

云南个旧陡岩勘查区 Sn 多金属矿化信息提取与评价*

何凤萍¹, 王正海^{1,2}, 祖玉川¹, 王磊¹, 王娟¹

(1. 中山大学地球科学系, 广东广州 510275;
2. 广东省地质过程与矿产资源探查重点实验室, 广东广州 510275)

摘要: 个旧矿区被南北向个旧断裂分为东、西 2 个矿区。东区是已知矿床的集中区, 随着东区“危机矿山”问题的日益凸显, 西区的地质研究工作和资源潜力评价已成为矿山深部和外围找矿的热点。西区陡岩地区具有良好的成矿地质条件, 是近年来个旧西区地质找矿工作的重点。采用因子分析(FA) - 多重分形法(S-A)对 1:1 万原生岩石化探数据中 17 种元素进行分析, 获取锡多金属矿致异常信息, 再通过变差函数分析异常控制因素, 结合本次 1:1 万野外地质填图成果, 获得如下认识: ① F_1 因子代表 Cd-Hg-Pb-Zn 元素组合, 是中低温热液型多金属矿化的反应; F_3 代表 Sn、Mo 元素组合, 反映的是岩体及热液的相关信息; F_5 包括 Sn、Sr, Sr 是碳酸盐岩的常见元素, 反映 Sn 元素部分来源于个旧组灰岩和法郎组炭质、泥质灰岩。② 勘查区东南部异常晕展布特征为串珠状分布且异常浓集中心恰好都位于岩性分段面, 推测该区存在隐伏岩体。③ 该区的断裂控矿性不明显, Sn 元素异常展布的空间结构性主要由南西向的地层和该区的隐伏岩体控制。

关键词: 因子分析; 多重分形滤波; 变差函数; Sn 多金属异常提取; 个旧

中图分类号: P632⁺.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2014)02-0115-06

Identifying and Assessment of Mineralization Information Associated with Sn-polymetallic Mineralization in the Western Gejiu District, Yunnan

HE Fengping, WANG Zhenghai^{1,2}, ZU Yuchuan¹, WANG Lei¹, WANG Juan¹

(1 Department of Earth Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Guangdong Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resource Exploration, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The Gejiu mineral district, which is a world-class tin production region, is facing a current shortage of resources, therefore, mineral exploration in the deeper and peripheral spaces has become a top priority in this old mine. Douyan district, located in the southeast of western district, is becoming the focus of mineral exploration for its favourable metallogenic geologic conditions. In this paper, factor analysis (FA) and spectrum-area fractal model (S-A) are applied to study the integrated primary geochemical anomalies associated with polymetallic Sn mineralization. The results are shown as follows: (1) F_1 consists of positive loading from Cd-Hg-Pb-Zn-W, indicating the meso-epithermal deposit associated with polymetallic sulphides. Both F_3 and F_5 include information associated with Sn mineralization. F_5 consists of Sn and Sr (a common element in carbonates), indicating that a part of ore-forming materials came from carbonate country rocks. F_3 consists of Sn and Mo and reflects information about magmatic activities

* 收稿日期: 2013-11-08

基金项目: 云南省个旧贾沙乡陡岩多金属矿详查基金(2012-32110-7102351), 中山大学优秀青年教师培育计划基金(20103161319)联合资助项目

作者简介: 何凤萍(1990年生), 女, 研究方向: 地学信息与成矿预测; 通讯作者: 王正海; E-mail: wzhenh@mail.sysu.edu.cn

which would provide the ore-forming thermal condition and a part of ore-forming materials. (2) Predictive exploration targets have been made which suit in the Shuitan Mountain in southeast of study area. It is speculated that circum-shaped anomalies around the Shuitan Mountain were related to volcanic rocks and alteration zones. (3) The main controlling factors for enrichment of Sn are granitoid batholiths and wall rocks based on the modeling semi-variogram.

Key words: factor analysis; spectrum-area fractal modeling; the model of semi-variogram ; Sn-poly-metallic mineralization; Gejiu

危机矿山找矿预测及其研究是当前的热点问题。个旧超大型锡多金属矿床是我国重要的锡、铜多金属矿集区，锡矿资源在国民经济建设中占有举足轻重的地位。但经过几十年大规模的开采，目前个旧锡矿面临着资源严重匮乏的局面，深部及外围找矿勘查已成当务之急^[1]。

个旧地区锡矿被南北向个旧断裂（小江岩石圈断裂南延部份）分为东、西 2 个矿区。东区是马拉格、高松、松树脚、老厂、卡房五大矿田集中区。东区成矿规律研究表明^[2-4]：中三叠统个旧组地层是该区主要的容矿地层，特别是不同岩性构成的互层组合最为有利；矿区构造起着重要的控岩控矿作用，不同的构造-岩浆组合决定着矿化体的规模、形态及强度；燕山晚期花岗岩浆既是成矿的热源，又提供了成矿的部分物源，成岩作用和成矿作用都发生在晚白垩纪，岩体构成北东向大脊状体，主要隐伏于地表以下 200~1 500 m。地层、构造、岩体三者有利的配置控制着东区锡多金属矿床的产出。西区岩体主要为龙岔河岩体（出露面积 200 余 km²）和神仙水岩体（出露面积 50 余 km²），它们构成个旧西区大杂岩体的主体，其围岩主要是法郎组砂页岩与泥质灰岩，次为个旧组碳酸盐岩，构造比东区简单。西区已知矿床分布较少，地质特征与东区差异大，研究程度不足。进一步加强个旧西区地质工作，进行重点区大比例尺（1:1 万或更大比例尺）的填图工作和相应的物化探工作，深入研究西区地层岩性分段、成矿元素含量特征、构造特征和花岗岩体（特别是隐伏岩体）的空间分布规律，总结西区的成矿规律是实现西区盲矿、隐伏矿找矿突破窗口。

西区陡岩地区具有良好的成矿地质条件，是近年来个旧西区地质找矿工作的重点地区。目前所发现西区最大矿床—陡岩锡矿就位于该区。本次研究工作围绕西区陡岩勘查区展开，通过对元素原生地球化学异常模式及形成机理研究，建立地质-地球化学综合找矿模型，为陡岩勘查区进一步找矿工作提供理论依据。

1 研究区概况

陡岩锡矿位于个旧西区贾沙环状构造带南西倾没端的陡岩构造带，夹持于北东向的贾沙河断裂与龙岔河断裂之间（图 1）。勘查区北部有大面积的火成岩出露地表，从南到北依次为印支期基性玄武岩（部分蚀变为变玄武岩）、燕山期龙岔河斑状花岗岩体、贾沙辉长岩体、白云山碱性正长岩-霞石正长岩岩体、神仙水粒状花岗岩体。从南西往北东等间距发育了北西向的龙沟背斜、陡岩向斜，龙沟断裂、陡岩断裂等。中三叠统个旧组地层分布广泛，但岩性特征与东区有较大差异。本次 1:1 万野外地质填图划分了个旧西区个旧组的岩性分段，共分 4 个岩性段：第一段冷墩段（T₂gld），肉红色灰岩；第二段陡岩段（T₂gd），灰岩，泥质条带灰岩及白云岩互层；第三段砂场段（T₂gsc），厚层白云岩；第四段水塘段（T₂gsc），灰岩、白云岩互层。

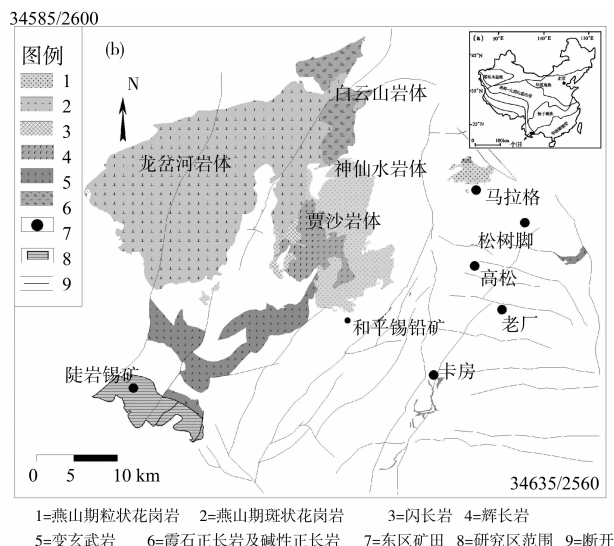


图 1 研究区区域地质简图

Fig. 1 Simplified geological map of the study area in Gejiu, Yunnan, China.

2 研究区元素特征分析

本次研究工作开展 1:1 万岩石地球化学测量,按 50 m × 200 m 网度进行原生岩石样品分析,覆盖面积 43 km²,共计 1 080 个样品,测试工作由国土资源部昆明矿产资源监督检测中心完成,测试方法为电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS),详细统计参数见表 1。

Sn 元素总体分布特征:偏度和峰度是检验元素含量分布形式的重要参数,偏度越接近于 0,峰度越接近于 3,数据分布越接近于正态分布^[5]。本文首先计算 Sn 的原始值及对其取自然对数的统计参数,由表 1 可以看出,Sn 的平均含量为 6.14×10^{-6} ,最高达到 411×10^{-6} ,远高于 Sn 的地壳丰度值 2.2×10^{-6} 。对原始数据取对数可以显著改善数据的分布形态,研究区 Sn 元素分布符合近似对数

正态分布。

西区个旧组不同岩性段 Sn 元素含量特征:资料表明,东区矿床主要产于中三叠统个旧组,卡房段赋存锡储量占矿区已探明的矿体 90%,为个旧矿区的主要容矿层,岩性为灰-深灰色中厚层状灰岩与灰质白云岩互层,含矿地层多为泥岩、粉砂质及灰质泥岩。西区 Sn 元素含量与岩性分段相关关系的统计研究(表 2)表明:法郎组下段 Sn 的平均含量为 6.14×10^{-6} ,为研究区最高;个旧组除冷墩段样品数量较少外,陡岩段和砂场段 Sn 含量均高于研究区总平均含量,砂场段含量最低,只有 3.74×10^{-6} 。Sn 在岩性差异及不纯碳酸盐岩中含量较高,与东区卡房段地层相似。从地层控矿的角度看,勘查区个旧组陡岩段、水塘段、法郎组下段都是成矿潜力层。

表 1 研究区部分元素含量统计参数
Table 1 Loadings on principal components

元素	极小值	极大值	均值	标准差	偏度	峰度	对数偏度	对数峰度
	10^{-6}							
Cu	0.38	1 000.00	20.86	60.97	9.28	112.73	0.84	0.79
Bi	0.01	23.90	0.11	0.864	23.43	597.43	1.57	4.30
Mn	12.00	1 500.00	212.80	282.30	2.62	7.12	0.44	0.34
Bi	0.01	23.90	0.11	0.86	23.43	597.40	1.57	4.33
Pb	0.09	1 000.00	15.96	56.55	12.78	195.26	0.413	0.57
Sn	0.17	411.00	6.14	30.51	8.31	79.59	2.19	5.90
W	0.30	63.10	1.68	2.94	12.60	220.09	0.53	1.23
Zn	3.64	1 000.00	39.62	78.35	7.65	76.19	0.96	0.91

表 2 Sn 元素含量岩性分段统计参数
Table 2 Sn content in different lithologic sections

地层时代组段	岩性特征	视厚度/m	样品数量	变化范围均值		标准差	
				10^{-6}			
上第三系 (N)	砂页岩、泥砾岩		78	0.3 ~ 74.9	2.29	8.53	
法郎组 (T_2f_1)	碳质、泥质灰岩 (含锰)		252	0.3 ~ 305	8.6	33.10	
个旧组	水塘段 (T_2gst)	灰岩、白云岩互层	110 ~ 190	180	0.3 ~ 293	7.49	33.60
	砂场段 (T_2gsc)	厚层白云岩	300 ~ 490	270	0.17 ~ 258	3.74	19.01
	陡岩段 (T_2gd)	灰岩、泥质条带灰岩及白云岩互层	800 ~ 1 260	207	0.26 ~ 411	6.34	36.1
	冷墩段 (T_2gld)	肉红色灰岩		88	0.3 ~ 361	6.65	39.95

3 因子分析 - 多重分形法提取 Sn 多金属地球化学异常

3.1 因子分析

由于成矿过程的多期性和多源性,成矿区地球化学元素在空间上表现出共生组合特征。为更好的分析多变量间的相关关系及更合理的分解元素地球化学异常,本文选用因子分析-多重分形模型提取元素组合原生晕异常^[6-7]。对原始数据矩阵进行标准化处理后进行 R 型因子分析,按方差贡献累计百分比达到 68% 进行公因子提取,共提取 5 个公因子并对特征值分别为 5.15、2.95、1.31、1.23、1.06。对主因子解进行正交旋转。把载荷绝对值 $r > 0.5$ 的元素看作该因子的主要载荷元素。

求得各因子的特征组合(表 3)。通过回归分析法计算出每个因子的得分,把各主因子表示为原变量的线性组合。17 种元素可以聚合成 5 个主因子,因子 1 包含 Cd-Hg-Pb-Zn-W 元素组合,反应中低温热液型多金属矿化;主因子 2 包含 Co-Cu-Mn,代表铜矿化信息,前人研究表明^[8-9] Cu 矿源主要来自三叠系玄武岩,主要出露于工作区北部;可以看出 Sn 矿化信息包含在第 3 和第 5 主因子(F_3 和 F_5),荷载分别为 0.54、0.55,反映 Sn 富集的多期性和多源性。其中, F_3 包括 Sn、Mo,指示高中温热液矿化环境,反映成矿物质的热液来源; F_5 包括 Sn、Sr, Sr 是碳酸盐岩的常见元素,反映碳酸盐岩建造有关的矽卡岩型矿床的部分成矿物质来源。

表 3 元素负荷系数矩阵

Table 3 Loadings on principal components

元素	成份矩阵					旋转成份矩阵				
	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5
As	0.37	0.23	0.08	-0.18	0.17	0.35	0.07	0.10	0.33	0.05
Ba	0.52	-0.43	-0.03	0.22	0.13	0.13	0.70	-0.04	-0.08	0.13
Be	0.58	-0.62	0.02	-0.02	-0.04	0.00	0.83	0.14	0.00	-0.11
Bi	0.17	0.08	-0.02	-0.50	0.58	0.04	0.08	-0.14	0.76	0.13
Cd	0.52	0.40	-0.20	0.57	0.00	0.78	0.11	-0.19	-0.33	0.18
Co	0.67	-0.62	-0.05	-0.03	0.01	0.06	0.90	0.08	0.04	-0.11
Cu	0.65	-0.19	0.24	0.05	-0.11	0.31	0.55	0.36	-0.01	0.00
Hg	0.58	0.59	-0.09	0.11	-0.03	0.84	-0.04	0.04	0.08	-0.03
Mn	0.65	-0.43	-0.08	-0.02	0.26	0.17	0.78	-0.06	0.20	0.06
Mo	0.31	-0.01	0.68	-0.15	-0.37	0.10	0.12	0.84	0.00	-0.03
Ni	0.58	-0.63	-0.11	-0.05	0.01	0.00	0.86	0.01	0.04	-0.15
Pb	0.70	0.57	-0.08	-0.03	0.06	0.86	0.05	0.05	0.25	-0.04
Sb	0.49	0.49	0.12	-0.49	-0.03	0.54	-0.08	0.31	0.54	-0.23
Sn	-0.01	0.01	0.73	0.25	0.09	-0.05	-0.02	0.54	-0.10	0.55
Sr	-0.14	0.12	0.38	0.31	0.66	-0.02	-0.10	-0.05	0.14	0.82
W	0.78	0.42	-0.11	0.15	-0.02	0.87	0.22	0.04	0.05	-0.03
Zn	0.84	0.23	0.06	-0.06	-0.13	0.73	0.36	0.28	0.15	-0.14

3.2 S-A 法提取组合元素异常

矿物岩石地表分布的不均匀性、各向异性及地质过程的奇异性导致元素分布呈现不同的结构特征。陡岩勘查区元素方差都较大,说明数据的波动性很强,具有局部富集的可能性。多重分形(S-A)方法不仅考虑了元素的含量分布频率,而且考虑了异常的空间形态和变化性,还考虑到了地球化学场的各向异性和广义自相似性,具有强化局部变异信息的特点,因而突出了弱小异常,对弱信息矿的找矿有很好的指导作用^[10-13]。本文运用 S-A

法提取组合元素异常(图 2)。为了解地形对原生晕异常的影响及更直观展示原生晕异常的空间展布,本文利用陡岩地区 1:1 万高程数据构建该区的三维地质图,并叠加主成分异常,结合该区的地质资料,获得如下认识:

从异常分布来看, F_1 、 F_3 异常范围较小,规律性比较明显; F_5 异常晕分散,这与研究区个旧组灰岩及法郎组炭质、泥质灰岩广泛分布有关。总体分布按区域特征可以划分为三带:勘查区东南部环绕水塘南山呈环状分布,北东向龙盆河、贾沙河

断裂两侧及南西向陡岩 - 水塘断裂两侧。

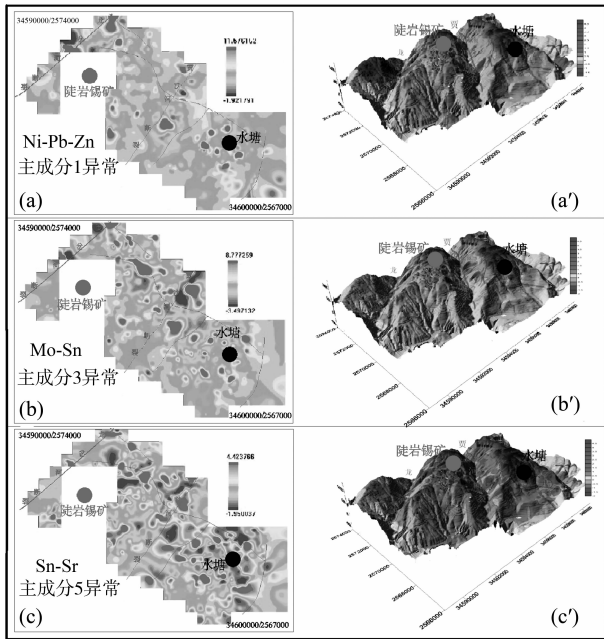


图2 (a), (b), (c): S-A 法提取的 F_1 、 F_3 、 F_5 异常; (a'), (b'), (c'): F_1 、 F_3 、 F_5 异常三维显示

Fig. 2 Scores of samples on principal components calculated from S-A; (a'), (b'), (c'): Scores map of the F_1 , F_3 , F_5 dragged over digital elevation model DEM

4 分析与讨论

Sn 元素异常分布具有明显的空间结构特征, 主要为勘查区东南部环状特征, 北东向断裂线状, 南西向断裂、地层的线状特征。为进一步了解该区裂控、层控的主次关系, 本文对 F_1 、 F_3 计算实验变差函数。通过变差图了解区域变量 F_1 、 F_3 影响范围、空间连续性和各向异性特征^[14]。在计算过程中采用 5 km 作为步长, 角度容差 22.5°, 带宽为 2 km, 用球状模型拟合变差函数。首先计算其在 0°、45°、90°、135° 四个方向上的实验变差函数, 最后拟合变差函数参数。结果表明: F_1 、 F_3 含量连续性最佳方向 (最小变化方向) 分别为 115° 和 140° (0° 为正北向), 研究区地层走向 144° ~ 170°, 陡岩 - 水塘断裂走向 110° ~ 170°, 龙岔河、贾沙河走向是 55° ~ 60°, 表明异常的控制因素主要是北西向的地层和构造。后期北东向构造贾沙河、龙岔河断裂活动强烈, 控制地貌, 但控矿性不显著。

因子分析结果表明: F_1 、 F_3 、 F_5 包含 Sn 多金属矿化信息。其中, 因子 1 包含 Cd-Hg-Pb-Zn-W 元素组合, 反应中低温热液型多金属矿化, 研究表

明, W 的主要来自三叠纪基性火山岩^[15], 非典型的矽卡岩型的高中温热液阶段产物; F_3 包含 Sn、Mo, 反映的是岩体及热液的相关信息; F_5 包含 Sn、Sr, Sr 是碳酸盐岩的常见元素, 反映 Sn 元素部分来源于个旧组灰岩和法郎组炭质、泥质灰岩。异常晕在勘查区东南部展布特征为环状分布且异常浓集中心恰好都位于岩性分段面, 结合该区的物探反演结果和遥感蚀变特征提取, 推测该区存在隐伏岩体。

综合以上研究, 可以看出: 勘查区 Sn 元素异常主要由地层和岩体控制。从地层的角度: 个旧组陡岩段 (灰岩、泥质条带灰岩及白云岩互层)、水塘段 (灰岩、白云岩互层)、法郎组下段 (碳质、泥质灰岩 (含锰) 都是有利的含矿地层。从岩体的角度: 勘查区西北部陡岩锡矿为西区的最大的原生金属矿床, 产出层位为陡岩段, 受控于龙潭长英质花岗岩体。勘查区东南部隐伏岩体存在的可能性较大, 为勘查区有利潜在成矿区。从构造的角度看, 岩石地球化学原生晕研究的结果来看, 该区的断裂控矿性不明显。综合地层和岩体控矿的有利度, 本文综合化探异常, 以主因子 1 为例, 划分出本次研究的两个找矿靶区 I、II (图 3), 为该区进一步的找矿提供理论依据。

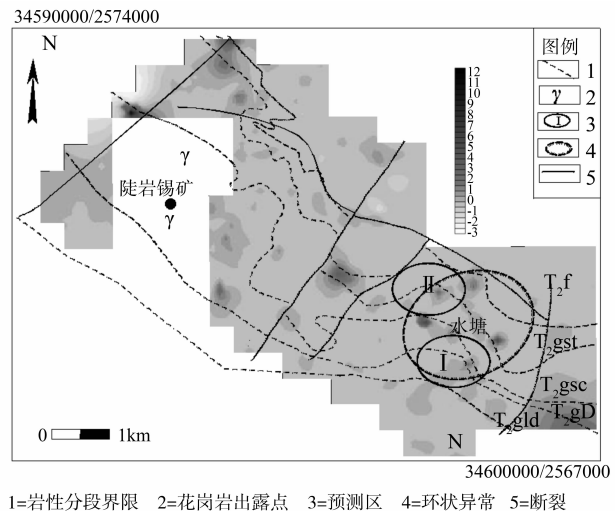


图3 勘查区 Sn 多金属找矿预测图
Fig. 3 Predictive mapping for Sn- polymetallic exploration targets

5 结论

本次研究采用因子分析 - 多重分形模型提取研究区元素原生晕组合异常分布特征, 因子 F_1 、 F_3

异常分布按区域特征可以划分为三带: 勘查区东南部环绕水塘南山呈环状分布, 北东向龙岔河、贾沙河断裂两侧及南西向陡岩-水塘断裂两侧; 进一步采用变差函数分析异常空间展布的控制因素, 表明: 异常的控制因素主要是北西向的地层和构造。后期北东向构造贾沙河、龙岔河断裂活动强烈, 控制地貌, 但控矿性不显著。东南部环状异常区域为勘查区有利潜在成矿区, 值得进一步勘查研究。

参考文献:

- [1] 吕古贤, 郑大瑜. 资源型危机矿山的概念和分类[J]. 地质找矿论丛, 2004, 19(1): 1-4.
- [2] 张欢, 高振敏, 马德云, 陶琰. 云南个旧锡矿床成因研究综述[J]. 地质地球化学, 2003, 31(3): 70-75.
- [3] 毛景文, 程彦博, 郭春丽. 云南个旧锡矿田: 矿床模型及若干问题讨论[J]. 地质学报, 2008, 82(11): 1455-1467.
- [4] 刘明, 彭省临, 王力. 个旧老-卡岩体接触-凹陷带锡-铜多金属矿地质特征及成因分析[J]. 矿产与地质, 2007, 21(4): 395-403.
- [5] 周洪伟. 正态性检验的几种常用方法[J]. 南京晓庄学院学报, 2012, (10): 13-18.
- [6] FARNHAM I M, SINGH A K, STETZENCABH K J, et al. Treatment of nondetects in multivariate analysis of groundwater geochemistry data[J]. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 2002, 60(1): 265-281.
- [7] RUBIO B, NOMBELA M A, VILAS F. Geochemistry of major and trace elements in sediments of the Ria de Vigo (NW Spain): an assessment of metal pollution[J]. Marine Pollution Bulletin, 2000, 40(11): 968-980.
- [8] 黎应书, 秦德先, 党玉涛, 等. 云南个旧锡矿床铅、硫同位素研究[J]. 地质与勘探, 2006, 42(2): 49-53.
- [9] 黎应书, 秦德先, 党玉涛, 等. 云南个旧锡矿的玄武岩成矿[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2006, 36(3): 326-335.
- [10] 成秋明. 多维分形理论和地球化学元素分布规律[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(3): 311-318.
- [11] 成秋明. 空间模式的广义自相似性分析与矿产资源评价[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2004, 29(6): 733-743.
- [12] CHENG Q. Multifractal distribution of eigenvalues and eigenvectors from 2D multiplicative cascade multifractal fields[J]. Math Geol, 2005, 37, 915-927.
- [13] CHENG Q. Mapping singularities with stream sediment geochemical data for prediction of undiscovered mineral deposits in Gejiu, Yunnan Province, China[J]. Ore Geology Reviews, 2007, 32(1): 314-324.
- [14] 黄静宁, 赵鹏大. 东天山地区 Cu-Au 异常信息提取与评价[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2004, 36(2): 317-326.
- [15] 秦德先, 黎应书. 个旧锡铜多金属矿床地质研究[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 111-120.