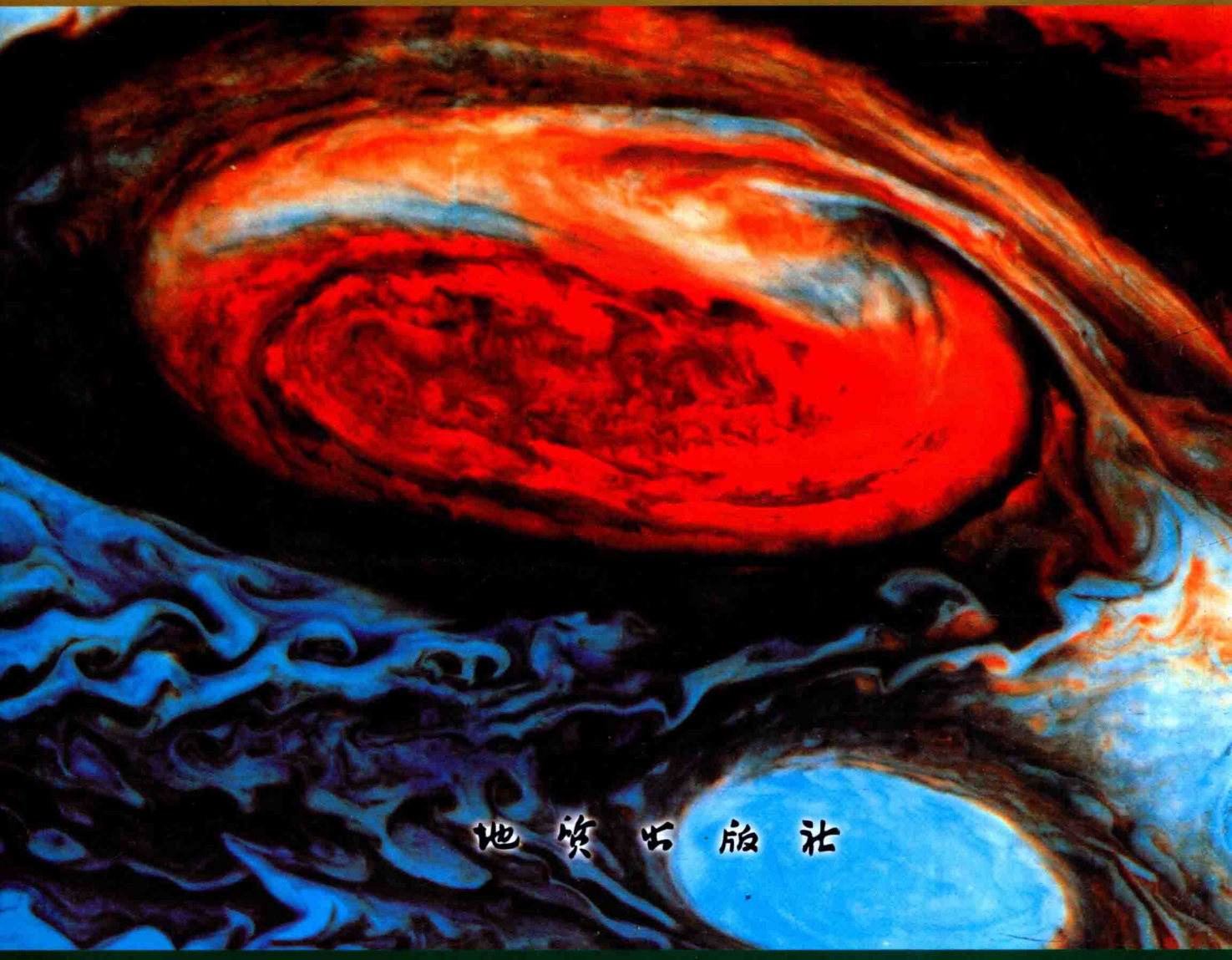


南岭地区目标斑图式区域成矿分带

南岭花岗岩带与南岭成矿带—
华南中地壳原地重熔巨型自孤子

於崇文 刘天佑 刘永顺 等编著



地质出版社

中国地质调查局专题研究项目 (编号: 1212011121101)

“南岭地区燕山期深部岩浆活动与大规模成矿复杂性研究”研究成果

本书出版得到: 中国地质大学 (武汉) 资助

南岭地区目标斑图式区域成矿分带

南岭花岗岩带与南岭成矿带— 华南中地壳原地重熔巨型自孤子

於崇文 刘天佑 刘永顺
徐德义 刘宁强 彭 年 等编著
聂保锋 张德会 赵海玲

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

封 里

封面图像表示木星上的巨大红斑 (详见图 3-6, P. 90)

出版说明: 本书因故将中文正式书名改为:

南岭地区目标斑图式区域成矿分带性

南岭花岗岩带与南岭成矿带—

中元古代华南中地壳原地重熔巨型自孤子

将英文书名改为:

The Target-Pattern Regional Ore Zonality of the Nanling Region

The Nanling Granite-Zoning and Nanling Ore-Zoning

—The Giant Autosolitons of Mesoproterozoic In-Situ Melting of the Middle Earth Crust in South China

图书在版编目 (CIP) 数据

南岭地区目标斑图式区域成矿分带: 南岭花岗岩带与南岭成矿带—华南中地壳原地重熔巨型自孤子/於崇文等编著. —北京: 地质出版社, 2015. 7

ISBN 978-7-116-09302-7

I. ①南… II. ①於… III. ①南岭—成矿带—成矿规律—研究 ②南岭—成矿带—地球动力学—研究 IV.

①P617.265

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 128203 号

NANLING DIQU MUBIAO BANTUSHI QUYU CHENGKUANG FENDAI

责任编辑: 吕 静 韩 博 于春林 白 铁

责任校对: 李 玫

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010) 66554528 (邮购部); (010) 66554625 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真: (010) 66554623

印 刷: 北京地大天成印务有限公司

开 本: 889 mm × 1194 mm^{1/16}

印 张: 32.75 插 页: 1

字 数: 860 千字

版 次: 2015 年 7 月北京第 1 版

印 次: 2015 年 7 月北京第 1 次印刷

审 图 号: GS (2015) 2585 号

定 价: 100.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-09302-7

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

序 言

近数十年来,国际上对于非平衡性、不可逆性和随机性的研究使得“复杂系统”的观念日渐普及,并且对于复杂系统作系统处理也日感重要。

20 世纪自然科学的发展趋势是由极小(粒子物理学)→极大(宇宙学)→极复杂(复杂性科学)。“非线性”和“复杂性”是当今世界科学的重要前沿领域。

“复杂性”研究推动了认知科学的重大发展。它具有科学发展的时代特点,是具有前瞻性和探索创新性的基础研究,被世界科学界认为是“21 世纪的科学”。

现在国际上关于复杂性的研究大多集中于数学理论、物理内涵及其在基础自然科学和社会系统等方面的应用,较少研究地学系统,并且后者的现有工作主要涉及地震、板块构造、地幔对流以及海洋与大气环流等领域,正在起步阶段。

地球系统总体上是开放、远离平衡、时-空延展的演化复杂巨系统。对于地球系统的复杂性研究在 21 世纪的地学发展中居于重要的战略地位,可以对古老而常新的地球科学进行再认识,实现地球科学从唯象学(phenomenology)向精确科学跨越,取得突破性进展。

本书第一作者及其研究集体近 20 年来在地质学、地球物理学与地球化学相结合的基础上,应用复杂性科学对地质-成矿系统从事开拓性的研究,以“南岭地区燕山期深部岩浆活动与大规模成矿”作为地质-成矿系统的原型(prototype)和复杂性研究的重点对于南岭花岗岩与南岭成矿矿带的产生及其时-空演变规律在复杂性科学理论和研究方法上构建了一种新的范式(paradigm),并且对于所获得的研究成果提出了超越常规的实质性和较深刻的阐释,其中包括:

一、华南和南岭地区燕山期花岗岩的成因

最近,我国利用地球物理深部探测与实验进行了大规模地球深部结构与地球动力学的探索与研究,取得了划时代的重大进展。

华南大地电磁测深大剖面(MT)岩石圈电性结构的花岗岩体形态及其分布的几何学特征研究显示:

- 1) 花岗岩体的赋存深度平均在 20 ~ 30 km 之间,属于中地壳的范畴。
- 2) 花岗岩体空间分布的几何形态总体上呈“层状分布”,并且后者位于软流圈的上涌区之上。

华南大地电磁测深岩石圈-软流圈界面电性结构的地球动力学特征研究显示:①华南地区岩石圈厚度一般在 60 ~ 145 km 之间,并非西厚东薄,而是呈现南北两侧上抬,中部下凹、东部受不均匀、较强烈的改造。②总体上华南地区岩石圈稳定性较好,晚中生代以来的构造运动对于岩石圈的改造程度有限,并且可能以不同形式的软流圈底辟为主。

根据以上事实,并参照前人研究成果,可以得出关于华南花岗岩成因的如下结论:

华南花岗岩(侏罗纪及以前)主体上是“中地壳原地重熔的壳源花岗岩”(见图 1)。

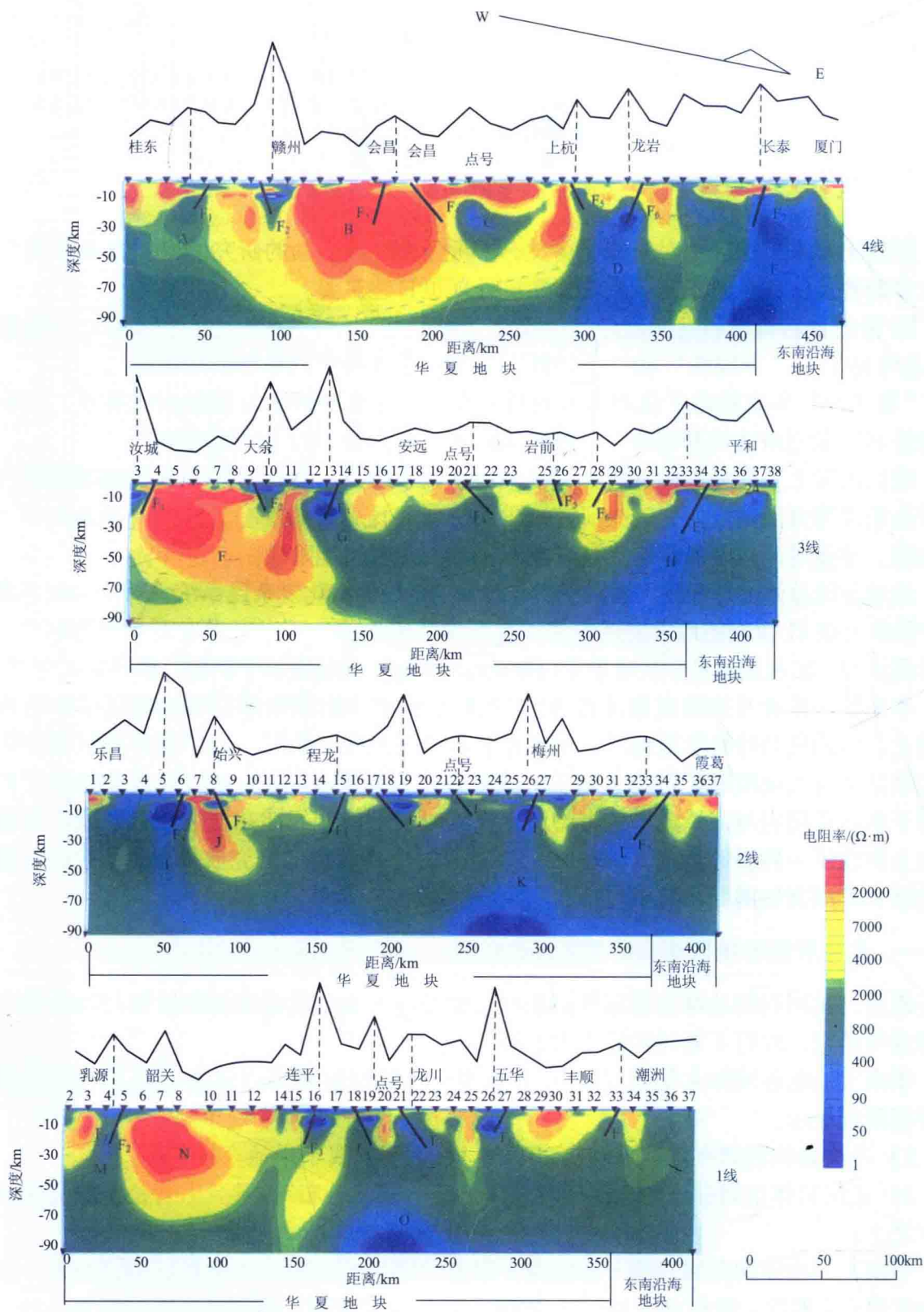


图1 华南大地电磁测深1-4号剖面电性结构特征

(据刘国兴等, 2012)

F₁—吉安—四会断裂; F₂—赣江断裂; F₃—阳江—金华断裂; F₄—河源—邵武断裂; F₅—澳门—建阳断裂;

F₆—政和—大埔断裂; F₇—福安—南靖断裂。电阻率等值线上方的曲线为0~50 km 总纵向电导分布示意图

二、南岭花岗岩带的动力学属性——岩浆孤子（孤波）和非线性“孔隙度波”

“部分熔融”是低黏滞流体（熔体）通过黏滞可变形、渗透性基质的两相孔隙流动（渗流）。

理论证明岩石部分熔融的两相孔隙流动（渗流）过程产生岩浆孤子（孤波），它们具有非线性的“孔隙度波”的动力学属性（Mckenzie, 1984; Spiegelman, 1993）。

南岭花岗岩带的成因属于中地壳原地重熔的“壳源花岗岩”，因而自然具有岩浆孤子（孤波）和非线性“孔隙度波”的动力学属性。

我们进一步用孤子（孤波）成因最本质的动力学机制作为鉴别孤子（孤波）存在性的准则，证明南岭花岗岩带的动力学属性。

孤子（孤波）的成因可以用“反应-扩散方程”作为基本数学模型来描述，其中化学反应代表系统中的局部非线性相互作用，它是活化剂、起正反馈的作用；而扩散则代表线性的扩展，这是抑制剂、起负反馈的作用。活化剂的正反馈和抑制剂的负反馈的竞争就导致了活性系统中各种孤子的生成。推而广之，对于各种活性分布介质，我们可以广义地表述“局部非线性相互作用的聚集与线性分散场的扩展取得平衡是‘孤子’（孤波）成因最本质的动力学机制”。简而言之，孤子形成的最本质动力学机制是局部活化与长程抑制的对立和统一。

图2表示南岭花岗岩中的钾长石球状“眼斑”（ocelli）。它们的生成可能是由于岩浆胶状软物质中杆状粒子沿一定方向作用的自我推进力的发展受到来自胶体溶剂扭力矩的抑制，二者竞争而作圆周运动从而形成了球粒状的“孤子”。



图2 花岗岩中钾长石（眼斑）——钾长石岩浆孤子

图3表示同心环带构造钾长石眼斑的同方位条纹状钠长石化，其中两种过程叠加：

①钾长石的同心环带构造，反映了岩浆孤子成因的最本质动力学机制。②同方位条纹状钠长石化，其中钠长石化的方位与钾长石的结晶方位基本相一致；体现了钠长石化的局部非线性相互作用在空间上受到钾长石结晶方位的控制，这是孤子成因最本质动力学机制的另一种具体形式。

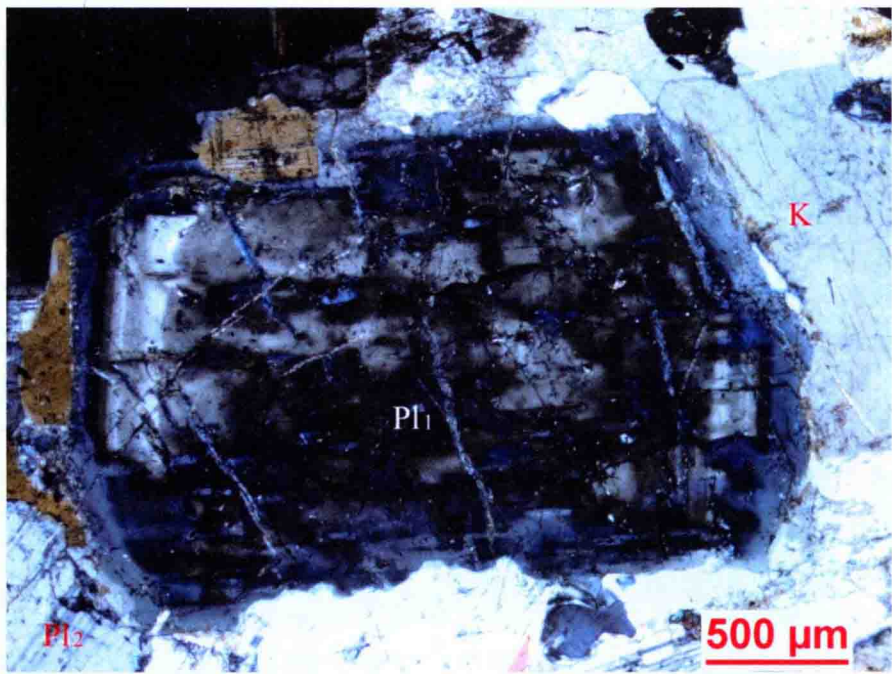


图3 花岗岩中钾长石（眼斑）——钾长石岩浆孤子

三、南岭地区的目标斑图式区域成矿分带

反应 - 扩散方程是反映孤子（孤波）成因最本质动力学机制的基本数学模型，并且展示出孤子（孤波）典型弱混沌、准规则、相干结构的目标斑图形式。

南岭地区成矿 - 运矿元素化学波曾发生时 - 空同步化并通过相位动力学自起步点向外，沿径向扩展而成孤子的“目标斑图”式相干结构，展示了南岭成矿区的目标斑图式区域成矿分带。

图4表示湘南骑田岭 - 千里山的目标斑图式区域成矿分带。它展示了地岭地区燕山运动早期稀有金属（W、Sn、Mo、Bi、Nb）和稀土元素（La）的成矿规律。成矿中心位于骑田岭 - 千里山一带。

图5表示湘南九嶷山的目标斑图式区域成矿分带。它展示了南岭地区燕山运动晚期有色金属（Cu、Pb、Zn、Hg、Sb），贵金属（Au、Ag）和放射性元素（U）的成矿规律。成矿中心位于九嶷山一带。

成矿分带的形成顺序可以和“区带熔融”（zone melting）所产生的“区带色层分离”（zone chromatography）相类比。根据“区带色层分离”的原理（见图3 - 57）：分带中溶质区带的生成次序和宽度取决于该溶质在固体溶剂中的分配系数（ k ）， k 值愈小，则溶质的移动速度愈快，其相应的区带也愈宽。显然，溶质移动速度愈快等价于溶质区带离开分带中心愈远。据此，根据成矿分带的结构，可以推断：燕山早期：6种元素的分带从中心向外，由近及远为 Bi - Mo - Nb - La - Sn - W，其中 Bi 分带形成最慢，

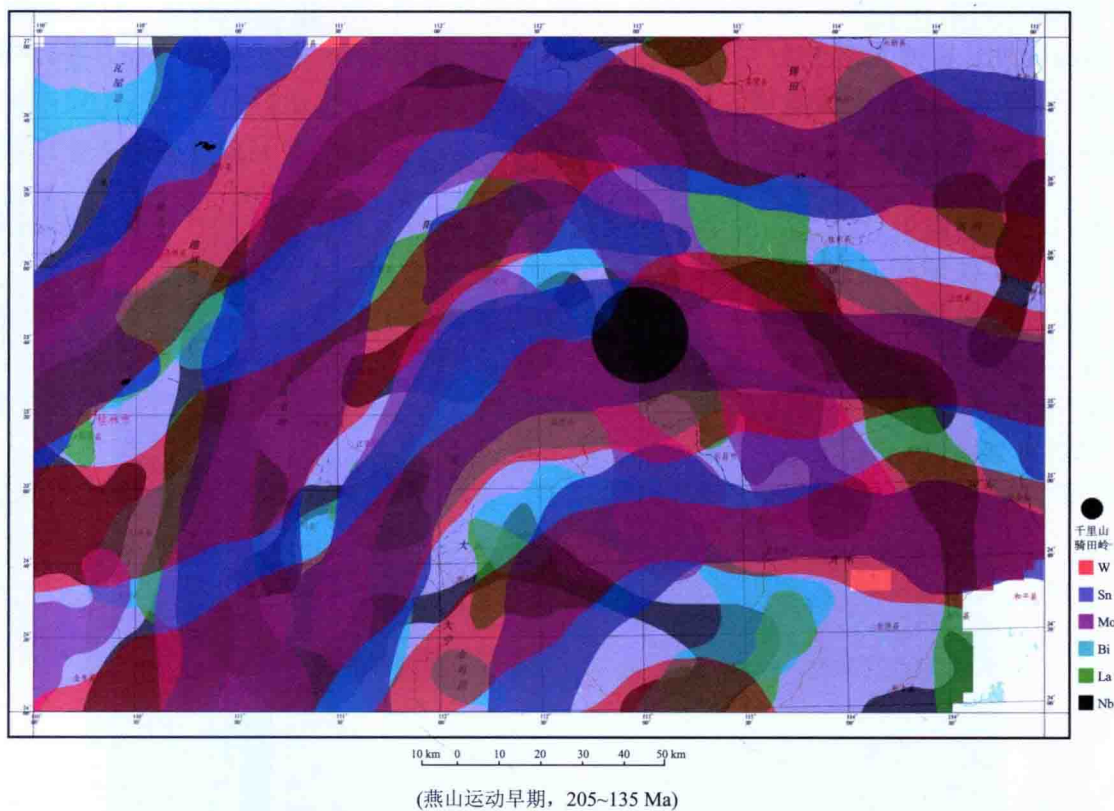


图4 南岭地区骑田岭-千里山目标斑图式区域成矿分带

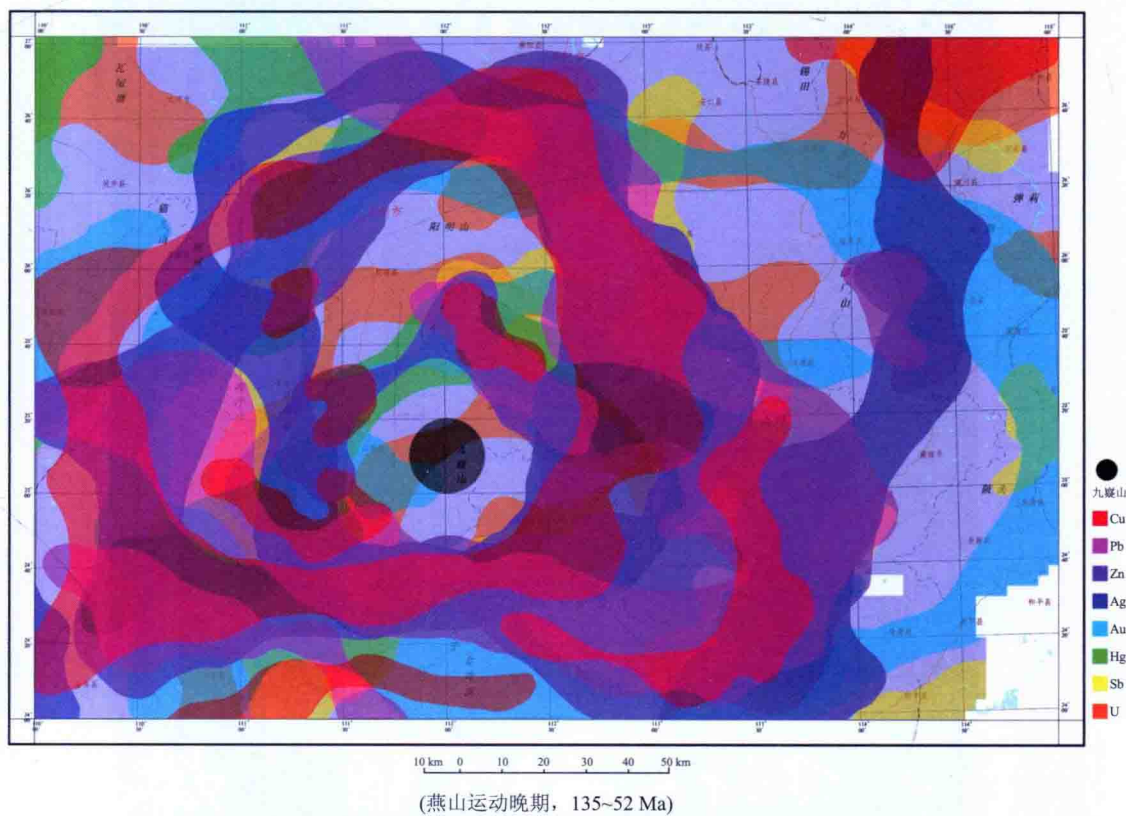


图5 南岭地区九嶷山目标斑图式区域成矿分带

W 分带形成最快。

燕山晚期：8 种元素的分带从中心向外，由近及远为 Cu - Pb - Zn - Ag - Au - Sb - Hg - U，其中 Cu 分带形成最慢，U 分带形成最快。

四、南岭花岗岩带与南岭成矿带是华南中地壳原地重熔巨型“自孤子”

我们在研究成果总结之一的关于华南和南岭地区燕山期花岗岩的成因中已经阐明了华南花岗岩（侏罗纪及以前）主体上是“中地壳原地重熔的壳源花岗岩”。

在研究成果总结之二的南岭花岗岩带的动力学属性中又根据岩石部分熔融的两相孔隙流动（渗流）过程产生岩浆孤子（孤波）和非线性“孔隙度波”动力学属性的理论分析获知南岭花岗岩带既属壳源花岗岩，自然具有岩浆孤子（孤波）和非线性“孔隙度波”的动力学属性。

在研究成果总结之三的南岭成矿区目标斑图式区域成矿分带中又进一步认识到目标

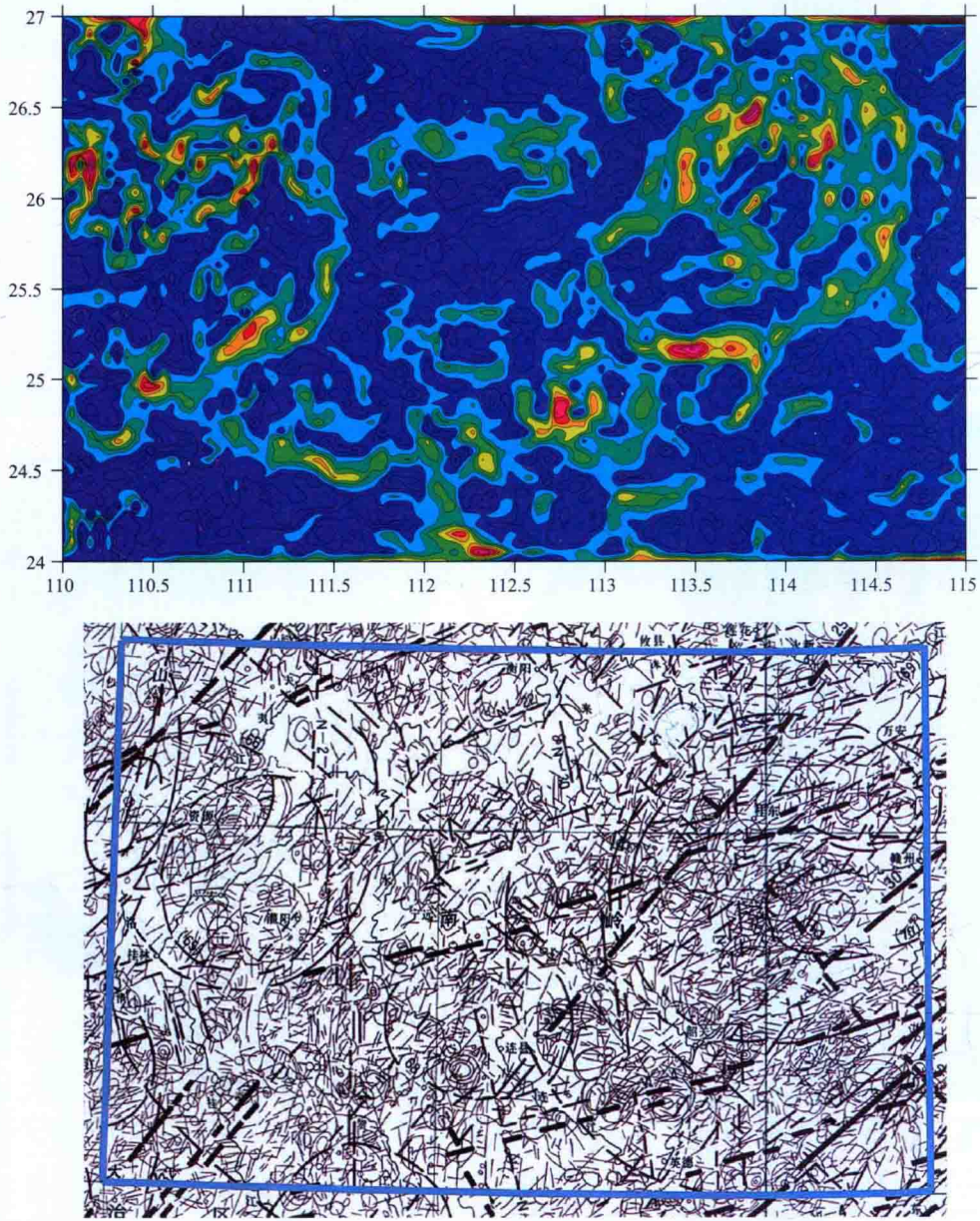


图6 南岭地区卫星重力场水平总梯度模与该地区卫星遥感影像的环形构造的对比

斑图是弱混沌、准规则、相干结构最纯粹的形式，它反映了孤子成因最本质的动力学机制——广义反应-扩散型基本数学模型。

对于以上三方面进行综合分析，我们可以得出以下结论：南岭花岗岩带和南岭成矿带是华南中地壳原地重熔巨型“自孤子”（因为自然界中的成岩系统和成矿系统均为开放的耗散系统），并且这一事件发生在中元古代又延续到中生代的燕山运动期（见本书总结）。

以下我们再从南岭地区存在的三种环形构造之间的相互关系出发对于南岭花岗岩带和南岭成矿带的巨型“自孤子”问题作进一步的具体分析。

1) 南岭地区存在三种环形构造：卫星遥感环形构造，区域成矿分带的环形构造和

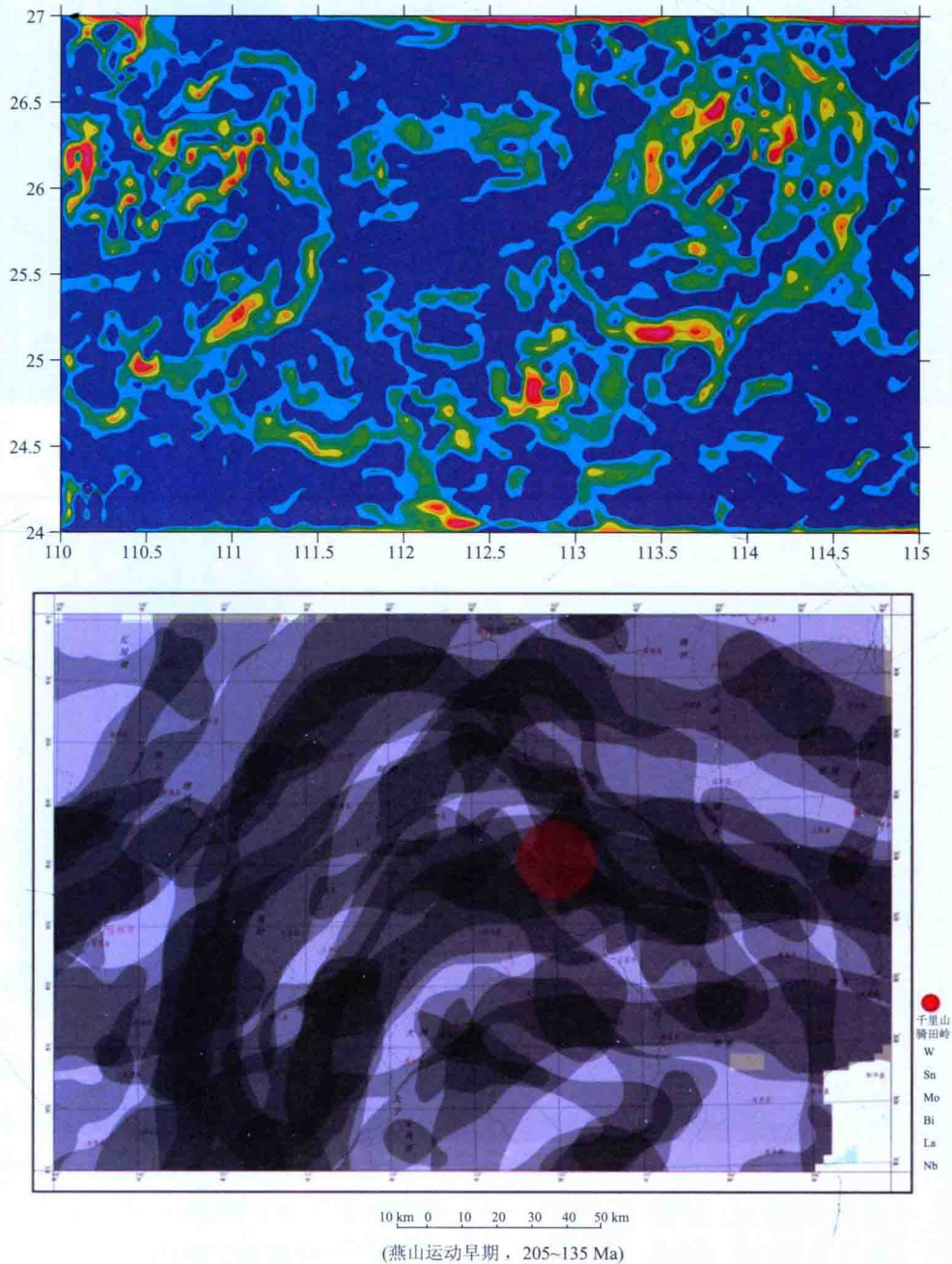


图7 南岭地区卫星重力场水平总梯度模与该地区骑田岭-千里山成矿中心及其相关联的稀有金属成矿分带的对比
(注意：该成矿中心和成矿分带主要与东部地区最大的环形构造相吻合)

深部隐伏岩体的环状分布（图6）。

2) 三种环形构造上、下三重叠合，显示叠合的中心既是深部的地壳重熔中心，又可能是南岭地区燕山期成矿之源（图7，8）。

3) 三重叠合呈现为具有共性的“目标斑图”形态。“目标斑图”的形成体现了孤

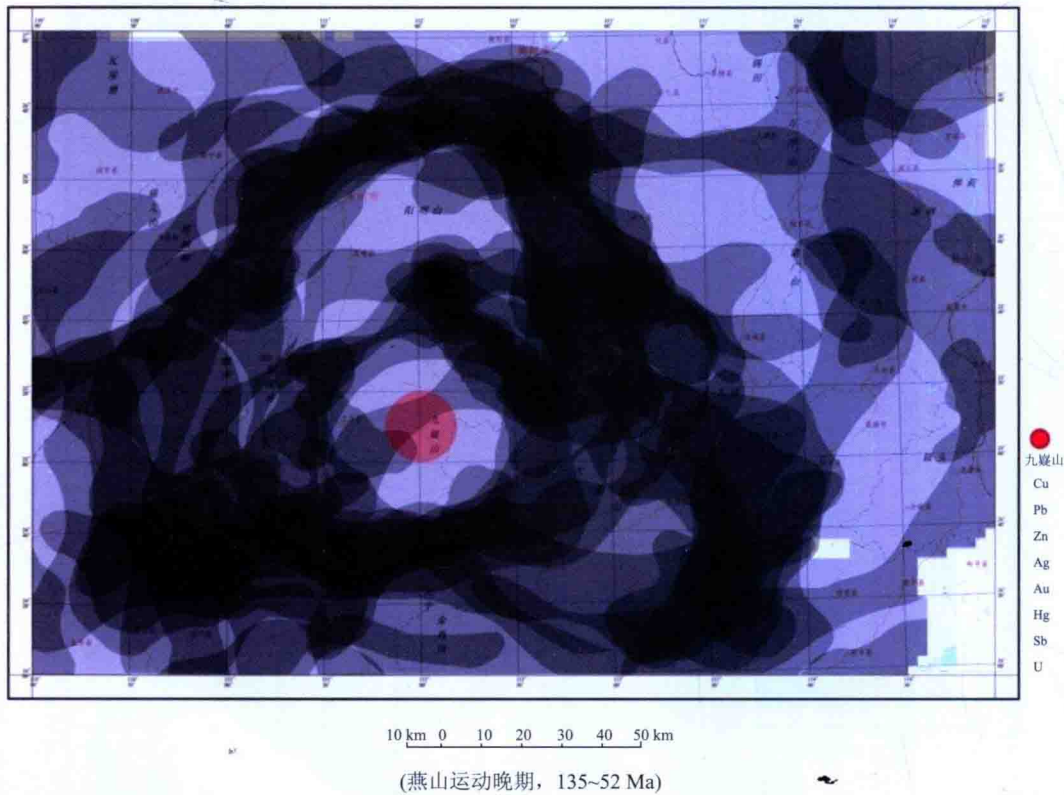
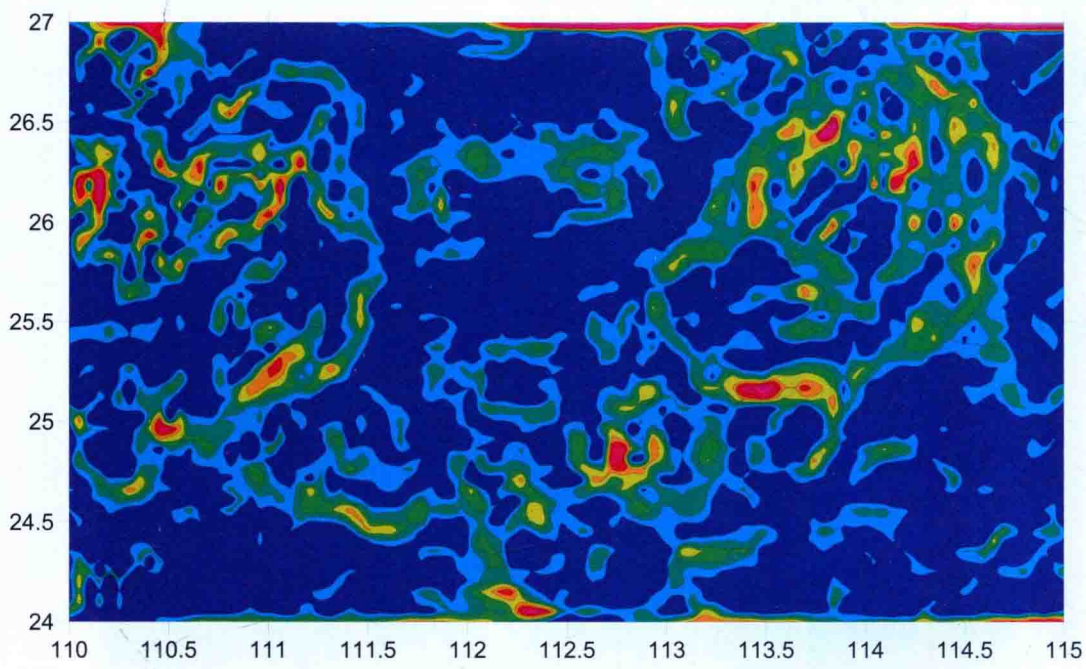


图8 南岭地区卫星重力场水平总梯度模与该地区九嶷山成矿中心及其相关联的
有色金属-贵金属-放射性元素成矿分带的对比
(注意：该成矿中心和成矿分带主要与中部偏南地区的环形构造相吻合)

子或孤波的产生，而它在南岭地体中的出现则标志着南岭花岗岩带与南岭成矿带是华南中地壳原地重熔的巨型“自孤子”（图6，7，8）。

4) 南岭花岗岩带与南岭成矿带的特征。南岭花岗岩带由E-W向分布的北、中、南三带组成，它们是在继承了古亚洲-特提斯构造域的E-W向断裂带的基础上、并且经历了多期构造-岩浆活动而形成的自孤子（图9）。

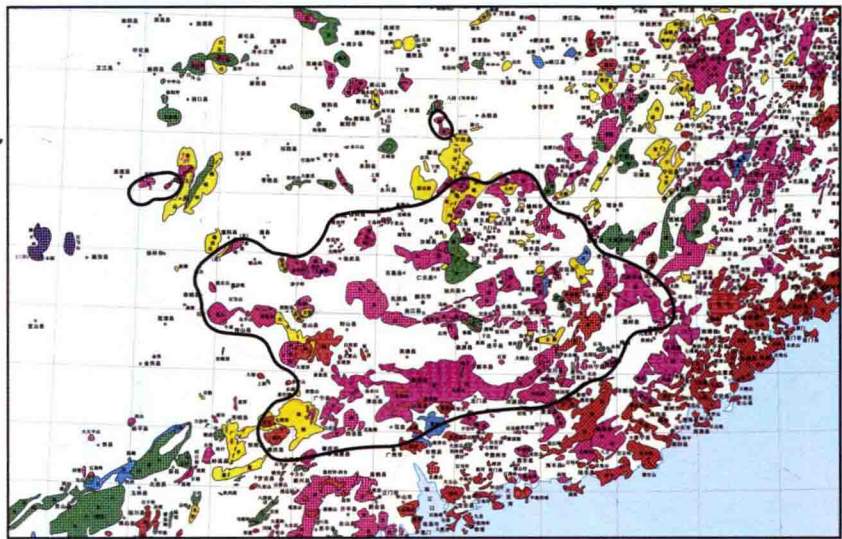


图9 南岭花岗岩带与南岭成矿带——中元古代华南中地壳原地重熔巨型自孤子（黑线圈定的区域）
（底图据周新民，2007 本图为其中的一部分）

南岭成矿带是由南岭地区内绝对年龄各异的十余个矿集区密集分布而成（图10）。它是燕山早期南岭地区发生大规模成矿而与花岗岩带共同形成的巨型自孤子（图9）。准确地说：南岭花岗岩带与南岭成矿带是中元古代华南中地壳原地重熔的巨型自孤子。

五、南岭地区大规模成矿的规律及其动力学机制

1) 部分熔融与成矿的发生。部分熔融与成矿的发生是含“矿”原岩的部分熔融过程中各种低熔体分数（其中包括含“矿”熔体）在“颗粒-标度上的平衡分布”和“熔体分凝动力学”的问题。

“二面角”（ θ ）熔体与两个颗粒的界面之间的界面角，它是确定熔体在颗粒-标度上平衡分布的最主要参数。

最近对于部分熔融地壳原岩中金属硫化物熔体成矿物质的颗粒-标度平衡分布进行的系统研究获得以下结果：

在硅酸盐的固结线（约1150℃）以上的温度，金属硫化物熔体与硅酸盐熔体共存，但是后者的湿润势远高于前者，结果产生一种结构，其中硅酸盐部分熔融的熔体形成了 $<60^\circ$ 的二面角，从而湿润了硅酸盐颗粒的边，形成了沿颗粒边界的扁豆体，而金属硫化物熔体则由于形成的二面角较大（在 65° 到 115° 的区间内）就形成了孤立、离散的球粒。在这种情况下，金属硫化物熔体将呈沉降的方式发生分离，直至达到高的硅酸盐熔体分数就进行得更为有效（图11）。

以上的实验结果可以很好地回答南岭地区“部分熔融与成矿发生”的关系这个问

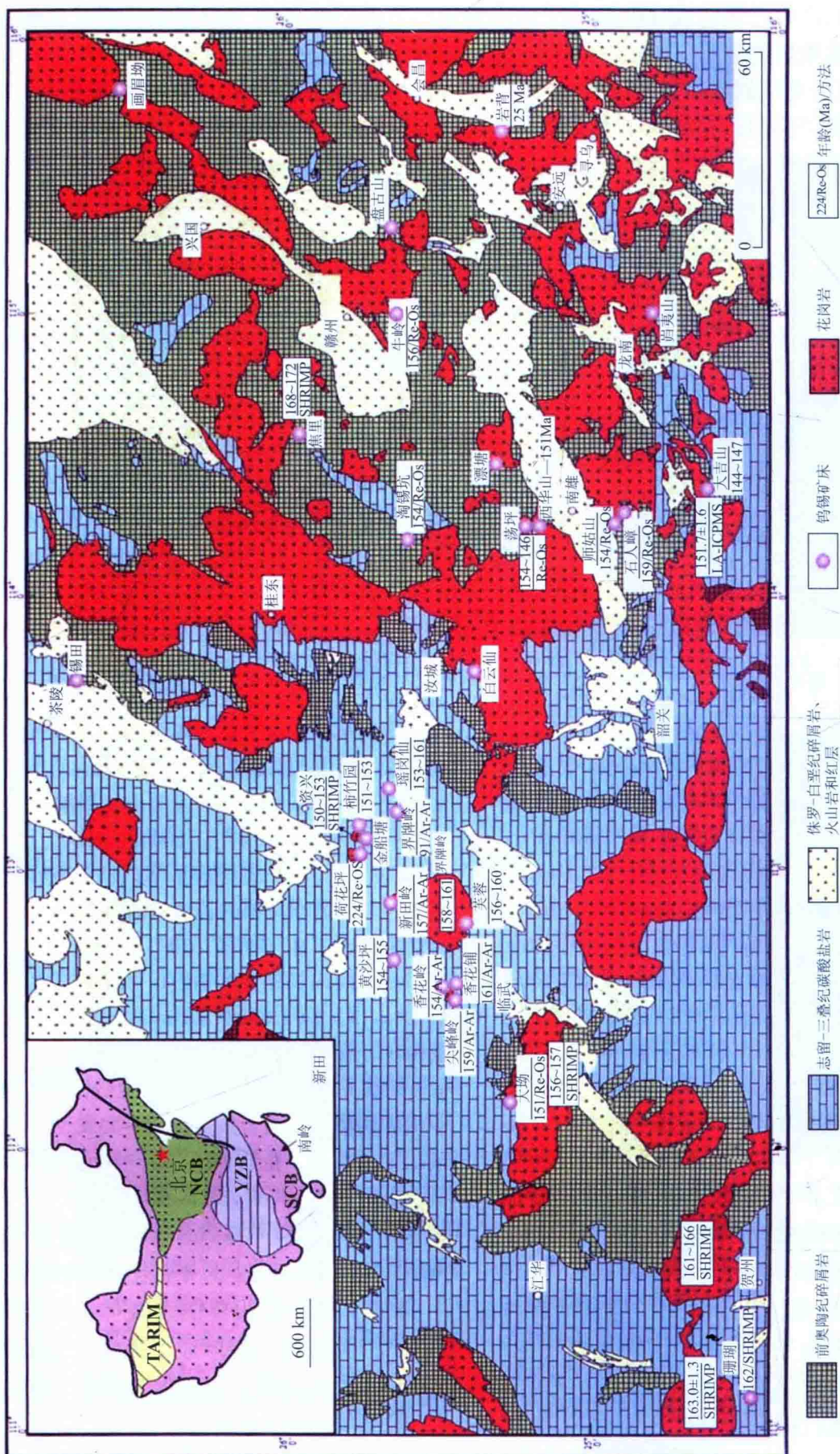


图10 南岭地区晚中生代主要金属矿床分布图
(据毛景文等, 2007)

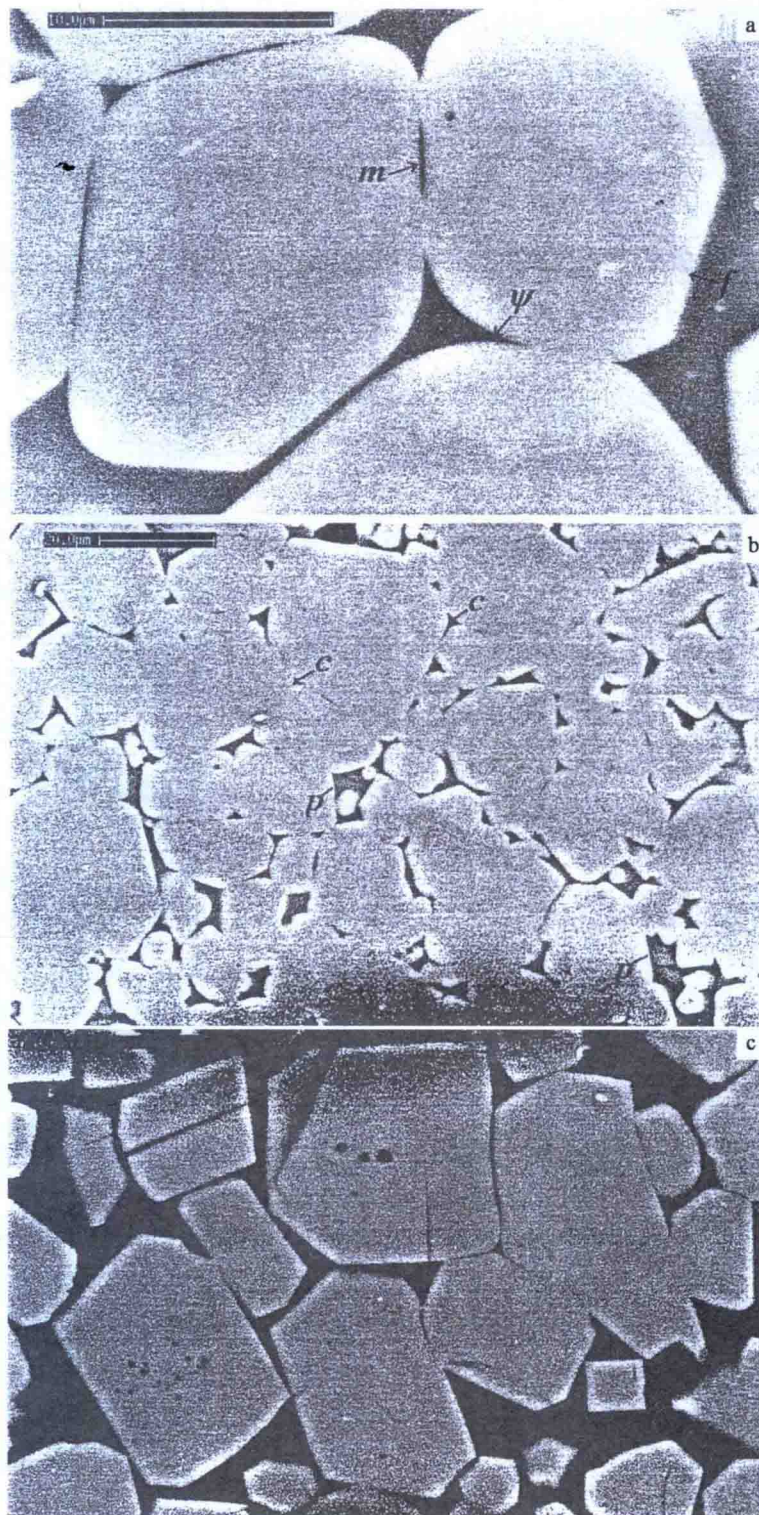


图 11 背散射电子图像显示石英（浅灰）与水饱和花岗岩熔体的结构关系
(据 Laporte, Provost, 2000)

(a) 近视图

ψ : 由 2 个光滑、弯曲的石英-熔体界面确定的极低视二面角 ($\theta = 14^\circ$);

m : 沿着一个颗粒边界的扁豆状熔体; f : 晶面

(b) 含有 5% 熔体的总体结构: 多数熔体位于大的囊包内 (p), 而并不在三面通道 (c) 中

(c) 钙长石 (浅灰) 与水饱和硅酸盐熔体的结构关系

注意平的晶面的系统性发展和低的视二面角

题，有力地支持了南岭地区中元古代中地壳原地重熔，可能以花岗岩（岩浆孤子）作为成矿的孵化器，通过“区带提纯”和含“矿”熔体的分凝动力学而成矿，并非由地幔上涌而发生岩浆分异产物的成矿理论新认识。

2) 南岭地区的大规模成矿具有阵发 - 间歇性的特征，它反映了矿产资源在时间和空间上生成、发展和演化的宏观上的普遍性规律（图 10）。

3) 南岭地区内的成矿作用展示了“多重分形串级动力学”的动力学机制（图 12）。这种成矿作用动力学机制的本质与核心是：

- A. 高度奇异的小标度串级极限。
- B. 对数一周周期性振荡及幂律式加速增长有限时间奇点（图 12）。

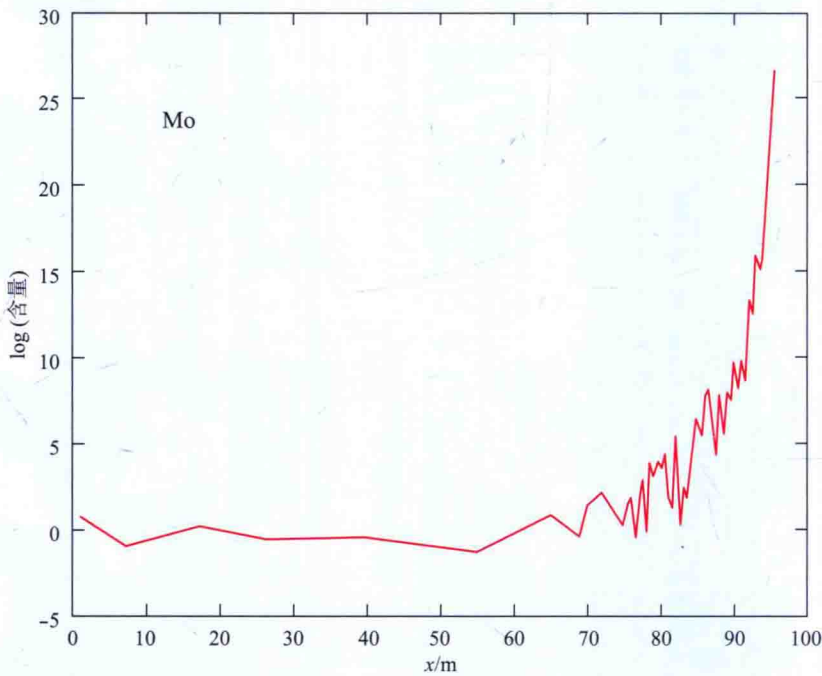


图 12 南岭地区成矿作用的多重分形串级动力学机制——

- 高度奇异的小标度串级极限
- 对数周期性振荡及幂律式加速增长有限时间奇点

目 录

序 言

引 言

第一篇 专 著

第一章 南岭地区燕山期构造物理特征	(27)
一、燕山早期太平洋板块向华夏(欧亚)板块的俯冲过程	(27)
二、侏罗纪华南大陆发生显著的 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 逆时针旋转	(27)
三、晚中生代中国东部岩石圈减薄	(28)
四、华南中地壳低速带形成中国东(南)部地壳重熔和最大规模的推覆构造	(29)
第二章 南岭地区燕山期花岗岩的成因、内禀动力学属性及其与南岭地区成矿的关系	(33)
第一节 南岭地区燕山期花岗岩的成因	(33)
引 言	(33)
一、华南中地壳低速带与部分熔融区的形成	(34)
二、华南和南岭地区的地球物理深部探测研究	(34)
(一) 华南大地电磁测深大剖面的岩石圈电性结构的花岗岩体形态及其分布的几何学特征研究	(34)
(二) 华南大地电磁测深的岩石圈-软流圈界面电性结构的地球动力学特征研究	(39)
(三) 南岭工作地区的进一步研究(附录 I)	(43)
(四) 小结	(46)
小 结	(46)
第二节 南岭花岗岩的内禀动力学属性	(49)
一、南岭花岗岩部分熔融的流变临界现象研究(附录 II ₁ , 附录 II ₂)	(49)
二、南岭地区陆壳部分熔融的弱混沌随机动力学环境(阐述 III, VI)	(66)
(一) 混沌和哈密顿系统	(66)
(二) 花岗岩体内包体具有卵圆形的生态惯性	(67)
(三) 析离体的弱混沌随机动力学弥散	(69)
三、南岭花岗岩是陆壳部分熔融产生的岩浆孤子和孤波(阐述 IV, 附录 II)	(71)
(一) 关于“岩石部分熔融产生岩浆孤波(孤子)”的动力学分析(理论证明)(阐述 V)	(71)
(二) 南岭地区花岗岩岩浆孤子(孤波)的存在性(阐述 IV, 附录 II)	(72)
四、结论	(77)
第三节 南岭花岗岩与南岭地区成矿的关系	(79)
一、南岭花岗岩——成矿的“孵化器”	(79)
二、南岭花岗岩——成矿物质的“载体”和“输运通道”	(81)

第三章 南岭成矿带成矿规律的复杂性研究	(83)
第一节 南岭花岗岩带与南岭成矿带是中元古代华南中地壳原地重熔的巨型自孤子	(83)
一、华南中地壳低速带的部分熔融区是成矿大熔炉	(83)
二、矿床是自孤子(阐述Ⅳ)	(87)
三、南岭花岗岩带与南岭成矿带是中元古代华南中地壳原地重熔的巨型自孤子(阐述Ⅳ,Ⅷ)	(90)
第二节 部分熔融与成矿的发生	(92)
第三节 南岭成矿带的成矿规律——南岭地区目标斑图式区域成矿分带性(阐述Ⅶ,Ⅷ)	(100)
一、理论与方法简述	(100)
(一) 同步化理论(阐述Ⅶ)	(100)
(二) “同步化”的研究与实施方法	(101)
(三) “同步化”研究的具体方法	(102)
二、中间渐近原理(阐述Ⅸ)	(106)
三、南岭目标斑图式区域成矿分带(阐述Ⅶ,Ⅷ)	(115)
(一) 燕山运动早晚两期成矿	(115)
(二) 两大成矿中心	(136)
(三) 目标斑图式的区域成矿分带性(阐述Ⅶ,Ⅷ)	(136)
(四) 南岭目标斑图式区域成矿分带研究成果的重要意义	(136)
第四节 南岭成矿带形成的动力学机制——成矿阵发-间歇性与多重分形串级过程动力学 (高度奇异的小尺度串级极限和对数-周期性振荡幂律式加速有限时间奇点)	(139)
一、成矿阵发-间歇性与多重分形串级过程动力学概要(阐述Ⅱ,Ⅺ)	(140)
二、广西姑婆山锡多金属矿床实例	(144)
三、自相似振荡有限时间奇点理论(阐述Ⅻ)	(172)
第五节 南岭地区区域成矿预测	(177)
一、探索南岭地区陆壳重熔中心和成矿之源	(177)
(一) 华南卫星遥感影像显示的线性与环形构造	(177)
(二) 深部隐伏岩体的赋存	(178)
(三) 卫星遥感构造、区域成矿分带与深部隐伏岩体对比分析	(181)
二、重点地区深入研究与深部成矿预测	(184)
(一) 千里山-骑田岭和九嶷山地区	(184)
(二) 湘南千里山-骑田岭地区深部成矿预测	(189)
附录Ⅰ 南岭地区燕山期深部及成矿的地球物理探测研究	(202)
第一节 千里山、九嶷山地球物理探测剖面	(202)
一、野外重磁、大地电磁测深剖面	(202)
二、重磁异常剖面	(203)
三、大地电磁测深剖面	(204)
第二节 南岭重磁异常特征与断裂体系、岩体分析	(204)
一、区域地球物理场特征	(204)
二、南岭重磁异常小波多尺度分解及地质意义	(211)