第40卷 第2期 2019年6月

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2019.02.005

引用格式:章贤能,张长松,寇尚文.安徽宁国东山坞地区金矿地质特征及成因[J].华东地质,2019,40(2):114-125

# 安徽宁国东山坞地区金矿地质特征及成因

## 章贤能,张长松,寇尚文

(安徽省地质矿产勘查局 332 地质队,黄山 245000)

摘要:宁国东山坞地区金矿位于钦杭成矿带北东段仙霞褶皱带,受张性断层控制,成矿地质体为构造角砾岩, 围岩为早奥陶世印渚埠组泥岩和寒武纪—奥陶纪西阳山组泥质灰岩夹微晶灰岩。对宁国东山坞地区金矿进行岩 石地球化学测试、槽探及钻探工作,总结该区金矿地质特征及成因。印渚埠组泥岩是东山坞地区金矿形成的基础, 当张性断层穿过印渚埠组泥岩,或西阳山组泥质灰岩与印渚埠组泥岩界面附近叠加断层时,易圈定低品位金矿体。 通过分析东山坞地区金矿的矿化特征、成矿结构面、成矿地质体及 Au 来源,初步认为东山坞地区金矿为远程低温 热液交代叠加构造岩后形成的微细浸染型金矿。

关键词:金矿;地质特征;钦杭成矿带;褶皱带;微细浸染型金矿;东山坞

<b>中图分类号:</b> P618.51	文献标识码:A	<b>文章编号:</b> 2096-1871(2019)02-114-12
-----------------------	---------	---------------------------------------

东山坞地区位于安徽省宁国市 122°方向大约 26 km处,毗邻宁国竹溪岭高温热液型钨(锗)大型 矿床[1]。21世纪初,竹溪岭综合型矿产地实现了找 矿突破,围绕竹溪岭矿区的东山坞一石口地区低温 元素组合 Au-As-Sb 异常受到重视,中国地质调查 局南京地质调查中心和安徽省地质勘查基金管理 中心先后开展了"1:5万河沥溪幅矿产调查"、"安徽 省宁国市东山坞金多金属矿普查"和"安徽省宁国 市中溪地区金多金属矿预查"等项目,其中东山坞 地区的勘查程度较高,1989年三级查证,1991年二 级查证[2],2005 年金矿预查[3],目前正在开展金多 金属矿普查,已提交张村锑矿中型矿产地1处<sup>[4]</sup>,东 山坞金矿、峰子山金矿 2 处小矿,取得了较好的找矿 成果。本文以东山坞地区金矿为研究对象,揭示微 细浸染型金矿的地质特征及控矿条件,探讨该区金 矿的成因,这对围绕竹溪岭大型钨多金属矿开展的 诸多金矿勘查具有参考意义。

## 1 区域地质特征

东山坞地区位于扬子地块东南部,钦杭成矿带

北东缘仙霞褶皱带上<sup>[5]</sup>(图 1)。按《中国成矿区带 划分方案》<sup>[6]</sup>划分的华东片区 IV 级成矿单元方案,东 山坞地区属 III-70B-①:天目山 Au-Ag-W-Mo-Cu-Pb-Zn-Sb-Fe-萤石-硼-膨润土成矿亚带<sup>[7]</sup>,褶皱基底 为前南华纪岩层,盖层为南华系一中志留统<sup>[8-9]</sup>。区 内上志留统一下白垩统未出露,晚侏罗世该区进入 活动大陆边缘阶段,由于古太平洋板块俯冲作用增 强<sup>[10]</sup>,断块差异升降,早白垩世晚期断(坳)陷盆地 沉积了零星的白垩系,如沙埠附近的陆相断陷盆地 红色沉积。

特殊的构造位置和复杂的变形历史,导致仙霞 褶皱带复杂的变形和运动行迹。研究表明,该区南 华纪一志留纪沉积盖层可厘定3期褶皱构造变 形<sup>[11]</sup>:第一期为主体期褶皱前的 NEE 向褶皱(A), 分布零星;第二期为印支期华南板块向北俯冲于华 北板块之下,造成扬子地块东南缘造山形成 NE 向 主体期褶皱(B);第三期为主体期褶皱后叠加的 NW 向褶皱(C),规模较小。

区域上断裂发育,构造线为 NE 向。NE 向宁 国墩一五城断裂<sup>[12]</sup>被晚期 NW 向刘村断裂错断,

<sup>\*</sup> 收稿日期:2018-02-28 修订日期:2018-05-14 责任编辑:谭桂丽

基金项目:安徽省地质勘查基金管理中心"安徽省宁国市东山坞金多金属矿普查(编号:2011-1-18、2015-2-12)"项目资助。

第一作者简介:章贤能,1971年生,男,高级工程师,主要从事区域地质及固体矿产勘查工作。



全新世芜湖组;2. 奥陶纪宁国组一长坞组;3. 早奥陶世印渚埠组;4. 寒武纪一奥陶纪西阳山组;5. 晚寒武世华严寺组;
 中寒武世杨柳岗组/寒武纪大陈岭组一杨柳岗组;7. 早寒武世荷塘组;8. 震旦纪一寒武纪皮园村组;9. 早震旦世蓝田组;
 晚南华世南沱组;11. 花岗斑岩;12. 花岗闪长岩;13. 地质界线/断层;14. 正/逆断层;15. 向斜;16. 背斜;17. 第一期褶皱编号/第二期褶皱编号;18. 第三期褶皱编号/研究区范围;19. 金矿;20. 多金属矿

图1 安徽宁国东山坞地区区域地质图(据宁国墩地区1:50 000 成矿规律图改编)

Fig. 1 Regional geological map of the Dongshanwu area, Ningguo City, Anhui Province (revised after 1:50 000 metallogenic regularity map in the Ningguo area)

二者均为控岩控矿构造。NE向宁国墩一五城断 裂区内部分是东山坞金矿的成矿构造和控矿结构 面;NW 向刘村断裂是张村锑矿、峰子山金矿和夏 林钨矿的控矿构造。

区域上,岩浆岩主要为印支期和燕山期中酸性 岩,主要有宁国夏林、竹溪岭角闪石黑云母花岗闪 长岩和广德刘村复式岩体,其中竹溪岭岩体(锆石 U-Pb年龄为140.5±2 Ma)<sup>[13]</sup>侵入于杏梅塘背斜 (图1,B11),形成隐伏的竹溪岭钨矿,该区矿产与燕 山晚期岩浆活动密切相关。

## 2 矿区地质特征

## 2.1 地 层

研究区主要分布上震旦统一下奥陶统(图 2), 以 NW 向刘村断裂(F1)为界,断层下盘见震旦纪一 寒武纪皮园村组硅质岩,厚度约41 m,属浅水陆棚 相硅质岩建造<sup>[11]</sup>;早寒武世荷塘组碳质泥岩,厚 419 m,属深水滞流盆地相碳质泥页岩建造<sup>[11]</sup>,二者 出露在矿区北东部。F1 断层上盘见有晚寒武世华



第四系;2.印渚埠组;3.西阳山组;4.华严寺组;5.荷塘组;6.皮园村组;7.花岗斑岩;8.花岗闪长斑岩;9.闪长玢岩;
 10.角砾岩带;11.锑矿/金矿;12.背斜;13.向斜;14.断层及编号;15.见矿/施工钻孔;16.研究区;17.产状
 图 2 安徽宁国东山坞地区金矿地质简图(实测)

Fig. 2 Simplified geological map of gold deposits in the Dongshanwu area, Ningguo City, Anhui Province

严寺组微晶灰岩、寒武纪一奥陶纪西阳山组泥质灰 岩,二者厚404.71~547.81 m,为陆棚相碳酸盐建 造<sup>[11]</sup>;其上整合沉积了早奥陶世印渚埠组钙质泥 岩,厚498 m,为富含高丰度Au的细碎屑岩,属陆 棚相钙质泥岩建造<sup>[11]</sup>。此外,峰子山地区钻孔穿过 刘村断裂后,断层下盘见有晚南华世含砾泥岩及早 震旦世蓝田组含锰灰岩、碳质泥岩夹灰岩。

#### 2.2 构 造

矿区褶皱和断裂发育,主构造线为 NEE 向。 褶皱有印支期前老虎塘背斜(A2),核部为华严寺组 中薄层微晶灰岩,两翼为西阳山组和印渚埠组,北 西翼中段地层倒转,褶皱轴向北东东 65°,向北东东 倾伏,枢纽倾伏角 32°;轴面倾向南东,倾角中等一 陡立,轴面产状 146°之76°,近轴面地层产状变陡,背 斜轴面劈理发育,轴部转折端分布 AP 7(Au-As-Sb)土壤综合异常;印支期形成的张村半截背斜、向 斜及江家坞背斜,规模较小,为宽缓开阔褶皱。除 与老虎塘背斜配套的 F4 为逆断层外,其他断层晚 期均表现为张性,较大的控矿断裂有 F1、F2、F6、 F7、F8和F11,其中NE向F2断层斜贯矿区,是宁 国墩一五城断裂带区内部分,走向北东,倾向南东, 倾角60°~85°,具多期活动特征,早期为压性,晚期 以张性为主,局部具左行扭动,沿断层充填中酸性 岩脉,在东山坞矿段,断层叠加在印渚埠组泥岩与 西阳山组泥质灰岩界面上,其构造岩形成不连续 金矿。

F1为 NW 向刘村断裂区内部分,断层南东段 走向 300°,自张村向北西扭转至 290°,矿区断层下 盘为震旦纪一寒武纪皮园村组硅质岩、寒武纪荷塘 组碳质泥页岩;上盘为寒武纪华严寺组灰岩、西阳 山组泥质灰岩及奥陶纪印渚埠组泥岩,为缓一中等 倾角的张性滑脱断层,倾向南西,倾角 37°~62°。F1 断层在张村地段为锑矿成矿结构面,断层南段叠加 在皮园村组之上形成硅化角砾岩带,深部角砾岩赋 存萤石矿,说明断层中低温热夜活动较强。

矿区 NW 向 F1 断层形成较晚,错断 NE 向 F2 断层。F1 断层在峰子山金矿段滑脱形成一系列张 性次级断层,地表左阶侧列(如 F8),倾向呈铲形收

116

敛于 F1 结构面。其它断层规模较小,以 NE 向为 主,如 F9、F10 和 F11,其次为 NW 向和 EW 向。

## 2.3 岩浆岩

矿区中西部岩浆岩不发育,仅见沿 F2 断裂充 填3条中酸性岩脉。南东部峰子山矿段邻近夏林 岩体和竹溪岭岩体,地表中酸性岩脉发育,主要为 花岗斑岩、花岗闪长斑岩及闪长岩。地表花岗闪 长斑岩、闪长岩均呈 NE 向展布,而花岗斑岩呈 NE 向和 NW 向展布,多沿断裂充填,围岩蚀变较弱, 地层基本未发生蚀变,仅沿断裂带内构造岩分布 线型蚀变。围岩为灰岩时,蚀变主要为碳酸盐化, 其次为重晶石化;围岩为泥岩时,蚀变主要为弱 硅化。

## 2.4 地球化学特征

#### 2.4.1 成矿元素特征值统计

对东山坞地区1971个岩石光谱样品测试结果 进行统计分析(表 1),发现研究区强烈富集 Au、As 和 Sb(丰度系数>5), Pb、Zn 为正常元素(丰度系 数为0.7~1.2), Sn 为高背景元素(丰度系数为 1.2~1.5), Hg、Ag、Cu、Bi、Mo、W 为富集元素(丰 度系数为 1.5~5)。从矿区岩石变异系数看, As、 Au、Sb、Bi、Pb、Ag、Mo 和 W 极强分异(变异系数> 1.5), Hg、Cu 和 Zn 强分异(变异系数为 1.0~ 1.5), Sn 弱分异(变异系数为 0.75~1.0)。

综上,Au、Sb 丰度高且强烈分异,说明 Au、Sb 相对富集,分布范围广,不均匀,岩层构造扰动可造 成 Au、Sb 富集,形成原生晕异常,具有成矿的可能 性。由表1可知,土壤中各元素含量平均值<sup>[14]</sup>高于 岩石中各元素含量平均值,表明矿区次生晕富集发 育。与中国东部上地壳元素丰度相比<sup>[15]</sup>,研究区 As、Sb、Hg 和 Au 超过上地壳元素丰度值一个数量 级,已在圈定的 Au-As-Sb 组合异常区发现 Au、Sb 矿化,说明低温元素在矿区具有成矿可能性。构造 岩中 Au、Sb 平均值和富集系数远高于其他岩体,说 明后期构造活动造成 Au、Sb 的再次富集。

表 1 宁国东山坞地区各类岩性岩石地球化学测量数据统计 Table 1 Statistics of lithogeochemical testing data of various rocks in the Dongshanwu area, Ningguo City

the lot.	 样品数/	含量/10-9		含量/10-6									
右性	个	Ag	Au	Hg	As	Bi	Pb	Sb	Zn	Mo	w	Cu	Sn
印渚埠组泥岩	307	172.34	12.40	22.38	111.79	1.30	21.07	4.12	98.57	0.77	3.61	69.63	2.87
西阳山组泥质 灰岩	1 248	81.84	3.98	27.85	64.92	0.46	13.35	4.82	47.20	1.15	1.77	35.92	1.98
华 严 寺 组 条 带 状 灰 岩	90	83.43	2.00	24.16	30.18	0.20	8.81	3.51	37.62	1.84	0.76	19.47	_
荷塘组碳质页岩	22	157.86	8.66	56.67	16.56	1.03	12.07	14.40	44.22	11.03	1.66	18.24	_
皮园村组硅质岩	151	281.68	3.40	50.44	21.59	0.25	13.33	12.28	47.98	6.63	2.02	25.97	2.23
南沱组含砾砂岩	9	76.89	2.69	_	12.85	_	11.36	0.47	71.53	6.19	5.62	28.28	_
中酸性脉岩	10	103.90	10.05		225.46	0.43	22.13	3.63	77.80	0.84	2.55	12,75	3.35
构造岩	134	187.87	14.85	75.35	150.00	1.14	11.19	44.57	43.49	4.93	4.47	43.28	2.07
中国东部上地壳 元素丰度 <sup>[15]</sup>	_	56.00	0.77	9.00	2.80	0.16	18.00	0.22	63.00	0.60	0.80	17.00	1.80
矿区土壤平均值	2 063	178.11	12.76	-	139.90	0.68	29.48	8.59	133.41	1.82	2.74	45.52	_
矿区岩石平均值	1 971	139.58	5.94	35.54	73.17	0.61	14.24	8.40	54.65	1.94	2.44	40.01	2.22
构造岩丰度系数	_	3.35	19.29	8.37	53.57	7.13	0.62	202.57	0.69	8.22	5.59	2.55	1.15
矿区丰度系数	—	2.49	7.71	3.95	26.13	3.84	0.79	38.17	0.87	3.24	3.06	2.35	1.23
矿区岩石标准差	—	257.99	35.22	41.86	146.34	4.31	30.64	64.47	55.57	5.12	6.51	53.67	1.93
矿区岩石变异 系数	_	1.85	5.93	1.18	2.00	7.01	2.15	7.68	1.02	2.64	2.66	1.34	0.87

运用 SPSS 软件计算矿区岩石各元素相关性系数,结果(表 2)表明:Au 与 As、Ag、Hg 呈正相关, 相关系数较大;Sb 仅与 Hg 相关,反映矿区主要成 矿元素具有原生组合特征,低温 Au-As-Sb-Hg 组合 异常可作为该区找矿靶区。矿区 Pb、Zn、Sn 丰度值 低,其平均值与中国东部地壳元素丰度值差异不 大;矿区未见高中温元素矿化现象,因此 Ag 与 Hg、 Zn、Cu,W 与 Hg、Sn、Mo 的相关系数虽然较大,但 元素丰度平均值较低,丰度系数和变异系数均较小,成矿的可能性也较小。

表 2 宁国东山坞地区岩石地球化学测量元素相关性系数矩阵 Table 2 Matrix of element correlative coefficients in the Dongshanwu area of Ningguo using lithogeochemical measurement

元素	As	Sb	Hg	Bi	Pb	Cu	Ag	Zn	Мо	w	Au	Sn
As	1.000	0.034	0. 131 **	0.052*	0. 110 **	0. 149 **	0.183**	0.182**	-0.021	0.038	0. 203 **	0. 240 **
Sb	0.034	1.000	0. 201 **	0.000	0.039	0.017	0.072**	0.018	0.052*	0.053-	0.052 *	0.152 **
Hg	0.131**	0.201**	1.000	0.039	0.104 **	0.166**	0.371**	0.131**	0. 449 **	0. 597 **	0.345**	0.074
Bi	0.052*	0.000	0.039	1.000	0. 086 **	0.066**	0.156**	0.105**	0.028	0.144 **	0.037	0.110**
Pb	0.110**	0.039	0.104**	0.086**	1.000	0.145**	0.574**	0.137**	0.033	0.035	0.094 **	0.172**
Cu	0.149**	0.017	0.166 **	0.066**	0.145**	1.000	0.196**	0.425**	0.107**	0. 213 **	0.075**	0. 387 **
Ag	0.183**	0.072**	0.371**	0.156**	0.574**	0.196**	1.000	0.266**	0.210**	0. 246 **	0. 236 **	0.270**
Zn	0. 182 **	0.018	0.131**	0.105**	0.137**	0. 425 **	0.266**	1.000	0. 225 **	0.160**	0.067 **	0. 334 **
Mo	-0.021	0.052 *	0.449**	0.028	0.033	0. 107 **	0.210**	0.225**	1.000	0. 273 **	0.000	-0.020
w	0.038	0.053*	0. 597 **	0.144**	0.035	0.213**	0. 246 **	0.160**	0. 273 **	1.000	0.028	0.418**
Au	0. 203 **	0.052*	0.345**	0.037	0.094 **	0.075**	0. 236 **	0.067 **	0.000	0.028	1.000	0. 085 **
Sn	0.240**	0. 152 **	0.074	0.110**	0.172**	0.387**	0. 270 **	0.334**	-0.020	0.418**	0. 085 **	1.000

注:\*\* 表示在 0.01 级别相关性显著;\* 表示在 0.05 级别相关性显著。

为进一步了解区内各元素的岩石地球化学特征,运用 SPSS 软件对岩石样品原始数据采用欧拉 距离倒数法<sup>[16]</sup>标准化变换后,进行 R 型聚类分析,获取元素聚类分析谱系图(图 3)。





当距离系数<5时,研究区成矿元素可分为4 簇:第一簇为Au、Hg,为低温元素组合;第二簇为 Ag、Mo,矿区Ag、Mo异常分布于黑色岩系中,Ag 和Mo异常套合好,高背景成因复杂,与皮园村组和 荷塘组分布一致,与沉积的硅质岩、碳质泥页岩类 黑色岩系 Ag、Mo 初始富集相关。据陈琼林等<sup>[17]</sup>在 皖南 14 178 km<sup>2</sup> 黑色岩系中采样统计,在皮园村 组,Ag 和 Mo 丰度系数分别为 3 和 5.2;在荷塘组, Ag 和 Mo 丰度系数分别为 4.14~52.14 和 3.76~ 27.71;第三簇为 Cu、Pb,与第四簇 Bi、Sn 亲合性较 好,地球化学性质相近。

当距离系数<10时,研究区成矿元素分为2 类,即高中温的W、Bi、Sn、Zn和低温的Hg、Au、 As、Sb。研究区未圈定出中高温元素化探异常,高 中温元素不是该区找矿重点。图3说明Hg和Au 亲和性好,随后与Sb、As聚类,已发现的各类低温 矿种指示研究区具有发现低温矿床的可能性,低温 元素组合异常可作为金矿地球化学找矿标志。

对研究区岩石元素进行综合因子分析,分别选 用主成分法和最大方差法提取公因子及载荷矩阵 旋转<sup>[18]</sup>,所有因子及方差百分比见表 3,各个因子对 应的特征值散点图见图 4。1、2 和 3 因子特征值较 大,4 因子特征值逐渐下降。可知,研究区岩石地球 化学测量的 12 个元素评价指标主要由前 4 个因子 决定。

此外,各元素主因子特征值方差贡献均 ≪ 30%,说明各元素综合信息较分散,岩石中12种元 素物质来源和成因较复杂。选取前4个因子进行分 析,其累积贡献率达 72.23%,基本可代表 12 个元 素的原始信息。

因子	特征值	特征值方差/%	累积/%	旋转载荷平方和总计/%	旋转载荷平方和方差/%	旋转载荷平方和累积/%
1	2.784	23.200	23.200	2. 527	21.060	21.060
2	2.552	21.268	44.469	2.164	18.033	39.093
3	1.928	16.070	60.539	2.108	17.568	56.660
4	1.403	11.688	72.228	1.868	15.567	72.228
5	0.853	7.106	79.334	0.853	7.106	79.334
6	0.705	5.875	85.209	0.705	5.875	85.209
7	0.608	5.066	90.275	0.608	5.066	90.275
8	0.444	3.699	93.974	0.444	3.699	93.974
9	0.312	2.603	96.577	0.312	2.603	96.577
10	0.240	1.998	98.575	0.240	1.998	98.575
11	0.161	1.340	99.915	0.161	1.340	99.915
12	0.010	0.085	100.000	0.010	0.085	100.000







东山坞地区岩石元素前4个主因子经旋转后 的因子载荷矩阵见表4。第一主因子F1中Hg、 Au、Sb和As占较大载荷,已发现的金矿化、锑矿 化均为构造岩,主要赋存在断裂中,金矿化与硅化 呈正相关,与低温热液交代、渗滤相关。地表及钻 孔角砾岩型辉锑矿化均赋存在断裂带中,与低温 热液充填有关。第二主因子F2中Cu、Pb和Sn占 较大载荷,具有相似背景,研究区未发现Cu、Pb和 Sn成矿。第三主因子F3中Mo、Ag占较大载荷, Mo、Ag与沉积岩原始富集相关。第四因子F4中 W、Bi、Sn占较大载荷,是高温元素组合,与聚类分 析结果类同。

表 4 宁国东山坞地区岩石元素旋转因子载荷矩阵

 
 Table 4
 Matrix of varimax factor analysis of rock elements in the Dongshanwu area, Ningguo city

元素	F1	F2	<b>F</b> 3	F4
Hg	0.965	0.000	0.006	-0.101
Au	0.937	0.004	0.034	0.031
Sb	0.704	-0.015	-0.387	0.152
Cu	-0.089	0.905	-0.187	0.072
Pb	0.007	0.891	0.268	0.001
Sn	0.167	0.693	-0.064	0.522
Ag	0.064	0.077	0.866	0.111
Mo	-0.048	0.000	0.805	-0.288
As	0.275	0.093	-0.618	-0.292
Bi	0.039	0.213	0.027	0.791
W	-0.123	-0.034	-0.079	0.742

## 2.4.2 Sb、Au成矿元素原生晕异常特征

东山坞地区原生晕高温元素组合 W-Sn-Mo-Bi、中温元素组合 Ag-Pb-Zn 无异常出现,多与背景 元素相当。低温元素组合 Au-As-Sb-Hg 在土壤地 球化学异常浓集带内重现性好,局部显示存在矿化 体,如 YP1、YP2、DP9 和 DP10 通过老虎塘背斜轴 部,显示原生晕 Au 高值与地表 TC35、TC1401、 TC36、TC1201 中见金矿化体一致; DP2、DP12、 DP13 通过土壤异常 AP14 Au-As、AP2 Au-As-Sb 浓集中心,地化剖面原生晕异常再现,套合好,地表 施工的 TC27、TC26、TC29、TC1502 和 TC1402 见 金矿体,根据原生晕施工的 BT 1、BT 2、TC 107 也 见金(银)矿化体和锑矿体。

研究区各岩性单元 Au 平均值为 5.94 mg/t,最 大值为1 262 mg/t,变异系数为 593.32%。Au 原 生晕高值与断裂密切相关,NE 向 F2 和 NW 向 F1 断层构造岩原生晕高点处见有低品位金矿体。Sb 平均值为 8.40 g/t,变异系数为 767.72%,丰度系 数为 38.17,丰度最大值为2 125.36×10<sup>-6</sup>,是地壳 Sb 丰度<sup>[15]</sup>的9 660.73倍。Sb 异常沿 NW 向刘村断 裂分布,与张村锑矿控矿结构面套合较好。

由 ZK9001 岩石光谱 Au、As、Hg 含量折线图 (图 5)可知,Au 的 2 个最高值点深度为 Au23 矿体 位置,在 131.38~138.42 m 原生晕高值处连续采 集岩心样品,发现 Au 品位为 0.68~1.92 g/t。各 元素含量折线图(图 5)反映 Au、As、Hg 含量折线 形状相似,相关性较好,反映了矿区的元素组合 特征。



图 5 宁国东山坞地区 ZK9001 岩石光谱 Au、As 和 Hg 含量折线图

Fig. 5 Line graphs of rock spectrum Au, As and Hg contents for the ZK9001 borehole in the Dongshanwu area, Ningguo

## 3 矿体地质特征

## 3.1 矿体特征

宁国东山坞地区金矿赋存于断裂带及其旁侧,为同构造期或构造期后含矿流体交代浸染构造岩形成的金矿体。矿区有 31 个金矿见矿工程, 圈定金矿体 24 个,金矿体一般呈透镜状、藕节状和扁豆状,单工程厚 0.6~6.82 m,沿走向最大控制长 250 m。

(1)东山坞矿段。位于矿区西部,金矿赋存在 NE向F2张性断裂带中,含矿断层走向北东50°~ 60°,倾向南东,倾角60°~85°,其构造岩部分可圈定 低品位金矿体,零星见黄铁矿化,属低硫化物微细 浸染型金矿。东山坞矿段共圈定Au4—Au7矿体4 条,呈透镜状,规模较大的为Au4矿体,长约330m, 延深38m,属地表矿,矿体顶、底板为构造角砾岩, TC26顶板为泥质灰岩。根据4个见矿工程统计数 据,Au4赋存标高+62.8~+131.1m,厚0.81~ 6.82 m,平均厚 3.51 m,厚度变化系数 68.26%,属 厚度稳定型;矿体品位 0.56~1.58 g/t,平均品位 1.1 g/t,品位变化系数 23.32%,属于矿化均匀型低 品位金矿体。Au6 矿体,厚6.69 m,Au 平均品位为 1.10 g/t,长60 m,延深 20 m,矿体顶底、板为构造 角砾岩;Au5 和 Au7 均为单工程控制矿体。

(2)峰子山矿段。位于矿区东部,发现金矿体 15条。该矿段以 NE 向和 NW 向断裂为主,EW 向 断裂次之,三组方向断裂均赋存金矿体,有多条 NE 向断层充填花岗闪长斑岩脉,较大的金矿体有 Au8、Au9、Au11和 Au19。

Au8 矿体赋存在 NE向 F7 断层中,由 TC16 和 ZK2102 工程控制,矿体产状 132°∠50°,赋存标高 +201~+250 m,深部未控制完毕;矿体长 54.5 m, 延深 55 m,单工程厚 0.60~1.02 m,平均厚 0.81 m,Au 品位 1.02~1.75 g/t,长度加权平均品 位为1.04 g/t,顶、底板为西阳山组泥质灰岩夹"饼 状"灰岩。

Au9 矿体受 NE 向 F6 断层控制,矿体产状

121

120°~158° ∠31°~71°, 赋存标高+190~+240 m, 矿体长 188.5 m, 延深 49.8 m。根据 3 个见矿工程 统计, 矿体厚 0.89~2.07 m, 平均厚 1.36 m, 厚度 变化系数 37.56%, 属厚度稳定型; 矿体品位 1.01~ 2.75 g/t, 平均品位 1.48 g/t, 品位变化系数为 43.85%, 属矿化均匀型, 矿体顶板为构造角砾岩, 赋矿 F6 断层上盘为印渚埠组泥岩, 下盘为西阳山 组泥质灰岩。

Aul1 矿体赋存在 NW 向 F8 张性断裂带中,为 构造角砾岩型低品位金矿体,赋存标高+198~ +225 m,矿体长 163.7 m,延深 38 m,深部施工的 ZK3001 控制构造带,有 2 个样品品位>0.60 g/t。 矿体走向 295°~327°,倾向南西,倾角 72°~79°,产 状 205°~237° $\angle$ 72°~79°。矿体顶板为印渚埠组泥 岩,局部为西阳山组泥质灰岩,底板为西阳山组泥 质灰岩。Aul1 矿体共有 3 个探槽见矿,厚0.87~ 2.75 m,平均厚 2.01 m,厚度变化系数为 40.68%, 属厚度稳定型;矿体品位 1.01~1.29 g/t,长度加权 平均品位 1.14 g/t,品位变化系数为 7.19%,属矿 化均匀型。

Au19 金矿体赋存在 NE 向 F11 断裂带中,为构 造角砾岩型低品位金矿体,部分构造角砾岩由于硅 化不强,形成以泥岩角砾为主的钙硅质胶结角砾 岩,褐铁矿化强烈,上、下盘围岩均为印渚埠组泥 岩。Au19 矿体赋存标高+145~+206 m,矿体长 约 84 m,延深 40 m,深部施工的 ZK9001 控制构造 带,见金矿化和低品位银矿体,多个样品的品位在 0.50 g/t 以上,但未圈定金矿体。矿体产状稳定,走 向 60°,倾向南东,倾角约 60°,产状为 149° $\angle$ 59°,矿 体顶板为泥岩,底板为破碎泥岩。Au19 地表施工 3 条探槽,厚 2.81~3.14 m,平均厚 2.98 m,厚度变 化系数 72.98%,属厚度稳定型;矿体品位为 1.01~ 2.03 g/t,平均品位为 1.45 g/t,品位变化系数为 20.75%,属矿化均匀型。

#### 3.2 矿石特征

东山坞矿段矿石自然类型为低硫化物含金构 造角砾岩,矿石矿物为黄铁矿和褐铁矿,脉石矿物 为石英、方解石、绢云母和黏土矿物。采集了8块薄 片和5块光片,均未见独立金矿物(图6)。矿石一 般呈灰褐色、黄褐色,碎裂构造,局部角砾状构造, 硬度中等。脉石矿物为石英(26%~40%)、碳酸盐 矿物(20%)、绢云母+黏土矿物(37%~63%),金 属矿物≪3%,主要为黄矿物和褐铁矿。镜下石英 部分呈<0.05 mm 的显微微粒变晶分布于黏土矿 物、绢云母和碳酸盐岩矿物之间,另一部分石英 呈>0.05 mm的他形-半自形粒状变晶镶嵌,集合体 呈网脉状;黏土矿物、绢云母呈隐晶质-显微鳞片变 晶,铁染呈黄褐色,部分绢云母定向分布。黄铁矿 呈细小他形-半自形粒状,褐铁矿呈黄铁矿细小粒状



Br. 角砾; Grr. 碎粒岩; Py. 黄铁矿; Cov. 铜蓝; Ars. 毒砂; Qz. 石英; Ser. 绢云母; Lm. 褐铁矿; Ku. 金银矿 图 6 宁国东山坞地区金矿标本及主要矿物显微照片

Fig. 6 Photos of Au-bearing ore specimens and photomicrographs of main minerals in the Dongshanwu area, Ningguo

假象,二者呈星散浸染状分布于角砾和胶结物中。

峰子山矿段中酸性岩浆岩脉发育,矿石属低 硫化物含金构造角砾岩,但金属矿物发育明显,矿 石矿物有黄铁矿、褐铁矿、毒砂、方铅矿、黄铜矿、 银金矿、铜蓝和自然金;脉石矿物为黏土矿物、绢 云母、石英和方解石。矿石一般呈土黄色、灰色, 角砾状构造,局部无定向构造,角砾呈棱角-次棱 角,角砾主要为石英和围岩角砾(碳酸盐岩、泥 岩),部分角砾由单一的硅化岩构成,含量约 30%, 粒径约2~8 mm,角砾颜色略暗,其他脉石矿物有 黏土矿物、绢云母、石英和方解石;金属矿物有黄 铁矿、褐铁矿、方铅矿、黄铜矿、银金矿、铜蓝和自 然金。

研究区矿石结构有他形粒状结构、半自形粒状 结构、交代假像结构、网状结构和晶隙结构等;矿石 构造以浸染状构造为主,少量网格状构造和细脉状 构造。

#### 3.3 围岩蚀变

金矿体产于断裂带中,围岩为构造角砾岩,少 数矿体与围岩以断面为界,围岩为寒武纪一奥陶纪 西阳山组泥质灰岩、早奥陶世印渚埠组泥岩,围岩 界线较清晰。

围岩蚀变较弱,沿构造带主要发育碳酸盐化、 硅化,其次为重晶石化、萤石矿化;金属硫化物矿化 以黄铁矿化、毒砂矿化和辉锑矿化为主,在断层中 零星见褐铁矿化、孔雀石化、铜蓝及方铅矿化,镜下 见铅锌矿化和金银矿化。此外,断裂充填的中酸性 脉岩中见高岭土化和绢云母化。

## 3.4 成矿期及成矿阶段

研究区矿化分为热液成矿期和表生成矿期。 早奧陶世印渚埠组泥岩、寒武纪一奥陶纪西阳山 组泥质灰岩 Au 丰度值较高,受构造扰动时可造成 Au 活化。燕山期,随古太平洋板块活动增强,沿 宁国墩一五城断裂侵入广德县刘村岩体,沿刘村 断裂侵入夏林岩体及竹溪岭岩体,岩体侵入后岩 浆冷凝出溶形成富含水、Cl、F、H<sub>2</sub>S及金属元素的 流体<sup>[19]</sup>,沿构造带向低压区流动,这些远成岩浆热 液<sup>[20]</sup>影响矿区构造岩,叠加并淬取围岩及构造岩 中的金,形成金矿体,热液阶段主要形成石英、黄 铁矿、毒砂及黄铜矿等特征矿物。表生成矿期由 于地表水的淋滤及在大气氧化作用下,矿床中的 硫化物发生分解、氧化、淋失,形成褐铁矿、铜蓝及 孔雀石等。

## 4 控矿因素

质

#### 4.1 地层与成矿

东山坞地区金矿与研究区部分 Au 高丰度值的 地层相关,根据岩石地球化学剖面和岩心岩石测量 采集的1971件岩石光谱样品统计,Au 平均含量 5.94 mg/t,是中国东部地壳元素丰度的 7.71 倍 (图 7)。从容矿构造围岩看,金矿化与印渚埠组细 碎屑岩密切相关,为金的初始矿源层。此外,寒武 纪一奥陶纪西阳山组泥质灰岩受构造扰动后常形 成金矿化,该类岩石性脆<sup>[21]</sup>,在构造运动及演化中 表现为不同程度的破碎或碎裂,有利于矿质渗透。 随着含矿热液运移,淬取围岩中的含矿元素,在特 定构造部位聚集成矿。



 1. 印渚埠组泥岩(307件样品);2. 西阳山组泥质灰岩 (1248件样品);3. 华严寺组条带状灰岩(90件样品);4. 荷塘组碳质泥岩(22件样品);5. 皮园村组硅质岩(151件 样品);6. 南沱组含砾泥岩(9件样品);7. 中酸性脉岩(10 件样品);8. 构造岩(134件样品);9. 矿区分析元素的岩 石平均值(1971件样品)

图 7 各岩石类型原生晕 Au 平均含量直方图

Fig. 7 Histogram showing the average contents of gold in primary halos of various rocks

#### 4.2 构造与成矿

断裂是东山坞金矿最直接、最重要的控矿因 素,不仅提供了成矿空间,为地表水和地下水渗透 循环提供通道,也是扩容低压区,为含矿热液的形 成提供热源和动力,使流体通过不同的通道向低压 区聚集<sup>[22]</sup>。矿区 NE 向断裂经历了多期活动,形成

123

时间较早,不仅侵入花岗闪长斑岩和闪长玢岩,还 被 NW 向断层切断。研究区 NE 向、NW 向、EW 向 断层均赋存金矿体,张性正断层为容矿(储矿)构 造,成矿地质体为构造岩。该区构造岩金丰度值 高,据采集的 134 件构造岩原生晕资料,Au 丰度平 均值达 14.85 mg/t,构造岩中的 Au 丰度系数为 19.29,金矿是晚期含矿流体沿早期构造岩裂隙交 代浸染叠加形成。

#### 4.3 岩浆岩与成矿

东山坞地区金矿与中酸性岩浆岩密切相关,中 酸性岩脉 Au 丰度为 10.05 mg/t,不仅为矿区带来 一定热源,也携带部分矿质,部分脉岩即为金矿化 体,如 XD310、TC55、TC113 和 TC126 采集的脉岩, Au 品位 0.1~0.88 g/t,其中沿 F2 北东端侵入的闪 长玢岩脉,在 ZK7101 中形成厚 1.67 m、平均品位 4.15 g/t 的金矿体。中酸性岩脉的出现说明断裂中 有岩浆期后热液活动,并从深部带来部分成矿元 素,叠加在早期构造岩之上,使构造岩 Au 丰度增高 或沉淀形成浸染型矿体。

## 5 讨 论

#### 5.1 物质来源

矿区金矿成矿地质体为含金构造角砾岩,多数 分布在印渚埠组泥岩与西阳山组泥质灰岩界面上, 这两类沉积岩为矿区金矿提供一定的矿质。早奥 陶世印渚埠组泥岩为金初始矿源层,由于黏土矿物 可吸附金,该组地层金元素丰度高,有断层通过或 多组节理发育造成金活化,形成金矿(化)体。泥岩 是柔性岩石,对成矿流体虽具有遮挡作用,促使含 金矿液在张性构造有利地段停滞成矿,但不利于流 体通过张性断裂,发育在印渚埠组泥岩中的金矿体 连续性差,如峰子山矿段 TC87、TC93 控制 Au18 矿 体,TC98 控制 Au19 矿体,围岩均为泥岩,走向长度 有限,矿体规模小。矿区另一赋存金矿的围岩为 Au 丰度不高的寒武纪一奥陶纪西阳山组泥质灰 岩,岩石性脆,受构造扰动,有利于产生断裂与裂 隙,为矿液运移和停滞提供良好的通道和储矿空 间。此外,泥质灰岩有利于化学元素的交换,性脆 易碎,使赋存于泥质灰岩中的成矿物质组分,经天 水长期淋滤形成含矿流体。

Au的另一来源为远程低温热液。峰子山矿 段距夏林、竹溪岭花岗闪长岩体 2.7~3.3 km;东 山坞矿段距夏林、竹溪岭花岗闪长岩体 6.8~ 7.6 km,峰子山矿段地表中酸性岩脉发育,东山坞 矿段沿断裂侵入中酸性岩脉,说明岩浆活动影响 东山坞地区。研究区发现的锑矿、金矿、银矿、萤 石矿和竹溪岭钨(钼)矿等矿种可组成完整的成矿 系列。东侧的竹溪岭矽卡岩型白钨矿、夏林钨矿 属高温热液型矿床,西侧的东山坞矿区是金锑低 温热液型矿床,两者之间见受断裂控制的中低温 萤石矿及高一中温型银(钨)矿,可见,从竹溪岭、 夏林到东山坞,成矿温度经历"高一中一低"的过 程。东山坞矿区金矿叠加竹溪岭、夏林成矿流体 的远程低温热液具有可能性,从岩浆岩(脉)分布 上看,东侧的竹溪岭、夏林地区出现岩体,中部峰 子山矿段大量中酸性岩脉分布,东山坞矿段岩脉 少见,说明远程热液活动减弱。

#### 5.2 成矿作用

东山坞地区成矿作用具多期性。研究区赋矿 围岩丰度较高,受构造扰动时 Au 容易活化富集,如 褶皱转折端或轴部应力集中处破裂灰岩具金矿化, 从施工的 TC107 和 TC116 褶皱转折端采样分析, 发现 Au 品位为 0.1~0.32 g/t,推断为天水等微弱 流体沿破裂面活动引起。构造作用持续活动形成 的断层是金矿的成矿结构面,沿断层充填岩浆岩 脉,说明有远程或深成热液活动,热液在向低压带 活动过程中淬取围岩中的金,形成矿液,交代、叠加 天水长期活动的构造岩,形成低品位金矿体。

成矿作用的多期性还体现在矿种分布上,从东 山坞金矿、张村锑矿向峰子山 TC117银、铜矿化,到 大坞 ZK4001和 ZK8001见萤石矿,说明银、铜和萤 石矿化早,锑成矿晚,金在每期构造活动均有叠加。 从地球化学特征看,东山坞一峰子山地区的成矿热 液至少有两期:一期是 Au-As-Sb 组合,分布在东山 坞一张村矿段;另一期是 Au-As 组合,分布在峰子 山矿段,且与已发现的矿种相吻合,亦反映该区成 矿作用具有多期性。

综上,东山坞地区金矿成矿物质来源于围岩泥 岩和泥质灰岩,叠加有远程低温热液携带的成矿元 素,共同形成含矿流体,沿断层向扩容减压带流动。 在浅成低温热液型金矿中,金主要以硫的络合物迁 移<sup>[23]</sup>,随着含金流体到达近地表。由于天水参与, 热液温压、PH 值和组分等环境发生变化,导致金矿 沉淀,形成微细浸染型金矿床。

## 6 结 论

(1)宁国东山坞地区金矿成矿地质体为构造角 砾岩,金矿一般赋存在印渚埠组泥岩或印渚埠组泥 岩与西阳山组泥质灰岩接触界面附近的断层中,断 层是金矿控矿的结构面。印渚埠组泥岩 Au 丰度最 高,与沿构造带侵入的中酸性岩脉构成该区金矿的 初始矿源层。

(2)东山坞地区金矿为地表矿,主要赋存在构 造角砾岩中,与构造岩后期硅化蚀变相关。断裂中 的硅化岩、强硅化角砾岩为低品位金矿体;硅化角 砾岩具金矿化,碳酸盐化胶结、钙泥质角砾岩仅局 部见金矿化。该区远程低温含矿热液规模较小,有 限的含矿热液运移至近地表叠加、交代构造岩,形 成微细浸染型金矿。

## 参考文献

- [1] 汪应庚,许红兵,付建真,等.安徽省宁国市竹溪岭钨银 (钼)矿普查地质报告[R].黄山:安徽省地质矿产勘查 局 332 地质队,2014.
- [2] 董会明.安徽省宁国县东山坞化探异常三级查证简报[R].黄山:安徽省地质矿产勘查局 332 地质队,1989.
- [3] 傅建真,许红兵,朱瑞,等.安徽省宁国市东山坞金多金 属矿预查地质报告[R].黄山:安徽省地质矿产勘查局 332 地质队,2007.
- [4] 章贤能,寇尚文.安徽宁国张村地区锑矿床控制因素及 成因[J].地质学刊,2017,41(2):183-191.
- [5] 杨明桂,梅勇文.钦一杭古板块结合带与成矿带的主要 特征[J].华南地质与矿产,1997,9(3):52-59.
- [6] 徐志刚,陈毓川,王登红,等.中国成矿区带划分方案[M].北京:地质出版社,2008:133-135.
- [7] 骆学全,孙建东,班宜忠,等.华东片区IV级成矿单元划 分及成矿地质特征[J].资源调查与环境,2015,36(3): 157-164.
- [8] 安徽省地质矿产局区域地质调查队.安徽省地层 志[M].合肥:安徽科学技术出版社,1983.

- [9] 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.
- [10] 杨明桂, 王光辉, 徐梅桂, 等. 江西省及邻区滨太平洋构 造活动的基本特征[J]. 华东地质, 2016. 37(1): 10-18.
- [11] 储东如,吴跃东,刘家云,等.1:5万河沥溪幅区域地质 调查说明书[R].合肥:安徽省区域地质调查所,1995.
- [12] 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.
- [13] 陈雪霏,汪应庚,孙卫东,等.皖南宁国竹溪岭地区花岗 岩锆石 U-Pb 年代学及地球化学及其成因研究[J].地 质学报,2013,87(11):1662-1678.
- [14] 章贤能,寇尚文,刘艾华.安徽宁国东山坞地区土壤地 球化学特征与评价[J].物探与化探,2017:41(1): 71-78.
- [15] 迟清华,鄢明才.应用地球化学元素丰度数据手册[M]. 北京:地质出版社,2007:108-109.
- [16] 龚庆杰.《地球化学多元统计分析》课程教学探讨[J].中 国地质教育,2012,21(3):110-113.
- [17] 陈琼林,乔新庄,郝国胜.皖南震旦一寒武纪黑色岩系 贵金属含矿性研究[R].黄山:安徽省地质矿产勘查局 332 地质队,1992.
- [18] 方捷,张晓东,张定源,等.安徽霍山县东溪一南关岭金 矿土壤化探的数学地质分析[J].华东地质,2016,37 (4):284-290.
- [19] 叶天竺,吕志成,庞振山,等.勘查区找矿预测理论与方 法[M].北京:地质出版社,2014:1-150.
- [20] 谢桂青,韩颖霄,毛景文.长江中下游成矿带丰山矿田 发现新类型金矿——远端浸染型金矿床[J].矿产地 质,2017,36(1):265-268.
- [21] 龙刚,黄萍,林剑怀,等.徐州地区寒武系豹皮灰岩的岩 性特征及其成因机制分析[J].地质学刊,2013,37(1): 67-70.
- [22] 陈少青.广东省揭西县金坑铜锡铅锌多金属矿床成因 探讨[J].华东地质,2017,38(4):271-278.
- [23] HUSTON D L, LARGE R R. A chemical model for the concentration of gold in volcanogenic massive sulphide deposits [J]. Ore Geology Reviews, 1989, 4 (3):171-200.

## Geological features and genesis of gold deposit in the Dongshanwu area, Ningguo, Anhui Province

ZHANG Xian-neng, ZHANG Chang-song, KOU Shang-wen

(No. 332 geological Party, Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui Province, Huangshan 245000, China)

Abstract: The gold deposit in the Dongshanwu area of Ningguo City, Anhui Province, is tectonically located in the Xianxia fold belt in the northeastern section of Qinzhou-Hangzhou metallogenic belt. Extensional fault-controlled deposit occurs mainly in tectonic breccia. Wall rock consists of mudstone of early Ordovician Yinzhubu Formation and muddy limestone interbedded with lentoid microlite limestone of Cambrian-Ordovican Xiyangshan Formation. Based on lithogeochemical analysis, trenching and drilling, this study summarized the geological features and genesis of the Dongshanwu gold deposit. The results show that the gold-rich mudstone of the Yinzhubu Formation provided ore-forming material for the formation of gold deposit. Extensional fault crosses through the mudstone of the Yinzhubu Formation, or interface between argillaceous limestone and mudstone of the Yinzhubu Formation, defining the low-grade gold orebodies. Through analysis of Au mineralization characteristics, metallogenic structure, metallogenic geological body, and Au source in the Dongshanwu area, it can be preliminarily concluded that the Dongshanwu gold deposit is a micro-fine disseminated gold deposit, with the tectonic rock superimposed and metasomatized by distal low-temperature hydrothermal solution.

Key words:gold deposit; geological features; Qinzhou-Hangzhou metallogenic belt; fold belt; microfine disseminated gold deposit; Dongshanwu area