

DOI: 10.16788/j.hddz.32-1865/P.2021.03.011

引用格式:侯照方,王安迪,王昭,等. 安徽庐江黄屯铜金矿床原生晕特征及矿床成因[J]. 华东地质, 2021, 42(3): 339-349.

# 安徽庐江黄屯铜金矿床原生晕特征及矿床成因

侯照方,王安迪,王昭,许强平

(安徽省地质矿产勘查局 327 地质队,安徽 合肥 230011)

**摘要:**通过对安徽庐江黄屯铜金矿床 18 号勘探线上的 4 个钻孔岩心进行系统取样和分析,研究了 18 号勘探线剖面地质特征及原生晕分带特征,探讨了该矿床的地球化学异常模式及矿床成因。黄屯铜金矿床的特征元素组合为 Au、Ag、Cu、As、Sb、Bi、W,原生晕垂向分带序列为(Sb、As)-(Ag、Au、Cu)-(Bi、W)。18 号勘探线剖面地质特征和原生晕形态特征显示,在 ZK18-1 钻孔和 ZK18-2 钻孔之间可能存在隐伏断层,造成铜金矿体和地层错动。在 TK02 钻孔底部发育热液矿床前缘晕元素组合异常,指示深部可能存在隐伏矿体。综合研究认为,黄屯铜金矿床的成矿物质可能主要来源于火山热液和闪长玢岩,该矿床为火山-次火山热液型矿床。

**关键词:**原生晕特征;分带序列;地球化学异常模式;黄屯铜金矿

**中图分类号:**P632

**文献标识码:**A

**文章编号:**2096-1871(2021)03-339-11

寻找隐伏矿床是目前矿产勘查工作的热点之一,而矿床原生晕找矿是一种成熟度较高的寻找隐伏矿的化探方法,也是找矿预测最有效的方法之一<sup>[1-2]</sup>。庐枞火山岩盆地位于扬子板块东北缘,西邻庐断裂带,是长江中下游成矿带的重要矿集区<sup>[3]</sup>。黄屯地区位于庐枞火山岩盆地东北缘,西邻龙桥铁矿和马鞭山铁矿,东邻岳山铅锌矿和铜盘山铅锌矿,已发现了多处铁、铜、铅、锌、银大中型矿床。2012—2013 年,在黄屯硫铁矿发现了独立的铜金矿体,实现了找矿突破。前人对庐枞地区铁、铜、铅锌矿的成矿机制已有深入研究<sup>[3-7]</sup>,对黄屯铜金矿的地质特征、控矿构造及地球物理特征进行了初步研究<sup>[8-10]</sup>,但未对该矿床的原生晕等地球化学特征进行研究。因黄屯矿区地表被大面积第四系覆盖,目前仅在 18 号勘探线发现了铜金矿体。本文通过对黄屯铜金矿床 18 号勘探线上的 4 个钻孔岩心进行系统取样和分析,进一步研究该矿床 18 号勘探线剖面的地质特征及原生晕分带性,探讨黄屯铜金矿床的可能成因,为下一步找矿预测及矿床原生晕研究工作提供参考。

## 1 区域地质背景

区内地层主要有区域基底地层和庐枞盆地火山岩盖层(图 1)。区域基底地层主要为中三叠世一中侏罗世海陆交互相沉积-陆相沉积地层,出露三叠纪拉犁尖组海相沉积岩、侏罗纪磨山组、罗岭组陆相碎屑沉积岩;盖层为白垩纪陆相火山岩系,主要为龙门院组与砖桥组,不整合覆盖在沉积地层之上。矿区内基底断裂、火山机构、不整合面等发育,其中与铜金矿关系密切的主要为 NE 向张性断裂。区内侵入岩和次火山岩主要为燕山期黄屯闪长玢岩、焦冲正长斑岩与岳山粗安斑岩等。闪长玢岩与盆地内大规模铁、硫、铅锌、铜多金属成矿作用关系密切<sup>[3,6-7]</sup>。

## 2 矿床地质特征

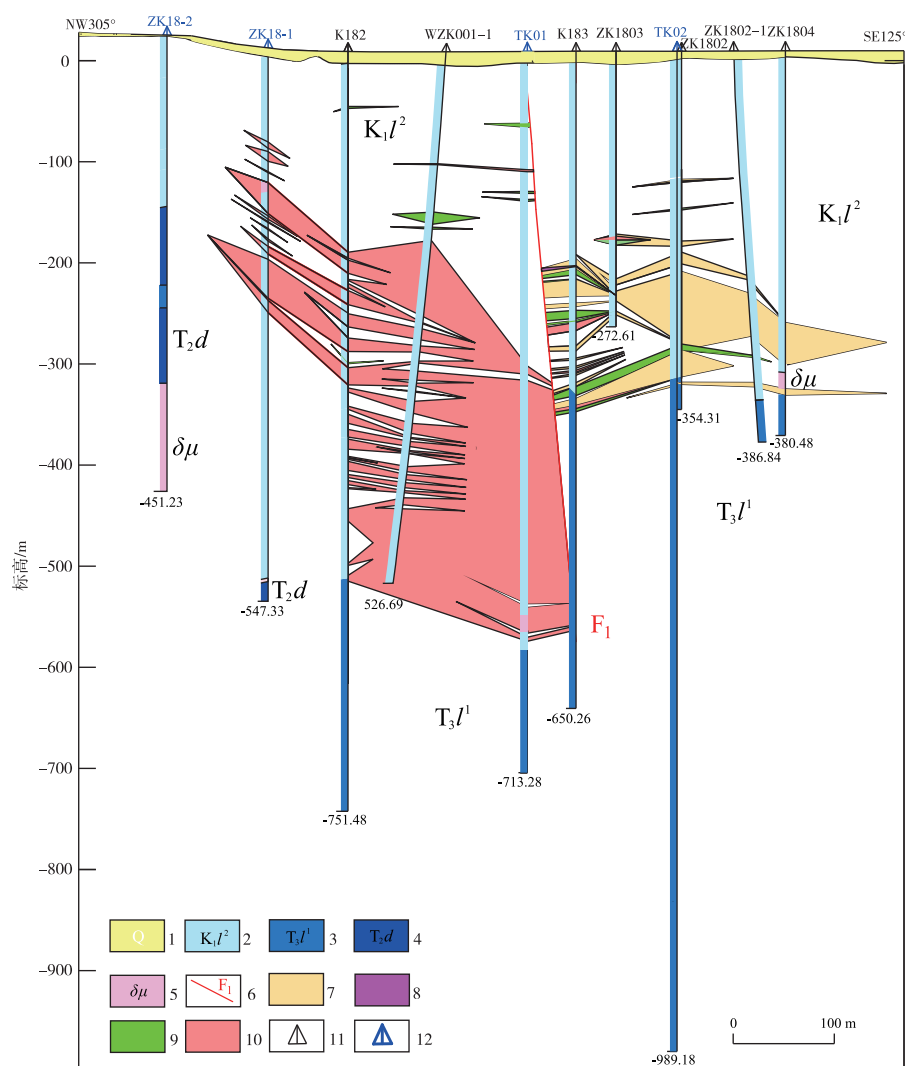
研究区主要被第四系覆盖,钻孔揭露的地层主要有中三叠世东马鞍山组灰岩、晚三叠世拉犁尖组下段粉砂岩及早白垩世龙门院组第二岩性段角闪粗安岩(图 2)。中三叠世东马鞍山组和拉犁尖组为

\* 收稿日期:2020-07-08 修订日期:2020-12-03 责任编辑:谭桂丽

基金项目:中国地质调查局“安徽黄屯地区深部矿产调查与找矿预测(编号:121201004000160901-10)”项目资助。

第一作者简介:侯照方,1989 年生,男,工程师,主要从事地球化学勘查及相关研究工作。Email:491904428@qq.com。





1.第四系;2.龙门院组;3.拉犁尖组;4.东马鞍山组;5.闪长玢岩;6.断层及编号;7.硫铁矿石;8.赤铁矿石;9.铜矿石;10.金铜矿石;11.钻孔;12.本次研究钻孔

图 2 18 号勘探线地质剖面图<sup>[11]</sup>

Fig. 2 Geological profile of the exploration line 18<sup>[11]</sup>

有斜长石、角闪石、石英、钾长石,其次有黑云母、白云母、绢云母、绿泥石、绿帘石、方解石、高岭石、磷灰石、榍石等。

## 4 剖面地球化学特征

### 4.1 样品采集与分析测试

18 号勘探线钻孔分别为 ZK18-2、ZK18-1、TK01、TK02,其中 ZK18-2 钻孔未见矿, ZK18-1 钻孔、TK01 钻孔见铜金矿体;TK02 钻孔主要为硫铁矿体,另有少量赤铁矿体、铜、铜金矿体。钻孔深度依次为 451.23 m、547.33 m、713.28 m、989.18 m。采用连续

捡块法,共采集 304 件岩石样品。样品分析在安徽省地质矿产勘查局 313 地质队实验室完成,分析项目为 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、W、Mo 等 10 种元素。Au 采用化学光谱法分析, Ag 采用发射光谱法分析, Cu、Pb、Zn 采用电感耦合等离子体光谱法分析, As、Sb、Bi 采用原子荧光光谱法分析, W、Mo 采用催化极谱法分析。测试的 10 种元素分析配套方法正确,测试结果精度满足分析要求。

### 4.2 结果

#### 4.2.1 元素背景值及异常下限

根据原生晕样品测试结果,获得了元素的地球

化学参数值。采用剔除法剔除离群值,统计了各元素的背景值和异常下限(表 1)。

表 1 18 号勘探线各元素地球化学参数及异常下限统计结果

Table 1 Element geochemical parameters and anomaly threshold in the exploration line 18

元素	全样本地球化学参数						剔除离群值后地球化学参数				异常下限
	$n/\text{个}$	min	max	$\bar{X}$	$S$	$C_v$	$n_0/\text{个}$	$C_0$	$S'$	$C_0+2S'$	
Au	304	0.60	300.00	69.00	101.30	1.47	227	17.13	16.58	50.30	50
Ag	304	0.03	9.09	0.79	1.33	1.69	240	0.30	0.26	0.83	1.5
Cu	304	4.30	1 401.40	222.70	340.70	1.53	183	28.51	20.81	70.13	200
Pb	304	2.90	1 000.00	46.20	104.60	2.27	267	24.86	14.51	53.89	50
Zn	304	11.80	1 000.00	119.70	166.90	1.39	286	83.84	50.51	184.87	120
As	304	2.60	1 653.20	119.70	195.30	1.63	276	73.44	68.51	210.46	150
Sb	304	0.22	331.25	4.18	19.43	4.65	259	1.86	1.18	4.23	5
Bi	304	0.11	772.10	12.73	48.76	3.83	251	4.43	4.03	12.48	20
W	304	0.64	149.57	13.21	14.93	1.13	275	9.71	6.60	22.92	25
Mo	304	0.43	71.18	2.24	4.63	2.07	257	1.35	0.53	2.41	3

注:min 为最小值,max 为最大值, $\bar{X}$  为元素含量平均值, $C_0$  为元素背景值, $C_0+2S'$  为计算的异常下限; Au 含量单位为  $10^{-9}$ ,其他元素含量单位为  $10^{-6}$ 。 $n$  和  $n_0$  为样品数, $S$ 、 $S'$  为标准离差, $C_v$  为变异系数。

该区各元素变异系数均 $>1$ ,为强分异型元素。比较元素背景值与中国东部地壳元素丰度<sup>[12]</sup>,计算浓集克拉克值。以变异系数和浓集克拉克值等指标反映元素的富集程度和分布均匀程度,Pb、Zn 为富集强分异元素,其他各元素均为强富集强分异元素。

#### 4.2.2 元素组合特征

指示元素是在成矿作用中发生了相对富集和

运移的元素。但指示元素沉淀时的物化条件和生成顺序有差别,R 型聚类分析结果是差别的具体体现<sup>[13]</sup>。以铜金矿体见矿 TK01 钻孔和 ZK18-1 钻孔、硫铁矿体见矿 TK02 钻孔中的矿体及矿化体样品分析结果作为分析样本,分别进行 R 型聚类分析,制作元素 R 型聚类分析谱系图(图 3),将指示元素分为不同族群<sup>[14]</sup>。

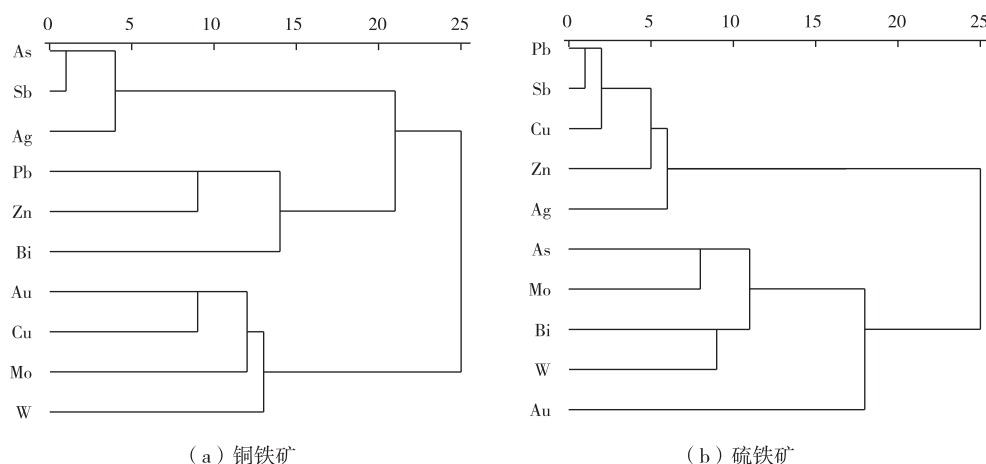


图 3 原生晕指示元素 R 型聚类分析谱系图

Fig. 3 Pedigree chart of R-type cluster analysis of primary halo indicator elements

铜金矿指示元素聚类分析以欧氏距离 15 截取,将元素分为 3 个族群:第一族 As、Sb、Ag 为中低温元素组合;第二族 Pb、Zn、Bi 为多金属元

素组合;第三族 Au、Cu、Mo、W 为主矿化元素和中高温元素组合。硫铁矿体指示元素可分为 2 个族群:第一族 Pb、Sb、Cu、Zn、Ag 反映多金属矿

化,元素间相关性较好;第二族 As、Mo、Bi、W、Au 为中低温-中高温元素组合,应为硫铁矿化伴生元素组合。

#### 4.2.3 元素在不同地质体内的浓集系数

结合 ZK18-2 钻孔、ZK18-1 钻孔、TK01 钻孔的

地质图和采样过程中观测的地质情况,将地质体分为 7 个单元,分别为角闪粗安岩、粉砂岩、凝灰岩、火山角砾岩、灰岩、构造角砾岩及闪长玢岩。不同地质体的元素含量见表 2,因构造角砾岩样品数仅 2 件,故相关数据未列出。

表 2 ZK18-2、ZK18-1、TK01 钻孔不同地质体的元素含量统计结果

Table 2 Element content statistics of different geological bodies in the borehole ZK18-2, ZK18-1 and TK01

元素	角闪粗安岩( $n=121$ )		粉砂岩( $n=17$ )		凝灰岩( $n=12$ )		火山角砾岩( $n=5$ )		灰岩( $n=16$ )		闪长玢岩( $n=15$ )	
	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S
Au	104.02	116.95	52.41	95.44	99.32	123.80	265.26	77.68	23.42	37.15	31.58	76.40
Ag	1.13	1.60	0.56	0.63	0.63	0.34	2.54	1.53	0.61	0.59	0.41	0.68
Cu	445.03	407.66	140.31	323.78	199.73	273.06	423.32	343.71	30.04	18.57	24.81	11.79
Pb	36.53	39.34	22.32	16.52	49.97	28.12	43.76	9.37	178.13	326.23	20.55	7.73
Zn	94.46	95.32	71.86	50.98	336.18	360.85	116.9	38.98	313.56	411.56	95.39	34.19
As	143.77	168.12	45.14	39.66	166.85	105.69	354.92	99.06	89.20	66.52	39.68	48.94
Sb	3.56	6.61	1.44	1.22	8.41	5.08	6.77	2.09	2.78	1.81	1.62	0.70
Bi	18.67	73.07	7.70	7.45	7.03	6.80	29.58	14.28	3.03	3.55	4.18	6.08
W	20.46	18.25	8.60	8.13	9.87	7.37	10.34	5.41	1.75	1.27	7.83	9.69
Mo	1.91	1.29	1.47	0.79	2.09	1.95	5.70	3.03	2.32	1.31	1.18	1.36

注: $\bar{X}$  为元素含量平均值, Au 含量单位为  $10^{-9}$ ,其他元素含量单位为  $10^{-6}$ ,  $n$  为样品数,  $S$  为标准偏差。

由表 2 可知,角闪粗安岩具 Cu、W 的最高含量及 Au、Ag、Bi 的次高含量;火山角砾岩具 Au、Ag、As、Bi、Mo 的最高含量及 Cu、Sb、W 的次高含量;凝灰岩具 Zn、Sb 的最高含量;灰岩具 Pb 最高含量;粉砂岩和闪长玢岩中各元素含量均较低。在铜金矿的赋矿围岩角闪粗安岩及火山角砾岩中,主要成矿元素 Au、Cu、Ag 均表现为极高背景,明显分离。

对比 Pb、Zn 在铜金矿样品、见矿 TK01 钻孔和 ZK8-1 钻孔全样品及剖面全样品的含量平均值,发现 Pb 在 3 组样品中的含量分别为  $28.33 \times 10^{-6}$ 、 $32.69 \times 10^{-6}$  和  $46.20 \times 10^{-6}$ , Zn 在 3 组样品中的含量分别为  $81.33 \times 10^{-6}$ 、 $100.94 \times 10^{-6}$  和  $119.66 \times 10^{-6}$ , 3 组样品中 Pb、Zn 含量平均值为:铜金矿 < 见矿钻孔全样品 < 剖面全样品,即铜金矿化过程中, Pb、Zn 表现为元素的带出。

表 3 是 ZK18-2、ZK18-1、TK01 钻孔不同地质体的元素相对浓集系数,其中角闪粗安岩、凝灰岩、火山角砾岩及构造角砾岩为相对中国粗安岩的浓集系数,闪长玢岩为相对中国闪长岩的浓集系数,

泥质粉砂岩为相对中国东部粉砂岩的浓集系数,灰岩为相对中国东部石灰岩的浓集系数<sup>[12]</sup>。在各地质体中 Au、Ag、As、Bi、W 的浓集系数均  $>5$ ; Cu 的浓集系数在除闪长玢岩和构造角砾岩外的各地质体中均  $>5$ ; Pb、Zn 在除灰岩外的各地质体中浓集系数均  $<5$ ,表现为明显的贫化; Sb 在除粉砂岩和构造角砾岩外的地质体中浓集系数均  $>5$ ; Mo 仅在火山角砾岩中的浓集系数  $>5$ 。

钻孔中主要的赋矿围岩是角闪粗安岩和火山角砾岩,角闪粗安岩和火山角砾岩 Au、Ag、Cu、As、Sb、Bi、W 的浓集系数  $>5$ 。该矿床的特征元素组合为 Au、Ag、Cu、As、Sb、Bi、W,是黄屯铜金矿床的成矿和伴生元素<sup>[15-16]</sup>。

TK02 钻孔地质体分为 6 个单元,分别为角闪粗安岩、硫铁矿体、泥质粉砂岩、浅紫色粉砂岩、构造角砾岩及灰色泥质粉砂岩。通过统计 TK02 钻孔不同地质体的元素浓集系数(表 4)可知,该矿床的特征元素组合为 Au、Ag、As、Sb、Bi、W、Mo,是黄屯硫铁矿床的伴生元素。

表 3 ZK18-2、ZK18-1、TK01 钻孔不同地质体的元素浓集系数<sup>[12]</sup>Table 3 Element enrichment coefficients of different geological bodies in the borehole ZK18-2, ZK18-1 and TK01<sup>[12]</sup>

元素	角闪粗安岩	粉砂岩	凝灰岩	火山角砾岩	灰岩	构造角砾岩	闪长玢岩
Au	131.67	40.32	125.72	335.77	46.84	192.47	31.58
Ag	18.85	11.64	10.42	42.37	12.14	14.28	7.65
Cu	12.82	6.38	5.75	12.20	13.06	1.19	0.83
Pb	2.03	1.24	2.78	2.43	24.07	0.48	1.64
Zn	0.97	1.03	3.46	1.20	18.44	0.16	1.12
As	41.67	7.17	48.36	102.88	35.68	22.43	44.09
Sb	11.86	2.77	28.03	22.57	15.45	3.10	11.56
Bi	233.34	29.63	87.82	369.69	48.08	35.03	52.23
W	31.00	5.37	14.96	15.66	7.62	26.22	21.75
Mo	2.62	2.67	2.86	7.81	4.73	3.45	2.94

表 4 TK02 钻孔不同地质体的元素浓集系数

Table 4 Element enrichment coefficients of different geological bodies in the borehole TK02

元素	角闪粗安岩	硫铁矿体	泥质粉砂岩	浅紫色粉砂岩	构造角砾岩	灰色泥质粉砂岩
Au	17.62	148.27	14.71	15.10	7.28	41.15
Ag	6.91	16.71	2.00	5.30	2.44	42.25
Cu	1.36	1.28	1.25	2.02	0.75	7.69
Pb	2.03	3.46	0.77	2.03	0.65	8.68
Zn	1.04	0.97	1.50	1.48	0.55	2.75
As	20.79	138.93	5.02	2.93	5.99	40.67
Sb	15.53	12.88	2.57	2.71	1.67	69.25
Bi	79.46	161.35	52.61	38.91	7.03	15.54
W	8.97	33.10	7.87	3.55	21.50	2.63
Mo	2.87	17.80	2.66	1.80	1.64	2.46

值得注意的是,TK02 钻孔深部灰色泥质粉砂岩中 Pb、Zn、Ag、Cu、As、Sb 等元素的含量和浓集系数明显高于剖面其他部位的粉砂岩,表现为元素的带入。在 TK02 钻孔深部灰色泥质粉砂岩中的矿化类型与上部硫铁矿化及铜金矿化不同,是一次独立成矿作用。

## 5 原生晕分带特征

### 5.1 18 号勘探线剖面钻孔原生晕

18 号勘探线地质剖面和钻孔原生晕地球化学异常图如图 4 所示。以剔除法计算的异常下限作为参考,主成矿元素 Au、Cu 及 Ag 主要以边界品位降低 1 个数量级,再以 1/2 含量下推异常下限<sup>[17]</sup>,其他含量低的元素主要结合地质体及元素的空间分布确定(表 1)。

由图 4 可知,在铜金矿体见矿 ZK18-1 钻孔、TK01 钻孔中 Au、Cu、Ag、W、Bi、As 等元素异常均以矿体为中心,出现内、中、外 3 个异常带,中、内异

常带一般反映赋矿部位。矿体上盘晕发育好,矿体下盘晕发育差。矿体部位主要成矿元素 Au、Cu 有大范围的中、内带异常,Ag、As、W、Bi 主要为大面积的外带异常,两者均可很好地显示矿体部位。在矿体上盘,成矿元素 Au 主要发育中带异常,成矿元素 Cu 有外带异常,As、Sb、Mo 发育中、外带异常,各元素异常面积均较大,已达近地表。在 ZK18-1 钻孔中矿体下盘主要发育 Au、Cu、Bi 中、外带异常及 W 外带异常。Pb、Zn 在矿体上盘具一定规模,在矿体部位不发育或发育小范围的外带异常,整体上看,Pb、Zn 在矿体部位形成负异常,表现为元素的带出。

在 ZK18-2 钻孔仅见于 Pb、Zn 内带异常,铜金矿体头部对应部位发育小范围的 Cu、Au 外、中带异常。由 18 号勘探线地质剖面和钻孔原生晕地球化学异常图(图 4)可知,在铜金矿体头部,各元素异常形态,特别是主成矿元素 Au、Cu 异常形态与矿体尾部 F<sub>1</sub> 断层处异常形态一致。ZK18-1 钻孔和 ZK18-2

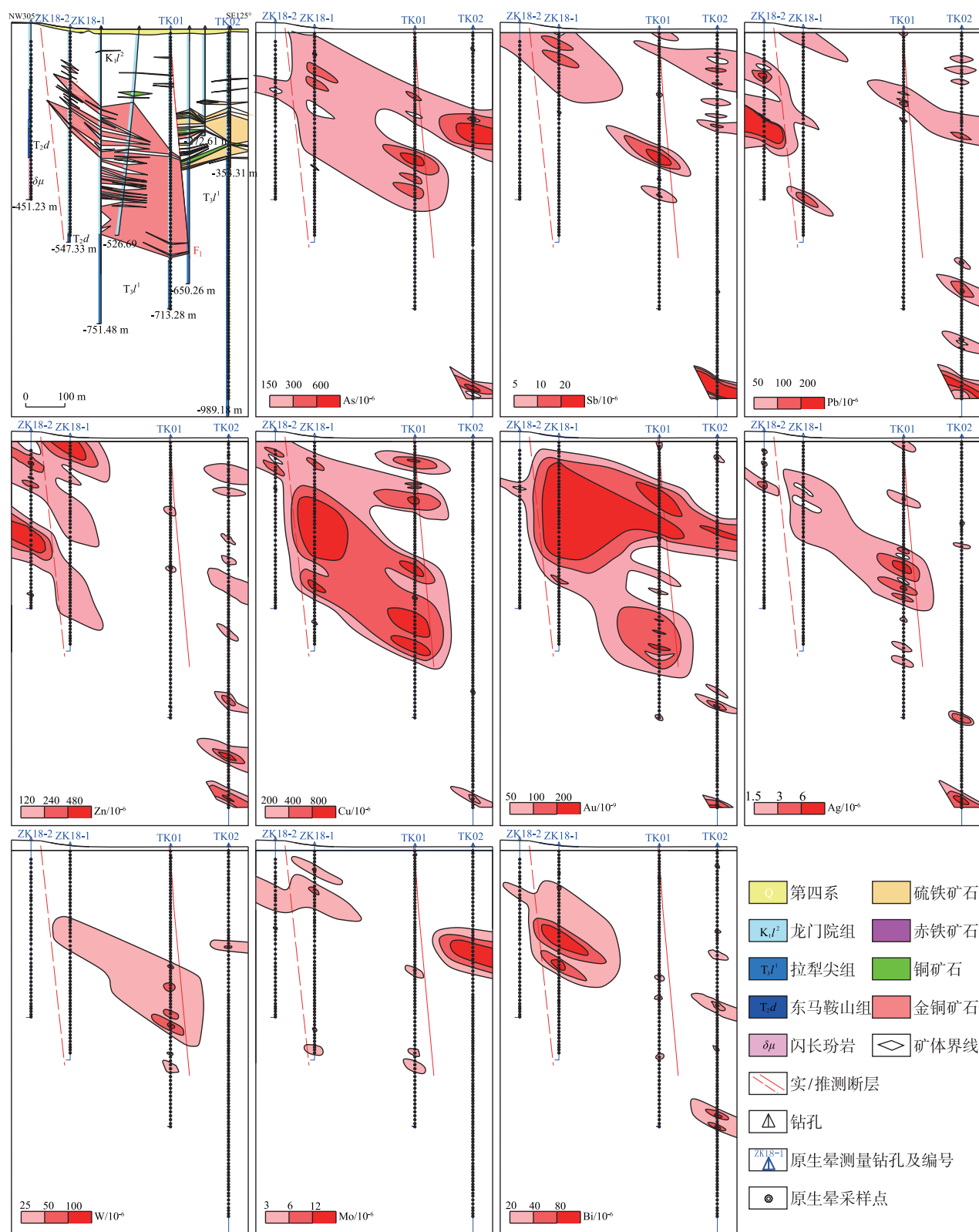


图 4 18 号勘探线地质剖面 and 钻孔原生晕地球化学异常图

Fig. 4 Geological profile and primary halo geochemical anomaly in borehole of the exploration line 18

钻孔中地层出露位置变化很大,龙门院组和东马鞍山组不整合面错距达 371 m,与  $F_1$  断层造成的地层断距相当。因此,推测这 2 个钻孔之间存在隐伏断层(图 4),造成矿体和地层错动。参考矿体尾部异常和  $F_1$  断层分布特征,推测断层位于 Au、Cu 异常中带,应为走滑正断层。推测该断层与  $F_1$  断层使铜金矿体所在地块右滑并下降,形成“地嵌式”构造,造成铜金矿体在头部和尾部发生错断。

硫铁矿床原生晕主要发育在矿体部位,上盘晕发育较差,下盘晕不发育。在矿体部位发育较大规模的 As、Au、Mo 异常,具外、中、内 3 个异常带,可较好地显示矿体部位,同时发育小范围的 Pb、Sb、W 等元素外带异常。在硫铁矿体上盘,发育小规模 Sb、Pb、Zn 异常,主要为外带异常。在硫铁矿体部位及上、下盘均不发育 Cu 异常,在钻孔 TK02 底部分布 As、Sb、Pb、Zn、Au、Ag、Cu 组合异常。

## 5.2 原生晕分带序列

采用格里戈良指示元素分带指数算法<sup>[17-19]</sup>确定钻孔原生晕元素分带序列。首先计算各中段线金属含量,采用合适的标准化系数将元素线金属量标准

化,然后以中段某元素的线金属量标准化值,除以该中段指示元素线金属量标准化值总和,计算元素的分带指数。根据贫矿体、富矿体产状及元素原生晕分布特征,中段按 100 m 等距划分,将 TK01 钻孔划分为 7 个中段,ZK18-1 钻孔划分为 5 个中段(表 5)。

综合不同中段元素平均值及分带指数结果(表 5)归纳原生晕分带序列。TK01 钻孔的原生晕垂向分带序列为 Pb、Sb<sup>1</sup>-Zn<sup>1</sup>、Au<sup>1</sup>-Ag、Sb<sup>2</sup>、As-Cu、W-Au<sup>2</sup>、Bi、Mo-Zn<sup>2</sup>,ZK18-1 钻孔的原生晕垂向分带序列为 Pb、Zn、Sb-As、Ag、Au-Bi-Cu、W-Mo。ZK18-1 钻孔和 TK01 钻孔的原生晕分带序列吻合度较高,其铜金矿体对应的原生晕分带基本一致。从 TK01 钻孔的原生晕分带特征可以看出,矿化具多期次叠加特征。根据铜金矿床的特征元素组合 Au、Ag、Cu、As、Sb、Bi、W,可以得到矿床原生晕垂向分带为 (Sb、As)-(Ag、Au、Cu)-(Bi、W)。其中 Sb、As 组成矿体前缘晕,部分与矿体重合;Ag、Au、Cu 为矿体晕,Cu 元素晕略靠下部;Bi、W 为矿体尾晕,位于矿体晕中下部。原生晕分带序列符合热液型铜金矿化分带特征<sup>[17-19]</sup>。

表 5 TK01、ZK18-1 钻孔指示元素分带指数  
Table 5 Zoning index of indicator elements in the borehole TK01 and ZK18-1

钻孔	中段(m)	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Bi	W	Mo
TK01	-100	0.01	0.04	0.11	0.19	0.15	0.03	0.24	0.05	0.07	0.09
	-200	0.05	0.04	0.16	0.19	0.26	0.05	0.12	0.03	0.05	0.05
	-300	0.09	0.03	0.04	0.14	0.41	0.05	0.08	0.02	0.08	0.05
	-400	0.01	0.08	0.12	0.07	0.17	0.1	0.26	0.03	0.11	0.05
	-500	0.04	0.04	0.28	0.07	0.16	0.07	0.09	0.03	0.15	0.07
	-600	0.06	0.07	0.25	0.07	0.13	0.05	0.06	0.06	0.12	0.13
	-713	0.01	0.04	0.02	0.19	0.44	0.02	0.08	0.05	0.04	0.12
ZK18-1	-100	0.04	0.02	0.01	0.19	0.14	0.07	0.36	0.03	0.04	0.09
	-200	0.11	0.07	0.02	0.14	0.05	0.10	0.2	0.1	0.07	0.15
	-300	0.10	0.05	0.03	0.13	0.04	0.05	0.11	0.33	0.10	0.05
	-400	0.05	0.03	0.04	0.16	0.08	0.10	0.10	0.20	0.11	0.13
	-500	0.05	0.03	0.02	0.19	0.1	0.06	0.19	0.11	0.09	0.16

采用相同的方法得到 TK02 钻孔的原生晕垂向分带序列 Cu<sup>1</sup>-Au、As、Mo-Zn、W、Bi-Pb、Ag、Cu<sup>2</sup>、Sb。原生晕分带中的 Au、As、Mo-Zn、W、Bi 为硫铁矿体特征元素组合;Ag、Pb、Cu<sup>2</sup>、Sb 反映深部粉砂岩中的多金属矿化。

在 TK02 钻孔底部分布 As、Sb、Pb、Zn 强异常及 Au、Ag、Cu 弱异常,而高温元素 Bi、W、Mo 异常不发育,该组合异常具有热液矿床前缘晕的特征。该异常的元素含量及元素组合特征显示矿化类型与黄屯硫铁矿及铜金矿不一致,与安徽岳山铅锌矿



床原生晕指示元素及轴(垂)向分带序列相似<sup>[19-20]</sup>。钻孔资料显示,该钻孔深部粉砂岩具角岩化,并发育铅锌矿化,推测矿化类型与矿区东侧岳山铅锌矿相同,为斑岩型铅锌矿化,深部存在发现隐伏矿体的可能性。

### 5.3 铜金矿床地球化学异常模式

根据铜金矿床中的元素组合、原生晕异常特征及元素分带序列,归纳黄屯铜金矿的地球化学异常模式(图 5)。成矿元素 Au、Cu 的中、内带异

常紧紧包围矿体,异常总体规模比矿体大,而 Ag、As、W、Bi 的外带异常与矿体形态较一致,二者均可很好地反映赋矿部位。前缘晕为 Au、Cu、As、Sb、Mo 的中、外带组合,异常规模较大,已延伸至近地表;尾晕为 Au、Cu、Bi、W 的中、外带组合,主要见于 ZK18-1 钻孔矿体下部,TK01 钻孔下部不甚发育。组合异常在矿体上盘及矿体部位比矿体下盘强度高、规模大。另外,在矿体部位 Pb、Zn 形成负异常。

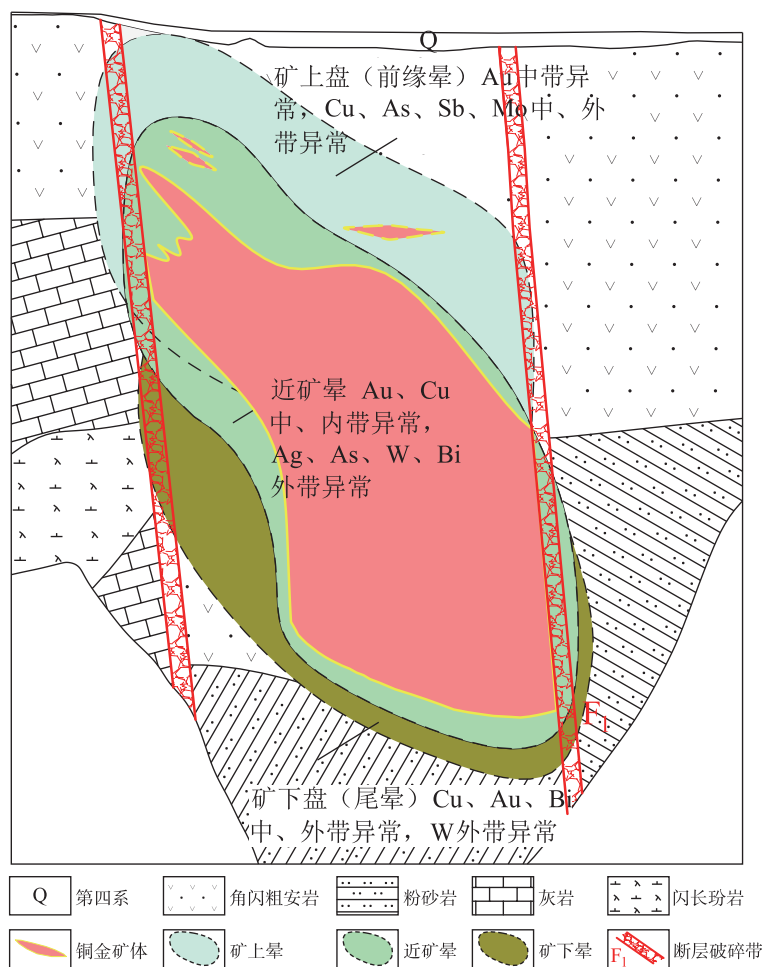


图 5 黄屯铜金矿床地球化学异常模式图

Fig. 5 Geochemical anomaly pattern of the Huangtun copper-gold deposit

## 6 矿床成因探讨

研究区成矿地质条件优越,经历了多期次构造岩浆活动及成矿作用。黄屯矿区及毗邻岳山矿区形成 3 种不同类型的矿产,分别为黄屯硫铁矿、岳山铅锌矿和黄屯铜金矿。通过对比剖面与庐枞地区深部岩石主要成矿元素含量<sup>[21]</sup>(表 6),发现 Pb、Zn

在剖面粗安岩、闪长玢岩中的含量低于庐枞深部相应岩石,表现为元素的带出,应为岳山铅锌矿的部分成矿物质来源。Au、Ag、Cu 在剖面粗安岩、粉砂岩及凝灰岩中的含量均高于相应深部岩石,表现为元素的带入。Au、Ag、Cu 在剖面闪长玢岩中的含量显著低于庐枞深部相应岩石,表现为元素的带出,闪长玢岩为黄屯铜金矿提供部分成矿物质来源。

表 6 剖面与庐枞深部岩石主要成矿元素含量对比

Table 6 Comparison of the metallogenic element contents between the profile rocks and the rocks deep in Luzong area

岩石类型	区域	Au/ 10 <sup>-9</sup>	Ag/ 10 <sup>-6</sup>	Cu/ 10 <sup>-6</sup>	Pb/ 10 <sup>-6</sup>	Zn/ 10 <sup>-6</sup>
粗安岩	庐枞深部	3.53	0.21	96.54	77.29	207.42
	剖面	88.88	1.11	379.69	31.53	81.35
闪长玢岩	庐枞深部	19.59	0.50	147.94	223.23	392.50
	剖面	8.22	0.20	23.07	21.86	105.48
粉砂岩	庐枞深部	2.48	0.16	36.56	44.63	120.28
	剖面	28.85	0.46	70.51	41.31	107.36
凝灰岩	庐枞深部	3.46	0.21	85.22	74.56	143.59
	剖面	99.32	0.63	199.73	49.97	336.18

庐枞火山岩由龙门院组、砖桥组、双庙组和浮山组构成 4 个旋回,每一火山旋回末期均有对应的岩浆岩侵入活动。庐枞盆地中生代火山岩与次火山岩活动具有间歇性,次火山岩和侵入岩的活动与各类矿床的形成具有内在联系<sup>[11]</sup>。黄屯闪长玢岩年龄及地质特征与龙门院组上段火山岩吻合,是龙门院旋回岩浆活动的产物<sup>[22]</sup>。角闪粗安岩-粗安斑岩-黄屯闪长玢岩构成了龙门院旋回完整的火山-次火山-侵入岩系列,研究区 3 种不同类型的矿床均与之相关。砖桥旋回有凝灰岩、凝灰质粗安岩-辉石粗安玢岩-焦冲正长斑岩系列,该系列的典型矿床为位于研究区东南部的无为阳畈铁铅锌矿床<sup>[11]</sup>。

研究表明,黄屯硫铁矿与岳山铅锌矿成矿物质具部分同源性,是火山热液演化不同阶段的产物<sup>[23-24]</sup>。在火山热液演化早期,随着温度压力的降低,黄铁矿、磁铁矿等首先沉淀,是形成黄屯硫铁矿的主期;残余热液从围岩中带出 Pb、Zn,叠加次火山热液(粗安斑岩),随着温度、压力的进一步降低,Pb、Zn 等矿物大量析出,形成岳山铅锌矿<sup>[20,23-24]</sup>。综合研究认为,黄屯铜金矿与岳山铅锌矿具有相似的形成过程,残余热液与次火山热液(闪长玢岩侵入)叠加使溶液中 Au、Cu 浓度增大,并在热液演化后期大量沉淀形成黄屯铜金矿,黄屯铜金矿应为火山-次火山热液型矿床。

## 7 结论

(1)黄屯铜金矿床特征元素组合为 Au、Ag、Cu、As、Sb、Bi、W,原生晕垂向分带序列为(Sb、As)-(Ag、Au、Cu)-(Bi、W)。

(2)推测 ZK18-2 钻孔和 ZK18-1 钻孔之间存在隐伏走滑正断层,与 F<sub>1</sub> 断层共同使铜金矿体在头部和尾部发生错断,可通过对该断层进一步查证去追索铜金矿体。

(3)TK02 钻孔底部发育异常组合具有热液矿床前缘晕特征,深部具有发现隐伏矿体的可能性。

(4)黄屯铜金矿床可能与黄屯硫铁矿、岳山银铅锌矿成矿物质具有部分同源性,推测为火山-次火山热液型矿床。

## 参考文献

- [1] 李善芳.地球化学勘查工作的进展[J].物探与化探,1989,13(5):333-346.
- [2] 卿成实,彭秀红,徐波,等.原生晕找矿法的研究进展[J].矿物学报,2011,31(增刊):828-829.
- [3] 吴明安,侯明金,赵文广.安徽省庐枞地区成矿规律及找矿方向[J].资源调查与环境,2007,28(4):269-277.
- [4] 杨世学,张靖怡,张赞赞,等.安徽庐江泥河铁矿床赋矿闪长玢岩地球化学特征研究[J].华东地质,2017,38(4):241-249.
- [5] 魏国辉,杜玉雕,赵文广,等.安徽庐枞盆地井边地区脉状铜矿成矿流体特征与成矿过程研究[J].华东地质,2018,39(2):116-125.
- [6] 周涛发,范裕,袁峰,等.庐枞盆地侵入岩的时空格架及其对成矿的制约[J].岩石学报,2010,26(9):2694-2714.
- [7] 任启江,刘孝善,徐兆文,等.安徽庐枞中生代火山构造洼地及其成矿作用[M].北京:地质出版社,1991:112-119.
- [8] 谢杰,张冠华,吴文龙,等.安徽省庐江县黄屯铜金矿床地质特征及成因探讨[J].安徽地质,2019,29(4):254-256,264.
- [9] 张矿,赵进飞.安徽省庐江县黄屯金铜矿控矿构造分析[J].世界有色金属,2019(11):133-135.
- [10] 许强平,付光明,周乾,等.庐枞盆地东北部马鞭山—黄屯—鹤毛河地区地球物理特征及找矿预测[J].华东地质,2020,41(2):151-158.
- [11] 张矿,高昌生,张冠华,等.安徽黄屯地区深部矿产调查与找矿预测子项目成果报告[R].合肥:安徽省地质矿产勘查局 327 地质队,2019:11-95.
- [12] 迟清华,酈明才.应用地球化学元素丰度数据手册[M].北京:地质出版社,2007:16-110.
- [13] 张彦艳,王建新,赵志,等.R 型聚类分析在成矿阶段划分中的应用:以桦甸大庙子—菜枪子金矿区为例[J].世界地质,2006,25(1):29-38.

- [14] 洪大军,雷丁尔,陈科夫,等.安徽宁国石口地区土壤地球化学异常特征及评价[J].华东地质,2019,40(3):206-215.
- [15] 徐仁廷,韩伟,孔牧,等.安徽省合肥市庐江县沙溪斑岩铜矿钻孔原生晕研究成果报告[R].廊坊:中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所,2016:14-18.
- [16] 李兆麟,翟伟,黄栋林,等.河台金矿床垂深及横向剖面Au及伴生微量元素地球化学特征及矿床深部评价[J].地球化学,2002,31(5):473-480.
- [17] 邵跃.热液矿床岩石测量(原生晕法)找矿[M].北京:地质出版社,2011:11-42.
- [18] 李惠,张文华,刘宝林,等.中国主要类型金矿床的原生晕轴向分带序列研究及其应用准则[J].地质与勘探,1999,35(1):32-35.
- [19] 中华人民共和国国土资源部. DZ/T0248—2014 岩石地球化学测量技术规程[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [20] 查世新,韩忠义.岳山银铅锌矿床地球化学特征[J].资源调查与环境,2002,23(4):272-280.
- [21] 赵文广,魏国辉,汤井田,等.安徽庐枞矿集区深部地质矿产调查与三维成矿预测[M].北京:地质出版社,2018:116-117.
- [22] 周涛发,范裕,袁峰,等.庐枞盆地侵入岩的时空格架及其对成矿的制约[J].岩石学报,2010,26(9):2694-2707.
- [23] 葛宁洁,李平,黄宪安,等.安徽庐江岳山银铅锌矿的成矿物质来源及物理化学条件探讨[J].中国科学技术大学学报,1989,19(3):365-374.
- [24] 钱兵,袁峰,周涛发,等.庐枞盆地岳山银铅锌矿床地质特征及硫同位素地球化学研究[J].矿床地质,2010,29(增刊):495-496.

## Primary halo characteristics and genesis of Huangtun copper-gold deposit in Lujiang, Anhui Province

HOU Zhao-fang, WANG Andi, WANG Zhao, XU Qiang-ping

(No.327 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui Province, Hefei 230011, Anhui, China)

**Abstract:** Based on the systematic sampling and analysis of the four drill cores in the exploration line 18 of Huangtun copper-gold deposit in Lujiang, Anhui Province, this paper studies the geological characteristics and primary halo zoning characteristics of the exploration line 18, preliminarily summarizes the geochemical anomaly pattern of the deposit, and explores the possible genesis of Huangtun copper-gold deposit. Au, Ag, Cu, As, Sb, Bi and W are the characteristic element assemblage of Huangtun copper-gold deposit, and the vertical zoning sequence of the primary halo of this deposit is (Sb, As)-(Ag, Au, Cu)-(Bi, W). The geological characteristics and primary halo morphology of the exploration line 18 show that there may be a hidden fault between the borehole ZK18-1 and ZK18-2, resulting in dislocation of copper-gold ore body and stratum. Element association anomaly of front halo in hydrothermal deposit is developed at the bottom of borehole TK02, indicating that there may be concealed ore bodies in the deep. The comprehensive study shows that the ore-forming materials of Huangtun copper-gold deposit may be mainly derived from volcanic hydrothermal and diorite porphyry, and this deposit belongs to volcanic-subvolcanic hydrothermal type.

**Key words:** Primary halo characteristics; zoning sequence; geochemical anomaly pattern; Huangtun copper-gold deposit