

地质力学通讯

(十一)

1987³

32 213

地质矿产部地质力学情报网

一九八七年九月

目 录

矿产地质

- 构造体系与隐伏矿产.....尹华仁 (1)
- 南岭花岗岩及其成矿作用的区域构造条件.....李尚淮 (4)
- 瑶岗仙黑钨矿床构造研究.....黄存基 (22)

工程地质

- 长江流域区域稳定性研究.....李晓军 (27)

● 问题与讨论

- 对地质力学基础理论研究方面的一点建议.....尹继才 (35)
- 地质力学在实践中的发展与展望.....宁晰春 (38)
- 流体包裹体群与构造应力场的关系.....王桂兰 (45)

地质力学在国外

构造体系与隐伏矿产

尹 华 仁

(地质力学研究所)

构造体系是—定方式的区域构造运动的结果。但同一方式的区域构造运动波及的深度和广度以及活动的时间都不会完全相同，它们在活动时间内促使物质集团运移和单质分异的方式和程度也就迥然异。各集团物质和单质成分根据自身的物理和化学状态以及各自独特的化学性质和原子结构，在区域性构造运动的动力作用下，在运动的不同阶段和不同地域分别发生不同的运移和分异富集，在各自有利富集的构造部位和运动阶段中聚积成矿。

在区域性构造运动的动力作用下，一方面形成相应的构造体系，一方面又促使波及的物质发生分异、运移和再组合，聚积成岩成矿，因此，分异富集的岩体、岩带和矿体矿带与构造体系之间存在着千丝万缕的联系，它们各自沿有规律可寻的带和群，在构造体系内的不同构造部位和不同深度出现，邻近矿体和矿带总有这样那样显示成矿的信息，为寻找隐伏矿床提供资料。

高温高压条件是确定的矿物和岩石生成条件，只有在适当的成矿温、压条件下迭加一定的单向压应力，造成物质定向分异运移的梯度，才能使物质沿一定方向分异聚积，形成一定矿物和岩石，再各别浓缩成矿体和矿带。在强烈构造带中，众多金属矿产都组合聚积成带、群，出现在与区域性构造运动的压性轴一致的方位上，或者其单体出现在派生的不同方向和不同力学性质的结构面上，显示出与构造体系的相依关系，明显地标示出动力作用对聚矿作用的影响远远地超过了其他因素的有效聚矿作用，其中，压应力更是使物质运移聚积成矿的重要因素，在中国境内，物质成分发生明显变异或大量岩浆活动的地区主要是与东西向压性构造有关，三大主要东西复杂构造带内，印存了强烈岩浆活动和物质运移变异的形迹，特别是在与其他构造带复合的地段，往往成为良好的聚矿区。

不同元素有自己特征的化学性质和原子结构，为此，在区域性构造运动的动力作用下，彼此分离、再富集。分离达到一定程度，聚积到一定规模则成矿。沉积矿产，火成矿产和变质矿产的分异和聚积都有渐变和突变两种形式，正如断裂的水平位移和地块的相对升降运动一样，它们既可以显示年平均运动厘米级甚至毫米级的规模发生渐变，如中国东部大陆相对下沉，西藏高原相对上升，北美西海岸的圣安德列斯断层东盘相对其西盘，现在正以每年五厘米的速度向东南方向错动。它们更可能在强烈区域性构造运动期出现突变的加速位移。对于物质成分的分异和聚积成矿来说，突变更具重要意义。物质成分的突变制约于地质环境的突然变化，包括温度、压力、介质、氧逸度……等因素的突然变化，而这些因素的突然变化是起因于发生强烈的区域性构造运动。成矿期总是伴随强烈的区域性构造运动，区域性构

造运动是形成各种矿产的必要条件。赵寅震同志强调的同成矿构造有重要的理论意义和经济价值。

矿产的形成与构造应力场有内在的成生联系。大量的内生金属矿床，无论成因类型有多大差异，都出现在压应力相对集中的区、带，并且多数矿体都直接储存在压扭性破裂带中，用将今论古的方法，从现今地应力场测定的数据考虑，重力只在超过深度一公里的深处才逐渐发挥作用，而区域性构造运动的动力作用则从地表到更深的深处都发挥出巨大的威力。明胶模拟实验指出，在已经发生了压扭裂面的邻区，尤其是在压扭裂面发生弯曲的凹面一侧是压应力弱区，能否假设这些压应力弱区是有利的聚矿部位呢，尽管事实上许多矿床都储存在这种构造部位，但是，由于古地应力场的边界条件相对复杂，又需要剔除更多的混杂因子，同时还有一些参加运算的因子又不同程度地包含有假设的成分，计算的结果就可能出现谬误，这是正待研究解决的难题之一。

区域构造运动的动力作用形成统一的应力场，在应力场中，各种矢量的值应有规律地变化、卷入应力场的各类化学元素和物质集团的分异聚积也应随之规律变化，在聚矿区的邻近，在与聚矿构造体系相似或相同的构造成分内，应有成矿的指示因素出现，这些指示因素，部分相当于一般所谓的找矿指标，杨开庆研究员提出的“先头部队”，李四光教授所讲的广义的“重元素上翻”。在广东吴川~四会构造带中，与东西构造带有关的结构面中，强烈地聚积了钴、锰、金、银等微量元素，它们本身不成矿，但能指示在东西构造带活动期，有相应元素的运移积聚，显示相应元素在构造带内存在，为找寻这类矿产提供了指示性参数。

在强烈区域构造运动中，总有一些挥发性元素，如硼、氟、硫、磷等运移富集到较浅的地表，组成萤石脉，电气石脉，磷灰石脉和各类硫化物脉及硫酸盐细脉，还有一些难挥发的元素，如铁、铜、钼等，运移富集后组成镜铁矿脉，多金属矿脉，重晶石脉和石英脉等，更有一些金属元素，沿各类裂隙运移停积形成围岩中的网脉和浸染状，在另外的地质条件下它们不单独组成脉，它们是呈伴生状态随载体运移，作为岩石和矿石中的伴生组分，在构造带的一定部位形成高背景带。事实说明这些脉状、浸染状和伴生状态的物质，多数属于混杂物质运移、并在各类梯度影响下，或者逐渐分异或者突然分异，形成单质，以气相或液相形式继续运移，最后，在适合于各自富集的环境中，或者富集成矿，或者只是相对富集并不构成工业矿床。各种元素的富集机制暗示有相应或与之相关的元素形成隐伏矿床。安徽庐江地区，与隐伏铁矿有关的硼，钼和硫、氟以更大的活动性运移更远的距离，在铁矿之上呈脉状停积，磷和钛则主要部分运移相对较近，在铁矿内和在铁矿顶部聚积。上述这些元素组成的脉状构造还指出了铁矿形成的活动构造体系或活动构造带。就铁而言，形成铁矿还需要有强氧化条件，低价铁很难富集形成有价值的铁矿。在高温高压下，铁容易与 SiO_2 发生反应，生成各类硅酸亚铁、呈分散状态组成造岩矿物，只有在低温和富 CO_2 的环境中，低价铁才能与 CO_2 结合形成热液型和沉积型的菱铁矿，在高温高压的强氧化条件下铁氧化成 Fe^{3+} ，在单向压力作用下，三价铁有相对较大的流动性，在区域构造运动的动力驱动下，有更广阔的活动范围，在广阔的空间形成镜铁矿脉，可以指示氧化条件相对较弱的磁铁矿的聚积区，作为铁矿和与铁有关的其他高温热液矿床的先头部队或指示因子。

离子状态比相应的原子状态有更大的活动性，元素是否处于离子状态，对其运移集散关

系甚大。在高温下，原子的价电子层受热能激发，电子获得高能而跃迁，使原子离子化，甚至能达到等离子态，推测在区域构造运动的动能作用下，元素也可以处于等离子态。单向压力传递给原子，使绕核旋转的电子层变形，在垂直压力作用线方向原子被拉长，形成纺锤状，在这个方向上，外电子层距原子核的距离增大，失去静电平衡，电子发生跃迁而离子化，同种元素的高价离子相对低价离子，总是反映受到了相对较大的外能激发，在构造带中高价态离子集中区，应代表受应力强的高温区，另一方面，单向应力传递给原子，使原子在平行压力作用方向被压缩，内层电子层，即K电子层在这个方向距原子核的距离缩短，在这个方向上，K电子层的电子静电引力超过核斥力，容易被原子核捕获，发生或加速K电子层捕获，使元素转化。如 $K^{40} \Rightarrow Ar^{40}$ ，形成同位素年龄K—Ar法测不准的因子之一。另外，在区域构造运动期，高能传递给原子，使原子处于激发状态，形成 β^- 衰变， $K^{40} \Rightarrow Ca^{40}$ ，发生核反应，使元素发生转化。同位素地球化学的研究将在地质学中发挥重要作用。

在区域性构造运动中，物质的宏观运移和微观运移都是以旋转运动为主，单纯的平移运动只是偶然的瞬时现象。古地磁测量可以发挥其作用。当物质温度低于磁居里点时，磁性物质将沿当时的地磁极取向，在以后的旋转中，不断受地磁极影响，最终出现综合性的古地磁参量。但是，低于磁居里点的取向可以用热退磁法分段筛选，这样，就能分别获得热液冷凝固结的年代以及结晶后物质继续转动的全过程，并且还能测量转动全过程的时间间隔和阶段特征。大量不同构造部位的古地磁参量就决定了指标物质（包括脉岩，蚀变带，矿体和矿化带等）与围岩之间的时空关系和运移特征，为追索矿源和寻找隐伏矿床提供数据。

在区域性构造运动中，动力作用可能传递到原子内部和分子内部，对于后者，从键间夹角变化，晶体位错和晶系转化等方面都有充分的事实和理论根据，对于前者，动力破坏电子层，特别是破坏价电子层结构已有事例和实验证明，是否能深入到原子核内部，除了上述的 β^- 衰变和K电子层捕获外，稳定同位素量值比的变化也是明显的启示。在构造带中，单矿物内稳定同位素量值比有极大的变化范围，稳定同位素的量值比是地质事件的一种数据记录。据此，划分与成矿有关的稳定同位素量值比变化范围和分布规律是找寻隐伏矿床的依据。

单矿物的成分记录了形成矿物的地质条件，根据单矿物的主要组成元素含量的变化和伴生微量元素的种类和含量可以把单矿物详细分类，而其中个别类型才是与成矿相关，含钨锡的锆石暗示钨、锡矿带存在，含铂锆石又是贵金属元素富集的指标，富钛铁的绿泥石，在特定环境下是含锡多金属矿的找矿标志，它们都占据了更广阔的空间，扩大了找矿机率，可以揭示隐伏其下的相应矿产。

动力作用是驱使物质运移转化的主要因素之一，结合物质成分运移规律，找出它们与构造体系之间的成生关系是找寻隐伏矿床的有效途径之一。

南岭花岗岩及其成矿作用的区域构造条件

李尚淮 王连忠

(地质力学研究所)

南岭地区是指南岭及其毗连地区,区内矿化普遍,蕴藏丰富的有色、稀有、稀土、放射性矿产,是我国的一个重要成矿区。对于这一成矿区的划分以及区内不同类型矿床的分布、区域成矿规律的研究,久已为国内外地质学家所关注。

1979—1981年在吴磊伯教授、杨开庆研究员的指导下,笔者曾有机会对南岭地区地质构造、矿产作了较为广泛的调查研究,在前人工作的基础上对本区几种主要内生金属矿产的形成和分布规律取得了某些认识,并探讨了它们形成的区域构造地质条件。

一、南岭地区内生金属矿产分布的基本特征

地壳某些部分有用元素的聚集、矿床的形成是漫长地质历史中,构造变动和受它所制约的变质作用、岩浆活动、沉积建造等各种地质作用的综合结果,是地质的、物理化学作用的发展、演化的产物。任何一个矿床的形成都不是孤立的,一下子突然出现的。在空间上必然有与它具有某些成因连系的矿化相伴出现,构成与某些具有长期发展历史的巨型构造的展布协调一致的成矿区、带。在时间上,有它的发生、发展、形成、转变的演化过程。因此我们在研究区域成矿作用、矿床的分布规律、揭示控制矿化演化方向和进程的地质过程时,应该把不同时期的各类矿床看成是一个有机联系的整体,看成是在长期地质构造发展演化过程中不同阶段的产物。看作是具有某种地质历史发展特征的成矿地质条件的反映。

南岭地区普遍地发现有稀有稀土、有色金属矿化,不同矿种不同类型的矿点、矿床星罗棋布,紧密地聚集在一起,从总体来看,它们都局限于南岭地区,而且主要与燕山期酸性侵入岩有关,显示了矿化金属组合地区性特点。构成了具有明显区域特征的南岭金属成矿区。在成矿区内部矿化也不是均匀分布的,由于一种或几种金属元素在不同地段的相对富集,构成了金属矿产的带状分布——区域成矿带。在成矿带内部由于构造、岩性的差异等局部因素的影响,使某些成矿元素在一定部位相对富集构成矿化带,而矿化带则是由更低级别的矿田(或矿区)组成。

图2—4,是在区测及勘探资料的基础上综合了已知矿点、矿床,根据单位面积的相应变化密度采用厘米网格法编制而成的。图中极密区是矿化的密集区,但不一定直接对应着某个具体矿床的位置,它只是趋势性的反映了矿化分布的区域特征。

钨的矿化。

图2,是南岭地区钨的矿化程度图。从图中可以清楚的看到南岭地区钨的矿化主要在赣

南、湘南、桂东、广东及闽西南地区，大致在江西宜春——广西荔浦的北东一线以东，广东饶平——福建尤岩——江西资溪南北一线以西地区。其中稀疏矿化区多数相连成片，形成具有明显方向性的带状矿化区。中等和密集矿化区多呈孤立的椭圆状散布于稀疏矿化区内，它们的长轴及其相互排列的展布也清楚地显示出一定的方向性。概括起来显著的钨矿化带有：

东西走向钨矿化带。从郴州——赣州一线向南钨的矿化急剧加强，构成大余——栗木东西钨矿化带，过大余——乐昌后矿化突然降低，出现无矿或矿化稀疏区。从始兴——韶关一线向南矿化复又加强出现龙南——贺县东西钨矿化带，向南再隔一无矿或矿化稀疏区而与饶平——佛岗矿化带相呼应。这三条矿化带，它们皆作北 80° 东——东西走向，矿化带宽约60—80公里，矿化带之间距离大致相等，约30—40公里。大余——栗木矿化带是本区矿化最密集的地区，向南其他两个带矿化有依次减弱之势，直到广东沿海才又有所加强；向北还依稀看到椭圆状钨的矿化密集区呈现东西方向排列趋势。但是由于矿化向北的急剧减弱，东西方向排列的矿化带轮廓已不甚清楚。

北北东走向的钨矿化带。从东向西有：

行洛坑——梅县——海丰钨矿化带；

乐安——于都钨矿化带；

崇义——始兴——从化钨矿化带；

宜春——乐昌——四会钨矿化带。

上述矿化带都具有较为稳定的北北东的展布方向，矿化带之间亦略具等距性的特点。

北西走向的钨矿化带。在东西及北北东方向展布的矿化带的复杂背景上，北西方向展布的矿化带还是清楚可见的。比较明显的北西走向钨的矿化带有：

临武——从化矿化带；

郴州——翁源——海丰矿化带；

衡阳——大余——五华矿化带；

宜春——于都——饶平矿化带。

此外，东经 113° — $114^{\circ}40'$ 范围内从宜春向南直达海边，有略作南北方向的矿化带展布。

锡的矿化。

锡的矿化分布从图3可见与钨类似。但是它的位置比钨向南、向东偏移，矿化密集区很少连接成片，一般都成独立的长条状、椭圆状散布于广大的地域内。

东西走向锡矿化带；

大余——临武——栗木锡矿化带；

龙南——贺县锡矿化带，此带向东一直伸展到寻乌、梅县东北地区；

海丰——罗定——贵县锡矿化带，此带南北波及范围较宽，东段矿化程度高，向西继续延伸，过广西南部可能与个旧锡矿相连。这与夏湘蓉等人的意见相吻合。

北北东走向的锡矿化带；

乐昌——四会锡矿化带；

大余——始兴锡矿带；

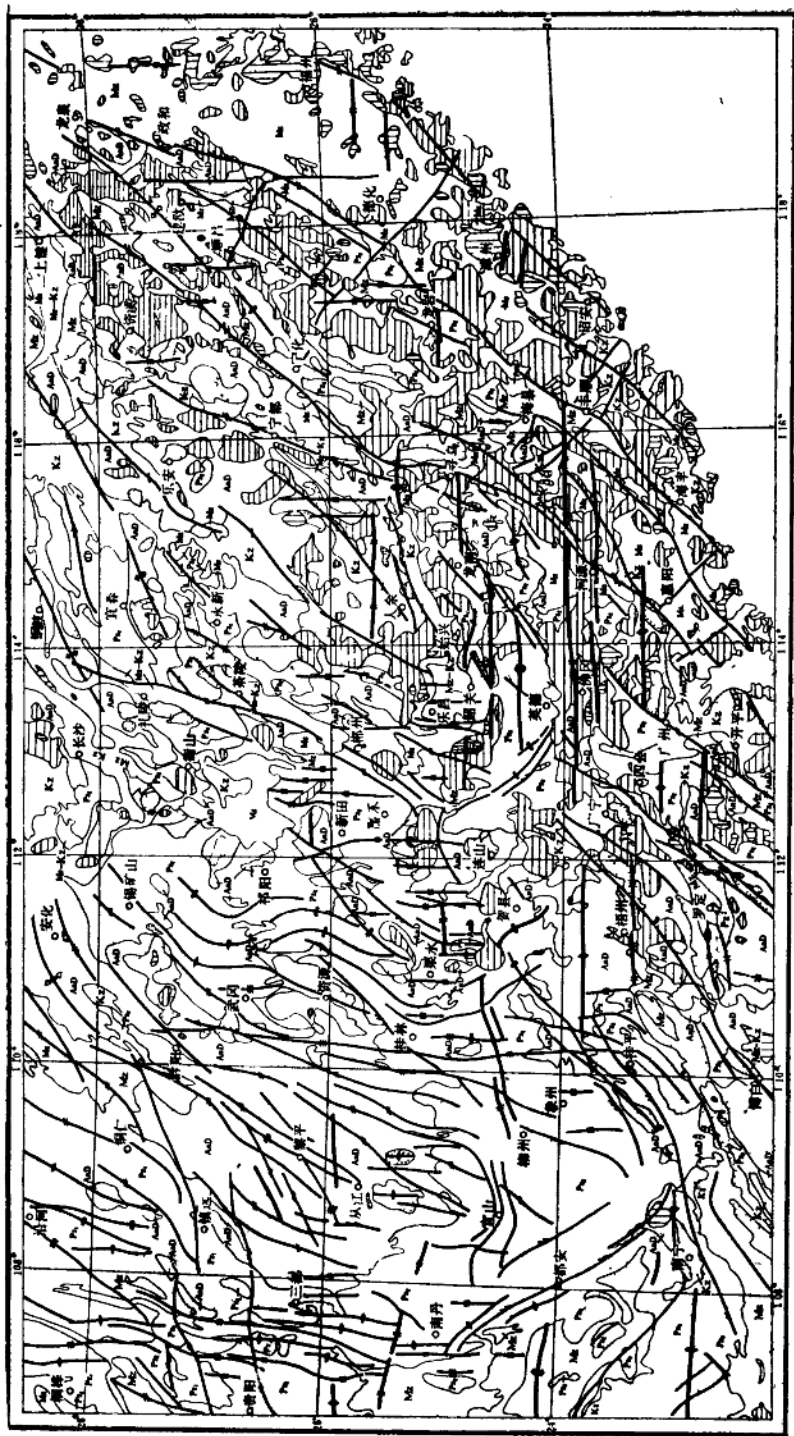


图1 南岭地区构造体系图

1—前寒武系；2—下古生代；3—上、中、新生界；4—中生界；5—新界；6—中、新生界；7—燕山晚期花岗岩；8—燕山早期花岗岩；9—燕山期花岗岩；10—东西带冲断层及挤压带；11—南北带冲断层及挤压带；12—华夏系压性断层；13—新华夏系压性断层；14—华夏系压性断层；15—山字型压性断层；16—体系归属不明的西北走向断层；17—复式背、向斜；18—背向斜。

梅县——海丰锡矿化带。

此外，一些锡矿化密集区在北西方向上也排列成行，构成矿化带。但它们不象东西、北北东方向的矿带那样规整和明显。沿经线 $115^{\circ}20'$ — $116^{\circ}10'$ 之间，锡的矿化呈带状从海、陆丰向北一直延到寻钨以北，矿化带大体呈南北走向。它比南北走向的钨矿带在地理位置上大约向东推移了一度半。

铅、锌、（铜）的矿化。

铅、锌、铜多为中低温热液矿床，经常相伴出现。在南岭地区产有大量的铅、锌，铜相对要少得多，图4反映的是铅、锌矿化分布状态，铜只是对局部曲线形态有一定的影响或改变，对整个图面的形态结构并未产生很大的影响。铅、铅、（铜）的矿化分布在南岭地区较为普遍，特别是在黔东、桂东、湘南、广东及闽北地区矿化相对集中，主要的铅、锌矿化带有：

北北东走向铅、锌矿化带：

贵县——栗木铅、锌矿化带；

礼陵——郴州——云浮铅、锌矿化带。

北东走向铅、锌矿化带：

镇远——三都铅、锌矿化带，矿化带从贵州三都以南始，向北经镇远延至湖南辰溪、安化一带，矿化带宽50—80公里，矿化密集区分布在镇远三都一带；

韶关——罗定铅、锌矿化带；

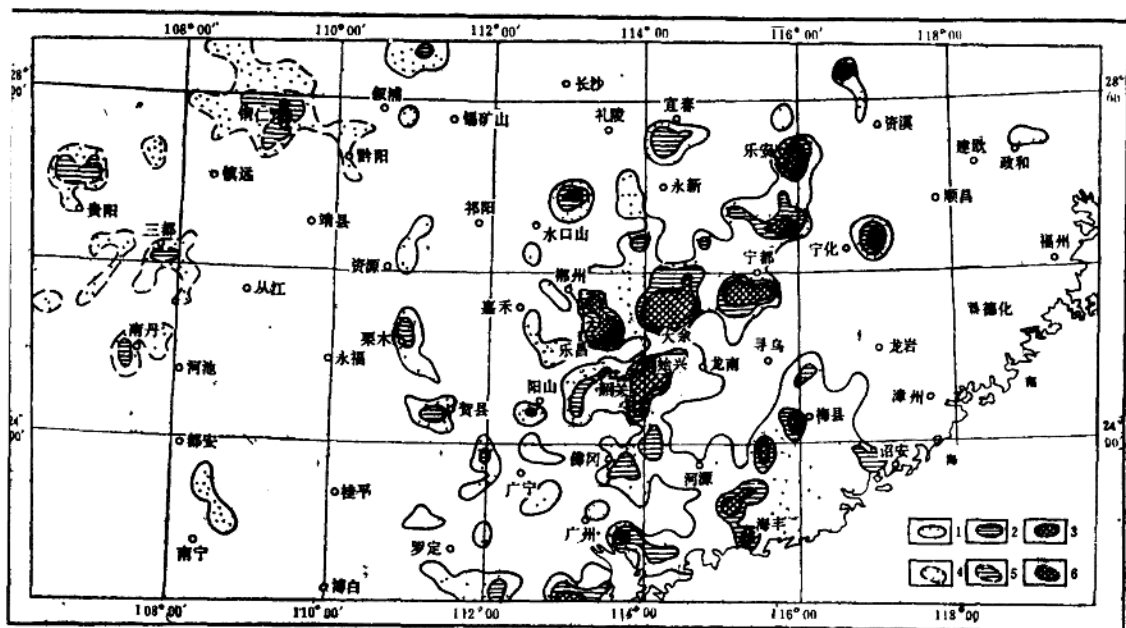


图2 南岭地区钨、汞矿化程度图

1—钨的稀疏矿化区(10km^2 内含1—3个矿化点)；2—钨的中等矿化区(每 10km^2 内含有3—5个矿化点或一、二个中小型矿床)；3—钨的密集矿化区(每 10km^2 内含有5个以上矿化点或一、二个以上大、中型矿床)；4—汞的稀疏矿化区；5—汞的中等矿化区；6—汞的密集矿化区。

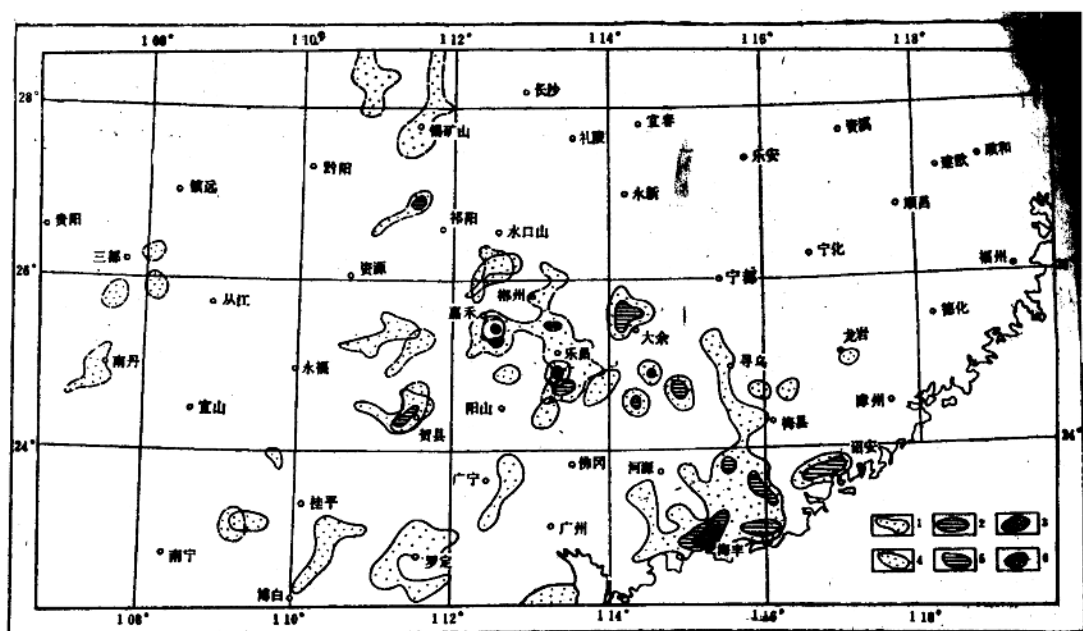


图3. 南宁地区锡、锑矿化程度图

1—锡的稀疏矿化区；2—锡的中等矿化区；3—锡的密集矿化区；4—锑的稀疏矿化区；5—锑的中等矿化区；6—锑的密集矿化区。

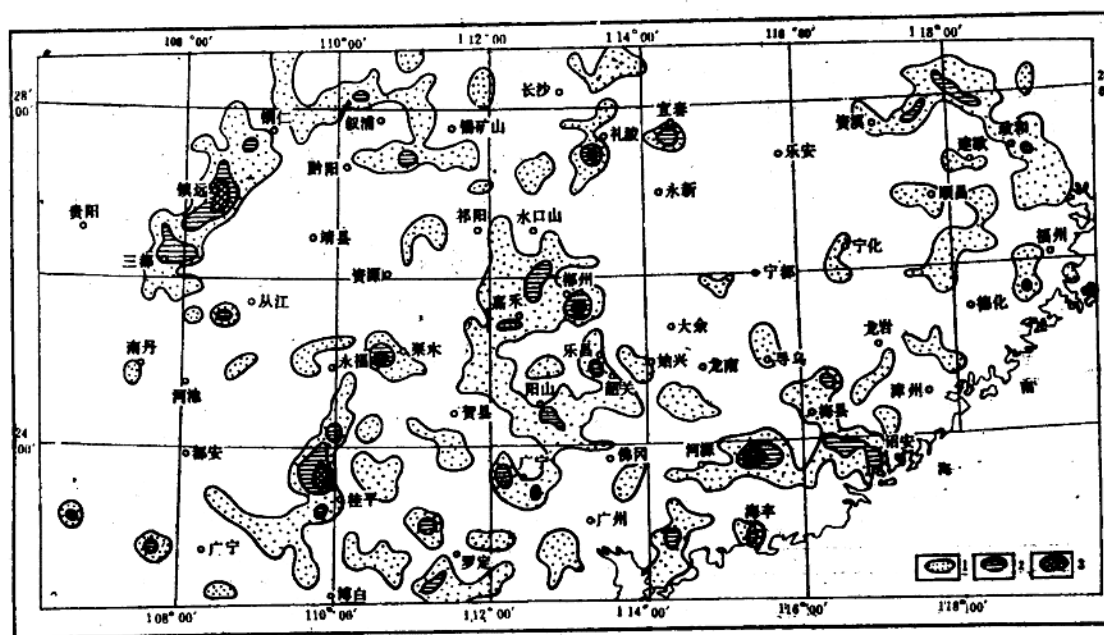


图4. 南岭地区铅、锌、(铜)矿化程度图 1—稀疏矿化区；2—中等矿化区；3—密集矿化区。

建阳——寻乌——从化铅、锌矿化带；矿化带主要是由一些孤立的椭圆状近于等距排列的稀疏矿化区组成；

政和——梅县——惠阳铅、锌矿化带。

东西走向铅、锌矿化带。铅、锌矿化带的东西带状分布不甚明显，但在前面所述钨、锡东西矿化带上铅、锌的矿化强度均有明显的加强，构成继续延伸的东西走向铅、锌矿带。在分布位置上较钨、锡矿带略偏西、偏南。另外在湘中地区，北纬 27° 以北还存在另一条东西走向的铅、锌矿化带，矿带东延可能和江西宜春地区的矿化相接。

南北走向的铅、锌矿化带。沿东经 112° — $113^{\circ}40'$ 铅、锌矿化由广东的高鹤向北一直延展到湖南礼陵以北一带，矿化呈宽缓的南北带状分布。此带，在地理位置上较钨矿带向西错移程度 1° ，与南北走向的锡矿带偏移方向刚好相反。

铋、汞矿化

汞的矿化分布，如图2所示，集中在黔东、湘西及桂北的一部分，主要分布在三都——镇远铅锌矿化带的南北两端延长方向上及其西侧的广阔地区。北段铜仁地区的汞矿化除显示北北东方向的展布外，尚有东西带状展布的特点。

铋的矿化分布与汞较之稍偏东，散布的范围较大，主要分布在粤西北、湘西、黔东及桂北地区（如图3）。显著的铋矿化带有：三都——南丹铋矿化带；郴州——贺县铋矿化带，向南西可能与桂东的象州、贵县地区的铋矿相接；矿化带走向北东，韶关——郴州——锡矿山铋矿化带。此外，在大余——栗木钨矿化带的西段汝城以西重迭了东西方向的锡矿化带。在东经 111° — 112° 间出现一些沿南北一线排列成行的铋矿化带，它们比南北走向的铅、锌矿化带又向西偏移大约一度。

以上的叙述是就已知的一种或一、二种矿化总体展布划分的不同矿化富集带，这种划分没有考虑区域地质、构造、岩浆活动诸因素，而只是根据目前已发现的矿化的综合展布形态进行划分。目的是想尽可能避免某些已有概念、观点对矿化分布特征描述方面的影响，试图在弄清楚矿化区域分布特征的基本事实之后再寻求地质、构造、岩浆活动诸方面的综合解释。这在着眼于广大地区成矿规律的综合研究时，或许是必要的。综合上述钨、锡、铅、锌、汞、铋的区域分布，可将南岭地区矿化的主要特点概括如下：

（一）矿化的时间性。从已有的资料看，南岭地区有色、稀有等众多的金属矿化大多集中在地质历史发展的晚期阶段——燕山运动时期，并且和本区广泛分布的燕山期酸性——超酸性花岗岩有成因联系。在地史发展的较早阶段，如雪峰期、加里东期，花岗岩不仅数量少，而且岩性偏基性，多为中酸性的斜长花岗岩、花岗闪长岩。岩石中铌、钽、钨、锡含量很低，主要矿化为金、银等，到了印支期才出现了铌、钽、锡、铅、锌的矿化，只是到了燕山期才普遍发生矿化，聚集形成了稀土、铌、钽、铍、钨、锡、铅、锌、汞、铋、铀的重要工业矿床。

（二）矿化的地区性。在南岭成矿区内，矿化在空间上并非均匀分布，而是某一种或几种矿化金属元素集中的分布于某一地区。如黔东、湘西、桂北为汞、铋、铅、锌区域金属成矿带；赣南、湘南、粤北及桂东的一部分地区为钨、稀土、铌、钽、锡及多金属成矿带；粤东南沿海为锡、铌、钽、铍成矿带；政和——大浦以东闽东沿海为铅、锌、铜、钼成矿带。显示了在南岭成矿区内矿化分布的地区性特点。

(三) 矿化分布的方向性。南岭地区矿化的区域展布普遍具有明显的方向性, 形成了沿着一定方位伸展的矿化带。值得指出的是在不同地段、不同时期、不同矿种矿化带的展布大体上是沿着几个固定的方位展布的, 它们有的先后重迭或部分重迭在一起, 或者互不衔接相去甚远, 但它们却沿着类似的方位展布, 这些方位有: 东西、北东、北西、北北东及南北。矿带展布的方向性可能与构造及岩浆岩带的区域展布有关。

(四) 不同矿种在区域分布上的递变性。在矿化的地区性中已述及, 矿化分布具有地区性特点, 总的看, 由西向东本区矿化金属组合逐渐在变化, 成矿的温度也逐渐增高。黔东、桂北的三都——镇远一带, 主要是汞的矿化分布区, 其中穿插有铋、铅、锌的矿化, 向东和东南至湖南、桂东及粤北地区主要为铅、锌或铋的矿化分布区, 其中散布有钨、锡的矿化, 形成了一些以铅、锌或铋为主的显著北北东走向的成矿带, 再向东至赣南、粤北一带出现了以钨为主的矿化, 而锡的密集矿化则更偏于东南方向, 分布于粤东南一带。此外, 在南北方向上不同矿种在区域分布上递变性也是非常显著的。如大余——栗木钨矿化带较集中地分布了众多的大中型钨矿床, 向南钨的矿化逐渐减弱而钼的矿化反而逐渐加强, 出现了龙南——贺县钨、锡矿带, 至粤东南沿海则变为以锡为主的钨、钼矿化区。向北, 钨的矿化逐渐为铅、锌、铜、铁矿化取代。

南岭地区矿化分布的特点和某些规律性是在极其广阔的地域内显现出来, 说明影响它的不大可能是某些局部的、一时的因素, 而必然是和影响整个地区地质历史发展进程的区域地质、构造变动、岩浆活动等方面因素有关。

二、南岭花岗岩的演化与成矿的关系

我们所说的南岭花岗岩不仅包括原来意义下的那些富含有色、稀有金属的燕山期花岗岩, 也包括南岭地区不同时代的各种花岗岩类。因为它们不仅分布于南岭地区, 而且在形成和组成方面也具有密切的内在联系。

就其出露的面积看, 前寒武纪的花岗岩出露很少, 零星分布; 加里东期花岗岩分布较广; 海西期岩浆活动很弱, 印支期有所加强; 燕山期花岗岩广泛出露, 是本区最强的一次岩浆活动, 特别是燕山早期花岗岩往往以规模巨大的岩基形式产出, 构成了南岭花岗岩的主体。如果就个别岩体看, 它们形态各异, 互相穿插呈现出极为繁杂的景象。若从不同时代花岗岩的区域分布上看, 能较清楚的看到某时代或某侵入期的花岗岩分布于一定的地区, 构成具有一定走向的花岗岩带。这在由西北向东南的方向上表现尤为明显, 从图1中可看出大体上存在三个北东走向的岩带: 第一带是以印支期、海西期和加里东期花岗岩分布为主的地区; 第二带以燕山早、中期花岗岩为主的地区; 第三带以燕山晚期花岗岩为主的地区。这三个不同时期北东走向花岗岩带的区域展布表明, 本区从西北向东南方向花岗岩的时代有越来越新的趋势, 活动越趋激烈。同时, 从图1也可以看到从北到南有四条大的东西向花岗岩带:

I带由九嶷山、骑田岭、九峰——诸广山岩体、坪田——青峰——油山岩体组成, 大致循北纬 $25^{\circ}20'$ 一线展布; II带由花山、姑婆山、大东山、资东、九连山等岩体组成。西起广西钟山县东至江西全南县境内, 大致循北纬 $24^{\circ}35'$ 一线展布; III带由赣岗、新丰江、紫金等岩体组成, 大致循 $23^{\circ}50'$ 一线展布; IV带沿广东南部沿海地区, 东起海丰西至台山、恩平以西。这四条东西走向的花岗岩带, 就其侵入时间和活动规模上看, 具有明显的变化规律: 燕山早

期第一阶段侵入的花岗岩，主要分布在Ⅰ带和Ⅱ带，燕山第三阶段侵入体主要分布在Ⅲ带，燕山晚期侵入体主要分布在Ⅳ带和Ⅴ带。这种岩浆岩侵入的分带性以及由北向南和由西北向东南时代变新的趋势，似乎反映了区域构造活动的中心随着时间的变化作规律性的迁移。

另一方面，就个别岩体考察岩浆侵入活动状况，我们可以看到同一个岩体，特别是处于不同岩带相交接地带的岩体多数为多期、多阶段侵入的复式岩体，在岩体分布的范围内经常出现不同期或者同一期不同阶段的侵入，岩体的岩性往往也是多种多样的。如诸广山岩体，岩体的基本形态是由燕山早期的黑云母花岗岩组成，其中在广东兰河附近为加里东期片麻状花岗岩侵入体，扶溪一带为印支期的黑云母二长花岗岩。岩体内部的半脊水花岗岩及一些中细粒白云母花岗岩小岩株的同位素年龄值在 $105-128 \times 10^6$ 年为燕山晚期。又如，贵东岩体，除少部分为印支期侵入的黑云母花岗岩外，主要为燕山早期侵入形成的。但是根据岩性、穿插关系及同位素年龄资料它的不同部分又是先后不同阶段形成的。再如，分布于湘、赣边境的宁岗——万洋山岩体，广西北部的苗儿山岩体，湘、粤边界的九嶷山岩体，湖南瑶岗仙岩体等等，无论从其接触关系或同位素地质方面都说明它们往往不是一期侵入的，而是多期多阶段侵入的结果。有的岩体自加里东期经海西、印支一直延续到燕山期发生反复多次的花岗岩浆侵入活动。

从组成上看，这种先后不同期次侵入形成的岩体之间，似乎又存在某些连续性，特别是燕山期侵入的花岗岩中表现更为明显。表1是诸广山岩体燕山期不同阶段侵入体的主要造岩矿物含量^[2]，从中可以看到组成不同阶段侵入体的一些主要造岩矿物石英、斜长石、黑云母的含量，以及斜长石的牌号有明显的递变规律，早期侵入的是中粗粒酸性正常的黑云母花岗岩；稍晚侵入的是浅色的中细粒黑云母及二云母花岗岩；晚期为花岗斑岩、石英斑岩等浅成侵入体。总的趋势有由酸性→偏酸富碱性→酸性浅成侵入的变化。说明多期多阶段形成的花岗岩体之间在岩石的组成上，既存在着显著的差别，又有明显的延续性，显示了形成复式岩体的花岗岩浆发生、发展的演化过程。

复式岩体反映的岩浆这种形成、发展演化的规律，在南岭地区不同时代的花岗岩体之间也有明显的反映。在关于南岭花岗岩的不少文献中都不同程度地强调这种演化趋势，指出岩

诸广山岩体各期主要造岩矿物含量 (体积%)

表 1

岩 浆 岩		样品数	斜长石	微斜长石	石英	黑云母	斜长石 牌号A _n
中基性小侵入体 β		2	41.7	0.3	0.3	11.1	56—58
燕 山 花 岗 岩	中粒二云母花岗岩 r_1^1	3	20.8	28.8	45.5	1.1	8—13
	黑云母花岗岩 r_1^2	6	22.8	34.6	34.4	4.2	27—32
	小斑状二云母花岗岩 r_3^3	6	22.6	33.8	31.4	5.8	27—35
	斑状黑云母花岗岩 r_2^2	6	29.5	30.3	26.7	13.3	30—40
海西花岗岩闪长岩 $1\delta_4$		2	30.3	28.7	19.0	2.8	40—44
		6	26.0	17.4	19.1	10.1	44—46
加里东片麻状花岗岩 r_3		6	25.5	26.2	37.2	9.1	34—37

华南不同时期花岗岩岩石化学成分

表 2

单 位	时 代		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
	成 分												
贵 阳 地 化 所	四堡—雪峰期		69.31	0.43	14.87	0.82	3.26	0.13	1.34	1.24	2.83	3.92	0.20
	加里东期		70.53	0.42	14.04	0.86	3.14	0.07	1.15	1.81	2.78	3.86	0.14
	海 西 期		71.23	0.43	13.38	1.20	3.18	0.06	1.04	1.60	2.23	4.36	0.14
	燕山早期		72.76	0.23	13.51	0.90	1.77	0.07	0.51	1.30	3.27	4.71	0.09
	燕山晚期		72.80	0.20	13.15	0.89	1.48	0.06	0.46	0.97	3.36	4.69	0.05
南 京 大 学	雪 峰 期		68.53	0.54	15.56	1.16	3.49	0.15	1.45	2.52	2.59	3.52	0.212
	加里东早期		71.57	0.29	14.36	0.70	2.25	0.09	0.76	1.45	3.14	4.21	0.11
	加里东晚期		70.49	0.34	14.01	1.79	2.27	0.07	1.12	1.63	2.76	4.34	0.15
	海西—印支期		70.58	0.41	13.80	0.98	2.83	0.06	1.05	1.94	3.04	4.05	0.07
	燕山早期		74.25	0.17	13.59	0.65	1.51	0.07	0.45	1.02	3.39	4.75	0.06
南岭花岗岩类平均成分	燕山晚期		73.30	0.17	12.68	0.83	1.39	0.06	0.43	0.83	6.86	4.60	0.05
			72.09	0.28	13.73	0.98	1.96	0.08	0.66	1.38	3.22	4.54	0.12
	中国花岗岩类平均成分*		70.09	0.31	14.63	1.37	1.79	0.08	1.01	2.00	3.75	3.85	0.19
世界花岗岩类平均成分**			70.18	0.39	14.47	1.57	1.78	0.12	0.88	1.99	3.48	4.11	0.19

* 数据 1983年

浆分异演化的成岩序列的存在。

从表2中可以看出,虽然在花岗岩时期的划分上各家意见不尽相同,计算的平均值也有差异,但是它们却清楚的反映了一个共同的规律:即(1)海西期以前的花岗岩的化学成分与世界及中国花岗岩的平均化学成分比较接近,而在以后却有较为显著的差别,表现在 SiO_2 、 K_2O 、 Na_2O 的显著偏高,基性组分 FeO 、 MgO 、 CaO 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 的平均含量显著降低。(2)岩石的化学组分的变化随着时代的更替作有规律的递变。总的看由老到新岩石中 SiO_2 的含量呈现逐渐增加的趋势; K_2O ,从加里东→燕山早期表现为明显增加,燕山晚期略有下降; Na_2O ,海西期处于最低值,以后逐渐增加,燕山晚期达到最高值。多期多阶段侵入的复式岩体先、后岩石组成的差别以及区域花岗岩平均化学成分从早到晚的规律变化说明南岭花岗岩的形成在时间上的演化。

南岭地区不论就某一个多期多阶段的侵入而形成的复式岩体,或是就整个区域不同时代花岗岩类的整体考察,其岩石类型、组成、矿化类型、矿物组合等在时间上的变化,我们都会看到南岭地区花岗岩类随时间的推移是在不断地发展、演化的,相邻时代的花岗岩类岩石不仅具有一定的相似性,同时在许多方面又具有显著的差别,反映了发展演化连续性和明显的阶段性。演化的总趋势是使花岗岩由相对基性演化到酸性,使花岗岩的岩性、矿化类型、矿物组合等由简单到复杂,使岩石中Si、K、Na元素逐步富集,Al、Ti、Ca、Mg、Fe的逐步贫化,演化的结果导致了燕山晚期富含稀有金属矿产的大量浅色花岗岩的侵入。

南岭花岗岩的成因,现在已经很少有人认为是由玄武岩浆通过结晶分异演变而来。因为南岭地区花岗岩体无论在成因或空间上和某些中—基性岩体联系的实例很少见到。南大地质系对比了不同变质相带中花岗岩类的成分,结果表明花岗岩的成分与变质的程度之间有一定的联系;莫桂孙根据云开大山——大榕山——十万大山的剖面资料分析,指出从加里东期云开大山原地半原地混合岩、混合花岗岩向西演变为海西期大榕山混染侵入花岗岩和印支期十万大山高位置花岗斑岩,认为这是一个完整的花岗岩化成岩系列,也就是说花岗岩可以是地壳硅铝物质经过变质作用、混合岩化、花岗岩化作用而形成。当然,南岭花岗岩的成形成不限于这一种方式,硅铝层的某些部位因增温而发生局部熔融作用产生花岗岩浆因而形成花岗岩,这也是显而易见的。

这里十分重要的是,不在于说明南岭花岗岩可能属于那一种成因,而在于不同的研究者却一致地指出了南岭花岗岩可能是由陆壳物质经过混合岩化、花岗岩化作用发生反复的交代、重熔、深熔作用转变而来这一事实。它说明了南岭花岗岩及其有关矿化的物质来源是陆壳硅、铝物质经过长期演化转化而来的。促使这一转变过程和花岗岩演化系列展开的是区域地质构造运动所规定的构造环境。

南岭地区普遍发育的稀土、稀有和有色金属矿化是在构成这一地区大陆地壳主要组成部分的花岗岩类的形成演化过程中不断聚集起来的,在时间上,在花岗岩演化的早期阶段,目前在其中发现的矿化很少,仅于元宝山岩体、上犹岩体中发现含有较多的锡石,到了海西、印支期矿化明显增强,除锡的矿化外,出现了铌、钽、铅、锌、钨的矿化,如姑婆山岩体砂卡岩型锡矿、骑田岭岩体的钨、钼矿化等。燕山期是南岭地区发生矿化的主要时期,矿化主要集中在170—120百万年,这一时期岩浆活动以早侏罗纪(J_1)和晚侏罗纪(J_3)最剧烈,相应的矿化也出现两个高峰,一个是中侏罗纪以有色特别是钨、锡、铌、钼为主的矿化,一个是以稀有金属和锡的矿化。

许多研究成果表明, 成矿作用与花岗岩成矿元素的丰度值有关, 成矿元素在花岗岩体中的显著富集是矿化发生的物质基础。成矿元素的丰度除受形成花岗岩的原始岩石成分的影响外, 还和花岗岩形成过程中的逐步演化有关。从表 3 中可以看出, 随着花岗岩由老到新的演化, 岩石中稀土、铌、钽、铍、钨、钨、钼的平均含量逐渐增加。这一演化趋势使得越近晚期阶段的花岗岩中稀土、稀有、有色金属元素的含量越益增高, 成矿的可能也越益增大, 到了燕山晚期上述成矿元素比世界酸性岩类的平均直一般要高几倍, 成矿岩体中一般还要高, 有的甚至高达几十倍——几百倍。

华南不同时代花岗岩中微量元素含量 • (PPm)

表 3

元素 \ 时期	雪峰期	加里东早期	加里东晚晚	印支期	燕山早期	燕山晚期	酸性岩平均含量
V	50	30	30	30	15	10	40
Cr	16	20	15	15	~ 3	—	25
Ni	10	10	~ 6	~ 8	~ 5	—	8
Co	10	10	~ 5	—	—	—	5
U	0.45	2.74	0.89	4.71	6.9	17.9	3.5
W	1.9	1.3	2.1	2.5	7.5	6.0	1.5
Sn	7.4	5.4	9.7	8.7	25	12	3.0
Be	1.55	1.8	4.0	7.4	9.8	4.5	5.5
Mo	1.1	0.20	2.0	0.45	2.3	0.43	1.0
Cu	23	23	20	13	15	12	20
Pb	19.3	18.1	14.8	13.3	21	11	20
Zn	38.5	23.9	20	18.5	14.2	13.6	60
Nb	—	<30	<30	<30	>30	>30	20
Ta	—	—	—	4	5	>8	3.5
Zr	150	114	125	158	130	155	200
Ga	15	13	23	18	22	21	20
Li	39	34	28	30	41	30	40

*据南京大学1966年1月, 华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系研究, 科学技术研究报告。

矿化集中在中生代中—晚期这是很明显的, 但是不同矿种或不同矿种组合在形成时间上又有显著的先后差别。造成这种时间先后差别的原因, 不仅是由于成矿元素丰度值的大小, 而且还与成矿元素的地球化学特性、花岗岩类的演化阶段有关, 也就是说随着花岗岩浆活动的发展、演化, 成矿作用也具有一定的发展演化趋势。目前已有不少的研究者从区域范围注意成矿作用在时间上的演化, 并且总结归纳了不少关于南岭地区花岗岩成矿序列发展演化的一般模式, 如贵田也化所^[1]、莫注孙*、章崇楨**、王笃昭***等都各自提出了南岭

* 莫注孙, 叶叶, 南岭花岗岩的成矿模式, 1930年广东地质科技第二期。

** 章崇楨 试论华南中生代花岗岩演化规律及其成矿系列, 1980年广东冶金地质第一期。

*** 王笃昭, 广东及其地区花岗岩成矿作用几个问题的初步研究, 1930年, 广东地质科技第二期。

地区花岗岩的成岩成矿序列，他们根据元素的地球化学行为，侧重于物质组成的时间演化而建立成岩成矿模式的。但是对地质构造的条件一般考虑的较少。

就局部范围看在空间上矿化与花岗岩体的关系是非常密切的。通常见到的情况是，沿着某些构造带反复侵入的许多规模不等的复式岩体或岩带，往往有强弱不等的矿化作用发生，在一个或多个侵入体形成的地区内，由内向外或者由上向下分别由某一种或几种金属元素为主的矿化作带状或者环带状分布，例如，江西灵山岩体从内往外依次为稀土、铌花岗岩带—含铌钽铪类伟晶岩带→钨锡带→铅锌带。湖南柿竹园矿床由地表向下到岩体依次为锡矿带→钨矿带→钨铋矿带→钨钼矿带，再往深部过渡为含白钨矿的花岗岩体。一般说来从下到上由花岗岩岩体型的稀土和铌钽、铋、钨钼矿床依次过渡为类花岗岩型、类伟晶岩型铌、钽（铋、钼）矿床，石英脉型、矽卡岩型铋钽钼钨锡、硫化物多金属矿床。

造成这种矿化和蚀变围绕岩体作规律分布的原因，可能是由于与构造带相伴随的岩浆岩带或岩体作为一个供热中心在其周围形成一定的温度和压力梯度，影响了物质的迁移和沉淀的结果。

三、南岭地区地质构造特征与

区域成岩、成矿的关系

（一）南岭地区地质构造特征

南岭地区在漫长的地质历史发展过程中，经历了反复多次的剧烈构造变动，形成了具有显著地区性特征的地层堆积、岩浆岩和变质岩石系列，形成了许多不同类型的构造体系。目前已被认识的主要构造体系的类型有：南岭纬向构造带、华夏类型构造、径向构造带等。

南岭纬向构造带

南岭纬向构造带横贯本区，大致位于北纬 $23^{\circ}30'$ — $26^{\circ}30'$ 之间，主要是由古生代及中生代岩层组成的褶皱和断裂带、花岗岩带以及早古生代变质岩系构成。由于受到华夏类型构造的强烈干扰和影响，它的各个组成部分往往彼此互不相连，以散漫的片断的形式出现。

南岭构造带主要由四条显著的东西走向构造带组成。

1. 大余东西构造带。位于大余东西一线，向东可与福建龙岩、仙游一带东西走向的断裂相连，向西经诸广山、九嶷山、元宝山等东西展布的花岗岩带而与黔西晚古生代组成的东西走向褶皱构造相呼应。

2. 九连山构造带。大致位于北纬 $24^{\circ}30'$ — $24^{\circ}50'$ 之间，它从九连山向东经梅县直达漳州、厦门一带，向西经贵东、大东山、姑婆山花岗岩体而与宜山地区东西走向断裂褶皱带相连，它主要是由压性—压扭性断裂带、巨大的花岗岩带组成。东西方向岩体形成之后不止一次的遭受过南北方向的挤压，以致岩体，有时连同它的围岩一起发生东西走向的冲断和动力变质作用。

3. 大瑶山——佛岗构造带。主要由大瑶山—佛岗复背斜和佛岗、广宁、新丰等花岗岩带组成。背斜的核部为下古生界浅变质岩系，南、北两翼为上古生界及中生界地层组成；西