

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2019.03.006

引用格式: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.

安徽宁国石口地区土壤地球化学异常特征及评价

洪大军¹, 雷丁尔², 陈科夫¹, 张旭¹, 陶耐¹

(1. 安徽省勘查技术院, 合肥 230031; 2. 安徽省地质调查院, 合肥 230001)

摘要: 文章分析了安徽宁国石口地区土壤地球化学异常特征并对单元素进行异常评价, 发现 Cu、Pb、Zn、Bi 和 Sn 异常较弱, Ag、W、Mo 异常次之, Ag、W、Mo 在黑色岩系具有较高的背景值; Au、As、Sb 异常面积大、强度高, 异常套合较好, 各元素之间具有较好的亲和性; Au 为富集元素, 变异系数较大, 反映矿化不均匀, 深部已发现工业金矿体, 与构造破碎带有关, 与硅化、黄铁矿化呈正相关。通过土壤地球化学测量, 在研究区圈定了 19 个 Au 异常, 3 条 Au 异常带。对异常进一步验证, 发现 NW 向金异常带 AuP3 异常具有较好的找矿前景。NE 向异常带中的 AuP1 异常和 AuP2 异常, 可能为寒武纪西阳山组钙质泥岩风化导致 Au 次生富集引起的异常。

关键词: 土壤地球化学异常; 异常评价; 金矿; 找矿效果; 宁国石口地区; 安徽

中图分类号: P632

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2019)03-206-10

安徽宁国石口地区位于钦杭成矿带北侧^[1]。1:25 万区域化探成果^[2]表明, 石口地区 Au 异常规模大, 梯度变化缓, 浓度分带明显, 异常面积可达 144 km², 并伴有 Ag、As 和 Sb 异常。1:5 万水系沉积物测量发现石口地区异常重现较好, 称为“老虎塘异常”^[3]。2011 年, 中国地质调查局实施了“安徽宁国—休宁地区金多金属矿远景调查”项目, 在石口地区开展了 14 km² 的 1:1 万土壤地球化学测量工作。2013 年, 安徽省地质勘查基金“安徽省宁国市梅林镇—金子山地区金多金属矿普查”项目, 在石口地区开展了 10 km² 的 1:1 万土壤地球化学测量工作, 对“老虎塘异常”在研究区内填平补齐, 通过异常验证, 在 NW 向 Au 异常带 AuP3 的太子湾 Au 异常区发现了深部金矿体, 显示了该区具有良好的找矿前景。

1 地质背景

研究区位于宁国墩复背斜北东段, NE 向虎月断裂(区内为宁国墩断裂)与 NW 向河沥溪—刘村断裂

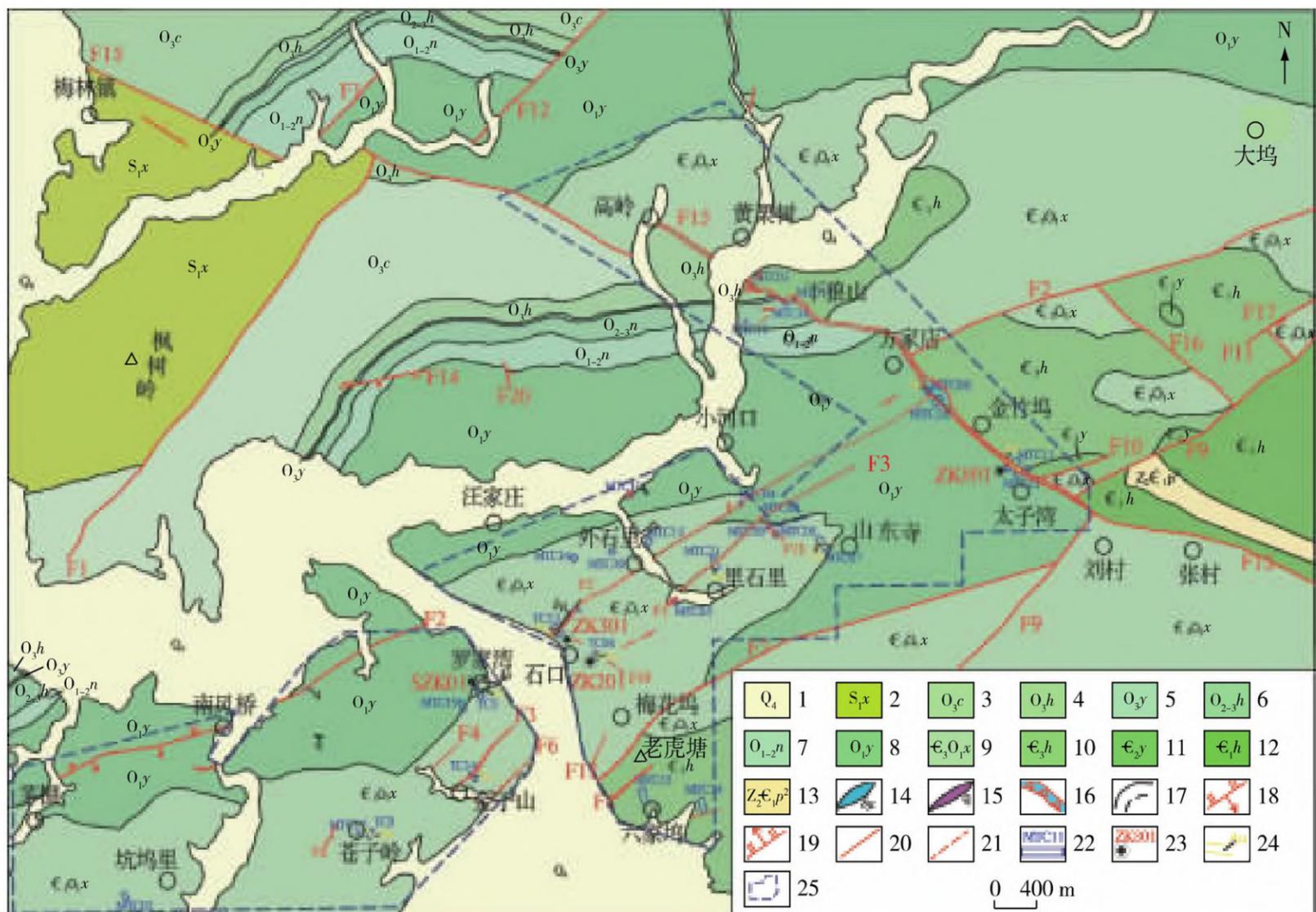
(区内为梅林—刘村断裂)在研究区南东部刘村交汇^[4]。褶皱主要有石口背斜和老虎塘背斜, 出露的地层主要有早寒武世荷塘组(C_1h)炭质泥(页)岩, 中寒武世杨柳岗组(C_2y)含炭钙质泥岩, 晚寒武世华严寺组(C_3h)条带状灰岩和西阳山组(C_3x)钙质泥岩、泥质灰岩, 早奥陶世印渚埠组(O_1y)钙质泥(页)岩夹灰岩和宁国组(O_1n)页岩, 中晚奥陶世胡乐组(O_{2-3h})炭质页岩, 晚奥陶世砚瓦山组(O_3y)泥灰岩和瘤状灰岩、黄泥岗组(O_3h)钙质泥岩和长坞组(O_3c)粉砂质泥(页)岩^[5-6]。区内主要构造线为 NE 向断裂, 较大的断裂有 F9、F2、F12 及 F15, 其中 NE 向 F9 断裂为宁国墩断裂的一部分, NW 向 F15 断裂为梅林—刘村断裂, F9 断裂被 F15 断裂错断, 次一级断裂较发育。研究区东部竹溪岭地区侵入燕山晚期酸性岩浆岩, 区内仅见闪长玢岩脉沿 NE 向 F2 断裂充填(图 1)。

前文所述“老虎塘异常”位于研究区南东部, 为乙 1 类异常, 异常评序位于金矿化类型第一位。该异常以 Au、As、Sb 为主, 走向为 NE 向, 异常规模大, 其中 Au 异常面积达 27 km², As、Sb 异常面积均 > 30 km²。Au、As、Sb 异常均具外带、中带和内

* 收稿日期: 2018-04-12 修订日期: 2018-09-16 责任编辑: 谭桂丽

基金项目: 安徽省地质勘查基金“安徽省宁国市梅林镇—金子山地区金多金属矿普查(编号: [2013]-2-16)”项目资助。

第一作者简介: 洪大军, 1971 年生, 男, 高级工程师, 主要从事地质矿产调查工作。



1.第四系;2.志留纪霞乡组;3.奥陶纪长坞组;4.奥陶纪黄泥岗组;5.奥陶纪砚瓦山组;6.奥陶纪胡乐祖;7.奥陶纪宁国组;8.奥陶纪印渚埠组;9.寒武纪西阳山组;10.寒武纪华严寺组;11.寒武纪杨柳岗组;12.寒武纪荷塘组;13.震旦纪皮园村组;14.闪长玢岩脉;15.石英脉;16.构造破碎带;17.实推测地质界线;18.正断层;19.逆断层;20.性质不明断层;21.推测断层;22.已施工探槽;23.已施工钻孔;24.金矿化体;25.土壤地球化学测量范围

图 1 宁国石口地区地质图

Fig. 1 Geological map of the Shikou area in Ningguo, Anhui Province

带,Au 最高含量为 55.8×10^{-9} ,As 最高含量为 $2\ 936.4 \times 10^{-6}$,Sb 最高含量为 62×10^{-6} 。Au、As、Sb 组合异常具多处浓集中心,主要分布于观音庵、玉皇亭、桐子坞和太子湾。

2 样品采集与分析测试

在研究区进行 2 次 1:1 万土壤地球化学测量,采用 $100\text{ m} \times 40\text{ m}$ 测网,测线方向为 135° ,测线 99 条,共采集样品 5 691 件,重复样 180 件。野外利用 GPS 定点,定点前对 GPS 进行精度校正,定点误差 $\leq 5\text{ m}$ 。3m 内采集 3 个点进行组合,多数样品采集于 B 层(深度 10~30 cm),少数样品采集于 C 层(母质层,深度 $> 30\text{ cm}$)。样品主要为黏土、亚黏土、砂土和亚砂土,用白色棉布袋装样,样重过 60 目钢筛后对角缩分不少于 120 g,混合均匀装入牛皮纸

袋中,采样及样品加工避免污染。

在安徽省地质矿产勘查局 313 地质队实验室完成实验测试,按《DZ/T 0145—49 土壤地球化学测量规范》^[7]和《DZ/T 130.4—2006 地质矿产实验室测试质量管理规范》^[8]执行,分析项目为 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、W、Sn 和 Mo,采用化学处理-发射光谱法测定 Au;电感耦合等离子体发射光谱法测定 Cu、Pb、Zn;原子荧光光谱法测定 As、Sb、Bi;1:5 万化学普查发射光谱法测定 Ag、Sn;催化极谱法测定 W、Mo。野外采集的重复样送检时通过密码送出,监控实验室的分析质量,统计各元素平均相对误差,合格率为 100%。

3 土壤地球化学异常特征

3.1 土壤地球化学特征

统计研究区 5 691 件土壤样品分析数据(表 1)发

现,强烈富集元素为 As 和 Sb(浓集系数 >2),富集元素为 Au、Ag、Pb、Zn、Bi、W 和 Sn(浓集系数为 1.5~2),Mo 为高背景元素(浓集系数为 1~1.5),Cu 为正常元素。从变化系数(C_v)看($C_v < 0.5$ 为均匀型, $0.5 \leq C_v < 1$ 为弱分异型, $1 \leq C_v < 1.5$ 为分异型,

$C_v \geq 1.5$ 为强分异型。强分异型元素为 Au、As 和 Sb,分异型元素为 Ag、Sn 和 Mo,均匀型元素为 Cu、Pb、Zn 和 Bi。Au 和 Sb 变化系数大,说明其分布范围广且不均匀,离散程度大,分异性强,Au 和 Sb 易形成地球化学异常,成矿可能性较大,为区内成矿元素。

表 1 宁国石口地区土壤地球化学测量数据

Table 1 Measured data of soil geochemical survey in the Shikou area, Ningguo, Anhui Province

参数	含量/ 10^{-9}					含量/ 10^{-6}					
	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Bi	W	Sn	Mo
克拉克值 ^[9]	4.00	0.07	55.00	12.60	70.00	1.80	0.20	0.17	1.50	2.00	1.50
算术平均值	7.56	0.17	32.49	27.40	108.60	65.90	5.18	0.45	2.90	5.67	1.58
极大值	300.00	4.52	361.00	449.00	1 000.00	500.00	289.97	2.69	27.70	200.00	39.50
极小值	0.30	0.03	5.00	5.00	13.00	0.60	0.10	0.05	0.40	0.11	0.20
中位数	3.00	0.12	30.00	26.00	97.00	26.40	2.45	0.43	2.60	5.01	1.10
标准离差	18.29	0.18	13.22	11.37	50.15	100.12	11.39	0.14	1.43	6.24	1.94
浓集系数	1.89	2.42	0.59	2.17	1.55	36.61	25.90	2.64	1.93	2.84	1.05
变化系数	241.93	105.88	41.69	42.50	46.18	151.93	219.88	31.11	49.31	110.05	122.78

各元素相关系数分析(表 2)表明,Au 与 As、Sb 呈正相关,相关系数较大,显示主要成矿元素组合特征,Au-As-Sb 元素组合异常区为重要找矿靶区。

Ag 与 Cu、Pb、Zn、Sb、Bi 虽相关系数中等,但 Cu、Pb、Zn、Bi 平均值较低,变化系数较小,成矿的可能性较低。

表 2 宁国石口地区土壤地球化学测量元素相关系数矩阵

Table 2 Correlation coefficient matrix of soil geochemical elements from the Shikou area, Ningguo, Anhui Province

元素	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Bi	W	Sn	Mo
Au	1.000 0										
Ag	0.253 2	1.000 0									
Cu	0.112 3	0.327 9	1.000 0								
Pb	0.051 3	0.352 0	0.326 4	1.000 0							
Zn	0.110 3	0.410 1	0.460 7	0.490 9	1.000 0						
As	0.522 1	0.226 9	0.131 6	0.020 7	0.148 5	1.000 0					
Sb	0.484 6	0.274 2	0.194 3	0.088 8	0.156 0	0.407 1	1.000 0				
Bi	0.025 0	0.252 9	0.322 4	0.493 6	0.364 1	0.008 1	0.047 7	1.000 0			
W	0.115 0	0.055 6	-0.063 2	-0.004 5	-0.024 8	0.179 4	0.082 6	-0.031 9	1.000 0		
Sn	0.035 2	0.192 0	0.109 4	0.372 6	0.250 3	-0.006 1	0.023 1	0.198 6	0.018 9	1.000 0	
Mo	0.065 3	0.245 8	0.107 7	0.120 0	0.094 8	0.042 2	0.100 3	0.084 3	0.131 9	0.037 8	1.000 0

由土壤地球化学测量元素 R 型聚类谱系图(图 2)可知,当相关系数为 0.14 时,分为 2 簇,第一簇又分为 2 个亚族。第一亚族为 Au、As、Sb,为低温元素组合,Au 背景值高,变化系数大,As 和 Sb 为伴生元素,三者组合异常作为 Au 的找矿标志;Au 与 As 相关系数最大,反映 Au 与 As 亲和性较好,与 Sb 亲和性次之。第二亚族为 Ag、Cu、Pb、Zn 和 Bi,为中温元素组合,Cu、Pb 和 Zn 亲和性较好,地球化学性质相近,但背景值较低,无成矿作用;第

二簇为 W、Mo,为高温元素组合,主要分布于 F15 断裂下盘寒武纪黑色岩系中。

对研究区土壤元素进行因子分析,所有因子初始特征值及累积因子方差贡献百分比如表 3 所示。第 1 因子、第 2 因子和第 3 因子特征值较大,从第 4 因子开始特征值变小,说明土壤 11 个元素评价指标主要由前 3 个因子贡献,且各因子所占方差贡献 $< 30\%$,各元素综合信息较分散。第 1 因子、第 2 因子和第 3 因子累积方差贡献达 54%,可代表 11 个元

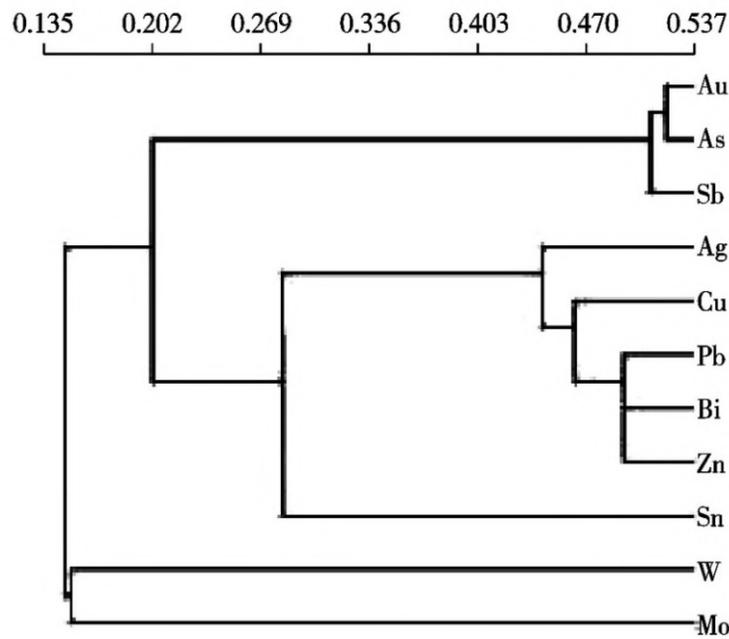


图 2 宁国石口地区土壤地球化学测量元素 R 型聚类分析谱系图

Fig. 2 Pedigree chart of R cluster analysis for soil geochemical elements in the Shikou area, Ningguo, Anhui Province

素的基本信息。由表 4 可知,第 1 因子 F01 中 Ag、Cu、Pb、Zn 和 Bi 占较大载荷,具有相近的地球化学性质;第 2 因子 F02 中 Au、As 和 Sb 占较大载荷,未发现 As 和 Sb 矿化,已发现金矿化体赋存在构造角砾岩中,与黄铁矿、硅化呈正相关,与低温热液充填及渗滤有关;第 3 因子 F03 中 W 和 Mo 占有较大载荷,W、Mo 与沉积岩原始富集有关。

表 3 宁国石口地区土壤地球化学测量元素因子分析初始特征值及累积因子方差贡献百分比

Table 3 Initial characteristic values of element factor analysis and variance contribution percentage of accumulated factors in the Shikou area, Ningguo

因子	特征值	累积因子方差贡献百分比/%
1	2.97	26.99
2	1.88	44.07
3	1.10	54.04
4	0.97	62.87
5	0.82	70.35
6	0.70	76.72
7	0.61	82.23
8	0.58	87.48
9	0.51	92.13
10	0.45	96.20
11	0.42	100.00

表 4 宁国石口地区土壤地球化学测量元素初始因子载荷矩阵

Table 4 Loading matrix of initial factors of soil geochemical data in the Shikou area, Ningguo

元素	F01	F02	F03
Au	0.435 7	0.675 5	-0.149 4
Ag	0.690 5	0.049 5	0.128 8
Cu	0.620 0	-0.162 3	-0.229 2
Pb	0.674 5	-0.422 8	0.057 0
Zn	0.716 5	-0.256 5	-0.117 8
As	0.410 4	0.670 3	-0.114 8
Sb	0.472 8	0.579 5	-0.162 1
Bi	0.561 2	-0.407 6	-0.034 8
W	0.085 2	0.319 7	0.685 3
Sn	0.395 4	-0.306 7	0.151 9
Mo	0.280 4	0.052 6	0.674 2

3.2 单元素异常评价

利用 MapGIS 软件制作土壤地球化学测量各单元素异常图,按元素异常下限 1、2、4 倍圈定异常浓度分带。1 倍异常下限值圈定外带,2 倍异常下限值圈定中带,4 倍异常下限值圈定内带,通过异常图发现区内主要异常为 Au、As、Sb、Ag 和 Mo,对其异常特征分述如下。

3.2.1 Au 异常特征。

区内 Au 异常强度较高,分布面积大,有 1 145 个测点的 Au 含量大于异常下限,Au 变化系数为 2.42,异常极值为 300×10^{-9} ,为地壳丰度的 75 倍,异常下限的 37.5 倍。

区内圈定了 19 个 Au 异常(图 3),浓度分带明显。对 Au 异常特征进行统计与排序(表 5),发现存在 3 个 Au 异常带:NE 向茅棚—罗家湾—石口北金异常带(AuP1),由 Au5、Au10、Au8、Au12、Au13、Au15 和 Au17 组成;NE 向坑坞里—石口—山东寺金异常带(AuP2),由 Au4、Au7、Au6、Au11、Au16、Au19 和 Au18 组成;NW 向下狼山—太子湾金异常带(AuP3),由 Au1、Au2 和 Au3 组成,AuP3 与梅林—刘村断裂展布方向一致(图 1),该带 Au3 异常内已发现金矿体,与刘村断裂密切相关,因而 Au1 和 Au2 值得重点关注。NE 向 AuP1 和 AuP2 异常区大面积出露西阳山组泥岩和泥质灰岩,背景值较高,且层间破碎带发育,围绕破碎带发育 Au 异常。

表5 宁国石口地区土壤地球化学测量 Au 异常特征及排序

Table 5 Anomalous features and ordering of gold element in the Shikou area, Ningguo

异常编号	异常点数/个	异常面积/km ²	异常均值/10 ⁻⁹	几何均值/10 ⁻⁹	异常极大值/10 ⁻⁹	异常均方差	异常衬度	异常规模	异常NAP	排序结果
Au6	204	1.53	33.46	1.35	300.0	43.41	4.18	38.85	6.38	1
Au16	152	1.04	28.60	1.30	208.5	32.94	3.58	21.44	3.72	2
Au3	27	0.24	53.32	1.49	300.0	72.02	6.67	11.05	1.63	3
Au14	81	0.44	30.84	1.33	220.8	36.16	3.85	9.97	1.68	4
Au2	76	0.48	28.69	1.30	300.0	38.72	3.59	9.96	1.73	5
Au15	4	0.07	82.33	1.49	280.6	132.31	10.29	5.26	0.73	6
Au12	1	0.04	116.10	2.06	116.1	0.00	14.51	4.83	0.65	7
Au17	3	0.07	65.53	1.73	121.8	49.93	8.19	3.88	0.55	8
Au18	39	0.27	20.98	1.24	62.2	13.85	2.62	3.56	0.72	9
Au10	8	0.11	37.84	1.38	152.6	47.81	4.73	3.19	0.51	10
Au4	16	0.11	30.54	1.33	111.8	31.82	3.82	2.56	0.43	11
Au5	18	0.12	28.85	1.24	160.5	38.85	3.61	2.45	0.42	12
Au1	45	0.23	17.43	1.21	40.6	7.67	2.18	2.21	0.51	13
Au19	10	0.12	22.88	1.26	56.3	17.60	2.86	1.85	0.36	14
Au7	2	0.04	45.65	1.46	81.0	49.99	5.71	1.63	0.25	15
Au8	4	0.08	26.75	1.27	70.6	29.27	3.34	1.47	0.26	16
Au13	4	0.05	29.65	1.40	62.1	21.91	3.71	1.18	0.20	17
Au9	7	0.07	20.36	1.24	36.6	11.70	2.54	0.80	0.17	18
Au11	7	0.05	12.40	1.06	26.4	6.35	1.55	0.23	0.08	19

3.2.2 As、Sb 异常特征

As 异常是区内强度较高的异常,共 1 336 个测点含量大于异常下限,异常极值为 500×10^{-6} ,为地壳丰度的 277.78 倍,是异常下限的 6.67 倍。As 的变化系数为 1.52,分布面积较大,与 Au 异常套合较好(图 3),异常展布方向、范围与 Au 异常带一致,是寻找 Au 的指示元素之一。Sb 异常中等,有 1 231 个测点含量大于异常下限,Sb 的变化系数为 2.2,仅次于 Au,异常极值为 289.97×10^{-6} ,为地壳丰度的 1 449.85 倍,异常下限的 52.72 倍。Sb 与 Au、As 在坑坞里—山东寺异常带内套合较好(图 3)。研究区东部 NW 向刘村断裂中发现锑矿体,区内 NW 向梅林—刘村断裂仅在太子湾北见有锑异常显示,未发现锑矿化,表明 Sb 为区内寻找 Au 的指示元素之一。

3.2.3 Ag、Mo 异常特征

Ag、Mo 异常主要分布于研究区下狼山、金竹坞和六家坞一带,Ag 与 Mo 套合较好(图 4),Ag、Mo 与 Au、As、Sb 仅在六家坞一带套合较好。Ag 异常强度较弱,有 684 个测点分析结果大于异常下限,异常的极值为 4.52×10^{-6} ,为地壳丰度的 64.57 倍,

异常下限的 15.07 倍,Ag 的变化系数达 1.05。Mo 有 783 个测点分析结果大于异常下限,异常的极值为 39.5×10^{-6} ,为地壳丰度的 26.33 倍,异常下限的 19.75 倍,Mo 的变化系数达 1.23。Ag、Mo 异常主要分布于 NW 向刘村断裂下盘及六坞里一带寒武纪华严寺组条带状灰岩夹硅质泥岩中,与地层高背景有关。

3.3 综合异常评价

以单元素异常为基础编制的组合异常图仅以 Au、As、Sb 低温组合异常为主,结合元素 R 型聚类分析,将低温元素 Au-As-Sb 组合异常作为评价重点。本文综合异常区主要为 Au、As、Sb 重合区域,圈定了 10 个综合异常(图 5),其中 HT-2、HT-3、HT-4、HT-5 和 HT-7 异常叠加明显,规模较大,是成矿的有利位置。

(1)HT-2 综合异常。由 Au、Ag、As、Mo、W 和 Sb 组成,异常规模较大,强度高。Au、Ag、Mo、As 异常具三级浓度分带,各元素浓集中心吻合较好。Au 异常均值为 28.69×10^{-9} ,As 异常均值为 225.1×10^{-6} 。异常元素水平分带序列为 As-Au-

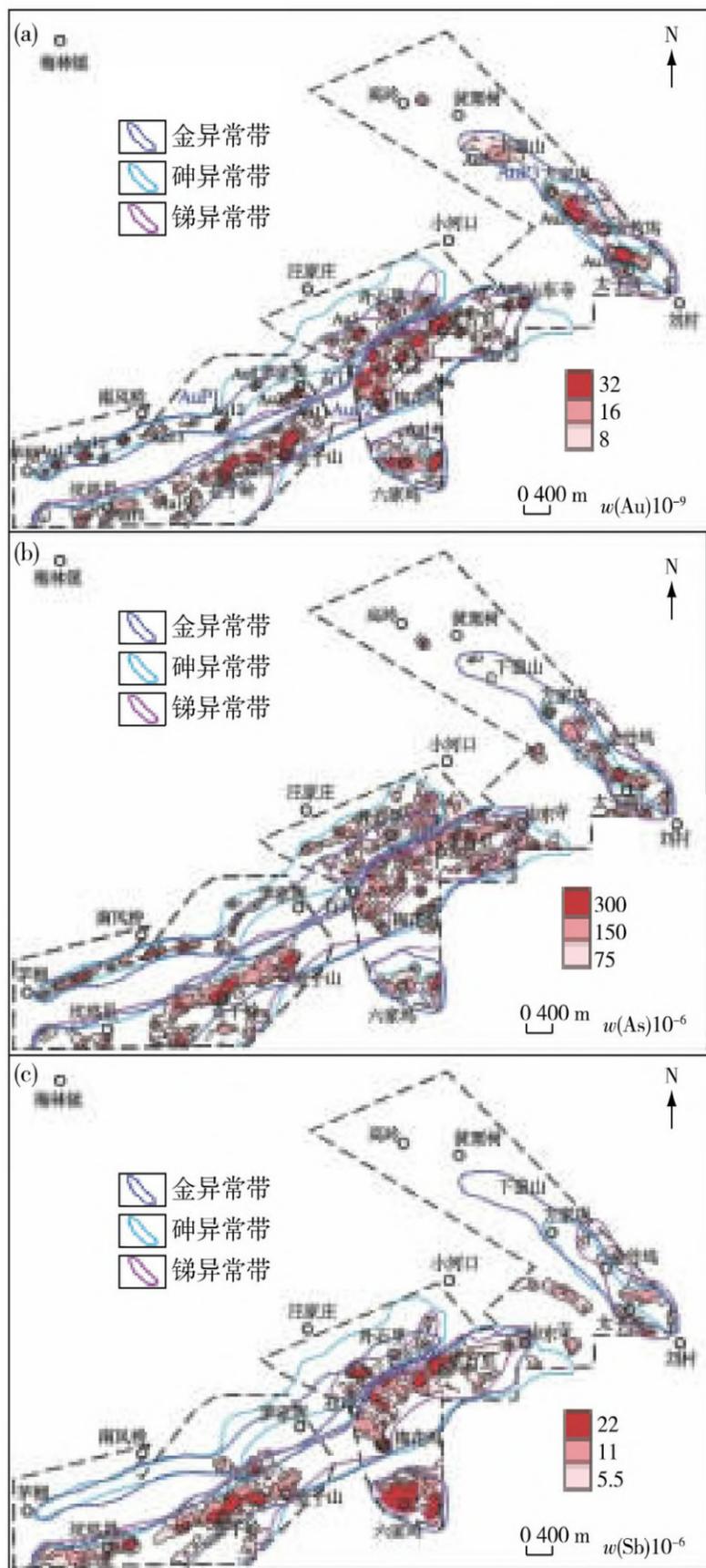


图 3 宁国石口地区土壤地球化学测量 Au 异常(a)、As 异常(b)和 Sb 异常(c)图

Fig. 3 Maps showing anomalies of Au (a), As (b) and Sb (c) in the Shikou area, Ningguo

Mo-W-Ag-Sb, 有 2 个内带,与异常元素 NPA 值排序不一致,伴生元素 Ag 与成矿元素 Au 的异常 NAP 值(表 6)大,属第一梯级带,而 As、W、Mo 的异常 NAP 明显小于 Ag 和 Au,构成第二梯级带异常元素,W、Mo 偏离 Au、As 浓集中心,且强度弱,处于断裂下盘,与黑色岩系高背景有关。Au 异常强度高,浓集中心位于 NW 向 F15 断裂与 NE 向 F2

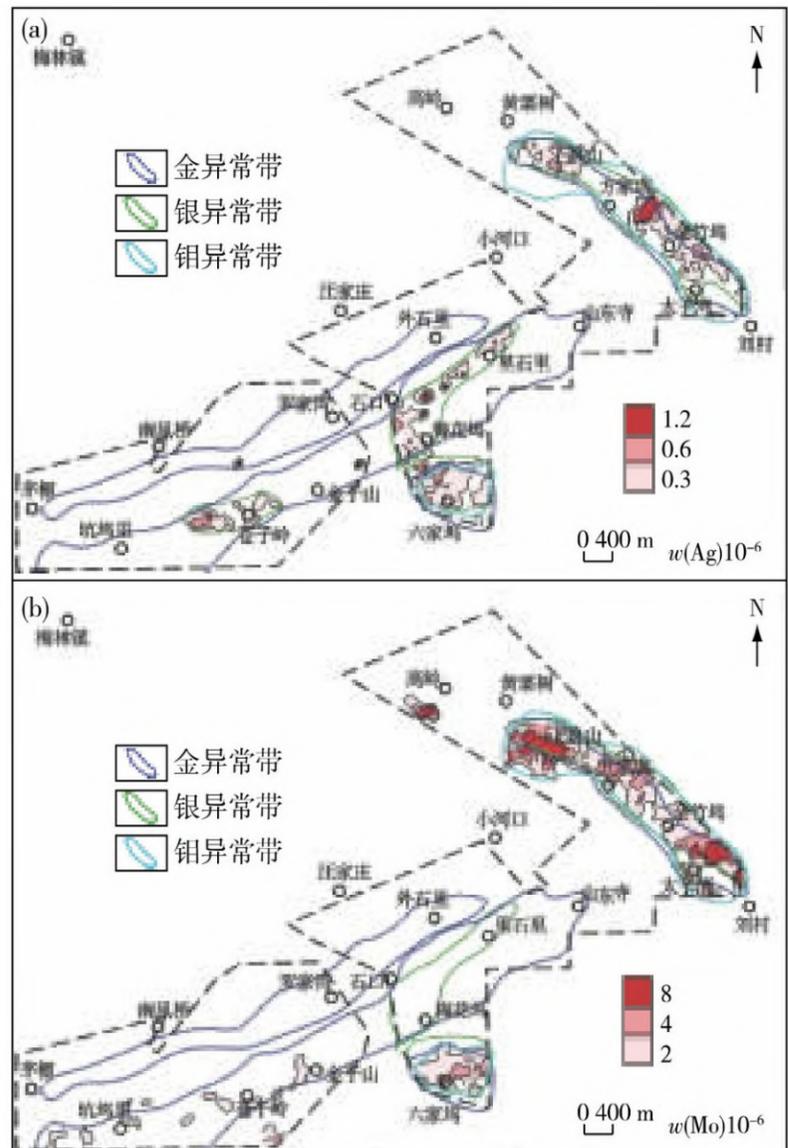


图 4 宁国石口地区土壤地球化学测量 Ag 异常图(a)、Mo 异常图(b)

Fig. 4 Maps showing anomalies of Ag (a) and Mo (b) in the Shikou area, Ningguo

断裂交汇处,断裂内发现黄铁矿化和硅化构造角砾岩,有待进一步验证。

表 6 HT-2 综合异常主要参数

Table 6 Main parameters of comprehensive anomaly area HT-2

异常元素	异常面积/km ²	极大值	平均值	衬度值	异常规模	异常 NPA	浓度分带
Ag	0.406	4.52	0.79	2.642	0.200	1.07	3
As	0.279	500.00	225.10	2.501	37.711	0.70	3
Au	0.481	300.00	28.69	3.586	9.958	1.72	3
Mo	0.484	10.20	3.58	1.761	0.970	0.85	3
Sb	0.037	9.68	8.41	1.402	0.089	0.05	1
W	0.225	4.70	6.38	1.562	0.608	0.35	1

注: Au 含量单位为 10⁻⁹,其他元素含量单位为 10⁻⁶,表 7—表 10 类同。

(2) HT-3 综合异常。由 Au、As、Mo、Sb、Ag 和 W 组成,异常规模较大,强度高。Au、Mo、As 具三级浓度分带,Ag、Sb 具二级浓度分带,各元素浓

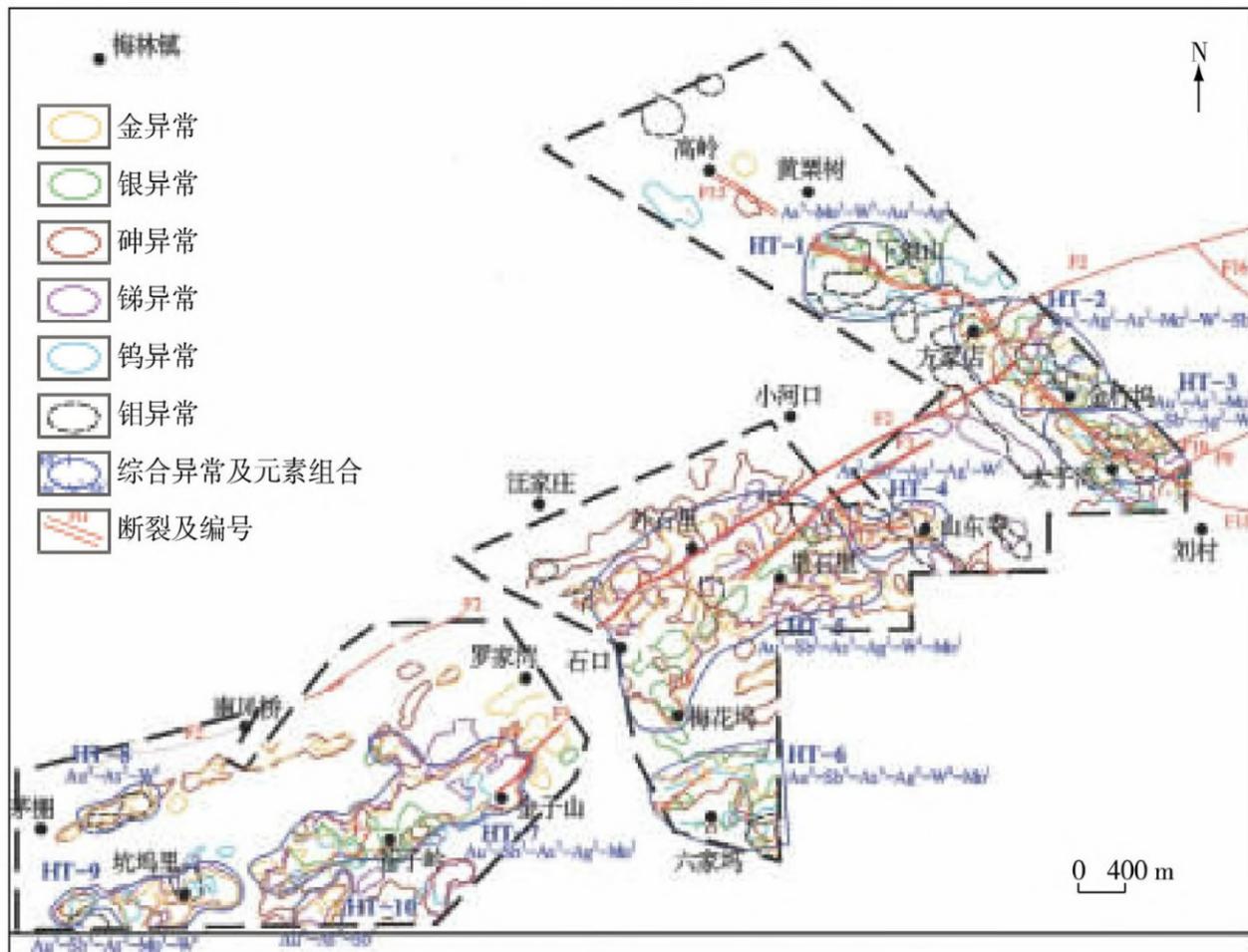


图5 宁国石口地区土壤地球化学测量综合异常图

Fig. 5 Integrated anomalous map of the soil geochemical elements in the Shikou area, Ningguo

集中心明显, Au、As 套合一致。Au 异常均值为 53.32×10^{-9} , As 异常均值为 307.42×10^{-6} 。异常元素水平分带序列为 As-Au-Mo-Sb-W-Ag, 与异常元素 NPA 值排序不一致, 尾缘指示元素 Mo 与成矿元素 Au 的 NAP 值(表 7)大, 属第一梯级带, 而前缘指示元素 As 属第二梯级带, Ag 与 Sb 属第三梯级带。异常水平分带具 2 个内带, NW 向浓集中心与断裂位置一致, 较强的 Au、As 异常叠加较弱的 W、Mo 异常, 指示矿化体较近, NW 向断裂 F15 内发现黄铁矿化和硅化构造角砾岩, 已验证存在工业金矿体。

表 7 HT-3 综合异常主要参数

Table 7 Main parameters of comprehensive anomaly area HT-3

异常元素	异常面积/km ²	极大值	平均值	衬度值	异常规模	异常 NPA	浓度分带
Ag	0.167	0.74	0.54	1.814	0.041	0.30	2
As	0.265	500.00	307.42	3.416	57.534	0.91	3
Au	0.244	300.00	53.32	6.665	11.053	1.63	3
Mo	0.394	39.50	7.32	3.659	2.096	1.44	3
Sb	0.225	17.00	12.75	2.125	1.518	0.48	2
W	0.080	6.60	5.48	1.370	0.118	0.11	1

(3)HT-4 综合异常。由 As、Sb、Au、Ag 和 W 组成, 异常规模小, 强度不高。Au、As 具三级浓度分带, Sb 具二级浓度分带, Au 浓集中心明显, Au、Sb 套合较好。Au 异常均值为 30.54×10^{-9} , As 异常均值为 311×10^{-6} 。异常元素水平分带序列为 As-Au-Sb-W-Ag, 与异常元素 NPA 值排序基本一致。前缘指示元素 As、Sb 与成矿元素 Au 的 NAP 值(表 8)大, 属第一梯级带, Ag、W 的 NAP 值明显小于 As 和 Sb, 属第二梯级带。异常水平分带有 2 个内带, Au 异常浓集中心发现构造角砾岩带, 异常特征指示矿化体有一定埋深。

表 8 HT-4 综合异常主要参数

Table 8 Main parameters of comprehensive anomaly area HT-4

异常元素	异常面积/km ²	极大值	平均值	衬度值	异常规模	异常 NPA	浓度分带
Ag	0.032	0.46	0.441	1.471	0.004	0.05	1
As	0.126	366.00	311.000	3.447	27.441	0.43	3
Au	0.114	111.80	30.540	3.818	2.565	0.44	3
Sb	0.139	41.07	12.815	2.136	0.949	0.30	3
W	0.061	6.90	5.093	1.273	0.067	0.08	1

HT-5 综合异常:由 Au、Sb、As、Ag、W 和 Mo 组成,异常规模大,强度高。Au、As、Sb 具三级浓度分带,存在多个浓集中心,呈 NE 向展布,W、Mo 异常较弱。Au 异常均值为 33.46×10^{-9} ,As 异常均值为 231.95×10^{-6} ,Sb 异常均值为 16.26×10^{-6} ,异常元素水平分带序列为 As-Au-Sb-Ag-W-Mo,与异常元素 NPA 值排序基本一致。前缘指示元素 As、Sb 与成矿元素 Au 的 NAP 值(表 9)最大,属第一梯级带,而伴生元素 Ag 属第二梯级带,尾晕元素 Mo、W 属第三梯级带。该异常分布于西阳山组,与地层展布方向一致,层间破碎强烈,发现层间黄铁矿化角砾岩,西阳山组存在次生富集导致地球化学异常的可能。

表 9 HT-5 号综合异常主要参数

Table 9 Main parameters of comprehensive anomaly area HT-5

异常元素	异常面积/km ²	极大值	平均值	衬度值	异常规模	异常 NPA	浓度分带
Ag	0.484	0.89	0.61	2.106	0.153	1.02	2
As	1.748	462.00	231.95	2.577	248.137	4.50	3
Au	1.644	71.00	33.46	3.889	41.300	6.39	3
Mo	0.043	2.90	2.33	1.163	0.014	0.05	1
Sb	1.550	49.00	16.26	2.712	21.436	4.20	3
W	0.134	5.20	4.90	1.270	0.137	0.17	1

HT-7 综合异常:由 Au、Sb、As、Ag 和 Mo 组成,异常规模大,强度高。Au、As、Sb 具三级浓度分带,浓集中心明显,套合较好。Au 异常均值为 28.77×10^{-9} ,As 异常均值为 245.55×10^{-6} ,Sb 异常均值为 20.36×10^{-6} 。异常元素水平分带序列为 As-Au-Sb-Mo-Ag,与异常元素 NPA 值排序基本一致。前缘指示元素 As、Sb 与成矿元素 Au 的 NAP 值(表 10)大,属第一梯级带,Ag、Mo 的 NAP 值明显小于 As、Sb 和 Au,属第二梯级带。异常水平分带有 4 个内带,NE 向异常与西阳山组展布方向一致,发现一些层间黄铁矿化角砾岩,西阳山组存在次生富集导致地球化学异常的可能。

表 10 HT-7 号综合异常参数

Table 10 Main parameters of comprehensive anomaly area HT-7

异常元素	异常面积/km ²	极大值	平均值	衬度值	异常规模	异常 NPA	浓度分带
Ag	0.237	1	0.54	1.789	0.070	0.42	2
As	0.813	424	245.55	2.728	126.396	2.22	3
Au	0.984	102	28.77	3.596	20.439	3.84	3
Mo	0.132	3.1	2.99	1.494	0.140	0.20	1
Sb	0.921	85	20.36	3.393	13.218	3.12	3

4 异常验证及深部追索

4.1 异常验证

HT-2 综合异常内 Au₂ 异常中心位于方家店南东部,施工探槽 TC22 和 MTC06,已揭露硅化和黄铁矿化角砾岩,宽几米至几十余米,控制长度 >180 m,刻槽样显示 Au 品位为 0.51 ~ 0.53 g/t,视厚度约 1 m,矿化类型为硅化构造角砾岩型,处于贯穿研究区的 NW 向梅林—刘村断裂中。HT-3 综合异常内 Au₃ 异常中心位于太子湾北,施工探槽 MTC11,揭露到构造角砾岩带,岩石硅化,黄铁矿化较强,探槽中断续分布 4 段矿化体,累计视厚度 12.6 m,刻槽样显示 Au 品位为 0.61 ~ 1.92 g/t,平均品位为 1.08 g/t,矿化类型为硅化构造角砾岩型,处于 NW 向断裂带中,与 Au₂ 方家店 Au 矿化体为同一构造带,但金矿化明显变强。HT-4 综合异常中 Au₄ 异常西部浓集中心位于山东寺西侧,施工了 MTC07 进行解析,见 NW 向构造角砾岩带,岩石具强硅化、褐铁矿化;矿化体视厚度 3.4 m,刻槽样显示 Au 品位为 0.70 ~ 1.85 g/t,平均品位为 1.27 g/t,围岩为西阳山组上段中薄层钙质泥岩,围岩局部具弱硅化和黄铁矿化。HT-5 综合异常中 Au₅ 异常南侧浓集中心位于石口村北,施工了 TC13,揭露发现 NE 向闪长玢岩脉,脉内夹硅化构造角砾岩;闪长玢岩倾向南东,倾角 80°,与围岩西阳山组钙质泥岩、泥灰岩接触带蚀变不明显。刻槽样显示金矿化主要赋存于闪长玢岩与硅化角砾岩界面近脉岩一侧,矿化体视厚度 6 m,Au 品位为 0.23 ~ 1.41 g/t,平均品位为 0.97 g/t。HT-5 综合异常中 Au₆ 北东端异常浓集中心位于里石里一带,施工了 MTC21 进行解析,见 NE 向构造角砾岩带,岩石具强褐铁矿化、弱硅化,发育石英细脉;刻槽样品显示 Au 品位为 0.51 ~ 1.89 g/t,平均品位为 1.57 g/t,矿体视厚度 3.3 m;两侧围岩为西阳山组上段中薄层钙质泥岩。HT-5 综合异常中 Au₆ 南西端异常浓集中心位于石口村南侧,施工了 TC6 进行解析,发现 NW 向构造角砾岩带,刻槽样显示 Au 品位为 0.67 ~ 9.14 g/t,平均品位为 4.14 g/t;矿体倾向南西,倾角 41°,视厚度 3.5 m,矿化类型为构造角砾岩型,围岩为寒武纪西阳山组钙质泥岩。Au₁₀ 北东端异常中心位于罗家湾南,施工了 TC8 进行解析,见西阳山组上部薄层钙质泥岩、泥质灰岩,显示

层控特征,硅化、黄铁矿化发育,刻槽样显示 Au 品位为 0.44~3.18 g/t,平均品位为 1.2 g/t,矿体视厚度 22 m,南东侧发育闪长玢岩脉,矿化类型可能为与闪长玢岩有关的蚀变岩型。HT-7 综合异常中 Au16 北东异常浓集中心位于金子山北侧,施工了探槽 TC14 进行解析,发现 NE 向断裂带,岩石为硅化、黄铁矿化构造角砾岩,该断裂发育于西阳山组一段,围岩蚀变不明显;刻槽样显示 Au 品位为 0.71 g/t,视厚度 1.3 m,该金矿化体走向追索长度 >50 m。HT-7 综合异常中 Au16 南西异常浓集中心位于苍子岭一带,对探槽 TC9 进行解析,发现 NW 向断裂带,岩石为强硅化构造角砾岩,追索地表出露长约 15 m,厚约 1 m,刻槽样显示 Au 品位为 0.83 g/t,金矿化类型为构造角砾岩型,两侧围岩为寒武纪西阳山组一段泥质灰岩夹钙质泥岩,围岩蚀变不明显。HT-6 综合异常中对 Au14 异常 2 个浓集中心分别施工了 MTC34 和 MTC35,揭露的岩性为寒武纪华严寺组条带状灰岩夹黑色泥岩,未发现金矿化,推断异常由泥岩高背景引起。

通过探槽揭露,区内发现了 9 个金矿化体,其中方家店、太子湾金矿化体处于 AuP3 异常带,与 NW 向 F15 断裂展布方向一致;罗家湾、石口村北金矿化体处于 AuP1 异常带,受 F2 断裂及西阳山组控制;苍子岭、金子山、石口村南、里十里及山东寺金矿化体呈 NE 向分布,与西阳山组分布一致,处于 AuP2 异常带。

4.2 深部追索

对 Au10 异常内罗家湾金矿化体施工了 SZK01 进行钻孔深部追索,孔内岩性与探槽一致,主要为西阳山组钙质泥岩。劈样分析结果显示无金矿化体,与地表探槽揭露控制的 22 m 金矿体不符,说明无层控特征。对 Au5 异常内石口村北金矿化体施工了 ZK301 进行深部追索,岩性主要为西阳山组泥质灰岩、钙质泥岩,57.14~73.48 m 见闪长玢岩夹构造角砾岩,与探槽一致。劈样分析结果显示 Au 品位为 0.2~0.44 g/t,而地表探槽中金矿化体视厚度为 6 m,Au 品位为 0.23~1.41 g/t,深部贫化。对 Au6 异常内石口村南金矿化体施工了 ZK201 进行深部追索,岩性主要为条带状灰岩夹黑色钙质泥岩,见 10 层层间破碎带。劈样分析结果显示 Au 品位为 0.1~0.37 g/t,而地表探槽中金矿体厚度为 3.5 m,Au 平均品位为 4.14 g/t,深部贫化。对

Au3 异常内太子湾金矿化体施工了 ZK801 进行深部追索,孔内见 3 层 Au 矿化体,第 1 层于 16.82~27.46 m 孔段,视厚度为 10.64 m,Au 品位为 0.48~0.9 g/t,为硅化、黄铁矿化构造角砾岩,顶底板为黑色钙质泥岩;第 2 层于 42.17~46.5 m 孔段,见视厚度 4.33 m 的金矿体,Au 品位为 1.07~1.13 g/t,为硅化、黄铁矿化构造角砾岩,顶底板为黑色钙质泥岩;第 3 层于 51.03~53.81 m 孔段,见视厚度为 2.78 m 的金矿体,Au 的品位为 1.61~1.88 g/t,为硅化、黄铁矿化钙质泥岩及硅化、黄铁矿化构造角砾岩,顶底板为黑色钙质泥岩,与地表探槽控制的矿化体一致,找矿效果较好,该区段综合异常(HT-3)为套合较好的 Au、As 异常,Au 强度高,三级浓度分带,叠加较弱的 W、Mo 异常。

5 结论

(1)石口地区 Au 为富集元素,变化系数最大,Au 分布范围广;As、Sb 为富集元素,变化系数大,分布广,未见矿化,参与后期成矿作用改造;Au 与 As 相关系数最大,As 为寻找 Au 的指示元素。

(2)石口地区地表金矿化普遍,以构造角砾岩型金矿化最为发育,局部蚀变岩型泥岩、闪长玢岩亦具金矿化。金矿化多与构造关系密切,主要蚀变有硅化和黄铁矿化。

(3)石口地区地表金矿化较好,深部金贫化或无矿化;NE 向金异常内发现矿化构造角砾岩及矿化钙质泥岩,存在次生富集,且 NE 向金异常带与西阳山组分布一致,可能与西阳山组黑色岩系金高背景及层间破碎带相关,找矿意义不大。

(4)NW 向梅林—刘村断裂带硅化、黄铁矿化构造角砾岩具有较好的找矿前景。

参考文献

- [1] 徐德明,蔺志永,龙文国,等. 钦杭成矿带的研究历史和现状[J]. 华南地质与矿产, 2012, 28(4): 277-289.
- [2] 陈富荣,汤金来,梁红霞,等. 安徽 1:25 万常州、金华、宣城幅区域化探成果报告[R]. 2015: 115-127.
- [3] 孙乘云,王有生,白茹玉,等. 中华人民共和国河沥溪幅、杭圩幅、宁国墩幅、仙霞幅 1:5 万区域矿产调查报告[R]. 2009: 90-91.
- [4] 唐永成,曹静平,支利庚,等. 皖东南区域地质矿产评价[M]. 北京:地质出版社, 2010.
- [5] 安徽省地质矿产局. 安徽省区域地质志[M]. 北京:地

- 质出版社,1987.
- [6] 李玉发,姜立富,孙乘云,等. 安徽省岩石地层划分对比研究[M].武汉:中国地质大学出版社,1997.
- [7] 中华人民共和国地质矿产行业标准. DZ/T 0145—94 土壤地球化学测量规范[S].北京:中国标准出版社,1995.
- [8] 中华人民共和国地质矿产行业标准. DZ/T 130.4—2006 地质矿产实验室测试质量管理规范[S].北京:中国标准出版,2006.
- [9] 罗先熔,文美兰,欧阳菲,等. 勘查地球化学[M].北京:冶金工业出版社,2007.

Characteristics and evaluation of soil geochemical anomalies in the Shikou area in Ningguo City, Anhui Province

HONG Da-jun¹, LEI Ding-er², CHEN Ke-fu¹, ZHANG Xu¹, TAO Nai¹

(1. *Geological Exploration Technology Institute of Anhui Province, Hefei 230031, China;*

2. Geological Survey of Anhui Province, Hefei 230001, China)

Abstract: This study analyzed the characteristics of geochemical anomalies for soil from the Shikou area in Ningguo City, Anhui Province, and evaluated the anomaly of each element. The results show weak anomalies in Cu, Pb, Zn, Bi and Sn, and mean anomalies in Ag, W and Mo, but black rock series has relatively high background values in Ag, W and Mo. Au, As and Sb elements present large areas with strong anomalies, and well coupled correlation among anomalous areas. Each element shows a relatively good affinity. Gold is an enriched element with a large variation coefficient, indicating uneven mineralization. Industrial gold-bearing orebodies found at depth in the study area may be associated with structural fracture belt, and have positive relationship with silicification and pyritization. Soil geochemical survey delineated 19 anomalous points and 3 anomaly belts of Au element in the study area, and further confirmation on anomalies discovered that the NW-trending Au anomalous belt AuP3 is of good prospecting potential. AuP1 and AuP2 anomalies within the NE-trending belt might have been the product of gold secondary enrichment resulted from weathering of calcareous mudstone of the Cambrian Xiyangshan Formation.

Key words: soil geochemical anomaly; anomaly evaluation; gold mine; mineral prospecting effect; Shikou area in Ningguo City; Anhui Province