

秦岭造山带二台子铜金矿床矿物地球化学研究^{*}

方维萱^{1,2} 黄转莹^{1,2} 王瑞庭² 杨宏林²

1. (中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放实验室 贵阳 550002)

2. (西北有色金属地质勘查局物化探总队 西安 710068)

提 要 通过矿物地球化学研究,认为陕西二台子铜金矿床属钠长石碳酸角砾岩型矿床,是大陆热点成矿系统中幔源碱性热流体成岩成矿作用多期叠加所形成。砷黝铜矿富 Fe、As,低 Sb、Ag;黄铁矿中富 As、Se,白云石(内核)有显著的锰铁白云石(外部环带)增生环带;长石类矿物出现富 Mg 铁长石;这些特征是陕西二台子铜金矿床属钠长石碳酸角砾岩型矿床的典型矿物地球化学特征。矿物地球化学组合类型指标可判断不同矿化类型及分散矿化,矿区外围半仓沟有较大的找矿前景。

键 词 矿物地球化学 异常评价 铜金矿床 秦岭造山带 二台子

前人^[1~6]对矿物化学、成因矿物学进行了较系统研究,使矿物、地球化学逐渐成为国内外关注和研究的重点领域。秦岭造山带中金属矿床的矿物标型特征及其在矿床成因、地质勘查中的应用引起了许多学者^[7~12]的关注和研究。矿物地球化学研究是成矿成晕模式及地质地球化学预测系统、区域地球化学场研究的主要方法之一,笔者于1996年^[13~18]重新强调该研究方法,先后对秦岭造山带中一些金属矿床进行了较系统的矿物地球化学研究。陕西二台子铜金矿床属钠长石碳酸角砾岩型,它是一种新类型铜金矿床,前人^[8,11,18~20]曾对成因矿物学及矿床原生地球化学异常特征进行了研究。本文在前人研究基础上,从矿物地球化学角度出发,探讨矿物地球化学研究在地质勘查与化探异常评价中的应用。

1 地质概况

镇安泥盆纪一级沉积盆地是发育在秦岭微板块之上的板内裂陷盆地,陕西二台子铜金矿床位于镇安一级沉积盆地西北边缘上。受凤县—丹凤—山阳泥盆纪巨型同生断裂控制,直接产于镇安盆地北缘二台子—凤镇同生断裂成岩成矿系统中^[21]。

矿区内上泥盆统星红铺组(D_{3x})下部由一套白云质砾岩及杂砾岩→石英细砂岩→粉砂岩→砂屑灰岩组成的进积型岩层组成。上部由碳酸盐岩、礁灰岩组成。铜金矿床产于星红铺组(D_{3x})顶部的热水沉积岩相中,热水沉积岩相由石英钠长岩、石英岩、钠长石岩及钠长石碳酸角砾岩等组成。含矿角砾岩是由多次热流体成岩成矿作用形成的复杂地质体。上泥盆统九里坪组主要为一套泥砂质浊积岩系,形成于深水沉积环境中。含金角砾岩体受层位及断层双重控制,主要产状有两种:①宏观上沿层位分布,受同生断裂控制,常与呈层状、似层状的石英钠长岩、钠化板岩共存,构成了明显的岩相分带。形成于晚泥盆世,局部同生变形构造发育。随着地层而褶皱,沿断层破碎带碎裂岩化发育。②产于NE向、NW向和EW向断裂构造的交汇部位,呈岩筒状,含金角砾岩筒基本没有变形构造,仅局部发育剪性裂隙,可能形成于燕山期。断裂构造主要为EW向,其次为NE向、NW向。矿区东部产出有辉绿岩,矿区内煌斑岩脉沿北东向断层侵位,切穿宏观成层状(带)的含金角砾岩带。矿石类型主要有黄铁矿型角砾状金矿石、含铜黄铁矿型角砾状-脉状金矿石、富铜黄铁矿型铜金矿石、致密块状砷黝铜矿型铜金矿石及网脉状铜金矿石,矿石的自然类型较为复杂。矿石矿物主要为黄铁矿、自然金、砷黝铜矿、毒砂、自然银、硫钴镍矿、辉砷钴镍矿、辰砂、闪锌矿、黄铜矿、辉铜矿。局部大量发育铜的次生矿物,主要有孔雀石、蓝铜矿、辉铜矿、铜绿矾等,系砷黝铜矿

ISSN 1000-4734 1999年12月收稿 2000年3月改回

第一作者简介 方维萱 男 1961年2月生 高级工程师(博士) 主要从事矿产勘查、沉积盆地与地质流体研究

* 中国有色金属工业总公司人才培养基金及中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放研究实验室联合资助

表生风化后所形成。脉石矿物有重晶石、白云石、铁白云石、方解石、钠长石、钾长石、绢云母,新发现有富 Mg 铁-透长石。局部高岭土等粘土矿物富集,形成粘土岩化。

2 矿物标型特征

2.1 砷黝铜矿

据徐国风等人^[11]研究,本区砷黝铜矿热电偶系数(α)为 $-327\mu\text{V}/^\circ\text{C}$,与含金较富的砷黝铜矿热电偶系数($-300\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, ЛЮЛОВА, 1974)相吻合,与云南不含金砷黝铜矿的热电偶系数为 $(+121.3 \sim +227\mu\text{V}/^\circ\text{C})$ 明显不同。红外吸收光谱有 $412, 1\ 345\text{cm}^{-1}$ 两个吸收峰,是本区砷黝铜矿的标型特征之一。其反射率(R)为 131.09% (436nm), 31.4% (480nm), 30.53% (546nm), 29.46% (589nm),比纯砷黝铜矿和含铁砷黝铜矿略高。

表1 陕西二台子铜金矿床铜矿物化学成分(%)

Table 1. Chemical composition of copper minerals from the Etaizi Cu-Au deposit

矿物	S	Cu	Fe	Pb	As	Sb	Zn	Hg	Au	Ag	Σ	资料来源
砷黝铜矿	28.50	42.50	3.85	0.34	19.47	1.94	3.03	0.21	0.01	0.00	99.84	本
	28.44	40.81	8.76	0.00	17.84	0.07	1.97	0.10	0.00	0.10	98.14	
辉铜矿	20.80	77.66	0.02	0.00	0.16	0.07	0.03	0.00	0.05	0.03	98.81	文
蓝铜矿	0.02	67.51	0.04	0.00	0.29	0.02	0.13	0.00	0.16	0.23	68.39	
砷黝铜矿*	27.46	41.64	8.82		19.23	2.12	0.61	0.017	0.001	19.013	99.91	徐国风 ^[11]

注: * 为化学定量分析,光谱定量分析含 Te 为 1.00%; 本文样品由国土资源部西安地质矿产研究所分析, JEOL-733 型电子探针仪, 加速电压: 25kV; 电流: 20nA; 束斑: 3 μm ; ZAF 校正; 测定者: 刘文峰。

2.2 黄铁矿

本区黄铁矿的地质产状及矿石组构极为复杂,显示了不同成因类型。①在二台子一半仓沟金矿中,黄铁矿的叠层藻结构、藻丝体结构及细菌结构等同时在矿石中产出,表明沉积环境为细菌共生循环的典型浅海相环境,具有典型的生物组构^[23]。②在石英钠长岩中,黄铁矿呈稀疏浸染状产出,自形晶粒状。③热液交代黄铁矿组构在各类金矿石中大量出现,尤其在角砾状金矿石中十分发育,黄铁矿(粒度 $< 5\text{mm}$)呈浸染状、稠密浸染状、细脉状、网脉状产于含金角砾岩中的角砾中。围绕富黄铁矿角砾的边部,常形成黄铁矿高度密集的交代反应边。黄铁矿呈浑圆状、它形粒状。可见到五角十二面体的黄铁矿晶形,这种产状的黄铁矿呈自形晶粒状,粒度较细者含金性好。砷黄铁矿沿黄铁矿的晶体碎裂缝充填,砷黄铁矿

本区砷黝铜矿是铜矿石、铜金矿石及含铜金矿石的主要组成矿物。在铜矿石、铜金矿石中,砷黝铜矿多呈致密块状,含量可达 80% 以上,常构成局部富矿柱。在含铜金矿石中,砷黝铜矿呈不规则脉状、团块状,常与方解石、铁白云石共生。矿物颜色为钢灰色,金属光泽,解理不发育,极少见完好晶形。表面风化后呈灰黑色,地表常见边部有孔雀石、蓝铜矿及辉铜矿产出,系由砷黝铜矿次生风化后所形成。从表 1 可以看出:本区砷黝铜矿中富 Fe、As,而低 Zn、Pb、Sb、Hg、Ag。尤其是 As、Sb、Ag 含量与银铜子银多金属矿床中产出的银黝铜矿-砷黝铜矿^[21, 22]有较大差别,本区砷黝铜矿中含 As 为 17.84% ~ 19.47%, Sb 为 5.86% ~ 6.53%, Ag $< 0.2\%$ 。富 Fe、As,低 Sb、Ag 是本区砷黝铜矿的化学组成标型特征。电子显微镜背散电子图像和 X 射线晶衍射线分析证明 Fe 是以类质同象进入矿物晶格中^[11]。

反射色略带玫瑰色的棕色色调,而黄铁矿反射色则为纯浅黄色,砷黄铁矿常含次显微金^[23]。④热液期黄铁矿具有环带结构,内核黄铁矿是早期成岩期所形成,含金甚微;外部环带是热液期形成的增生环带,含金明显增高, Au 与 As 呈正相关关系^[8, 23]。

据徐国风等^[20]研究,含金较富的黄铁矿($n = 5$)晶胞参数(a)实测值为 $(5.417\ 5 \sim 5.417\ 9) \times 10^{-10}\text{m}$,反映含 As 较低。黄铁矿热电系数(α)为 $-190.4\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ (含 Au 为 149.3g/t) ~ $-136.4\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ (含 Au 为 70.2g/t),均为 n 型电子导型。据张复新等^[8],黄铁矿环带内核含 Au、As 较低,而外部环带含 Au、As 较高,As La X 射线电镜扫描,内核黄铁矿可见有砷的稀疏分布,外部环带电镜下可见到较稠密的砷均匀分布,呈现砷的环带。本区黄铁矿富 As、Se 是较典型的化学组成标型特征。

2.3 碳酸盐矿物

早期方解石以他形晶出现在胶结物中。晚期以方解石脉、方解石岩及方解石化(网脉状)形式赋存于金、铜矿体的近矿围岩中,有辰砂-方解石脉穿插分布于金矿体中。白云石(表 2)含 MgO 为 14.21%~19.99%,含有不等量的 FeO、MnO,

形成铁锰白云石、含铁白云石、铁白云石。白云石是本区广泛分布的一种脉石矿物,在含矿钠长碳酸质角砾岩中,白云石环带结构发育,内核由白云石组成,含 FeO、MnO 较低,不含 Au;外环带铁锰白云石直接从富 FeO、Mn、Au 的含矿热流体晶出,围绕内核白云石增生。在钠长石英碳酸岩脉中主要以白云石、铁白云石为主,未见方解石。

表 2 陕西二台子铜金矿床碳酸盐矿物化学组成(%)

Table 2. Chemical composition of carbonate minerals from the Ertaizi Cu-Au deposit

测定矿物	样号	地质产状	MgO	CaO	FeO	Au	SrO	MnO	BaO	Pt	Σ
方解石	ER44		0.49	52.43	0.02	0.76	0.26	2.96	0.04	0.29	57.34
白云石	ER45	含铁透长石	20.75	33.66	0.39	0.45	0.13	0.39	0.10	0.40	56.42
内核白云石	ER47	碳酸角砾岩	19.99	33.58	2.52	0.00	0.16	0.36	0.00	0.00	56.42
外环铁锰白云石	ER48		14.21	28.45	3.65	0.57	0.26	7.91	0.00	0.00	55.16
方解石	A631-5	早期灰色石英重晶石	1.15	53.19	0.07	0.19	0.21	0.32	0.04	0.26	55.47
含铁白云石	A631-6	碳酸角砾岩	19.95	31.04	6.11	0.00	0.20	0.29	0.12	0.00	57.70
白云石	A5392	早期钠长石	19.24	33.85	2.22	0.00	0.06	0.18	0.14	0.00	55.69
铁白云石	A5392	碳酸岩脉	14.51	31.38	10.42	0.00	0.14	0.18	0.03	0.02	56.70

注:测定单位:西安地质矿产研究所;JEOL-733型电子探针仪,电子探针分析条件:电压 15kV;电流 20nA;束斑 3^μm;ZAF 校正。

戈德史密斯(Goldsmith, 1969)正式提出了方解石-白云石地质温度计,400℃以下的低温温度计由詹宁斯(Jennings, 1969)和谢派德(Sheppard, 1970)相继得到了同样的测温公式(薛君治等, 1986):

$$\lg(X_{Mg}^C \times 102) = (1.727 \times 10^{-3} t) - 0.223$$

经计算早期灰色石英重晶石碳酸质角砾岩的方解

石-含铁白云石的形成温度为 570℃,含矿钠长石碳酸角砾岩的形成温度为 345℃。

2.4 硅酸盐矿物

硅酸盐矿物主要有钠长石、铁-透长石、钾长石、绢云母、绿泥石、黑云母,其化学成分见表 3。

表 3 陕西二台子铜金矿床硅酸盐矿物化学组成(%)

Table 3. Chemical composition of silicate minerals from the Ertaizi Cu-Au deposit

编号	地质产状	测定矿物	MgO	CaO	FeO	TiO ₂	BaO	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	Au	Cr ₂ O ₃	Σ
A5393	钠长石	钠长石	0.06	0.05	0.23	0.00	0.01	9.13	20.22	68.92	0.08	0.00		98.69
A5394	碳酸岩脉	钠长石	0.02	0.05	0.04	0.00	0.00	11.55	20.40	68.30	0.08	0.00		100.44
A630A	碎裂岩化角砾岩	钠长石	0.01	0.04	0.00	0.02	0.02	10.32	20.16	69.35	0.00	0.00		99.91
A630B	中钠长岩角砾	钠长石	0.05	0.12	0.06	0.01	0.00	6.15	20.80	70.64	0.01	1.03		98.88
A631A	早期灰色重晶	铁-透长石	2.79	0.10	2.51	0.18	0.00	0.05	19.92	67.41	8.52		0.04	101.51
A631B	石英碳酸质	钾长石	0.55	0.09	0.50	0.06	0.10	0.22	28.59	58.19	8.24	0.04*	0.44	97.00
A631B	角砾岩	绢云母	2.05	1.73	1.19	0.07	0.00	0.13	31.02	47.14	10.12	0.46*	0.66	95.18

注: * 为 Pt 含量;测定单位:西安地质矿产研究所;JEOL-733型电子探针仪,电子探针分析条件:电压 15kV;电流 20nA;束斑 3^μm;ZAF 校正。

早期灰色石英重晶石碳酸角砾岩中基本没有钠长石,透长石按成分划分的变种有钡-透长石及铁-透长石^[24,25],本区(表 3)透长石含 FeO 达 2.51%,含 MgO 量较高(MgO 为 2.79%),与钾长石共生,系富镁铁-透长石。绢云母呈针状、束状分散于角砾及胶结物中,钾长石、铁-透长石在后期富 Na 碳酸盐型流体的交代作用下,被 Na 交代

形成钠长石。在晚泥盆世-石炭纪,由富 Mg、Fe 的碳酸盐型^[26]热水同生沉积形成沉积物(岩)封存了热水喷溢口,随后沿同生断裂上升富 Ba 的硫酸质热水;因流体临界压力而发生热水爆炸,形成石英重晶石碳酸质角砾岩。在印支期断层碎裂岩化带内,碎裂岩化钠长石角砾岩中有残存的钠长石角砾,钠长石岩(角砾)是由富钠铝硅酸盐型

流体同生沉积形成的富金钠长石岩(角砾), A630B 样品中钠长石含有较高的 Au。钠长石碳酸岩脉中主要组成矿物为钠长石、白云石、铁白云石、石英, 钠长石含量可达 20%~40%, 也是本区含 Na_2O 最高的岩石, 钠长石为自形晶中粒状, 主要成分为 Na_2O 、 Al_2O_3 、 SiO_2 , 其它组分含量甚微。

3 矿床地球化学异常特征

3.1 水系底沉积物异常特征

水系底沉积物地球化学异常石-11(Au₈₉)号为二台子铜金矿所引起, 该异常元素组合为 Hg-Au-Cu-Ag-Zn 及 Sb、Pb、Ag 等。Hg、Au 异常规模

大, Au 异常沿乾估河呈北北东向展布, 长 4 000m, 平均宽度 1 600m, Au 异常最高含量 5×10^{-9} , 平均为 2.7×10^{-9} , Cu 最高为 $1 250 \times 10^{-6}$, 异常特征见表 4。Au、Cu、As 有明显的浓集中心, 该浓集中心是矿床的产出部位。Au、Cu 浓集区并不吻合, 空间上有一定位移, 与金、铜矿体的产出特征有一定关系; Hg、As 异常范围较广, 包括了 Au、Cu 异常。从二台子矿床与异常的关系分析, As、Au、Cu 是该类矿床的有效指示元素。矿物地球化学研究表明含金黄铁矿及砷黝铜矿是引起 As-Au-Cu 组合异常的主要矿物, 同时 As-Au-Cu 组合也是二台子矿床中原生异常的主要组分。

表 4 石-11 号化探异常特征表

Table 4. Characteristics of geochemical anomaly No. Dar-11

元素	样品数 (n)	最高含量 (C_{\max})	平均含量 (\bar{X})	离差 (δ)	变化系数 (ν)	面金属量 (P_s)	衬度 (K)
Hg/ 10^{-9}	29	2 620	436	703	1.6	16.4	5.5
Au/ 10^{-9}	7	5	2.7	1.1	0.41	8.4	1.35
Cu/ 10^{-6}	8	1 250	410.6	464	1.13	4.9	8.2
Zn/ 10^{-6}	3	200	166.7	28.9	0.17	0.56	2.2
As/ 10^{-6}	17	> 120	67.4	36.6	0.53	3.4	2.2

3.2 原生异常特征

从二台子金矿原生异常(图 1)来看, 平面上异常展布与近东西向弧形断裂构造和角砾岩带有密切关系, 北东断裂构造对异常影响很大。Au、Ag 异常形态基本与矿体一致, 异常规模较小。As、Ba 异常规模较大, Cu、Pb、Mn 异常规模介于 Au、Ag 和 As、Ba 异常之间。各元素异常内带吻合较好。在槽探原生晕和坑道原生晕剖面中, Sb、Ba、As、Ag 异常宽度最大, 分布范围广, Au、Zn、Cu、Pb 次之, Mn、Ni、Co 异常范围较小, 构成如下原生异常水平分带为(自外向内):

Sb-As-Ag-Ba-Au-Zn-Cu-Pb-Mn-Ni-Co-Mo

剖面上异常(图 2)表现为 As、Ba 异常规模大, 尤其在矿体上方发育, Au、Cu、Pb、Zn 异常基本围绕矿体, Mn、Mo、Ni、Co 在矿体上部及下方发育。矿区内 Ag 异常规模较小, 浓集较低, 反映了二台子矿床中无独立银矿体存在。矿体内 Au、Ag、Cu、Ba、As、Mn 等元素异常呈条带状展布, 与矿体走向一致, 异常浓度自东向西递减, 元素组合简单。

4 矿物地球化学应用研究

4.1 确定矿床的指示元素

矿物地球化学-化探异常相互结合是确定矿床的找矿指示元素最直接和有效的方法。地球化学异常图及异常特征可直观地圈定和显示矿床上所形成的元素地球化学异常, 而矿物地球化学应用研究则从微观上揭示了这些元素地球化学异常的内在本质和指示意义。从表 1~3 及图 1, 2 看: 二台子铜金矿床形成明显的 Au-As-Cu-Zn-Hg-Ba-Pb-Mn-Ag 组合的地球化学异常。Hg 异常为辰砂-方解石脉所引起, 一般呈脉状穿插于含金角砾岩中, 是晚期成矿作用的产物。Ba 异常主要为矿区的重晶石所引起, 主要为早期石英重晶石碳酸角砾岩及成矿晚期的重晶石脉及方解石重晶石脉, 局部有重晶石矿体, 但重晶石主要产于铜金矿体中。Pb、Zn 异常主要与 Cu 异常吻合, 在铜矿体、铜金矿体中均可见少量的铁闪锌矿及方铅矿。本区有微量银金矿及自然银, 自然金中含 Ag 较低, 其他矿物 Ag 含量均较低, 因而仅形成强度较

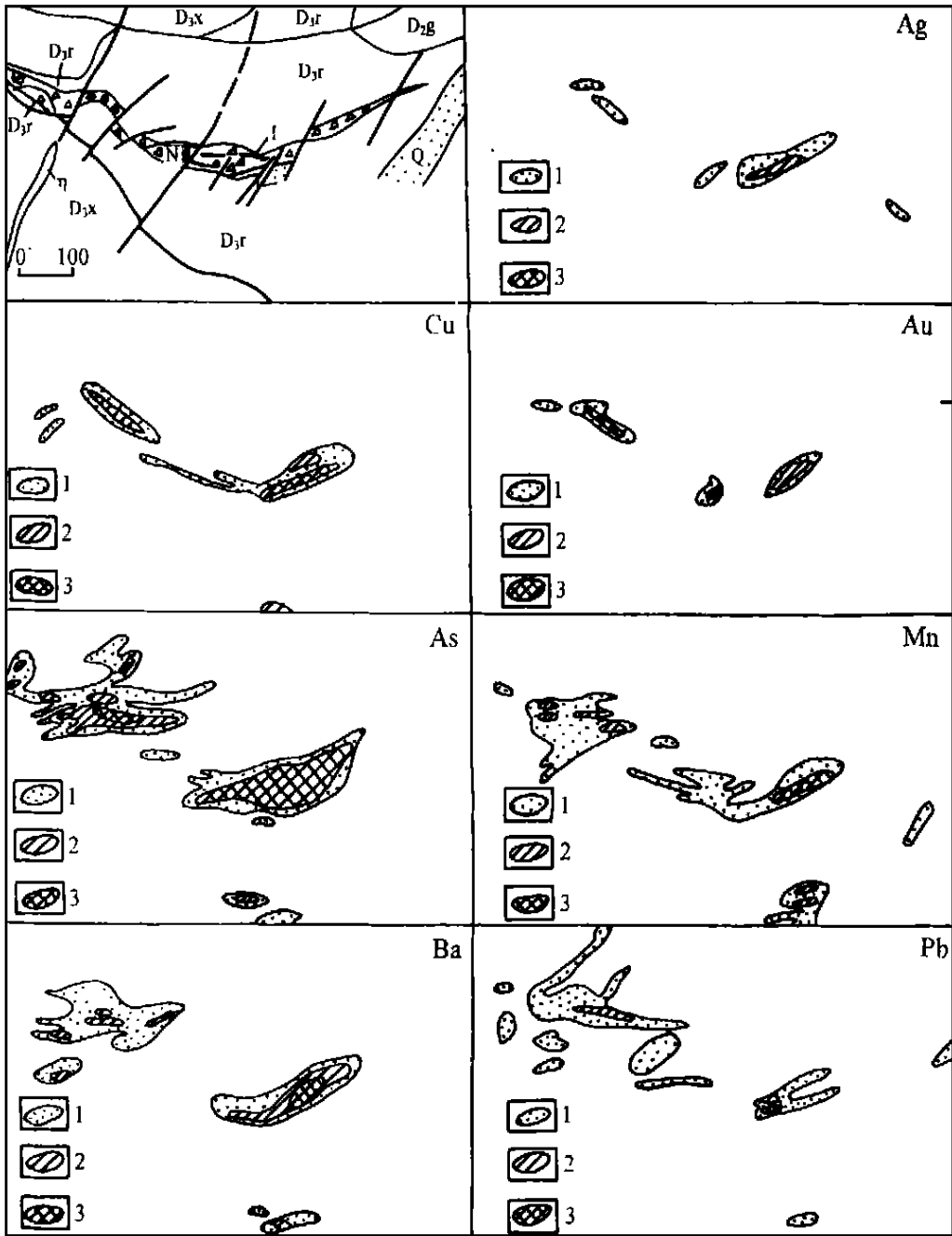


图 1 二台子金矿床原生异常平面图

Fig. 1. Planar diagram of primary anomalies of the Ertaizi gold deposit.

Q. 第四系沉积砂、土 D_{3x}. 上泥盆统星红铺组千枚岩、灰岩 D_{3r}. 上泥盆统二台子组灰岩、结晶灰岩 D_{2g}. 中泥盆统古道岭组灰岩、板岩 N. 钠长岩 * . 煌斑岩 Kh. 金矿体 I. 矿体编号

Cu: 1. $(70 \sim 200) \times 10^{-6}$ 2. $(200 \sim 500) \times 10^{-6}$ 3. $> 500 \times 10^{-6}$

As: 1. $(2 \sim 50) \times 10^{-6}$ 2. $(50 \sim 120) \times 10^{-6}$ 3. $> 120 \times 10^{-6}$

Ba: 1. $(700 \sim 2000) \times 10^{-6}$ 2. $(2000 \sim 5000) \times 10^{-6}$ 3. $> 5000 \times 10^{-6}$

Ag: 1. $(0.1 \sim 0.5) \times 10^{-6}$ 2. $(0.5 \sim 10) \times 10^{-6}$ 3. $> 10 \times 10^{-6}$

Au: 1. $(0.1 \sim 0.2) \times 10^{-6}$ 2. $(0.2 \sim 0.5) \times 10^{-6}$ 3. $> 0.5 \times 10^{-6}$

Pb: 1. $(30 \sim 150) \times 10^{-6}$ 2. $(150 \sim 500) \times 10^{-6}$ 3. $> 500 \times 10^{-6}$

Mn: 1. $(1000 \sim 3000) \times 10^{-6}$ 2. $(3000 \sim 6000) \times 10^{-6}$ 3. $> 6000 \times 10^{-6}$

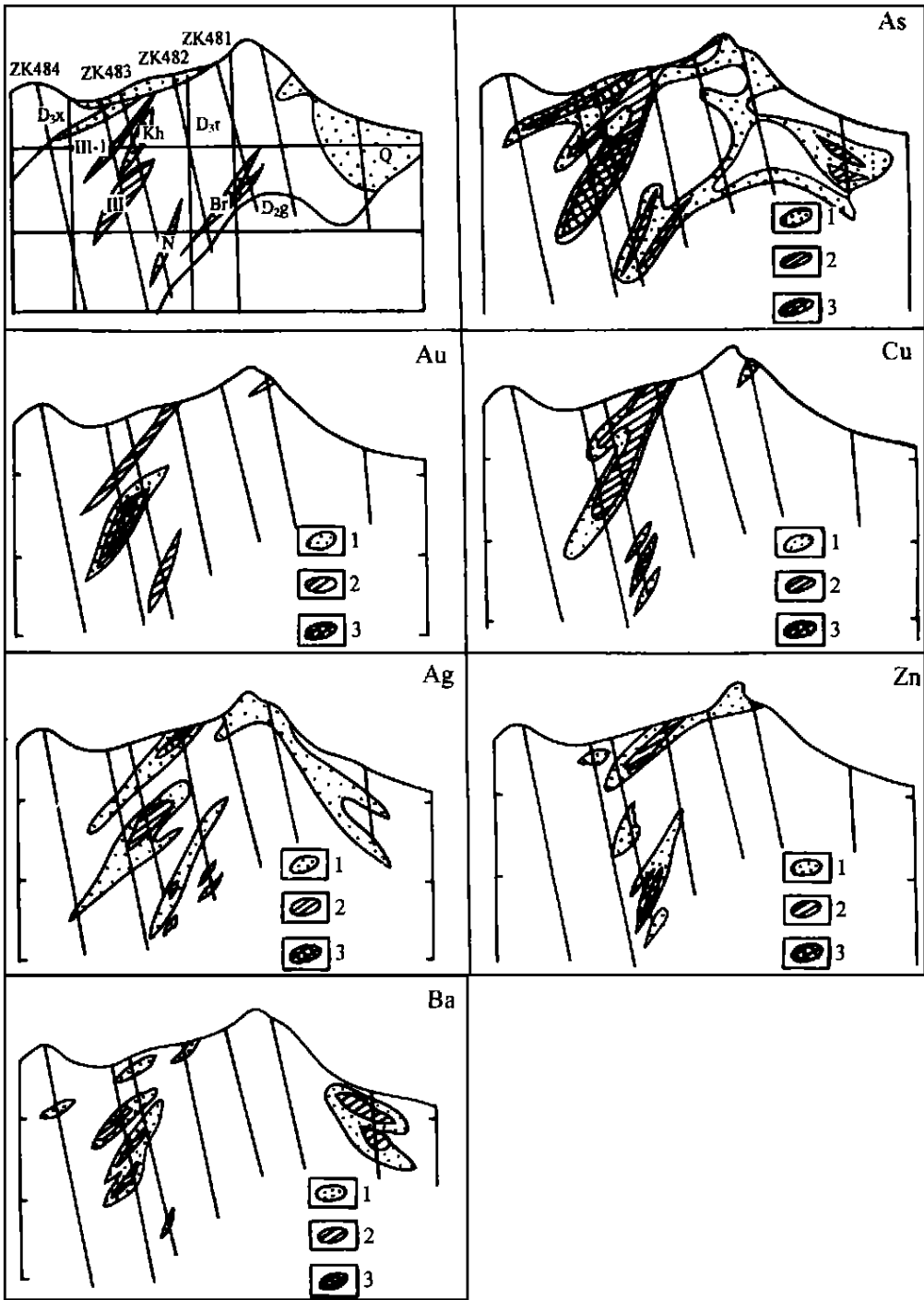


图 2 二台子金矿床 48 勘探线原生晕剖面图

Fig. 2. The profile of primary haloes along the No. 48 exploration line in the Ertai gold deposit.
 Q. 第四系沉积砂、土 D_{3x}. 上泥盆统星红铺组千枚岩、灰岩 D_{3r}. 上泥盆统二台子组灰岩、结晶灰岩 D_{2g}. 中泥盆统古道岭组灰岩、板岩 N. 钠长岩 * . 煌斑岩 Kh. 金矿体 III-1. 矿体编号 Br. 角砾岩 Zk. 钻孔编号
 Au: 1. $(0.1 \sim 0.2) \times 10^{-6}$ 2. $(0.2 \sim 1) \times 10^{-6}$ 3. $> 1 \times 10^{-6}$
 Ag: 1. $(0.1 \sim 0.5) \times 10^{-6}$ 2. $(0.5 \sim 2) \times 10^{-6}$ 3. $> 2 \times 10^{-6}$
 Ba: 1. $(700 \sim 2000) \times 10^{-6}$ 2. $(2000 \sim 10000) \times 10^{-6}$ 3. $> 10000 \times 10^{-6}$
 As: 1. $(2 \sim 50) \times 10^{-6}$ 2. $(50 \sim 120) \times 10^{-6}$ 3. $> 120 \times 10^{-6}$
 Cu: 1. $(70 \sim 100) \times 10^{-6}$ 2. $(100 \sim 1000) \times 10^{-6}$ 3. $> 1000 \times 10^{-6}$
 Zn: 1. $(70 \sim 150) \times 10^{-6}$ 2. $(150 \sim 500) \times 10^{-6}$ 3. $> 500 \times 10^{-6}$

低的 Ag 原生异常。As 在本区的独立矿物有砷黝铜矿、毒砂、砷黄铁矿, As 是良好的铜金矿指示元素。Ni、Co 异常主要由辉砷钴镍矿、硫钴镍矿引起, 但异常范围较小。Mn 异常主要由碳酸盐矿物所引起, 方解石-铁锰白云石中含 MnO 为 0.29%~7.91%, 因微细粒单体金嵌布于碳酸盐矿物中, MnO 与 Au 有共消长关系, Mn 异常是金矿的良好指示元素。综上所述, 二台子钠长石碳酸角砾岩型铜金矿的找矿指示元素为 Au、As、Cu、Zn、Pb、Hg、Ba、Mn、Ag、Ni、Co。最佳特征指示元素组合为 Au-As-Cu-Mn-Ba 与卡林型金矿的指示元素 (Au-As-Hg-Sb-Ba) 有较大的差别。

4.2 不同矿化类型的矿物-地球化学区别指标

二台子矿区及外围有较多的金属矿点及众多的化探异常, 深部及外围找矿前景巨大, 但由于矿化类型及化探异常组合多变, 可通过矿点检查评价、化探异常优选排队及检查评价难度排队, 选出最佳有望区进行地质勘查工作。不同矿化类型的矿物-地球化学区别指标如下: ① Au-As-Mn-Ba-Cu 组合型: $Au > 100 \times 10^{-9}$, $As > 100 \times 10^{-6}$, $Mn > 3\ 000 \times 10^{-6}$, $Ba > 2\ 000 \times 10^{-6}$, $Cu > 100 \times 10^{-6}$, 矿物组合为砷黄铁矿-黄铁矿-碳酸盐矿物-重晶石(自然金)。是含金钠长石碳酸角砾岩带的找矿标志, 以二台子铜金矿床 I、II、III 号含金角砾岩为代表。② Au-As-Cu 组合型: $Au > 100 \times 10^{-9}$, $As > 500 \times 10^{-6}$, Cu 为 $100 \times 10^{-6} \sim 300 \times 10^{-6}$ 。矿物组合为砷黄铁矿-黄铁矿, 矿石类型属含金黄铁矿型金矿石, 以半仓沟金矿为代表。③ Au-Hg-Na 组合型: $Au > 100 \times 10^{-9}$, $Hg > 500 \times 10^{-9}$, 矿物组合为黄铁矿-辰砂-方解石-钠长石, 指示含金角砾岩筒, 以低 As 高 Hg、Na 为特征。④ Au-As-Sb-Mn-Ba-Cu-Ni-Co-Pb-Zn 组合型: $Au > 100 \times 10^{-9}$, $As > 1\ 000 \times 10^{-6}$, $Sb > 50 \times 10^{-6}$, $Mn > 3\ 000 \times 10^{-6}$, $Ba > 2\ 000 \times 10^{-6}$, $Cu > 2\ 000 \times 10^{-6}$, $(Ni+Co) > 100 \times 10^{-6}$ 。矿物组合为砷黝铜矿-砷黄铁矿-黄铜矿-碳酸盐矿物-重晶石-方解石-铁闪锌矿-辉砷钴镍矿-硫钴镍矿, 这是本区矿物组合和元素组合齐全的一种矿化类型, 矿石类型为铜金矿石、含铜金矿石, 指示富铜金矿体。地表常可见较多的铜次生氧化矿物。⑤ Cu-Pb-Zn-Ag 组合型: Cu、Pb、Zn 一般大于 500×10^{-6} , $Ag > 50 \times 10^{-6}$, 指示银多金属矿, 如西干沟银多金属矿点。

4.3 分散矿化的矿物地球化学标志

多期碱性热流体成岩成矿作用在同一空间叠加形成二台子金矿, 但热流体成岩成矿作用在不同空间常形成分散矿化, 矿致异常与非矿异常的区分是化探异常优选评价的首要问题, 非矿异常(分散矿化)常为单一元素组合, 判断非矿异常的标志为: ① Mn 型: 常由富 Mn 碳酸盐化所引起, $Au < 50 \times 10^{-9}$, $Mn > 5\ 000 \times 10^{-9}$, 野外识别标志为地表常见褐锰矿化, 呈褐黑色土状的不规则体, 系富 Mn 碳酸盐矿物风化所形成。② As 型: As 含量在 $100 \times 10^{-6} \sim 300 \times 10^{-6}$, $Au < 50 \times 10^{-9}$, 多系砷黄铁矿-黄铁矿化所引起, 属金分散矿化, 野外识别标志为砷黄铁矿-黄铁矿化呈顺层分部, 无硅化、碳酸盐化等其他蚀变共生。③ Ba 型及 Ba-Cu 型: $Ba > 10\ 000 \times 10^{-6}$, Cu 为 $100 \times 10^{-6} \sim 500 \times 10^{-6}$, 矿物组合为重晶石或重晶石-砷黝铜矿-黄铜矿, 它们呈脉状、网脉状产出时工业意义较少。上述 Mn 型、As 型、Ba 型及 Ba-Cu 型组合的化探异常多为分散矿化引起, 其工业意义较小。

4.4 已知矿区外围成矿预测

半仓沟-银洞沟位于二台子铜金矿床外围, 属二台子含铜金角砾岩带的北东向外延部分, 断续分布着含金钠长石碳酸角砾岩体, 产于星红铺组(D_{3x})中。星红铺组下部为灰绿色条纹条带状板岩, 上部为大理岩、白云岩、含铁白云质砂岩、钠长石碳酸角砾岩及硅化大理岩。在 1:5 万比例尺水系底沉积物地球化学测量发现的石-11 号异常中, Au 异常呈北北东向展布, 指示了金矿带的展布方向可能为 NNE 向。1/万原生晕法详查共圈定了 Au、Ag、As、Cu、Pb、Zn、Ba、Mn、Ni 组合异常 10 个, 1~6 号异常属二台子铜金矿床所引起, 7 及 8 号异常位于二台子矿区的北北东延伸方向上(石-11 号异常中), 属 Au-As-Cu-Mn-Ba 组合型、As 型及 Au-As 型。以 Au-As-Cu-Mn-Ba 组合型找矿前景最大, Au 为 $160 \times 10^{-9} \sim 490 \times 10^{-9}$, $As \geq 120 \times 10^{-6}$, 局部 Ba 可达 $2\ 000 \times 10^{-6}$, Au-As-Cu 异常连续性好。该异常区有热水成因的石英钠长石岩, 矿物组合为石英-钠长石-白云石。与金主成矿期的蚀变组合为硅化、含金砷黄铁矿化及锰铁碳酸盐化, 矿物组合为砷黄铁矿-黄铁矿-锰铁白云石。矿物地球化学特征表明属与已知铜金矿床相同特征, 在化探异常中发现了含金角砾岩及

金矿体, 矿石类型属含金黄铁矿型金矿石, 具有寻找大型金矿床的前景。半仓沟东南侧有辉绿岩体产出, 围绕其有 10 ~ 50m 宽的钠长石碳酸角砾岩, As 型异常中, As 在 $50 \times 10^{-6} \sim 200 \times 10^{-6}$ 含量时, 多系金的分散矿化, 无工业意义。As > 200×10^{-6} , Au > 100×10^{-9} 的 Au-As 组合型原生异

常, 具有寻找金工业矿体的前景。特别是 Au-As-Mn 型组合可能为富金蚀变碳酸盐型金矿体, 这种类型金矿体在二台子金矿体内局部常构成富矿柱, 平均 Au > 30g/t。在半仓沟东南侧的辉绿岩体边部及强锰铁白云石化部位评价 Au-As-Mn 型化探异常, 有可能找到富 Au 矿体。

参 考 文 献

- 1 张 静. 矿物化学. 地球科学进展, 1993, 8(6): 83 ~ 84
- 2 刘劲鸿. 近矿晕矿物学. 地球科学进展, 1993, 8(3): 81 ~ 62
- 3 陈光远. 成因矿物学与找矿矿物学. 重庆: 重庆出版社, 1987, 2 ~ 50
- 4 Walshe J L and Solomon M. An investigation into the Environment of formation of the volcanic-hosted Mt. Lyell deposits using geology, mineralogy, stable isotopes and a six-component chlorite solid solution model. *Economic Geology*, 1981, 76: 246 ~ 284
- 5 Cathelineau M and Nieva D. A chlorite solid solution geothermometer the Los Azufres(Mexico) geothermal system. *Contrib. Min. Petr.*, 1985, 91: 235 ~ 44
- 6 Hendry D A F. Chlorite, phengites, and siderites from the Price Lyell ore deposits, Tasmania and the origin of the deposit. *Economic Geology*, 1981, 76: 285 ~ 303
- 7 Bigi S, Maria Franca Brigatti and Maurizio Mazzucchelli et al. Crystal chemical variation in Ba-rich biotite from gabbroic rocks of lower crust (Ivrea Zone, NW Italy). *Contrib. Min. Petr.*, 1993, 113: 87 ~ 99
- 8 张复新. 陕西二台子金矿床黄铁矿的演化特征及成因意义. 矿物岩石, 1984, (1): 25 ~ 28
- 9 炎金才. 秦岭泥盆系热水沉积岩中主要矿物的标型特征. 矿物学报, 1995, 15(3): 317 ~ 323
- 10 徐国风, 邵洁莲. 黄铁矿标型特征及其实际意义. 地质论评, 1980, (6): 541 ~ 546
- 11 徐国风, 邵洁莲, 丰淑庄, 左大华. 陕西“卡林型”金矿床砷铜矿研究. 矿物学报, 1983, (3): 175 ~ 182
- 12 张复新. 秦岭泥盆系卡林型金矿床载金矿物研究. 矿物学报, 1998, 18(2): 179 ~ 184
- 13 方维萱. 小秦岭含金石英脉的矿物地球化学研究. 地质与勘探, 1993, 32(3): 40 ~ 50
- 14 方维萱, 黄转莹. 论区域地球化学场研究与分析的基本原则. 西北大学学报(自然科学版), 2000(待刊)
- 15 方维萱, 黄转莹, 刘方杰. 八卦庙超大型金矿床构造-矿物-地球化学. 矿物学报, (待刊)
- 16 方维萱. 试论地球化学场的研究方法. 西北地质, 1999, 21(1): 11 ~ 18
- 17 方维萱. 陕西凤县铅铜山大型铅锌矿床矿物地球化学研究. 矿物学报, 1999, 19(2): 198 ~ 205
- 18 方维萱. 柞水银洞子特大型银多金属矿床矿物地球化学研究. 矿物学报, 1999, 19(3): 349 ~ 357
- 19 杨志华. 边缘转换盆地的构造岩相与成矿. 北京: 科学出版社, 1991, 143 ~ 161
- 20 徐国风. 陕西“卡林型”金矿床的黄铁矿研究. 岩矿测试, 1982, (2)
- 21 方维萱. 秦岭造山带泥盆纪构造热水沉积成矿盆地与流体成岩成矿特征及其演化规律(博士学位论文). 西北大学地质系, 1999, 3 ~ 72
- 22 方维萱. 银洞子—大西沟特大型矿床中重晶石岩类特征及成岩成矿作用. 岩石学报, 1999, 15(3): 484 ~ 491
- 23 帅得权, 刘 凯. 镇安二台子-半仓沟金矿金属矿物生物组构和成矿机制研究. 西北金属矿产地质, 1991, (2): 25 ~ 34
- 24 武汉地质学院矿物教研室编. 结晶学及矿物学(下册). 北京: 地质出版社, 1979, 183 ~ 186
- 25 王 濮, 潘兆橐, 翁家宝, 等编著. 系统矿物学(中册). 北京: 地质出版社, 1984, 38 ~ 54
- 26 方维萱. 秦岭造山带古热水场地球化学类型及流体动力学模型探讨-热水沉积成矿盆地分析与研究方法之二. 西北地质科学, 1999, 20(2): 17 ~ 27

MINERAL GEOCHEMISTRY OF A COPPER-GOLD DEPOSIT AT ERTAIZI, QINLING OROGEN, ZHENAN COUNTY

Fang Weixuan^{1,2} Huang Zhuanyin^{1,2} Wang Ruiting² Yang Honglin²

1. (Lab of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002)

2. (Northwest Geological Exploration Bureau, CNNC, Xi'an 710054)

Abstract: Research on mineral geochemistry of copper-gold deposits, Ertaizi, Zhenan County, Shaanxi Province, has shown that the copper-gold exists in the albite-carbonate brecciated rock series which were formed from Devonian to Yanshanian. Tennantite is rich in Fe, As and Cu and poor in Sb and Ag, with As ranging from 17.84% to 19.47%. Pyrite contains 0.5% to 4.5% As and 1.0% Se. Dolomite (inner core) is enclosed by Mn-ankerite (outer part). (Mg-Fe)-rich feldspar occurs in the deposit. These are the mineral chemistry characteristics of the Ertaizi copper-gold deposit. Mineral geochemical association types can be used to indicate the prospecting spots and mineralization types. Bancanggou near the Ertaizi copper-gold deposit is the best target area for further exploration.

Key words: mineral geochemistry; anomaly evaluating; association type; copper-gold deposit; Ertaizi; Qinling orogen