



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

有色金属

理论与技术前沿丛书
SERIES OF THEORETICAL AND TECHNOLOGICAL FRONTIERS OF
NONFERROUS METALS

福建紫金山矿集区成岩成矿 作用研究

STUDY ON DIAGENESIS AND METALLOGENESIS OF ZIJINSHAN ORE DISTRICT
IN FUJIAN PROVINCE

李斌 蒋少涌 著

Li Bin Jiang ShaoYong



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



中国有色集团



国家出版基金项目

NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

有色金属理论与技术前沿丛书

福建紫金山矿集区 成岩成矿作用研究

STUDY ON DIAGENESIS AND METALLOGENESIS OF
ZIJINSHAN ORE DISTRICT IN FUJIAN PROVINCE

李 斌 蒋少涌 著
Li Bin Jiang ShaoYong



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



中国有色集团

图书在版编目(CIP)数据

福建紫金山矿集区成岩成矿作用研究/李斌,蒋少涌著.
—长沙:中南大学出版社,2016.1
ISBN 978-7-5487-2245-8
I. 福... II. ①李... ②蒋... III. 铜矿床-成矿作用-研究-福建省
IV. P618.41
中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第093795号

福建紫金山矿集区成岩成矿作用研究
FUJIAN ZIJINSHAN KUANGJIQU
CHENGYAN CHENGKUANG ZUOYONG YANJIU
李斌 蒋少涌 著

☐责任编辑 刘石年 胡业民
☐责任印制 易红卫
☐出版发行 中南大学出版社
社址:长沙市麓山南路 邮编:410083
发行科电话:0731-88876770 传真:0731-88710482
☐印 装 长沙超峰印刷有限公司

☐开 本 720×1000 1/16 ☐印张 11.75 ☐字数 232千字
☐版 次 2016年1月第1版 ☐印次 2016年1月第1次印刷
☐书 号 ISBN 978-7-5487-2245-8
☐定 价 60.00元

图书出现印装问题,请与经销商调换

内容简介

Introduction

《福建紫金山矿集区成岩成矿作用研究》专著系作者近年来参与的国家重点基础研究发展计划(“973”计划)“华夏地块中生代陆壳再造与巨量金属成矿”的部分成果。本书系统介绍了武夷成矿带中紫金山矿集区内的紫金山铜金矿、萝卜岭铜钼矿和二庙沟铜金矿的地质背景和矿床地质特征,开展了岩石学和矿床地球化学研究,分析了矿集区的成岩成矿条件以及岩石和矿床成因,总结了区域成矿规律及构造岩浆演化和成矿机制。本次研究全面总结和梳理了紫金山矿集区的岩浆演化历史,系统研究了不同类型矿床的成因,丰富了基础地质资料,同时也积累了大量精确的地球化学数据,对促进武夷成矿带地球科学系统研究及找矿预测有重要的理论意义和实际价值。本书可供岩石学、岩浆-构造成矿学及矿床学研究人员使用,也可供从事找矿预测工作的生产单位技术人员和相关专业大专院校师生使用。

作者简介

About the Author

李 斌 男, 1985 年生, 博士(2015 年获南京大学理学博士学位), 现为中南大学地质资源系讲师。主要从事矿床学、矿床地球化学、流体成矿学及岩浆-构造-成矿学的研究工作。参与多项“973”项目及国家自然科学基金项目, 已在 *Ore Geology Reviews*, *Lithos*, *Gondwana Research*, *Tectonophysics*, *International Geology Review*, *Journal of Asian Earth Sciences* 等国际权威和重要期刊上发表论文十多篇。

蒋少涌 男, 1964 年生, 博士, 南京大学和中国地质大学(武汉)教授, 博士生导师, 首批教育部“长江学者”, 国家杰出青年基金获得者, “973”项目首席科学家, 紧缺战略矿产资源协同创新中心主任, 获李四光地质科学奖。长期从事矿床地球化学、同位素地球化学、海洋地球化学以及古海洋环境等方面的研究, 已在 *Nature*, *Science*, *Nature Communication*, *Geology*, *GCA* 和 *EPSL* 等国际超一流及顶级学术刊物发表论文 200 余篇。两次获教育部自然科学一等奖(排名第一)。现为国际权威杂志 *Chemical Geology*, *Mineralium Deposita*, *Journal of Geochemical Exploration* 的副主编。

学术委员会

Academic Committee

国家出版基金项目
有色金属理论与技术前沿丛书

主 任

王淀佐 中国科学院院士 中国工程院院士

委 员 (按姓氏笔画排序)

于润沧	中国工程院院士	古德生	中国工程院院士
左铁镛	中国工程院院士	刘业翔	中国工程院院士
刘宝琛	中国工程院院士	孙传尧	中国工程院院士
李东英	中国工程院院士	邱定蕃	中国工程院院士
何季麟	中国工程院院士	何继善	中国工程院院士
余永富	中国工程院院士	汪旭光	中国工程院院士
张文海	中国工程院院士	张国成	中国工程院院士
张 懿	中国工程院院士	陈 景	中国工程院院士
金展鹏	中国科学院院士	周克崧	中国工程院院士
周 廉	中国工程院院士	钟 掘	中国工程院院士
黄伯云	中国工程院院士	黄培云	中国工程院院士
屠海令	中国工程院院士	曾苏民	中国工程院院士
戴永年	中国工程院院士		

编辑出版委员会

Editorial and Publishing Committee

国家出版基金项目
有色金属理论与技术前沿丛书

主 任

罗 涛(教授级高工 中国有色矿业集团有限公司原总经理)

副主任

邱冠周(教授 中国工程院院士)

陈春阳(教授 中南大学党委常委、副校长)

田红旗(教授 中南大学副校长)

尹飞舟(编审 湖南省新闻出版广电局副局长)

张 麟(教授级高工 大冶有色金属集团控股有限公司董事长)

执行副主任

王海东 王飞跃

委 员

苏仁进 文援朝 李昌佳 彭超群 谭晓萍

陈灿华 胡业民 史海燕 刘 辉 谭 平

张 曦 周 颖 汪宜晔 易建国 唐立红

李海亮

总序

Preface

当今有色金属已成为决定一个国家经济、科学技术、国防建设等发展的重要物质基础，是提升国家综合实力和保障国家安全的关键性战略资源。作为有色金属生产第一大国，我国在有色金属研究领域，特别是在复杂低品位有色金属资源的开发与利用上取得了长足进展。

我国有色金属工业近 30 年来发展迅速，产量连年来居世界首位，有色金属科技在国民经济建设和现代化国防建设中发挥着越来越重要的作用。与此同时，有色金属资源短缺与国民经济发展需求之间的矛盾也日益突出，对国外资源的依赖程度逐年增加，严重影响我国国民经济的健康发展。

随着经济的发展，已探明的优质矿产资源接近枯竭，不仅使我国面临有色金属材料总量供应严重短缺的危机，而且因为“难探、难采、难选、难冶”的复杂低品位矿石资源或二次资源逐步成为主体原料后，对传统的地质、采矿、选矿、冶金、材料、加工、环境等科学技术提出了巨大挑战。资源的低质化将会使我国有色金属工业及相关产业面临生存竞争的危机。我国有色金属工业的发展迫切需要适应我国资源特点的新理论、新技术。系统完整、水平领先和相互融合的金属科技图书的出版，对于提高我国有色金属工业的自主创新能力，促进高效、低耗、无污染、综合利用有色金属资源的新理论与新技术的应用，确保我国有色金属产业的可持续发展，具有重大的推动作用。

作为国家出版基金资助的国家重大出版项目，“有色金属理论与技术前沿丛书”计划出版 100 种图书，涵盖材料、冶金、矿业、地学和机电等学科。丛书的作者荟萃了有色金属研究领域的院士、国家重大科研计划项目的首席科学家、长江学者特聘教授、国家杰出青年科学基金获得者、全国优秀博士论文奖获得者、国家重大人才计划入选者、有色金属大型研究院所及骨干企

业的顶尖专家。

国家出版基金由国家设立，用于鼓励和支持优秀公益性出版项目，代表我国学术出版的最高水平。“有色金属理论与技术前沿丛书”瞄准有色金属研究发展前沿，把握国内外有色金属学科的最新动态，全面、及时、准确地反映有色金属科学与工程方面的新理论、新技术和新应用，发掘与采集极富价值的研究成果，具有很高的学术价值。

中南大学出版社长期倾力服务有色金属的图书出版，在“有色金属理论与技术前沿丛书”的策划与出版过程中做了大量极富成效的工作，大力推动了我国有色金属行业优秀科技著作的出版，对高等院校、研究院所及大中型企业的有色金属学科人才培养具有直接而重大的促进作用。

王淀佐

2010 年 12 月

前言

Foreword

本书的选题来源于国家重点基础研究发展计划(“973”项目)“华夏地块中生代陆壳再造与巨量金属成矿”项目,编号:2012CB416700。专著内容主要涉及区域构造背景及地质概况,岩浆演化历史及成岩过程,区域成矿条件,典型矿床特征及成矿作用,构造演化及成岩成矿作用等,重点开展了紫金山高硫型浅成低温热液铜金矿、萝卜岭斑岩型铜钼矿以及二庙沟铜金矿等典型矿床的地质-地球化学特征研究,分析子岩石及矿床成因,总结了构造演化及相应的成矿机制,建立了矿床成矿模式,为找矿勘查服务。

1)研究工作主要从以下几个方面展开:

(1)文献资料收集与整理:收集武夷成矿带和紫金山矿集区内已有相关基础地质资料,以及岩石学和矿床学的相关资料。整理和总结前人关于紫金山矿集区研究的相关文献和资料。查明矿集区的基本地质特征及背景。

(2)野外勘查采样:对紫金山矿集区开展详细的野外地质考察,包括钻孔与坑道编录,选择多个代表性矿段深入观察、剖析。查明赋矿围岩的岩石特性及空间分布特征,弄清矿石矿物、矿体地质特征及蚀变分带。采集各蚀变带内不同成矿期次的岩矿石样品,用以对比研究。

(3)岩相及矿相学研究:在对野外采集样品进行系统分类整理的基础上,磨制薄片、光片、电子探针片、包裹体片,开展详细的岩相学和矿相学鉴定研究,记录岩、矿石的原始信息。根据观察及分类整理,挑选对应单矿物。

(4)切割及微钻取样:将手标本及显微观察结果相结合,在

矿石手标本上标定不同阶段的蚀变及矿石矿物,进行切割破碎,挑选单矿物,或利用微钻挑选不同成矿阶段的单矿物,用以开展同位素的分析工作。

(5)地球化学及同位素测试:将挑纯的单矿物颗粒及利用钻取获得的矿物粉末进行样品前处理,获得矿物的 H-O-Pb 同位素数据;挑出锆石,进行 LA-ICP-MS 定年及 LA-MC-ICP-MS 的 Hf 同位素组成测定;对全岩样品,进行主量和微量元素、Sr-Nd-Pb 同位素组成分析,查明成岩成矿时代、岩石成因、成矿物质来源;利用 EPMA,在样品光薄片或电子探针片上进行造岩矿物及硫化物的电子探针分析。

(6)综合分析:查明紫金山矿集区内典型矿床的矿物共生组合及成矿阶段;讨论了与矿化有关的岩体时代、成因及其与矿化的关系,铜金钼矿化的形成时代与成矿物质来源;厘清构造—岩浆—成矿的内在联系及成因机制;探讨金属成矿流体演化过程中矿质富集沉淀机制以及高硫体系与斑岩体系耦合共生及铜金钼等元素差异化富集机制;建立矿集区斑岩—浅成低温热液体系的矿床模型,为深部及外围找矿预测奠定理论基础。

2)取得的主要成果和认识有:

(1)紫金山复式岩体形成于晚侏罗世(164~155 Ma),属过铝质花岗岩,稀土元素总量偏低,属 LREE 富集型。Ba, Nb, La, Ce, Sr, P, Ti 都表现出较明显的负异常,不同岩体表现出的负异常程度不同,而 Rb, Th, U, Pb 则呈现正异常。紫金山复式杂岩的初始 $n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})$ 值变化范围较大,而 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 变化为 $-10.3 \sim -6.8$,两阶段 Nd 模式年龄为 1.50~1.78 Ga。紫金山复式岩体具有相似的 Pb 同位素组成,初始铅同位素: $n(^{206}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})_i = 18.388 \sim 18.632$, $n(^{207}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})_i = 15.640 \sim 15.720$, $n(^{208}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})_i = 38.670 \sim 38.930$ 。锆石的 Hf 同位素 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t = 155 \text{ Ma}) = -19.0 \sim -7.1$,两阶段 Hf 模式年龄(T_{DM2})为 1.62~2.37 Ga。紫金山复式花岗岩体的形成可能与大规模的地壳(包括华夏元古宇正变质岩与副变质岩)的部分熔融有关,并经历印支期花岗岩的同化混染。紫金山复式岩体属低温 S 型花岗岩,主

要发生长石、褐帘石和磷灰石的分离结晶作用,其形成的构造环境可能为古太平洋板块俯冲所导致的活动大陆边缘环境。

(2)二庙沟铜金矿与紫金山铜金矿发育有相似的矿化蚀变类型,二者矿化均与英安玢岩以及隐爆角砾岩关系密切。英安玢岩形成于早白垩世(106~110 Ma),属弱过铝质岩;富集大离子亲石元素(LILEs),富集轻稀土(LREE),亏损Nb, Ta, P, Ti等高场强元素,无铕异常,轻重稀土分异明显,还具有高Sr/Y、La/Yb的特点,表现出类似于埃达克质岩石的特征。岩石的初始 $n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})$ 值为0.7127~0.7132, $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为-6.3~-4.9, 锆石的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为-4.5~1.7。萝卜岭斑岩铜钼矿床中与矿化有关的萝卜岭岩体形成于103 Ma左右,而与矿化无关的中寮岩体则形成于97 Ma左右。萝卜岭与中寮岩体具有相似的地球化学组成,均属弱过铝质岩。相对富集轻稀土,几乎无Eu异常;所有样品均表现出富集大离子亲石元素(LILEs, e. g., Rb, Ba, Th, U和Pb),亏损高场强元素(HFSEs, e. g., Nb, Ta, P及Ti)。高Sr, 低Y及HREE含量,较高的Sr/Y以及低Yb_N比值,也表现出埃达克质岩石的亲缘性。萝卜岭及中寮岩体的初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为0.7064~0.7068, $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为-4.0~-2.6, 两阶段Nd模式年龄变化范围为1.11 Ga到1.23 Ga。初始铅 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})_i$ 值为17.641~18.144, $n(^{207}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})_i$ 值为15.603~15.634, $n(^{208}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})_i$ 值为37.990~38.438。锆石样品 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为-5.8~0.7, 两阶段Hf模式年龄(T_{DM2})为1.10~1.50 Ga。

微量元素以及同位素特征表明二庙沟英安玢岩主要由富集地幔起源的基性岩浆与下地壳部分熔融形成的酸性岩浆发生岩浆混合作用而形成;萝卜岭与中寮岩体主要为俯冲交代的地幔来源,分离结晶作用控制着岩体的形成。所对应的地球动力学构造背景为受古太平洋板块俯冲、断离、折返影响而形成的伸展构造环境。

(3)紫金山—二庙沟铜金矿形成时代为106~110 Ma,而萝卜岭斑岩铜钼矿床的形成时代则为103~105 Ma。S-Pb同位素

特征表明,紫金山铜金矿的成矿物质具有多来源的特征,与紫金山复式岩体、白垩纪次火山岩有密切的关系。与铜金矿化密切相关的英安玢岩具有相对较低的初始岩浆温度,指示其浅源特征,壳源物质可能提供了部分成矿物质来源。萝卜岭铜钼矿床中与成矿有关的花岗闪长斑岩为俯冲交代地幔来源,Pb 同位素组成表明矿化主要与斑岩体有关,辉钼矿具有高 Re 含量,均表明 Cu - Mo 主要为地幔来源。紫金山铜金矿与萝卜岭铜钼矿应属两个不同的岩浆-热液成矿体系。

(4) 由于幔源组分的参与,紫金山矿田内与矿化有关的岩浆活动均表现出高氧逸度、富水的特点。中一晚侏罗世时期古太平洋板块的俯冲导致的地壳增厚,基性岩浆底侵下地壳,触发陆壳岩石的熔融并发生同化作用。受板片俯冲的影响,岩浆在陆壳底部聚集并逐渐演化为中酸性岩浆。基性岩浆不断加入及岩浆分异导致挥发分和金属元素聚集。晚侏罗世华夏地块处于古太平洋板块俯冲导致的活动大陆边缘环境,地壳物质熔融形成紫金山复式岩体的同时,也使上地幔和下地壳保存或堆积了大量的 Cu - Au 成矿物质。约在 110 Ma 时期发生的古太平洋板块的撕裂、断离及后撤,导致紫金山地区处于弧后伸展的构造背景,发育大规模的火山-侵入岩浆活动。俯冲交代地幔来源的基性岩浆上侵到下地壳,并重熔早期形成的含大量亲铜元素的硫化物-熔融物相,有效地提取 Cu、Au 等成矿元素,形成紫金山铜金矿化。在岩石圈的伸展构造背景下,软流圈上涌及熔融,导致含矿的幔源基性岩浆经历一系列的分离结晶作用,上侵到地壳浅部,形成含大量 Cu、Mo 元素的含矿熔体;磁铁矿的分离结晶导致硫化物分离,形成萝卜岭斑岩铜钼矿床。

本研究工作得到国家重点基础研究的资助。野外工作得到紫金矿业集团的大力支持和协助;室内工作得到南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室的大力支持。本书的出版得到中南大学创新驱动项目的资助。在此一并表示诚挚的谢意。

李 斌

2016 年 3 月

目录

Contents

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景及进展	1
1.1.1 华夏地块中生代岩浆演化及成因	2
1.1.2 华夏地块中生代大规模成矿事件	6
1.1.3 华夏地块中生代地球动力学背景	7
1.2 研究思路和内容	11
1.3 研究取得的主要成果和认识	11
第 2 章 区域地质概况与研究区地质特征	13
2.1 区域地质概况	13
2.1.1 区域地层	14
2.1.2 区域构造及古生代—中生代岩浆岩时空分布	16
2.2 研究区地质特征	19
2.2.1 研究区地层	19
2.2.2 研究区构造	21
2.2.3 研究区岩浆岩	22
2.3 矿床地质特征	23
2.3.1 紫金山铜金矿床	23
2.3.2 二庙沟铜金矿床	24
2.3.3 萝卜岭铜钼矿床	24
第 3 章 分析方法	27
3.1 锆石 U-Pb 定年	27
3.2 锆石 Lu-Hf 同位素分析	27
3.3 全岩地球化学及 Sr-Nd-Pb 同位素分析	28

3.4 矿物成分电子探针分析	29
第4章 中-晚侏罗世紫金山复式岩体的地球化学特征和成因	31
4.1 样品采集及岩相学特征	31
4.2 分析结果	32
4.2.1 锆石 U-Pb 年代学	32
4.2.2 主量元素及微量元素	34
4.2.3 Sr-Nd-Pb 同位素组成	43
4.2.4 锆石 Hf 同位素	48
4.3 讨论	55
4.3.1 蚀变对地球化学与同位素体系的影响	55
4.3.2 紫金山复式杂岩的成岩年龄	55
4.3.3 紫金山复式岩体的结晶温度	58
4.3.4 岩石成因	58
4.3.5 构造意义	61
第5章 紫金山白垩纪岩浆活动与成矿	63
5.1 地质背景	63
5.1.1 二庙沟矿床地质特征	63
5.1.2 萝卜岭斑岩铜钼矿床地质特征	64
5.2 岩体概况	65
5.2.1 二庙沟英安玢岩	65
5.2.2 萝卜岭花岗闪长斑岩与中寮似斑状花岗闪长岩	66
5.3 紫金山白垩纪岩浆岩的年代学格架	68
5.3.1 分析样品	69
5.3.2 锆石 U-Pb 年代学分析结果	69
5.3.3 紫金山白垩纪岩浆岩的年代学格架	76
5.4 紫金山白垩纪岩浆岩的岩石地球化学研究	77
5.4.1 主量元素及微量元素研究	77
5.4.2 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素研究	94
5.5 紫金山白垩纪次火山岩的成因	105
5.5.1 蚀变对地球化学与同位素体系的影响	105
5.5.2 物质来源	105
5.5.3 岩浆演化及构造意义	107

5.6 萝卜岭白垩纪侵入岩的成因	108
5.6.1 幔源或壳源	108
5.6.2 岩石成因	110
5.7 构造意义及与铜金钼矿化的关系	112
5.7.1 构造意义	112
5.7.2 与铜金钼矿化的关系	113
第6章 铜-金-钼的矿床地球化学特征及成因	117
6.1 紫金山铜金矿床黄铁矿电子探针研究	117
6.1.1 黄铁矿的成分特征	117
6.1.2 金的赋存状态	121
6.1.3 铜硫化物的成分特征	121
6.2 紫金山铜金矿 S、Pb 同位素研究	121
6.2.1 S 同位素研究	121
6.2.2 Pb 同位素研究	124
6.3 萝卜岭铜钼矿成矿时代	128
6.4 萝卜岭矿床 Pb 同位素研究	128
6.5 萝卜岭矿床成因	130
第7章 岩浆构造演化与铜金钼成矿	132
7.1 侏罗纪-白垩纪构造环境	132
7.1.1 侏罗纪构造演化	132
7.1.2 白垩纪构造演化	134
7.2 岩浆演化与成矿	136
第8章 主要结论	140
参考文献	142

第1章 绪论

1.1 研究背景及进展

华夏地块(Cathaysia Block)大体上位于萍乡—东乡—江山—绍兴这一新元古代碰撞带以东,在晋宁期俯冲—碰撞事件中与扬子地块拼合形成华南板块(South China Block, SCB)(图1-1)(Chen and Jahn, 1998; Charvet et al., 1996; Li and McCulloch, 1996; Chen et al., 1991)。

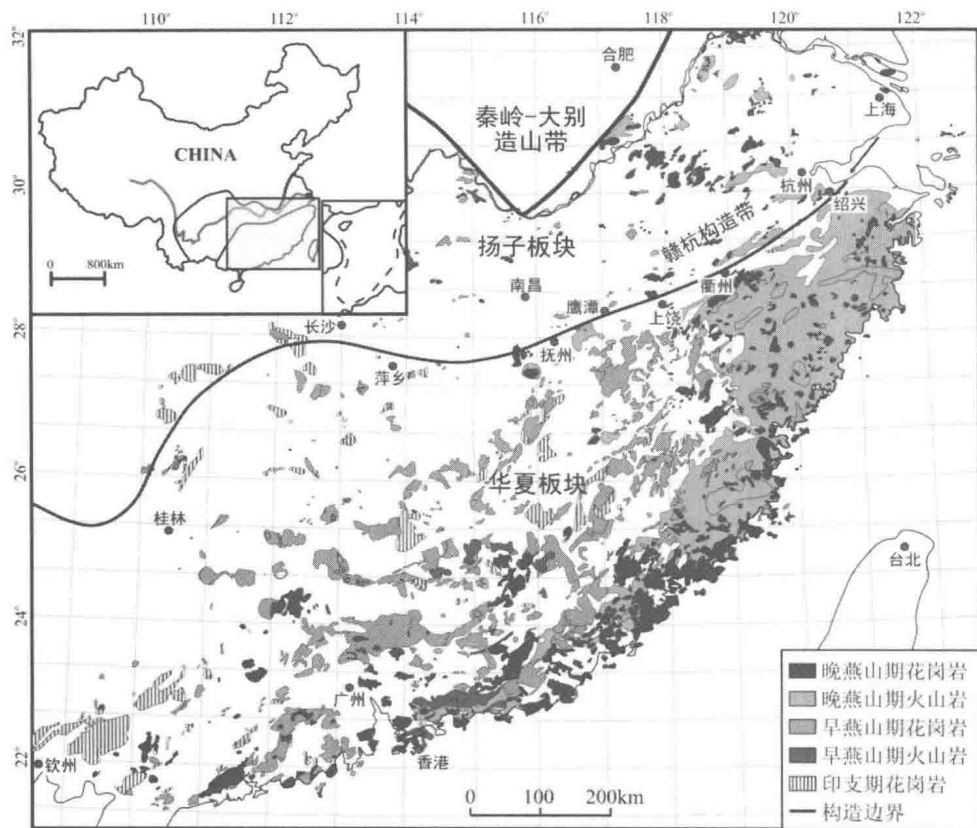


图1-1 华南中生代花岗岩分布图

(据 Zhou, et al., 2006 修改)