维普资讯 http://www.cqvip.com

第37卷 第5期 地球化学 Vol. 37, No. 5, 488~498
2008年9月 GEOCHIMICA Sept., 2008

云南六苴砂岩型铜矿床地球化学异常模式

吴 鹏[1,2], 韩润生[1,2*], 李 静[1], 李瑞龙[3],
李路乔[3], 郭学兵[3], 苏继泉[3]

(1. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093; 2. 有色金属矿产地质调查中心 西南地质调查所, 云南 昆明 650093; 3. 云南楚雄矿冶股份有限公司, 云南 楚雄 675400)

摘 要: 云南六苴铜矿床是楚雄陆相红层盆地砂(页)岩型铜矿的典型代表。矿体(平均品位1.34%)赋存于K_2ml_1中紫色砂岩与浅色砂岩交互带,从紫色砂岩到浅色砂岩,依次呈现赤铁矿、辉铜矿、斑铜矿、黄铜矿、黄铁矿水平分带。采集9个钻孔岩芯样品,分析其主元素与微量元素地球化学异常特征,指示成矿元素组合为Cu-Ag-As-Sb-Hg。K_2ml_1中铜矿体,从上至下具有V-Ni → Cu-Ag-Hg-(As-Sb) → Pb-(Zn)-V-(Ni)垂向分带;由西(全紫带)至东(全浅带)具有Sb → Hg → V → Cu-As-Sb → Ag-Co-Ni → Pb → Zn横向分带。通过不同剖面地球化学异常特征对比,建立矿床的地球化学异常模式: Co-Ni-V组合异常位于矿体上方, Pb-Zn组合异常位于矿体下方, 矿体处元素组合异常为Cu-Ag-As-Sb-Hg。出现Cu-Ag-As-Sb-Hg组合异常, Cu/Ag > 315、Cu/(Pb + Zn) > 320、Cu/(As + Sb + Hg)为1000~5800时,矿体较富,品位稳定;出现Pb-Zn-Co-(Ni)组合异常, Cu/Ag < 105、Cu/(Pb + Zn) < 7、Cu/(As + Sb + Hg) < 36时无矿;出现Sb-Hg-V组合异常,Cu/(As + Sb + Hg) > 5800时则无矿。Cu、Ag、As、Sb、Hg含量及元素对比值沿矿床走向从北向南降低,预示"矿化能力"减弱或矿体中心位置偏移。该地球化学异常模式为深部成矿预测提供了重要依据。

关键词: 地球化学异常模式; 砂岩铜矿床; 六苴; 云南省
中图分类号: P595 **文献标识码**: A **文章编号**: 0379-1726(2008)05-0488-11

Geochemical anomaly pattern of Liuju sandstone-type copper deposit in Yunnan Province

WU Peng[1,2], HAN Run-sheng[1,2*], LI Jing[1], LI Rui-long[3], LI Lu-qiao[3], GUO Xue-bing[3] and SU Ji-quan[3]

1. *Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming* 650093, *China*;
2. *Southwest Institute of Geological Survey, China Non-ferrous Metals Resource Geological Survey, Kunming* 650093, *China*;
3. *Yunnan Chuxiong Mineral and Metallurgy Company Limited, Chuxiong* 675400, *China*

Abstract: The Liuju copper deposit, one of the typical sandstone-type copper deposits, is located in the Upper Cretaceous continental sandstone basin of Chuxiong, Yunnan Province, China. Ore bodies (average grade: Cu 1.34%) are located in the interface between purple bed and grey bed in K_2ml_1. From purple bed to grey bed, the ore mineral horizontal zonality is hematite, chalcocite, bornite, chalcopyrite and pyrite. Based on geochemical data of 9 drills in this deposit, the features of major and trace elements show that the ore-forming element association is Cu-Ag-As-Sb-Hg. The axial zonality of indicator elements in K_2ml_1 from top to bottom is V-Ni → Cu-Ag-Hg-(As-Sb) →Pb-(Zn)-V-(Ni) and the lateral zoning from purple belt to grey belt is Sb → Hg → V → Cu-As-Sb → Ag-Co-Ni → Pb → Zn. By different strata contrasted, it verifies the distribution features of geochemical anomaly. On the basis of this method, it has established the geochemical anomaly pattern, that is, anomaly of Co, Ni, and V appears above ore bodies, anomaly of Pb and Zn under ore bodies. Anomaly of Cu, Ag, As, Sb, Hg and ratio of Cu/Ag > 315, Cu/(Pb + Zn) > 320, Cu/(As + Sb + Hg) 1000~5800 are concomitant with rich ore bodies; anomaly of Pb, Zn, Co, (Ni) and Cu/Ag < 105, Cu/(Pb + Zn) < 7, Cu/(As + Sb + Hg) < 36 implies barren;

收稿日期(Received): 2007-09-20; **改回日期(Revised)**: 2008-05-01; **接受日期(Accepted)**: 2008-07-15
基金项目: 国家危机矿山接替资源勘查项目(200453001); 教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-04-917)
作者简介: 吴鹏(1981-), 男, 博士研究生, 矿产勘查与勘探专业。E-mail: wupeng8104@yahoo.com.cn
* **通讯作者(Corresponding author)**: HAN Run-sheng, E-mail: hrs661@yahoo.com.cn; Tel: +86-871-5180377

维普资讯 http://www.cqvip.com

the presence of Sb, Hg, V and Cu/(As + Sb + Hg) > 5800 indicates barren. The contents of Cu, Ag, As, Sb, Hg and the ratio of dual elements reduce longitudinally, and it shows that copper mineralization becomes weaker or the position of the ore body is displaced. The pattern is important foundation for the depth ore-forming prognosis.

Key words: geochemical anomaly pattern; sandstone-type copper deposit; Liuju; Yunnan Province

0 引　言

六苴砂岩型铜矿床位于云南省楚雄州大姚县六苴镇，地理坐标：东经 101°20′45″～101°22′00″，北纬 25°50′45″～25°52′30″，矿床分布面积 2 km² 以上。根据原勘探提交的铜储量，定为中型铜矿床，通过 2004 年危机矿山项目的实施，该矿床有望成为大型铜矿床[1]。六苴砂岩铜矿床勘探工作始于 20 世纪 60 年代，诸多单位先后对其进行了矿床成因及成矿规律的研究[2-9]。前人研究中，通常采用地表与坑道的岩石样品，且多限于 Cu、Ag 等少数几个元素的测试分析，其样品采集与测试方法不统一，尚未有地球化学异常模式方面的研究。为便于对比研究，对样品采集和测试方法进行统一，本文未采用前人的测试数据，而以矿区地质资料为基础，依据国家危机矿山接替资源勘查项目实施中新近提取的钻孔岩芯获取矿石与围岩的新鲜样品，进行矿床地球化学研究，拟重点讨论指示元素的空间分带规律，建立地球化学异常模式[10-18]，总结指示元素异常分布与矿体空间展布的对应关系，为该矿床深部探矿钻孔布置提供依据。

1 矿床地质概况

六苴铜矿床处于楚雄红层盆地中北部、含矿砂岩带中段，是陆相砂（页）岩型铜矿的典型代表[19]。矿区出露地层从老到新为：下白垩统普昌河组（K_1p），上白垩统马头山组（K_2m），上白垩统江底河组（K_2j）。其中，马头山组（K_2m）从老到新又可分为六苴下亚段（K_2ml_1），六苴中亚段（K_2ml_2），六苴上亚段（K_2ml_3）和大村段（K_2md）。矿体赋存于上白垩统马头山组六苴下亚段（K_2ml_1）紫色砂岩与浅色砂岩交互带的浅色砂岩一侧，多呈层状、透镜状，与地层产状一致（总体走向近南北，倾向南西，倾角 20°～50°），严格受白垩系控制[20]。岩性变化复杂，总体为紫色、紫红色、黄色、灰绿色的粉砂岩与泥岩互层。纹层发育，石膏呈星点状密集产出。横剖面上，矿体在全紫色砂岩一侧（西界）呈分枝状尖灭，浅色砂岩一侧（东界）呈“燕尾”式依附于上、下浅色岩层分枝尖灭。纵向平面上，主矿体从北（地表）向南（深部）呈弧状延伸，已控制长约 3000 m，宽 300～450 m，厚 1～36 m，铜平均品位 1.34%。涂光炽等[21]将该矿床归于“沉积-改造”类型，提出强烈改造过程中含矿溶液定向运移[22]，使得铜矿体不断加富、加宽。伴随物理化学条件的改变，在紫色砂岩到浅色砂岩的交互带上依次呈现赤铁矿 → 辉铜矿 → 斑铜矿 → 黄铜矿 → 黄铁矿的金属矿物分带规律，从而形成地球化学异常。

六苴矿床南延至小河地段，其埋深已超过 1200 m，使得成矿预测难度加大。2006 年，小河地段施工完成了 ZK29Ⅳ下 4、ZK150 下 1、ZK150 下 3-1、ZK156 下 1、ZK156 下 2、ZK164 下 1、ZK164 下 2 共 7 个探矿钻孔。其中，ZK29Ⅳ下 4 孔揭露矿体西界（矿体向全紫砂岩一侧分枝尖灭处），ZK150 下 1 孔揭露矿体东界（矿体向全浅砂岩一侧分枝尖灭处），ZK150 下 3-1 孔揭露矿体中部（矿体富厚中心），ZK156 下 1 孔揭露矿体东侧（矿体中心与东界分枝点之间），ZK156 下 2 孔揭露矿体西侧（矿体中心与西界分枝点之间），ZK164 下 1 孔揭露矿体以东地段的无矿全浅色岩石带（全浅带）。通过 29、150、156、164 号勘探线剖面及其钻孔揭露的地质信息，将主矿体从北向南延伸、由东向西展布的空间变化特征展现出来（图 1）。

2 指示元素及地球化学异常下限的确定

指示元素通过钻孔剖面及坑道平面中元素含量与矿体位置的对应变化程度大小而选定。Cu、Pb、Zn、As、Sb、Hg、W、Sn、Bi、Nb、Ta、Mo、Co、Ni、V、Ti、Mn、Ag 等元素含量在 K_2ml_1 中的变化规律（以 ZK156 下 1 孔为例）如图 2 所示，依据元素含量及其与矿体位置的对应变化规律，确定以 Cu、Ag、Pb、Zn、As、Sb、Hg、Co、Ni、V 等变化程度较高的元素作为指示元素，辅以主元素 TFe、CaO、MgO 以及元素

维普资讯 http://www.cqvip.com

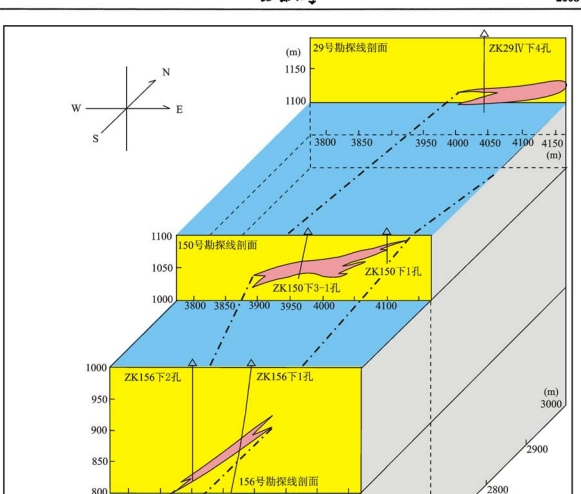


图 1 六直铜矿床小河地段钻孔位置及矿体空间形态

Fig. 1 Drilling hole position and ore body geometry in Xiaohe section of Liuju copper depisit

1－矿体；2－横剖面；3－平面；4－纵剖面；5－钻孔位置及编号；6－推测矿体边界；7－立体结构线。

对比值 Cu/Ag、Cu/(Pb + Zn)、Cu/(As + Sb + Hg)进行地球化学异常特征的研究。其中，Cu、Ag、As、Sb、Hg 为成矿元素，围岩中元素组合为 Pb-Zn-Co-Ni-V。钻孔岩芯中矿体部分按 2.5 m 间隔布设取样点，在取样点上、下各 0.5 m 范围内连续打块取样，作为该点处的地球化学样品。样品(283 件，含 7 个钻孔及对应每个层位的样品)测试数据均由西北有色地质研究院测试中心(西安)采用 ICP-MS 分析给出，其中，Cu > 1% 时用化学法重新化验。测试数据经内检(密码样校对)与外检(云南省地质矿产开发局测试中心)，其平均误差小于 8%，满足地球化学异常圈定及讨论的需要。

将岩芯中样品(283 件)的测试数据进行对比分析，采用数学计算法[23-24]，选取以 2 倍标准离差值

维普资讯 http://www.cqvip.com

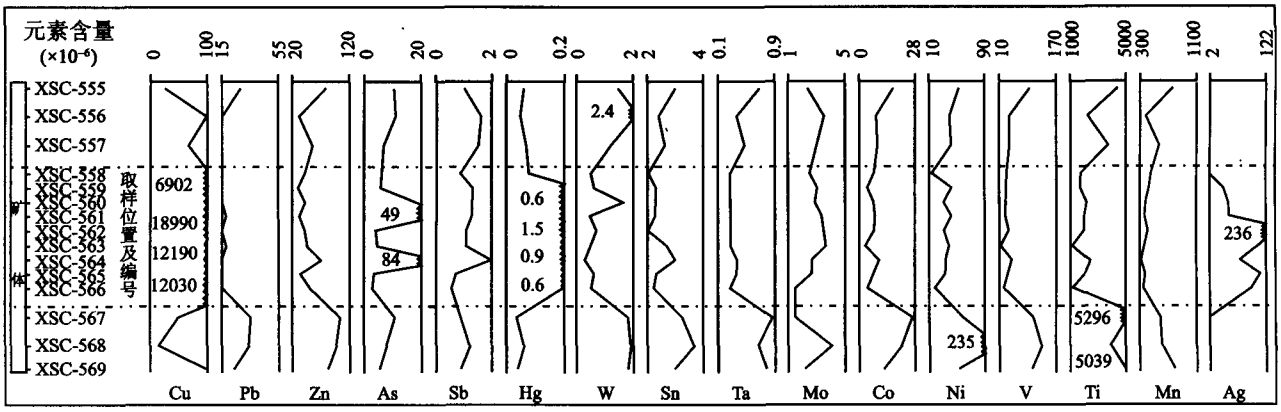


图 2　ZK156 下 1 孔地球化学异常剖面图(K_2ml_1)

Fig. 2　Geochemical anomaly profiles of drill ZK156-1 (K_2ml_1)

与背景值两者之和作为指示元素及其比值的异常下限值(表 1)。

3　地球化学异常特征

不同勘探线的钻孔地球化学异常剖面图可直观反映横剖面矿体形态及钻孔地球化学异常特征。采用中国地质大学研发的 MAPGIS 软件，利用其 DTM 空间分析功能对元素含量数据进行 King 泛克立格法网格化，圈定地球化学异常。现以 150、156 号勘探线剖面(图 3、图 4)为例说明其地球化学异常特征。

3.1　150 号勘探线剖面地球化学异常特征

钻孔 ZK150 下 1 与 ZK150 下 3-1 均于 K_2md 开孔，于 K_1p 终孔。其中，ZK150 下 1 孔揭露 K_2ml_1 中铜矿体的东界，ZK150 下 3-1 孔揭露 K_2ml_1 与 K_2ml_2 两个层位中铜矿体的中心。其地球化学异常特征如下。

(1) K_2ml_1 中矿体东界 Cu、Ag、Pb、Zn 均出现强度高，范围大的异常，尤其以 Zn 异常 (大于 120×10^{-6})为特征，垂向上具有 Cu-Ag → Zn-Pb 分带。矿体中心只有 Cu、Ag 出现强度高、范围大的异常，而 Pb 异常只出现在 K_2ml_1 中铜矿体下方，Zn 无异常。Zn 异常急剧减弱是铜矿体中心与东界的明显区别。ZK150 下 1 孔 K_2ml_1 中多见黄铁矿、方铅矿与闪锌矿(图 5a)，使得矿体东界 Pb、Zn 异常突出，而矿体中心 (ZK150 下 3-1 孔) 未见黄铁矿、方铅矿与闪锌矿的矿物组合，造成金属矿物与元素的水平分带。

(2)矿体东界 As、Sb、Hg 异常在 K_2ml_2 中没有分离，均位于 Cu 异常下部；在 K_2ml_1 中三者明显分离，与 Cu 异常垂向分带关系为：As-Hg-Cu → Sb。矿体中心 As、Hg 异常均较好地对应了铜矿体的位置，尤其对 K_2ml_1 中铜矿体反映明显。Sb 异常只对 K_2ml_1 中铜矿体有显示。这与 K_2ml_1 铜矿体中存在有黄铁矿、黝铜矿 (它通常含 Sb、Ag、As 等) 密切相关 (图 5b)。

(3)Co、Ni、V 在 K_2ml_1 中均未现异常，Ni 在矿体东界 K_2ml_1 以外的层位中有明显异常。反映该组指示元素与铜矿体相分离，其横向变化显著。

(4) 矿体东界元素对比值较低：Cu/Ag 值为 315，Cu/(Pb + Zn) 值为 50，Cu/(As + Sb + Hg) 值为 36；矿体中心元素对比值较高：Cu/Ag 值为 210，Cu/(Pb + Zn)值为 160，Cu/(As + Sb + Hg)值为 300。

(5)TFe、MgO、CaO 异常均出现在 K_2ml_1 以外的层位中，与铜矿体明显分离。这与不同层位、不同岩石胶结物差异有关。

(6) K_2ml_1 中的铜矿体东界从上至下具有 Ni-As-Hg-Cu-Ag → Sb → Zn-Pb → V 垂向分带；中心处从上至下具有 Cu-Ag-Sb-Hg-As → Pb 垂向分

表 1　指示元素($\times10^{-6}$)及比值的异常下限值

Table 1　Lower limit values of geochemical anomaly of indicator elements ($\times10^{-6}$) and ratio of dual elements

指示元素及比值	Cu	Ag	Pb	Zn	As	Sb	Hg	Co	Ni	V
异常下限值	300	3	19	80	12	1	0.08	16	40	100
指示元素及比值	TFe (%)		CaO (%)		MgO (%)		Cu/Ag	Cu/(Pb + Zn)		Cu/(As + Sb + Hg)
异常下限值	5		11		4		35	1		9

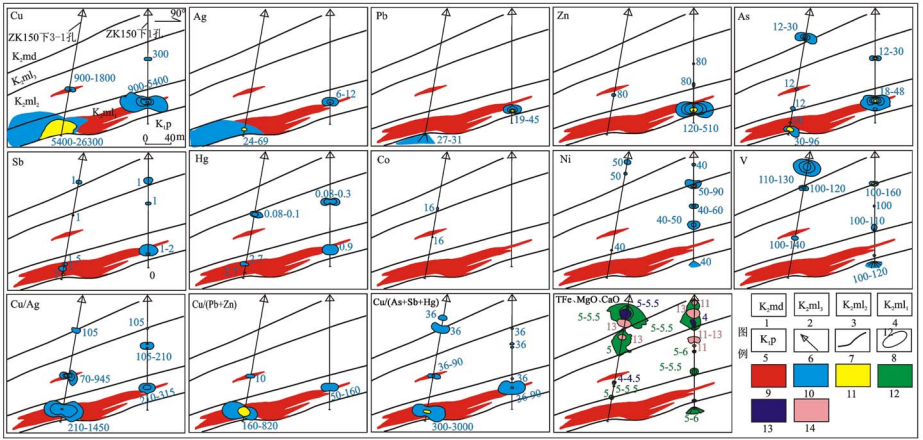


图 3　150 号勘探线地球化学异常剖面图(75 件样品,K_2ml_1 中 23 件样品)

Fig. 3　Geochemical anomaly profiles of No. 150 exploration line

1 – 上白垩统马头山组大村段;2 – 马头山组六直上亚段;3 – 马头山组六直中亚段;4 – 马头山组六直下亚段;5 – 下白垩统普昌河组;6 – 钻孔;7 – 地层界线;8 – 异常等值线及元素含量(×10⁻⁶);9 – 矿体;10 – 异常范围;11 – 异常中心;12 – TFe 异常(%);13 – MgO 异常(%);14 – CaO 异常(%)。

维普资讯 http://www.cqvip.com

维普资讯 http://www.cqvip.com

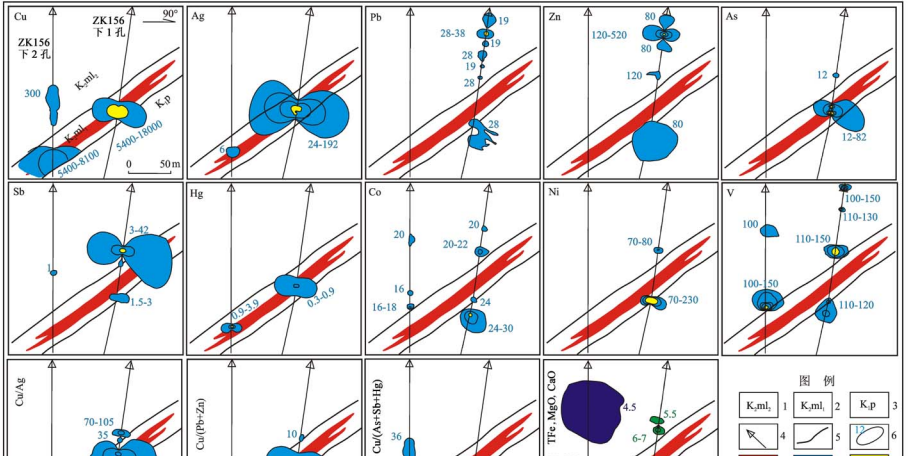


图 4　156 号勘探线地球化学异常剖面图(105 件样品，K_2ml_1 中 21 件样品)

Fig. 4　Geochemical anomaly profiles of No. 156 exploration line

1－上白垩统马头山组六直中亚段；2－马头山组六直下亚段；3－下白垩统普昌河组；4－钻孔；5－地层界线；6－异常等值线及元素含量($\times 10^{-6}$)；7－矿体；8－异常范围；9－异常中心；10－TFe 异常(%)；11－MgO 异常(%)。

维普资讯 http://www.cqvip.com

带。

150 号勘探线剖面地球化学异常对比显示：矿体中部与其东界的指示元素异常及比值变化显著。从矿体东界至矿体中部元素组合横向分带为：Pb-Zn-Ag-As → Cu-Ag-As-Sb-Hg。

3.2 156 号勘探线剖面地球化学异常特征

钻孔 ZK156 下 1 与 ZK156 下 2 均于 K_2j 开孔，于 K_1p 终孔。其中，ZK156 下 1 孔揭露 K_2ml_1 中铜矿体的东侧，ZK156 下 2 孔揭露 K_2ml_1 铜矿体的西侧。其地球化学异常特征如下。

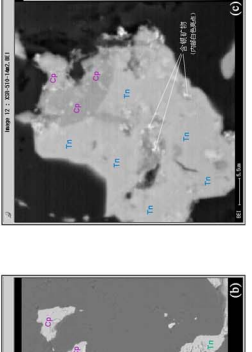
(1) K_2ml_1 中矿体东侧 Cu、Ag 出现高强度、大范围的异常；Pb 异常只出现在铜矿体下方，Zn 未见异常；ZK156 下 1 孔 K_2ml_1 中见黄铜矿与黝铜矿(图 5c)，与 150 号勘探线对比，反映矿体东界(ZK150 下 1 孔)以黄铁矿为主，而矿体东侧(ZK156 下 1 孔)多见黄铜矿，即从西到东呈现金属矿物的水平分带特征。As、Hg 高异常均较好地对应了铜矿体；Sb 高异常位于铜矿体上方，相离较远，与矿体东界特征有明显区别；Co、Ni、V 均出现异常，位于铜矿体上、下方，距铜矿体较远。矿体西侧 Cu、Ag 异常较矿体东侧强度变弱，范围变小；Hg 高异常较好地对应了铜矿体；Pb、Zn、As、Ni 均未见异常，Co、V 异常均与矿体分离；Sb 异常极弱。

(2) 矿体东侧元素对比值较低：Cu/Ag 值为 105，Cu/(Pb + Zn) 值为 50，Cu/(As + Sb + Hg) 值为 1000。矿体西侧元素对比值较高：Cu/Ag 值为 945，Cu/(Pb + Zn) 值为 320，Cu/(As + Sb + Hg) 值为 3000。

(3) TFe、MgO、CaO 异常均出现在 K_2ml_1 以外的层位中，与铜矿体明显分离。值得注意的是，156 号勘探线剖面 CaO 已不显示异常，TFe、MgO 异常却比 150 号勘探线剖面强度高、范围大。反映纵向上矿体从北向南，岩石胶结物钙质减弱，铁、镁增加的变化，预示铜矿体品位及厚度可能发生变化。

(4) K_2ml_1 中矿体东侧，从上至下具有 Zn-Pb→Sb-Co-Ni-V→Cu-Ag-Hg-As-Sb → Pb-Co-Ni-V 垂向分带；矿体西侧从上至下具有 Co-V →Cu-Ag-Hg 垂向分带。

156 号勘探线剖面地球化学异常对比显示：矿体东侧与矿体西界的元素异常及比值差异显著，尤其是从东到西元素比值增高的特点明显。从矿体东侧至矿体西侧元素组合横向分带为：Cu-Ag-As-Sb-Hg(Pb-Zn)→Cu-Sb-Hg。



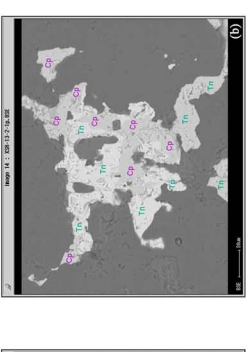


图 5 K_2ml_1 中岩芯样品背散射电子图像(75 件样品，K_2ml_1 中 23 件样品)

Fig. 5 Backscattered electron images of core in K_2ml_1

(a) – 样品 XSP-121-2(ZK150 下 1 孔)；(b) – 样品 XSR-13-2(ZK150 下 1 孔)；(c) – 样品 XSR-510-14(ZK156 下 1 孔)；Sph – 闪锌矿；Ga – 方铅矿；Py – 黄铁矿；Cp – 黄铜矿；Tm – 砷黝铜矿。

维普资讯 http://www.cqvip.com

4　元素空间分带规律

综合 29、150、156、164 号勘探线剖面进行地球化学异常的分析对比，将六苴铜矿床指示元素及对比值从上至下的垂向分带、从东至西的横向分带以及从北向南的纵向分带规律总结于下。

4.1　垂向分带规律

K_2ml_1 中铜体上方元素组合为 V-Ni，铜矿体下方元素组合为 Pb-(Zn) -V-(Ni)。总体上具有 V-Ni → Cu-Ag-Hg-(As-Sb) → Pb-(Zn)-V-(Ni)的垂向分带规律(表 2)。

4.2　横向分带规律

K_2ml_1 中铜矿体由东部全浅带至西部全紫带的指示元素含量变化如图 6 所示。

指示元素及比值横向分带特征与矿体的空间关系表现为：

表 2　不同钻孔中指示元素垂向分带

Table 2　Axial zonality of indicator elements in different drills

钻孔编号及位置	指示元素在 K_2ml_1 中的垂向分带(由上至下)
ZK29Ⅳ下 4 孔(矿体西界,8 件样品)	V-Co-Ni → Sb → As-Hg-Cu → Pb-V → Ni
ZK156 下 2 孔(矿体西侧,8 件样品)	Co-V → Cu-Ag-Hg
ZK150 下 3-1 孔(矿体中部,11 件样品)	Cu-Ag-Sb-Hg-As → Pb
ZK156 下 1 孔(矿体东侧,13 件样品)	Zn-Pb → Sb-Co-Ni-V → Cu-Ag-Hg-As-Sb → Pb-Co-Ni-V
ZK164 下 2 孔(矿体东侧,10 件样品)	Zn-Ni-Co-V → Cu-Ag-Ni-As-Sb-Hg → Pb-Zn-Ni-Co
ZK150 下 1 孔(矿体东界,12 件样品)	As-Hg-Cu-Ag → Sb → Zn-Pb → V
ZK164 下 1 孔(全浅带,7 件样品)	Cu-Pb-Hg-As

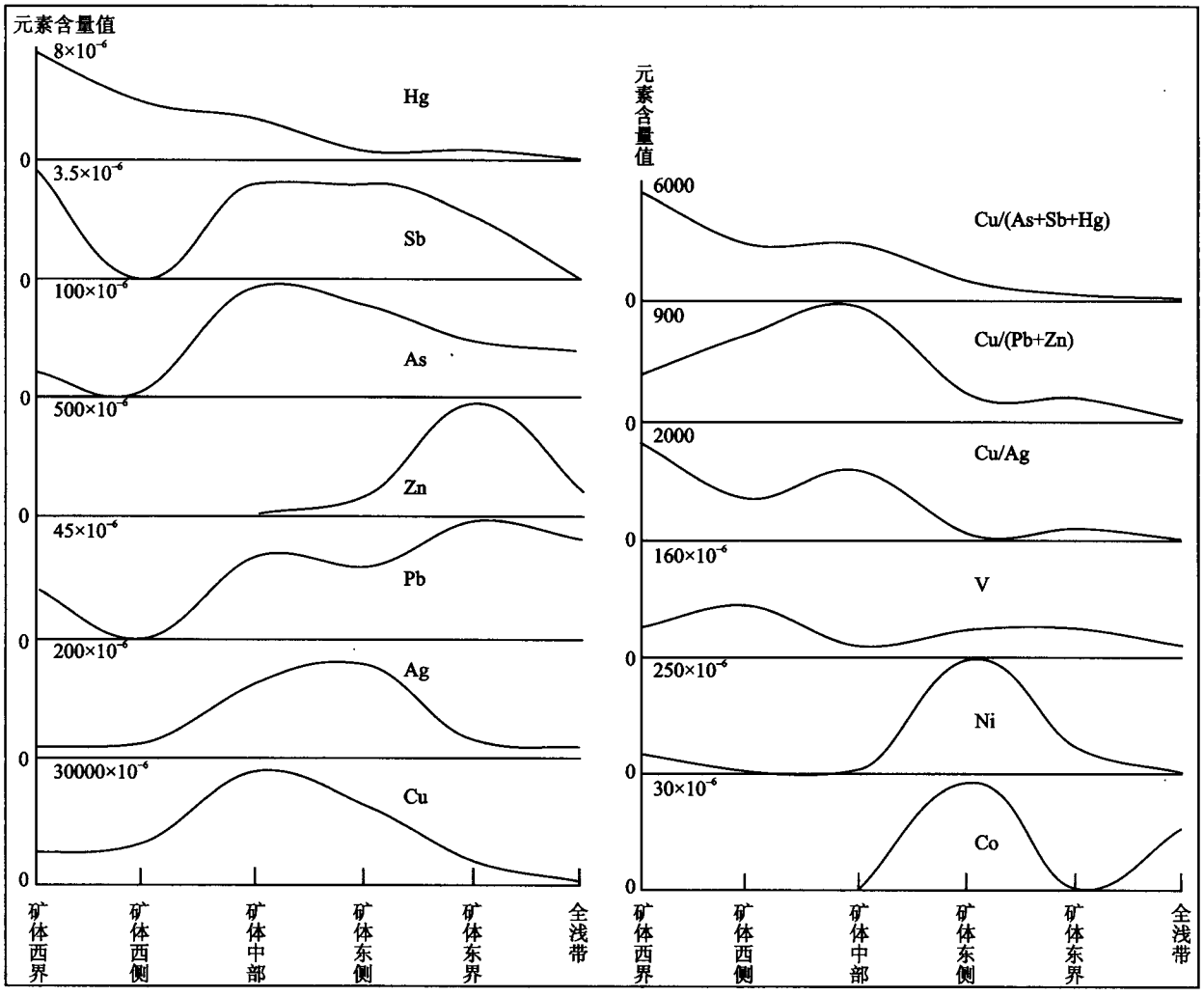


图 6　K_2ml_1 铜矿体地球化学剖面元素组合横向分带(69 件样品)

Fig. 6　Lateral zoning charts for element association of copper ore bodies in K_2ml_1

维普资讯 http://www.cqvip.com

(1)全浅带 K_2ml_1 元素组合为 Cu(Ag)-Pb-Hg-As。Cu 含量 $(300\sim600)\times10^{-6}$(Ag 含量 $<3\times10^{-6}$),Cu/Ag 值 35~105,Cu/(Pb+Zn) 值 1~7,Cu/(As+Sb+Hg) 值 9~36。具有这一元素组合及含量特征的位置距离矿体中心部位的沿层距离约 150 m。

(2) 矿体东界元素组合为 Cu-Ag-As-Hg → Sb-Pb-Zn。Cu 含量$(900\sim5400)\times10^{-6}$,Ag 含量$(6\sim12)\times10^{-6}$,Cu/Ag 值 210~315,Cu/(Pb+Zn) 值 50~160,Cu/(As+Sb+Hg) 值 36~90。具有这一元素组合及含量特征的位置距离矿体中心部位的沿层距离≤100 m。

(3)矿体东侧元素组合为 Cu-Ag-As-Hg。Cu 含量$(5400\sim18000)\times10^{-6}$,Ag 含量$(24\sim192)\times10^{-6}$,Cu/Ag 值 70~210,Cu/(Pb+Zn) 值 50~160,Cu/(As+Sb+Hg) 值 1000。具有这一元素组合及含量特征的位置距离矿体中心部位的沿层距离≤20 m。

(4) 矿体中部元素组合为 Cu-Ag-As-Sb-Hg。Cu 含量$(5400\sim26300)\times10^{-6}$,Ag 含量$(24\sim69)\times10^{-6}$,Cu/Ag 值 210~1450,Cu/(Pb+Zn) 值 160~820,Cu/(As+Sb+Hg) 值 300~3000。具有这一元素组合及含量特征的位置处于矿体中心部位。

(5)矿体西侧元素组合为 Cu-(Ag)-Hg。Cu 含量$(5400\sim8100)\times10^{-6}$,Ag 含量 $<6\times10^{-6}$,Cu/Ag 值 <945,Cu/(Pb+Zn) 值 320~620,Cu/(As+Sb+Hg) 值 <3000。具有这一元素组合及含量特征的位置距离矿体中心部位的沿层距离≤80 m。

(6)矿体西界元素组合为 Cu-As-Sb-Hg。Cu 含量 8100×10^{-6},Cu/(Pb+Zn) 值 160~320,Cu/(As+Sb+Hg)值 1000~5800。具有这一元素组合及含量特征的位置距离矿体中心部位的沿层距离约 80 m。

综上所述,指示元素在 K_2ml_1 中由西(全紫带)至东(全浅带)具有 Sb → Hg → V → Cu-As-Sb → Ag-Co-Ni → Pb → Zn 横向分带。能较好反映铜矿体位置的指示元素组合为 Cu-Ag-As-Sb-Hg。能较好反映铜矿体位置的元素对比值分别为:Cu/Ag 值 210~1450,Cu/(Pb+Zn) 值 160~820,Cu/(As+Sb+Hg) 值 300~3000。

4.3 纵向分带规律

沿矿体走向,元素组合总体上变化不大,但元素含量变化明显。从北到南,与铜矿化正相关的元素 Ag、As、Sb、Hg 含量及元素对比值均明显下降,反映矿化由强至弱的变化趋势。具有 Cu-As-Sb-Hg → Cu-Ag-As-Sb-Hg→Cu-Ag-As-Hg→Cu-Ag-As-Sb-Hg-Ni 的纵向组合分带。

5 地球化学异常模式及意义

以指示元素组合及其对比值的垂向、横向、纵向三维分带为基础,总结出六苴铜矿床地球化学异常模式,如图 7 所示。

(1)垂向地球化学异常模式

Co-Ni-V 组合异常多位于矿体上方,离矿体较远;Cu-Ag-As-Sb-Hg 组合异常位于矿体处;Pb-Zn 组合异常多位于矿体下方,离矿体较近。

(2)横向地球化学异常模式

辉铜矿、斑铜矿(黄铜矿)的矿物组合标志着矿石富、矿体较厚。随之出现 Cu-Ag-As-Sb-Hg 组合异常。Cu/Ag > 315、Cu/(Pb+Zn) > 320、Cu/(As+Sb+Hg) 在 1000~5800 之间时,矿体较富,品位稳定。

黄铁矿出现标志着矿石贫化、矿体向全浅带尖灭,随之出现 Pb-Zn-Co-(Ni) 组合异常。Cu/Ag < 105、Cu/(Pb+Zn) < 7、Cu/(As+Sb+Hg) < 36 时无矿;Cu/Ag < 315、Cu/(Pb+Zn) < 160、Cu/(As+Sb+Hg) < 90 时为矿化。

赤铁矿出现标志着矿石贫化、矿体进入全紫带尖灭,随之出现 Sb-Hg-V 组合异常。Cu/(As+Sb+Hg)达 5800 为矿化,大于该值则无矿。

(3)纵向地球化学异常模式

矿体从北向南延伸较稳定,元素组合变化不大。岩石胶结物呈现钙质减弱,铁、镁增加的变化,预示铜矿体品位及厚度可能发生变化。Cu、Ag、As、Sb、Hg 等元素含量及元素对比值从北向南降低,预示"矿化能力"减弱或矿体中心位置偏移,应在下一步的探矿工程布置中注意。

通过建立地球化学异常模式,把握六苴矿床中元素含量变化与矿体空间展布的对应关系,为探矿工程的部署提供依据。其指示效果已在石门坎(小河以南)244 号勘探线钻孔布设中得到验证,即根据已实施钻孔(ZK24402)含矿层岩石地球化学异常特征,判断隐伏矿体与该钻孔的空间位置关系(是全浅带,或是矿体东界,或是矿体西界?),元素含量及比值的数值变化范围可进一步推测施工钻孔与矿体中心的距离,指示下一个钻孔(ZK24404)应该布设的位置及深度,最大可能地揭露矿体中心。以地球化学异常模式为基础,根据 ZK24402 钻孔元素含量变化的数值范围,判断其只揭露到全浅带,且距离矿体不远。因

维普资讯 http://www.cqvip.com

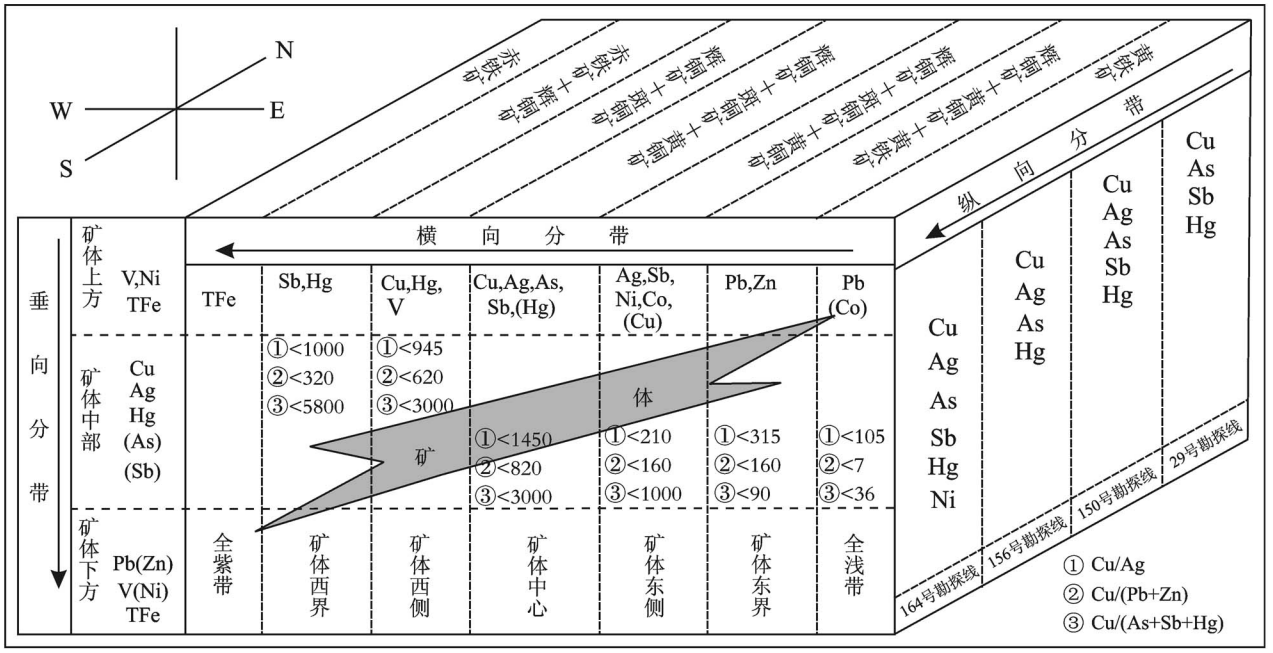


图 7　六苴铜矿床地球化学异常模式图

Fig. 7　Geochemical anomaly pattern of Liuju copper depisit

此，将之后施工的 ZK24404 钻孔向西（靠近矿体一侧）偏移一定距离布设，结果成功揭露到铜矿体。

6　结　语

六苴砂岩型铜矿床地球化学异常模式还有待于通过更多的见矿工程不断地总结和完善。笔者所在的课题组以六苴铜矿床为尝试，建议具备相关条件的地质单位和工作者共同丰富我国陆相砂岩型铜矿床的地球化学异常模式，并深入研究其形成机理，服务于该类型铜矿床的找矿工作。

研究过程中得到昆明理工大学国土资源工程学院王学琨教授、胡煜昭副教授、吴静副教授以及云南省有色地质楚雄勘查院辛荣、郭强的大力帮助，在此一并致谢！

参考文献(References)：

[1] 吴鹏，韩润生，邹海俊，闵朝龙，李路乔，郭学兵，辛荣．大姚六苴铜矿床小河-石门坎矿段地层地球化学[J]．地质与勘探，2007，43(3)：51－55.
Wu Peng, Han Run-sheng, Zou Hai-jun, Min Chao-long, Li Lu-qiao, Guo Xue-bing, Xin Rong. Stratigraphic geochemistry of Xiaohe-Shimenkan ore block in the Liuju copper deposit at Dayao, Yunnan [J]. Geol Prosp, 2007, 43(3): 51－55 (in Chinese with English abstract).

[2] 李雷．对滇中砂岩铜矿的再认识[J]．地质与勘探，1988，24(5)：11－18.
Li Lei. A further genetic study of the cupreous sandstone deposits in central Yunnan[J]. Geol Prosp, 1988, 24(5): 11－18 (in Chinese with English abstract).

[3] 冉崇英，庄汉平．楚雄盆地铜、盐、有机矿床组合地球化学[M]．北京：科学出版社，1998：10－16.
Ran Chong-ying, Zhuang Han-ping. Geochemistry of Copper, Salt and Organic Associated Deposits in the Chuxiong Basin, Yunnan [M]. Beijing: Science Press, 1998: 10－16 (in Chinese).

[4] 陈根文，夏斌，吴延之，钟志洪，王国强．沉积岩对楚雄盆地砂岩铜矿成矿的控制[J]．矿物岩石，2002，22(3)：24－28.
Chen Gen-wen, Xia Bin, Wu Yan-zhi, Zhong Zhi-hong, Wang Guo-qiang. Controls of sedimentary rock on sandstone-hosted copper deposits in Chuxiong basin [J]. J Mineral Petrol, 2002, 22(3): 24－28 (in Chinese with English abstract).

[5] 陈根文，吴延之，夏斌，王核，钟志洪，王国强．楚雄盆地砂岩铜矿床同位素特征及矿床成因[J]．大地构造与成矿学，2002，26(3)：279－284.
Chen Gen-wen, Wu Yan-zhi, Xia Bin, Wang He, Zhong Zhi-hong, Wang Guo-qiang. Isotopic characteristics and genesis of sandstone-type copper deposits in the Chuxiong basin, Yunnan province[J]. Geotecton Metallogen, 2002, 26(3): 279－284 (in Chinese with English abstract).

[6] 成冶．我国某地区砂岩铜矿床的成因及控矿因素的初步探讨[J]．地质学报，1975，38(1)：28－44.
Cheng Ye. A preliminary study on the genesis and controlling factors of the copper-bearing sandstone deposit in a certain district of China [J]. Acta Geol Sinica, 1975, 38(1): 28－44 (in Chinese with English abstract).

维普资讯 http://www.cqvip.com

[7] 崔银亮，王学琨．滇中地区砂岩铜矿成矿过程中的有机质作用[J]．云南地质，1994，13(1)：42－47.
Cui Yin-liang, Wang Xue-kun. The role of organic matter in formation of the sandstone type Cu deposit in central Yunnan[J]. Yunnan Geol, 1994, 13(1): 42－47 (in Chinese with English abstract).

[8] 徐一仁，张素华．不同成因观点在砂岩铜矿找矿中的应用和比较[J]．浙江师范大学报(自然科学版)，1996，19(3)：98－103.
Xu Yi-ren, Zhang Su-hua. Application and comparison of different views on causing of formation in the prospect for sandrock copper [J]. J Zhejiang Normal Univ (Nat Sci), 1996, 19(3): 98－103 (in Chinese with English abstract).

[9] 冉崇英，刘卫华．康滇地轴铜矿床地球化学与矿床层楼结构机理[M]．北京：科学出版社，1993：56－71.
Ran Chong-ying, Liu Wei-hua. Geochemistry of Copper Deposits and Their Mechanism of Storeyed Texture in Kangdian Axis [M]. Beijing: Science Press, 1993: 56－71 (in Chinese).

[10] 张可清，熊鹏飞．滇中砂岩铜矿成矿作用和成矿模式[J]．地球科学，1995，20(2)：199－202.
Zhang Ke-qing, Xiong Peng-fei. Minerogenesis and minerogenic model of sandstone-type copper deposit in central Yunnan province [J]. Earth Sci, 1995, 20(2): 199－202 (in Chinese with English abstract).

[11] 吴承烈．建立矿产地球化学模型－模式系统 [J]．物探与化探，1993，17(3)：161－165.
Wu Cheng-lie. The establishment of the geochemical model-pattern system for ore resources [J]. Geophys Geochem Explor, 1993, 17(3): 161－165 (in Chinese with English abstract).

[12] 孙保平，王宗炜，王云．河南桐柏破山银矿床原生地球化学异常模式[J]．西北地质，2007，40(1)：61－70.
Sun Bao-ping, Wang Zong-wei, Wang Yun. Model of primary geochemical anomalies of the Poshan silver deposit in Tongbai County, Henan Province [J]. Northwest Geol, 2007, 40(1): 61－70 (in Chinese with English abstract).

[13] 张忠，张兴茂，张宝贵．南华砷铊矿床元素地球化学和成矿模式[J]．地球化学，1998，27(3)：269－275.
Zhang Zhong, Zhang Xing-mao, Zhang Bao-gui. Elemental geochemistry and metallogenic model of Nanhua As-Tl deposit in Yunnan province, China [J]. Geochimica, 1998, 27(3): 269－275 (in Chinese with English abstract).

[14] Murray R W, ten Brink M R B, Gerlach D C, Russ G P, Jones D L. Rare earth, major, and trace element composition of Monterey and DSDP chert and associated host sediment: Assessing the influence of chemical fractionation during diagenesis[J]. Geochim Cosmochim Acta, 1992, 56(7): 2657－2671.

[15] Dickinson W R, Suczek C A. Plate tectonics and sandstone compositions[J]. AAPG Bull, 1979, 63(12): 2164－2182.

[16] Bhatia M R. Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudrocks: Provenance and tectonic control [J]. Sediment Geol, 1985, 45(1/2): 97－113.

[17] Roser B P, Korsch R J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO_2 content and K_2O/Na_2O ratios [J]. J Geol, 1986, 94(5): 635－650

[18] Roser B P, Korsch R J. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data[J]. Chem Geol, 1988, 67(1/2): 119－139.

[19] 黄崇轲，白冶，朱裕生．中国铜矿床(下册)[M]．北京：地质出版社，2001：558－592.
Huang Chong-ke, Bai Ye, Zhu Yu-sheng. Copper Deposits in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001: 558－592 (in Chinese).

[20] 李杏茹，王永智．云南六苴铜矿床控矿因素分析[J]．甘肃冶金，2005，27(4)：19－21.
Li Xing-ru, Wang Yong-zhi. Analysis on controlling ore-forming factors of Liuju copper deposit in Yunnan[J]. Gansu Metall, 2005, 27(4): 19－21 (in Chinese with English abstract).

[21] 涂光炽．中国层控矿床地球化学(第一卷)[M]．北京：科学出版社，1984：257－259.
Tu Guang-zhi. Geochemistry of Strata-Bound Ore Deposits in China (Volume 1) [M]. Beijing: Science Press, 1984: 257－259 (in Chinese).

[22] 周永章，Guha J，Chown E H，卢焕章．元素迁移的分维结构、级序路径及共轭地球化学异常存在的理论依据 [J]．地球化学，1995，24(1)：69－75.
Zhou Yong-zhang, Guha J, Chown E H, Lu Huan-zhang. Fractal structure and hierarchical paths of element migration and conjugate geochemical anomalies [J]. Geochimica, 1995, 24(1): 69－75 (in Chinese with English abstract).

[23] 戴塔根，龚铃兰，张起钻．应用地球化学[M]．长沙：中南大学出版社，2005：257－258.
Dai Ta-gen, Gong Ling-lan, Zhang Qi-zuan. Applied Geochemistry [M]. Changsha: Central South University Press, 2005: 257－258 (in Chinese).

[24] 刘英俊，邱德同．勘查地球化学 [M]．北京：科学出版社，1987：15－16.
Liu Ying-jun, Qiu De-tong. Exploration Geochemistry [M]. Beijing: Science Press, 1987: 15－16 (in Chinese).