常模式(张景廉, 1988; 周俊法, 1987)。元素负异常模式的存在,有力地说明了成矿物质来源于围岩或部分来源于围岩地层。不同矿床类型,其外围区域亏损带(相应于 II 段)的形成机制可能不同,其动力来源可以是区域构造应力(如湘西南的漠滨型金矿),也可以是岩浆作用或火山作用(如斑岩铜矿、与陆壳改造型有关的钨锡矿床等)。但是,矿区内部元素

亏损带(相应于 IV 区段)的成因往往有其共性,即都是由于裂隙的再活动与化学势梯度造成的,因而也导致这种负异常区的出现更为普遍。

对于找矿工作而言, Au 地球化学负异常无疑具有重要意义。大范围 Au 亏损区的出现,常指示较大规模金矿化的存在,而其本身所对应地段又往往成为区域上金矿化的贫稀带,故常易受到忽视。矿区内形成的 Au 负异常区(IV 区段)则有利于指示富矿体的存在。此外,在地球化学找矿过程中,对应于不同区段找寻矿床或矿体,其指示元素亦将有所区别。

参考文献

- [1] 郭令智等,《国际前寒武纪地壳演化讨论会论文集》,第一集,地质出版社,1986 年。
- [2] 周俊法,地质与勘探,1987,第 4 期。
- [3] 刘英俊等,《全国第一届矿物岩石地球化学学术交流会论文摘要汇编》,中国科技文献出版社重庆分社,1988 年。
- [4] 周德忠等,矿床地质,1989,第 8 卷,第 1 期。
- [5] 马东升等,中国科学 B 辑,1991,第 4 期。
- [6] Taylor, S.R. et al., The Continental Crust: its Composition and Evolution, Blackwell Scientific Publications, 1985.

Negative Geochemical Anomaly over Mobin Au Mining Area and Their Significance to Ore Exploration

Sun Chengyuan Zhang Gan

Positive and negative geochemical anomalies were observed over the wall rocks in the Mobin gold mining area and the strata outside the area. They are appeared in a regular combination pattern. Metallogenetically it is closely related to the formation of deposits. In this paper geochemical features of elements of different section in the negative geochemical anomaly pattern are studied. The mechanism of the formation of stratabound Au deposits of the Mobin type in southeastern Hubei is also discussed. It is noted that the negative geochemical anomaly of gold has a certain significance in ore-exploration.

