

王明志, 韩润生, 王雷, 等. 滇西北北衙金矿床万硐山—笔架山矿段构造地球化学特征[J]. 中国地质, 2016, 43(1): 238–248.

Wang Mingzhi, Han Runsheng, Wang Lei, et al. Tectono–geochemical characteristics of Wandongshan–Bijiashan ore block in the Beiya Au–pymetallic deposit, northwestern Yunnan[J]. *Geology in China*, 2016, 43(1): 238–248(in Chinese with English abstract).

## 滇西北北衙金矿床万硐山—笔架山矿段构造 地球化学特征

王明志 韩润生 王雷 刘飞 郭钰心 玥 谭威

(昆明理工大学国土资源工程学院 有色地质调查中心 西南地质调查所, 云南昆明 650093)

**摘要:** 滇西北北衙金矿床是与富碱斑岩有关的矽卡岩—斑岩型金多金属矿床, 矿床的分布与接触带构造及斑岩体产出的断裂构造息息相关, 这为构造地球化学勘查技术应用奠定了基础。笔者通过 R 型聚类分析和因子分析得到 2 个元素组合: Au–Ag–Fe–Cu–Sb–Hg–Sn–Pb–Co–Mo; Zn–Pb, 绘制元素组合构造地球化学异常图。据图可以推测成矿流体的运移方向、矿体产状, 同时认为笔架山矿段成矿规模虽较万硐山矿段小, 但是具有较大勘查潜力。

**关键词:** 矿田(床)构造地球化学; 斑岩型金多金属矿床; R 型因子分析; 万硐山矿段; 云南北衙

中图分类号: P632; P618.51; P614 文献标志码: A 文章编号: 1000–3657(2016)01–0238–11

### Tectono–geochemical characteristics of Wandongshan–Bijiashan ore block in the Beiya Au–polymetallic deposit, northwestern Yunnan

WANG Ming–zhi, HAN Run–sheng, WANG Lei, LIU Fei, GUO Yuxinyue, TAN Wei

(Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology; Southwest Institute of Geological Survey, China Nonferrous Geological Survey, Kunming 650093, Yunnan, China)

**Abstract:** Located in northwest Yunnan, the Beiya gold deposit is a skarn porphyry type gold polymetallic deposit with rich alkali. The distribution of orebodies is related to structure and porphyry, which constitutes the basis for the application of the tectono–geochemical method. Through R type cluster analysis and factor analysis, the authors recognized two combinations of elements. One is Au–Ag–Fe–Cu–Sb–Hg–Sn–Pb–Co–Mo, and the other is Zn–Pb. Then the authors used them to draw a tectono–geochemical map, which included the combination of elements and anomalies. With the map, the authors detected the migration direction of the ore–forming fluid and the location of the orebody. It is held that the Bijia Mountain has a relatively good exploration potential.

**Key words:** tectono–geochemistry; porphyry–type gold polymetallic deposit; R–factor analysis; Wandongshan ore block; Beiya, Yunnan

**About the first author:** WANG Ming–zhi, male, born in 1990, master candidate, majors in tectono–geochemistry; E–mail:

收稿日期: 2014–12–31; 改回日期: 2015–05–06

**基金项目:** 中国地质调查局“滇西北北衙北段金多金属矿区控矿构造解析与找矿预测”项目(12120113095900)、云南省矿产资源与评价工程实验室(2012)、地质过程与矿产资源省创新团队及云南省高校和昆明理工大学成矿动力学与隐伏矿预测创新团队项目资助。

**作者简介:** 王明志, 男, 25 岁, 硕士生, 构造地质学; E–mail: 372180494@qq.com。

**通讯作者:** 韩润生, 男, 1964 年生, 研究员, 博士生导师, 构造成矿动力学及隐伏矿预测研究方向; E–mail: 554670042@qq.com。

372180494@qq.com.

**About the corresponding author:** HAN Run-sheng, male, born in 1964, senior researcher, supervisor of doctor candidates, the dynamics of tectonic ore-forming processes and prognosis of concealed ores; E-mail: 554670042@qq.com.

**Fund support:** Supported by China Geological Survey Program (No.12120113095900), Projects for Yunnan Engineering Laboratory of Mineral Resources Prediction and Evaluation (YM lab) (2012), Yunnan Innovation Team for Geological Processes and Mineral Resources, Innovation Team of Universities in Yunnan Province and KUST for Metallogenic Dynamics and Concealed Deposit Prediction.

因子分析(即从变量群中提取共性因子的统计技术)现已被广泛应用于地质学的多个领域,其目的就是要找出数目较少,彼此独立的新的基本变量,结合实际地质情况进行分析<sup>[1]</sup>。因子分析方法能发挥出其解决复杂地质成因及矿化叠加问题,并能够识别出与成矿作用最密切的叠加地球化学场的元素组合,为地质勘查找矿工作提供技术支持<sup>[2-5]</sup>,同时对元素组合特征推算、解释成矿过程和成矿元素的迁移、富集规律,划分成矿阶段,推断成矿物质来源具有重要作用<sup>[6-7]</sup>。因子得分值及构造地球化学异常是勘查地球化学中经常应用的参数之一<sup>[8]</sup>,利用因子得分值研究某种地质作用的空间特征,是经常采用的方法之一<sup>[3-8]</sup>。断裂构造地球化学紧紧围绕成矿作用的空间和元素的运动两大基本地质问题,探讨构造应力场控制下成矿流体运移规律及地球化学元素的演化过程,揭示成矿物质组分在各种构造环境中的赋存规律<sup>[9]</sup>,结合因子分析方法,为明显受构造控制的铅、锌、金、铜等多金属矿床深部找矿与快速评价中广泛应用创造了条件<sup>[9]</sup>。随着断裂构造地球化学、改造成矿作用理论逐步深化,构造控矿-成矿规律不断完善,断裂构造地球化学在重要成矿区(带)多金属矿床研究中优势逐渐凸现<sup>[7]</sup>。

北衙超大型 Au 矿床具有多期多阶段成矿特点。在矿床研究过程中,前人将多期岩浆热液作用与多期矿化作用的识别作为进行成矿作用研究与找矿勘探的突破口<sup>[10-11]</sup>。对此,前人也曾尝试运用因子分析方法结合近北向和近东西向断裂对此区进行研究,并得出一些认识:①富碱斑岩浆活动晚期的热液作用阶段为金的主矿化阶段,偏碱性斑岩(正长斑岩、石英正长斑岩)活动比偏酸性斑岩(花岗斑岩、石英二长斑岩)活动更有利于金矿化<sup>[11]</sup>;②断裂接触带是矿区内重要的控矿因素与成矿作用过程的历史载体<sup>[10]</sup>。因此要总结北衙成矿规律,离不开偏碱性斑岩体(正长斑岩、石英正长斑岩)以及成矿断裂构造的研究。对金矿床成矿构造的研究,

前人积累了丰富的经验<sup>[12-15]</sup>,并为成矿预测提供了依据,例如:大坪金矿受区域性红河—哀牢山断裂控制,小新街断裂是其导矿构造,次级断裂带构成了其容矿构造,断裂带中构造应力引张部位为金矿的矿化富集带<sup>[15]</sup>。前人对矿床碱性斑岩岩石学、矿床地质特征、控矿因素、成矿流体、矿床成因、成矿年代学等方面做了大量工作<sup>[16-28]</sup>,取得显著成果。为此,本论文侧重从成矿构造方面进行研究,并结合碱性斑岩体及其周围蚀变体,尝试应用大比例尺构造蚀变填图与构造地球化学研究,揭示万嗣山矿段及其外围的构造蚀变体的地球化学特征,为找矿预测提供依据。

## 1 矿床地质概况

北衙金多金属矿床位于扬子地块西缘之盐源—丽江台褶皱带南端,被夹持在金沙江—红河断裂,丽江—木里断裂和宾川—程海断裂之间,总体上处于扬子地块与“三江”褶皱系的结合部位。矿田总体上受南无山复式背斜东翼的 NNE 向次级向斜构造控制,地形上表现为被第四纪冲层覆盖的 SN 向山间盆地。东西两个矿段就分布于盆地两侧。区内主要分布南北向构造,此方向断裂与石英正长斑岩体走向大体一致,也与笔架山、桅杆坡地段产出矿体走向一致。矿田内还分布有东西向断裂及北西向断裂。

矿区出露地层主要为第四系(Q)更新统与全新统的紫红色—黄褐色残坡积砂砾岩及黏土。下三叠统黄绿色、灰绿色、灰黑色砂泥岩及含玄武质火山碎屑岩的砂砾岩。中三叠统北衙组为白云岩、白云质灰岩、铁质灰岩、蠕虫状生物碎屑灰岩及泥质灰岩,该组为主要赋矿围岩。在矿区外围还出露二叠系峨眉山玄武岩。

矿区发育基性、中性、酸性以及碱性岩浆岩。华力西期以玄武岩为主,早喜马拉雅期主要为石英钠长斑岩、煌斑岩脉,喜马拉雅中期主要为石英正

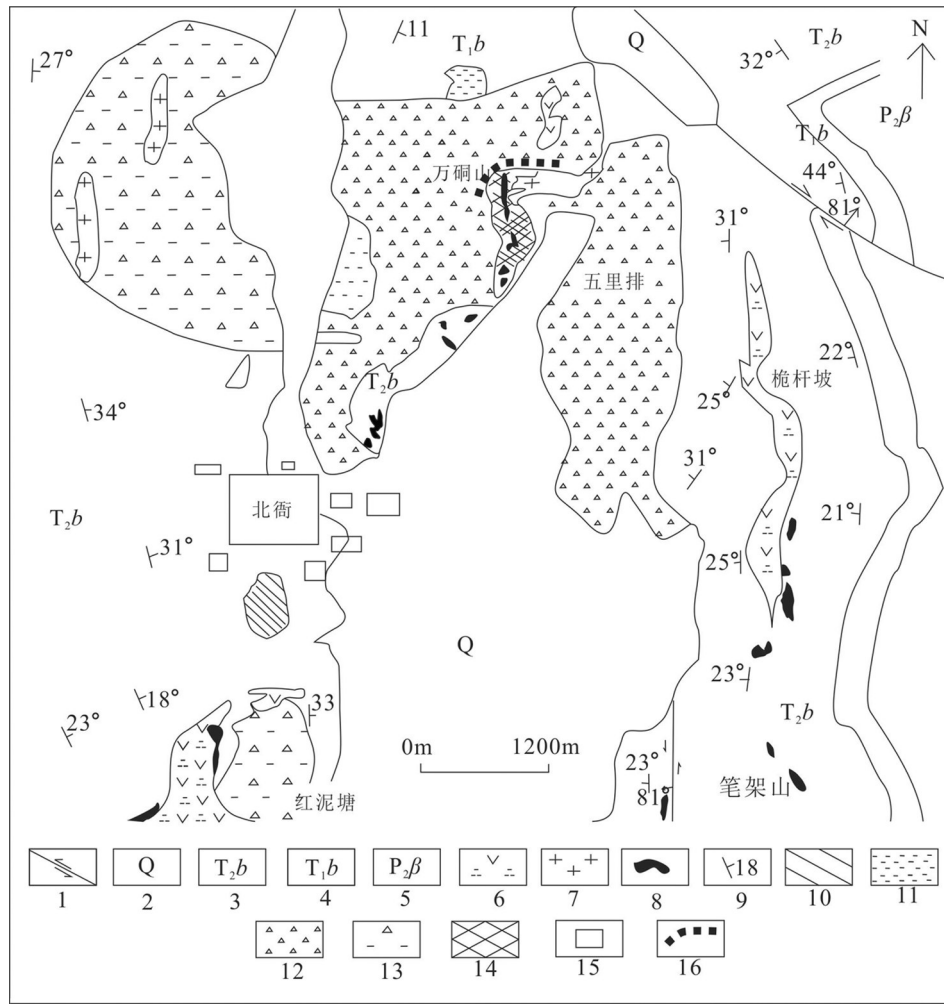


图1北衙矿田地质简图(据文献[18]修改)

- 1—走滑断层; 2—第四系; 3—中三叠北衙组灰岩; 4—下三叠统砂岩; 5—二叠系玄武岩; 6—石英正长斑岩; 7—黑云母正长斑岩;
- 8—铁矿体; 9—地层产状; 10—岩溶灰岩角砾; 11—灰岩碎粒岩; 12—灰岩角砾岩; 13—隐爆角砾岩筒;
- 14—糖粒状灰岩; 15—村庄; 16—万洞山剖面

Fig. 1 Geological sketch map of the Beiya orefield

- 1—Strike-slip fault; 2—Quaternary sediments; 3—Middle Triassic limestone; 4—Lower Triassic sandstone; 5—Upper Permian basalt;
- 6—Quartz-K-feldspar porphyry; 7—Biotite-K-feldspar porphyry; 8—Gold-bearing iron orebody; 9—Attitude of bedding;
- 10—Karst collapsed breccia; 11—Hydrothermal explosive deposit; 12—Hydrothem breccia; 13—Hydrothermal breccia pipe;
- 14—Yellow saccharoidal limestone; 15—Village; 16—Wandongshan section

长斑岩、正长斑岩、震碎角砾岩、隐爆角砾岩等,喜马拉雅晚期为黑云母正长斑岩与煌斑岩脉。矿区喜马拉雅期富碱斑岩发育。按岩石成分与矿物组成为钠长斑岩、石英正长斑岩、黑云正长斑岩和云煌岩;其中喜马拉雅中期的石英正长斑岩与金多金属成矿作用关系最密切<sup>[9]</sup>。该矿床与新生代哀牢山—金沙江富碱侵入岩带的斑岩体成矿关系密切<sup>[9]</sup>,富碱斑岩(石英正长斑岩)属于钾质碱性岩系

列,它不仅为含矿流体的上升提供了动力和热能,而且还是成矿物质和成矿流体的主要来源。

主要原生矿石为:黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、磁铁矿、菱铁矿、方铅矿、褐铁矿、毒砂、闪锌矿、水铁钒。斑岩体蚀变主要为钾化、硅化、绿泥石化、绿帘石化;斑岩体与围岩接触见矽卡岩化;围岩蚀变主要为硅化、方解石化、褐铁矿化。根据图2手标本及镜下矿物结构,碱性岩浆岩带来的成矿热液与碳

酸盐围岩接触交代成矿作用明显。

矿田中有2类成矿系统:一是以斑岩体为中心向围岩,逐渐形成斑岩型、矽卡岩型、热液型等矿床,构成斑岩型金多金属成矿系统,根据成因类型及成矿阶段的不同可进一步分为:①岩浆热液成矿作用的斑岩型矿床;②接触交代成矿作用的矽卡岩型金、铁、铜、银矿床;③热液脉型热液矿床。各种矿化类型随成矿作用的空间分布不同而变化,有独立成因类型矿床,也有相互叠置形成复合型矿床<sup>[9]</sup>。二是表生金成矿系统,形成红土型或氧化型金矿床。

## 2 构造地球化学研究依据及方法

### 2.1 构造地球化学勘查技术应用的主要依据

该矿床是明显受构造控制的金属矿床,构造对成矿元素的迁移、富集和成矿物理条件的变化起着十分重要的作用。

断裂构造是成矿流体活动和矿质聚散的有利通道和场所,与围岩相比,断裂构造岩中蕴藏着有关成矿物质聚散的丰富信息,而且深部矿体与其周围的矿化原生晕通过断裂、裂隙相联系,并在元素组合上具有对应性和一致性。因此,矿体浅部的构造地球化学异常能更好地显示深部的矿化异常,反

映深部成矿作用的特点。

采用多个成矿元素组合可以发现单个成矿元素难以确定的异常信息,通过线性或非线性分析方法可以强化矿化的异常<sup>[2]</sup>。

### 2.2 研究方法

参照构造地球化学精细勘查技术流程<sup>[2]</sup>,在本区按如下程序进行。

(1)构造精细解剖:进行构造、蚀变地球化学剖面实测,分析构造、蚀变与成矿的关系。

(2)样品采集及分析:系统采集不同方向-性质断裂构造岩及蚀变岩。重点采集构造及蚀变明显地段。分析方面,根据研究内容不同,其精度可以适当调整。

(3)元素组合分析:首先进行元素的R型聚类分析,通过各元素元素地球化学行为<sup>[2]</sup>特点,结合地质实际合理解释元素组合的地质意义;再次筛选出聚类组合中与矿化有关元素进行R型因子分析。

(4)总结构造地球化学异常特征

(5)绘制构造地球化学异常图,进行找矿预测。

## 3 构造地球化学勘查技术应用

### 3.1 构造精细解剖

首先在万硐山采坑内实测一条1:1000剖面(图

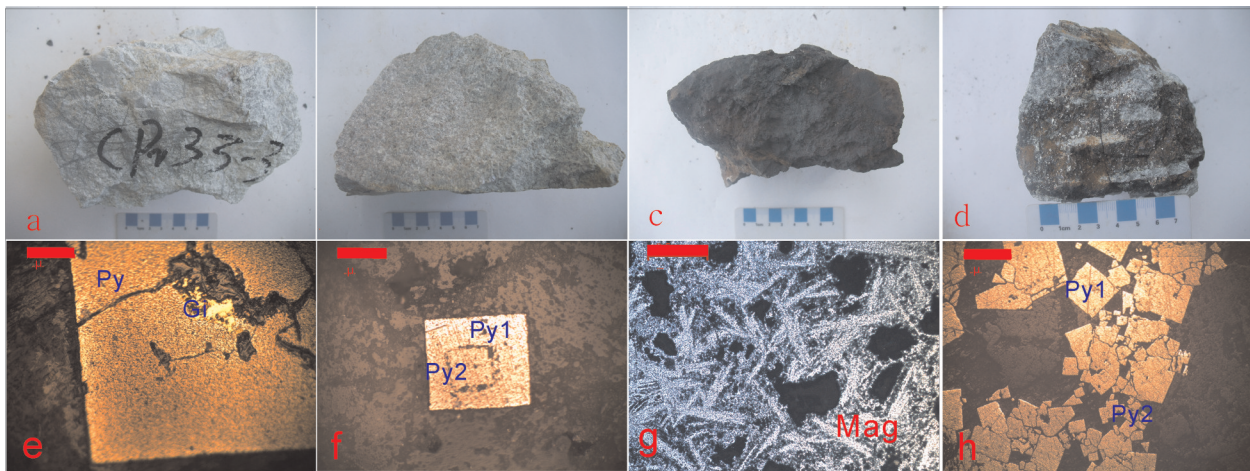


图2 典型蚀变、矿化手标本及镜下照片(样品来源于万硐山剖面)

a—硅化石英正长斑岩,具星点状黄铁矿与石英脉;b—钾长石化石英正长斑岩;c—磁铁矿石,具红色赤铁矿;d—斑岩与灰岩接触带矿石,具石英脉、星点状黄铁矿、黄铜矿;e—交代充填结构:黄铜矿(Cp)沿黄铁矿(Py)裂隙充填交代;f—不同世代黄铁矿(Py1、Py2);g—具磁铁矿-赤铁矿假象的穆磁铁矿(Mag);h—前期黄铁矿(Py1)被后期黄铁矿(Py2)溶蚀

Fig.2 Typical alteration-mineralization of specimen and photomicrographs

a—Quartz-K-feldspar porphyry with star-shaped pyrite and quartz veins; b—Quartz-K-feldspar porphyry with K-feldspathization; c—Magnetite ore with hematite; d—Porphyry and limestone of contact zone, with ore-containing star-shaped pyrite, quartz veins and chalcopyrite; e—Metasomatic filling structure: chalcopyrite (Cp) filling pyrite (Py) fissure; f—Different generations of pyrite (Py1, Py2); g—Mu magnetite (Mag) with pseudomorph of magnetite-hematite; h—Early pyrite (Py1) dissolved by late pyrite (Py2)

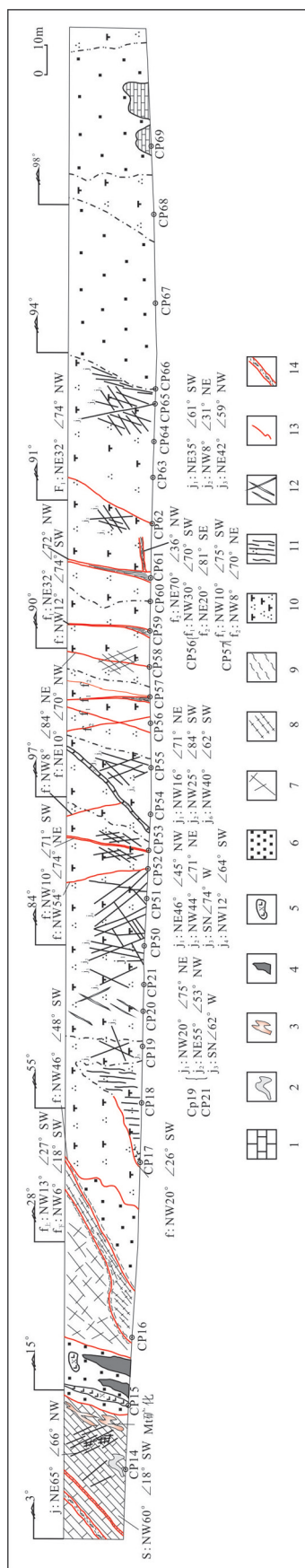


图3 万铜山实测剖面

1—灰岩; 2—灰色泥质灰岩; 3—MT矿化; 4—灰岩残块; 5—煌斑岩; 6—MT矿体; 7—灰黄色碎裂灰岩, 具褐铁矿化、磁铁矿化; 8—灰色灰质碎裂岩, 具褐铁矿化、磁铁矿化、绿泥石化; 9—断层; 10—土黄色风化石英英正长斑岩, 多呈碎裂、碎粉状; 11—石英正长斑岩, 具绿帘石化, 垂直裂隙发育并充填黄铁矿、磁铁矿脉; 12—石英脉; 13—断层; 14—一层间断裂

Fig. 3 Measured Wandongshan section

1—Limestone; 2—Gray argillaceous limestone; 3—MT mineralization; 4—Debris of limestone; 5—Lamprophyre; 6—MT orebody; 7—Sallow cracked limestone containing limonite and magnetite; 8—Gray cracked limestone containing magnetite and chlorite; 9—Gouge; 10—Weathered khaki quartz-K-feldspar porphyry in cracked and powdered forms; 11—Quartz-K-feldspar porphyry with epidotization and vertical cracks filled with pyrite and magnetite; 12—Quartz vein; 13—Fault; 14—Interlayer fault

3), 进行构造精细解剖。剖面中典型容(储)矿构造特征: 点 Cp59~2、Cp53~1 和 Cp54~2 这组构造岩金含量达工业品位, Cp59~2 品位达 50 g/t, 裂面呈舒缓波状, 产状大致都为 NW 12°∠74° SW, 这些特征反映了部分容(储)矿构造为 SN 向断裂构造, 其主压应力方向近 EW。点 Cp21 和 Cp56 这组构造岩金含量达工业品位, Cp56-1 品位达 10 g/t, 其发育 1 组平直共轭节理, 产状为 NW 30°∠70° SW 和 NE 20°∠81° SE, 反映了部分容(储)矿构造其主压应力为近南北向。综合认为, 矿田内与成矿有关构造至少存在 2 期, 早期东西向挤压, 晚期南北向挤压。成矿前 EW 向挤压形成的 NS 向构造为导矿构造, 成矿期 EW 向挤压转变为 NS 向挤压, 使的原本 NS 向的压性断裂构造变为张性构造, 这些构造加上其次一级的构造为储矿构造。

### 3.2 样品采集及分析

系统采集不同方向-性质断裂构造岩及蚀变岩 39 件。其次, 根据断裂构造地球化学研究的方法开展构造研究, 在万铜山外围系统采集 168 件构造岩和蚀变岩。每件样品 1~2 kg, 全部样品在实验室研磨至 200 目, 并缩分成测试样品, 由澳实矿物实验室(广州)岩矿样测试分析及实验, 岩石主量分析采用 ME-XRF26, 痕量、微量多元素分析采用 ME-MS61, 稀土微量多元素分析采用 ME-MS81, Hg 采用 (+)-MS42: As-Sb-Hg-Te 方法, Au(Au-AA23) 采用金-火试法)。测试样品中增加 5% 的平行样, 经检测测试数据质量合格。

### 3.3 元素组合分析

运用数理统计方法对 207 件样品进行元素组合分析, 绘制剖面及平面构造地球化学异常图, 用以阐述构造地球化学特征, 优选重点找矿靶区, 进行定位及预测。

#### 3.3.1 聚类分析

研究构造与成矿元素迁移、集中和分散之间的控制关系, 是构造地球化学研究的重要内容之一, 为此分别对剖面中的 39 件构造岩、蚀变岩和万铜山外围的矿化岩样品 168 件选择测试数据符合多峰分布且与成矿关系密切的元素做 R 型聚类分析。对前者作了 Al、As、Ba、CaO、Co、Cr、Cu 等 32 个元素的定量分析, 对后者作了 Al、Ca、Hg、Au 等 30 个元素的定量分析。按照完全距离系数连接及 1-Pearson R 相关

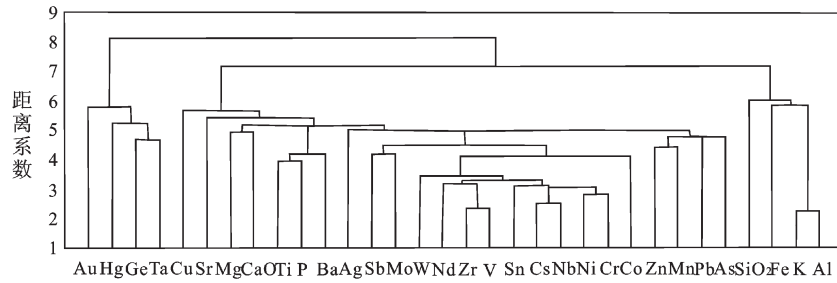


图4 万铜山剖面R型聚类分析谱系图

Fig. 4 Dendrogram of R-cluster analysis for the Wandongshan section

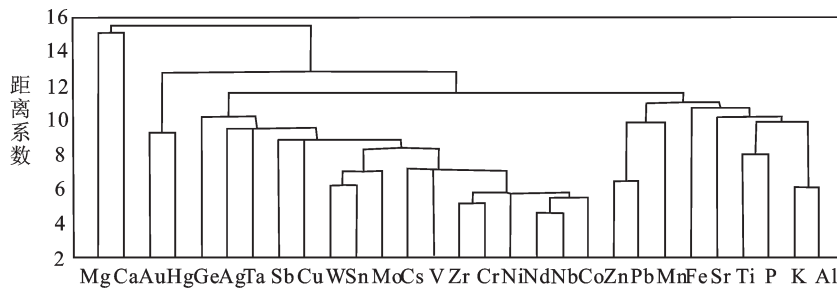


图5 万铜山外围矿化样品R型聚类分析谱系图

Fig. 5 Dendrogram of R-cluster analysis for mineralization of specimen from Wandongshan area

系数,得到R型聚类分析谱系图4、图5。

据谱系图(图4)可知剖面中元素组合有以下规律:当距离系数为6时,Au、Hg、Ge、Ta; Cu、Sr、Mg、CaO、Ti、P、Ba、Ag、Sb、Mo、W、Nd、Zr、V、Sn、Cs、Nb、Ni、Cr、Zn、Mn、Pb、As; Si、Fe、K、Al等元素可分为3组元素组合。结合矿床地质特征,第1组代表与Au矿化有关的低温矿化元素组合;第2组距离系统降低到4时又可细分为: Sr、Mg、CaO代表碳酸盐岩的元素组合, Ti、P、Ba代表基性岩浆活动有关的元素组合, Ag、Sb、Mo、W、Nd、Zr、V、Sn、Cs、Nb、Ni、Cr代表酸性斑岩体侵入活动以及提供的一些高温矿化元素组合, Zn、Mn、Pb、As代表低温矿化元素组合;第3组代表硅酸岩中铁矿化元素组合。

万铜山矿段外围矿化样品R型聚类分析谱系图(图5)有如下特征:当距离系数在11时,分为4组元素组合: Mg、Ca代表碳酸盐岩的元素组合; Au、Hg代表低温矿化元素组合, Ge、Ag、Ta、Sb、Cu、W、Sn、Mo、Cs、V、Zr、Cr、Ni、Nd、Nb、Co代表酸性斑岩体侵入活动以及提供的一些高温矿化元素组合, Zn、Pb、Mn、Fe、Sr、Ti、P、K、Al代表硅酸岩中的低温铅锌矿化元素组合以及铁矿化元素组合。

表1 万铜山矿段构造岩蚀变岩R型因子分析方差极大旋转载荷矩阵

Table 1 Varimax rotation factor load matrix for tectonites in a section of Wandongshan ore block

元素	因子1	因子2	因子3	因子4
Co	0.583	0.153	-0.435	0.020
Cu	0.851	-0.175	0.014	-0.240
Fe	0.869	0.297	-0.025	0.073
Mo	0.517	-0.509	0.464	0.039
Pb	0.695	0.430	0.137	-0.073
Sn	0.699	-0.099	-0.249	0.329
Zn	0.056	0.755	-0.032	0.051
Ag	0.889	0.011	-0.187	-0.173
Ge	0.477	0.420	0.535	0.206
Hg	0.756	-0.098	0.056	-0.051
Au	0.926	-0.169	-0.054	-0.105
Cs	0.286	-0.290	-0.121	0.452
Sb	0.845	-0.123	0.068	-0.013
方差贡献百分率/%	0.485	0.114	0.064	0.036

### 3.3.2 因子分析

综合考虑剖面中构造蚀变岩样品元素组合分析的结果,从中优选与矿化关系密切的13个元素,作为剖面成矿元素研究的主要指示元素:Co、Cu、Fe、Mo、Pb、Sn、Zn、Ag、Ge、Hg、Au、Cs、Sb。参考外围矿化样品元素组合分析结果,选择11个与矿化关系密切的元素,并且作为断裂构造岩原生晕研究的主要指示元素:Cu、Fe、Mo、Pb、Zn、Sn、W、Ag、Ge、Au、Sb。

对矿段构造岩蚀变岩样品进行R型因子分析(表1),按照累计方差贡献值达70%取因子数,把表每列载荷大于0.5的元素作关联成员,从而得到2个主因子:F1: Au、Ag、Fe、Cu、Sb、Hg、Sn、Pb、Co、Mo; F2: Zn、Pb、Mo。分析认为F1与Cu、Au、Fe有关的高温矿化元素组合;F2与Pb、Zn有关低温矿化元素组合。根据因子分析还可以得到各样品在各因子组中的得分值,结合取样位置绘制剖面构造地球化学异常图(图6)。

对万洞山外围矿化样品进行R型因子分析(表2),按照累计方差贡献值达70%取因子数,把表中每列载荷大于0.5的元素作关联成员,从而得到2个主因子:F1: Fe、Cu、Sb、W、Ag、Au、Mo、Zn、Pb、Sn、Ge; F2: Pb、Zn。与剖面R型因子分析结果差异不大,同样根据各样品在各因子组中的得分,绘制平

面的构造地球化学异常图(图7)。

### 3.4 构造地球化学异常特征

据图6构造地球化学剖面异常图:高温矿化元素组合整体呈现一个中间高两边低的特征,部分点有差异,高值集中于硅化带和钾化带;低温矿化元素组合整体呈现一个中间低两边高(低)的特征,同样部分点有差异,高值集中于边缘氧化带。

在万洞山矿段外围第四系沉积物覆盖较多,由于第四系植被、地貌、地形等因素无法取到代表成矿作用的构造蚀变岩,因此异常图的空白较多。构造地球化学异常特征:主要异常集中在万洞山矿段和笔架山矿段。万洞山矿段构造地球化学异常长约1500 m,宽约1000 m,走向近南北。高、低温因子异常呈现叠加关系,内环为高温因子。笔架山矿段主要异常长约1000 m,宽约500 m,走向近南北,并且异常沿着南北向断裂继续延伸超过2000 m。高、低温因子异常同样呈现叠加关系,中心为高温因子异常外围为低温因子异常。高、低温异常叠加的特点与万洞山短剖面构造地球化学异常一致。

### 3.5 构造地球化学的主要特点

前人总结的构造地球化学异常特点<sup>[8]</sup>,在该区也有类似特征:

(1)构造地球化学异常可指示重点找矿靶区与

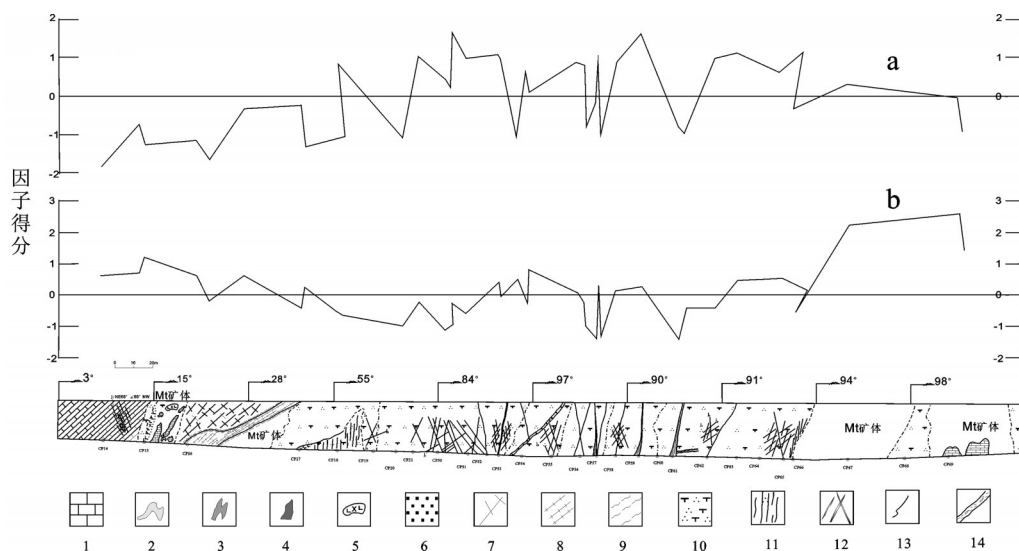


图6 万洞山矿段剖面构造地球化学异常图

a—高温矿化因子组合得分;b—低温矿化因子组合得分(其他图例见图3)

Fig. 6 The tectono-geochemical anomaly map in a profile from the Wandongshan ore block

a—Factor scores of high temperature mineralization; b—Factor scores of low temperature mineralization (other symbols as for Fig. 3)

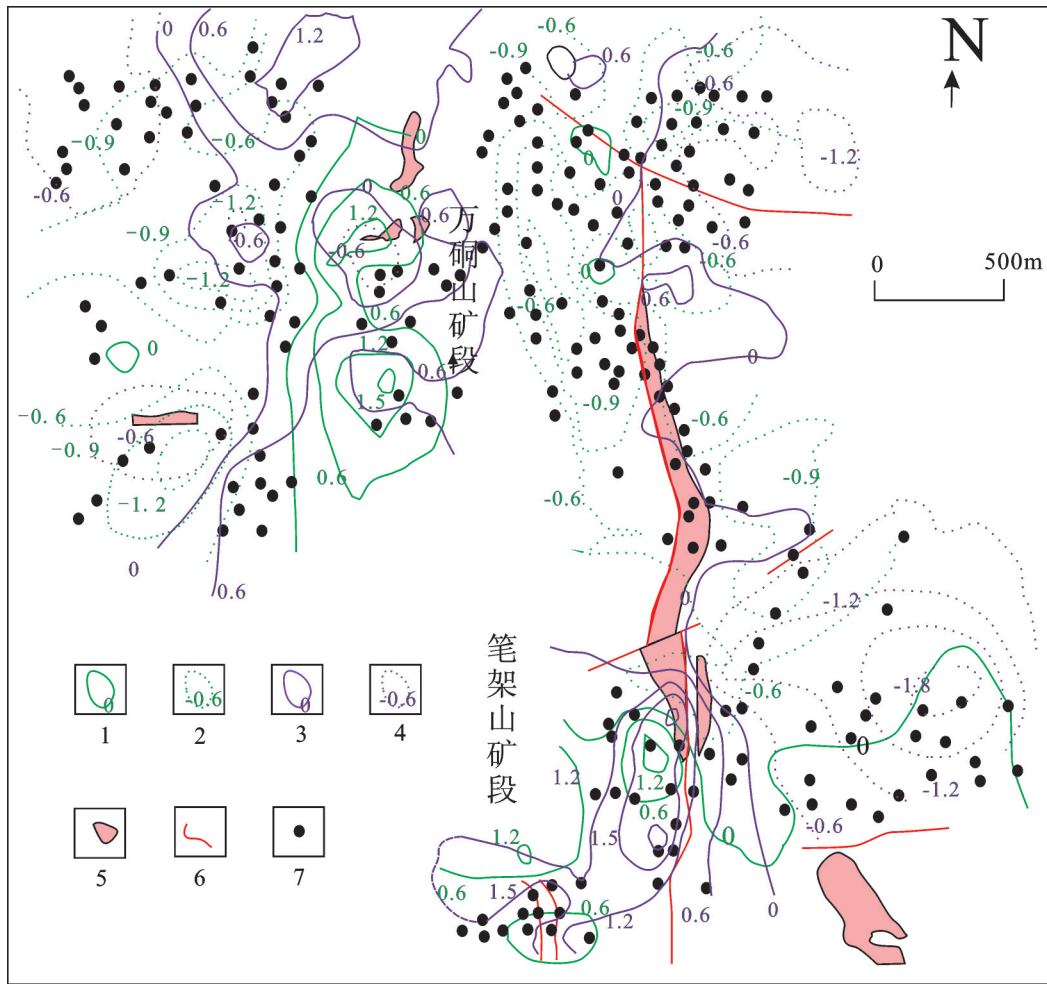


图7 万硐山外围构造地球化学异常图

1—Cu、Au等高温矿化元素因子得分正异常值; 2—Cu、Au等高温矿化元素因子得分负异常值; 3—Pb、Zn低温矿化元素因子得分正异常值; 4—Pb、Zn低温矿化元素因子得分负异常值; 5—石英正长斑岩; 6—断裂; 7—取样点

Fig. 7 The tectono-geochemical anomaly map for mineralization of specimen from Wandongshan area

1—Factor plus scores of high temperature mineralization; 2—Factor minus scores of high temperature mineralization; 3—Factor plus scores of low temperature mineralization; 4—Factor minus scores of low temperature mineralization; 5—Quartz-K-feldspar porphyry; 6—Fault; 7—Sampling point

具体靶位

根据不同类型矿化因子得分值异常,推断不同矿化类型最有利的成矿部位。在万硐山外围构造地球化学异常图中(图7),万硐山矿段和笔架山矿段高、低温矿化因子异常叠加是重点找矿靶区的标志之一,目前万硐山矿段开采盛行,但是笔架山矿段有待于进一步勘查。

(2)依据构造地球化学异常可推断隐伏矿的大致产状

根据该区矿床地质特征及地球化学异常特点:

万硐山矿段单个矿体走向近SN向,倾向W,矿体群沿SN向呈带状分布,笔架山矿段单个矿体走向NNE近SN向,倾向NNW,矿体群沿SN向呈带状分布,总体矿体走向近SN。

(3)构造地球化学异常可提供矿床成因的有关信息

构造地球化学异常受断裂控制,高、低温矿化元素组合异常呈相邻式,其异常中心连线与SN向断裂构造方向一致,反映了SN向断裂为万硐山矿段与笔架山矿段的导矿构造,而其次一级的构造为



表2 万铜山矿段外围矿化样品R型因子分析方差极大旋转载荷矩阵

Table 2 Varimax rotation factor load matrix for mineralization of specimen from Wandongshan area

元素	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4
Cu	0.872	-0.212	-0.029	0.253
Fe	0.889	-0.312	-0.140	0.011
Mo	0.779	-0.040	0.150	0.123
Pb	0.755	0.543	-0.038	-0.110
Sn	0.747	-0.473	-0.241	-0.028
Zn	0.755	0.463	-0.268	-0.080
W	0.838	-0.166	0.056	-0.041
Ag	0.827	0.285	0.131	0.093
Ge	0.649	-0.328	0.100	-0.312
Sb	0.871	0.224	-0.054	0.048
Au	0.802	0.012	0.339	-0.054
方差贡献百分率/%	0.643	0.104	0.029	0.019

容矿构造。而且构造地球化学异常低值也受断裂控制,比较明显的是万铜山矿段东北角断裂把高、低温异常分别断开。并且低温异常分布与笔架山北边SN向断裂平行。构造地球化学异常与SN向斑岩体产出部位叠加明显,但在EW向斑岩体出露部位却没有异常的出现。

(4)构造地球化学异常可反映某些构造控矿形式高、低温因子得分呈相邻式近环状叠加,反映成矿流体沿断裂上涌,断裂较陡。

(5)构造地球化学异常可指示成矿流体的流向不同类型矿化因子组合在平面上的规律排列则(成矿热液温度的递减其结果是不同矿化元素的依次出现<sup>[29-30]</sup>)可以反映流体的流向。笔架山矿段和万铜山矿段一致由中心向外依次出现F1(高温)、F2(低温)元素组合的水平分带规律,反映成矿流体的流向从斑岩体向围岩流动。笔架山矿段构造地球化学异常显示成矿流体流向向南特征明显。万铜山矿段北部成矿流体则有向南东流动的特点。

## 4 结 论

(1)北衙地区南北向构造控矿作用明显,成矿前EW向挤压形成的NS向构造为导矿构造,成矿期EW向挤压转变为NS向挤压,使得原本NS向的压性断裂构造变为张性构造,这些构造加上其次一级

的构造为储矿构造。

(2)通过万铜山矿段及外围构造地球化学研究,表明两个矿段具有矿化异常叠加的特征,高-中温矿化元素组合与矿体叠置关系明显,预示深部有较好的找矿前景。综合认为笔架山矿段成矿规模虽较万铜山矿段小,但是同样具有勘查潜力,应作为重点靶区。

(3)大比例尺构造地球化学勘查新技术对于斑岩型金矿床的找矿勘查具有重要实际意义。

**致谢:** 本文得到了昆明理工大学教授冉崇英教授的指导与文德潇硕士的帮助,审稿专家及编辑部杨艳老师对论文提出了宝贵修改意见,在此以表谢忱!

## 参考文献(References):

- [1] 徐铮邦, 娄元仁. 数学地质基础[M]. 北京: 地质出版社, 1994: 226.  
Xu Zhenbang, Lou Yuanren. Mathematical Geology Foundation[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 226 (in Chinese).
- [2] 韩润生. 隐伏矿定位预测的矿田(床)构造地球化学方法[J]. 地质通报, 2005, 24(10-11): 979-974.  
Han Runsheng. Orefield/deposit tectono-geochemical method for the localization and prognosis of concealed orebodies[J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24(10/11): 979-974 (in Chinese with English abstract).
- [3] 薛薇. SPSS 统计分析方法及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009: 312-321.  
Xue Wei. SPSS Statistical Analysis Method and Application[M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2009: 312-321 (in Chinese).
- [4] 韩润生, 刘丛强, 马德云, 等. 陕西铜厂地区断裂构造地球化学及定位成矿预测[J]. 地质地球化学, 2001, 29(3): 159-163.  
Han Runsheng, Liu Congqiang, Ma Deyun, et al. Fault tectono-geochemical features and ore-forming prognosis of orientation in Tongchang ore-field[J]. Geology Geochemistry, 2001, 29(3): 159-163 (in Chinese with English abstract).
- [5] 邹海俊, 韩润生, 胡彬, 等. 云南昭通毛坪铅锌矿床成矿物质来源的新证据——NE向断裂构造岩微量元素R型因子分析结果[J]. 地质与勘探, 2004, 40(5): 43-48.  
Zou Haijun, Han Runsheng, Hu Bin, et al. New evidences of origin of metallogenic materials in the Maoping Pb-Zn ore deposit, Zhaotong, Yunnan: R-factor analysis results of trace element in NE-extending fractural tectonit[J]. Geology and Prospecting, 2004, 40(5): 43-48 (in Chinese with English abstract).
- [6] 赵鹏大. 定量地质学理论与方法[M]. 北京: 地质出版社, 2004: 178-180.

- Zhao Pengda. Quantitative Geological Theories and Methods[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004: 178-180(in Chinese).
- [7] 钱建平, 谢彪武, 陈宏毅, 等. 广西金山金银矿区成矿构造分析和构造地球化学找矿[J]. 现代地质, 2011, 25(3): 531-544.
- Qian Jianping, Xie Biaowu, Chen Hongyi, et al. Analysis of ore-controlling structure and prospecting of tectono-geochemistry in Jinshan Au-Ag mining area, Guangxi[J]. Geoscience, 2011, 25(3): 531-544(in Chinese with English abstract).
- [8] 韩润生. 构造地球化学近十年主要进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2013, 32(2): 198-203.
- Han Runsheng. Main study progress for ten years of tectono-geochemistry[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2013, 32(2): 198-203(in Chinese with English abstract).
- [9] 和中华, 周云满, 和文言, 等. 滇西北衙超大型金多金属矿床成因类型及成矿规律[J]. 矿床地质, 2013, 32(2): 244-258.
- He Zhonghua, Zhou Yunman, He Wenyan, et al. Genetic types and metallogenic regularity of Beiya superlarge gold-polymetallic deposit, northwestern Yunnan[J]. Mineral Deposits, 2013, 32(2): 244-258(in Chinese).
- [10] 马德云, 韩润生. 北衙金矿床构造地球化学特征及靶区优选[J]. 地质与勘探, 2001, 37(2): 64-68.
- Ma Deyun, Han Runsheng. Study on the features of tectono-geochemistry of Beiya gold deposit and enclosing metallogenic targets[J]. Geology and Prospecting, 2001, 37(2): 64-68(in Chinese with English abstract).
- [11] 钟昆明, 杨世瑜. 云南北衙金矿构造地球化学成矿预测标志[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 4: 393-394.
- Zhong Kunming, Yang Shiyu. Tectonic-geochemistry prediction sign of Beiya gold deposit Yunnan[J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 2000, 4: 393-394(in Chinese with English abstract).
- [12] 孙兴国, 冯道永, 粟登远, 等. 西藏班公湖带铁格隆南超大型斑岩铜(金)矿床的勘查突破及区域找矿意义[J]. 中国地质, 2014, 41(4): 1314-1327.
- Sun Xingguo, Feng Daoyong, Su Dengkui et al. The exploration breakthrough of the Tiegelongnan superlarge porphyry Cu(Au) deposit, Bangong Lake arc, Tibet, and its significance[J]. Geology in China, 2014, 41(4): 1314-1327(in Chinese with English abstract).
- [13] 李建波, 蒋振频, 鲁勇花, 等. 陕西陈耳金矿床不同构造-岩相带微量元素地球化学特征及构造控矿机理[J]. 中国地质, 2011, 38(6): 1551-1561.
- Li Jianbo, Jiang Zhenpin, Lu Yonghua, et al. Trace elements geochemistry of different structural-lithofacies zones of the Chen'er gold deposit in Shaanxi Province and structural ore-control mechanism[J]. Geology in China, 2011, 38(6): 1551-1561 (in Chinese with English abstract).
- [14] 朱炳玉, 杨隆勃, 朱亿广, 等. 新疆金山金矿床构造控矿规律及找矿评价标志研究[J]. 中国地质, 2011, 38(1): 109-118.
- Zhu Bingyu, Yang Longbo, Zhu Yiguang, et al. A study of tectonic control of mineralization and geological indicators for ore-prospecting in the Jinshan (Gold Mountain) gold deposit, Xinjiang[J]. Geology in China, 2011, 38(1): 109-118(in Chinese with English abstract).
- [15] 陈耀煌, 姚书振, 赵疆, 等. 大坪金矿构造矿体空间分布特征与构造控矿规律[J]. 中国地质, 2014, 41(5): 1539-1553.
- Chen Yaohuang, Yao Shuzhen, Zhao Jiang, et al. Spatial distribution of faults and structural ore-control regularity in the Daping gold deposit, Yunnan Province[J]. Geology in China, 2014, 41(5): 1539-1553(in Chinese with English abstract).
- [16] 李金祥, 秦克章, 李光明. 富金斑岩型铜矿床的基本特征、成矿物质来源与成矿高氧化岩浆-流体演化[J]. 岩石学报, 2006, 22(3): 678-688.
- Li Jinxiang, Qin Kezhang, Li Guangming. Basic characteristics of gold-rich porphyry copper deposits and their ore sources and evolving processes of high oxidation magma and ore-forming fluid[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(3): 678-688(in Chinese with English abstract).
- [17] 徐兴旺, 蔡新平, 宋保昌, 等. 滇西北衙金矿区碱质斑岩岩石学、年代学和地球化学特征及其成因机制[J]. 岩石学报, 2006, 22(3): 632-642.
- Xu Xingwang, Cai Xinping, Song Baochang, et al. Petrologic, chronological and geochemistry characteristics and formation mechanism of alkaline porphyries in the Beiya gold district, western Yunnan[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 022(03): 632-642(in Chinese with English abstract).
- [18] 徐兴旺, 蔡新平, 张宝林, 等. 滇西北衙金矿床类型与结构模型[J]. 矿床地质, 2007, 26(3): 250-264.
- Xu Xingwang, Cai Xinping, Zhang Baolin, et al. Genetic types and framework model of Beiya gold ore district in western Yunnan[J]. Mineral Deposits, 2007, 26(3): 250-264(in Chinese with English abstract).
- [19] 晏建国, 陈贤胜, 崔银亮. 云南北衙金矿床成矿规律研究[J]. 矿床地质, 2002, (21): 743-746.
- Yan Jianguo, Chen Xiansheng, Cui Yinliang. Search of ore-forming process in Beiya gold deposit, Yunnan[J]. Mineral Deposits, 2002, (21): 743-746(in Chinese with English abstract).
- [20] 吴开兴, 胡瑞忠, 毕献武, 等. 滇西北衙金矿蚀变斑岩中的流体包裹体研究[J]. 矿物岩石, 2005, 25(2): 20-26.
- Wu Kaixing, Hu Ruizhong, Bi Xianwu, et al. Study of the fluid inclusions in altered porphyries the Beiya gold deposit, western

- Yunnan[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 2005, 25(2): 20–26(in Chinese with English abstract).
- [21] 肖晓牛, 喻学惠, 莫宣学, 等. 滇西洱海北部北衙地区富碱斑岩的地球化学、锆石 SHRIMP U–Pb 定年及成因[J]. *地质通报*, 2009, 28(12): 1786–1803.
- Xiao Xiaoniu, Yu Xuehui, Mo Xuanxue, et al. Geochemistry, zircon SHRIMP U–Pb dating and origin of alkali-rich porphyries in Beiya area, north Erhai Lake, western Yunnan, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(12): 1786–1803(in Chinese with English abstract).
- [22] 张玉泉, 谢应雯, 涂光焱. 哀牢山—金沙江富碱侵入岩及其与裂谷构造关系初步研究[J]. *岩石学报*, 1987, 1: 17–27.
- Zhang Yuquan, Xie Yingwen, Tu Guangchi. Preliminary studies of the alkali-rich intrusive rocks in the Ailaishan–Jinshajiang belt and the relationship on rift tectonics[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1987, 1: 17–27(in Chinese with English abstract).
- [23] 和文言, 莫宣学, 喻学惠, 等. 滇西北衙金多金属矿田矿床锆石 U–Pb 和辉钼矿 Re–Os 年龄及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2013, 29(4): 1302–1310.
- He Wenyan, Mo Xuanxue, Yu Xuehui, et al. Zircon U–Pb and molybdenite Re–Os dating for the Beiya gold–polymetallic deposit in the western Yunnan Province and its geological significance. [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(4): 1301–1310 (in Chinese with English abstract).
- [24] 薛传东, 侯增谦, 刘星, 等. 滇西北衙金多金属矿田的成岩成矿作用: 对印–亚碰撞造山过程的响应[J]. *岩石学报*, 2008, 24(03): 459–471.
- Xu Chuandong, Hou Zengqian, Liu Xing, et al. Petrogenesis and metallogenesis of the Beiya gold polymetallic ore district, northwestern Yunnan province, China: Responses to the Indo–Asian collisional processes[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(3): 459–471(in Chinese with English abstract).
- [25] 和文言, 喻学惠, 莫宣学, 等. 滇西北金多金属矿田成因类型及其与富碱斑岩关系初探[J]. *岩石学报*, 2012, 28(5): 1401–1412.
- He Wenyan, Yu Xuehui, Mo Xuanxue, et al. Genetic types and the relationship between alkali-rich intrusion and mineralization of Beiya gold–polymetallic ore field, western Yunnan Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(5): 1401–1412(in Chinese with English abstract).
- [26] 肖晓牛, 喻学惠, 莫宣学, 等. 滇西北衙金多金属矿床流体包裹体研究[J]. *地学前缘*, 2009, 16(2): 250–261.
- Xiao Xiaoniu, Yu Xuehui, Mo Xuanxue, et al. A study of fluid inclusion from Beiya gold–polymetallic deposit in western gold–polymetallic deposit in the western Yunnan Province and its geological significance. [J]. *Earth Science Frontiers*, 2009, 29(4): 1301–1310(in Chinese with English abstract).
- [27] 刘建云. 北衙金矿煌斑岩地质特征及找矿意义[J]. *黄金地质*, 2004, 25(4): 17–19.
- Liu Jianyun. Geologic features and ore prospecting significances of lamprophyre in Beiya gold district[J]. *Gold*, 2004, 25(4): 17–19 (in Chinese with English abstract)
- [28] 邓万明, 黄萱, 钟大赉. 滇西金沙江带北段的富碱斑岩及其与板内变形的关系[J]. *中国科学(D 辑)*, 1998, 28(2): 111–117.
- Deng Wanming, Huang Xuan, Zhong Dalai. Alkali-rich porphyry in the north part of Jinshajiang porphyry belt and its relationship to intra plate deformation, western Yunnan[J]. *Science in China (SeriesD)*, 1998, 28(2) : 111–117(in Chinese).
- [29] 刘英俊, 曹励明, 李兆麟, 等. 元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1984: 5–15.
- Liu Yingjun, Cao Liming, Li Zhaoling, et al. *Element Geochemistry*[M]. Beijing: Science Press, 1984: 5–15(in Chinese).
- [30] 杜乐天, 王文广. 碱型地幔流体与富碱热液成矿[J]. *矿床地质*, 2009, 28(5): 599–610.
- Du Letian, Wang Wenguang. Alkaline mantle fluids and alkali-rich hydrothermal metallogenesis[J]. *Mineral Deposits*, 2009, 28(5): 599–610(in Chinese with English abstract).