

# 构造地球化学找矿方法及其在微细浸染型金矿中的应用

钱建平

(桂林工学院资源环境工程系, 桂林 541004)

**[摘要]** 文章阐述了构造地球化学找矿研究的一些基本问题: 构造地球化学找矿的发展历程、方法依据、不同类型含矿构造的地球化学特征、构造地球化学找矿的研究内容和工作程序、工作方法和方法特点。以云南富宁县那能金矿区为例, 运用构造地球化学方法对微细浸染型金矿进行了找矿研究, 厘定了矿区控矿构造为一右列雁行褶皱带, 确定了成矿元素组合为 Au、As、Ag、Mo, 圈定了两个金异常带, 并证实为金矿体所致。

**[关键词]** 构造地球化学 找矿方法 微细浸染型金矿 云南富宁

**[中图分类号]** P642.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2009)02-0060-08

Qian Jian-ping Tectono-geochemical prospecting method and its application in searching for sediment-hosted, disseminated gold deposits[J]. *Geology and Exploration*, 2009, 45(2): 60-67.

构造地球化学是将构造地质研究与地球化学研究有机结合起来的一门边缘学科。它主要研究各种地质建造和构造的物质组成特征, 地质构造作用与元素活化迁移, 分散富集的关系、规律及其动力学机制<sup>[1]</sup>。构造地化找矿(构造化探)是运用构造地球化学的思路和方法进行找矿研究的一种新方法。

## 1 构造地球化学找矿方法简介

### 1.1 构造地球化学找矿方法发展历程

自陈国达等 1961 年首次提出“构造地球化学”这个科学术语后, 70 年代开始, 构造地球化学方法就充分显示了它的学科实用价值, 形成一种崭新的找矿手段, 被逐步应用并推广于地质找矿工作。

章崇真(1979)<sup>[2]</sup>指出, 对矿田断裂地球化学的研究, 至少可以解决以下几方面的问题: 查明断裂构造与成矿的关系, 确定与成矿有关的断裂, 对断裂构造进行分期配套, 查明矿田断裂构造的发展演化规律, 或者根据断裂构造的多阶段活动特征查明岩浆-矿液的分异演化规律, 指导矿床的普查评价和寻找隐伏矿床及矿体。

董岩翔(1980)<sup>[3]</sup>根据浙东地区区域地球化学带的展布特征推断了被地层掩盖和后期构造破坏的构造。齐家喆等(1993)<sup>[4]</sup>运用地球化学异常特征线、构造地球化学分区线、构造地球化学梯度带推断出区域性断裂和大地构造单元的界线; 运用构造地球化学推断构造交汇部位。

刘泉清(1981)<sup>[5]</sup>指出, 化探异常与地质构造之间是紧密联系的。异常的几何形态呈现着各种有序的格式。异常发育的规模从大陆板块缝合线上到一块光薄片上各种矿物及元素的定向排列。异常的元素组合在不同型式构造及其不同部位呈现着不同组合的分布模式。分析异常组分可以预测可能存在的矿种。如规模巨大的线性异常, 成群成带, 常见 Cr、Ti、V、Co、Ni 及贵金属组合, 一般显示深大断裂、基底构造, 应注意发现基性、超基性岩体和蛇绿岩套组合及有关的 Cr、Ni、V、Ti-Fe、Pt 石棉等矿床。

金浚(1981)<sup>[6]</sup>按一定测网对地表出露岩石的断裂裂隙节理的产状、形态、规模进行观察测量, 并分组取样。在矿区外围进行了 15km<sup>2</sup>, 1 10 000 构造地球化学取样, 圈出了七个金属量异常带和四个节

[收稿日期] 2007-04-09; [修订日期] 2008-12-17。[责任编辑] 杨欣。

[基金项目] 广西高校人才小高地地质资源与地质工程项目, 广西大型仪器协作共用网和有色及贵金属隐伏矿床勘查教育部工程研究中心项目联合资助。

[作者简介] 钱建平(1953—), 男, 1985年毕业于中科院长沙大地构造研究所, 获硕士学位, 教授, 长期从事构造地质和地球化学教学与科研。

理裂隙密集区。勘探见矿孔所控制的隐伏矿带分布与构造地球化学圈定的 C2、C5、C6 异常带吻合,见矿孔均落在构造地球化学异常带中或其附近,矿体埋深 230~557m,充分说明了构造地球化学找矿方法对发现埋藏较深隐伏矿体的有效性。

近 30 年来,构造地球化学找矿方法应用主要表现在以下几个方面:

#### 1) 大地构造 - 区域构造地球化学找矿研究

划分大地构造 - 成矿地球化学区(省),从宏观上把握构造地球化学场的分布特征,以大地构造单元所决定的区域地球化学高背景作为成矿作用的物质基础,为找矿提供战略依据<sup>[7,8]</sup>。通过不同大地构造阶段地球化学特征和演化的分析,总结不同大地构造阶段的成矿特征和成矿规律。

#### 2) 矿田和矿床构造地球化学找矿研究

主要通过对矿田和矿床内不同级别、类型和性质的构造(蚀变)形迹进行构造地球化学测量,圈定地球化学异常<sup>[2,3]</sup>;利用矿化因子得分值强化地球化学异常<sup>[9,10]</sup>;通过矿田成矿期构造应力场、热力场和地球化学场耦合作用的分析进行成矿预测<sup>[11]</sup>。根据构造应力场、能量场和矿液流势场的动态计算模拟,预测新靶区,矿床(体)往往定位于“低应力区和衰减带”<sup>[12]</sup>。

#### 3) 小型和微构造地球化学研究

对小型和微构造地球化学研究和室内构造地球化学实验<sup>[13]</sup>证明,宏观构造地球化学现象和过程,实质上是微构造地球化学作用过程的反映。利用小型和微构造地球化学研究,可以从动力成矿作用角度提出某些矿床成因机制和找矿方向,如认为岩石塑性流动引起晶格位错导致金、重稀土元素活化并向高应变区迁移聚集的超微机制;压溶和增生是块状硫化物矿床成岩和变质过程中的重要作用。脉石矿物的压溶可使原生矿石就地加富,硫化物的压溶可使成矿物质发生再活化。增生可促进矿质沉淀<sup>[14]</sup>。

#### 4) 构造地球化学找矿方法研究

主要是通过断层气体地球化学测量,利用  $R_n$ 、Hg、 $CO_2$ 、He、 $H_2$ 、 $O_2$ 、 $Ar$ 、 $N_2$  和  $CH_4$  等在断裂带上方形成的高异常值和成矿元素的相态分析<sup>[15]</sup>,追索和发现矿田(床)厚覆盖层下的隐伏构造,发现找矿线索。

总的来看,构造地球化学找矿仍处于逐步发展阶段。尽管如此,构造地球化学已经取得了很好的找矿效果,显示了广阔的应用前景。

### 1.2 构造地球化学找矿的依据

地球总是处在不断地运动和变化中,地球的演化历史亦是一部构造运动发展史。构造运动在地壳中留下的历史记录一是物理变形—构造变形场(各种构造形迹);二是物质组成的变化—地球化学场。在全球和大区域尺度上形成不同的大地构造域、地球化学域和成矿域;在区域和矿田尺度上形成不同级次的构造带(区)、地球化学异常以及与之相伴的矿床(矿点)群。

构造运动在空间上具有不平衡性,不同地域的构造变形强度和性质(拉伸、挤压和剪切)具有差异。因此表现出强变形区和弱变形区、挤压区和拉伸区同时并存。大量地质资料表明,一般构造强变形区,流体活动增强,地球化学异常显著,成矿机率增大。表现出区域造山带、地球化学异常带和内生金属矿床(矿点)群的集中分布区(成矿带)往往重合一致,三位一体,反映其间内在的有机联系。构造运动在促使岩石圈岩块(体)发生机械变形和变位的同时驱动岩石圈物质定向迁移。构造应力场的变化导致地球化学场的同步变化。根据物质平衡原理,在一个大的区域成矿系统中,就某一时刻或总体上看,成矿元素的迁移和停聚,分散和富集是此消彼长,互为补偿的。与此同时,构造作用还可形成不同地质体之间大量岩性-构造界面和区域性断裂带的局部扩容空间可作为成矿流体有利的聚矿空间。

构造运动在时间上具有多旋回性。构造变形强度和性质交替变化,构造应力场和地球化学场亦不断变化,从一种平衡达到另一种平衡,由此推动着岩石圈的演化与发展,形成一次次构造作用—物质运动—成矿旋回。一般而言,构造性质转化是成矿的有利时期;多期构造活动的叠加复合部位,岩石圈物质遭受强烈改造和重组,岩石破碎和渗透性增大,有利于岩浆及流体上升,矿化叠加富集,成矿机率增大。

就具体矿床而言,从地球化学的观点来看,其本质上就是高度浓集的地球化学异常。矿床的形成无论在时间还是在空间上都具有其特殊性:表现在时间上是构造—物质运动在一定演化阶段和构造性质

钱建平. 粤西大地构造地球化学演化探讨 [A]. 国际大陆岩石圈构造演化与动力学讨论会论文摘要(下) [C], 1987: 179 - 180.

吴学益. 构造地球化学(成矿)高温高压模拟实验及其初步结果 [A]. 全国构造地球化学座谈讨论会论文摘要汇编 [C], 1983: 8 - 9.

王小凤. 显微构造地球化学研究 [A]. 全国第三届构造地球化学座谈讨论会论文摘要汇编 [C], 1992: 123 - 124.

转化期的衍生物,在空间上则处于特定的构造环境条件和地球化学异常场之中。构造地球化学找矿就是从构造地球化学系统的思想出发,通过区域地质构造和地球化学异常资料综合分析,选择有利的成矿远景区段,应用构造地球化学找矿的理论、方法和一般程序,并辅以其它的找矿方法去发现和探明这些矿床。

### 1.3 不同类型含矿构造的地球化学特征

不同的构造类型具有不同的几何样式、变形特征和形成机制,其地球化学异常亦具有不同的几何形态、规模尺度、元素组合及分带特征。

#### 1.3.1 褶皱构造地球化学特征

褶皱总体上控制了地球化学异常和异常群的展布。异常形态通常呈椭圆状、环带状。伴随地层在背斜或向斜构造中的对称重复分布,元素含量无论在背斜或向斜部位,亦作对称重复分布。

在褶皱的翼部,通常异常组合、组分较为稳定;但在褶皱的轴部、转折端等特殊部位,异常组合较为复杂。

成矿元素在背斜部位常形成异常场,在向斜为正常场。在雁行褶皱构造中,地球化学异常亦呈一组平行斜列的椭圆形异常出现,如云南那能金矿。

由褶皱核部向翼部,成矿元素具有一定的空间分带性。如广西高龙穹隆构造控制环状金、砷异常,砷异常主要位于穹隆核部,金异常位于穹隆周边。

在两组褶皱横跨叠加形成结点的穹隆部位,金、砷异常显著、组分复杂的近圆形异常,如黔西南一带的金矿。

总的来看,形态特殊、强度显著,成分复杂的异常常与有利的成矿构造部位(褶皱轴部和转折端、背斜、穹隆及层控构造等)和某些矿种相对应。分析其对应关系,有助于找矿预测。

#### 1.3.2 断裂构造地球化学异常特征

断裂构造地球化学晕,实际上是含矿流体运移过程中,伴随着物理化学条件的变化,在断裂构造带内部及其两侧形成的元素异常带。

断裂构造地球化学异常严格受断裂控制,沿断裂带或构造线方向呈线状、串珠状分布,伴随断裂而大于断裂;异常纵向延伸长,横向发育差;一般断裂上盘异常发育,下盘则较弱,且常具突变。

异常组分和强度变化较大,一般断裂两端异常强,中间弱。异常的峰值出现在断裂的尖灭端和产状突变处。异常在剖面上沿倾向延伸,组分上具明显的分带性,头、中、尾晕组合不一,活性组分(A<sub>s</sub>、S<sub>b</sub>、Hg

R、B等),一般集中在晕的前峰及其断裂的上盘。

受多组断裂系统交叉复合控制的断裂复合部位,地球化学异常呈现复合形态。可呈枝杈状、格状等,异常强度大。

晚期异常可切穿早期异常,使早期异常不连续。

#### 1.3.3 火山及侵入构造地球化学特征

火山构造是反映火山活动特点和历史的地质构造。火山构造的性质控制着火山岩的类型、规模、分布及其物质分异过程,因而在一定程度上决定了化学元素及其组合的分布规律。

由于火山穹隆、破火山口和火山洼地等火山构造在空间上几乎均成近圆形或椭圆形分布,物质在内圈与外围的发生、发展、演化和分异过程有明显差别,因而使得化学元素便随火山构造形态而成环带状分布。

如位于江山-绍兴深断裂东南侧的芙蓉山破火山构造。边缘以环状断裂为界,构成一个直径约16km的近圆形地貌形态,外侧为前震旦系变质岩,与破火山内火山岩岩性迥异。土壤中微量元素显示以下地球化学特征:

(1) Pb、Hg、Ag在破火山内呈现一个高含量的趋势,其中  $Ag > 100 \times 10^{-9}$ ,  $Hg > 50 \times 10^{-9}$ ,  $Pb > 35 \times 10^{-6}$ 。而 As、Sb则呈现低含量趋势,分别小于  $8 \times 10^{-6}$ 和  $0.4 \times 10^{-6}$ 。

(2) 高含量的 Cu、Pb、Zn、Au、Ag分布于破火山边缘,构成以 Sb、As 为外带晕的似环状分带模式。

火山及侵入构造引起的异常一般围绕火山口或岩体呈环状分布,组分分带清晰,显示由岩体内向外,由高温到低温的组合变化。接触带、断裂构造的叠加可形成异常浓集中心。根据异常分布特点(对称性)和组分特点,可以推测岩体产状和剥蚀程度,从而间接指导找矿<sup>[16]</sup>。

### 1.4 构造地球化学找矿的研究内容和程序

#### 1.4.1 构造地球化学找矿靶区的选择

通过 TM、ETM+和 ASTER 遥感图像提取线性构造、环形构造影像、地层岩性信息、矿化蚀变信息和地貌景观信息。还可以采用 QuickBird-2 高分辨率(0.61m)卫星遥感图像提取矿区构造的细节,结合区域地质、物化探资料分析和现场地质调查,阐明区域成矿地质背景和矿区主要控矿条件,选择有利的构造地球化学找矿靶区。

#### 1.4.2 成矿期构造应力场分析

进行矿区构造专题研究和变形分析,确立矿区成矿构造系统和构造型式,总结矿区构造控矿规律。

通过地质反演、显微构造分析、岩石变形实验、数学模拟和物理模拟等方法揭示成矿期构造应力场及其空间变化规律,探讨成矿物质可能的运移方向和定位空间<sup>[17]</sup>。

#### 1.4.3 找矿指示元素和成矿元素的组合确定

根据区域已知同类矿床的化探资料分析,初步确定找矿指示元素;依构造类型和岩石类型对矿区构造地球化学数据进行地球化学参数统计(包括均值、变异系数和浓集系数等),筛分成矿构造和确定成矿元素;对矿区构造地球化学数据进行多元统计分析(包括相关分析、聚类分析和因子分析),确定成矿元素组合,结合成矿期构造活动特征,划分构造-地球化学阶段<sup>[18]</sup>。

#### 1.4.4 构造地球化学找矿方法与其它找矿方法手段的综合运用

根据矿区实际地质情况和研究工作需要,构造地球化学找矿方法可以与其它找矿方法手段灵活有效地加以综合运用。如在开展现场快速找矿评价时可与便携式 X 射线荧光仪测量法结合使用;在基岩出露较少浮土覆盖的铅锌多金属矿区和汞砷镉金矿区可与汞气测量方法、地电提取法和土壤离子电导率测量法结合使用。

#### 1.4.5 构造地球化学异常圈定和解释评价

运用一系列与成矿元素具有显著相关关系的单变量或组合变量(因子得分),来圈定构造地球化学异常,以达到运用地球化学综合指标来强化异常的目的。阐明构造地球化学异常的空间分布及其控制因素,根据构造地球化学异常形态、产状、规模、强度、异常元素组合及其轴(垂)向分带性(头晕、主成矿晕和尾晕),结合成矿有利构造部位、蚀变特征等方面的资料综合分析,进行隐伏矿体的空间定位预测。研究不同构造成矿阶段形成的矿体(晕)在空间上的叠加结构,建立盲矿预测的叠加晕模型<sup>[19]</sup>。

#### 1.4.6 进行构造地球化学作用和构造动力成矿机制方面的研究。

通过岩矿测试手段和矿床地球化学方法,结合矿质淋滤实验和构造地球化学模拟实验,阐明成矿物质和成矿流体的来源和性质,以及在不同构造应力环境下,矿质的活化、分异、迁移、富集作用及其规律性。

### 1.5 构造地球化学找矿的工作方法及其特点

#### 1.5.1 构造地球化学找矿的工作方法

构造地球化学测量是在岩石地球化学测量的基础上发展起来的一种地球化学找矿方法。

1)构造地球化学工作设计:不拘泥于传统化探原生晕中的固定式网格取样。构造地球化学剖面间距和样品间距可视已知矿体和矿化蚀变带的形态和规模确定。构造地球化学剖面大致垂直矿区的主要控矿构造带,样品的位置采用 GPS 仪标定。样品间距应遵循近构造带密和远构造带疏的重点性原则。重要地段可加密取样;为保证样品分布均匀和便于成图,在无构造发育地带按一定距离采集岩性控制样。并且注意沿主要的控矿断裂构造方向加密取样,以最大限度地保证不漏失矿化信息。

2)采样介质和要求:采样介质为断裂构造岩、断层泥、破碎带、节理裂隙带、劈理带、不同岩性界面、矿化蚀变带、裂隙充填物和各种脉体。采用取样点附近多点组合成样(3~5个点)以防止偶然性因素影响。对多期活动的构造应对不同活动期次的产物分期取样,并采集相应的岩石标本,便于以后室内岩矿研究。

3)构造地球化学异常圈定:通过多元统计分析确定成矿元素组合,可利用 MapGIS、Surfer 软件对成矿元素含量和矿化因子得分编制地球化学图(或趋势分析图)和地球化学异常图。构造地球化学异常应结合控矿构造的产状和形态特征分析而圈定。

#### 1.5.2 构造地球化学找矿工作方法的特点

1)构造地球化学找矿主要采集构造蚀变样品,强调重点提取与成矿有关的信息,因此可强化地球化学异常,取得较好的找矿效果。

2)由于所采集的构造地球化学样品相对单一,因此样品中包含的地质信息比较一致,无矿的干扰信息少。

3)由于不局限于传统的网格取样,样品数减少,缩短了野外工作时间,提高了工作效率,减少了无效的取样和样品测试,因此是一种经济高效实用的地球化学找矿方法,值得普遍推广。

## 2 构造地球化学找矿方法在微细浸染型金矿实际应用

### 2.1 滇黔桂地区微细浸染型金矿的基本特征

#### 2.1.1 控矿构造

微细浸染型金矿的产出明显受叠加构造控制,构造控矿具有多级性。以黔西南地区为例,从矿带构造的尺度上看,一系列金矿田横成行竖成列,呈点阵式受北东、北西两组区域性断裂控制;从矿田构造的尺度上看,一系列微细浸染型金矿床(点)常与锑、汞、砷矿化组成同一矿田,矿田范围受短轴背斜

和穹隆等正向构造控制;从矿床(体)构造的尺度上看,具体控制矿床、矿体的构造多为平行褶皱的纵向压性断裂及破碎带、层滑断裂及破碎带等<sup>[20]</sup>。

### 2.1.2 赋矿地层

对该区微细浸染型金矿床(点)产出层位统计表明,矿床(点)赋矿层位多,自下寒武统至中三叠统均有分布。但矿床(点)最集中的层位是上二叠统和中下三叠统。赋矿岩石主要为细碎屑岩,包括泥质粉砂岩、粉砂质粘土岩、凝灰岩、泥灰岩等。此外尚有部分矿床(点)产于辉绿岩、辉长岩、玄武岩等岩性中。

### 2.1.3 矿体特征

矿体与围岩无明显界线,矿体边界通常靠采样化验圈定。矿体形态多呈透镜状、似层状、似板状、脉状,主矿体走向延长数百米至千余米,倾向延伸百至数百米,厚一至数米。产状变化较大,受层间断裂控制多较缓;受纵向压性断裂控制者可较陡,部分亦较缓。

### 2.1.4 矿石特征

原生矿石的构造主要有浸染状,次为脉状、变余胶状、角砾状、层状、条带状构造;氧化矿石的构造为土状、多孔状、胶状构造。原生矿石的结构主要有自形-半自形结构、环边结构、碎裂结构、填隙结构。

矿物组合较简单。显示以低温矿物为主的组合特征,局部有中温矿物组合的叠加。原生矿石的矿石矿物组合有黄铁矿、毒砂、白铁矿、辉锑矿、闪锌矿、方铅矿、雄黄、雌黄、辰砂、自然金;脉石矿物组合有石英、水云母、方解石、白云石、高岭石、地开石、碳质;氧化矿石尚有褐铁矿、黄钾铁矾、黄锑华、锑华等。上述矿物组合在不同矿区并非全部出现。

围岩蚀变不强,蚀变类型亦较简单。主要有硅化、黄铁矿化,其与金矿化关系最为密切,此外尚有毒砂化、辉锑矿化、白铁矿化、高岭石化、碳酸盐化、重晶石化、辰砂化、雄黄化、萤石化、石膏化、褐铁矿化等,但不同矿区仅以其中几种为主,并非全部出现。

### 2.1.5 金矿品位、成矿元素组合及金的赋存状态

金矿品位不高,一般在  $1 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-6}$  之间。与浸染型金矿有密切生成关系的伴生元素组合主要有 Au、As、Sb、Hg、Ag、Te、Bi、Cu、Pb、Zn、Ba 等。这些元素在不同的地球化学环境和热力学条件下,形成不同的元素组合,其中与金矿关系最密切的元素组合为 Au、As、Hg、Sb。

在原生矿石中,自然金颗粒细小呈超显微金(0.01~10 $\mu$ m)以包裹金的形式赋存于黄铁矿、毒砂中,或以胶体金的形式吸附于粘土矿物中在黄铁矿

颗粒中,在氧化矿石中,自然金主要以游离金形式赋存于褐铁矿、粘土矿物中。

总的来看,微细浸染型金矿构造控矿显著,赋矿地层岩性普遍,矿物组分简单,围岩蚀变弱且简单,矿体与围岩不易区分,成矿元素组合特征相对其它类型的矿床,更适合于采用构造地球化学找矿方法进行找矿。

## 2.2 构造地球化学找矿方法在微细浸染型金矿实际应用

运用构造地球化学方法于微细浸染型金矿找矿已取得了明显效果。如运用构造地球化学方法在贵州烂泥沟金矿外围陆续找到了瑶家田、高炉、尼罗、尾若、岩碰等一批金矿点,同时在贞丰背斜上对于隐伏、半隐伏矿的寻找取得了重大进展<sup>[21]</sup>。

钱建平等人多年来对黔西南地区<sup>[20]</sup>、桂西高龙、八渡、母里金矿、云南那能金矿等地开展了大量的工作,亦取得了较好的找矿效果。下面以云南富宁县那能金矿为例简要介绍构造地球化学方法在微细浸染型金矿中的找矿应用。

### 2.2.1 那能金矿区控矿构造研究

矿区地层仅出露中三叠统百蓬组(T<sub>2</sub>b),中、下部为一套粉砂岩、泥岩夹细砂岩,上部为钙质泥岩、粉砂岩夹泥灰岩透镜体。矿区构造在区域上位于北西西向里往背斜东端,纵向和横向断裂发育。根据地表局部露头观察,金矿化和蚀变受背斜构造控制。前人根据矿化分布特征由西向东共分为五个矿段:四矿段、二矿段、一矿段、三矿段、五矿段。但各矿段沿走向上追索常不相连。矿区具体控矿构造不甚明了,表现在地表探矿工程方位的布置常大相径庭。

通过野外构造专题工作,系统进行地层岩性对比、岩层产状测量和小构造分析,进行矿区构造编图,确定矿区控矿构造型式为一右列雁行褶皱带(图1)。雁列褶皱带走向 286°~292°,雁列角 8°~12°;雁列褶皱带由 5 个次级小型背斜及所夹的向斜组成,由西向东,依次为四矿段背斜、碗达背斜(二矿段、一矿段)、八毛背斜(三矿段、五矿段)、平麻背斜、平麻南背斜。单个背斜轴向为 274°~286°,轴向长 1000~2200m,宽 100~200m,两翼倾角多在 45°~55°,轴面近直立,枢纽向两端倾伏。个别背斜(平麻背斜)倒转,两翼呈同向倾斜,增加了构造鉴别的难度。褶皱伴生小构造非常发育,其中主要有轴面劈理、纵张裂隙、层间破碎、层间裂隙和虚脱现象。并且褶皱伴生小构造具有一定的分带性,如四工区上部为石英脉沿陡倾斜纵张裂隙充填,

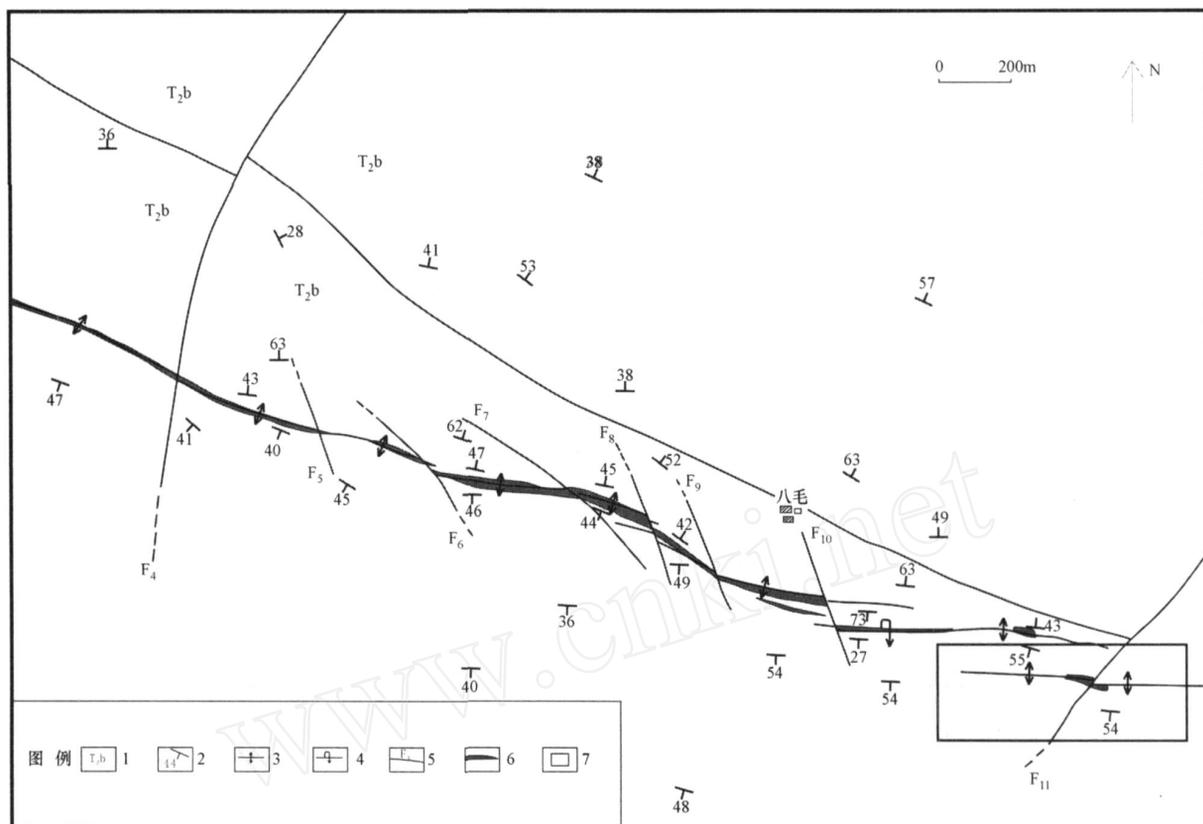


图 1 云南富宁那能金矿区地质图

Fig 1 Geological map of Naneng gold mine in Funing county, Yunan

1—中三叠统百蓬组; 2—岩层产状; 3—背斜; 4—断层; 5—矿体; 6—化探工作区

1—Middle Triassic Baipeng Formation; 2—Stratum occurrence; 3—Anticline; 4—Fault; 5—Ore body; 6—Geochemical sampling area

下部为石英脉沿缓倾斜层间裂隙和虚脱部位充填。褶皱核部控制了金矿化的发育,而褶皱伴生的小构造是矿体赋存的有利的部位,随远离褶皱核部,构造变形和岩石破碎减弱,矿化蚀变亦逐渐减弱。

根据矿段受右列雁行褶皱带控制的规律,其东西两端仍可能有金矿化分布,其中由地表构造观察,五矿段金矿化蚀变向东延伸仍无明显减弱趋势,但由右列雁行褶皱带构造分析,下一个次级背斜控矿其位置相应向南移,故选择五矿段东南侧作为构造地球化学找矿靶区。

### 2.2.2 构造地球化学找矿研究

#### 1)构造地球化学找矿标志

区内构造地球化学找矿标志主要有断裂裂隙带、劈理化带、构造破碎带、硅化蚀变褪色带、褐铁矿化、含黄铁矿、毒砂石英细脉等。

#### 2)构造地球化学工作布置

工作面积约为 0.62km<sup>2</sup>,考虑单个矿体规模较小,布置线距为 80m,点距为 20~30m,样重 500g

构造地球化学工作尽可能取具有构造地球化学意义的基岩样品,在无明显构造蚀变标志地段适当采集岩性控制样,在无基岩出露时,适当采取次生晕样品。分析元素为 Au、Ag、As、Sb、Cu、Pb、Zn、Mo、Sn、Mn、Co、Ni、Cr、V、Ti

运用 SPSS软件作因子分析,以累计方差贡献 Accm = 84.47% 为准,可得六个因子:第一因子 Au、As、Ag、Mo 组合,为主要的成矿元素组合,其中 As 常与 Au 构成络合物迁移,在矿质沉淀时与 Au 发生分离,可作为找矿指示元素;第二因子 V、Ti、Sn,为亲粘土岩的铁族元素组合;第四因子 Mn、Co,可能为碎屑岩中的铁质胶结物的元素组合;第三因子 Cu、Sb、Cr,第五因子 Zn、Ni,第六因子 Pb,为次要的成矿元素组合(表 1)。

#### 3)构造地球化学异常特征及解释

运用 Surfer软件作异常等值线图。由异常平面图(图 2)分析可知,该区存在两个金异常带:

北部异常带与平麻南背斜吻合,包括 PN1、PN2、

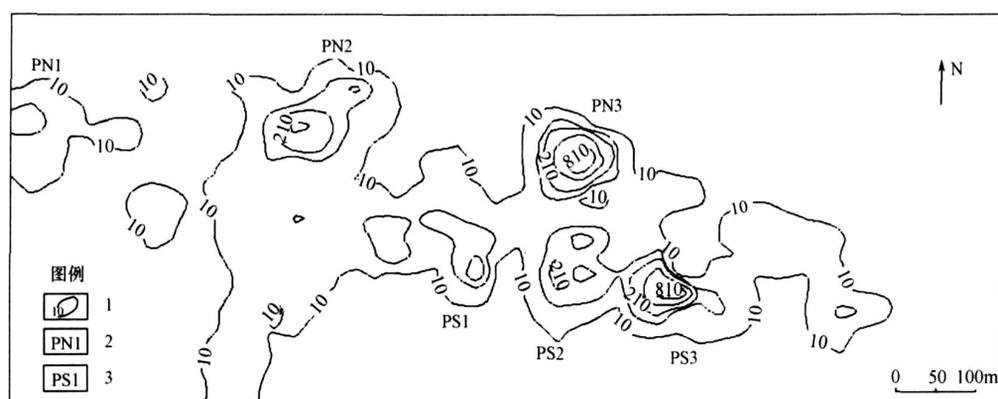


图 2 云南富宁那能金矿区五矿段东侧 Au元素构造地球化学图

Fig 2 Tectono-geochemical map of Au of the eastern section of the fifth ore block of the Naneng gold mine in Funing County, Yunan

1—Au含量等值线 ( $10^{-9}$ ); 2—北部异常带; 3—南部异常带.

1—Au contour ( $10^{-9}$ ); 2—North anomaly zone; 3—South anomaly zone

表 1 因子分析结果

Table 1 Results of factor analysis

元素	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Cu	-0.1670	0.2930	0.8690	0.0725	0.1650	-0.0263
Pb	-0.0934	0.0438	0.1250	0.0087	0.0103	0.9520
Mn	0.2020	-0.1490	-0.1380	0.8550	0.0975	-0.2090
Cr	-0.2670	0.3300	-0.6060	0.4460	0.0400	-0.1290
Ni	0.0193	0.1510	-0.0163	0.1391	0.9410	-0.0384
Mo	0.8190	0.3141	-0.0281	0.1890	-0.0126	0.0136
Sn	0.3310	0.8760	0.0955	0.1930	0.0087	0.1310
V	-0.0451	0.8860	0.0920	0.0095	0.2200	0.1350
Ag	0.7000	-0.0301	0.0527	0.0696	0.2910	0.2661
Zn	0.2750	0.5160	0.2810	-0.0323	0.6230	0.1180
Co	-0.0715	0.2570	0.0788	0.8190	0.0577	0.2800
Ti	0.1110	0.7610	0.2390	-0.0083	0.1160	-0.1810
As	0.8420	-0.0533	0.1130	-0.0524	0.1050	-0.3231
Sb	0.1980	0.2840	0.8740	-0.0476	-0.0367	0.1530
Au	0.9220	0.1820	0.0451	-0.0781	-0.1110	-0.1010

PN3三个异常,异常平均强度 119.98 ~ 305.46,面积 2500 ~ 13125m<sup>2</sup>,衬度 5.17 ~ 13.17,最高值 977.24  $\times 10^{-9}$ 。

南部异常带与平麻南背斜吻合,包括 PS1、PS2、PS3三个异常,异常平均强度 134.65 ~ 226.61,面积 1125 ~ 21250m<sup>2</sup>,衬度 5.81 ~ 9.77,最高值 2371.37  $\times 10^{-9}$ 。

两个金异常带均位于背斜核部构造破碎带上,反过来可根据矿化异常的出现来推断背斜构造的存在。除金异常以外,相关成矿元素 Ag、As、Sb也显示明显异常,各元素异常重叠性较好。岩石蚀变强烈,可见硅化、黄铁矿化、毒砂化,金异常值高,实际上它已指示了金矿体的存在。

## [参考文献]

- [1] 钱建平. 构造地球化学浅议 [J]. 地质地球化学, 1999, 27(3): 94 - 101.  
Qian Jian-ping Tectono-geochemistry—a brief discussion [J]. Geology-Geochemistry, 1999, 27(3): 94 - 101.
- [2] 章崇真. 试论矿田断裂地球化学 [J]. 地质与勘探, 1979, 15(3): 1 - 10.  
Zhang Chong-zhen Discussion on fault geochemistry of ore field [J]. Geology and Exploration, 1979, 15(3): 1 - 10.
- [3] 董岩翔. 浙东某区区域构造地球化学特征及其研究意义 [J]. 浙江区测, 1980, (1): 1 - 10.  
Dong Yan-xiang Geochemical characteristics of regional structure and their research significance in the east of Zhejiang [J]. Zhejiang Regional geology, 1980, (1): 1 - 10.
- [4] 齐家吉, 麦广田. 地质构造地球化学特征要素及其在区域化探解释中的应用 [J]. 物探与化探, 1993, 17(1): 14 - 20.  
Qi Jia-ji, Mai Guang-tian Geochemical characteristic elements of geological structure and their application to the interpretation of regional geochemical prospecting data [J]. Geophysical and Geochemical exploration, 1993, 17(1): 14 - 20.
- [5] 刘泉清. 构造地球化学的研究及其运用 [J]. 地质与勘探, 1981, 17(4): 53 - 61.  
Liu Quan-qing Research and application of tectonogeochemistry [J]. Geology and Exploration, 1981, 17(4): 53 - 61.
- [6] 金 浚. 构造地球化学在某矿区的应用 [J]. 物探与化探, 1981, 5(3): 174 - 177.  
Jin Jun Application of tectono-geochemistry in a mining area [J]. Geophysical and Geochemical exploration, 1981, 5(3): 174 - 177.
- [7] 黄瑞华. 东南地洼区锡元素的大地构造成矿作用 [J]. 大地构造与成矿学, 1987, 11(4): 287 - 296.  
Huang Rui-hua Geotectonic metallization of tin element in the southeast diwa region of China [J]. Geotectonica et Metallogenia,

- 1987, 11(4): 287 - 296.
- [8] 何邵麟, 陈智. 贵州地壳表层构造地球化学分区及其意义 [J]. 贵州地质, 2002, 19(3): 249 - 253.  
He Shao-lin, Chen Zhi. The zoning of surface tectonic geochemistry in Guizhou and its significance [J]. Guizhou Geology, 2002, 19(3): 249 - 253.
- [9] 孙家骢, 江祝伟, 雷跃时, 等. 个旧矿区马拉格矿田构造-地球化学特征 [J]. 地球化学, 1987, 26(4): 303 - 311.  
Sun Jia-cong, Jiang Zhu-wei, Lei Yue-shi, et al. Basic tectono-geochemical features of Malage ore field of Gejiu mining area [J]. Geochimica, 1987, 26(4): 303 - 311.
- [10] 韩润生, 陈进, 高德荣, 等. 构造地球化学在隐伏矿定位预测中的应用 [J]. 地质与勘探, 2003, 39(6): 25 - 28.  
Han Run-sheng, Chen Jin, Gao De-rong, et al. Application of tectono-geochemical ore-finding method in orientation prognosis of concealed ores [J]. Geology and Exploration, 2003, 39(6): 25 - 28.
- [11] 钱建平. 广西珊瑚矿区中部成矿期构造应力场、热力场和地球化学场的耦合作用及成矿分析 [J]. 矿物学报, 1998, 18(4): 514 - 524.  
Qian Jian-ping. The Coupling of tectonic stress field of metallogenic epoch, the tectonic field and geochemical field and metallogenesis analysis in middle of Shanhu, Guangxi [J]. Acta Mineralogica Sinica, 1998, 18(4): 514 - 524.
- [12] 王京彬. 构造地球化学找矿现状 [J]. 地质与勘探, 1990, 26(3): 64.  
Wang Jing-bin. Current Situation of tectonic geochemical prospecting [J]. Geology and Exploration, 1990, 26(3): 64.
- [13] 夏勇. 构造改造成矿机制——四川羊石坑汞矿成矿作用探讨 [J]. 地质与勘探, 1996, 32(2): 4 - 11.  
Xia Yong. The new data of sedimentary-tectonic reworked metallogenic mechanism of Yangshikeng mercury deposit, Sichuan, China [J]. Geology and Exploration, 1996, 32(2): 4 - 11.
- [14] 顾连兴, Ken R. McClay, 周继荣, 等. 块状硫化物矿石中硫化物的压溶和增生及成矿意义——以加拿大西部矿床为例 [J]. 矿床地质, 2001, 20(4): 323 - 330.  
Gu Lian-xing, Ken R. McClay, Zhou Ji-rong, et al. Pressure solution and overgrowth of sulphides in massive sulphide ores and their metallogenic significance: exemplified by deposits of western Canada [J]. Mineral Deposits, 2001, 20(4): 323 - 330.
- [15] 龚美菱. 相态分析与地质找矿 [M]. 北京: 地质出版社, 1994: 142 - 185.  
Gong Mei-ling. Phase analysis and geological prospecting [M]. Beijing: Geology Press, 1994: 142 - 185.
- [16] 吴次芳, 陆景冈, 董岩翔. 浙江省土壤微量元素构造地球化学特征 [J]. 土壤学报, 1991, 23(8): 334 - 338.  
Wu Ci-fang, Lu Jing-gang, Dong Yan-xiang. Tectono-geochemistry characteristics of trace elements in soils of Zhejiang province [J]. Acta Pedologica Sinica, 1991, 23(8): 334 - 338.
- [17] 钱建平. 广西珊瑚长营岭钨锡矿床矿液流向的确定及其意义 [J]. 地质与勘探, 1993, 29(5): 6 - 10.  
Qian Jian-ping. The determination and significance of ore fluid flow direction in W-Sn deposit of Changyingling, Shanhu, Guangxi Province [J]. Geology and Exploration, 1993, 29(5): 6 - 10.
- [18] 钱建平, 何胜飞, 王富民. 安徽祁门廖家地区地质地球化学特征和构造地球化学找矿研究 [J]. 物探与化探, 2008, 32(5): 519 - 528.  
Qian Jian-ping, He Sheng-fei, Wang Fu-min. Geology and Geochemistry characteristic and tectono-geochemical prospecting in Liaoja of Qimen, Anhui Province [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2008, 32(5): 519 - 528.
- [19] 李惠, 张国义, 禹斌. 金矿区深部盲矿预测的构造叠加重叠模型及找矿效果 [M]. 北京: 地质出版社, 2006: 1 - 46.  
Li Hui, Zhang Guo-yi, Yu Bin. Structural superimposed halo model and prospecting effect of deep blind ore body prediction of gold mining area [M]. Beijing, Geology Press, 2006: 1 - 46.
- [20] 钱建平. 黔西南微细浸染型金矿基本特征和几点认识 [J]. 桂林工学院学报, 2001, 21(1): 27 - 34.  
Qian Jian-ping. Geological characteristics and several considerations of micrograined disseminated gold deposits in southwest Guizhou [J]. Journal of Guilin Institute of Technology, 2001, 21(1): 27 - 34.
- [21] 罗孝恒. 黔西南卡林型金矿勘查中的构造地球化学研究 [J]. 贵州地质, 2000, 17(4): 249 - 253.  
Luo Xiao-heng. Study on structural geochemistry in the exploration of Carlin type gold deposits in southwestern Guizhou [J]. Guizhou Geology, 2000, 17(4): 249 - 253.

## Tectono-geochemical Prospecting Method and Its Application in Searching for Sediment-Hosted, Disseminated Gold Deposits

Qian Jian-ping

(Department of Resource and Environmental Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004)

**Abstract:** A few basic questions are discussed on the Tectono-geochemical mineral prospecting method, including its history, theory basis, study content, working process, working methods and characters. The geochemical characters of different types of ore-controlling structures are summarized. The Naneng gold mine in Funing County, Yunnan Province was studied as a case. The deposit is a sediment-hosted, disseminated gold deposit with multi-element anomaly of Au, As, Ag and Mo, two geochemical anomalous zones were identified which were proved to be resulted from gold orebodies and controlled by an echelon fold.

**Key words:** Tectono-geochemical, Prospecting Method, sediment-hosted, disseminated gold deposits, Funing, Yunnan