新疆伊吾北山金矿地质地球化学特征及构造-成矿演化*

Geology, Geochemistry and Tectonic-Metallogenetic Evolution of Beishan Gold District in Yiwu, Xinjiang

钱建平 刘家远 杨兰检 康 红

（桂林工学院资源环境工程系，广西 桂林 541004）

Qian Jianping, Liu Jiayuan, Yang Lanjian, Kang Hong

（Guilin Institute of Technology, Guilin 541004, Guangxi, China）

摘 要 通过对成矿地质背景、矿床构造特征和矿床地球化学系统的研究，提出了北山金矿为一与陆相火山活动晚期潜火山杂岩建造之中酸性浅成侵入体热液成矿作用有关的中低温热液矿床的新认识，将本区构造-成矿作用划分为控岩控矿构造形成阶段、深源岩浆上侵—似环状构造形成—岩浆流体成矿阶段和成矿后构造破碎阶段。

关键词 金 矿床构造 地球化学 潜火山杂岩建造 新疆

1 成矿地质背景

北山金矿位于西伯利亚板块老鸦泉—三塘湖晚古生代早期岛弧东段。区域出露地层主要有下泥盆统卓木巴斯套组第二亚组和下石炭统南明水组第一亚组，二者呈假整合接触；次为第三系上新统葡萄沟组和第四系洪积物。卓木巴斯套组第二亚组主要为一套海相中—基性火山熔岩，次为中－酸性火山碎屑岩，碎屑岩；下石炭统南明水组第一亚组下部主要为中基性、中酸性熔岩及火山碎屑岩；上部主要为酸性熔岩及火山碎屑岩。葡萄沟组为一套内陆湖泊相橙红色砂砾岩、粉砂质粘土岩夹砂砾岩。区域岩浆岩按产状可分为两大类：即中－深成侵入岩和浅成－超浅成侵入岩。中—深成侵入岩，由早至晚，由辉长岩、闪长岩→石英闪长岩、花岗闪长岩→花岗岩。浅成－超浅成侵入岩，岩体规模小、出露较零星，岩石类型主要有辉绿（玢）岩，闪长玢岩，斜长玢岩、花岗斑岩等。区域构造线主要呈 NW－NWW 向，以断裂为主，褶皱次之。断裂方向主要有 3 组：NW－NWW 组、NE－NNE 组、NNW 组。其中以 NW－NWW 向最为发育。沿断裂带出现强烈的劈理化和片理化，并控制了一系列侵入岩体的产出，此外，区域西北和南东侧石炭系中发育大量火山机构。区域主要矿产有金、铜、铁、硫、明矾石、钠硝石和沸石等。

2 矿区地质特征

矿区出露地层主要为下泥盆统卓木巴斯套组第二亚组中基—中酸性火山碎屑岩及第三系正常沉积岩和第四系。前者占据矿区主体，岩性主要为（硅化）英安质凝灰岩、安山质凝灰岩、玄武质（晶屑）凝灰岩、凝灰砾质结晶灰岩。整体上由西向东、由中基性向中酸性过渡。第三系上新统葡萄沟组分布于矿区西北部，岩性主要为粉砂质砾岩、泥质岩、粘土岩。对卓木巴斯套组第二亚组凝灰岩取样分析，3 个样 SiO_2

* 本文为国家 305 项目（95-916-02-06）《阿尔曼太—双峰山一带金、铜找矿评价及勘查地球化学研究》部分成果

均较低，为 48.28%～ 52.82%；碱性中等，K_2O+Na_2O 为 4.24%～ 4.72%；K_2O/Na_2O ＜1,为 0.024%～0.24%（图略）。

矿区构造形式主要为断裂，以 NW－NWW 向组最为突出，其次为 NE-NNE 向和 NNW 向。NW－NWW 向断裂，以 F_{15} 为代表，主要发育于矿区的西南部，与区域构造线一致，表现为区域性压性断裂和强烈的劈理和片理化带，严格控制了以闪长岩为代表的岩浆岩带的展布；NE－NNE 向断裂，以 F_{25} 为代表，主要发育于矿区的西部，作为 NW－NWW 向断裂的配套横张断裂，常控制各类小岩体的产出，其晚期多表现为右行平移；NNW 向断裂，以 F_1 为代表，主要发育于矿区的东部，作为 NW－NWW 向配套的平移断裂，早期表现为压剪性，形成强烈劈理化和碎裂岩化带，成矿期控制了石英-碳酸盐金矿化的产出，脉体常见梳状构造，晚期又遭受强烈挤压，表现为石英脉体出现大量压溶缝合线构造。3 组断裂奠定了本区构造的基本格局，其围限三角区域控制了矿区矿化和异常的展布。容矿断裂走向复杂多样，空间分布密集，主要呈 NE、NW 和 SN 向，少量 EW 向；断裂产状陡，倾向延深大，走向延伸短，其延深大于延长；多显示张剪复合性质，平面上矿脉条数多、规模小、密度大；单脉平面呈折线状、锯齿状，V 字型，厚度急变；剖面上呈雁行排列或树枝状，矿体中含大量不规则的围岩蚀变残留体，上述特征显示成矿期构造应力场 σ_1 为竖直方向。

表 1 北山金矿区岩石、矿石微量元素含量和比值

样号	BS-3	BS-7	BS-11	BS-16	BS-20	BS-22	BS-43
岩性	下泥盆统凝灰岩	下泥盆统凝灰岩	辉绿岩	闪长玢岩	斜长玢岩	花岗斑岩	黄铁绢英岩型金矿石
Fe_2O_3	9.51	8.98	10.48	7.52	1.98	3.20	7.39
K_2O	0.47	0.83	0.39	1.03	1.98	3.25	2.62
Rb	9.3	12.5	2.2	24.4	30.4	51.1	47.4
Ba	239	494	486	795	405	1103	245
Th	0.97	0.67	0.67	1.16	0.42	3.23	0.86
Nb	5.0	4.5	1.9	7.0	3.1	8.3	5.9
Sr	787	595	983	589	446	253	77
P	1233	1270	1007	1612	727	831	456
Zr	87.7	99.8	33.9	136.6	98.1	96.4	75.1
Cr	30.2	12.8	11.4	35.9	12.8	10.7	8.2
Ni	22.9	15.7	7.7	22.2	5.8	4.1	4.5
Co	28.7	25.5	28.0	22.3	4.3	6.8	4.3
V	262	257	244	170	82	63	109
Mn	1337	973	1313	1068	310	521	98
Cu	78.6	57.1	78.0	120.6	56.5	20.1	1242
Sc	21.5	22.8	20.5	17.6	3.5	5.4	10.0
Ti	7427	7311	5082	6404	1919	1519	3093
Pb	8	8.2	8.1	9.4	21	15	2870
Zn	79	60	67	106	115	60	713
As	86	6.0	13	20	54	16	11000
Sb	11	1.3	4.7	2.3	4.8	2.1	264
Ag	0.06	0.03	0.06	0.09	0.14	0.14	34
Au	28	1.5	2.4	4.1	18	66	21000
K/Rb	420	551	1471	350	541	528	459
Fe/V	254	244	300	309	168	355	474
Co/Ni	1.25	1.62	3.64	1	0.74	1.66	0.96
V/Cr	8.7	20.1	21.4	4.7	6.4	5.9	13.3
Ti/V	28.3	28.4	20.8	37.7	23.4	24.1	28.4
Ti/Sc	345	321	248	364	548	281	309
Rb/Ba	0.039	0.025	0.004	0.031	0.075	0.046	0.193
Rb/Sr	0.012	0.021	0.002	0.041	0.068	0.202	0.616
Zn/Pb	9.9	7.3	8.3	11.3	5.5	4	0.25
As/Sb	7.8	4.6	2.8	8.7	11.3	7.6	41.7
Ag/Au	21.4	20	25	22.0	7.8	2.1	1.6

注：表中氧化物单位为%，微量元素单位为 10^{-6}，Au 为 10^{-9}

矿区岩浆岩均为华力西中期第二次侵入产物。岩石类型复杂，主要有闪长（玢）岩、辉绿（玢）岩、斜长玢岩，次为石英闪长岩、花岗斑岩、辉石闪长岩等。岩石化学分析，碱度中等，里特曼指数 1.68～3.30，大体属钙碱性，K_2O/Na_2O＜1，为 0.099～0.32。如上所述，本区的岩浆岩具特征的演化规律，从早至晚，由基性至中酸性、酸性，SiO_2 、K_2O+Na_2O、K_2O/Na_2O 、Rb/Ba、LREE/HREE 和 Au 丰度均明显增高。

矿区共有 11 个矿带，其走向不一，延长一般 150～220 m，最长 400 m，最短 40 m，宽一般 2～8 m，其中以Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ号矿带规模较大，沿矿带黄铁绢英岩化发育，地表显示特征的黄色。区内的圈定矿体 26 个（＞1g/t），其中绝大多数产于金矿带中，赋矿岩石为黄铁绢英岩；4 个产于 F_1 断裂带中或其旁侧的次级破碎带中，赋矿岩石为碎裂岩或石英碳酸盐脉。金矿体长一般 40～80 m，最长达 160 m，最短 30 m，视厚度一般 1～3 m，最厚 8 m，最薄 1 m，品位一般 1.10～3.50 g/t，最高 7.00 g/t，最低 1.07 g/t。

按矿石的矿物组成，可将矿石划分成 5 种自然类型，即黄铁绢英岩型、石英脉型、多金属硫化物型、硅化碳酸盐脉型和斜长细晶岩型。其中黄铁绢英岩型最为重要；石英脉型是由黄铁绢英岩经硅化后形成，多分布于黄铁绢英岩中心；多金属硫化物型多在矿体深部钻孔或竖井中出现；硅化碳酸盐脉型主要出现于 F_1 断裂中，斜长细晶岩型仅分布于斜长细晶岩脉内。

矿石结构以自形—他形粒状结构为主，次为乳滴状结构、熔蚀、骸晶结构、包含结构和碎裂结构等。矿石构造主要是星点浸染状构造，次为细脉、网脉浸染状构造和块状构造。

矿石矿物主要有自然金、黄铁矿，次为黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、毒砂、褐铁矿、铜蓝、黝铜矿、黄钾铁矾、孔雀石、白钛矿、白铁矿、自然铜、钛铁矿、氯铜矿等；脉石矿物主要为石英、绢云母、方解石，次为黑云母、绿帘石、水铝英石、金红石、绿泥石、斜长石、高岭石、玉髓、黝帘石、电气石、石膏、沸石、磷灰石、叶绿泥石和榍石等。

矿石的化学成分，依不同的矿石类型而有所不同，黄铁绢英岩型矿石相对富集 Au、Ag、As、Sb、Sn 和 Ti 等，石英碳酸盐型矿石相对富集 Au、Pb、Mn 和 Ni 等。

矿区围岩蚀变类型有硅化、黄铁矿化、绢云母化、高岭土化、碳酸盐化、绿泥石化和绿帘石化等。其中与金关系密切的为硅化、黄铁矿化和绢云母化，高岭土化为近矿标志。

与围岩（凝灰岩）相比，黄铁绢英岩化过程中带入的常量元素主要是 SiO_2、K_2O，带出的常量元素主要是 Fe_2O_3、CaO、MgO、Na_2O 和 P_2O_5。至后期强硅化阶段带入的常量元素仅是 SiO_2，其余大多数常量元素均带出。

本区的找矿标志主要有与潜火山杂岩有关的晚期中酸性岩体，具多期次活动的构造蚀变破碎带，黄铁绢英岩化、硅化、高岭土化和褐铁矿化，Au、As、Sb、Cu、Pb 和 Zn 元素组合异常及大功率激电高相位异常等。

3　矿区地球化学特征

由矿区岩石、矿石微量元素组成对比可得，① 下泥盆统卓木巴斯套组中基性火山凝灰岩与华力西期中、基性浅成侵入岩微量元素组成颇为相似，反映二者可能具有一定的内在联系。② 由华力西期中、基性浅成侵入岩→中酸性浅成侵入岩，其微量元素组成呈有规律的变化，表现为 K_2O、Rb、Pb、Zn、As、Ag、Au、Rb/Ba 和 Rb/Sr 呈有规律增高；Fe_2O_3、Cr、V、Ti、Co、Ni、P、Zn/Pb 和 Ag/Au 有规律减少。③ 黄铁绢英岩的微量元素组成具有双重特点：一方面与中、基性岩类相比，Ba、Nb、P、Zr、K/Rb、Fe/V、Co/Ni、 V/Cr 和 Ti/V 基本不变或变化很小，反映其物质组成上的继承性；另一方面，K_2O、Rb、Pb、Zn、As、Ag、Au、Rb/Ba 和 Rb/Sr 特征与中酸性侵入岩趋于一致或更高，反映其与中、酸性浅成侵入岩关系更为密切，属其晚期进一步演化的产物，具有一定的变异性（表 1）。

由矿区岩矿石稀土元素组成对比可得，①下泥盆统卓木巴斯套组中、基性火山凝灰岩与华力西期中、基性侵入岩稀土配分模式颇为相似，其稀土总量ΣREE 较高，为 53.13×10^{-6}～100.05×10^{-6}，配分曲线均向右倾斜，LREE／HREE 较低，为 3.47～5.21，Eu 为弱负异常至正异常，δEu 为 0.91～1.17。② 华力西期中酸、酸性浅成侵入岩其稀土总量ΣREE 较低。为 38.84×10^{-6}～47.61×10^{-6}，配分曲线向右陡倾，LREE/HREE 高，为 5.98～11.45，Eu 弱亏损，δEu 为 0.72～0.91。③ 黄铁绢英岩金矿石兼具上述二者特点，其ΣREE 较低,为 45.87×10^{-6}，配分曲线向右陡倾，LREE／HREE 高，为 7.65，与华力西期中酸性浅成侵入岩相似； 其 Eu 为正异常，δEu 为 1.18，分布曲线形态更类似于中、基性浅成侵入岩（表 2）。

由铅同位素资料分析可知，矿区黄铁绢英岩型矿石中的方铅矿与中、基性火山凝灰岩，中、基性浅成侵入岩及中酸性浅成侵入岩均位于地幔演化线上及其附近，反映矿石和岩石中的铅均来自上地幔，且矿石中的铅与中酸性浅成侵入岩中的铅更为接近，反映矿区金的成矿与其关系更为密切。

由氢氧同位素资料分析得知，矿区黄铁绢英岩型矿石中的石英 δD 为 －60 ‰～ －75‰ ， δ^{18}O 为 15.1‰～15.8‰， 初步计算求得成矿流体 $\delta^{18}O_{H2O}$ 为 6.16‰～6.86‰；产于 F_1 断层中较晚期的石英碳酸盐脉中的石英 δD 为 －72 ‰ ， δ^{18}O 为 9.7‰，计算求得成矿流体 $\delta^{18}O_{H2O}$ ‰为 0.76。在 δD- δ^{18}O 图解中，早期黄铁绢英岩型矿石中的石英样品落入岩浆水区及其附近，而晚期石英碳酸盐脉中的石英样品则落在岩浆水区与大气降水线之间，反映随着成矿过程的演化和构造系统的开放性增强，大气水的加入逐渐增强。

由石英包裹体资料分析，气相组分以 H_2O 和 CO_2 为主，次为 N_2 和 CO。液相组分以 K^+、Na^+、SO_4^{2-} 和 Cl^-为主， 次为 Ca^{2+}，其中 $K^+ > Na^+$，$F^- < Cl^-$。比较而言，产于 F_1 断层中较晚的含金石英脉气相组

分 CO、CO_2 更高， 此外尚有较高的 CH_4；液相 SO_4^{2-}、K^+、K^+/Na^+更低，F^-、Cl^-更高。由于早阶段石英中包裹体少见，本次仅对晚阶段的石英作了均一法测温，其中沿Ⅳ1 号矿脉中分布的晚阶段石英脉石英均一温度 132～167°C，平均 148°C；F_1 中石英碳酸盐脉石英均一温度 104～161°C，平均 138°C。

表 2 北山金矿岩石、矿石稀土元素含量及特征参数

元素及参数	Bs-3	Bs-7	Bs-11	Bs-16	Bs-20	Bs-22	Bs-43
La	11.99	10.74	7.64	14.51	7.27	8.56	7.24
Ce	29.54	28.53	17.01	36.57	14.97	18.43	17.79
Pr	4.01	3.79	2.42	4.50	2.08	2.29	2.26
Nd	19.86	17.08	10.62	21.39	9.07	9.07	10.67
Sm	4.88	4.33	2.50	5.39	1.86	1.99	1.90
Eu	1.75	1.58	1.06	1.58	0.48	0.45	0.71
Gd	4.91	4.33	3.08	5.07	1.28	1.75	1.72
Tb	0.77	0.67	0.50	0.78	0.16	0.31	0.24
Dy	4.24	3.74	3.11	4.15	0.81	1.74	1.35
Ho	0.83	0.75	0.63	0.81	0.14	0.36	0.26
Er	2.37	2.08	1.94	2.33	0.36	1.10	0.73
Tm	0.32	0.3	0.29	0.33	0.05	0.17	0.12
Yb	2.17	2.09	2.03	2.33	0.27	1.22	0.76
Lu	0.26	0.29	0.30	0.31	0.04	0.17	0.12
ΣREE	87.9	80.3	53.13	100.05	38.84	47.61	45.87
ΣLREE	72.03	66.05	41.25	83.94	35.73	40.79	40.57
ΣHREE	15.87	14.25	11.88	16.11	3.11	6.82	5.30
LREE/HREE	4.54	4.64	3.47	5.21	11.45	5.98	7.65
La/Yb	3.73	3.46	2.54	4.20	18.15	4.73	6.42
La/Lu	4.94	3.97	2.73	5.01	19.46	5.39	6.46
Ce/Yb	3.52	3.53	2.17	4.06	14.34	3.91	6.05
La/Sm	1.55	1.56	1.92	1.69	2.46	2.71	2.40
Gd/Lu	2.42	1.91	1.32	2.10	4.10	1.32	1.84
δEu	1.08	1.10	1.17	0.91	0.91	0.72	1.18
δCe	1.02	1.07	0.94	1.08	0.91	0.98	1.05

注：单位为 10^{-6}

综合以上地质地球化学资料分析，可以认为北山金矿为一与陆相火山活动晚期潜火山杂岩建造之中酸性浅成侵入体热液成矿作用有关的中低温热液矿床。

4 构造-成矿作用演化

本区构造-成矿演化可初步概括为：

第一阶段（控岩控矿构造形成阶段）：早石炭世晚期，在区域强烈挤压构造背景下，形成区域性 NW—NWW 向压性断裂，劈理和片理化带及配套的 NE－NNE 向横张断裂和近 EW、SN 向的平移断裂，奠定了本区控岩控矿构造基本格局。

第二阶段（深源岩浆上侵—似环状构造形成—岩浆流体成矿阶段）：中石炭世开始，区域构造应力场由挤压转为拉伸，导致了与陆相火山活动晚期相关的深源岩浆产生分异作用，由基性至中酸性依次上侵，并带来了成矿物质。在 3 组断裂围限的三角区域内，在岩浆及后期成矿流体的热动力主导作用下，形成似环状断裂构造系统。早期成矿流体温度、压力较高易于与围岩产生水-岩相互作用，在似环状断裂系统中形成黄铁绢英岩型金矿化，该期矿化明显切穿早期区域片理化带；尔后，随着成矿流体温度、压力下降和组分变化，大气水作用增强，在黄铁绢英岩中心和 F_1 断层中形成石英-碳酸盐脉型金矿化。

第三阶段（成矿后构造破碎阶段）：早二叠世晚期，区域构造应力场再次转为挤压，本区表现为早期黄铁绢英岩型矿体的破碎，F_1 断裂中石英-碳酸盐脉压碎呈透镜状，并出现大量压溶缝合线，NE 和 NWW 向断裂表现为右行和左行平移。