

南岭花岗岩型稀有金属 矿床地质

夏卫华 章锦统

冯志文 陈紫英

著

中国地质大学出版社

南岭花岗岩型 稀有金属矿床地质

夏卫华 章锦统 著
冯志文 陈紫英

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国地质大学出版社

南岭花岗岩型稀有金属矿床地质

夏卫华 章锦统 著
冯志文 陈紫英
责任编辑 张华瑛

中国地质大学出版社出版

能源部武汉高压研究所印刷厂印刷 湖北省新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 8.25 插页 1 图版 6 字数 200千字

1989年9月第1版 1989年9月第1次印刷

印数 1—400册

ISBN 7-5625-0350-8/P·100

定价: 10元

前 言

为了适应国家经济建设对有色、稀有金属矿产的需要,作者于1981年6月参加了国家科委和地矿部的重点攻关项目《南岭地区有色、稀有金属矿床的控矿条件、成矿机理、分布规律及成矿预测的研究》,并承担了《南岭花岗岩型稀有金属*矿床成岩成矿机理的研究》课题。

从1980年8月到1984年10月,我们进行了16个矿床的研究,对其中的7个矿床作了重点研究,获得了大量的野外地质资料和测试分析数据,同时,还收集了前人的部分工作成果,经过室内整理、加工,并参阅了大量国内外有关文献,编写出本专著。

本专著是集体劳动的成果,先后参加工作的有:夏卫华、章锦统、冯志文、陈紫英、张恩世、伍刚、刘炜、刘德福及硕士研究生徐启东、程小林、干国梁、阙梅登,还有1980—1984年历届高年级大学生若干名。

在野外工作期间,得到有关矿山及地质队的大力协助,提供了所需的资料;广东地科所王笃昭,江西地科所李崇佑,中科院地质所孙世华,本院矿床硕士研究生张德会等提供了部分有关数据资料,一并向他们致以谢意。

各项分析测试工作得到:宜昌地矿所同位素室,湖北省地矿局中心实验室、区测队,广东省地矿局中心实验室,北京核工业部三所,北京空军一所,武汉地院测试中心、北京研究生部X光室、电子探针室、工艺岩石及实验岩石研究室吴国忠同志等的大力协助,在此一并表示谢意。

本书由夏卫华、章锦统、冯志文和陈紫英四人执笔编写,最后由夏卫华统筹全文、定稿。

由于作者水平所限,工作程度不够,分析、测试也不系统,同时,原计划的花岗岩实验及成矿实验也由于种种原因,只完成一部分,这对报告的质量都有所影响。因此,书中定有不妥之处,敬请读者批评、指正。

* 本书所指的稀有金属包括稀有元素中的Nb、Ta、Li、Be, 稀土元素及有色金属W、Sn, 而我们重点研究的对象为Nb、Ta矿床。文中提到稀有元素时仅指Nb、Ta、Li、Be及稀土元素。

目 录

前 言	1
第一章 研究现状及问题的提出	(1)
第二章 区域地质背景	(4)
一、多旋回构造活动	(4)
二、多旋回岩浆活动	(5)
(一)与多旋回构造运动相应的花岗岩浆活动	(5)
(二)花岗岩类的岩石化学	(7)
(三)花岗岩中的主要微量元素	(7)
(四)花岗岩类与金属矿产的关系	(9)
三、地层特征	(10)
(一)稀有金属花岗岩的围岩时代	(10)
(二)含矿岩体围岩的岩性	(10)
(三)各时代地层微量元素的丰度	(10)
第三章 稀有金属花岗岩岩体地质	(14)
一、稀有金属花岗岩的分类	(14)
二、稀有金属花岗岩成岩时代和区域分布	(14)
三、稀有金属花岗岩的产状	(17)
四、稀有金属花岗岩在岩浆演化系列中的位置	(19)
五、黄玉碱长花岗岩岩相结构垂直分带	(21)
六、稀有金属花岗岩的主要组成矿物	(23)
(一)主要造岩矿物	(23)
(二)其它矿物	(30)
七、稀有金属花岗岩岩石化学	(32)
第四章 稀有金属花岗岩的稀土元素地球化学特征及其地质意义	(38)
一、稀有金属花岗岩稀土元素的丰度	(39)
二、含矿花岗岩的稀土元素配分和轻、重稀土元素比	(40)
三、含矿花岗岩稀土元素组成模式	(41)
四、成矿复式花岗岩体稀土元素组成模式	(46)
五、含矿花岗岩内部不同岩相结构带的稀土元素组成模式	(51)
六、含矿花岗岩与稀土元素富集系数的关系	(53)
七、含矿花岗岩 $\Sigma \text{REE} - \text{La/Tm}$ 关系	(54)
第五章 稀有金属花岗岩及与其有关地质体的矿物中包裹体特征	(56)
一、含矿花岗岩矿物中的包裹体	(56)
(一)熔浆包裹体	(56)

(二)流体包裹体·····	(58)
二、似伟晶岩矿物中的包裹体·····	(59)
三、矿床垂直分带的各带矿物中包裹体特征·····	(59)
四、流体包裹体成分·····	(61)
第六章 矿床地质 ·····	(63)
(一)、矿床地质特征·····	(63)
(二)、矿床分类·····	(64)
(三)、黑云母钾长花岗岩型铌-稀土元素矿床·····	(64)
(四)、锂白云母钠长石碱长花岗岩型钽矿床·····	(65)
(五)、黑鳞云母(白云母)钠长石碱长花岗岩型铌矿床·····	(66)
(六)、锂白云母(铁锂云母)钠长石碱长花岗岩型钽矿床·····	(67)
(七)、黄玉锂白云母钠长石碱长花岗岩型钽(锂)矿床·····	(68)
(八)、黄玉(铷)白云母钠长石碱长花岗岩型钽铌钨锡矿床·····	(74)
(九)、白云母二长花岗岩型钨矿床·····	(86)
(十)、黄玉霏细斑岩型钽矿床·····	(88)
第七章 稀有金属花岗岩的成因 ·····	(90)
(一)、长石的成因·····	(90)
(二)、云母的成因·····	(94)
(三)、包裹体证据·····	(97)
(四)、似伟晶岩壳特征·····	(98)
(五)、围岩蚀变特点·····	(100)
(六)、复式岩体的晚期产物·····	(101)
(七)、实验岩石学结果的讨论·····	(102)
(八)、小结·····	(104)
第八章 成矿作用的几个问题 ·····	(105)
(一)、成矿元素的分布及其赋存状态·····	(105)
(二)、矿石矿物的出现与造岩矿物中成矿元素含量的相应关系·····	(107)
(三)、矿石矿物与造岩矿物的嵌布关系·····	(109)
(四)、成矿元素在岩浆演化中的地球化学性状·····	(109)
(五)、成矿物质来源·····	(110)
(六)、伴生的石英脉型矿床·····	(112)
第九章 成岩成矿模式 ·····	(116)
(一)、南岭花岗岩型稀有金属矿床的基本地质特点·····	(116)
(二)、叠加-重熔花岗岩浆·····	(118)

参考文献

照片说明

第一章 研究现状及问题的提出

1945年在非洲尼日利亚北部焦斯高原的黑云母花岗岩中首次发现了铌铁矿^[1],从而确立了一种新的铌矿床类型——花岗岩型铌铁矿矿床。

铌是一种重要的战略资源。尼日利亚黑云母花岗岩中铌铁矿的发现,引起了许多国家地质学家的关注,特别是在苏联,广泛开展了寻找这类型矿床的工作,发现除含铌铁矿花岗岩外,还有许多含钽、含铍和含稀土元素矿化的花岗岩,这就大大提高了花岗岩型稀有元素矿床的重要性。

50年代末,根据国外对此类矿床的研究,在我国广西首先发现含褐钇铌矿花岗岩^[2]。随后,在广东、江苏、河北等地陆续发现含铌铁矿花岗岩,在江西、湖南、新疆、吉林、福建、广西、云南、四川等地相继找到含铌、钽、铍、锂、稀土元素的花岗岩。近40年来,在许多国家都发现了这类矿床,如东南亚、西欧、南美、澳大利亚、朝鲜人民民主共和国和埃及等。

稀有金属矿化花岗岩*不同于正常的黑云母花岗岩,它具有一系列独特的地质特征:复式岩体的晚期分异产物;岩体规模不大,往往为小岩株或大岩体顶部的小突起,亦有为岩墙;岩体经常具垂直岩相分带;代表性的岩石结构为细粒到细粒似斑状;钛、铁、镁、钙、锰等的氧化物含量低,而碱金属元素及挥发分(尤其是F)含量高;斜长石以钠长石为主,云母则以浅色云母(白云母→锂云母)为主,等等。

由于这类花岗岩在地质特征上不同于正常的花岗岩,而且矿化又主要发生在花岗岩体中,因而花岗岩的形成原因就成为首先碰到的问题:是某种花岗岩浆直接结晶的,还是通过其它某种方式而形成的?这个问题从尼日利亚含铌铁矿花岗岩发现至今已争论约40年,目前仍然存在两种主要的对立观点:一些学者认为这类花岗岩是黑云母花岗岩受岩浆期后^[3](或岩浆后期)^[4]气热液作用,通过钾长石化、钠长石化、云英岩化等交代作用而形成的,因而也称之为“变花岗岩”^[3];另一些学者则认为这类花岗岩是由一种特殊的富挥发分、富碱的花岗岩浆直接结晶形成的^[5,6]。前者称为交代成岩观点,后者称为岩浆成岩观点。

1968年蒙苏合作队在蒙古东部翁冈地区发现一种超浅成岩墙状成分相当于锂氟稀有金属花岗岩的岩石,В.И.Коваленко等定名为含黄玉石英角斑岩或翁冈岩(онгонит)^[7],后来在西伯利亚东部等地又见到其喷出相的相当物。这说明在地壳某一深处存在天然的含稀有金属的一种特殊成分的花岗岩浆。这种岩浆在一定的条件下可直接晶出钠长石、钾长石、石英、含锂的云母、黄玉及稀有金属矿物^[7],这一发现为稀有金属花岗岩的岩浆成因提供了强有力的直接证据。1971年В.Б.Наумов在翁冈岩的黄玉中见到玻璃包裹体,其始熔温度为520—600℃^[8],这不但改变了黄玉为典型的气成矿物的传统认识,而且从包裹体的角度说明这类花岗岩的形成是岩浆直接结晶的结果。同时,推测在520—600℃的低温条件下存在富挥发分的岩浆,这就说明在含矿花岗岩浆演化的岩浆阶段和热液阶段之间可能是连续过渡的。

稀有金属花岗岩的成岩作用与其中的矿化作用有密切的联系,在论及岩体形成作用时,

* 以下简称稀有金属花岗岩。

必然涉及到存在于岩体中作为副矿物出现的稀有金属矿物的成因。

Ф.Р.Апельцин等(1958)在总结有关尼日利亚含铌铁矿花岗岩的资料后指出,铌铁矿是在岩浆阶段析出的最早期的副矿物之一^[1],清楚地说明铌铁矿是岩浆成因的。

郭承基在谈到姑婆山褐钇铌矿花岗岩时提出,“根据薄片和手标本的观察,褐钇铌矿的结晶比黑云母早,而黑云母的结晶比条纹长石早,因此,可以证明褐钇铌矿是在岩浆阶段结晶的矿物,在成因上与后期的交代作用无关,应属岩浆矿床”^[9]。

60年代初,А.А.Бейс等^[3]主要在研究苏联的稀有元素花岗岩的基础上,结合熔浆-溶液的酸碱演化理论提出黑云母花岗岩遭受岩浆期后的热液作用,经历了钾长石化、早期钠长石化、早期云英岩化、晚期钠长石化和晚期云英岩化,最后形成稀有元素花岗岩,总称其为“变花岗岩”。据实验资料,稀有元素主要以酸基络合物形式存在于热水溶液中,在交代作用过程中由于溶液酸碱度的变化,这些元素的酸基络合物不同的活动性和稳定性决定了相应于不同的交代作用而沉淀出不同的稀有元素矿物组合。稀有元素矿化直接受交代作用控制。

据上述,对成岩及成矿的两种不同观点,它们是一一相应的,即岩浆成岩与岩浆成矿和交代成岩与交代成矿相应。

近十几年来在国外,一些研究者对这类花岗岩进行了一系列的实验研究,试图阐明其成岩的物理化学条件和机理。Н.И.Коваленко等^[10](1979)对翁冈岩-F系进行了不同F浓度条件下的实验研究,得出钠长石、钾长石、石英、云母及黄玉等造岩矿物的晶出顺序及其间相的含量比例。Д.С.Глюк, В.Н.Анфилов等,(1973, 1980)^[11 12 13]对花岗岩-H₂O-Me·F系(1kb^{*}, 550—820℃)作了相关关系的实验研究,得出钾长石-钠长石-黄玉-石英-锂云母等在一定的条件下可以共生。D.A.C.Manning(1981, 1982)^[14,15], D.A.C.Manning和D.L.Hamilton等(1980)^[16]对F在花岗岩浆结晶过程中的作用进行了实验研究,并提出英国康瓦尔的部分富氟花岗岩为正常花岗岩浆的晚期分异产物。

南岭是我国著名的“有色、稀有金属之乡”区内分布有大小近60个花岗岩型稀有金属矿床,其数量之多属全国之冠。从1958年姑婆山含褐钇铌矿花岗岩发现以来,许多地质工作者对这类矿床进行了研究,总结出一些规律性的特点,对它们的成矿地质条件有了进一步的认识。

目前,多数研究者认为稀有金属花岗岩的形成与交代作用有关,是岩浆结晶分异——(自)交代的产物(涂光炽、莫柱孙、袁忠信、刘义茂、史明魁等)。由于Li、Na、K在岩浆中有规律地演化,形成钾长石化、钠长石化、云英岩化等等交代作用,它们在时间上由早到晚、空间上由下向上发育。相应于这些交代作用而出现不同的稀有金属矿化,与钾长石化有关的为稀土元素矿化,铌、钽矿化的分布主要与钠长石化有关,铍、锂、钨、锡等矿化则以云英岩化作用为主。莫柱孙等^[17](1980)把这类矿床与石英脉型钨、锡、铍矿床从成因上联系起来,提出矿化花岗岩的成矿模式。

徐克勤等^[18](1981)则认为这类花岗岩的形成与多期、多阶段花岗岩化以后的碱质交代作用有关。他们也认为各种稀有元素矿化与一定的交代作用有关,稀土元素与钾长石化或钠长石化有关,铌与钠长石化有关,钽富集于浅色云母化和云英岩化带,铍与钠长石化、云英岩化有关,而钨、锡则主要是云英岩化产物。他们认为这类矿床为气化-热液成因的。

* Me为Li, Na, K, H等元素。

** 1kb = 10⁵Pa

桂林冶金地质研究所等^[6](1979)在总结南岭及其邻区这类矿床特征时,提出了岩浆成因的观点。

中国地质科学院矿床研究所、中国科学院地球化学研究所、桂林冶金地质研究所等单位的一些研究者对南岭燕山期花岗岩类岩石作过不少的熔化实验,获得一些必要的资料,为阐明本区稀有金属花岗岩的成岩特点,提出了许多有参考价值的认识。

作者对本区一些花岗岩型铌、钽矿床进行过研究,发现并总结出稀有金属花岗岩在成岩、成矿方面某些规律性的特征。作者们感兴趣的是在含矿岩体部分常见到的一种特殊结构——雪球结构,国内外一些学者对其成因作了不同的解释。作者经过初步研究认为是一种典型的岩浆岩结构^[19];在对栗木, 414等十余个矿床的含矿岩体的石英、黄玉、钠长石等矿物中包裹体研究时,发现其中有熔浆包裹体^[20];在黄玉及石英中见到玻璃包裹体与原生气体包裹体共存^[20];在这些矿物中还见到锡石、铌钽铁矿(?)等与熔浆包裹体密切共生;复式岩体晚阶段各次岩体之间存在不同形态的似伟晶岩等等,这些现象为深入探讨稀有金属花岗岩的形成提供了很有意义的线索。

我国广大的地质工作者经过多年的艰苦探索,初步总结了花岗岩型稀有金属矿床的成岩、成矿特点、找矿标志及找矿方法。这类矿床的特点是:规模大,品位均匀,可供综合利用的元素种类多(铌、钽、锂、铍、稀土以及钨、锡和其它有色金属),有些矿床适宜露采,选矿后的尾砂是搪瓷工业极好的代碱原料。这类矿床作为工业上获取钽、铌、锂、铍、稀土等的主要来源,在稀有金属矿床类型中占有重要的地位。同时,由于这类矿床有其特异性,因此也给地质科学研究,特别是矿床地质的研究提出了一系列值得探讨的理论课题,例如,稀有金属花岗岩与相邻花岗岩的关系;稀有金属花岗岩的分布与大地构造的关系;含矿岩体成岩、成矿途径;含矿岩体与其共生的钨、锡、铍等石英脉型矿床的成因联系;稀有金属的来源;隐伏含矿岩体的预测等等。因此,深入研究南岭花岗岩型稀有金属矿床的成岩成矿特点及机制,确实具有重要的理论意义和实际意义。

第二章 区域地质背景

本文所研究的花岗岩型稀有金属矿床,其分布范围遍及整个南岭地区,自东经 110° 至 118° ,北纬 $21^{\circ}20'$ 至 $28^{\circ}40'$ 。

本区地质构造及岩浆活动经历了长期复杂的演化历史,迄今这些演化还在继续进行,多旋回的沉积成岩作用和构造-岩浆活动使本区地质特征复杂化。

为了探讨花岗岩型稀有金属矿床的地质特征和成岩成矿机理,现从构造活动、岩浆活动、地层特征等方面概述本区的区域地质情况。

一、多旋回构造活动

本区地壳在其形成、发展演化过程中,经历了多次规模巨大、影响范围较广的构造运动。

1. 发生在1400Ma前后的东安运动,表现在桂北的四堡群,黔东的梵净山群,湖南平江-浏阳一带的冷家溪群,赣北宜丰,万载和赣东北的双桥山群等岩层发生紧密褶皱并上升隆起。褶皱走向从桂北的东西向往北到湖南平江一带转向北东东。与褶皱同时还产生了一组与岩层走向基本一致的逆冲断层。它们是一套复理石建造和硬砂岩建造,中夹细碧角斑岩、凝灰岩、火山角砾岩、砂岩、板岩及碧玉岩,总厚愈万米。

2. 雪峰运动明显地表现为分布于桂北、湘北的板溪群不整合于四堡群和双桥山群之上。板溪群为一套复理石建造,中夹中酸性熔岩和火山角砾岩,总厚大于万米,经雪峰运动形成一系列复式背斜,轴向与四堡群、双桥山群一致。此期还形成了一系列规模不等的走向断裂带。

3. 加里东运动是本区影响范围最广的地壳运动,并且是多幕的,其主要表现在:上震旦统峡东群顶部留茶坡组与下伏地层的角度不整合;云开大山地区下奥陶统与寒武系的不整合;武夷山区普遍缺失奥陶系;赣西南崇义-大余地区上奥陶统与下伏地层的角度不整合;广西北流地区奥陶系与志留系之间存在较长时间的沉积间断以及普遍存在的泥盆系明显角度不整合于前泥盆纪不同时代岩层之上。加里东运动奠定了华南加里东地槽褶皱区的构造格局。

加里东运动形成的褶皱形态,在广阔的华南加里东褶皱系中以紧闭线状的复式褶皱为主。褶皱走向受雪峰旋回岩系分布的限制,在湘西、湘中一带为北北东向,向东转为北东东及东西向,在武夷山一带为北北东至北东的倒转褶皱,在赣中赣南及湘中湘南以及湘桂边界一带的局部地段,褶皱轴向为南北向。

伴随褶皱,断裂构造亦十分发育。此期形成或再度活动的断裂有赣东北断裂带、灵川-扶绥断裂和邵武-河源断裂以及绍兴-融安、政和-大埔大断裂等。

加里东运动伴随有强烈的同褶皱区域变质作用和混合岩化作用。如武功山混合岩化区、武夷山混合岩化区和浙闽粤桂的混合岩化区,同位素年龄为409—422Ma,应为加里东运动的产物。

4. 海西-印支运动。本区除广西钦州一带继续接受沉积、后经海西-印支运动褶皱隆起

外, 其它地区表现在上二叠统与下二叠统、二叠系与三叠系之间, 三叠系上、中、下统之间以及三叠系与侏罗系之间的不整合。分布于广西西南部、粤北、湖南大部 and 江西九岭与武功之间北东向狭长条带以及赣中、赣南断陷盆地中的泥盆系为浅海-海陆交互相以至陆相为主的碎屑岩和碳酸盐岩, 各处厚度不一, 从数百米至数千米不等。石炭系的分布与泥盆系一致, 为一套浅海相-滨海相碳酸盐岩和含煤岩系。近年来曾报导在浙、闽、粤中生代火山岩和沉积盖层下确定有石炭纪沉积地层, 同时, 在海南岛原“陀烈群”第六层中找到有石炭—二叠纪化石, 说明石炭系沉积范围很广。区内二叠系分布亦广泛, 岩相变化较大, 主要岩性为浅海相的碳酸盐岩及硅质沉积岩和滨海相碳酸盐岩及碎屑沉积组合。三叠系主要为浅海相泥质碳酸盐岩、碳酸盐岩及含煤建造, 并且在三叠纪地层中有海相中酸性火山岩出现。

海西-印支运动对基底的影响不明显, 而使盖层发生褶皱和断裂, 褶皱形态以宽展平缓为主, 亦有呈紧密线状。褶皱轴向受基底边界的控制。

海西-印支运动产生的断裂构造, 除伴随褶皱产出一组与轴向基本一致的断层外, 基本上继承了加里东期的构造格局。此期除绍兴-融安、邵武-河源、吴川-四会大断裂继续活动外, 新生了一些东西向和北东向断裂, 它们控制了印支期的基性岩浆活动及十万大山-大容山一带的海西-印支期酸性岩浆活动。

海西-印支运动, 除褶皱、断裂外, 并使本区绝大部分上升为陆地, 从而使本区大陆主体基本完成。

5. 燕山期地壳运动的主要表现形式为断裂运动和伴随的强烈岩浆活动, 沿断裂带形成具方向性排列的断陷带和断陷盆地。

断裂以北东及北北东向为主, 除了早期深大断裂复活并继续活动外, 尚产生了一系列新的断裂。北东及北北东向断裂著名的有: 吴川-四会, 政和-大埔, 长乐-南澳以及绍兴-融安等, 这些断裂带绵延数百公里至千余公里, 控制了南岭地区花岗岩的带状分布。

其余为北西、东西、南北及北东东向断裂, 其中东西向断裂常断续延展数百公里, 大部分空间由大小不等、长轴方向为东西向的花岗岩体所占据。最著名的即为分布在湘南、赣南、粤北和闽南的南岭东西构造带。

6. 喜马拉雅期地壳运动在本区有所反映, 但波及范围不广, 运动的强度明显减弱, 主要为微弱的断块及褶皱活动。

二、多旋回岩浆活动

本区岩浆活动频繁, 特别是花岗岩类岩浆活动发育极为广泛, 几乎遍及全区。花岗岩浆的活动、演化与本区有色、稀有金属矿产的形成有密切的关系, 前人早有论述, 现仅着重介绍与稀有金属花岗岩有关的若干问题。

(一) 与多旋回构造运动相应的花岗岩浆活动

南岭地区的地壳演化经历了长期的发展, 自东安运动到喜马拉雅运动, 每期构造运动均伴有相应的花岗岩类产出。

本区出露最早的花岗岩类为分布在桂北罗城地区的东安期本洞岩体和大坡岭等岩体, 两岩体均侵入四堡群而为板溪群不整合沉积覆盖, 组成的岩石为花岗闪长岩、石英闪长岩, 同

位素年龄957—1100Ma。

雪峰运动期,花岗岩浆活动规模比东安期要大,桂北三防的摩天岭岩体和元宝山岩体,它们与东安期的本洞岩体呈侵入接触,同位素年龄为712—836Ma。此外,邻近本区的还有黔东北的梵净山岩体、赣北九岭岩体及皖南的休宁岩体及许村岩体。岩性为中粗粒黑云母花岗岩,具压碎结构,岩体局部出现云英岩化和钠长石化,在云英岩中可见锡、铜的矿化。

加里东构造运动强度较大,岩浆活动有所增加,出现一些大岩基,广泛分布于加里东褶皱区,它们常常被晚期的酸性岩浆侵入,组成复式岩体,同位素年龄为421—570Ma,主要有越城岭岩体、苗儿山岩体、七星岩岩体、诸广山岩体、隆回岩体、天花山岩体、万洋山岩体等等。岩性比较复杂,除斜长花岗岩、石英闪长岩和花岗闪长岩外,还有二长花岗岩和黑云母花岗岩。

迄今有确凿地质依据的海西期花岗岩尚无报道,但从同位素年龄值看,呈北东向展布的十万大山—大容山岩带有海西花岗岩出露,其同位素年龄为276—280Ma。岩石由中粗粒黑云母花岗岩、中细粒二长花岗岩等组成,出露面积约7000km²。

印支期花岗岩分布稍广,如诸广山岩体中的印支侵入体、邵东一带的关帝庙岩体、苗儿山岩体的西部,其它还有零星散布的小岩体。

从海西—印支期花岗岩的分布看,主要在吴川—四会断裂带的北西一侧。

燕山期以断块运动为主,强度大,酸性岩浆活动十分广泛,除在东南沿海地区产出大面积的中酸性火山岩及次火山岩外,侵入花岗岩类的分布几乎遍及南岭全区。

燕山期花岗岩的分期问题多有分歧,笔者采用贵阳地球化学所的时限年龄值,即把燕山期花岗岩的年龄下限定为195Ma,把整个燕山期划分为早、晚两个阶段,早阶段的同位素年龄值为195—137Ma,而137—70Ma为燕山晚阶段。

燕山早阶段花岗岩在本区分布广泛,南岭花岗岩主要由这阶段花岗岩构成,常为多次形成的复式岩体,岩性以中粗粒似斑状黑云母花岗岩、二长花岗岩、中细粒二云母花岗岩为主。

燕山晚阶段花岗岩的分布范围及发育程度远不及早阶段的花岗岩。晚阶段多为小岩体,主要分布在桂南,粤、闽、浙沿海地区,呈弧形展布,它们常产在早阶段岩体之中,形成同期不同阶段的复式岩体。岩性以花岗闪长岩、中细粒黑云母花岗岩、二云母花岗岩、白云母花岗岩、晶洞钾长花岗岩为主,其中部分为浅成岩体。

南岭地区星罗棋布的燕山期花岗岩在成因上直接与有色、稀有金属矿床(化)有密切联系,特别是铌、钽矿化花岗岩,据目前资料仅出现于燕山期,这个特征很突出。

喜马拉雅期岩浆活动主要在东南沿海一带,表现为一些玄武岩的喷发。有确凿证据的花岗岩还未发现。有些岩墙可能为本期的产物。

南岭地区不同期的花岗岩具有带状分布的特点。早期花岗岩大多分布在区域的北和北西部,而晚期的则主要分布在南东一侧。总的趋势是,由北西往南东,花岗岩的时代越来越新,侵位深度也越来越浅,到东南沿海则以浅成—超浅成小岩体为主。

东安期、雪峰期和加里东期花岗岩主要分布在邵武—河源断裂的北西一侧,海西—印支期花岗岩主要分布在岑溪—博白断裂的两侧和丽水—海丰断裂的北西一侧,燕山早阶段花岗岩集中分布在岑溪—博白断裂和长乐—南澳断裂之间,而燕山晚阶段的花岗岩则呈弧形分布在东南沿海一带(见南岭稀有金属花岗岩分布图)。

各带中不同时代的花岗岩有重叠分布，上述分带是总的趋势。

(二) 花岗岩类的岩石化学

南岭花岗岩类岩石化学的研究，前人作过大量的工作，积累了丰富的资料。

总结前人的研究成果，南岭花岗岩类岩石主要化学成分，随成岩时代自老至新，表现于以下几方面的变化：

1. SiO_2 含量越来越高；
2. Al_2O_3 含量逐渐降低；
3. K_2O 和 Na_2O 与 SiO_2 情况相同，但增高的幅度没有 SiO_2 大。晚期 Na_2O 的增加可能比 K_2O 快，尤其是在钠长石花岗岩中， Na_2O 的含量有时可高达 6 % 以上。
4. 岩石中 TiO_2 、 FeO 、 MgO 和 CaO 含量明显下降，而且幅度较大。 Fe_2O_3 虽有变化，但幅度小，是岩石中变化最小的组分。

将南岭花岗岩类平均岩石化学成分与戴里及黎形花岗岩平均成分比较， Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 和 Na_2O 较低，而 FeO 、 MgO 和 K_2O 较高。

南岭与稀有金属矿化有成因联系的主要为燕山期花岗岩类，它们的化学成分更有其突出的特点：

1. SiO_2 含量较其它时代的要高得多；
2. 虽然 Al_2O_3 、 TiO_2 、 FeO 、 MgO 和 CaO 的含量低于其它时代岩石中的含量，而 Al_2O_3 含量降低的幅度较 CaO 、 MgO 等二价阳离子小，故岩石仍然为铝过饱和。另外，在燕山期复式岩体中，如晚阶段产出的铌钽花岗岩，其中的 Al_2O_3 有所增加；
3. 富钾是燕山期花岗岩的特色，但分异演化至晚阶段， K_2O 含量明显降低，甚至低于 Na_2O 的含量；
4. 在燕山期复式花岗岩体的晚阶段产出的岩石中，普遍存在黄玉、萤石，有些含矿岩体中黄玉含量可达 9 %（栗木等），甚至在个别含矿岩体中还出现冰晶石（松树岗），这种情况表明岩石富挥发组分，尤其是氟；
5. 晚阶段岩石中往往发育气液交代作用，典型的为云英岩化，在岩体顶部发育云英岩，围岩云英岩化，表明花岗岩浆中水的原始含量较高。

综上所述，燕山期花岗岩较前燕山期花岗岩富 SiO_2 、富碱和富挥发分。

(三) 花岗岩中的主要微量元素

不同时代花岗岩中的微量元素丰度各异，表2-1中列出了贵阳地化所求得的一些稀有、稀土和有色金属元素的丰度值及相应的富集系数。多种成矿元素的丰度高出对照值1至数倍，甚至10倍以上：铊和锂高出2倍，铌、铷、铜近1.5倍，铯4倍，铍高出1倍多，钨高出2.5倍，锡最高，达11倍。另一方面，时代由老到新，表列各元素的丰度由低到高，到燕山期达最大值。燕山期早、晚阶段的花岗岩类中，微量元素丰度亦有所不同，锂、稀土、钨、锡、铅、铷、在燕山早阶段有较大的富集，而铍、铌、钽则在晚阶段相对高一些。

不同的微量元素在成岩成矿作用过程中的地球化学特点不同。

1. 钨 在各时代花岗岩中钨都有较高的含量，并且随时代由老至新，含量及富集系数均增加。雪峰期高出近1.5倍，加里东期为1.5倍，而到燕山期达2.8倍。岩石类型不同，钨的含量也有明显的差异，在浅色云母钠长石花岗岩（富钨的）中含量最高，可达303.6ppm。据

表2-1

南岭不同时代花岗岩中稀有、有色金属元素丰度及富集系数

时 代	丰度ppm	元素	Li	Rb	Cs	Be	Nb	Ta	REF ₂ O ₃	W	Sn	Cu	Pb	Zr	F
四堡-雪峰期			67	190	16	1.6	15	3	203	2.2	5	23	33	137	726
富集系数			1.63	0.95	3.2	0.44	0.75	0.33	0.59	1.5	1.7	1.4	1.65	0.69	0.90
加里东期			58	214	16	2.6	21	6	209	2.2	15	27	37		792
富集系数			1.45	1.07	3.2	0.72	1.05	1.71	0.60	1.5	5	1.35	1.85		0.99
海西-印支期			235	15	2.9	21-25	3-4	152-195		13-25	18-51	36-78			
富集系数			1.18	3.0	0.81	1.05-1.25	0.88-1.14	0.43-0.55		4.3-8.3	0.9-2.55	1.8-3.9			
燕山期			96	353	25	5.4	35	8	256	4.1	42	38	54	133	1388
富集系数			2.4	1.79	5	1.5	1.75	2.29	0.73	2.8	14	1.9	2.7	0.37	1.70
总丰度			78	279	20	4.2	23	7	229	3.5	32	33		147	1049
富集系数			1.95	1.40	4	1.16	1.45	2	0.65	2.4	10.7	1.65		0.74	1.4

丰度值引自《华南花岗岩类的地球化学》中国科学院贵阳地球化学研究所, 1979。

有关资料分析, 钨在地质体中的含量高出对照值2—7倍时, 即可形成矿化。在复式岩体中, 钨有趋向晚阶段富集成矿的特点。在岩浆早阶段, 钨除部分存在于岩石的副矿物中外, 主要以类质同像方式分散于云母类、斜长石和钾长石等矿物中, 到晚阶段, 钨可以和铍、铌、钽等一起富集形成工业矿床。钨更富集于与花岗岩有关的岩浆期后各种热液矿床中。

2. 锡 与钨一样, 花岗岩的时代越新, 锡的丰度越高。南岭地区, 锡比钨有更大的富集, 在加里东期已高出对照值5倍, 而燕山期则高出14倍。在正常情况下, 锡也有趋向岩浆晚阶段富集的特点。在岩浆早阶段, 锡可分散在钛和三价铁的副矿物中, 但与云母类矿物关系最密切, 岩石中有80—90%集中在这种矿物中。据资料, 一般无锡花岗岩中的云母, 其锡含量不超过30ppm, 因此, 云母中锡的含量高低, 可作为区分含锡和不含锡花岗岩的量度。

3. 铍 只在燕山期花岗岩类岩石中有较高的丰度, 超过对照值1.5倍, 这与绝大多数铍矿床产于燕山期是吻合的。岩石类型不同, 铍的含量相差很大, 铍在混合岩、混合花岗岩、中性岩及中酸性岩中含量低; 而黑云母花岗岩中有较高的含量, 在白云母花岗岩和二云母花岗岩中含量最高。在多阶段形成的复式岩体中, 铍更有趋向晚阶段集中的习性。

铍在岩浆早阶段, 除形成少量的硅铍钇矿等具复杂组分的铍矿物外, 主要分散于云母和斜长石中。由于铍为两性元素, 在岩浆晚阶段既可在云英岩中富集成矿, 亦可在碱长花岗岩中形成有工业价值的矿床。当然, 在适当的物理化学条件下, 铍主要集中于气成热液阶段。

4. 锂、铷和铯 南岭是锂、铷和铯的富集区。铷和铯是典型分散的稀碱金属元素, 迄今在南岭地区尚未发现有铷的独立矿物。云母和长石是铷和铯的主要载体矿物, 尤其在锂云母中, 铷、铯有最大的分散量。铷与钾长石的关系也很密切, 在岩浆晚阶段产出的天河石中, 铷有较高的含量。因此, 常用岩石中的钾铷比探讨复式岩体的演化、成岩成矿作用特征及岩石成因等。在同源复式岩体演化过程中, 锂、铷和铯表现为向晚阶段富集的习性。在地球化学特性上, 它们与铌、钽有相似性, 常密切共生, 或在铌钽花岗岩体周围的岩石中, 形成锂、铷和铯的异常晕。锂、铷和铯可作为铌钽花岗岩存在与否的指示元素。

5. 铌和钽 在四堡-雪峰期花岗岩类中的含量低于对照值,但从加里东期开始,铌钽在本区有较高的集中,尤其至燕山期,铌的丰度高出对照值近2倍,钽近2.5倍。据资料,铌高出1.5倍,钽高出3—4倍,即可出现铌钽矿化。铌和钽的晶体化学性质极为相似,因此,皆表现为向岩浆晚阶段富集的趋势,但两者之间又有一定的差别,表现在晚阶段,钽富集的幅度大于铌,而铌形成独立矿物的时间要早于钽。在岩浆早期阶段,铌、钽可以形成少量的独立矿物(以铌为主),如黑稀金矿、褐钇铌矿和铌钽铁矿,部分分散于黑云母、角闪石和榍石中。铌钽的富集与Na、K、F、Li等关系密切,而与REE则呈反相关关系。

6. 稀土元素 从各时代花岗岩类岩石中稀土元素丰度来看,南岭地区贫稀土;但稀土元素在不同岩石类型或同期不同阶段岩石中的分布量是极不均匀的,因此,虽然稀土的丰度低,但在条件适合时,也能富集成一定的规模,且成矿时代较铌、钽早。在加里东期混合岩和混合花岗岩中,稀土元素有较高的含量,原生稀土矿物虽暂无工业意义,但可作为砂矿床的物质来源,或发育风化壳时,则可形成离子吸附型稀土元素矿床。

稀土元素在燕山期有明显的富集,但能否以稀土元素独立矿物的形式聚集成矿,要视花岗岩类岩石演化是否充分而定。研究表明,稀土元素能否以独立矿物大量出现,与岩浆中Ti、Ca的含量和 $K+Na/Al$ 值有关。一般,含稀土元素矿物的花岗岩,其 $K+Na/Al$ 值均在0.8以上,这个值高于一般的花岗岩,而 $K+Na$ 值主要取决于K;当岩石相对富Na时,则转为岩石富Nb、Ta。因此,燕山期富钾花岗岩类富稀土元素,而富钾花岗岩只产于燕山期复式岩体发育的某一阶段。如早期岩浆阶段贫Ca、Ti,则稀土元素可呈独立矿物富集在复式岩体的早阶段;如早期富Ca、Ti,则稀土元素独立矿物在稍后的成岩阶段富集。无论哪一种情况,稀土元素富集的时间要早于铌和钽。

7. 氟 氟是花岗岩浆成岩成矿过程中最重要的挥发组分之一。岩浆中存在一定量的氟,可以降低岩浆结晶的温度和粘度,影响岩浆的分异演化。氟又是多种成矿元素最好的络合剂,对金属元素的迁移、富集成矿起着重要的作用。

氟在前燕山期花岗岩类岩石中(缺海西-印支期的资料)接近对照值,而在燕山期则高出对照值1.5倍以上。燕山期与花岗岩类有关的金属矿床的规模之大和成矿作用之强决非是偶然的。

成岩成矿是极为复杂的地质作用过程,作用最终结果能否形成工业矿床,除了有较丰富的成矿物质外,还要具备良好的成矿环境(包括地质构造因素,物理化学条件等),两者缺一不可。南岭不同时代的花岗岩类岩石中,诸种元素的丰度均高于对照值一倍至数倍,甚至10倍。但这些元素工业矿床的数和量在各时代的分配是很不均匀的,例如,目前尚未发现海西-印支期前有什么规模的钨矿床。燕山期诸元素丰度最高,但并非整个燕山期都有这些元素矿床的形成,成矿表现出有阶段性。钽在燕山晚阶段比早阶段有更高的丰度,但绝大多数富钽矿床产于燕山早阶段。在一个复式岩体的不同成岩阶段,其发生的成矿作用也往往如此,某种金属元素的成矿与复式岩体演化的某个成岩阶段有联系。

(四) 花岗岩类与金属矿产的关系

南岭是我国重要的有色、稀有金属成矿区,这些金属矿产在时间上、空间上和成因上与花岗岩类密切相关,但本区各时代花岗岩的有关金属矿产种类和矿化强度则有很大的差别。

加里东期及其以前的花岗岩与金矿化、锡矿化、稀土元素矿化有关,已知有与雪峰期和加里东期花岗岩有关的脉金矿、砂金矿和工业锡矿床。

与海西-印支期花岗岩有关的矿床也不多，目前已知的有锡、稀土元素等。

燕山期是南岭成矿作用的高潮期，与燕山期花岗岩有关的金属矿产种类众多，矿化也强，南岭地区许多大、中型矿床均产于此期。

三、地层特征

(一)稀有金属花岗岩的围岩时代

作者在南岭地区无选择地统计了27个矿区30个稀有金属花岗岩围岩的时代，被统计的含矿花岗岩包括：铌花岗岩9个，铌钽花岗岩4个，钇族稀土元素和钽花岗岩1个，铌钽钨锡(铍)花岗岩5个，稀土花岗岩4个。它们的分布范围自赣东北到福建龙岩，由桂东北的栗木到广东，其中也包括湘东和湘西南。其围岩时代统计如表2-2中。

表2-2 稀有金属花岗岩的围岩时代

统计矿床 \ 时代	Z	Є	O	S	D	C	P	J	合计
30	13	9	/	/	4	2	1	1	30
%	43.33	30	0	0	13.34	6.67	3.33	3.33	100

从统计结果看，含矿花岗岩大多数产在震旦系和寒武系中，共占73.33%，其次为泥盆系，占13.34%，奥陶系和志留系中没有产出。

(二)含矿岩体围岩的岩性

稀有金属花岗岩的围岩岩性多种多样，有沉积变质砂岩、片岩、板岩、石灰岩、砂岩、页岩及火山岩，局部地区还见有混合岩化的岩石等；也有的含矿花岗岩产在较早阶段形成的花岗岩中。由此看来，围岩的岩性对稀有金属花岗岩的产出不具制约作用。相反，由于含矿花岗岩的侵入，除了使围岩发生接触变质，出现角岩化、硅化和其它热液蚀变(如云英岩化等)外，稀碱金属元素和挥发分，如Li、Rb、Cs、F、B等还从岩浆中进入围岩，形成范围较大的蚀变晕，有的国家(如法国)及我国一些地区已在探索利用某些特定元素的异常晕，圈定隐伏含矿岩体的可能位置。

从统计结果看，围岩岩性主要属硅铝质。含矿岩浆侵入时，对围岩的同化混染作用程度如何？从围岩带入了哪些组分？它们对稀有金属花岗岩的成岩成矿起到什么作用？围岩的变化对稀有金属矿化有何种指示作用？等等，这些是需进一步研究的问题。

(三)各时代地层微量元素的丰度

目前尚缺乏本区各时代地层完整而系统的微量元素丰度资料。

下面列出南岭部分地区有关地层的微量元素丰度，并计算了该地层中这些微量元素的富集系数。

1. 湖南部分地区地层中微量元素丰度列于表2-3中，由表2-3可看出：

(1) 湘东或湘西南不同时代地层中，Ta、Be、W、Sn和U五种元素的富集系数>1，最高达13倍；

(2) 前震旦系中多数元素有较大的富集；

(3) 震旦系和寒武系中，Nb、Ta、Be、Li、W、Sn、U和REE有较大的富集系数；

(4) 地层时代越新，富集系数>1的元素数目越少。

表2-3 湖南部分地区地层中微量元素丰度(ppm)及富集系数

地区	地层时代	样品数	Nb	Ta	Be	Li	Rb	Cr	Zr	Sr	W	Sn	U	V	REE ₂ O ₃
湘东	前震旦系冷家溪群	4	16	9	6	120	186	7	286	22	12	14	12	92	210
	板溪群	1	9	8	5	67	184	8	121	29	5	17	13	223	110
	平均	5	12.5	8.5	5.5	93.5	185	7.5	203.5	25.5	8.5	15.5	12.5	157.5	160
	富集系数		0.63	3.40	1.45	2.92	1.23	0.09	1.20	0.08	6.54	6.20	5	1.75	0.77
湘东	震旦系	4	23	7	7	66	216	18	356	42	14	23	7	35	280
	富集系数		1.15	2.80	1.84	2.06	1.44	0.22	2.09	0.12	10.77	9.20	2.80	0.39	1.35
湘东	寒武系	10	22	5	29	168	418	64	201	167	14	29	13	362	288
湘西南		4	26	7	72	362	854	143	205	38	16	43	11	91	368
湘西南		2	22	4	5	74	201	28	223	30	18	28	12	58	254
	平均	16	23.30	5.30	35.30	201.30	491	78.30	209.70	78.30	16	33.30	12	170.3	303.3
	富集系数		1.17	2.12	9.29	6.29	3.27	0.94	0.62	0.23	12.31	13.32	4.80	1.89	1.47
湘东	奥陶系	1	23	8	5	5	195	10	124	36	10	16	36	148	258
	富集系数		1.15	3.20	1.32	0.16	1.30	0.12	0.73	0.11	7.69	6.40	14.4	1.64	1.25
湘东	泥盆系	8	10	8	6	22	102	4	93	122	11	10	20	6	56
湘西南		2	20	9	9	57	202	12	260	88	15	5	10	4	186
湘西南		5	7	11	5	8	61	1	31	159	10	14	25	4	10
	平均	15	12.3	9.3	6.7	29	121.7	5.7	128	123	12	9.7	18.3	4.7	84
	富集系数		0.62	3.72	1.76	0.91	0.81	0.07	0.75	0.36	9.23	3.88	7.32	0.05	0.41
湘东	石炭系	3	8	7	5	5	52	0	27	249	13	5	8	4	20
	富集系数		0.40	2.80	1.32	0.16	0.35	0	0.16	0.73	10	2	3.2	0.04	0.10

(微量元素丰度引自湖南省地质局区测队等1/20万区测报告)

2. 江西黎川—福建竹州地区的建瓯群，时代有争议，目前将其归属元古代，其中的微量元素丰度见表2-4，在所测定的元素中稀土元素有较高的聚集(据1：20万光泽幅区测报告)。

表2-4 江西黎川—福建竹州地区建瓯群微量元素丰度(ppm)

岩石名称	Zr	Be	Y	Yb	La	Ce	Nb
中细粒白云母化混合花岗岩	15.92	1.62	13.3	7.36	83.44	241.6	12.5
不等粒白云母化混合花岗岩	17.17	1.83	5.38	1.07	11.09	100	2.74
条痕状混合岩							
平均	16.55	1.73	9.34	4.22	47.27	170.8	7.62
富集系数	0.10	0.46	0.32	12.79	1.63	2.44	0.38

据1：20万光泽幅报告(福建冶金工业局，1972)