

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2016.04.007

安徽霍山县东溪—南关岭金矿土壤 化探的数学地质分析*

方捷¹, 张晓东¹, 张定源¹, 谢恩才², 凌其怀², 梁胜跃³

(1 中国地质调查局南京地质调查中心, 南京 210016)

(2 安徽省霍山县黄金矿业有限责任公司, 霍山 237200)

(3 江苏省地质勘查技术院, 南京 210008)

摘要:文章运用数学地质方法对东溪—南关岭金矿及外围 1:10000 土壤化探数据进行分析, 结果表明 Au 及相关指示元素异常主要受北西向构造破碎带控制。土壤地球化学元素 R 型聚类分析表明, 12 种微量元素可划分为: F1 因子为 Cu-Pb-Zn 的中温元素组合, 代表硫化物矿化因子; F2 因子为 Sb-As-W-Mo 组合, 反映可能存在多期次叠加; F3 因子为 Bi-Hg-Sn 组合, 反映多期次叠加的特征; F4 因子为 Au-Ag 组合, 反映成矿元素组合。对研究区 1910 个样品分别计算 F4 因子得分, F4 因子得分 > 0 的异常等值线图与 Au 异常等值线异常类似, 与已知矿体吻合度高, 认为 F4 因子得分异常区域及 Au 元素异常区域是重点找矿区域, 具有较好的找矿前景。

关键词:土壤化探测量; 聚类分析; 因子分析; 金异常

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2016)04-284-007

20 世纪 50 年代, 我国兴起了用数学地质方法研究地质勘探中遇到的问题, 并取得了一些成果。数学地质是一门新兴交叉学科^[1], 进入 80 年代更多的数学地质方法应用到了地质找矿领域, 比如聚类分析、因子分析、趋势面分析等, 实践证明数学地质应用于找矿是具有成效的^[2], 尤其在矿床类型及成因判断^[3-4]、元素分类^[5]、异常圈定^[6]及隐伏矿体的预测^[7]等方面应用广泛。本文应用数学地质方法对霍山东溪—南关岭金矿及外围的土壤化探数据进行综合研究, 以期获得该区各个土壤化探元素之间的相互关系, 研究综合异常的找矿指示, 圈定找矿靶区, 进而指导找矿勘探。

1 矿区地质特征

东溪—南关岭金矿产于桐柏—大别山造山带之北淮阳构造带东段, 位于磨子潭—晓天火山岩盆地中部南侧边缘, 其南北分别以磨子潭—晓天断裂(区域上称为桐柏—桐城断裂)和金寨断裂为界, 向东被郟

庐断裂截切^[8](图 1)。矿区地层为基底+盖层的双层结构, 基底为中中生代变质杂岩, 盖层为中生代火山岩。矿区出露的岩石为毛坦厂组火山岩, 岩性有安山岩、安山质凝灰岩、安山质角砾凝灰岩、安山质火山角砾岩等。毛坦厂组火山岩层南薄北厚。盖层与基底界面总体向 NE 缓倾, 但呈舒缓波状, 局部有凸凹。

矿区内仅发育少量闪长岩脉、花岗斑岩脉。前人钻孔资料记录, 深部见有闪长岩脉、闪长玢岩脉及石英正长岩脉等。矿区南东外围发育早白垩世杂岩体, 岩性为闪长岩、正长岩、石英正长岩等。

矿区褶皱构造不明显, 总体呈 NE 缓倾的单斜构造。矿区内主要断裂有 NW 和 NE 向两组, 次为 SN 向断裂, 后期出现近 EW 向断裂。NW 向的扫帚河—童家河构造破碎带为东溪—南关岭金矿最重要的控矿构造, 矿体主要产于 NW 向断裂破碎带的石英硅化脉中。根据该破碎带中的金矿体及蚀变带

* 收稿日期: 2016-02-18 改回日期: 2016-04-19 责任编辑: 谭桂丽

基金项目: 中国地质调查局地质矿产与评价专项“安徽省霍山县东溪—南关岭金矿接替资源勘查”(项目编码: 12120114046001)。

第一作者简介: 方捷, 1987 年生, 男, 助理工程师, 主要从事矿产资源评价研究工作。

的空间分布,可识别出两条特征明显的近乎平行的矿化蚀变带,即南矿化带和北矿化带,前人称之为苗

儿坦—木鱼地矿化蚀变带和东溪岭—水竹湾矿化蚀变带。

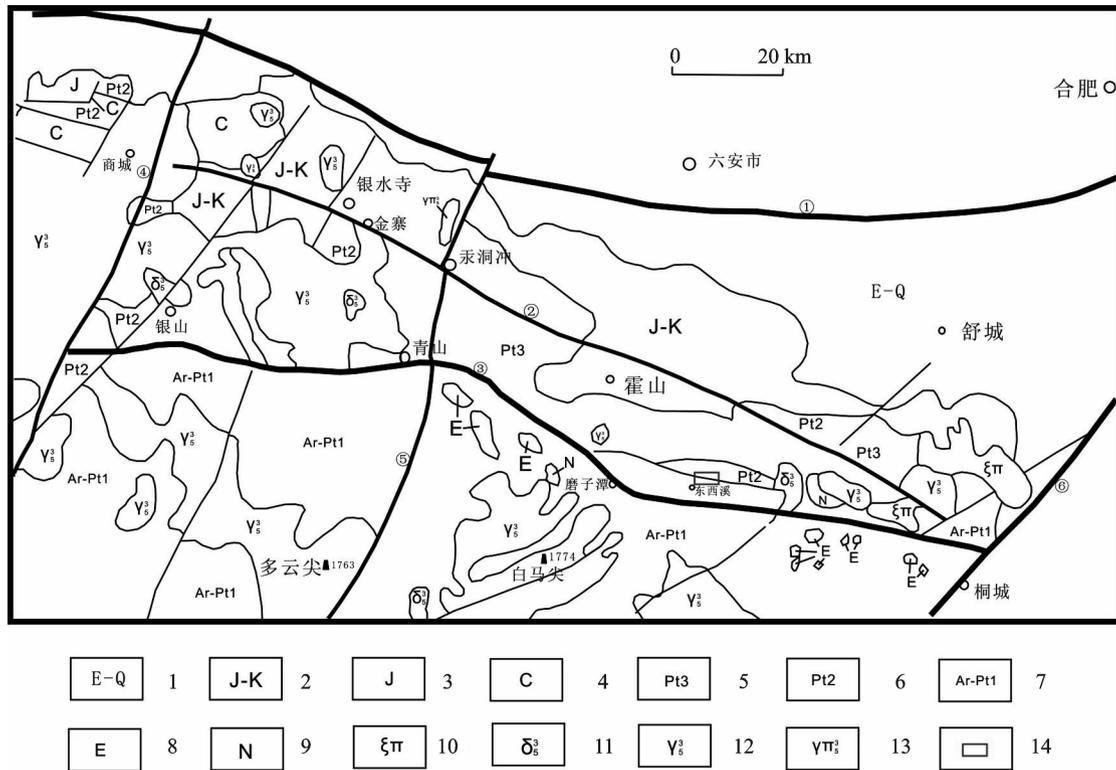


图 1 东溪—南关岭金矿构造位置示意图^[9]

Fig. 1 Sketch tectonic map of the Dongxi-Nanguanling gold ore deposit

①明港—六安断裂;②金寨断裂;③磨子潭—晓天断裂;④商城—麻城断裂;⑤青山—熬药尖断裂;⑥庐庐断裂;1-古近、新近、第四系;2-侏罗、白垩系;3-侏罗系;4-石炭系;5-新元古界;6-中元古界;7-太古宇—古元古界;8-超基性岩类;9-基性岩类;10-正长斑岩;11-燕山期閃长岩;12-燕山期花岗岩;13-燕山期花岗斑岩;14-东溪—南关岭金矿位置。

东溪—南关岭金矿由东溪矿区和南关岭矿区组成。东溪矿区内发现大小矿体 25 个,平面形态多呈不规则脉状或小透镜状,具明显的分枝、复合及膨大、缩小的特征。矿体严格受石英大脉和细脉带的形态控制,规模较大的为 1 号、3 号、6 号矿体,位于南矿化带,现已采空。南关岭矿区已发现矿体 18 条,矿体形态严格受赋矿石英脉形态制约,多为脉状,少数呈透镜状。在地表,矿体也具膨大收缩、分枝复合、尖灭再现等特点,除 4 号、5 号二个主要矿体规模较大外,其余矿体规模均较小。4 号矿体呈脉状,长 250 m,平均厚 3.33 m,最大延深 70 m,为地表矿。脉状矿体产于 NW 向断裂控矿系统内,呈平行式或错断斜列式展布,走向 295°~315°,倾向 NE,倾角陡立。5 号矿体位于四号矿体北东几十米,为隐伏矿体,形状呈矿囊状,呈 NW 向展布,NE 向缓倾,矿囊长 230 m 以上,囊的中央最厚处达 50 m 以上,为目前开采的主矿体。

2 数据采集

根据地质矿产调查与评价专项任务,部署 1:10000 土壤地球化学测量面积 8 km²,按照 100 m×40 m 网度布设和采样,共获得化探数据 1910 组,数据测试在国土资源部华东矿产资源监督检测中心进行。根据矿区地质背景和实际情况,采用对数正态分布逐步截尾法^[10]求异常下限,结果表明研究区以 Au 异常为主(表 1),异常率达 17.31%,土壤化探是找金矿的重要方法。

利用 Mapgis 进行数据网格化,作出 Au 异常等值线图(图 2)。Au 异常呈 NW 向分布,可见明显两条间隔几十米至一两百米近平行的 NW 向异常带,与已知矿体吻合度较高,单个异常多呈长条状,不规则状,椭圆状展布,异常受 NW 向构造控制。Cu、Pb、Zn、Ag、W、Mo、As、Sb、Bi、Hg 等其它元素的异常也具有明显的 NW 向展布特征。

表1 东溪—南关岭金矿地球化学元素异常参数

Table 1 Element geochemical anomalous parameters of the Dongxi—Nanguanling gold mine ore deposit

元素	Au	As	Bi	Cu	Hg	Mo	Pb	Sb	W	Zn	Ag
异常值	10	6	0.47	28	0.08	1.23	38	1.4	4.1	100	0.12
样本数	1912	1912	1912	1912	1912	1912	1912	1912	1912	1912	1912
小于异常数	1581	1842	1847	1866	1852	1772	1842	1826	1861	1851	1846
外带值	10	6	0.47	28	0.08	1.23	38	1.4	4.1	100	0.13
中带值	40	12	0.94	56	0.16	2.46	76	2.8	8.2	200	0.26
内带值	80	24	1.88	112	0.32	4.92	152	5.6	16.4	400	0.52
异常率	0.17	0.04	0.03	0.02	0.03	0.07	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03

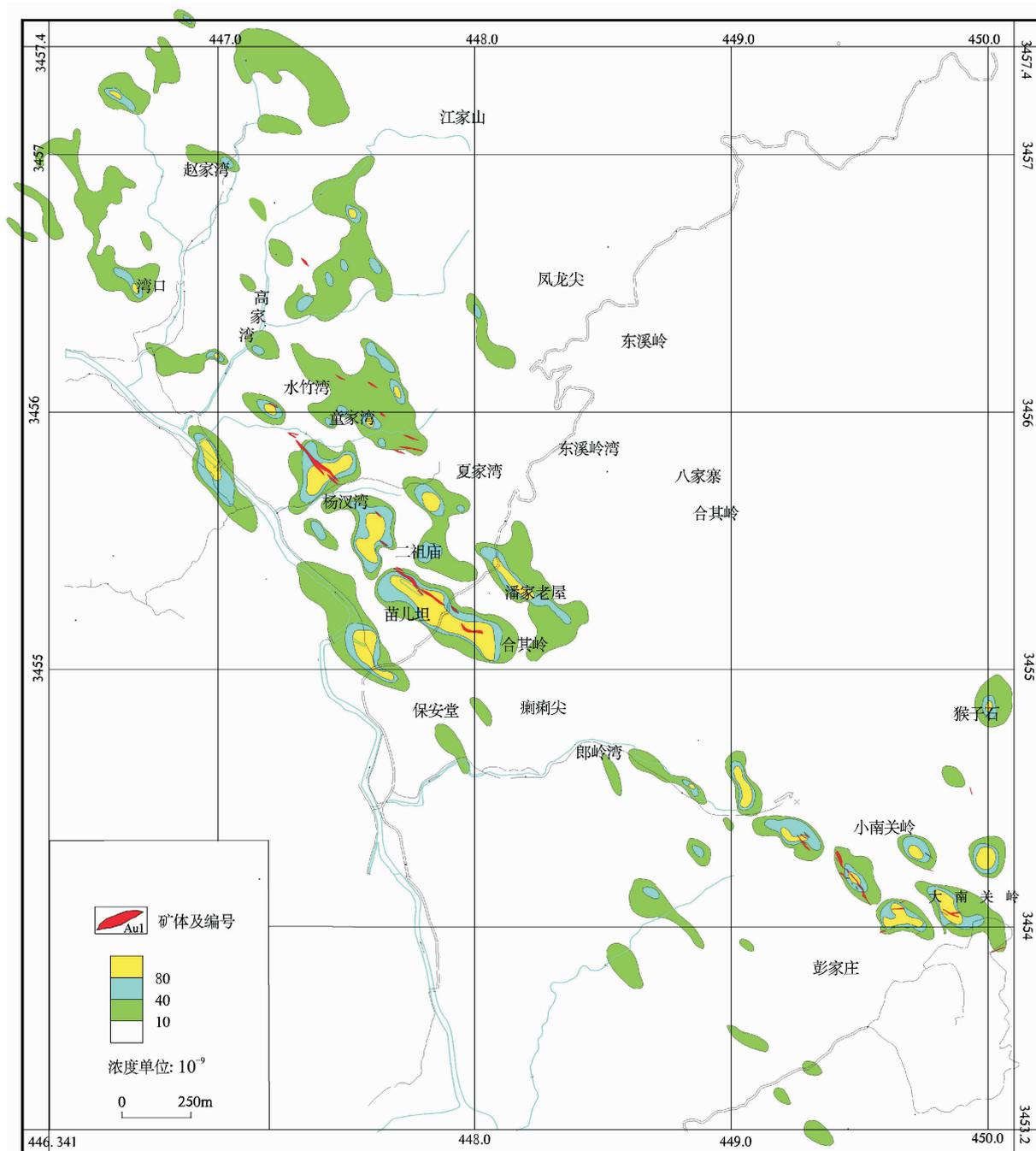


图2 金元素地球化学异常图

Fig. 2 Map showing the geochemical anomaly of gold

3 数据分析

3.1 R 型聚类分析

按照聚类分析原理^[11-12],通过 SPSS 统计软件^[13]对化探数据作标准变换后,根据其相关关系进行 R 型聚类分析,采用最邻近类准则和皮尔森相关系数,获取地球化学元素相关关系矩阵(表 2)及树图(图 3)。从表 2 中可以看出,Pb、Zn 相关性最好,

达到 0.9 以上,Pb、Zn 还与 Cu、Bi 具有较好的相关性;Sb 与 As、Bi 与 Hg 也具有一定的相关性,W、Mo、Sn 与其它元素的相关性都较差;而主成矿元素 Au 与 Ag 的相关性为 0.39。根据树图,取距离系数为 20 时,各种元素可以分为 4 类:Cu、Pb、Zn 一类;Sb、As、W、Mo 为一类;Au、Ag 为一类;Bi、Hg、Sn 一类。

表 2 各元素相关系数矩阵

Table 2 Matrix of correlative coefficients between the elements

	Sb	Bi	As	Hg	Cu	Pb	Zn	W	Mo	Au	Ag	Sn
Sb	1.000	.303	.417	.165	.182	.312	.254	.289	.124	.094	.169	-.014
Bi		1.000	.253	.343	.248	.539	.414	.085	.087	-.027	.040	.192
As			1.000	.257	.049	.114	-.015	.249	.276	.041	.039	.111
Hg				1.000	-.050	.150	.020	-.001	.079	-.039	.031	.189
Cu					1.000	.607	.648	.171	.027	.120	.119	-.055
Pb						1.000	.911	.062	.105	.000	.014	.078
Zn							1.000	.021	.033	.000	-.018	.009
W								1.000	.111	.148	.101	-.090
Mo									1.000	.029	.043	.061
Au										1.000	.390	-.053
Ag											1.000	.015
Sn												1.000

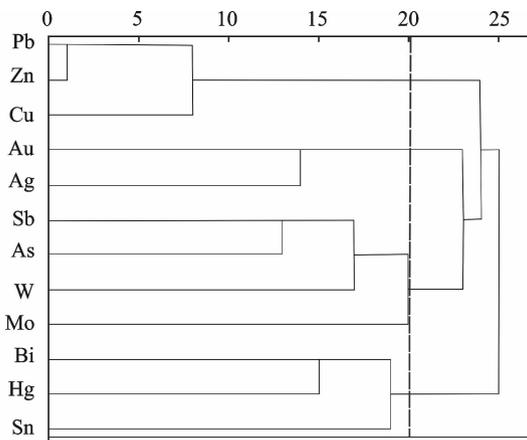


图 3 各元素 R 型聚类分析树状图

Fig. 3 R-cluster analysis of the elements

3.2 因子分析

因子分析是一种降维分析,找出主因子并利用该因子得分圈定的异常往往更具有成因及找矿指示意义^[14]。因子分析的步骤^[15]为:确定因子载荷,进行因子旋转并计算因子得分,由于初始因子载荷矩阵不唯一,所以需要进行因子旋转,得到更具实际意义的公共因子。为了确定对成矿作用具有指示意义的元素组合的合理性,对各元素进行了数据检验^[16],得到 KMO 值为 0.694, Barrlett 球形检验显著性概率是 0,小于显著性水平 0.05,拒绝零假设,原始变量间存在相关性,数据适合作因子分析。

本文以前述数据进行 R 型因子分析^[17]。采用主成分分析法所得的初始特征值及方差贡献值如表 3 所示。从方差贡献表中可以看出没有一个主因子的方差贡献率超过 50%,数据的方差贡献率收敛较慢,说明各元素的综合信息比较分散,很难找到一个综合主因子来表征。采用因子的初始特征值 > 1 确定因子个数,取前 4 个为公共因子,此时的方差贡献率累计值为 62.687%,可用于表征 12 种元素的主要信息。

表 3 特征值及方差贡献

Table 3 Eigenvalues and variance contribution

成份	初始特征值			提取平方和载入		
	合计	方差的 %	累积 %	合计	方差的 %	累积 %
1	3.065	25.540	25.540	3.065	25.540	25.540
2	1.754	14.615	40.156	1.754	14.615	40.156
3	1.548	12.898	53.053	1.548	12.898	53.053
4	1.156	9.634	62.687	1.156	9.634	62.687
5	.931	7.759	70.446			
6	.789	6.576	77.022			
7	.689	5.741	82.763			
8	.612	5.103	87.865			
9	.548	4.565	92.430			
10	.503	4.191	96.621			
11	.337	2.806	99.427			
12	.069	.573	100.000			

表 4 初始因子载荷

Table 4 Initial factor loadings

	F1	F2	F3	F4
Sb	.555	.425	.106	-.202
Bi	.682	.097	-.325	.168
As	.360	.667	-.156	-.243
Hg	.277	.391	-.476	.293
Cu	.686	-.349	.303	-.045
Pb	.888	-.331	-.063	.022
Zn	.817	-.484	.029	-.011
W	.262	.402	.365	-.420
Mo	.210	.387	-.069	-.222

表 5 正交旋转因子载荷

Table 5 Rotated factor loading matrix

	F1	F2	F3	F4
Sb	.285	.659	.068	-.144
Bi	.520	.262	-.518	-.032
As	-.024	.771	.251	-.017
Hg	.012	.246	-.694	-.018
Cu	.791	-.057	-.180	.158
Pb	.928	.108	.166	-.039
Zn	.949	-.016	.017	-.047
W	.062	.638	-.320	-.160
Mo	-.011	.489	.081	-.044
Au	.104	.253	.653	.414
Ag	.146	.311	.548	.539
Sn	.116	.170	-.468	.502

所得初始因子载荷矩阵见表 4,若以因子载荷 0.4 为标准,主成分 1、2 与大多数元素相关性较好,地质意义不明显,需要进行因子矩阵的旋转变换。用方差极大法对初始因子载荷矩阵作正交旋转变换后所得的因子载荷见表 5,可知,取公共因子与元素相关系数大于 0.4 为标准,F1 因子为 Bi-Cu-Pb-Zn 的中温元素组合,代表硫化物矿化因子,方差贡献率为 25.54%;F2 因子代表 Sb-As-W-Mo 组合,方差贡献率为 14.61%,As-Sb 往往代表前晕元素,而 W-Mo 则代表尾晕,它们出现在同一个因子中,可能反映多期次成矿作用的叠加作用;F3 因子代表 Bi-Hg-Sn 组合,方差贡献率为 12.90%,其地质意义与 F2 因子类似;F4 因子代表 Au-Ag 组合,代表了金的主要矿化作用,且 Ag 与主矿种伴生,这也与矿石中有 Ag 伴生的事实吻合。因子分析与聚类分析结果类似,均表现为组内元素的相关性较大并且在元素组合上相似,组间元素的相关性尽量小的特点,但

不同的是因子分析不是对原始变量进行重新组合,而是对原始变量进行分解,找出影响变量的公共因子,从而简化数据^[18]。

4 异常圈定与讨论

因子得分值反映每个样品在各地质作用中的属性,是勘查地球化学中经常应用的参数之一,因子得分绝对值愈高说明该因子代表的地质过程在样品上的表现愈强烈^[19]。利用全样品进行因子分析计算,得出代表金矿化的 F4 主因子相应的得分值,将其中主因子得分 >0 的样品筛选出,F4 因子的主要信息来自于这些样品,F4 因子所代表的金矿化作用在这些样品所在的区域表现更加强烈,将这些数据利用 Sufer 软件作出 F4 因子得分等值线图(图 4),等值线分为 $F4>0$ 和 $F4>1$ 两个梯度带,这些高值区为金的找矿靶区。

从 F4 因子得分等值线图(图 4)中可以看出,F4 因子得分呈条带状分布,整体呈 NW 走向,除南关岭 5 号隐伏矿体地表化探信息较弱,与其余已知矿体均具有较好的叠合度,且东溪 1 号、3 号、6 号以及南关岭 3 号、4 号等矿体所处异常区 $F4>1$,为综合异常高值区,表明 F4 因子得分能较好地指示金异常,可以指导找矿。与 Au 单元素异常对比具有类似特征,F4 因子得分南北异常带更为明显,消除了干扰,增强了异常,且能较好地反映南关岭地表 3 号、4 号矿体与东溪金矿的北矿化带可能处于同一条带上,这不同于前人的认识。据此,推测在南关岭隐伏 5 号矿体可能为第三条 NW 走向的矿化带,即原来认识的南带和北带之北还有一条隐伏的北北矿化带(图 4)。在北异常带之北还有多个呈长条状、椭球状分布且整体走向为 NW 的异常。由于矿区北东剥蚀程度相对较低,北北带异常规模相对较小且不连续。因此,该区找矿空间无论在走向上,还是在矿区外围均可得到进一步扩展:南关岭 3 号、4 号矿体所处的北带之南应存在与东溪 1 号、3 号类似的南带;东溪金矿的北带工作程度较低,有较多小的矿体,找矿前景应与南关岭 3 号、4 号矿体类似;南关岭隐伏的 5 号矿体应处于 NW 走向的北北带中,东溪矿区异常显示也可能存在与之对应的北北带;该矿区是否存在类似雁列式^[20]间隔分布的矿化带,这值得进一步探索和研究。

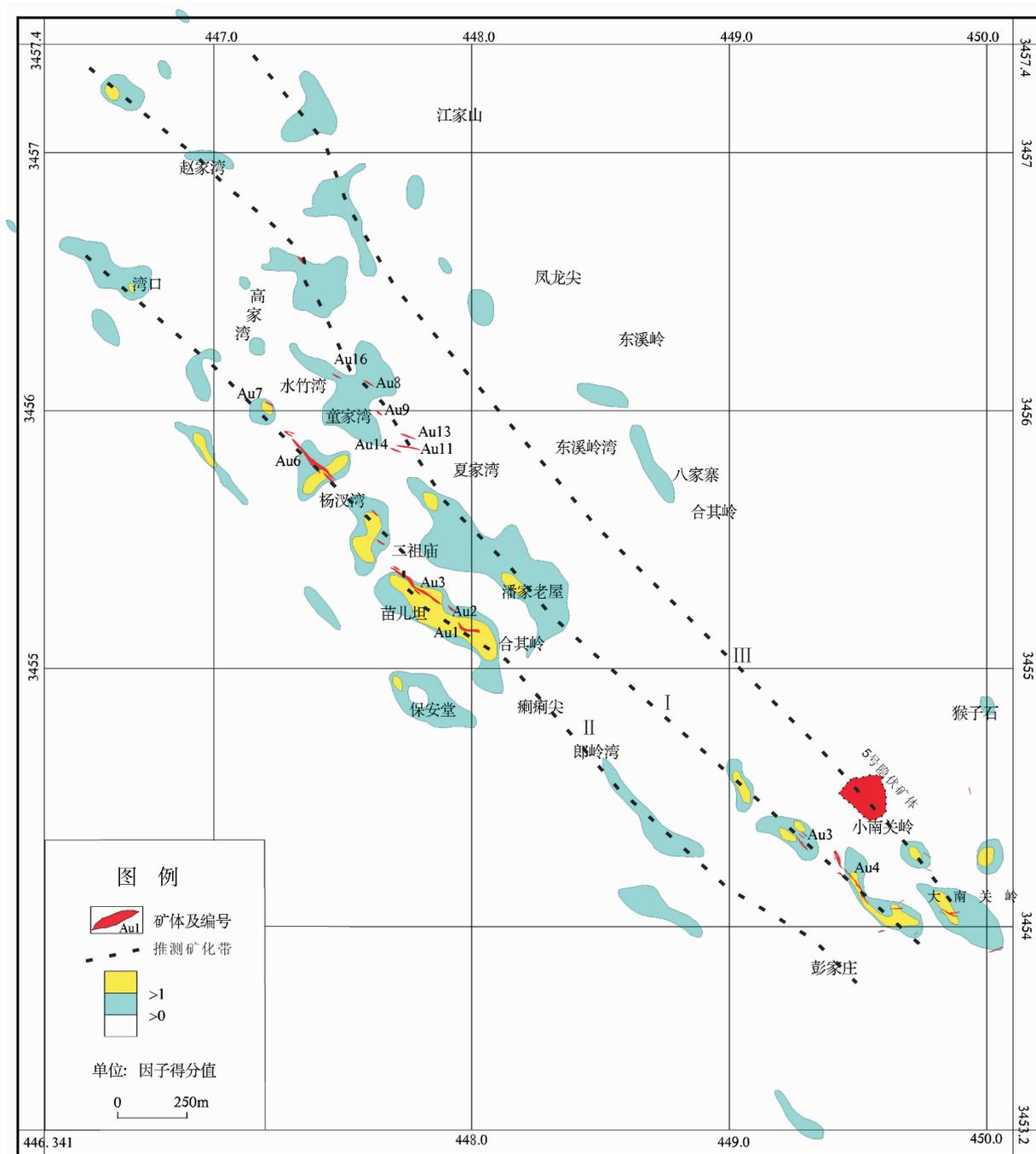


图 4 F4 因子得分等值线及矿化带推测图

Fig. 4 Map showing the contour of F4 factor scores and speculated mineralized zones

5 结论及建议

(1)东溪—南关岭金矿区与 Au 相关密切的元素为 Ag,这与矿石中有 Ag 伴生相吻合,反映了石英脉型金矿的成矿元素组合。相关分析表明各元素的综合信息较分散,该区土壤中各元素的物质来源和成因较复杂。

(2)矿区及外围 Au 异常及 F4 因子得分异常分布情况大致吻合,表明 Au 异常受 NW 向构造破碎带控制,Au 异常浓集中心及 F4>0 的区域应是找

矿重点区域。

(3)东溪矿区的南、北矿化带与南关岭矿区的南、北矿化带不是同一概念,东溪矿区的北矿化带可能与南关岭的南矿化带为同一条北西走向的矿化带,矿区及外围可能存在一系列呈雁列式排列的矿化带,具有较好的找矿前景。

参考文献

[1] 赵鹏大,夏庆霖. 中国学者在数学地质学科发展中的成就与贡献[J]. 地球科学(中国地质大学学报),

- 2009, 34(2):225-231.
- [2] 魏浩, 徐九华, 刘振刚, 等. 内蒙古凉城县草几坝一带土壤化探的数学地质分析[J]. 地质与勘探, 2011, 47(3):473-482.
- [3] 李裕伟, 余金生, 谢锡林. 闽南铁矿统计预测[J]. 中国地质科学院院报(矿床地质研究所分刊), 1980, 1(1):114-137.
- [4] 李庆录, 赵春荣, 白云龙, 等. 黑龙江宝兴沟金矿床地球化学特征研究[J]. 甘肃冶金, 2011, 33(3):66-69.
- [5] 孔繁华. 应用聚类和因子分析讨论猫岭金矿元素组合特征[J]. 辽宁地质, 1989, (2):135-141.
- [6] 韩天成, 张振飞, 吕新彪, 等. 东天山中段区域化探异常评价方法研究[J]. 地质与勘探, 2011, 47(5):885-893.
- [7] 李惠, 禹斌, 李德亮, 等. 化探深部预测新方法综述[J]. 矿产勘查, 2010, 1(2):156-160.
- [8] 张定源, 王爱国, 张晓东, 等. 安徽省霍山县东溪—南关岭金矿地质特征与成矿条件[J]. 资源调查与环境, 2014, 35(3):202-210.
- [9] 邱军强, 彭智, 陈芳, 等. 北淮阳东段杨家湾岩体地球化学特征、锆石 U-Pb 定年及地质意义[J]. 华东地质, 2016, 37(2):89-96.
- [10] 王苗苗. 广西六林多金属矿化探数据处理分析及成矿预测[D]. 北京:中国地质大学(北京), 2012:42-49
- [11] 赵鹏大, 胡旺亮, 李紫金. 矿床统计预测[M]. 北京:地质出版社, 1983:161-178.
- [12] 徐振邦. 数学地质基础[M]. 北京:北京大学出版社, 1994:226-229.
- [13] 杜强, 贾丽艳. SPSS 统计分析: 从入门到精通[M]. 北京:人民邮电出版社, 2009:185-198.
- [14] 姚玉增, 金成洙, 肖向军. 因子分析在辽南卧龙泉地区化探次生晕异常优选中的应用[J]. 物探与化探, 2005, 29(1):10-12.
- [15] 刘波, 乔宝成, 姜治民, 等. 阿荣旗谢永贵家庭农场一带土壤化探的数学地质异常提取[J]. 矿床地质, 2013, 32(6):1300-1307.
- [16] 傅德印. 因子分析统计检验体系的探讨[J]. 统计研究, 2007, 24(6):86-90.
- [17] 董庆吉, 陈建平, 唐宇. R 型因子分析在矿床成矿预测中的应用——以山东黄埠岭金矿为例[J]. 地质与勘探, 2008, 44(4):64-68.
- [18] 李新蕊. 主成分分析、因子分析、聚类分析的比较与应用[J]. 齐鲁师范学院学报, 2007, 22(6):23-26.
- [19] 姚玉增, 巩恩普, 梁俊红, 等. R 型因子分析在处理混杂原生晕样品中的应用——以河北丰宁银矿为例[J]. 地质与勘探, 2005, 41(2):51-55.
- [20] 马红义. 南召县窟窿山金矿地质特征及成因探讨[J]. 矿产与地质, 2005, 19(1):34-383.

Analysis of mathematical geology for soil geochemical exploration in the Dongxi-Nanguanling gold ore deposit, Huoshan, Anhui province

FANG Jie¹, ZHANG Xiao-dong¹, ZHANG Ding-yuan¹, XIE En-Cai², LING Qi-huai², LIANG Sheng-yue³

(1 Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, China)

(2 Huoshan Country Gold Mine Co., Ltd, Anhui Province, Huoshan 237200, China)

(3 Geological Exploration Techniques Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210008, China)

Abstract: This paper analyzed the data of soil geochemistry survey at the scale of 1 : 10000 in the Dongxi-Nanguanling gold ore deposit using the methods of mathematical geology. The results show that the Au anomalies and other related anomalies are mainly controlled by NW-trending tectonic fracture zone. R-cluster analysis of the soil geochemical data shows that twelve trace elements can be grouped into four categories. (1) F1 factor (including Cu, Pb, Zn and Au) is the combination of medium-temperature ore-forming elements and represents the sulfide mineralization factor. (2) F2 factor (including Sb, As, W and Mo) may reflect character of multiple superimposed halos. (3) F3 factor including Bi, Hg and Sn is the same as F2 factor. (4) F4 including Au and Ag reflects the combination of ore-forming elements. The F4 factor score for 1910 samples from the study area was calculated. The contour map with the F4 factor score > 0 is similar to that of the Au anomalies, and this is highly coupled with the orebodies identified. Authors suggest that the anomalous areas and Au anomalous areas defined by F4 factor scores are of good ore-finding prospecting and should be the key exploration regions.

Key words: soil geochemistry; cluster analysis; factor analysis; gold anomaly

