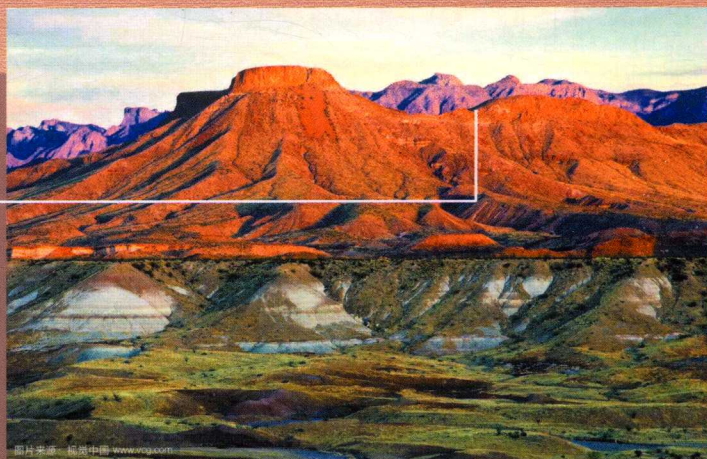


赣北大湖塘燕山期 花岗岩演化对钨矿床 形成的作用

Evolution of Yanshanian Granites from the Giant
Dahutang Tungsten Deposit in Northern Jiangxi, and
Their Relationship with W mineralization

黄兰椿 著



图片来源：网络中国 www.wcq.com



中国农业大学出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS

赣北大湖塘燕山期花岗岩演化 对钨矿床形成的作用

黄兰椿 著

中国农业大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

本书根据大量野外实际资料和室内测试研究结果,对世界最大钨矿床——大湖塘钨矿的矿化类型、成矿相关花岗岩的地球化学特征、花岗岩的演化及其成矿关系等,都作了全面、系统的阐述,详细研究了燕山期花岗岩侵位与钨矿成矿的关系。本书从燕山期花岗岩的成岩过程、物质来源和构造演化规律着手,论述了成矿物质的初始来源及钨矿成矿的制约因素。本书是一部研究与花岗岩相关的钨矿床的理论性专著,内容涉及矿床学、地球化学、矿物学、岩石学及构造地质学等方面,可供从事地质科学研究和矿产勘查的技术人员及地质院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

赣北大湖塘燕山期花岗岩演化对钨矿床形成的作用/黄兰椿著. —北京:中国农业大学出版社,2017.7

ISBN 978-7-5655-1881-2

I. ①赣… II. ①黄… III. ①燕山期-花岗岩-地质演化-作用-钨矿床-形成-研究-江西 IV. ①P618.670.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 167817 号

书 名 赣北大湖塘燕山期花岗岩演化对钨矿床形成的作用

作 者 黄兰椿 著

策划编辑 梁爱荣

封面设计 郑 川

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

电 话 发行部 010-62818525,8625

编辑部 010-62732617,2618

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

经 销 新华书店

印 刷 北京时代华都印刷有限公司

版 次 2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 1 次印刷

规 格 787×980 16 开本 9.75 印张 180 千字

定 价 39.00 元

责任编辑 田树君

责任校对 王晓凤

邮政编码 100193

读者服务部 010-62732336

出 版 部 010-62733440

E-mail cbsszs@cau.edu.cn

图书如有质量问题本社发行部负责调换

本书在安顺学院博士基金项目《晋宁期扬子板块与华夏板块的缝合时间与过程研究(项目编号:asubsjj 2016-08)》支持下完成

前 言

华南地区是我国重要的有色金属、稀有金属矿产基地,是环太平洋成矿带的重要组成部分。我国的钨矿储量位居世界第一,大部分钨矿床分布在华南地区。由于国民经济和社会发展的需要,对钨矿资源的开发利用强度越来越大。为查明华南地区钨矿床的成矿地质条件和分布规律,促进矿产资源的勘查和开发,从 20 世纪 80 年代开始我国生产、科研和教学单位,在该地区先后开展了多学科、多层次的地质研究工作,取得了丰硕的成果和许多规律性的认识。如《赣南钨矿地质》(朱炎龄等,1981),《华南钨矿》(冶金部南岭钨矿专题组,1985),《南岭某些钨锡矿床的原生分带及成因系列研究》(夏宏远等,1986),以及发表在国内外学术期刊的论文和举办的学术研讨会,都大大丰富和推动了华南钨矿及相关花岗岩的成岩成矿作用和矿床地质的不断深入研究。

2010 年以来,通过多次勘查,在江西省北部大湖塘地区发现了超大型钨矿矿集区,这些矿床在空间上和成因上与花岗岩侵位关系密切,储量达到 110 万 t,备受国内外学者瞩目。本书在前人大量研究工作的基础上,以探索超大型钨矿床的成因为研究目的,讨论了燕山期的构造演化以及花岗岩的物质来源,通过燕山期花岗杂岩体的岩石学特征、构造背景,结合钨矿床的地球化学研究,初步探讨了该区岩浆演化对大湖塘超大型钨矿床形成的制约机制。全书共计 9 章内容。第 1 章概述华南地区的岩浆活动、成矿事件、构造演化的争议以及钨矿床的分布情况;第 2 章介绍了大湖塘超大型钨矿的区域地质特征;第 3 章介绍了岩石及矿石样品的分析测试方法;第 4 章至第 6 章分别研究了大湖塘燕山期花岗岩的岩石学、年代学以及地球化学特征,并对这些花岗岩的岩石成因和构造背景进行了讨论;第 7 章研究了大湖塘钨矿矿床同位素地球化学特征;第 8 章论述了大湖塘燕山期花岗岩岩石成因与成矿的关系,以及建立了该钨矿床的成矿模式。第 9 章总结了本书主要的研究结论。

本书所涉研究内容较多,外业和内业工作量较为繁重。为此特别感谢南京大学地球科学与工程学院蒋少涌教授对本研究的全程指导;感谢中国地质大学(武汉)杨水源副教授对实验和数据处理的指导;感谢中国科学院广州地球化学研究所

马亮副研究员、中南大学李斌副教授、南京大学徐斌老师、河海大学赵海香老师、中国地质大学(武汉)刘晨晖博士后对实验分析进行的指导和帮助;感谢德国柏林自由大学的 Harry Becker 教授、捷克地质科学家 Karel Breiter 博士、南京大学的姜耀辉教授以及赵葵东教授在本书写作中给予的帮助和指导。同时还要感谢南京大学濮巍老师、张文兰老师、武兵老师、赖鸣远老师、杨涛老师、魏海珍老师、刘倩老师、雷焕玲老师,中国科学院地质与地球物理研究所的储著银研究员和颜妍硕士,中国冶金地质总局山东局测试中心的侯明兰主任和林培军实验员,中国科学院地球化学研究所 LA-ICP-MS 实验室的李亮老师,在实验样品测试工作中给予的帮助。

作者从 2011 年开始进行钨矿床及其相关花岗岩的研究,限于学术水平,研究深度尚需挖掘,且对研究中所涉科学问题的解释和分析存在诸多不足,书中漏洞或错误在所难免,恳请读者批评指正。

著 者

2017 年 6 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 华南燕山期岩浆活动与成矿研究进展	1
1.1.2 华南燕山期构造演化研究进展	5
1.1.3 华南钨矿的分布及研究进展	8
1.2 研究思路及内容	10
第 2 章 区域地质特征	12
2.1 区域构造背景	12
2.2 研究区地质背景	13
2.2.1 地层	14
2.2.2 构造与岩浆活动	15
2.2.3 成矿地质特征	17
第 3 章 分析测试方法	19
3.1 锆石 U-Pb 定年	19
3.2 锆石 Lu-Hf 同位素组成分析	20
3.3 全岩岩石地球化学组成分析	21
3.4 全岩 Sr-Nd 同位素组成分析	21
3.5 矿物电子探针成分分析	22
3.6 金属硫化物的硫同位素组成分析	23
3.7 钾长石与金属硫化物的铅同位素组成分析	23
3.8 白钨矿的 Sm-Nd 同位素定年分析	24
第 4 章 大湖塘燕山期花岗岩的岩石学特征与年代学	25
4.1 样品及岩相学特征	25
4.2 年代学格架	28
4.2.1 锆石 U-Pb 年代学分析结果	29

4.2.2 大湖塘燕山期花岗岩的年代学格架	40
4.3 矿物学	40
4.3.1 黑云母	40
4.3.2 白云母	50
4.3.3 绿泥石	62
4.4 本章小结	69
第5章 大湖塘燕山期花岗岩的地球化学特征	70
5.1 全岩主量与微量元素	70
5.2 全岩 Sr-Nd 同位素	81
5.3 锆石 Hf 同位素	81
5.4 本章小结	90
第6章 大湖塘燕山期花岗岩岩石成因讨论	92
6.1 花岗岩类型	92
6.2 物质来源	94
6.3 结晶分异作用	98
6.4 动力学背景	100
6.5 本章小结	101
第7章 大湖塘钨矿床同位素地球化学特征	103
7.1 样品采集与矿物组合	103
7.2 钾长石与硫化物的 Pb 同位素特征	105
7.3 金属硫化物的硫同位素特征	107
7.4 白钨矿 Sm-Nd 等时线年龄	110
7.5 成矿物质来源	111
7.6 本章小结	113
第8章 大湖塘钨矿床成岩与成矿的关系及其模式	114
8.1 大湖塘燕山期花岗岩岩石成因与成矿的关系	114
8.2 大湖塘含钨多金属矿床的成矿模式	116
第9章 主要结论	118
参考文献	120

第1章 绪 论

1.1 研究背景

1.1.1 华南燕山期岩浆活动与成矿研究进展

扬子板块与华夏地块于晋宁运动中完成碰撞拼贴组成了现今的华南板块(Wu *et al.*, 2006; Zheng *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2013)(图 1-1)。从全球构造角度来看,华南处于欧亚板块和太平洋板块的交接部位,地质背景复杂,构造运动强烈,不同时代、不同类型花岗岩的分布十分广泛。目前已确切查明的花岗岩浆活动包括吕梁期(1900 Ma±)、晋宁期(1000~800 Ma)、加里东期(540~360 Ma)、海西-印支期(360~195 Ma)和燕山期(195~65 Ma)(Charvet *et al.*, 1994; 王德滋和沈渭洲, 2003; Li *et al.*, 2003; Wang and Li, 2003; Li *et al.*, 2008; Jiang *et al.*, 2013),其中以燕山期岩浆活动最为强烈,华南板块在中生代出现了广泛发育的岩浆岩,并伴随大规模的成矿事件。华南板块具有世界上超过 50% 的 W、Sb 的储量以及 20% 的 Sn 储量,它的 Nb、Ta、Cu、U 和重稀土储量都是全国第一(Mao *et al.*, 2006; Peng *et al.*, 2006; Xie *et al.*, 2009; Sun *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2012),研究发现这些矿床的成矿年龄都属于中生代并与岩浆活动有关,这种成因联系以及造成岩浆活动规律分布的动力学机制和大地构造环境一直是国内外科学家研究的热点。

华南板块火成岩的出露面积将近 240000 km²,其中 90% 形成于中生代(Zhou and Li, 2000; Zhou *et al.*, 2006; Guo *et al.*, 2011)。早中生代(251~205 Ma)的岩浆岩主要以小型的侵入岩体为主,整个出露面积在 14300 km² 左右(Zhou *et al.*, 2006)。晚中生代火成岩宽 600 km 平行东南沿海布展,火山岩仅分布在此火成岩带的东部,西侧边界距海岸线约 450 km,基本缺失火山岩(Zhou and Li, 2000)。华南的火成岩形成时间可分为早燕山期(180~140 Ma)和晚燕山期(140~97 Ma),晚中生代火成岩从整体上看,主要由花岗岩和流纹岩组成,它们的分布面积占火成岩总面积的 95% 以上,辉长岩、玄武岩类很少,闪长岩、安山岩类更少(Zhou *et al.*, 2006)(图 1-1)。大规模的晚中生代火成岩主要发生在侏罗纪(180~

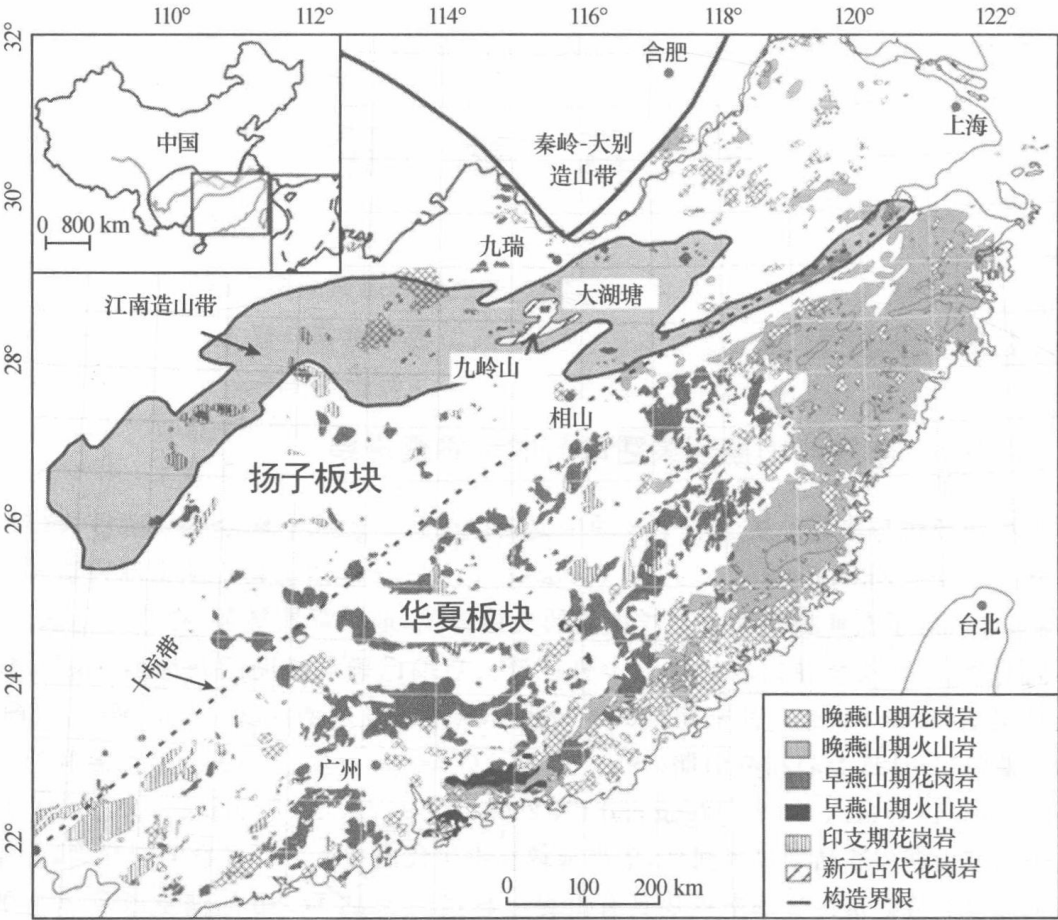


图 1-1 华南中生代花岗岩分布图
(据 Zhou *et al.*, 2006 年修改)

150 Ma)的南岭地区,以 S-型和 I-型花岗岩为主(Zhu *et al.*, 2008; Feng *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2013),长江中下游地区的火成岩年龄集中在 145~125 Ma,以 I-型花岗岩为主,发现了大量与斑岩 Cu-Au 矿有关的埃达克岩(Li *et al.*, 2010; 陈志洪等, 2011; Yang *et al.*, 2011; Wu *et al.*, 2012)。湘桂粤带火成岩年龄为 163~150 Ma,以 S-型花岗岩为主(Li *et al.*, 2004; Jiang *et al.*, 2006; Xie *et al.*, 2009),赣杭带火成岩以 A-型花岗岩为主,形成年代在 137~122 Ma(Jiang *et al.*, 2011; Yang *et al.*, 2012),沿海带的火成岩的年代集中于 110~90 Ma,以 A-型花岗岩为主(Zhou *et al.*, 2006; He and Xu, 2012; Li *et al.*, 2014)。据周洁(2013)对介于长江中下游与赣杭带之间的江南造山带东段的研究表明,该地区花岗岩属于 S-型,成岩年龄集中在 140~147 Ma。

华南大多数的矿床对应岩浆岩的形成在侏罗纪和白垩纪成矿(Hua *et al.*, 2005, 2007; Mao *et al.*, 2007; Sun *et al.*, 2012),主要分布于:南岭地区的 W-Sn,Nb-Ta,HREE 矿床(Chen *et al.*, 1992; Hua *et al.*, 2005b; Mao *et al.*, 2007; Hu *et al.*, 2009; Guo *et al.*, 2011b),长江中下游的 Cu 多金属矿床及 Fe-Cu-Au 矿床(Pan and Dong, 1999; Sun *et al.*, 2003; Mao *et al.*, 2006; Deng *et al.*, 2011; Yang and Lee, 2011),湘桂粤的 Sb 矿带(Wu, 1993; Peng *et al.*, 2003; Yang *et al.*, 2003, 2006),赣杭带主要产出 U 矿及 Cu-Au 矿床(Hu *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2013)。近年来发现江南造山带中部到东部出现大量的 W-Sn-Mo 矿床,其中包含了目前世界最大钨矿——大湖塘钨多金属矿床(黄兰椿和蒋少涌, 2012; Mao *et al.*, 2013),除此外还有香炉山(田邦生和袁步云, 2008)、阳储岭(Zhang, 1982; Li *et al.*, 1986)、码头(Zhu *et al.*, 2013)、鸡头山(Song *et al.*, 2012)、朱溪(陈国华等, 2012)、东源(Qin *et al.*, 2010)、百丈岩(Song *et al.*, 2013)等十多个钨矿床。

毛景文等(2004)认为华南中生代大规模成矿作用主要发生在 170~150 Ma, 140~125 Ma, 110~80 Ma 三个时间段。这三个时间段分别对应铜铅锌和钨矿化,以及钨锡矿化,锡金银铀矿化,140~125 Ma 为成矿相对集中的时间且是一个过渡性的阶段。华仁民等(2005)提出华南地区三次大规模的成矿作用发生在燕山期,分别为燕山早期(180~170 Ma)赣东北和湘东南的 Cu、Pb、Zn(Au) 矿化,燕山中期(150~139 Ma)南岭及相邻地区以 W、Sn、Nb、Ta 等有色稀有金属矿化,燕山晚期(125~98 Ma)南岭地区 Sn、U 矿化和东南沿海地带的 Au-Cu-Pb-Zn-Ag 矿化为代表的成矿作用。李晓峰等(2008)则认为华南铜矿床的形成时间在 180~170 Ma、160~150 Ma 以及 105~90 Ma,钨矿床形成时间在 170~130 Ma,锡矿床则发育在 170~150 Ma、130~110 Ma 以及 100~90 Ma 三个时间段。由此可见,华南的成矿作用集中于燕山期主要分为三个阶段,与岩浆活动的时间吻合以及成矿作用的空间分带特征均表明,中生代岩浆岩的侵入直接或间接地为华南热液矿床的形成提供了成矿能量,甚至是物质来源。

华南地区与中生代花岗岩有关的矿床可以划分为以下类型(华仁民等, 2003): ①与钙碱性火山-侵入岩浆活动有关的“斑岩-浅成热液 Au-Cu 成矿”;②与陆壳改造型(S-型)花岗岩类有关的 W-Sn-Nb-Ta 稀有金属成矿;③与 A-型花岗岩类有关的 U 及 REE 成矿系统;④与板内高钾钙碱系列花岗闪长质岩石有关的铜铅锌成矿系统。华南地区最主要的是前两种花岗岩及其对应的矿床,代表了华南这两个不同成因系列的花岗岩类。上地壳来源的花岗岩形成于较为成熟的大陆地壳,所以又可以称为陆壳重熔型花岗岩类,它基本上与改造型、S-型、部分钛铁矿系列花

花岗岩类相对应;下地壳来源,甚至混合了幔源物质的花岗岩则相似于同熔型、I-型和磁铁矿系列花岗岩类。磁铁矿系列的花岗岩常常伴随 Cu、Pb、Zn、Mo 的硫化物矿床,而钛铁矿系列的花岗岩易形成 W-Sn 的氧化物矿床(Ishihara,1977)。

华南地区燕山期成岩成矿的过程中,Cu-Au-Mo 矿床与磁铁矿系列的 I-型花岗岩有关,分布于长江中下游、赣杭带、东南沿海地区(Pan and Dong, 1999; Sun *et al.*, 2003; Mao *et al.*, 2006; Deng *et al.*, 2011; Yang and Lee, 2011; Yang *et al.*, 2013; Zhou *et al.*, 2006; He and Xu, 2012; Li *et al.*, 2014)。斑岩型铜矿床一般认为与岛弧有关的钙碱性岩浆或与邻近俯冲带的 I-型花岗岩岩浆有关(Robb, 2005)。在中国长江中下游的铜陵、沙溪以及江西的德兴斑岩、矽卡岩型铜矿大多与这类花岗岩有关或者是直接产出于其中(Wang *et al.*, 2004; Hou *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2006a, b)。这类花岗岩一般具有高氧逸度,源区物质可能有俯冲洋壳的参与(Mungall, 2002)。孙卫东等(2010)认为俯冲的洋壳含有较高的 Cu 元素,洋壳的部分熔融提供了成岩成矿的源区物质,高氧逸度有利于 Cu 元素在熔体中的迁移与富集,对斑岩 Cu-Au-Mo 矿的形成起着主要的作用(Mungall, 2002)。

W-Sn-Mo 矿床则与钛铁矿系列的 S-型花岗岩有关(Breiter, 2012; Wei *et al.*, 2012; Fogliata *et al.*, b),主要位于南岭地区以及江南造山带的中到东部(He *et al.*, 2010b; Zhang *et al.*, 2011; 丰成友等, 2012; 黄兰椿和蒋少涌, 2013)。大量花岗岩 Nb 模式年龄和继承锆石 U-Pb 年龄分布表明晚中元古世到早古元古世(1.8~1.4 Ga)是华南陆壳的主要增生期,元古代为华南的主要基底(Ling *et al.*, 1992; Li *et al.*, 2009; Yu *et al.*, 2010)。鄢明才和迟清华(1997)对我国东部泥质岩类元素的分析表明在整个中国东部,华南具有最高的 W、Sn、Sb、U 等成矿元素的丰度,且在各类泥质岩石中,富铝和碳质的泥质岩具有最高的 W、Sn、Be、Nb、Ta 和 REE 含量。华南褶皱带和扬子地台东部元古代基底中的 W、Sn、Be、Bi、U、Au、Sb、As 和 Hg 等元素的丰度共同增高, Li、Rb、Cs、F、Nb、Ta 和 REE 等典型花岗岩成矿元素在华南褶皱带基底地层中也具最高的平均含量(马东升, 2008)。华南寒武纪基底很可能是发育成矿元素的含矿建造。马东升(2008)认为变质基底的这种高丰度元素组合不但与华南高温热液矿床和含钨花岗岩的特征吻合,也与华南中-低温热液矿床的元素组合雷同,表明热液成矿作用与花岗岩成岩作用的地球化学特征对前寒武纪基底有系统的物质继承性。而且,钛铁矿系列的 S-型花岗岩具有较低氧逸度,有利于 W、Sn 元素的迁移与富集(Ertel *et al.*, 1996)。

除了以上与 S-型花岗岩和 I-型花岗岩有关的矿床外,赣杭带出露 A-型花岗岩

及U矿成矿带颇受瞩目。华南地区中生代A-型花岗岩主要分布于赣杭带和沿海等地,如定南的寨背岩体(陈培荣等, 1998)、龙南的陂头岩体(范春方和陈培荣, 2000)、佛冈的恶鸡脑岩体(包志伟等, 2000)等。赣杭构造带沿线分布着一系列火山盆地,这些火山盆地中产有火山岩型铀矿(Fayek *et al.*, 2011),其中的相山盆地还具有我国最大的火山岩型铀矿。U元素通常和Th、Zr、Ti、Nb、Ta以及REE相关(Cuney, 2009, 2010),体现在高分异的岩浆岩中,铀矿的形成与A-型花岗岩有关系,形成于地壳拉张的构造背景中(Lin *et al.*, 2006; Jiang *et al.*, b; Hu *et al.*, 2008, 2009)。赣南地区还存在双峰式火山岩,其中的酸性端员流纹岩和A-型花岗岩一样具有板内花岗质岩石的地球化学特征,可称为A-型火山岩,赣南双峰式火山岩与铀矿化关系密切,赣南地区出露准铝质的A-型花岗岩与稀土矿化的关系比较密切,这些岩体一般富含REE,平均在500 ppm以上(1 ppm=1 mg/kg, 后同),往往能形成大规模的风化淋积型稀土矿床(陈培荣等, 2000)。

板内高钾钙碱系列岩石与铜铅锌多金属成矿作用关系密切,位于十杭带西段上有水口山、宝山、黄沙坪、铜山岭等重要的多金属矿床(刘阳生等, 2003)。湘南地区花岗闪长斑岩具有高 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 、低 t_{DM}^{C} 的特征(王岳军等, 2001b),且锆石U-Pb定年测定湘南花岗闪长岩的年龄在175 Ma(王岳军等, 2001a)。根据湘南与德兴花岗闪长岩的微量元素和同位素地球化学特征,认为它们属板内钾质岩石,其成因与该地区在中生代岩石圈伸展-减薄背景下,软流圈上涌导致幔源岩浆底侵,与中下地壳物质混合后发生部分熔融有关,且成矿作用主要以铜、铅、锌为主,金、银相对较少(Liu *et al.*, 2012; Hou *et al.*, 2013; Li *et al.*, b)。

1.1.2 华南燕山期构造演化研究进展

华南在中生代位于濒临西太平洋的俯冲带,在晚中生代发生了一系列的岩浆活动,产出大量的火山岩以及与华南花岗岩-火山岩关系密切的热液金属矿床(Zhou and Li, 2000; Zhao *et al.*, 2005; Mao *et al.*, 2006; Hu *et al.*, 2008; Sun *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2013a)。断裂构造主要表现为东西向构造受到北北东向构造叠加,花岗岩与火山岩具幕式多期次产出的特点(Zhou and Li, 2000; Zhou *et al.*, 2006)。华南地质的特殊性和复杂性,使得研究最为详细的华南中生代构造-岩浆作用的动力学背景和模式的认识也仍有诸多的分歧。

诸多构造模式用于解释华南中生代的大规模的成岩成矿:①活动大陆边缘构造岩浆模式,古太平洋板块中生代对华南进行北西向的俯冲(Jahn *et al.*, 1990; Zhou and Li, 2000; Li and Li, 2007; Li *et al.*, 2012),或是斜俯冲(Wang *et al.*, 2011)以及北西向俯冲之后接着南西向的俯冲(Sun *et al.*, 2007, 2010);②华南内

部洋盆的闭合导致的板内岩石圈俯冲模式(Hsü *et al.*, 1990);③后碰撞的拉伸模式(Chen *et al.*, 2008);④中生代地幔柱模式(Deng *et al.*, 2004);⑤陆内的裂谷与拉伸模式(Gilder *et al.*, 1991; Wang *et al.*, 2003, 2005; Liu *et al.*, 2012b)。Wang *et al.* (2008)赞同陆内裂谷模式,认为中生代的华南板块处于活动的裂谷环境,加厚岩石圈地幔的拆沉导致了软流圈的上涌,华南中生代的成岩成矿与太平洋俯冲无关。Ren *et al.* (2002)认为晚中生代华南板块及其邻近地区存在广泛的拉伸,地壳减薄及高的古地热证实了软流圈的上涌,可能是印度-欧亚板块以及太平洋-欧亚板块聚合速率的改变造成了北西-南东方向的拉张应力场使得华南板块普遍陆内裂张。

虽然有众多观点,但目前大多数学者仍沿用活动大陆边缘构造-岩浆作用模式。这些模式在不断探索下得到改进,但对俯冲作用控制华南花岗岩-火山岩形成的起始时间、俯冲角度、俯冲方向,俯冲折返的时间和方式仍有争议。

俯冲方向可以把构造模式大致分为北西向以及西南向的俯冲模式。Zhou and Li (2000)提出从 180~80 Ma 古太平洋板块西北方向低角度俯冲到华南板块之下,之后俯冲角度逐渐变大,不同程度的地幔熔融和玄武岩浆的底侵提供了中下地壳部分熔融所需的热量,产生大量花岗岩、火山岩和相关矿床。Zhou *et al.* (2006)进一步提出华南地区早中生代经历了从挤压的特提斯构造域转换到晚中生代由古太平洋俯冲引起的广泛拉张的构造背景,燕山期(J2-K1)的花岗岩-火成岩都形成在拉张的弧后盆地中,早燕山期(J2-J3)的花岗岩-火成岩主要分布在华南板块的内部,具有裂谷型板内岩浆活动的性质,晚燕山期(K1)岩浆岩则具有活动大陆边缘岩浆活动的性质。岩石圈减薄和地幔上涌是燕山期岩浆活动的主要驱动机制。同期大量的高钾钙碱性岩石形成于弧后盆地与后碰撞拉伸的构造环境中。Li *et al.* (2007)提出西北向的平板俯冲的模式解释华南中生代大规模成岩成矿,认为弧后俯冲区域达到 1300 km,俯冲时间位于 250~190 Ma,随后 190 Ma 板片断裂拆沉,进入非造山构造环境,150 Ma 之后太平洋板片开始折返。华南 A-型花岗岩和板内玄武岩浆的活动时间为 140~90 Ma (Li, 2000),指示了这个区域伸展的环境。Li *et al.* (2007)认为华南侏罗纪的火成岩形成于非造山的岩浆活动中,是早中生代太平洋板块平板俯冲到华南板块之下后断裂拆沉导致。Li *et al.* (2013)认为华南在侏罗纪到白垩纪受到了 Izanagi 板块俯冲和折返的影响,侏罗纪 Izanagi 板块向西北方向俯冲,在 140 Ma 之后折返导致华南在早白垩世拉张。Yang *et al.* (2011)认为晚中生代长江中下游的成岩成矿活动与太平洋板块从东南到西北俯冲到欧亚板块之下有密切的关系。

Sun *et al.* (2007)也认为中国东部从晚侏罗世到白垩纪都受到太平洋的影响,

但是太平洋板块的运动方向改变过多次,从 140 Ma 开始古太平洋板块向南运动,在 125~122 Ma 板块突然北西方向转动 80° ,之后从 110~100 Ma,俯冲的方向转动 30° 变为西南方向,在 100 Ma 时太平洋板块顺时针转向 75° ,之后到了 50 Ma 时再逆时针转动 45° ,此方向延续到现在。Ling *et al.* (2009)认为从晚侏罗世到白垩纪,中国东部受到南部太平洋板块与北部的 Izanagi 板块运动的影响,两个板块之间的洋中脊俯冲到长江中下游,伴随俯冲洋脊的板片窗打开。Wang *et al.* (2011)认为华南受到太平洋板块西南方向的斜俯冲,开始于 180 Ma (Zhou and Li 2000; Zhou *et al.* 2006),中国东部成为活动大陆边缘 (Maruyama, 1997; Scotese, 2002),从 125 Ma 之后受到其东北方向折返的影响,火成岩的形成从西南到东北方向逐渐变年轻。

除了北西向以及西南向的俯冲模式以外,Wong *et al.* (2009)认为在华南地区晚中生代古太平洋板块运动的方向从西到东。Mao *et al.* (2013)结合成岩与成矿事件,认为侏罗纪的成矿事件 Izanagi 板块在 175 Ma 左右北东向斜俯冲于欧亚大陆之下有关,俯冲板块在 170~160 Ma 沿着北北东方向的软流圈裂解,板片窗的俯冲导致南岭及周边地区软流圈地幔的上涌,在 150~135 Ma 华南板块处于构造平静时期,从 135 Ma 开始,Izanagi 板块的俯冲角度改变,从北东向俯冲变为平行于海岸线向东的俯冲运动,导致了大陆岩石圈的拉伸以及大规模北东向断裂。Shi and Li (2012)认为太平洋板块对华南俯冲,使华南在整个中生代的演化经历了造山运动、准平原,最后是伸展,在早白垩世结束时华南由活动大陆边缘转变为被动大陆边缘。

构造模式的提出促使许多学者进一步探讨地球内部的驱动力,以及对古太平洋板块对华南板块俯冲后折返的时间以及位置进行研究。He *et al.* (2010)认为早燕山期华南板块边缘受到古太平洋早期的俯冲,远场应力引起陆内的拉伸,使得华南内陆受到软流圈、岩石圈地幔和地壳的相互作用,且在早侏罗世已经完成了特提斯构造域向太平洋构造域的转换,早燕山期的岩浆活动受控于太平洋构造域。Li *et al.* (2014)提出向华南俯冲的太平洋板块在白垩纪断裂后折返,影响了整个晚燕山期华南构造岩浆演化作用,这个过程促使软流圈强烈快速地直线上涌到华南沿海地壳之下,相应地上覆岩石圈拉伸。Yang *et al.* (2012)认为太平洋板块的折返引起早白垩世赣杭带在 137 Ma 开始弧后拉张,以及地壳与岩石圈地幔的减薄,软流圈的上涌。Jiang *et al.* (2006)认为 180 Ma 到 160 Ma 华南是陆弧,从 160 Ma 开始华南西北的火成岩带由于太平洋板块的折返导致了弧后的拉张,引起岩石圈减薄和软流圈上涌。Jiang *et al.* (2011)认为赣杭带早白垩世(122~129 Ma)S-型和 A-型花岗岩的形成标志着该区弧后拉张的开始,地壳和岩石圈地幔逐渐拉张减

薄以及地幔上涌,该区在早白垩世(105 Ma)弧后拉张的程度达到最大。Jiang *et al.* (2009)认为华南赣杭带在中侏罗世受到古太平洋板块的俯冲,而晚侏罗世开始赣杭带受到太平洋板块的折返开始弧内裂张。杨水源(2013)认为华南受到太平洋板块俯冲的影响,但太平洋板片的后撤在华南发生的时间并不是同时的或者连续的,十杭带南带在 163 Ma 左右发生太平洋由俯冲变为折返导致的拉张环境(Jiang *et al.* 2009),赣杭带上太平洋板块的折返时间为 137 Ma,沿海带上太平洋板块的折返时间为 110 Ma,太平洋板块的后撤是不规则的,后撤过程是不连续的、阶段性的,最先发生在十杭带南,然后是赣杭构造带,最后是东南沿海。He and Xu (2012)认为晚燕山期华南从挤压的构造环境转换为拉张的构造环境,且在东南沿海地区太平洋板块的折返时间大约为 110 Ma。

1.1.3 华南钨矿的分布及研究进展

从世界范围看,钨矿主要分布在环太平洋广义的大陆边缘,形成时期主要是燕山期(徐克勤和程海,1987),大型的钨矿床集中在中国、俄罗斯和加拿大(马东升,2009)。在我国,钨矿大量分布于中国东部远离俯冲带的环太平洋广义的大陆边缘,并集中分布于东南部的南岭地区和江南地区。钨矿的成矿作用与花岗岩成岩关系密切,许多学者通过对野外岩石与矿脉的穿切关系、流体包裹体以及同位素的研究达成一个共识——岩浆是钨矿成矿物质的源区,钨以岩浆热液模式富集在矿床中(Ishihara, 1977; Candela and Bouton, 1990; Linnen, 2005; Fogliata *et al.*, 2010; Maulana *et al.*, 2013)。且 W-Sn 矿化与演化程度较高的花岗岩有关系,这种花岗岩通常情况是 S-型的花岗岩,也有少数 A-型花岗岩,都具有过碱性和过铝质的特征(Srivastava and Sinha, 1997; Kempe and Wolf, 2006; Xie *et al.*, 2009)。有学者发现大多与钨锡矿形成有关的未蚀变的花岗岩本身也富含钨、锡元素,因此把富含钨、锡元素的花岗岩作为寻找钨锡矿的标志(Villaseca *et al.*, 2012; Teixeira *et al.*, 2012; Fogliata *et al.*, 2012)。

南岭地区位于华夏陆块内部拥有柿竹园、瑶岗仙、西华山、大吉山、骑田岭等多个大型钨矿床,地质学家这些矿床及其伴生花岗岩进行了长期深入的研究(梅勇文,1987; 张文兰等,2006; Zhu *et al.*, 2008; 毛景文等,2008; Zhu *et al.*, 2009; 肖剑等,2009),认为南岭地区的与钨矿形成有关的花岗岩具有相似的地球化学特征:SiO₂ 含量高,平均为 75.19%;CaO/(K₂O+Na₂O)比值较低,平均为 0.09;铝过饱和,高场强元素 Zr+Nb+Ce+Y 含量较高,平均为 241×10^{-6} ;Rb/Sr 比值较高,平均为 68.5;低 Ba+Sr 和 TiO₂,REE 总量平均为 132×10^{-6} ,重稀土相对富集,LREE/HREE 比值明显偏低,平均为 1.34;Eu 亏损强烈, δ Eu 介于 0.01~

0.02, 平均为 0.06; 稀土配分曲线呈“V”字形, 富 Y 和 Rb (刘家远, 2005; 陈骏等, 2008; 周洁, 2013; Chen *et al.*, 2013); 其成岩时代主要为 150~165 Ma, 成矿时代集中在 144~161 Ma (Peng *et al.*, 2006; Zhu *et al.*, 2008, 2009; He *et al.*, 2010a; Feng *et al.*, 2012; Wei *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2013)。

近年来, 在长江中下游与赣杭带之间的中到东段发现了大量的钨矿床, 暂且称之为江南带, 范围是长江中下游东南边缘与江南造山带中到东部地区 (图 1-1)。江南带的钨矿成矿时代及其伴生花岗岩的成岩年代都在早白垩世。池州百丈岩与钨矿伴生的辉钼矿 Re-Os 同位素定年结果为 (134.1 ± 2.2) Ma, 与钨矿空间上有关的细粒花岗岩的锆石 U-Pb 定年结果是 (133.3 ± 1.3) Ma (Song *et al.*, 2013); 鸡头山钨钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄为 (136.6 ± 1.5) Ma (Song *et al.*, 2012), 该地区两期侵入花岗岩岩体的年龄分别为 138 Ma 和 127 Ma; 码头与 Cu-Mo-W 矿相关的花岗闪长斑岩成岩年龄为 (139.5 ± 1.5) Ma (Zhu *et al.*, 2013); 丰成友等 (2012) 测得大湖塘石门寺段辉钼矿 Re-Os 等时线年龄是 (143.7 ± 1.2) Ma, 狮尾洞矿段 Re-Os 年龄为 (140.9 ± 3.6) Ma, Mao *et al.* (2013) 也得到了大湖塘辉钼矿 Re-Os 同位素年龄为 138.4~143.8 Ma。这些年龄数据显示江南带的钨矿成岩成矿时代在 130~145 Ma 之间, 且其伴生的花岗岩在时空上与其对应, 都晚于南岭地区的与钨矿有关的成岩成矿作用。这个地区与钨矿形成有关的花岗岩的性质并不像南岭地区那么一致。例如: 位于长江中下游南缘的池州码头 Cu-Mo-W, 与成矿有关的花岗闪长斑岩 SiO_2 含量为 61.85%~65.74%, K_2O 含量为 1.99%~3.74%, 铝饱和指数 A/CNK 为 0.91~0.96, 具有准铝质性质 (Zhu *et al.*, 2013)。然而, 皖南东源岩体 SiO_2 变化范围为 66.50%~70.33%, 具有较高 K_2O 含量 (3.71%~5.56%), 铝饱和指数 A/CNK 为 1.02~1.23, 具有过铝质的性质 (翔周等, 2010)。

大湖塘钨多金属矿床是目前发现的世界最大钨矿床, 位于赣西北部地区江南造山带的九岭山 (图 1-1), 它在 1957 年因重矿物勘探被江西地质局首次发现, 接下来在 1958 年、1966 年、1979 年和 1984 年的勘探中发现少量的钨矿床。2010 年进行了详细的勘查工作发现钨矿储量超过 1.1×10^6 t (Mao *et al.*, 2013)。区内燕山期花岗岩具有岩性多样、多期次侵入的特点, 由于缺乏年代学测定或者已有的测定结果存在争议, 对该套燕山期杂岩体至今还未能建立起较为系统的构造岩浆年代学格架, 关于区内燕山期岩浆活动的开始时间也存在争议。针对本区花岗杂岩体的岩石学成因、成矿作用以及年代学的研究还未有报道, 因此, 本书对大湖塘地区花岗杂岩体开展了详细的锆石 U-Pb 定年工作、全岩主微量元素、Sr-Nd 同位素、锆石 Hf 同位素组成的研究工作, 探讨花岗杂岩体的成岩年龄、岩石成因、物质来源及钨在花岗岩浆中的富集过程, 初步分析花岗杂岩体与本区钨矿的形成关系。