

江苏宁芜北段自然重砂异常特征及其对铜金矿的响应

杨用彪, 黄顺生, 黄建平, 王季顺, 朱静苹, 郭治东

YANG Yong-biao, HUANG Shun-sheng, HUANG Jian-ping, WANG Ji-shun, ZHU Jing-ping, GUO Zhi-dong

江苏省地质调查研究院, 江苏 南京 210049

Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing 210049, Jiangsu, China

摘要: 宁芜火山岩盆地是长江中下游成矿带中重要的铁、硫、铜、金成矿区。基于宁芜北段自然重砂建库数据, 通过 ZSAPS2.0 软件 GIS 平台, 选择与火山热液充填型铜金矿相关的特征矿物, 圈定了自然重砂组合异常。通过自然重砂组合异常特征发现, 铜矿物(黄铜矿、斑铜矿、蓝铜矿、辉铜矿、孔雀石)、自然金、黄铁矿、重晶石等重矿物组合对火山热液充填型铜金矿响应明显。在组合异常的基础上, 圈定自然重砂综合异常, 以成矿地质条件、与已知矿床的对应关系、异常强度、异常规模、重砂异常套合程度等为指标, 对综合异常进行评价, 从而为宁芜火山岩盆地北段铜金矿找矿远景区的划定提供依据。

关键词: 宁芜北段; 自然重砂; 铜金矿; 火山热液型; 找矿远景区

中图分类号: P618.4; P618.51 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2014)12-1961-07

Yang Y B, Huang S S, Huang J P, Wang J S, Zhu J P, Guo Z D. Natural heavy mineral anomaly characteristics in the northern segment of Ning-Wu area, Jiangsu Province, and their response to copper-gold deposits. *Geological Bulletin of China*, 2014, 33(12):1961-1967

Abstract: The Ning-Wu volcanic basin is one of the important iron-sulfur-copper-gold ore concentration areas in the middle-lower Yangtze River metallogenic belt. The study is based on the database of natural heavy mineral survey in the northern segment of the Ning-Wu basin. Based on ZSAPS2.0 software and GIS platform, the authors selected characteristic minerals related to volcanic hydrothermal filling type copper-gold deposits and delineated natural heavy mineral combinatorial anomalies. It is found that heavy mineral assemblages composed of such minerals as copper minerals (chalcopyrite, bornite, azurite, chalcocite, malachite), native gold, pyrite, barite respond obviously to volcanic hydrothermal filling type copper-gold deposits. Moreover, the authors delineated composite anomalies of natural heavy minerals according to anomaly combination. The composite anomalies were evaluated by ore-forming geological conditions, the corresponding relations of the known deposits, anomaly intensity, anomaly dimensions, and conformity extent of natural anomalies. The results achieved by the authors provide some evidence for dividing copper-gold prospecting areas in the northern segment of the Ning-Wu volcanic basin.

Key words: northern segment of Ning-Wu basin; natural heavy mineral; copper-gold deposit; volcanic hydrothermal type; prospect area

自然重砂测量是矿产勘查的重要手段之一^[1], 重砂矿物组合蕴含了丰富的直接、间接找矿信息^[2]。20 世纪江苏省开展的以矿产勘查为主要目的的区

域性自然重砂测量, 获得了系统而规范、大面积、多重矿物的海量自然重砂数据, 但当时由于计算机技术及综合手段的匮乏, 处理海量重砂数据受到限

收稿日期: 2014-03-14; 修订日期: 2014-11-02

资助项目: 中国地质调查局项目(编号: 1212010881615)

作者简介: 杨用彪(1984-), 男, 硕士, 工程师, 从事地质找矿工作。E-mail: yangyubiao06@163.com

制,仅依靠手工圈绘部分重砂矿物异常,对自然重砂空间分布特征、重矿物组合与矿床之间的响应关系研究不够充分。本次选取基础地质研究已趋于成熟的宁芜火山岩盆地北段,运用现代计算机技术和新的数据处理软件(ZSAPS2.0)对宁芜北段自然重砂测量数据进行了分析,在异常的合理圈定、异常分布与成矿地质背景的关系、异常与火山热液充填型铜金矿的关系、宁芜北段铜金矿找矿远景区的评价等方面做了一些有益探讨。

1 地质背景

宁芜盆地位于长江中下游成矿带东部,它是在震旦系一中生代拗陷基础上形成的火山断陷盆地^[3-4]。宁芜北段是指宁芜盆地的北东部分(即江苏),也是南京江宁区西南地段,面积约900km²^[5]。宁芜盆地由NNE向长江断裂(F₁)、方山—小丹阳断裂(F₅)和NW向南京—湖熟断裂(F₆)、芜湖断裂(F₄)控制,属于继承式的中生代陆相火山岩盆地^[4-6](图1)。盆地内的断裂主要为NNE、EW和NW向3组,构成宁芜盆地的构造骨架。宁芜火山岩盆地基底地层主要有三叠系青龙群(T_{1q})海相碳酸盐岩建造、周冲村组(T_{2z})白云质灰岩和膏岩层、黄马青组(T_{3h})砂页岩;侏罗纪象山群(J_{1-xn})陆相碎屑岩建造、西横山组(J_{2x})类磨拉石建造;白垩纪早期相继发育龙王山组、大王山组、姑山组和娘娘山组4个火山喷发喷溢旋回,此后浦口组(K_{2p})砂岩、砾岩,赤山组(K_{2c})细砂岩、粉砂岩,以及古近纪—新近纪砂砾岩覆盖于火山岩之上^[4]。宁芜盆地中次火山岩体也广泛发育,以超浅成相侵入体为主,侵入深度0.5~1.5km,岩体出露面积0.01~10km²。4个旋回的次火山岩与相应旋回的火山岩在成分上相似。龙王山旋回次火山岩主要为粗安玢岩和粗面斑岩,大王山旋回次火山岩以富钠质的中性偏基性辉长闪长岩—辉长闪长玢岩为主,姑山旋回次火山岩主要为角闪安山玢岩和黑云角闪英安玢岩,娘娘山旋回次火山岩主要为粗面斑岩。次火山岩大多形成于每一旋回的晚期。其中,大王山旋回次火山岩体与铁矿床在空间和时间上关系密切,前人将这类铁矿床统称为玢岩型铁矿床^[4,6-10],娘娘山旋回次火山岩体与铜金矿成矿关系密切^[5]。对应姑山旋回和娘娘山的火山岩浆活动在宁芜盆地内还形成了大量花岗岩类侵入岩,主要呈隐伏岩体产于盆地深部,在盆地中部和北部

地区局部出露地表^[11]。

宁芜北段已知铜矿产地有30余处,其中小型矿床4处(图1),矿点14处,矿化点12处,较集中地分布于白头山—娘娘山、谷里、大岭岗—龙山地区。金矿是铜矿的伴生矿,已发现金矿产地16处,其中中型1处,小型1处,矿点、矿化点各7处,其成因类型均为中低温热液型^①。区内有代表性的铜金矿床为铜井金铜矿、谷里铜金矿,其中矿床主要受NW、NE向2组断裂及破火山口控制,矿体呈NE向的大脉及复脉状雁行排列。控矿围岩为大王山组安山岩,娘娘山组碱性粗面岩、粗安岩、熔结角砾岩、黝方石响岩等。铜金矿主要赋存于石英脉中,少数在菱铁矿、重晶石脉中,与硫化物关系密切。矿石矿物以黄铜矿、斑铜矿、自然金、银金矿和黄铁矿为主,其次为镜铁矿、硫铜铋矿、辉锑铋矿、黝铜矿等。脉石矿物有石英、菱铁矿、方解石、重晶石、玉髓等。围岩蚀变有碳酸盐化、绿泥石化、黄铁矿化、硅化、绢云母化、高岭土化等,沿裂隙呈带状或线状分布^①。

2 自然重砂异常分布特征

2.1 数据来源

宁芜北段自然重砂数据来源于1:20万^②、1:5万矿产调查^①,采样介质主要为基岩裸露区残坡积层。1:20万重砂采样重量16~25kg,深度0.1~0.4m;1:5万重砂采样重量16kg,深度0.2~0.4m,野外淘洗用5L的木质船型盆,淘至灰砂后至少留10g交实验室加工鉴定,鉴定质量符合要求。现已建立江苏省自然重砂数据库,本文使用数据即来自自然重砂数据库。

2.2 异常圈定及异常级别的划分

宁芜北段重矿物组合主要有金红石、磁铁矿、绿帘石、锐钛矿、白钛矿、电气石、钛铁矿、石榴子石、锆石、黄铁矿、榍石、辉石、角闪石、赤铁矿、重晶石、磷灰石、独居石、辰砂、雄黄、雌黄、十字石、自然金、铜矿物、蓝晶石、菱铁矿、碳碲石、尖晶石、方铅矿、泡铋矿等,鉴于重矿物报出率及含量多寡,研究选择辰砂、砷矿物(雄、雌黄)、自然金、铜矿物(黄铜矿、斑铜矿、蓝铜矿、孔雀石)、黄铁矿和重晶石,通过ZSAPS2.0软件进行标准化,然后进行含量分级^[12]。黄铁矿、重晶石、辰砂、砷矿物、自然金和铜矿物分别选择50、100、4、3、1、10粒为异常下限(表1)。异

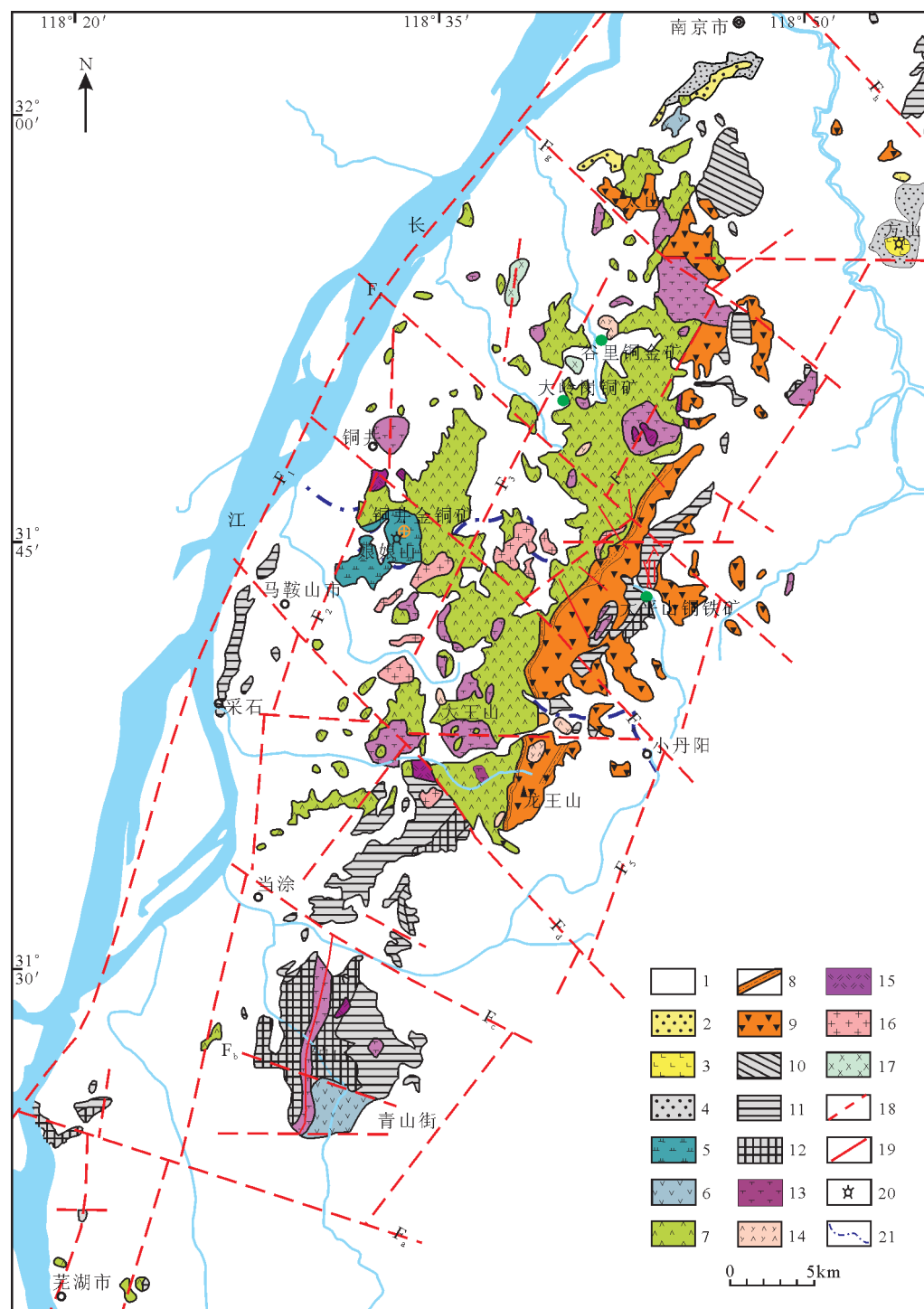
图1 宁芜火山岩盆地矿产地质图^[4]

Fig. 1 Geological map of the Ning-Wu volcanic basin showing the distribution of ore deposits

- 1—第四系冲积层;2—雨花台组(N_{2y})砾岩;3—方山组(N_{2f})玄武岩;4—洞玄观组(N_{1d})砂岩;5—娘娘山旋回(K_{2n})火山岩;6—姑山旋回(K_{2g})火山岩;7—大王山旋回(K_3-K_{4d})火山岩;8—龙王山旋回(J_3-K_{1d})晚期(云台组)火山-沉积岩;9—龙王山旋回(J_3-K_1)早期火山岩;10—西横山组(J_{3x})砂岩;11—象山群(J_{1-xn})砂岩;12—黄青马组(T_{2h})砂页岩和青龙群(T_{1q})页岩;13—辉长闪长岩-辉长闪长玢岩;14—安山玢岩、粗安玢岩和粗面斑岩;15—二长岩和石英闪长岩;16—花岗质岩;17—辉绿岩;18—磁法推断断裂;19—断裂;20—火山口;21—省界

表1 宁芜北段自然重砂矿物含量分级

Table 1 Classification of natural heavy mineral content in the northern segment of the Ning-Wu basin

矿物 名称	报出 率/%	含 量 分 级 /粒					异常下限
		一级	二级	三级	四级		
黄铁矿	55.51	1~<20	20~<50	50~<128	≥128	50	
重晶石	33.23	1~<50	50~<100	100~<210	≥210	100	
辰砂	19.85	1~<3	3~<8	8~<20	≥20	4	
砷矿物	14.44	1~<3	3~<6	6~<18	≥18	3	
自然金	6.22	1~<3	3~<5	5~<8	≥8	1	
铜矿物	5.85	1~<5	5~<10	10~<50	≥50	10	

常范围在重矿物含量的基础上,结合地质背景和地貌特征圈定,然后根据异常规模及找矿意义大小、与已知矿的对应关系把异常分为3级,Ⅰ级找矿信息最好,Ⅲ级最差。孤立出现而重矿物含量很高(大于四级含量)的点作为高含量点,按Ⅲ级异常处理。宁芜北段圈出辰砂异常12个,其中Ⅰ级异常1个、Ⅱ级异常5个、Ⅲ级异常6个;砷矿物异常12个,其中Ⅱ级异常3个、Ⅲ级异常9个;黄铁矿异常13个,其中Ⅰ级异常6个、Ⅱ级异常2个、Ⅲ级异常5个;重晶石异常16个,其中Ⅰ级异常2个、Ⅱ级异常7个、Ⅲ级异常7个;铜矿物异常8个,其中Ⅰ级异常2个、Ⅱ级异常1个、Ⅲ级异常5个;自然金异常9个,其中Ⅰ级异常2个、Ⅱ级异常1个、Ⅲ级异常6个(图2)。

2.3 异常分布特征

宁芜北段自然重砂异常主要分布在韩武山—将军山、梅山—龙吉山、白头山—娘娘山、谷里金牛洞、皇姑山南上范村、云台山—天台山等地(图2)。它们与主要成矿区带及个别矿区、火山机构部位吻合。韩武山—将军山带以辰砂、砷矿物异常为主;梅山—龙吉山带以辰砂、黄铁矿异常为主,其次为铜矿物、自然金、重晶石异常;白头山—娘娘山带主要以自然金、铜矿物异常为主,其次为黄铁矿、重晶石异常;谷里金牛洞以自然金、铜矿物、黄铁矿、重晶石异常为主,其次为辰砂、砷矿物异常;皇姑山南上范村以辰砂、黄铁矿、砷矿物异常为主;云台山—天台山带以黄铁矿异常为主,其次为重晶石异常。

2.4 综合异常圈定及解释

在单矿物组合异常的基础上圈定综合异常(图2),宁芜北段共圈定8个综合异常,对每个综合异常

所包含的单异常进行了参数统计,并对每个综合异常进行了解释评价(表2)。

其中,3号综合异常包含辰砂、自然金、重晶石、砷矿物、铜矿物异常,异常级别不高,套合很好,位于北西向断裂喷发带,附近出露大王山组安山质沉火山碎屑岩,异常揭示可能存在火山热液型铜金矿化体;4号综合异常包含辰砂、重晶石、自然金异常,异常级别不高,辰砂最高含量62粒,异常位于北西向断裂喷发带,区内出露大王山组安山质沉火山碎屑岩,地表砂卡岩化、次生石英岩化发育,见不规则重晶石和褐铁矿脉,异常揭示可能存在火山热液型金矿化体。因此,3号、4号综合异常区可作为火山热液型铜金矿找矿远景区进行进一步工作。5号综合异常包含辰砂、黄铁矿、砷矿物、重晶石、自然金、铜矿物异常,异常为Ⅰ—Ⅱ级,级别较高,其中自然金、铜矿物、黄铁矿含量极值高,分别为221粒、105粒和450粒,异常规模大,套合好,位于NW、NNW与NE向断裂交会处,区内出露辉石闪长玢岩和辉石安山玢岩,谷里铜金矿位于异常中心,推测异常由谷里铜金矿引起。8号综合异常包含黄铁矿、重晶石、自然金、铜矿物异常,异常为Ⅰ级,级别较高,其中黄铁矿、重晶石、自然金、铜矿物含量极值高,分别为436粒、18094粒、39粒和5072粒,异常规模大,套合好,位于娘娘山火山口内,区内出露娘娘山组黝方石响岩、粗面质熔结火山碎屑岩,铜井金铜矿位于异常中心,推测异常由铜井金铜矿引起。

3 讨 论

自然重砂是物源区岩石经风化、剥蚀、搬运,然后在某一特定区域沉积而成的,因此利用自然重砂圈定的异常都是物源区重砂特征的反映^[13]。5号、8号综合异常推测分别由谷里铜金矿和铜井金铜矿引起(图2,表2)。如果谷里铜金矿和铜井金铜矿矿石及脉石矿物中无与异常相关的重砂矿物,则5号综合异常的物源区不可能为谷里铜金矿,8号综合异常的物源区不可能为铜井金铜矿,那么5号、8号综合异常与谷里铜金矿和铜井金铜矿之间就没有必然联系。

谷里铜金矿(金矿在谷里新生矿段)工业矿体大部分赋存在-5~-150m之间,矿床属于中低温热液交代充填型矿床^①,矿石矿物有黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、蓝铜矿、孔雀石、自然金、赤铁矿和褐铁矿,

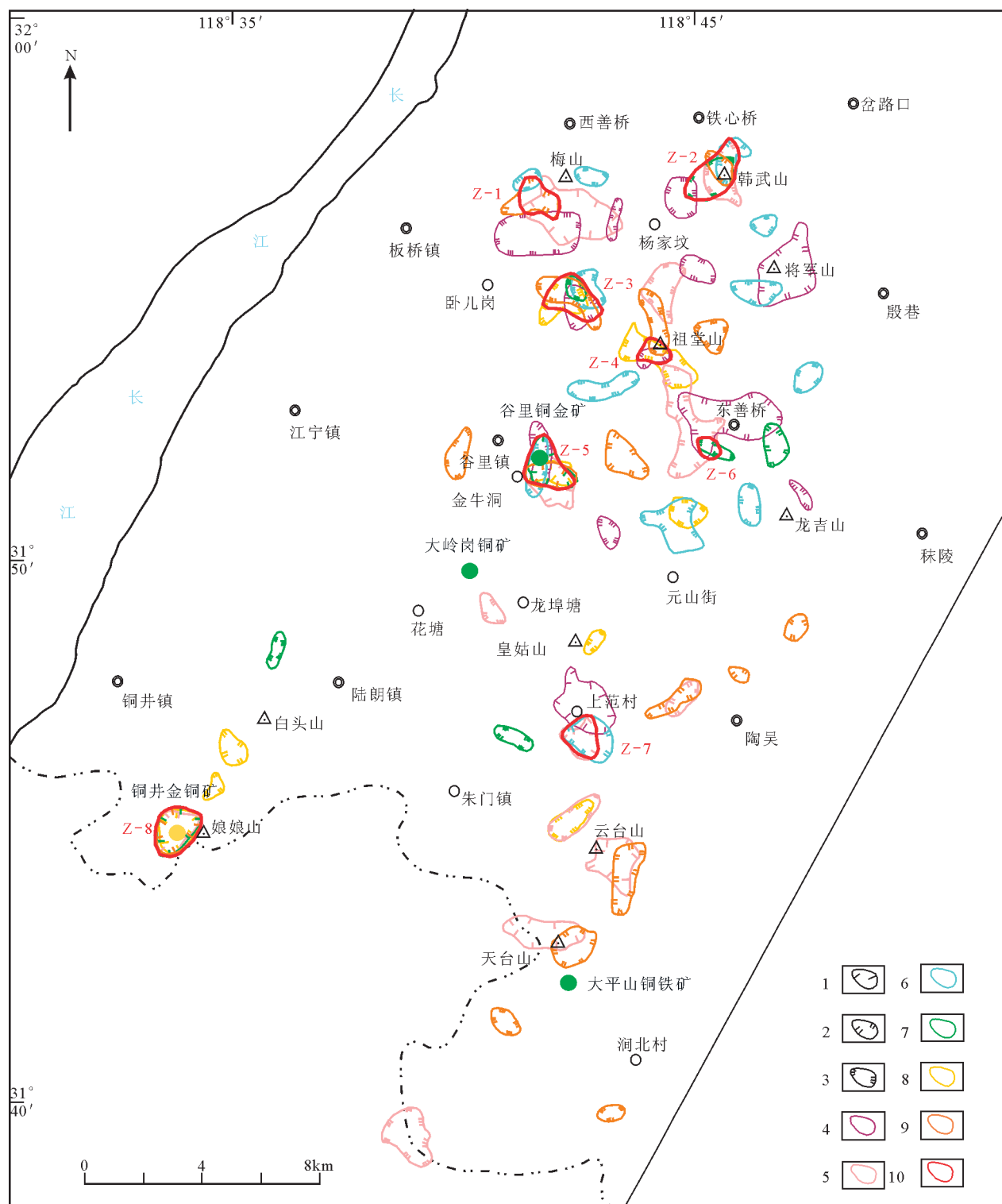


图 2 宁芜北段自然重砂异常分布

Fig. 2 Distribution of anomalies of natural heavy minerals in the northern segment of the Ning-Wu basin

1—Ⅰ级异常; 2—Ⅱ级异常; 3—Ⅲ级异常; 4—辰砂异常; 5—黄铁矿异常; 6—砷矿物异常;
7—铜矿物异常; 8—自然金异常; 9—重晶石异常; 10—自然重砂综合异常

表2 自然重砂综合异常特征及异常评价
Table 2 Characteristics and evaluation of composite anomalies of natural placer minerals

综合异常名称	组成综合异常的单矿物异常参数						异常分级	综合异常评价
	单异常名称	最高含量	异常均值	异常面积	异常规模	地质矿产概况及异常推断解释		
Z-1 (梅山自然重砂综合异常)	梅山辰砂异常	9	5	3.82	19.10	异常位于NE、NW向火山喷发带交汇处,区内出露大王山组安山质沉火山碎屑岩及姑山组石英安山岩,北部见梅山铁矿,围岩蚀变有透辉石化、绿帘石化、碳酸盐化、硅化等,推测异常与火山喷发活动有关	Ⅲ	综合异常面积1.31 km ² ,单异常套合较好,异常揭示了火山热液活动的存在
	梅山黄铁矿异常	8600	1616.8	4.31	6968.41		Ⅰ	
	梅山重晶石异常	100	87.5	1.52	133.00		Ⅱ	
	梅山砷矿物异常	8	6	0.51	3.06		Ⅲ	
Z-2 (韩武山自然重砂综合异常)	韩武山辰砂异常	9	7.3	1.26	9.20	异常位于NE、NW向断裂交汇处,区内出露龙王山组火山碎屑岩及西横山组长石英砂岩,铜矿物异常可能与砂岩有关,其他异常推测与火山喷发活动有关	Ⅲ	综合异常面积2.17 km ² ,单异常套合较好,异常揭示了火山热液活动的存在
	韩武山黄铁矿异常	100	71.4	1.77	126.38		Ⅲ	
	韩武山重晶石异常	100	100	0.66	66.00		Ⅲ	
	韩武山砷矿物异常	3101	1038.3	1.07	1110.98		Ⅱ	
Z-3 (卧儿岗自然重砂综合异常)	韩武山铜矿物异常	100	100	1.68	168.00	异常位于NW向断裂喷发带,区内出露大王山组安山质沉火山碎屑岩,北侧见英安斑岩,东侧出露辉石闪长玢岩,推测异常与火山喷发活动有关	Ⅲ	综合异常面积1.92 km ² ,单异常套合很好,异常揭示可能存在火山热液型铜金矿化体
	卧儿岗辰砂异常	22	10.8	1.3	14.04		Ⅱ	
	卧儿岗自然金异常	8	3.3	1.59	5.25		Ⅲ	
	卧儿岗重晶石异常	100	100	1.79	179.00		Ⅲ	
Z-4 (祖堂山自然重砂综合异常)	卧儿岗砷矿物异常	9	6.3	1.08	6.80	异常位于NW向断裂喷发带,区内出露大王山组安山质沉火山碎屑岩,北部见石英闪长斑岩,地表砂卡岩化、次生石英岩化发育,见不规则重晶石和褐铁矿脉,推测异常与地表矿化有关	Ⅲ	综合异常面积0.66 km ² ,单异常套合一般,异常揭示可能存在金矿化体
	卧儿岗铜矿物异常	50	50	0.4	20.00		Ⅲ	
	祖堂山辰砂异常	62	41.5	0.52	21.58		Ⅱ	
	祖堂山重晶石异常	100	83.3	1.28	106.62		Ⅲ	
Z-5 (金牛洞自然重砂综合异常)	祖堂山自然金异常	4	2	2.27	4.54	异常位于NW、NNW和NE向断裂交汇处,区内出露辉石闪长玢岩和辉石安山玢岩,岩体内见含铜重晶石脉、含铜石英脉,谷里铜矿位于异常中心,推测异常由谷里铜矿脉机械分散晕引起	Ⅲ	综合异常面积1.87 km ² ,单异常套合很好,自然金、铜矿物极值高,异常与谷里铜矿区范围相当,异常即是谷里铜金矿的反映
	金牛洞辰砂异常	8	5.5	1.21	6.66		Ⅱ	
	金牛洞黄铁矿异常	450	175	2.15	376.25		Ⅰ	
	金牛洞砷矿物异常	5	4	1.03	4.12		Ⅱ	
Z-6 (东善桥自然重砂综合异常)	金牛洞重晶石异常	100	75	1.1	82.50	异常位于NW、NE向断裂交汇处,区内出露大王山组中段安山质火山碎屑岩,推测异常与火山喷发活动有关	Ⅰ	综合异常面积1.22 km ² ,单异常套合一般,异常揭示的矿化信息不强
	金牛洞自然金异常	221	47.7	1.05	50.09		Ⅰ	
	金牛洞铜矿物异常	105	48.8	1.69	82.47		Ⅰ	
	东善桥辰砂异常	20	7	4.64	32.48		Ⅱ	
Z-7 (上范村自然重砂综合异常)	东善桥黄铁矿异常	100	100	3.9	390.00	异常位于娘娘山火山口内,区内出露娘娘山组黝方石响岩、粗面质熔结火山碎屑岩,铜井金铜矿位于异常中心,推测异常由铜井金铜矿脉机械分散晕引起	Ⅲ	综合异常面积1.97 km ² ,单异常套合很好,异常极值点高,异常与铜井金铜矿范围相当,异常即是铜井金铜矿的反映
	东善桥铜矿物异常	50	50	0.44	22.00		Ⅲ	
	上范村辰砂异常	100	20.8	2.79	58.03		Ⅰ	
	上范村黄铁矿异常	300	200	1.15	230.00		Ⅰ	
Z-8 (娘娘山自然重砂综合异常)	上范村砷矿物异常	100	75	1.79	134.25	异常位于娘娘山火山口内,区内出露娘娘山组黝方石响岩、粗面质熔结火山碎屑岩,铜井金铜矿位于异常中心,推测异常由铜井金铜矿脉机械分散晕引起	Ⅱ	综合异常面积1.97 km ² ,单异常套合很好,异常极值点高,异常与铜井金铜矿范围相当,异常即是铜井金铜矿的反映
	娘娘山黄铁矿异常	436	212	1.5	318.00		Ⅰ	
	娘娘山重晶石异常	18094	9561.5	1.73	16541.40		Ⅰ	
	娘娘山自然金异常	39	22	1.6	35.20		Ⅰ	
Z-8 (娘娘山自然重砂综合异常)	娘娘山铜矿物异常	5072	1742.3	1.79	3118.72		Ⅰ	

脉石矿物为黄铁矿、镜铁矿、石英、重晶石、菱铁矿、方解石和绿泥石。矿石及脉石矿物风化剥蚀沉积可以形成铜矿物(黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、蓝铜矿、孔雀石)、自然金、黄铁矿和重晶石自然重砂异常,所以由铜矿物(黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、蓝铜矿、孔雀石)、自然金、黄铁矿、重晶石、辰砂、砷矿物圈定的5号综合异常即是谷里铜金矿的反映(辰砂、砷矿物为火山热液的指示矿物),重砂矿物铜矿物、自然金、黄铁矿、重晶石可作为火山热液充填型铜金矿的指示矿物。

铜井金铜矿工业矿体主要赋存于+30~-320m之间,矿床属于中低温热液充填型矿床。矿石矿物有自然金、黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿及少量镜铁矿、硫铜铋矿、辉锑铋矿、黝铜矿等。脉石矿物有石英、重晶石、方解石、菱铁矿、玉髓及少量天青石^③。暴露地表的矿石及脉石矿物经风化剥蚀搬运在附近沉积,可以形成铜矿物(黄铜矿、斑铜矿)、自然金、黄铁矿、重晶石自然重砂异常,所以由铜矿物、自然金、黄铁矿、重晶石圈定的8号综合异常即是铜井金铜矿的反映,重砂矿物铜矿物、自然金、黄铁矿、重晶石可作为中低温热液充填型金铜矿的指示矿物。

重砂异常对谷里铜金矿和铜井金铜矿响应明显,但宁芜北段有代表性的另外2个小型铜矿大岭岗铜矿和大平山铜铁矿(图1)附近几乎没有重砂异常(图2),其原因是大岭岗铜矿一般在-150m左右,矿体埋藏较深,属于隐伏矿体^④,剥蚀未达地表,因此地表未能形成自然重砂异常;大平山铜铁矿属于中温热液细脉浸染型,铜矿物呈细脉浸染状分布。虽然矿体埋深55~193m,赋存标高+25~-75m^①,矿石及脉石矿物有被风化剥蚀的条件,但浸染状矿石粒度太小,重砂矿物不易淘洗和鉴定,因此大平山铜铁矿附近也未见明显的自然重砂异常。

4 结 论

(1)自然重砂综合异常对于远景区的评价效果更好,卧儿岗(Z-3)和祖堂山(Z-4)综合异常区可作为火山热液型铜金矿找矿远景区进行进一步工作。

(2)铜矿物、自然金、黄铁矿和重晶石自然重砂异常对剥露地表的铜金矿响应明显,可作为火山热液充填型铜金矿的指示矿物。

(3)自然重砂异常对于隐伏矿的揭露效果不佳。

致谢:成文过程中得到中国地质大学(北京)董国臣教授的指导和帮助,审稿专家提出了宝贵的修改意见,在此一并表示感谢。

参考文献

- [1]张大可,张德生,陈英富,等.矿产资源调查中自然重砂测量成果的重新应用——以河北蔚县地区为例[J].中国地质,2007,34(4):723-729.
- [2]侯德义.找矿勘探地质学[M].北京:地质出版社,1984:76-92.
- [3]赵玉琛.宁芜地区中生代火山岩地层划分及其特征[J].地质科学,1990,7(3):243-258.
- [4]宁芜研究项目编写小组.宁芜玢岩铁矿[M].北京:地质出版社,1978:1-196.
- [5]侯龙海.浅析宁芜北段铜矿地质特征、找矿前景与方向[J].地质学刊,2008,32(4):263-270.
- [6]中国科学院地球化学研究所.宁芜型铁矿床形成机理[M].北京:科学出版社,1987:1-152.
- [7]段超,李延河,袁顺达,等.宁芜矿集区凹山铁矿床磁铁矿元素地球化学特征及其对成矿作用的制约[J].岩石学报,2012,28(1):243-257.
- [8]毛景文,段超,刘佳林,等.陆相火山—侵入岩有关的铁多金属矿成矿作用及矿床模型——以长江中下游为例[J].岩石学报,2012,28(1):1-14.
- [9]卢冰,胡受奚,蔺雨时,等.宁芜型铁矿床成因和成矿模式的探讨[J].矿床地质,1990,9(1):13-25.
- [10]唐永成,吴言昌,储国正,等.安徽沿江地区铜金多金属矿床地质[M].北京:地质出版社,1998:60-85.
- [11]周涛发,范裕,袁峰,等.宁芜(南京—芜湖)盆地火山岩的年代学及其意义[J].中国科学,2011,41(7):960-971.
- [12]李景朝,董国臣,王季顺,等.自然重砂资料应用技术要求[M].北京:地质出版社,2010:1-15.
- [13]冉波,王成善,朱利东,等.距今40~30Ma时期青藏高原北缘酒西盆地沉积物重矿物分析和构造意义[J].地学前缘,2008,15(5):388-397.
- ①江苏省地矿局第一地质大队.江宁镇幅、江宁县幅(西)、慈湖幅、柘塘幅(西)、小丹阳幅(北1/3)1:5万区域地质调查报告.1986.
- ②江苏省区域地质测量队.1:20万马鞍山幅区域地质调查报告.1974.
- ③江苏省地质矿产局.江苏省成矿远景区划及“九五”找矿地质工作布置建议.1995.
- ④江苏省地质局第一地质队.江苏省江宁县大岭岗铜矿地质勘探报告.1978.