

doi: 10.12029/gc20230418001

秦锦华, 王登红, 王岩, 郭志强, 刘善宝, 黄凡, 赵如意. 2024. 南岭成矿带中段成矿规律与找矿前景分析[J]. 中国地质, 51(4): 1095–1122.
Qin Jinhua, Wang Denghong, Wang Yan, Guo Zhiqiang, Liu Shanbao, Huang Fan, Zhao Ruyi. 2024. Metallogenic law and exploration prospect of the middle part of Nanling metallogeny belt[J]. Geology in China, 51(4): 1095–1122(in Chinese with English abstract).

南岭成矿带中段成矿规律与找矿前景分析

秦锦华¹, 王登红¹, 王岩¹, 郭志强², 刘善宝¹, 黄凡¹, 赵如意³

(1. 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083; 3. 东华理工大学核资源与环境国家重点实验室, 江西南昌 330013)

摘要:【研究目的】南岭中段是中国重要的有色金属、能源矿产、非金属和水气矿产资源基地, 成矿地质条件优越、矿产类型丰富、成矿作用类型复杂, 深入理解其成矿规律是开展区域成矿理论研究和实现找矿突破的关键。【研究方法】本文基于前人丰硕的成果资料, 对南岭成矿带中段成矿规律和找矿方向进行了总结分析。【研究结果】此次研究明确了南岭中段主要控矿地质条件, 厘定了区域两种构造格架体系的控矿作用; 依据矿产资源特征, 总结了成矿特征、规律及其演化, 进一步探讨了区域岩浆演化和成矿潜力; 整理出了南岭成矿带中亚带目前发育的 50 个矿种、872 处产地和 15 种矿床类型, 并探讨了主成岩作用特征、演化及其成矿潜力。【结论】南岭中段找矿的主攻方向为: 寻找接触带附近的铀矿、煤矿的滑覆构造、受变质和硫铁矿区风化型铁矿、有色金属组合的综合预测和寻找缺位类型, 寻找新类型稀有、稀散矿和独立金矿, 保护和开发伴生宝石矿。围绕着骑田岭及周边、乐昌—韶关—翁源远景区, 有望实现钨锡钼铋铜铅锌铀稀土等矿产的找矿突破。

关键词: 成矿规律; 控矿条件; 成矿潜力; 找矿方向; 矿产勘查工程; 南岭中段

创新点: 全面系统地总结分析了南岭成矿带中段成矿特征与成矿规律, 探讨了能源矿产、黑色金属、有色金属、稀有稀散和贵金属以及宝玉石矿的找矿方向, 并提出了骑田岭及周边和乐昌—韶关—翁源两个重要的远景区。

中图分类号: P618.2 文献标志码: A 文章编号: 1000–3657(2024)04–1095–28

Metallogenic law and exploration prospect of the middle part of Nanling metallogeny belt

QIN Jinhua¹, WANG Denghong¹, WANG Yan¹, GUO Zhiqiang², LIU Shanbao¹, HUANG Fan¹, ZHAO Ruyi³

(1. MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Natural Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 3. State Key Laboratory of Nuclear Resources and Environment, East China University of Technology, Nanchang 330013, Jiangxi, China)

收稿日期: 2023–04–18; 改回日期: 2023–08–04

基金项目: 国家重点研发计划课题“南岭钨锡多金属矿集区三维综合探测与深部成矿预测”(2022YFC2905101)和中国地质调查局项目(DD20221684、DD20190379)联合资助。

作者简介: 秦锦华, 男, 1992 年生, 助理研究员, 主要从事多金属矿产及其成矿规律研究; E-mail: qjh1992@qq.com。

通讯作者: 王登红, 男, 1967 年生, 研究员, 主要从事矿产资源研究; E-mail: wangdenghong@sina.com。

Abstract: This paper is the result of mineral exploration engineering.

[Objective] The middle part of Nanling metallogeny belt, an important resource base of non-ferrous metal, energy minerals, non-metallic minerals, groundwater and gas minerals, has superb metallogenic geological conditions, abundant mineral types and complex mineralization types. In depth understanding of the metallogenic law is the key to carry out regional metallogenic theory research and to achieve prospecting breakthrough. **[Methods]** In this paper, the metallogenic regularity and prospecting direction of the middle part of Nanling metallogenic belt are summarized and studied on the basis of the abundant previous data. **[Results]** The main ore-controlling geological conditions are identified and the two ore-controlling structure frameworks are determined in the middle part of Nanling metallogeny belt. Depending on the characteristics of mineral resources, the metallogenic characteristics, rules and evolution are summarized, and regional magmatic evolution and metallogenic potential are further discussed. Moreover, 50 minerals, 872 ore deposits and 15 deposit types developed in the middle part of Nanling metallogeny belt are sorted out, and the predominant magmatism characteristics, evolution and metallogenic potential are discussed. **[Conclusions]** The prospecting of the middle part of Nanling metallogeny belt should be focused on: comprehensive prediction of U ore near the contact zone, sliding overburden structure of coal mine, metamorphic and weathering type Fe ore in pyrite mining areas, comprehensive prediction and exploration of missing types of non-ferrous metals, exploration new types of rare and scattered metals and independent Au ore, protection and exploitation the associated gem mine. Two important prospecting potential areas, which include Qitianling and its surrounding, and Lechang-Shaoguan-Wengyuan, are proposed for the key region for prospecting breakthrough of tungsten, tin, molybdenum, bismuth, copper, zinc, uranium, rare earth, etc.

Key words: metallogenic law; metallogenic potential; metallogenic conditions; prospecting target; mineral exploration engineering; the middle part of Nanling metallogeny belt

Highlights: The metallogenic characteristics and law of the middle part of Nanling metallogenic belt are summarized comprehensively and systematically. The prospecting directions of energy minerals, ferrous metals, non-ferrous metals, rare and rare metals, precious metals and gem are discussed. Two important prospective areas, Qitianling and its surroundings and Lecchang-Shaoguan-Wengyuan, are put forward.

About the first author: QIN Jinhua, male, born in 1992, assistant researcher, mainly engaged in polymetallic deposits and metallogenic law research; E-mail: qjh1992@qq.com.

About the corresponding author: WANG Denghong, born in 1967, researcher, mainly engaged in mineral resources research; E-mail: wangdenghong@sina.com.

Fund support: Supported by the projects of National Key Research and Development Program of China (No.2022YFC2905101) and China Geological Survey (No.DD20221684, No.DD20190379).

1 引 言

南岭中段(湘南—粤北拗陷)成矿亚带是南岭成矿带的重要组成部分,分布面积约4万多平方千米(图1;徐志刚等,2008),是中国著名的多金属、非金属矿成矿区。该区发育矿种类型十分丰富、矿床类型复杂,钨锡铋等优势矿产在中国乃至全球都有举足轻重的地位(王登红等,2017)。同时,该区域也是晚古生代—中生代构造—岩浆活动最为强烈的区域之一,印支期—燕山期的岩浆作用发育齐全,且呈现出与成矿极为紧密的时空联系(陈毓川等,1990; Zhou et al., 2006)。因此,南岭中段一直是成矿作用和成矿规律研究的重要区域,吸引了大量研究者的

目光(陈骏等,2008;柏道远等,2008;Mao et al., 2013;王登红等,2014;陈毓川等,2014)。随着持续的研究,该区域取得了一系列重要发现和突破,例如发现了以香花石、孟宪明石、锂铍石、南岭石、竺可桢石等为代表的新矿物(赵春林,1964;顾雄飞等,1976;黄蕴慧和杜绍华,1986;Rao et al., 2022),发现了以道县正冲、香花岭为代表的云英岩型锂矿(Liu et al., 2022)。深部构造和动力学体制方面,出现了以地幔柱构造(王登红,1998;贾大成等,2002),亚洲—古特提斯域(舒良树等,2004,2006),古太平洋板块俯冲的陆内伸展(Li et al., 2007;柏道远等,2008;Jiang et al., 2015)等为主导的成岩成矿动力学机制理论。王登红等(2017)、李振红(2020)进一步

从地球物理角度探索了区域(湘南—粤北)深部地质结构对区域成矿的制约。多金属成矿作用方面,毛景文等(2008)、Mao et al.(2013)构建了华南钨锡三阶段成矿的成矿格局;赵芝等(2017)系统总结了湘南乃至整个南岭地区离子型稀土的成矿母岩特征和成矿作用,创新性总结出整个南岭地区“八多、三突破”的成矿规律和勘查模型。成岩成矿演化和相互关系方面,取得了包括从标型矿物学、成矿岩石地球化学、成矿专属性在内的一系列重要认识(陈骏等, 2008; 王登红等, 2014; 王汝成等, 2018; 李赛等, 2022)。成矿预测和找矿方面,近年来,围绕着区域重点矿集区的老矿山深部和外围持续取得新突破,如石人嶂矿区南部梧桐窝—柑子园地区含钨石英脉的发现,大宝矿区英安斑岩内部“斑岩型”铜矿的发现,一六钨多金属矿床发现绿柱石型铍矿(赵如意等, 2020; 王成辉等, 2021; 秦锦华等, 2022)。

这些新发现、新理论认识和新找矿突破充分证实,南岭中段成矿条件优越,重点区域深部和外围仍然具有较大的找矿潜力。但是,随着南岭界线定义的更新,以及一系列认识、成果的不断涌现,关于区域系统的总结研究显然“滞后”了。因此,本文围绕南岭成矿带中段多金属、非金属、能源、水气等矿产,以王登红等(2007)“全位成矿、缺位找矿”理论为指导开展系统的成矿规律和找矿潜力分析,为区域进一步成矿研究的找矿预测提供思路和方向。

2 成矿地质条件

2.1 区域地层及其控矿特征

南岭中段出露地层除志留系不发育外,自元古宇至新生界均有出露。根据地层岩性组合、区域不整合面及岩石变形特点,大致可划分为晋宁构造层、加里东构造层、海西—印支构造层、燕山构造层和喜马拉雅构造层。基底以晋宁构造层和加里东构造层为主。晋宁构造层由一系列的变砂岩、板岩、千枚岩(片岩)及凝灰质火山碎屑岩组成,零星出露于南岭成矿带中亚带南部的粤北地区和北部郴州—耒阳一带。由于分布范围十分有限,因而赋存矿产相对单一,仅为金和钨,如衡阳—耒阳地区的川口钨矿含钨石英脉产于板溪群五强溪组浅变质岩系之中,粤北地区英德市大沟谷脉型金矿和清远市新洲金矿产于震旦系乐昌峡群片岩和变石英

岩中。加里东构造层包括寒武系和奥陶系砂岩夹板岩,有南北两个出露区,北部包括湘南临武、安仁、茶陵等地,分布有少量的锡铅锌矿,如大义山锡铅锌矿田及其外围。南部区域主要出露于粤北翁源、和平、乐昌、始兴等地,主要为牛角河组和高滩组,与粤北仁始矿集区多个石英脉型钨矿(锯板坑、石人嶂—梅子窝)的发育密切相关,同时还赋存了岩浆热液型的潮水坑萤石矿。

海西期,区域经历了长期的拉张拗陷,形成了三面环陆的湘桂粤陆棚浅海,发育规模大、分布广、厚层稳定的盖层沉积(曾允孚等, 1987)。该时期发育浅海台地相碳酸盐岩以及碎屑岩夹层。该层位是整个中亚带最为主要的赋矿层位,发育大量的能源矿产、有色金属矿产、黑色金属矿产、非金属矿产。泥盆系余田桥、锡矿山组、棋梓桥组、东岗岭组、石蹬子组,石炭系的测水组、壶天群,二叠系的栖霞组、当冲组,三叠系大冶组灰岩赋存了区域最为特色的砂卡岩型 W、Sn、Fe、Cu、Pb、Zn 等多金属矿,如大宝山、柿竹园、大义山、香花岭、新田岭、水口山等等;泥盆系还是区域主要的沉积型铁锰矿和沉积—改造型硫铁矿的含矿层位,硫铁矿主要赋存于泥盆系东岗岭组之中,虽然铁锰主成矿区域不在南岭中段,但是该区域仍有相应的成矿记录;石炭系测水组、二叠系龙潭组和三叠系红卫组是最主要的含煤层位,发育了区域大小数十个煤矿床,南部的曲仁盆地和罗定—连州盆地的主要赋矿层位为石炭系测水组、上二叠统龙潭组和上三叠统红卫坑组,北部的耒阳盆地的含矿地层为上二叠统龙潭组。

燕山期—喜山期,区域转换为陆内造山作用,两个构造层均为一套陆相沉积岩,岩性有砂岩、砾岩、泥岩、页岩及火山碎屑岩,局部夹煤层,主要发育在深大断裂控制的断陷盆地中,尤其在湘南的茶陵、永兴以及宜章一带连续出露,总体呈北东向展布(伍光英, 2005)。

2.2 区域构造型式及其控矿特征

南岭中段及邻区以北东向和北西向的区域性深大断裂相互穿切呈棋盘状为特征。北东向断裂包括衡阳—永州、茶陵—郴州、桂东—汝城、吴川—四会断裂,北西向断裂包括常德—安仁、邵

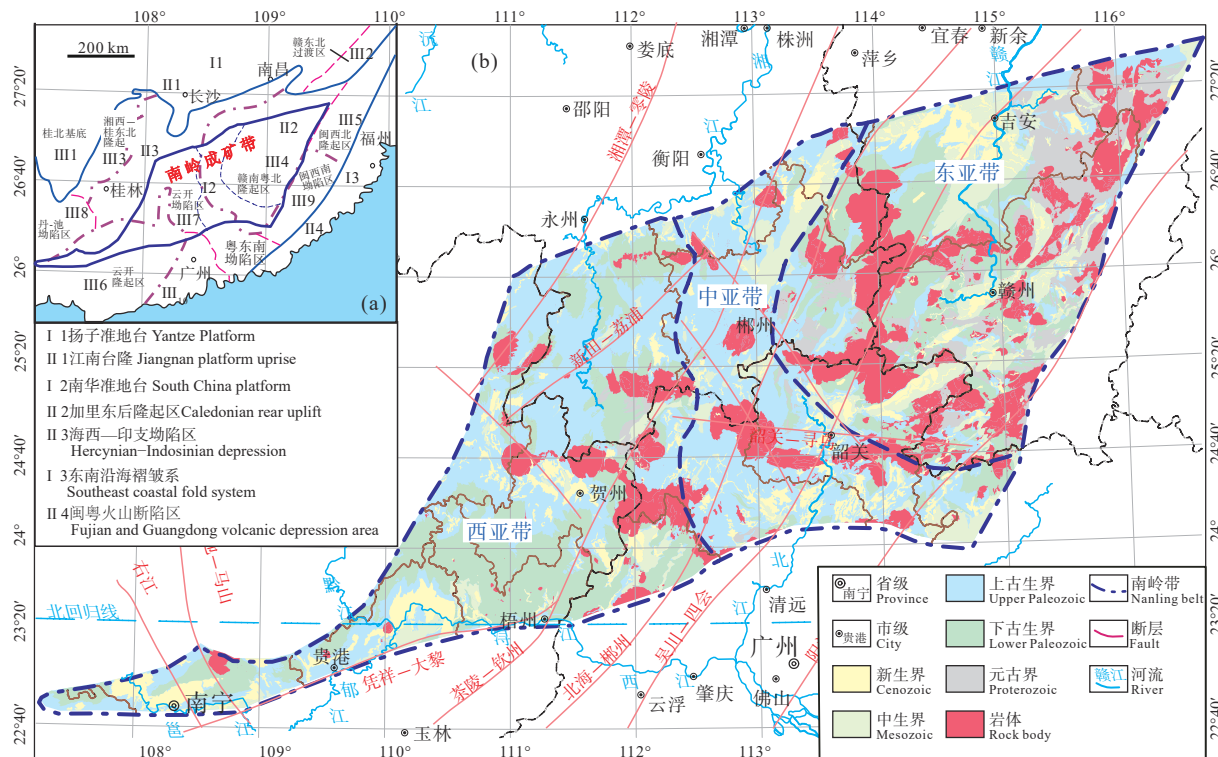


图1 南岭成矿带区域构造概略图(a, 据陈毓川等, 1989; 徐志刚等, 2008)和地质图(b, 据黄崇轲等, 1997)
Fig.1 Outline map (a, after Chen Yuchuan et al., 1989; Xu Zhigang et al., 2008) and geological map (b, after Huang Chongke et al., 1997) of Nanling metallogenic belt

阳—郴州、绥宁—道县断裂等(图2)。在断裂的交汇处,控制了如关帝庙岩体、五峰仙岩体、大东山岩体、上堡岩体等的产出。深大断裂带也是矿床最为发育的区域,南岭中段最为重要的三条断裂与成矿关系最为显著:NE向茶陵—郴州断裂带具有显著的“东隆西拗”特点,周缘发育香花岭、黄沙坪、新田岭等多个大型—超大型矿,成矿类型组合具有W、Sn、Pb、Zn、Nb、Ta、Be(东)和Pb、Zn、Au、Ag、As(西)分区的特点。NW向的邵阳—郴州断裂带周缘则分布了大义山、柿竹园、瑶岗仙等多金属矿。区域褶皱构造以基底隆起呈串珠状,NEE向的吴川—四会断裂控制了区域Cu、U、Pb、Zn等矿的产出(图2)。

2.3 区域岩浆岩及其控矿特征

南岭中段岩浆岩分布广泛,但空间上南多北少,成分上以酸性为主,主要有大义山、五峰仙、锡田、上堡、王仙岭、千里山、陈家湾、骑田岭、香花岭、尖峰岭、大东山、桂东、热水、青州、石背等花岗岩体,少数为基性岩类。南岭成矿带中亚带发育4个主要的成岩期次:加里东期、印支期、燕山早

期、燕山晚期(表1)。

(1)加里东期花岗岩在中亚带分布很局限,仅在大东山复式岩体中部天堂岭及东南侧中洞一带以及湖南桂东一带呈小岩株产出,形成时代为450.9~414 Ma(王登红等, 2010; 程亮开, 2018)。加里东岩体普遍无显著的矿化蚀变发育,通常认为其为“无矿岩体”,但随着近年的研究来看,加里东期的岩体风化壳仍然具有离子型稀土矿的成矿潜力(赵芝等, 2017)。

(2)印支期花岗岩类在中亚带的南部有贵东复式岩体东部的下庄和鲁溪岩体,中部有郴州地区的王仙岭岩体,北部有塔山、五峰仙、锡田和邓阜仙等,北侧外围还发育将军庙、川口岩体等,普遍呈岩株或岩瘤产出(Zhou et al., 2006; 王登红等, 2010; Qin et al., 2020),形成时限为240~210 Ma,即中三叠世末—晚三叠世后期。近年来,涌现了一批关于南岭及其周缘印支期成矿的报道,尤其在南岭中段,也发现了与印支期岩浆作用有关的锡、钨、铅锌(萤石)、铀矿成矿作用(锡田、川口、荷花坪、合江口等)(蔡明海等, 2006; 邓湘伟等, 2015; Qin et al., 2020)。

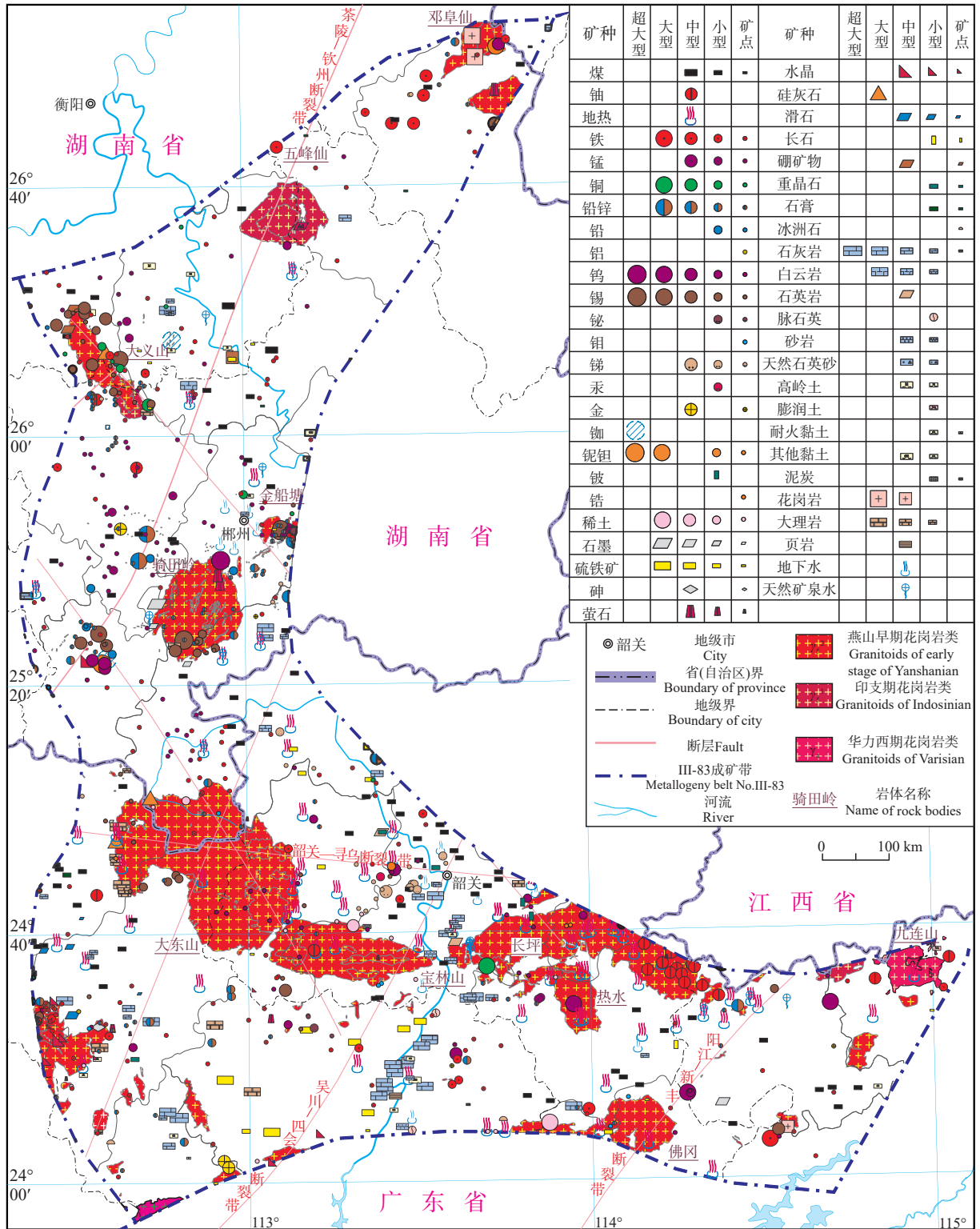


图 2 南岭成矿带中段区域地质矿产图

Fig.2 Regional geological and mineral resources map of the middle part of Nanling metallogeny belt

(3) 燕山早—中期的花岗岩浆活动强烈而广泛，部分呈岩株产出的岩体深部也很可能为大岩基，如多呈岩基产出，出露面积往往达数千平方千米，少千里山、瑶岗仙、黄沙坪岩体等，也是该区最重要的

表 1 南岭成矿带中段主要花岗岩体年龄

Table 1 Formation age of main granitic plutons in the middle part of Nanling metallogeny belt

岩体	岩性	时代	方法	参考文献
石背	黑云母二长花岗岩	174.3~187.5 Ma	LA-ICP-MS	程顺波等, 2016; 林小明等, 2016
锡田	细粒黑云花岗岩、花岗岩、黑云二长花岗岩	147~151.7 Ma、 (228.5±2.5) Ma	LA-ICP-MS、SHRIMP、SIMS	马铁球等, 2005; 刘国庆等, 2008; 付建明等, 2012; 周云等, 2013; 陈迪等, 2014
贵东	二云母花岗岩、黑云母二长花岗岩	151~189.1 Ma、 228~239 Ma	LA-ICP-MS、SIMS、SHRIMP	孙涛等, 2003; 徐夕生等, 2003; 吴继光, 2013; 李建华等, 2014; 单芝波, 2014; 林坤等, 2021
宝山	花岗闪长斑岩	156.3~164.1 Ma	LA-ICP-MS、SIMS	伍光英等, 2005; 路远发等, 2006; 谢银财, 2013; 弥佳茹等, 2018
大坊	花岗闪长岩	(154.5±1.0) Ma	LA-ICP-MS	弥佳茹等, 2018
水口山	英安斑岩、花岗闪长岩	148.8~173 Ma	LA-ICP-MS、SHRIMP	甄世民等, 2012; 左昌虎等, 2014; 李永胜等, 2015
大义山	黑云母二长花岗岩、二云母二长花岗岩	147.5~171.8 Ma	LA-ICP-MS	李勇等, 2015; 郭爱民等, 2017
塔山	黑云母二长花岗岩、二云母二长花岗岩	218~247 Ma	LA-ICP-MS	李勇等, 2015; 郭爱民等, 2017
邓埠仙	白云母碱长花岗岩	154.4~158.6 Ma、 218.2~230 Ma	LA-ICP-MS	汪群英等, 2015; 陈迪等, 2017
骑田岭	角闪黑云二长花岗岩、细粒黑云母花岗岩	141~160 Ma	LA-ICP-MS	毛景文等, 2004; 付建明等, 2004; 马丽艳等, 2005; 柏道远等, 2005; 李华芹等, 2006
黄沙坪	花岗斑岩、石英斑岩	82.9~179.9 Ma	SHRIMP	姚军明等, 2005; 王登红等, 2010; 全铁军等, 2012
界牌岭	花岗斑岩	90.5~92 Ma	LA-ICP-MS	王登红等, 2010
香花岭—癞子岭	黑云母碱长花岗岩、黄玉霏细斑岩香花岭岩、细粒花岗岩	150.37~151.18 Ma	LA-ICP-MS	来守华, 2014
瑶岗仙	斑状花岗岩、白云母花岗岩	157~170.7 Ma	LA-ICP-MS	董少花等, 2014
大东山	黑云母二长花岗岩、黑云母钾长花岗岩	155.9~165 Ma	LA-ICP-MS	张敏等, 2003; 黄会清等, 2008; 程亮开, 2018
热水	钾长花岗岩、黑云母花岗岩	(162.8±5.8) Ma	SHRIMP	邓平等, 2011
王仙岭	黑云母二长花岗岩、白云母花岗岩	(155.9±1.0) Ma、 224~235 Ma	LA-ICP-MS	郑佳浩和郭春丽, 2012; Zhang et al., 2015
湖南桂东	花岗闪长岩、角闪黑云母花岗岩	(148.2±1.7) Ma、 (207.5±2.7) Ma、 (414.5±4.5) Ma	LA-ICP-MS	王登红等, 2010
五峰仙	黑云母二长花岗岩、二云母二长花岗岩	(230.8±1.7) Ma	LA-ICP-MS	王凯兴等, 2012
连阳-白浆	斑状黑云二长花岗岩	100~102 Ma、 (144.3±0.8) Ma	LA-ICP-MS	高剑峰等, 2005; 马星华等, 2014
千里山	斑状黑云母花岗岩、花岗斑岩	(152±2) Ma	SHRIMP	Li et al., 2004

成矿岩体。该阶段花岗岩体的岩石类型主要有黑云二长花岗岩、二云二长花岗岩、二云碱长花岗岩、黑云正长花岗岩、黑云花岗闪长岩等, 形成年龄介于 200~145 Ma, 而 170~150 Ma 的岩体分布最广(李顺庭等, 2015)。该期岩浆作用控制了整个南岭中亚带最重要的 W、Sn、Mo、Bi、Cu、Pb、Zn、U、

Ag、RM(Li、Be)、萤石等的产出。

(4) 燕山晚期花岗岩体在南岭中段北部、中部和南部均有零星分布, 一般呈小岩瘤或岩脉侵入到燕山早期花岗岩体中, 单个岩体(脉)的出露面积往往小于 30 km²。该阶段花岗岩类的岩石类型主要为细粒黑云母花岗岩、花岗斑岩、石英斑岩等, 形成

年龄介于 120~80 Ma。如北部锡田花岗岩体东缘的小岩瘤形成于 114 Ma(刘国庆等, 2008), 中部界牌岭锡多金属矿的花岗斑岩形成于 92 Ma(卢友月等, 2013), 西南部连阳岩体内细粒黑云母花岗岩形成于 100 Ma, 白浆细粒花岗岩形成于 102 Ma(马星华等, 2014), 黄沙坪铅锌多金属矿床的花岗斑岩形成于 82.9 Ma(王登红等, 2010)。

3 区域成岩规律

3.1 岩浆岩地球化学特征

南岭中段岩浆岩以亚碱性酸性岩为主, 伴有少量基性岩。加里东期岩浆岩以花岗闪长岩为代表, 印支期、燕山期岩浆岩均以花岗岩为主, 部分区域和岩体内部发育有基性岩墙。总体来看, 加里东期岩浆岩具有相对低的 SiO_2 、 CaO 、 Na_2O 平均值, 高的 TiO_2 、 Al_2O_3 、 TFeO 、 MgO 平均值。印支期花岗岩类相对于燕山期岩浆岩具有较低的 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 值, 即氧化程度较低。南岭成矿带中亚带的岩浆岩以缺乏过碱性岩石为特征, 主要为钙碱性系列岩石, 只有骑田岭南溪二长—正长花岗岩、锡田黑云母花岗岩表现为偏碱性特征, 且被厘定为 A 型花岗岩(柏道远等, 2005; 姚远, 2013)。多数岩浆岩的 A/CNK 值介于 0.9~1.3, 普遍高于南岭花岗岩类的

平均值(1.06)(莫柱孙等, 1980)和中国花岗岩类平均值(1.03)(黎彤等, 1998), 属于准铝质—过铝质系列。在 TAS 图上, 中亚带燕山期和加里东期岩浆岩主要落入酸性岩集中区, 部分(骑田岭岩体、贵东岩体)落入中基性岩分布区, 印支期中酸性岩石, 且显著缺乏基性组分(图 3a)。在 A/CNK—A/NK 图上, 燕山期岩石分布范围横跨过碱质、准铝质和过铝质区域, 而印支期岩石则主要为过铝质, 少部分落入准铝质区域(图 3b)。

从加里东期→印支期→燕山早期→燕山晚期, 中亚带岩浆岩的主量元素平均含量呈现出不一致的演化趋势: SiO_2 (65.4%→74.51%→69.31%→74.08%)、 TiO_2 (0.5%→0.17%→0.52%→0.17%)、 Al_2O_3 (16.56%→13.4%→14.21%→12.46%)、 TFeO (4.57%→1.77%→3.47%→2.29%)、 MnO (0.06%→0.04%→0.1%→0.13%)、 MgO (1.69%→0.36%→1%→0.33%)、 CaO (0.08%→0.93%→2.68%→0.91%)、 Na_2O (0.59%→3.3%→2.77%→2.56%)、 K_2O (4.61%→4.43%→4.07%→5.54%)、 P_2O_5 (0.04%→0.17%→0.13%→0.06%)。南岭中段加里东期岩浆岩普遍分异程度较低, 相比之下, 印支期岩浆岩的分异指数(DI)明显高于加里东期, 除贵东、崇左等地出露的部分中—基性岩外, 大部分岩石均为中酸性, 且具

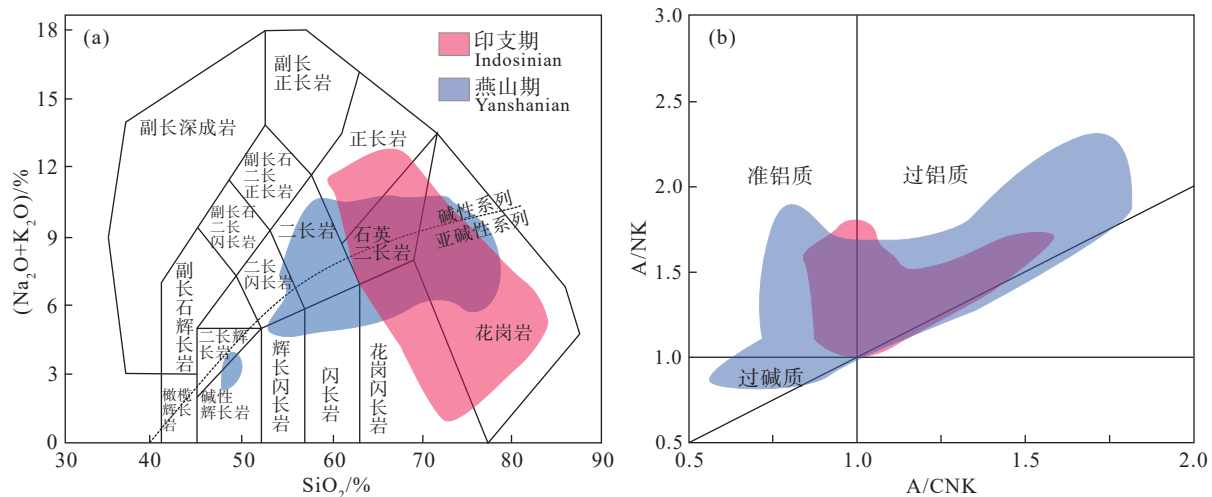


图 3 南岭成矿带中段岩浆岩 TAS 图解(a)和 A/CNK—A/NK 图解(b)

数据资料来源于马铁球等, 2005; 姚军明等, 2005; 付建明等, 2012; 全铁军等, 2012; 郑佳浩和郭春丽, 2012; 王凯兴等, 2012; 谢银财, 2013; 陈迪等, 2017; 弥佳茹等, 2018

Fig.3 TAS diagram (a) and A/CNK—A/NK diagram (b) of the magmatic rocks in the middle part of Nanling metallogeny belt. The magmatic rock data are from Ma Tiejie et al., 2005; Yao Junming et al., 2005; Fu Jianming et al., 2012; Quan Tiejun et al., 2012; Zheng Jiahao and Guo Chunli, 2012; Wang Kaixing et al., 2012; Xie Yincui, 2013; Chen Di et al., 2017; Mi Jiuru et al., 2018

有较高的分异程度(DI值集中于80~100)。燕山期,除贵东岩体部分黑云母二长花岗样品中显示出较低的DI(<35)之外,其余均较高(集中于70~90)。同时印支期和燕山期岩体则相对较高Rb/Ba比值,且与Zr+Nb+Y呈现出显著的负相关趋势(图4b),并落入Sandy cope和Alckey区域,表明其具有较高的演化程度。此外,从印支期到燕山期,岩浆岩的成因类型也存在显著的区别,印支期岩体具有高的

($^{87}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}_i$ 比值(>0.712),在($^{87}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}_i$)- $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 图上同时落入华南I型和S型花岗岩集中区(图5b),而燕山期花岗岩($^{87}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}_i$)和较低且 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值较高,落入华南I型花岗岩集中区(图5b),这与Jiang et al.(2018)和Qin et al.(2022)对中亚带印支期(川口)—燕山期(石人嶂)研究的得到的结论一致(图4)。

南岭成矿带有可能在加里东旋回就已经是一

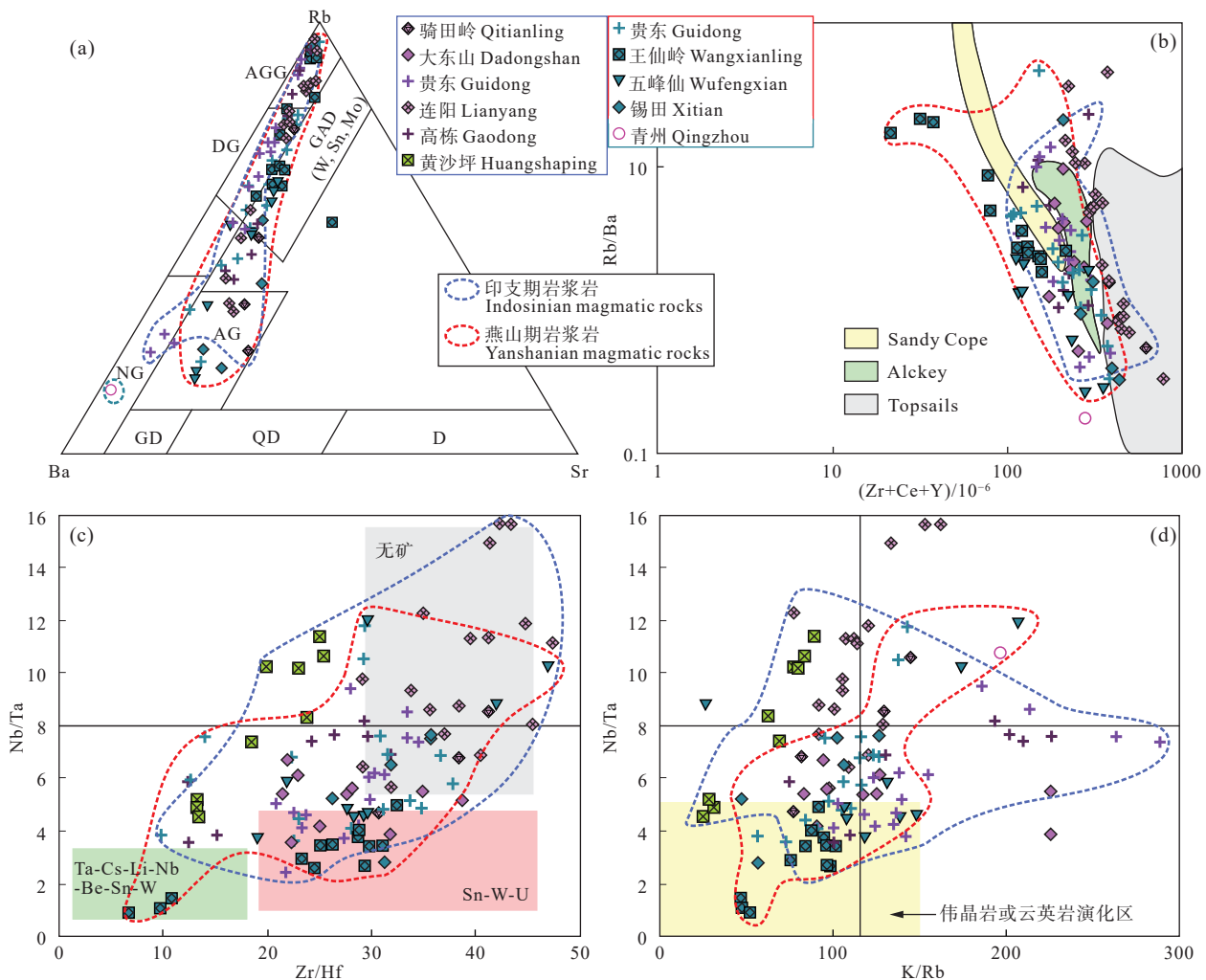


图4 南岭成矿带中段岩浆岩 Rb-Ba-Sr 图解(a)、(Zr+Nb+Y)-Rb/Ba 图解(b)、Zr/Hf-Nb/Ta 图解(c)和 K/Rb-Nb/Ta 图解(d) AGG—钠长石和云英岩化的花岗岩; DG—分异的花岗岩; NG—正常花岗岩; AG—异常花岗岩; GAD—与 W、Sn、Mo 有关的矿化花岗岩; GD—花岗闪长岩; QD—石英闪长岩; D—闪长岩; 数据资料来源于于建明等, 2004, 2012; 姚军明等, 2005; 全铁军等, 2012; 郑佳浩和郭春丽, 2012; 王凯兴等, 2012; 马星华等, 2014; 单芝波, 2014; 陈迪等, 2014; 马丽艳等, 2016; 程亮开, 2018

Fig.4 Rb-Ba-Sr diagram (a), (Zr+Nb+Y)-Rb/Ba diagram (b), Zr/Hf-Nb/Ta diagram (c) and K/Rb-Nb/Ta diagram (d) of the magmatic rocks in the middle part of Nanling metallogeny belt AGG—Albite and greisen granites; DG—Anomalous granites; NG—Normal granites; AG—Anomalous granites; GAD—W, Sn, Mo-mineralized granites; GD—Granodiorites; QD—Quartz diorites; D—Diorites. The magmatic rock data are from Fu Jianming et al., 2004, 2012; Yao Junming et al., 2005; Quan Tiejun et al., 2012; Zheng Jiahao and Guo Chunli, 2012; Wang Kaixing et al., 2012; Ma Xinghua et al., 2014; Shan Zhibo, 2014; Chen Di et al., 2014; Ma Liyan et al., 2016; Cheng Liangkai, 2018

个整体, 东亚带和西亚带的岩浆活动没有大的区别。同时, 无论是赣州的阳埠岩体(坳子下稀土矿)还是赣县的韩坊岩体(韩坊稀土矿), 都是加里东期的。考虑到邻区湘南的益将稀土矿也是加里东期岩体(锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 423 Ma), 因此, 加里东期岩体即便不利于寻找钨锡矿床, 但对于寻找离子吸附型稀土矿也是非常重要的。印支期中亚带锡田岩体、贵东岩体西段以及五峰仙岩体表现为中等—较高的 Nb/Ta、Zr/Hf、K/Rb 比值, 大量落入无矿和 W、Sn、U 成矿岩体区域(图 4c、d)。除五峰仙岩体无显著的矿化外, 贵东岩体和锡田岩体是 Sn、Pb、Zn、U 矿主要的成矿岩体。但王仙岭岩体则显著表现为低—中等 Nb/Ta、Zr/Hf、K/Rb 比值的特征, 样品落入到 W、Sn、U 与稀有金属成矿区域(图 4c、d), 与西亚带同时期的栗木岩体特征一致, 显著区别于连阳、贵东、五峰仙岩体。微量元素证据也指示王仙岭岩体与西亚带栗木岩体具有明显的相似性, 二者均表现出独特的 Zr 亏损和 P 富集, 这指示中亚带的王仙岭岩体具有较高的演化程度, 可能也具备 RM 的成矿潜力。燕山期岩浆岩普遍表现为中等的 Nb/Ta、Zr/Hf、K/Rb 比值的特征, 落入 W、Sn、U 成矿岩体区域(图 4c、d), 如骑田岭、贵东、连阳、大东山等, 极少数落入 Ta-Cs-Li-Nb-Be-Sn-W 区域, 如黄沙坪岩体的部分样品(图 4c)。实际上, 尽管黄沙坪矿区目前尚未发现稀有金属成矿, 但对比于邻区的香花岭、湘东、上堡、

界牌岭等矿床, 该矿区是存在以锂铍铌钽为代表的稀有金属矿化潜力的。

3.2 岩浆岩源区特征

从整个南岭来看, 加里东期 450~430 Ma 的岩浆岩分异指数稍低, 420 Ma 及其更年轻的岩浆岩分异指数较高, 且加里东期岩浆岩从基性→中性→酸性, 表现出显著的连续演化趋势, 演化程度的递变趋势为: 酸性岩(DI=65~98)>中性岩(DI=40~65)>基性岩(DI=40 左右)。但从空间的角度来看, 除缺乏的中性岩外, 东西亚带明显互相重叠, 无明显的差异。此外, 全岩 Nd 同位素资料显示, 加里东期南岭成矿带东亚带岩浆岩的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值变化较大(-13.32~-2.97, 平均值-7.43), 西亚带岩浆岩的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值变化范围较小(-8.9~-5.8, 平均值-7.71), 这说明整个南岭成矿带加里东期的岩浆岩可能具有相对一致的来源和演化进程, 且普遍显示出壳源和壳幔混源的特征。

南岭成矿带中段印支期岩浆岩在 $t-\epsilon_{Nd}(t)$ 判别图(图 5a)上的投图结果表明, 该时期的岩浆活动以典型的壳源为特征, 其源区与南岭地区前寒武纪结晶基底相一致。印支期岩体从早到晚显示出明显递增的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值, 但整体低于上地壳的演化线, 表明印支期岩体形成于陆内碰撞造山的晚期和后造山阶段, 随着“山根”的拆离, 幔源岩浆活动的强度有所增加, 并直接显示于中酸性岩浆岩的源区组分变化上。在 $t-\epsilon_{Nd}(t)$ 图上(图 5a), 南岭中段燕山期岩

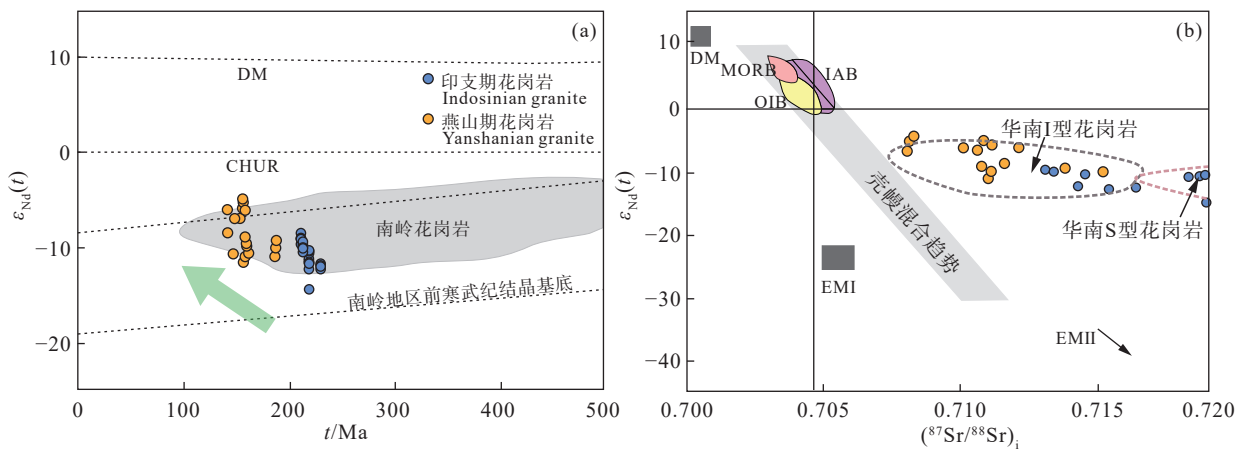


图 5 南岭成矿带中段岩浆岩 $t-\epsilon_{Nd}(t)$ 图解(a)和 $(^{87}\text{Sr}/^{88}\text{Sr})_t-\epsilon_{Nd}(t)$ 图解(b)

同位素数据来源于毛景文等, 1995; 柏道远等, 2005; 董少花等, 2014; 章荣清等, 2016

Fig.5 $t-\epsilon_{Nd}(t)$ diagram (a) and $(^{87}\text{Sr}/^{88}\text{Sr})_t-\epsilon_{Nd}(t)$ diagram (b) of the middle part of Nanling metallogeny belt
Isotopic data are from Mao Jingwen et al., 1995; Bai Daoyuan et al., 2005; Dong Shaohua et al., 2014; Zhang Rongqing et al., 2016

浆岩的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 变化较大, 这表明燕山期岩浆岩成岩物质来源十分丰富, 既有壳源组分, 又有幔源信息。此外, 燕山期岩浆岩还普遍表现出相对较高的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值, 且与印支期的岩体表现为显著的演化趋势, 指示南岭中段燕山期区域伸展的构造有显著加剧的趋势, 使得花岗质岩浆岩中普遍具有壳幔混源的特点。整体上来看, 大部分过铝质的花岗岩类明显体现出壳源熔融的特征, 中基性岩类则显示了明显的深源地幔信息(直接来源于地幔, 或者来自于新生地壳的部分熔融)。这种壳幔交互作用在南岭成矿带大型复式岩体中最为常见, 特别是骑田岭岩体, 岩性极为复杂, 除了出现过铝质的酸性岩类之外, 还出现大量偏基性的花岗岩类(角闪黑云母花岗岩), 同时闪长质暗色微粒包体广泛出现, 且在复式岩体成岩晚期阶段以及成岩后出现多处伸展相关的基性岩墙群, 如贵东岩体内部发育的基性岩脉。

4 区域成矿特征与成矿规律

4.1 矿产资源概况

南岭中段与东段以及西段相比, 面积最小, 然而矿产极为丰富, 是南岭成矿带重要的钨、锡、铀等多金属矿产集中地, 目前已发现 50 种矿产, 872 处矿产地。其中, 超大型规模以上 4 处, 矿种为稀有金属(铷、铯)、地下水; 大型规模矿产地 29 处, 包含矿种组合为石灰岩、白云岩、大理岩、硅灰石、花岗岩、石墨、钨、锡、萤石、铀等; 中型规模矿产地 160 处, 小型 273 处, 此外还包括 406 处矿点(表 2)。

该区以钨、锡、铅锌、铷、铯、硫铁矿、铁、煤、锰、石灰岩、地热等的成矿作用发育为特征, 但整体表现为矿产地数量和规模显著不一致, 部分矿床虽然数量少, 但规模均达到超大型, 如拖碧塘铷矿、杉木溪铷矿、湘东铯矿等; 铁、煤、地热等矿产地数量在南岭占绝对优势, 但普遍规模较小。黑色金属在该区域虽有多处发育, 但规模远不及东、西亚带; 能源矿产煤矿和铀矿是该区域独居特色的矿种, 与区域沉积相演化和岩浆作用分别表现为显著的专属性, 此外, 部分煤矿受热变质后形成大型石墨矿, 如鲁塘石墨矿; 有色金属矿产组合的大规模发育是南岭中段最为典型成矿特征, 其中, 以湖南柿竹园最为耀眼, 被誉为“世界有色金属博物

表 2 南岭成矿带中段矿种及其矿产地数量

Table 2 Mineral species and number of mineral sites of the middle part of Nanling metallogeny belt

矿种	矿产地/处	矿种	矿产地/处	矿种	矿产地/处
白云岩	4	脉石英	2	石墨	5
铋	4	煤	77	石英岩	2
冰洲石	2	锰	75	水晶	10
大理岩	14	钼	6	锑	24
地热	69	耐火黏土	6	天然矿泉水	16
地下水	12	泥炭	2	天然石英砂	2
高岭土	3	铌钽	6	铁	145
汞	1	硼矿物	3	铜	12
硅灰石	3	膨润土	1	钨	44
红柱石	1	铍	2	稀土	15
花岗岩	3	其他黏土	8	锡	56
滑石	5	铅锌	104	页岩	1
金	6	铷	2	萤石	12
金红石	1	砂岩	4	铀	20
磷	1	砷	2	长石	1
硫铁矿	24	石膏	4	重晶石	4
铝	1	石灰岩	45		

馆”; 贵金属矿产不是南岭中段的优势资源, 以伴生银为主, 金不甚发育, 然而在区域北侧的水口山矿田, 却发育了大型规模的铅锌金(银)矿; 三稀矿产中, 稀有金属矿产地数量少, 但规模大, 拖碧塘铷矿、香花岭铍(锂)铌钽矿; 稀散以伴生为主, 规模有限, 如新田岭的镓, 大宝山、水口山、香花岭的铟; 稀土矿产并不主要分布于中亚带, 但在大东山岩体东部发育重要的“寨背顶式”重稀土矿; 非金属矿产中, 石灰岩、白云岩、大理岩等建材类矿产优势显著, 以硫铁矿为代表化工类矿产也是该带的特色。同时, 南岭中段也是地表径流最为发育的区域之一, 著名的湘江、珠江及其支流曲折蜿蜒, 地下水、矿泉水等资源异常丰富(图 6)。

4.2 矿产类型及其空间分布规律

南岭中段矿床类型齐全, 几乎涵盖了岩浆、沉积、变质、叠加改造等各个主要成矿作用(表 3)。按照其成因可分为内生和外生两大类型, 内生矿产以接触交代型、岩浆热液型、受变质型、浅成-低温热液型等为主, 发育矿产地 294 处; 外生矿产主要包括风化型、沉积型(蒸发、机械、生物化学、化学)、流体型, 发育矿产地 466 处。内生成矿作用中, 与燕山期岩浆作用有关的热液和接触交代型矿床占据绝对优势, 矿种类型多, 规模大, 如东风硅灰石矿、黄沙坪铅锌矿、新田岭钨矿等; 外生成矿作用中, 喜山期主要发育风化作用有关的风化壳型和流

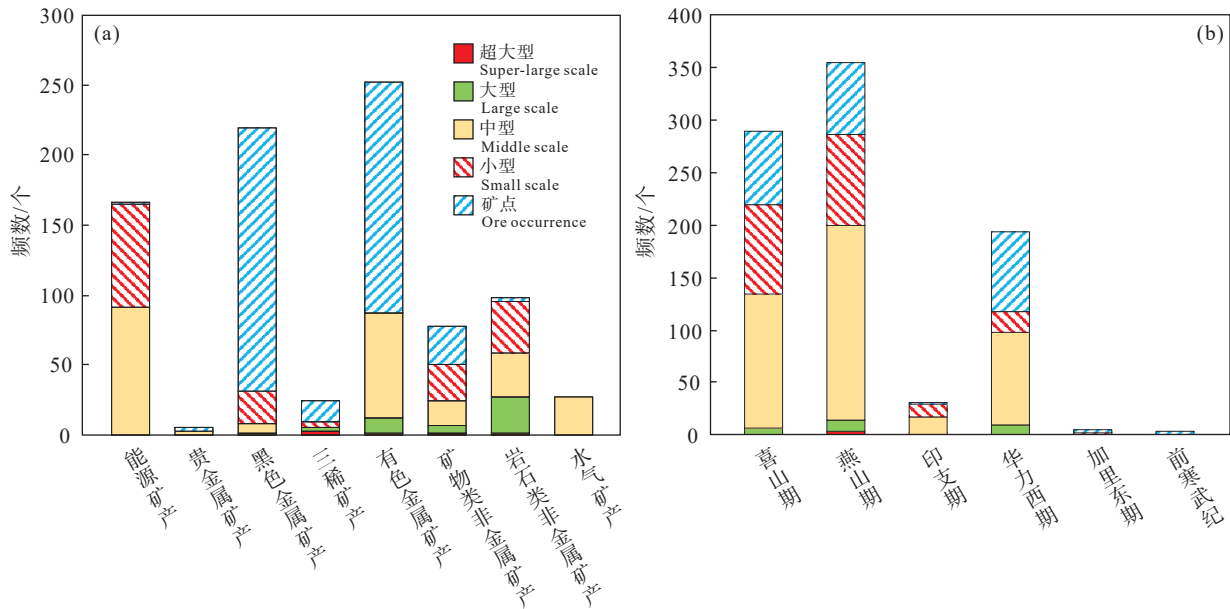


图 6 南岭成矿带中段不同矿种(a)和不同世代(b)矿产规模柱状图

Fig.6 Histogram of the scale of different minerals (a) and different epochs (b) of the middle part of Nanling metallogeny belt

体作用有关的流体型矿床,矿点多面广,代表性矿床为寨背顶稀土矿、汤泉矿、大宝山铁矿;与海西期—印支期沉积作用有关的类型主要为化学沉积型、生物化学沉积型,广泛分布于上古生界碳酸盐台地和海陆交互沉积分布区,如南头冲白云岩矿、永来煤矿、白沙煤矿。此外,部分与岩浆作用有关的岩浆型、伟晶岩型,与变质作用有关的受变质型和变成型,与沉积作用有关的机械沉积型、蒸发沉积型矿床也有显著发育,但分布零星,且数量较少。

南岭中段能源矿产、黑色金属矿产、有色金属、稀有稀土金属矿产分布具有非常典型的“岩控性”。(生物)化学沉积型煤矿、铁矿、锰矿、白云石、石灰岩主要分布于海西拗陷沉积区内,具有相对稳定的层位。煤、白云石、石灰岩矿多沿着盆地分布,包括 3 个主要分布区:粤北乐昌—曲仁盆地群、粤西罗定—连州盆地、湘南耒阳盆地;铁、锰分布广泛,散布于区域上古生界地层之中。风化型铁、锰、稀土矿围绕着特定的岩体展布,其中,大型规模铁矿主要分布于粤北大宝山矿区硫化物矿体的风化壳之中;稀土矿主要沿着大东山岩体的东部和佛冈岩体的北部,成矿的母岩(稀土来源)也即这些岩体。有色金属矿产与相应的成矿岩浆岩紧密共生,区内主要发育的 4 个有色金属矿产集中区:

围绕着邓阜仙岩体的锡、铁、铌钽、铅锌、花岗岩、萤石等多金属和非金属矿集区;围绕大义山岩体分布的锡、硼、铜铅锌多金属矿集区;围绕着千里山—骑田岭岩体展布的钨、锡、铅锌、铌钽、锂、铍、银多金属矿集区;围绕贵东岩体南部隐伏岩基展布的钨(锡)、铜、铅锌矿集区。以湘中千里山—骑田岭岩体为例,围绕着岩体,表现出坪宝、新田岭、芙蓉、东坡、瑶岗仙、白云仙、香花岭等显著的环状矿田分带型式,且成矿特征表现为“北锡南钨”的格局。整个南岭中亚带,自南北两侧向中部,明显表现为成矿元素组合类型变多的趋势,在湘南千—骑地区,元素组合最为复杂,这也从侧面反映了该区中生代深部可能存在的独特地质结构和成矿作用。同一矿区内,矿化的水平和垂向分带现象也十分常见。柿竹园矿田以千里山为中心,自北向南依次发育 W—Sn—Mo—Bi→Pb—Zn→Hg—Sb 三个矿化带(廖煜钟, 2019)。围绕着宝山岩体发育的一六矿田内铌、钽、钨(铍)、锑、汞等也具有显著的分带效应;粤北大宝矿区,与花岗闪长斑岩有关的钨、钼矿和与英安斑岩有关的铜铅锌多金属矿也体现出显著的矿化分区特征。南岭中段北侧发育的川口钨矿田,则表现出独特的“逆序分带”现象,即下部为铜铅锌,上部发育钨钼。

流体作用有关的矿床主要包括浅成低温热液

表3 南岭成矿带中段矿床主要成矿特征

Table 3 Main mineralization characteristics of the deposits in the middle part of Nanling metallogeny belt					
成矿作用	矿床类型	矿产地数量	主要矿种	主要成矿期	典型矿床
	岩浆型矿床	4	花岗岩、铌钽	印支期、燕山期	小龙、垄上花岗岩矿、隘子铌钽矿
	伟晶岩型矿床	3	铌钽	燕山期	531、隘子东、一六铌钽矿
	云英岩型矿床	7	铌钽、锡	燕山期	尖峰岭铌钽矿、狮形岭锡矿
(内生) 岩浆作用	接触交代型矿床	101	钨、锡、钼、硅灰石、铅锌、大理岩、铁、硼、水晶	燕山期、(华力西期、前寒武纪)	黄沙坪铅锌矿、水底下、东风、朝天硅灰石矿、汤市硼矿、烟竹湖硼矿、大顶铁矿、谢家山锡矿、瑶田钨矿、大平锡矿、青石岩砷矿、大顶铁矿、大中山水晶矿、大顺隆铜矿、新田岭钨矿、一六、单竹坑钨矿
	岩浆热液型矿床	197	钨、铷、锡、铍、铜、萤石、水晶、铀、重晶石、铋、滑石、硫铁矿	燕山期、(华力西期、印支期)	长岗岭铋矿、界滩滑石矿、锦潭硫铁矿、湘东铌钽矿、大笋、小坑钨矿、大尖山铅锌矿、田尾铅锌矿、拖碧塘钨矿、杉木溪铷矿、鸡脚山水晶矿、红岭、锯板坑、邓阜仙钨矿、天字号、芙蓉、白蜡水、香花岭锡矿、荷花坪锡矿、江口萤石矿、坪田铀矿、601铀矿、十里亭重晶石矿
(内生) 变质作用	受变质型矿床	3	铁矿、石英岩	前寒武纪、燕山期、华力西期	九家坳铁矿、芝麻山铁矿、五官庙石英岩矿
	变成型矿床	20	大理岩、石墨(红柱石、石英岩)	燕山期	鸡公岭、安源、三托坪、鲁塘、青坑、长江、大旺
(内生) 含矿流体作用	浅成中—低温热液型矿床	54	铅锌、铋、铀、汞、硫铁矿、冰洲石	华力西期、燕山期、加里东期	红岩、西牛硫铁矿、西岸汞矿、赤佬顶铋矿、圆山、东城铀矿、高坳冰洲石矿
(外生) 表生作用	风化型矿床	165	锰、稀土、铁、高岭土、其他黏土	喜山期	寨背顶稀土、来石稀土、大坪
(外生) 沉积作用	机械沉积型矿床	16	砂岩、页岩、石英砂、黏土	喜山期、燕山期、华力西期	乌石砂岩、牛岭砂岩、红光页岩矿
	化学沉积型矿床	94	白云岩、硫铁矿、石灰岩、(铁、锰)	华力西期、印支期	南头冲、柏塘、石灰岭、李家湾、罗仙岭、狮子山、燕山岭
	生物化学沉积型矿床	80	煤矿、泥炭矿	华力西期、印支期	永来煤矿、白沙煤矿、杨梅山煤矿、盘村泥炭矿
(外生) 流体作用	蒸发沉积型	4	石膏	喜山期、燕山期	星子盆地石膏矿
(外生) 流体作用	流体型矿床	107	天然矿泉水、地热、地下水	喜山期	汤泉地热、地下水、宝林山矿泉水
叠加(复合/改造)	叠加(复合/改造)矿床	5	铀、铅锌、锰、铜、滑石	燕山期、华力西期、喜山期	水口山、杨柳塘、玛瑙山、大宝山、大茛

型铋、铀、汞、硫铁矿、冰洲石等和流体型地下水、矿泉水。粤北地区是铋、铀、硫铁矿最为发育的区域,关于该类型低温矿床在该区域集中富集的机理,目前仍缺乏系统认识。同时,整个区域地下水资源丰富则是与该区域地表径流和地下暗河普遍发育有直接的联系。

4.3 成矿期次

基于大量的高精度年代学资料的整理,识别出了4个主要的成矿阶段:①海西期、②印支期(230~220 Ma)、③燕山早期(190~130 Ma)、④燕山晚期(100~90 Ma)(表4)。

海西期成矿作用普遍与坳陷带沉积作用有关,主要矿种为锰、铁、硫铁矿、白云岩、石灰岩、煤等,层位比较稳定。但仍有部分矿床成矿作用仍然

争议较大,大宝山铜多金属矿床目前存在海西期海底喷流沉积和燕山期岩浆热液成矿两种争议,时代也仍然不明确,究竟存不存在海西期成矿,还需深入的研究。同样位于南岭中段东侧的凡口铅锌矿也是如此,是断裂+泥盆系地层控制还是受隐伏岩体的成矿供给?目前还未取得统一认识。该期发育173处矿产地,其中大型规模10处。

印支期成矿作用中,三叠纪煤矿成矿时代比较确定外,与岩浆作用有关的矿床重视程度显著不足,且大部分倾向于认为其为燕山期成矿,如锡田锡矿。随着近年来系统的地质和年代学研究,多个印支期矿床和成矿记录被识别出来,如荷花坪锡矿发育印支晚期(224 Ma)、燕山早期(151~156 Ma)和燕山晚期(142 Ma)3期成矿作用(蔡明海等, 2006,

表 4 南岭成矿带中段主要矿床成矿年龄

Table 4 Formation age of main deposits in the middle part of Nanling metallogeny belt

矿床名称	测试对象和测年方法	年龄/Ma	资料来源
石背大顶铁锡矿	金云母Ar-Ar	185.9±1.2	程顺波等, 2016
	辉钼矿Re-Os	186.7±1.2	袁顺达, 2017
锡田锡钨矿	石英Rb-Sr	153±12	付建明等, 2012
	辉钼矿Re-Os	150.0±2.7	刘国庆等, 2008
	辉钼矿Re-Os	150.3±0.5	董超阁, 2018
宝山铅锌多金属矿	辉钼矿Re-Os	160±2	路远发等, 2006
三角潭钨矿	辉钼矿Re-Os	224.9±1.3	彭能立等, 2017
白沙子岭锡矿	石英Rb-Sr	160±1	张晓军等, 2014
	辉钼矿Re-Os	152.4±3.3	蔡杨等, 2012
	白云母Ar-Ar	148.3±1.1	孙颖超等, 2017
邓阜仙钨矿	辉钼矿Re-Os	150.7±2.3	董超阁, 2018
	矽卡岩矿物Sm-Nd	141±11	马丽艳等, 2010
	黄铁矿Pb-Pb	164±12	肖红全等, 2003
金船塘锡矿	辉钼矿Re-Os	158.8±6.6	刘晓菲, 2014
	石英Rb-Sr	143.1±8.7	马丽艳等, 2010
	矿脉白云母Ar-Ar	153.5±1.5	袁顺达等, 2012
芙蓉白腊水锡矿	金云母Ar-Ar	154.1±1.1	彭建堂等, 2007
	角闪石Ar-Ar	156.9±1.1	彭建堂等, 2007
芙蓉淘锡窝锡矿	白云母Ar-Ar	154.8±0.6	彭建堂等, 2007
芙蓉三门锡矿	白云母Ar-Ar	156.1±0.4	毛景文等, 2004
芙蓉淘锡窝锡矿	白云母Ar-Ar	160.1±0.9	毛景文等, 2004
芙蓉锡矿	含矿云英岩Rb-Sr	146±3	马丽艳等, 2005
芙蓉白腊水锡矿	石英Rb-Sr	177±39	蔡锦辉等, 2004
黄沙坪铅锌多金属矿床	矿脉辉钼矿Re-Os	153.8~157.5	马丽艳等, 2007; 毛景文等, 2007; 王登红等, 2010
香花岭锡多金属矿	白云母Ar-Ar	154.4±1.1	Yuan et al., 2007
香花岭—牛角湾	闪锌矿脉石英Rb-Sr	154±2	王登红等, 2010
	闪锌矿脉萤石Sm-Nd	156.1±8.4	王登红等, 2010
香花岭—新风	黄铁矿Re-Os	158.9	王登红等, 2010
界牌岭锡多金属矿	矿脉黑云母Ar-Ar	91.1±1.1	毛景文等, 2007
	白云母Ar-Ar	92.1±0.7	Yuan et al., 2015
瑶岗仙钨矿	辉钼矿Re-Os	158.0±1.2	李顺庭等, 2011
瑶岗仙尚滩钨矿	辉钼矿Re-Os	160.0±3.3	李顺庭等, 2011
瑶岗仙钨矿	石英Rb-Sr	175.8±4.1	王登红等, 2009
	石英Rb-Sr	156±3	王登红等, 2009
	辉钼矿Re-Os	170±5	王登红等, 2009
合江口锡矿	辉钼矿Re-Os	225.0±3.6	邓湘伟等, 2015
荷花坪锡矿	辉钼矿Re-Os	224.0±1.9	蔡明海等, 2006
	锆石U-Pb	156	Zhang et al., 2015
香花铺钨矿	白云母Ar-Ar	161.3±1.1	Yuan et al., 2007
尖峰岭锡矿	白云母Ar-Ar	158.7±1.2	Yuan et al., 2007
桂东青石岭钨多金属矿	辉钼矿Re-Os	147.6±6.8	王登红等, 2010
下庄335铀矿	沥青铀矿U-Pb	93.5±1.2	邹东风等, 2011
下庄石土岭铀矿	沥青铀矿U-Pb	138.5±1.9	何德宝, 2017
下庄希望铀矿	沥青铀矿U-Pb	81.8±1.1	何德宝, 2017
下庄寨下铀矿	沥青铀矿U-Pb	92.0±1.3	何德宝, 2017
下庄仙石铀矿	沥青铀矿U-Pb	96.4±1.4	何德宝, 2017
下庄竹山下	沥青铀矿U-Pb	134	李子颖等, 2011
下庄大帽峰	沥青铀矿U-Pb	84.3	李子颖等, 2011
下庄仙人嶂	沥青铀矿U-Pb	81	李子颖等, 2011
柿竹园钨多金属矿	辉钼矿Re-Os	151.0±3.5	李红艳等, 1996
	萤石Sm-Nd	149±2	Li et al., 2004

2016), 川口钨矿形成时代为 230~220 Ma(彭能立等, 2017; Qin et al., 2020; 蔡富成等, 2021), 锡田钨矿区发现(228.5±2.5)Ma 的记录(刘国庆等, 2008; 付建明等, 2012)。目前发现矿产地 30 处, 仅 1 处大型, 其余均为中小型。该期成矿作用以钨锡矿为主, 与印支晚期华南地块构造体制转换下的局部伸展关系密切(Zhou et al., 2006; 毛景文等, 2008; Qin et al., 2022)(图 7)。

燕山早期(190~130 Ma)是区域成矿的峰期, 主阶段为 160~150 Ma, 发育一系列的有色金属、稀有金属和非金属矿床, 发育 354 处矿产地, 且中型规模以上就有 199 处。如邓阜仙、大义山、宝山、黄沙坪、新田岭、柿竹园、瑶岗仙、白云仙、一六、红岭、锯板坑、大吉山、天字号、芙蓉、香花岭等等。燕山晚期成矿作用相对较弱, 时代介于 100~90 Ma, 主要发育铀、锡、铍矿, 如下庄、界牌岭(图 7)。

喜山期成矿目前极少数的铀矿之外, 很难获取准确成矿年龄, 但成矿作用并不弱, 发育的矿种类型包括稀土矿、锡矿、铁矿、锰矿、铀矿、泥炭矿、地热、矿泉水、长石矿等。目前发现的矿产地仅次

于燕山期, 有 290 处, 中型规模以上 134 处。

4.4 成矿作用演化

总体上看, 南岭中段的成矿作用以燕山期最为发育, 也最为典型, 从早到晚有成矿种类逐渐增加的趋势, 但燕山晚期又趋于平静。综合考虑各类矿床的形成时代、成因、矿化类型、矿化元素组合等因素, 将南岭中段的成矿演化概括为 5 个阶段:

(1) 印支末期与花岗岩类有关的矽卡岩—石英脉型 Sn、W 多金属矿床成矿作用。印支造山运动完成了华南与华北地块的拼合, 形成了统一的中国大陆。南岭地区尽管处于华南腹地, 但受多块体碰撞作用远程效应的影响, 依次发育有一系列早—中三叠世同碰撞花岗岩和晚三叠世后碰撞花岗岩(梁新权等, 2005; Zhou et al., 2006)。在这种伸展体制下, 南岭地区晚三叠世发育了一系列后碰撞花岗岩, 并伴随有钨锡铀多金属成矿作用, 并由此拉开了该区中生代多期次、大规模钨锡成矿作用的序幕, 该成矿亚系列成矿时限介于 230~220 Ma, 以荷花坪矽卡岩型锡多金属矿、合江口矽卡岩型锡钨多金属矿和三角潭石英脉型钨矿床为典型代表(袁顺

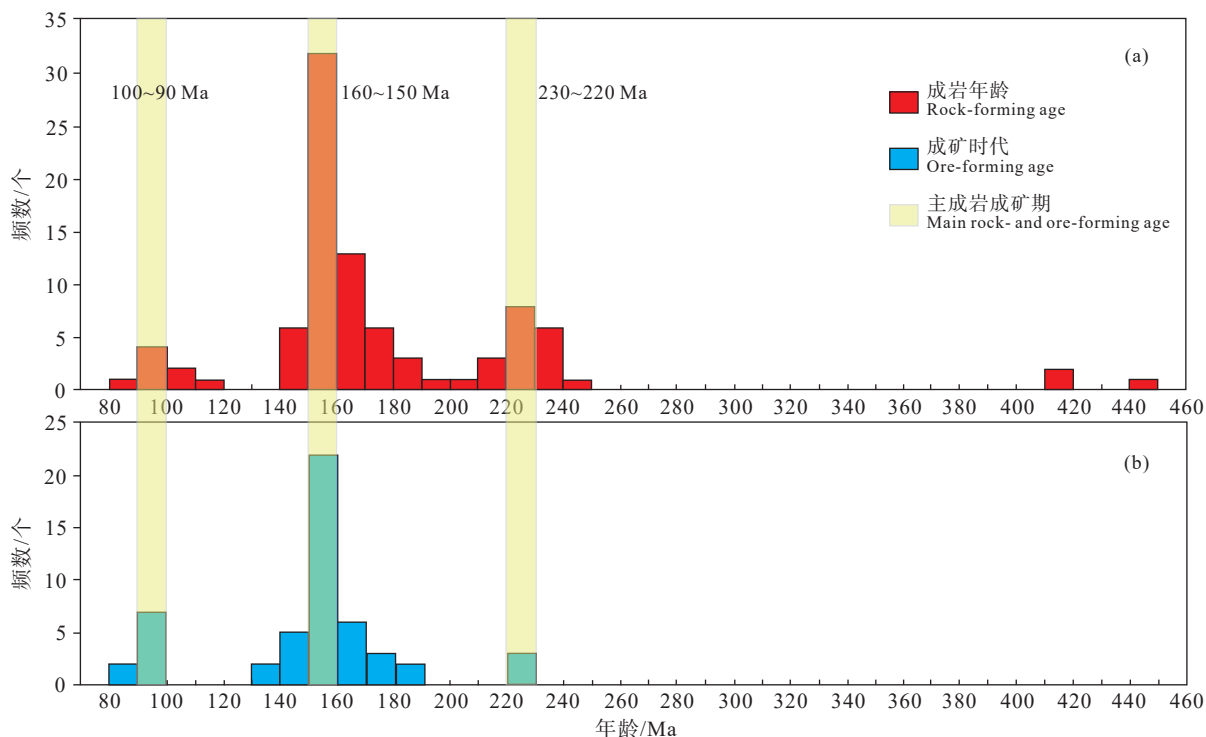


图 7 南岭成矿带中段成岩时代(a)和成矿时代(b)直方图

Fig.7 Rock-forming ages (a) and ore-forming ages (b) histogram of the middle part of Nanling metallogeny belt

达, 2017; 蔡富成等, 2021; Qin et al., 2022)。

(2) 燕山早期与花岗岩类有关的矽卡岩—破碎带蚀变岩—石英脉型 Fe、Sn、W 成矿作用。早中生代时期(190~170 Ma), 华南地区经历了从东西向特提斯构造域向北东向太平洋构造域转换的重大调整。该时期处于地壳拉张、岩石圈伸展的构造背景之下, 是岩浆活动及成矿作用的宁静期(205~180 Ma; Zhou et al., 2006; 毛景文等, 2008)。但近年的研究显示, 南岭地区零星分布有燕山早期的岩浆岩, 且对应发育以粤北矽卡岩型铁锡矿床、芙蓉白腊水破碎带蚀变岩型锡矿、瑶岗仙石英脉型钨矿为典型代表的成矿作用(陈培荣等, 2002; 丁兴等, 2005; 贾小辉等, 2014; 柏道远等, 2022)。

(3) 燕山中期与花岗岩类有关的矽卡岩—云英岩—石英脉型 Sn、W、F、Mo、Pb、Zn、Au、Ag 成矿作用。该时期(160~150 Ma)是南岭中段最为重要的锡钨多金属成矿时期。在后造山拉张构造环境下, 伴随巨量花岗岩浆的形成、大量花岗岩体的侵位, 由于壳幔相互作用、深部能量和物质及大量深源或幔源流体向浅部的传输, 与地壳表层大量的张性构造(断裂与裂隙)和流体配套, 组成巨大的岩浆—流体—成矿系统, 形成了柿竹园、黄沙坪、骑田岭、水口山、锡田、新田岭、界牌岭、香花岭等一批著名的大型—超大型矿床, 使中亚带成为巨大的有色金属矿集区(柏道远等, 2008; 秦拯纬等, 2022)。

(4) 燕山晚期与流体交代作用有关的花岗岩型 U 矿成矿作用。典型代表为“下庄式铀矿”, 形成于 100~80 Ma, 发育 3 期成矿。第一期成矿以碱性蚀变为特征, 矿体主要赋存在东西向韧性构造蚀变带内, 铀成矿年龄在 138 Ma 左右; 第二期以酸性蚀变为特征, 铀矿床定位主要受北东向拉张构造控制, 铀成矿年龄为 81~96.4 Ma(邹东风等, 2011); 第三期铀矿化为主成矿期后的热液活动期, 主要是北东向含矿构造再活动, 铀成矿年龄为 61 Ma(张树明等, 2002; 王军等, 2011; 何德宝, 2017)。

(5) 燕山晚期与花岗岩类有关的蚀变岩—矽卡岩型 Sn、Mo、Be、F 成矿作用。相对而言, 南岭中段燕山晚期成矿作用的强度和规模明显弱于燕山早期, 主要有两例, 即湖南宜章县界牌岭锡多金属矿床和广东连南县坪坪钨多金属矿床, 成矿时限为 100~90 Ma。

5 区域找矿前景

5.1 中亚带(及邻区)重要找矿远景区

5.1.1 骑田岭及周边钨锡钼铋铅锌铜金稀土萤石找矿远景区

骑田岭及周边钨锡钼铋铅锌铜金稀土萤石找矿远景区位于南岭成矿带中亚带的中部, 基本在湖南境内, 面积约 2500 km²。该远景区内的成矿时代以中生代为主, 围绕骑田岭岩基分布包括新田岭(W)、香花铺(Nb、Ta)、杉木溪(Rb)等超大型矿床及宝山(Pb、Zn)、黄沙坪铅(Pb、Zn)、鲁塘(石墨)矿等多个大型矿床, 岩基周边还有一系列的小岩体, 如千里山岩体和尖峰岭岩体, 面积更小, 但成矿能力很强, 均形成了矿田级别的矿化集中区(图 8)。进入 21 世纪以来, 在湖南尖峰岭地区开展钨锡多金属矿、在五峰仙地区开展钨锡铅锌矿找矿评价, 均有新进展新发现, 尤其是在荷花坪取得了新突破, 发现层控矽卡岩型锡矿床, 已控制资源量达大型规模; 在湖南宝山铜铅锌矿深部揭露厚 32~53 m 铜钼铅锌工业矿体; 在湖南黄沙坪钨钼矿区, 见多层钨钼矿; 在骑田岭岩体南部, 圈出白腊水—安源、黑山里—麻子坪、山门口—狗头岭 3 个北东向的锡矿带, 探获锡颇具规模的构造蚀变岩+矽卡岩属于复合型锡矿。

骑田岭岩体的形成时代以往定为印支期, 但近年来测得的锆石年龄往往归入到燕山期、甚至燕山晚期, 而岩体本身的蚀变现象也是明显而强烈的, 因此不排除整个远景区存在区域性、深层次交代作用的可能性。这种交代作用不是某个岩体结晶分异作用演化出来的岩浆热液对围岩的交代, 而是区域性的、持久性的、多来源的“地壳流体”的“地壳尺度”的渗透交代, 甚至可能有幔源流体的显著介入。但是, 如果这样的“地壳流体”交代成矿的认识得以确认, 对于成矿预测和找矿远景区的圈定, 无疑将产生新的思维, 许多问题就需要重新思考, 比如, 骑田岭岩体内部是否可能存在类似于奥林匹克坝这样的铁、铜、金、银、稀土、铀这样的矿化组合? 因此, 骑田岭及周边钨锡钼铋铅锌铜金稀土萤石找矿远景区实际上是一个由若干个矿田组成的矿集区, 其找矿前景仍然看好, 无论是老矿山的深

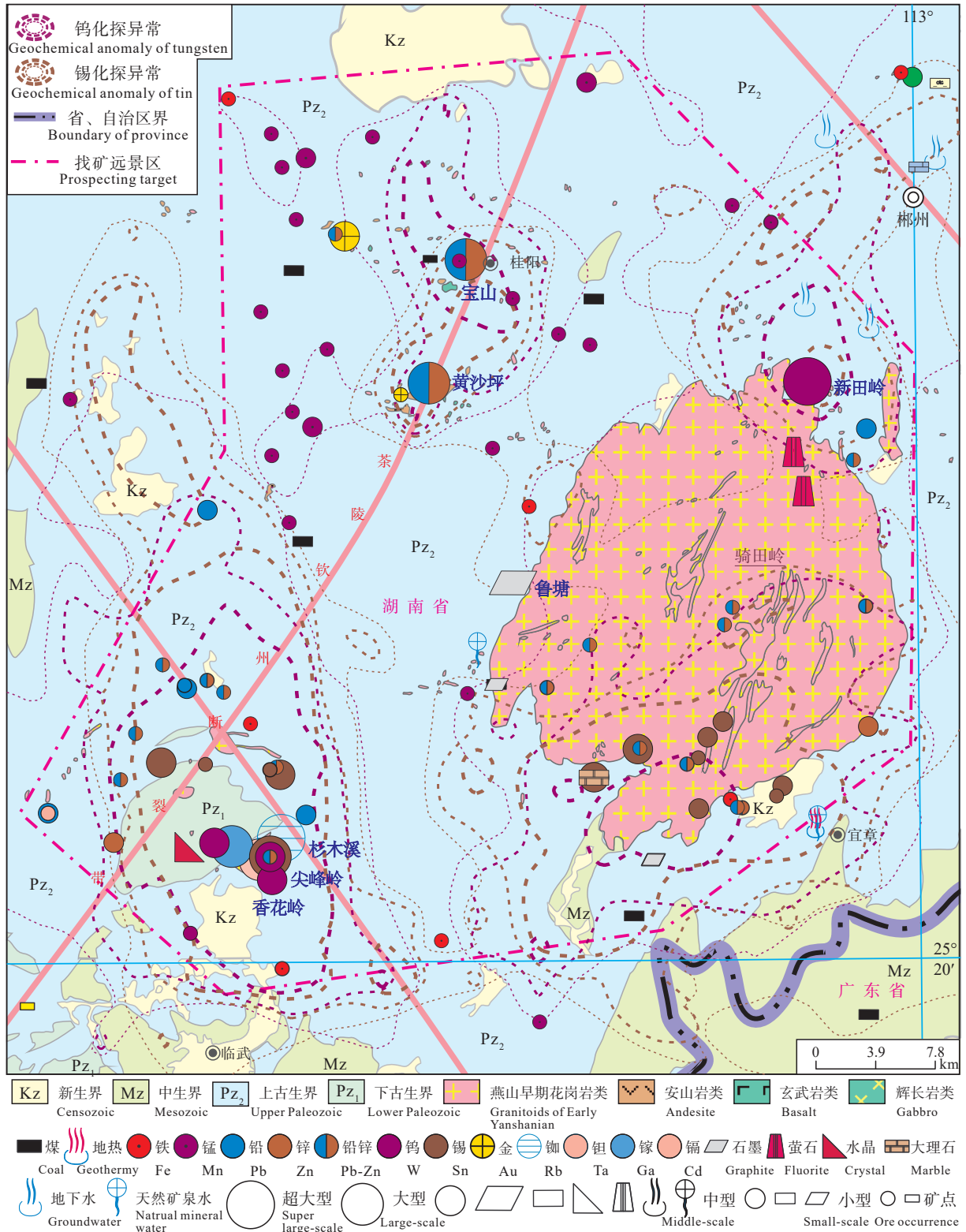


图 8 南岭中段骑田岭钨锡钼铋铅锌铜金稀土萤石找矿远景区矿产地质简图

Fig.8 Mineral geological map of Qitianling tungsten, tin, molybdenum, bismuth, lead, zinc, copper, gold, rare earth fluorite prospecting potential area in the middle part of Nanling metallogeny belt

东部还是新区, 仍然具有很好的钨、锡矿找矿前景。

5.1.2 中亚带乐昌—韶关—翁源钨锡铜铅锌铀稀土找矿远景区

乐昌—韶关—翁源钨锡铜铅锌铀稀土找矿远景区位于南岭成矿带中亚带的南部, 面积约 13000 km²(图 9)。该远景区尤其是其周边发育大岩基, 包括北侧诸广山大岩基中的九峰山岩体等、西侧的大东山岩基、南侧的佛冈大岩基, 中部还有贵东岩体和热水岩体, 但成矿作用别具特色, 除了钨锡之外, 铅锌和铜多金属成矿的特点是其他远景区所难以企及的, 包括凡口铅锌矿和大宝山铜多金属矿床, 而贵东岩体中的花岗岩型铀矿在南岭乃至全国也是举足轻重的。该远景区内的成矿时代以中生代为主, 如广东曲江大宝山铜矿、大宝山船肚钨矿、翁源县红岭钨矿等。贵东岩体中的铀矿, 主要形成于燕山晚期(100~80 Ma)。进入 21 世纪以来,

在广东乐昌扬东山和始兴罗坝、石灰坑等地开展了钨锡找矿评价, 取得了广东九连山地区银场坪锡铅锌矿、锡山锡铅锌矿、下余坑铅锌矿、狗背坑钨矿、腊树下银矿等的新发现, 在广东始兴发现有高埂背钨钼矿、大坑迳铅锌矿、捐坑铅锌矿等, 在广东仁化城口一带发现有白水坑、芹菜塘、九峰林场、通天窝铅锌银矿等; 在湖南大坪地区也发现有走牛垅钨矿、高凹背钨钼矿、竹瓦辽钨矿等。该区域找矿的主攻方向为石英脉型钨锡矿、矽卡岩型锡矿、岩浆热液充填型铅锌矿、花岗岩(热液)型铀矿、斑岩型铜矿、离子型(轻)重稀土矿等。

5.2 南岭中段主矿种找矿思路

(1) 对于铀矿来说, 岩性界面往往是氧化还原条件发生明显变化的场所, 对铀矿的沉淀和富集非常有利(刘畅等, 2022)。同时, 以往认为的赋存于二叠系褶皱转折部位、硅化带重叠、加厚、膨大、陡立、岩石破碎、次级构造裂隙发育的地段的“碳硅泥岩

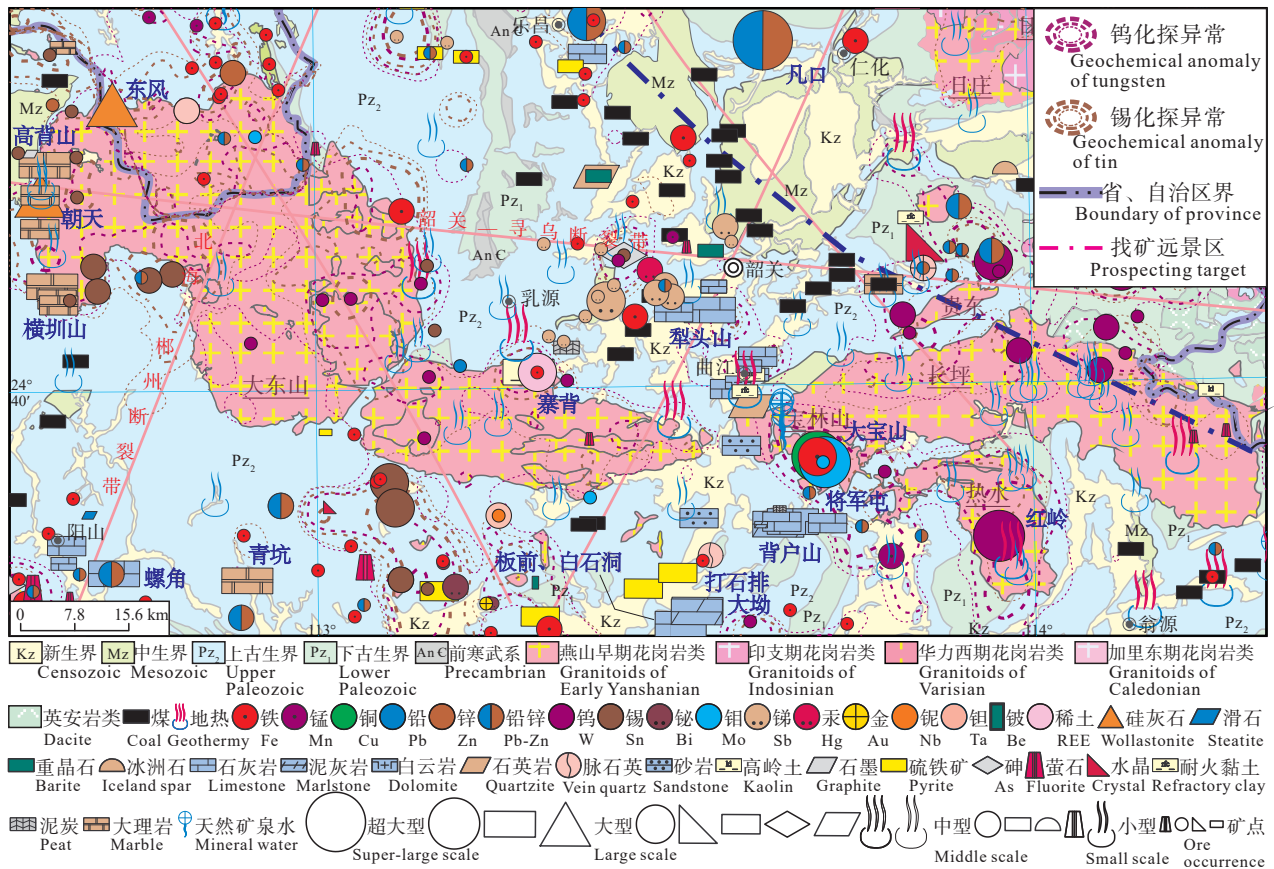


图 9 南岭中段乐昌—韶关—翁源钨锡铜铅锌铀稀土找矿远景区矿产地质简图

Fig.9 Mineral geological map of Leschang-Shaoguan-Wengyuan Tungsten-tin, copper, lead-zinc, uranium, rare earth prospecting potential area in the middle part of Nanling metallogeny belt

型”铀矿,出现明显与岩浆热液有关的元素组合,其很可能属于岩浆热液型矿床,如郴州的金银寨铀矿。因此,对南岭成矿中亚带发育的铀矿,关注除产于花岗岩岩体内部之外,在岩体的接触带乃至于外接触带也是找矿的重点,而岩体与不同构造层之间的接触带、层间破碎带尤其应该加以重视。与铀矿不同,煤及含煤地层属于软弱岩性,易于错动滑覆,因此往往有助于推覆构造的形成,如南岭成矿带东侧尤其是福建境内根据推覆构造与煤矿的关系,已经通过大量的地质和地球物理验证并且取得了找矿新进展(周济元等, 1980; 伯慧等, 2016; 廖森等, 2017),因此,重点关注区域不同的煤系地层中的滑覆构造可对寻找具有工业价值的煤矿有所裨益。

(2)南岭成矿带中的铁矿包括矽卡岩型、沉积型和风化壳型。实际上,受变质型铁矿“鹰扬关式”(铜锣塘式)铁矿成因上可能与海相细碧角斑岩建造有关,根据区域基地底层的分布,推测其也具有一定的找矿潜力。此外,南岭西亚带以及中亚带北部区域泥盆系中发育少量的沉积型“宁乡式”铁矿,对比区域有利层位,整个中亚带中泥盆系分布区也应是沉积型铁矿的重要远景区。矽卡岩型铁矿在长江中下游成矿带颇为发育,但南岭成矿带却不多见。广东连平县境内围绕石背岩体,具有寻找大顶式接触交代型铁多金属矿床的可能性,但研究程度不够。风化型铁矿往往与多金属硫化物矿床密切相关,常发育于其顶部氧化带,如大宝山、水口山,实际上,粤北英德地区发育大量浅成低温热液型硫铁矿的地表氧化带,有寻找铁矿的潜力。

(3)南岭中段有色金属种类类型繁多,成矿作用复杂,区域铜、铅、锌、钨、锡、钼、铋、锑、汞等十多种有色金属紧密共生,开展找矿预测难度较大。这是由南岭成矿带的成矿条件决定的,但也可以利用其作为成矿预测的依据。可以分别预测,也可以根据其共伴生关系,以成矿系列理论为指导进行组合预测。比如,南岭成矿带中亚带的东南部,大宝山、锯板坑、红岭等铜矿都是与钨矿共伴生的,可以与钨矿一起预测;中亚带西南部广东怀集县境内的藤铁、应塘湾、鱼田等铜矿可能与锡矿、铁矿有成因联系,其成矿条件不同,预测要素也不同。同时,矿床分带理论的发展也可对成矿预测提供思路,是寻

找隐伏“缺位”矿体的重要手段,例如在大宝山矿床中实现缺位类型——“斑岩型”的突破。此外,从整个中亚带发育的厚层状碳酸盐沉积来看,寻找矽卡岩型多金属矿床仍是重中之重,但也要适当关注“新类型”,例如,以往对钨锡矿开展了系统的工作,而忽略了更具价值的岩体型、云英岩型锂矿,实际上,在南岭中段多个矿山的尾砂中,锂的含量都可以达到综合利用的要求。

(4)对于稀有金属,南岭中段虽多个矿床伴生,但往往因为品位不高、禀赋特征不佳、产能不足等原因而没有得到充分的利用,如湘南柿竹园和香花岭矽卡岩型的铍矿,邓阜仙岩体顶部的铌钽矿,湖南正冲、拖碧塘、上堡等矿区的铷。近年来,南岭及其周缘新类型的锂矿发现和新进展为该区域找矿提供了新思路。与细粒白云母(钠长)花岗岩有关的岩体型稀有金属矿——宜春414式和与钨锡伴生的云英岩型锂矿——“正冲式”在湘南界牌岭、香花岭、长城岭、王仙岭、千里山、大吉山等Be、Li、Rb富集的区域也是存在的,但具体的局部成矿条件有利的部位,成为稀有金属矿床成矿预测的难题和焦点,迫切需要攻关解决。此外,在粤北一六等地出现与铅锌等硫化物共伴生的绿柱石型铍矿,对开拓南岭优质稀有金属资源的找矿思路是具有积极意义的(王成辉等, 2021; 秦锦华等, 2022)。

(5)稀散金属元素在地壳中十分分散,富集规律不明显,成矿地质条件复杂,矿物质来源广,矿物富集时间长,地质找矿难度大。南岭中段稀散金属的找矿和综合评价,主要是对针对铅锌、钨锡等有色金属矿床开展。根据经验,类似于广西大厂锡多金属矿床这样的多金属矿床,也是稀散元素集中产出并可以综合利用的典型矿床。对于铟来说,目前已经发现在大宝山、黄沙坪、香花岭等矿床已发现局部富集,但不成规模,对比于大厂、都龙等矿床,实现进一步找矿突破的关键在于贫锡和富锡矿床中铟的成矿机制解析;镓锗在南岭中段不甚发育,仅见于新田岭钨矿中;实际上,区域“会泽式”富锗MVT铅锌矿未见发育,并不能作为寻找该类矿床的目标,结合镓锗在表生条件中的吸附性和亲有机性,区域大量发育的煤矿可作为寻找“临沧式”、“乌兰嘎图式”富镓锗煤矿的目标。

(6)南岭成矿带金矿尤其是大型金矿发现尚少,

但周边发育多处独立或者共伴生的金(银)矿或多金属矿床,成矿时代跨度大,类型多,元素组合繁简不一,既有典型的造山型金矿也有盆地中受到硅钙界面控制的低温热液型金矿,因此,对南岭成矿带内的金矿找矿也是具有启示意义的。如南岭中亚带水口山康家湾的金矿。在铅锌矿田也可出现独立的、但同样受到构造破碎带控制的金矿体,甚至可以穿切在岩体内部。而中亚带目前已知的金矿产地很少,需要注意对一些非区域性大规模构造破碎带或者韧性剪切带的研究,寻找独立金矿体。

(7)南岭成矿带的宝玉石和观赏石独具特色,一方面在石英脉的晶洞中可以遇到绿柱石、车轮矿、锡石等金属矿物的完美晶体,另一方面由于南岭岩溶发育,在岩溶洞穴中遇到巨大的非金属矿物晶体及其集合体(如萤石、方解石、石英)的可能性比较大,需要注意的是“保护性利用”和“抢救性开发”,尤其是针对香花石、车轮矿、辉铋矿、锰方解石等在南岭成矿带独具特色的矿物晶体,在稀有金属、钨锡矿、铅锌矿、铋矿等有色金属矿山的开采过程中是很可能“偶然遇到”的,是可以预期的。作好对此类矿产资源的预测与科普、宣传、保护工作,至关重要,也是以往不被重视的。

6 结 论

(1)南岭中段矿产资源类型和矿床类型均十分丰富,主要发育有与岩浆作用有关的钨、锡、铅锌、(锂)铷、铌钽、硅灰石等,流体作用有关的硫铁矿、矿泉水和地下水、沉积作用有关的铁、煤、锰、石灰岩、白云岩等。南岭中段矿产受地层、构造和岩浆岩的控制作用显著,主要岩体和层位、深大断裂或深部地幔柱分布区、印支期以来的高演化的花岗岩产出的周缘,均是成矿的有利位置。与岩浆作用有关的成矿作用从早到晚呈现出逐渐增强又趋于平静的演化趋势(Sn 、 $\text{W} \rightarrow \text{Fe}$ 、 Sn 、 $\text{W} \rightarrow \text{Sn}$ 、 W 、 F 、 Mo 、 Pb 、 Zn 、 Au 、 $\text{Ag} \rightarrow \text{Sn}$ 、 Mo 、 Be 、 F 、 U)。

(2)南岭中段自北向南主要包括骑田岭及其邻区和乐昌—韶关—翁源 2 个远景区,主攻方向为石英脉型钨锡矿、矽卡岩型锡矿、岩浆热液充填型铅锌矿、花岗岩(热液)型铀矿、斑岩型铜矿、离子吸附型(轻)重稀土矿等。

(3)南岭中段能源矿产找矿在于岩体与围岩接

触(破碎)带以及区域大型的推覆(滑覆)构造;黑色金属矿产重在寻找前寒武纪地层分布区的变质型铁矿和硫铁矿区风化壳型铁矿;有色金属找矿需注意多元素联合预测,寻找“缺位”矿床、矿种类型;发现、扩展新类型的稀有、稀散金属及研究其成矿机理是有可能取得突破的前提;贵金属矿产找矿难度大,但可以尝试寻找“康家湾式”独立金矿;宝玉石矿以伴生为主,关键是要提高重视和保护,发挥其最大价值。

致谢:感谢《中国矿产地志·南岭卷》全体编人员在资料搜集、整理,图件绘制等方面提供的支持和帮助。成文过程中得到了陈毓川院士和徐志刚研究员的悉心指导,谨致谢忱!

References

- Bai Daoyuan, Chen Jianchao, Ma Tieqiu, Wang Xianhui. 2005. Geochemical characteristics and tectonic setting of Qitianling A-type granitic pluton in southeast Hunan[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 24(4): 255–272 (in Chinese with English abstract).
- Bai Daoyuan, Ma Tieqiu, Wang Xianhui, Zhang Xiaoyang, Chen Bihe. 2008. Progress in the study of Mesozoic tectono-magmatism and mineralization in the central segment of the Nanling Mountains[J]. *Geology in China*, 35(3): 436–455 (in Chinese with English abstract).
- Bai Daoyuan, Tang Fenpei, Li Bin, Zeng Guangqian, Li Yinmin, Jiang Wen. 2022. Summary of main mineralization events in Hunan Province[J]. *Geology in China*, 49(1): 151–180 (in Chinese with English abstract).
- Bai Hui, Qiu Kaiguo, Chen Fugui, Cheng Xingmin, Wang He. 2016. Preliminary study on Nappe in coal-bearing strata in Xinfeng County[J]. *Jiangxi Coal Science and Technology*, (4): 108–109 (in Chinese with English abstract).
- Cai Fucheng, Qin Jinhua, Qin Jinning, Jiang Biguang, Zhu Chengsheng. 2021. Geochemical characteristics and LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of ore-bearing granite of Chuankou intrusion-related tungsten deposit, Hunan Province[J]. *Geology in China*, 48(4): 1212–1224 (in Chinese with English abstract).
- Cai Jinhui, Wei Changshan, Sun Minghui. 2004. A discussion on the ore-forming age of the Bailashui tin deposit in Qitianling, Hunan[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 25(2): 235–238 (in Chinese with English abstract).
- Cai Minghai, Chen Kaixu, Qu Wenjun, Liu Guoqing, Fu Jianming, Yin Jianping. 2006. Geological characteristics and Re-Os dating of molybdenites in Hehuaping tin-polymetallic deposit, southern Hunan Province[J]. *Mineral Deposits*, 25(3): 263–268 (in Chinese with English abstract).
- Cai Minghai, Zhang Wenbin, Peng Zhenan, Liu Hu, Guo Tengfei, Tan

- Zemo, Tang Longfei. 2016. Study on minerogenetic epoch of the Hehuaping tin-polymetallic deposit in southern Hunan[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 32(7): 2111–2123 (in Chinese with English abstract).
- Cai Yang, Ma Dongsheng, Lu Jianjun, Huang Hui, Zhang Rongqin, Qu Wenjun. 2012. Re–Os geochronology and S isotope geochemistry of Dengfuxian tungsten deposit, Hunan Province, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(12): 3798–3808 (in Chinese with English abstract).
- Chen Di, Chen Yanming, Ma Aijun, Liu Wei, Liu Yaorong, Ni Yanjun. 2014. Magma mixing in the Xitian pluton of Hunan Province: Evidence from petrography, geochemistry and zircon U–Pb age[J]. *Geology in China*, 41(1): 61–78 (in Chinese with English abstract).
- Chen Di, Liu Jueyi, Fu Shengyu, Ma Tieqiu, Liu Yaorong. 2017. Petrology, geochemistry, zircon U–Pb age characteristics and significance of Dengfuxian pluton in Hunan Province[J]. *Geological Bulletin of China*, 36(9): 1601–1615 (in Chinese with English abstract).
- Chen Jun, Lu Jianjun, Chen Weifeng, Wang Rucheng, Ma Dongsheng, Zhu Jinchu, Zhang Wenlan, Ji Junfeng. 2008. W–Sn–Nb–Ta-bearing granites in the Nanling Range[J]. *Geological Journal of China Universities*, 14(4): 459–473 (in Chinese with English abstract).
- Chen Peirong, Hua Renmin, Zhang Bangtong, Lu Jianjun, Fan Chunfang. 2002. Early Yanshanian post-orogenic granites in Nanling: Petrological constraints and geodynamic settings[J]. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 32(4): 279–289 (in Chinese).
- Chen Yuchuan, Pei Rongfu, Zhang Hongliang. 1990. The geology of nonferrous and rare metal deposits related to Mesozoic granitoids in the Nanling region, China[J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, (1): 79–85 (in Chinese).
- Chen Yuchuan, Pei Rongfu, Zhang Hongliang, Lin Xinduo, Bai Ge, Li Chongyou, Hu Yongjia, Liu Jinyou, Xian Baiqi. 1989. Nonferrous and Rare Metal Deposits Related to Mesozoic Granitoids in Nanling Area[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–508 (in Chinese).
- Chen Yuchuan, Wang Denghong, Xu Zhigang, Huang Fan. 2014. Outline of regional metallogeny of ore deposits associated with the Mesozoic magmatism in south China[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 38(2): 219–229 (in Chinese with English abstract).
- Cheng Liangkai. 2018. Zircon U–Pb dating and geological significance of Caledonian Dadongshan pluton in the Northern Guangdong province[J]. *South China Geology*, 34(1): 31–40 (in Chinese with English abstract).
- Cheng Shunbo, Fu Jianming, Ma Liyan, Lu Youyue, Wang Xiaodi, Xia Jinlong. 2016. Early Jurassic iron–tin mineralization event in the Nanling Range: Evidence from LA–ICP–MS zircon U–Pb and phlogopite ^{39}Ar – ^{40}Ar dating of the Dading deposit in Lianping, Northern Guangdong[J]. *Acta Geologica Sinica*, 90(1): 163–176 (in Chinese with English abstract).
- Deng Ping, Shen Weizhou, Ling Hongfei, Zhang Liqiang, Zhu Ba, Huang Guolong, Tan Zhengzhong. 2011. SHRIMP zircon U–Pb dating and geochemistry characteristics of Reshui granitic batholith, Northern Guangdong[J]. *Acta Geologica Sinica*, 85(8): 1274–1283 (in Chinese with English abstract).
- Deng Xiangwei, Liu Jishun, Dai Xueling. 2015. Geological characteristics and molybdenite Re–Os isotopic age of Hejiangkou tungsten and tin polymetallic deposit, East Hunan, China[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 25(10): 2883–2897 (in Chinese with English abstract).
- Ding Xing, Chen Peirong, Chen Weifeng, Huang Hongye, Zhou Xinmin. 2005. LA–ICPMS U–Pb dating of zircons from the Weishan granite in Hunan province: Implications for diagenesis[J]. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 35(7): 606–616 (in Chinese).
- Dong Chaoge. 2018. Studies on Granitic and Metallogenic Chronology and Geodynamics of the Xitian Tin–Tungsten and Dengfuxian Tungsten Deposits, Hunan Province, China[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences (Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences), 1–158 (in Chinese with English abstract).
- Dong Shaohua, Bi Xianwu, Hu Ruizhong, Chen Youwei. 2014. Petrogenesis of the Yaogangxian granites and implications for W mineralization Hunan Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(9): 2749–2765 (in Chinese with English abstract).
- Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Caifu, Zhang Yeming, Peng Songbai. 2004. Zircon SHRIMP dating of the Cailing granite on the eastern margin of the Qitianling granite, Hunan, South China, and its significance[J]. *Geology in China*, 31(1): 96–100 (in Chinese with English abstract).
- Fu Jianming, Chen Shunbo, Lu Youyue, Wu Shicong, Ma Liyan, Chen Xiqing. 2012. Geochronology of the greisen–quartz–vein type tungsten–tin deposit and its host granite in Xitian, Hunan Province[J]. *Geology and Exploration*, 48(2): 313–320 (in Chinese with English abstract).
- Gao Jianfeng, Ling Hongfei, Shen Weizhou, Lu Jianjun, Zhang Min, Huang Guolong, Tan Zhengzhong. 2005. Geochemistry and petrogenesis of Lianyang granite composite, west Guangdong Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(6): 1645–1656 (in Chinese with English abstract).
- Gu Xiongfei, Ding Kuishou, Xu Yingnian. 1976. Nanling: A new arsenite mineral from southern China[J]. *Geochimica*, (2): 107–112 (in Chinese).
- Guo Aiming, Chen Bihe, Chen Jianfeng, Du Yun, Zhen Zhengfu, Zhou Chao, Tian Lei, Fan Hui. 2017. SHRIMP zircon U–Pb age of Tashan granitic pluton from Hunan Province and its geological significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 36(Z1): 459–465 (in Chinese with English abstract).
- He Debao. 2017. A Comparative Study on the Metallogenic

- Mechanism of Different Types of Uranium Deposits in Xiazhuang Orefield, North Guangdong, the Nanling Mountain Devonian Stratabound Deposit[D]. Beijing: Beijing Research Institute of Uranium Geology, 1–82 (in Chinese with English abstract).
- Huang Chongke, Zhu Yusheng, Zhang Zhongwei. 1997. The Silver Deposits in Nanling[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–293 (in Chinese with English abstract).
- Huang Huiqing, Li Xianhua, Li Wuxian, Liu Yin. 2008. Age and origin of the Dadongshan granite from the Nanling Range: SHRIMP U–Pb zircon age, geochemistry and Sr–Nd–Hf isotopes[J]. *Geological Journal of China Universities*, 14(3): 317–333 (in Chinese with English abstract).
- Huang Yunhui, Du Shaohua. 1986. The discovery and study of the first new mineral in China: Xianghua stone (1958) [J]. *Bulletin of the Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences*, (18): 1 (in Chinese).
- Jia Dacheng, Hu Ruizhong, Xie Guiqing. 2002. Trace element geochemical characteristics and genesis of Mesozoic mafic dikes in Northeast Hunan Province[J]. *Geology Geochemistry*, 30(3): 33–39 (in Chinese with English abstract).
- Jia Xiaohui, Wang Xiaodi, Yang Wenqiang, Niu Zhijun. 2014. The Early Jurassic A–type granites in Northern Guangxi, China: Petrogenesis and implications[J]. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)*, 39(1): 21–36 (in Chinese with English abstract).
- Jiang H, Jiang S Y, Li W Q, Zhao K D. 2018. Highly fractionated Jurassic I–type granites and related tungsten mineralization in the Shirenzhang deposit, northern Guangdong, South China: Evidence from cassiterite and zircon U–Pb ages, geochemistry and Sr–Nd–Pb–Hf isotopes[J]. *Lithos*, 312–313: 186–203.
- Jiang Y H, Wang G C, Zheng L, Ni C Y, Qing L, Zhang Q. 2015. Repeated slab advance retreat of the Palaeo–Pacific plate underneath SE China[J]. *International Geology Review*, 57(4): 472–491.
- Lai Shouhua. 2014. Research on Mineralization of the Xianghualing Tin Polymetallic Deposit, Hunan Province, China[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 1–142 (in Chinese with English abstract).
- Li Tong, Yuan Huanyu, Wu Shengxi. 1998. On the average chemical composition of granitoids in China and the world[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 22(1): 29–34 (in Chinese with English abstract).
- Li Hongyan, Mao Jingwen, Sun Yali, Zhou Xiaoqiu, He Hongliao, Du Andao. 1996. Re–Os isotopic chronology of molybdenites in the Shizhuyuan polymetallic tungsten deposit, Southern Hunan[J]. *Geological Review*, 42(3): 261–267 (in Chinese with English abstract).
- Li Huaqin, Lu Yuanfa, Wang Denghong, Chen Yuchuan, Yang Hongmei, Guo Jin, Xie Caifu, Mei Yuping, Ma Liyan. 2006. Dating of the rock–forming and ore–forming ages and their geological significances in the Furong ore–field, Qitian Mountain, Hunan[J]. *Geological Review*, 52(1): 113–121 (in Chinese with English abstract).
- Li Jianhua, Zhang Yueqiao, Xu Xianbin, Li Hailong, Dong Shuwen, Li Tingdong. 2014. SHRIMP U–Pb dating of zircons from the Baimashan Longtan super–unit and Wawutang granites in Hunan Province and its geological implication[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 44(1): 158–175 (in Chinese with English abstract).
- Li Sai, Duan Xianzhe, Niu Sujuan, Li Nan, Sun Haoran, Wu Peng, Dai Haotong, Guo Cong, Ding Xinke. 2022. Geochemical characteristics and geodynamic significance of Mesozoic basalts in South China Block[J]. *Geology and Exploration*, 58(5): 1001–1015 (in Chinese with English abstract).
- Li Shunting, Wang Jingbin, Zhu Xinyou, Li Chao. 2011. Re–Os dating of molybdenite and sulfur isotope analysis of the Yaogangxian tungsten polymetallic deposits in Hunan Province and their geological significance[J]. *Geoscience*, 25(2): 228–235 (in Chinese with English abstract).
- Li Shunting, Zhu Xinyou, Wang Jingbin, Wang Yanli, Cheng Xiyin, Jiang Binbin. 2015. Geological and geochemical characteristics of the Yaogangxian complex granitoid and its relationship with tungsten mineralization[J]. *Mineral Exploration*, 6(4): 347–355 (in Chinese with English abstract).
- Li Yong, Zhang Yueqiao, Su Jinbao, Li Jianhua, Dong Shuwen. 2015. Zircon U–Pb dating of Dayishan and Tashan plutons in Hunan Province and its tectonic implications[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 36(3): 303–312 (in Chinese with English abstract).
- Li Yongsheng, Zhen Shimin, Gong Fanyin, Du Zezhong, Jia Delong. 2015. Geological and geochemical characteristics of Yagongtang No. 3 rock mass in Shuikoushan lead–zinc–silver ore field, Hunan[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 35(S1): 708–709 (in Chinese with English abstract).
- Li Zhenhong. 2020. Constraints of the upper mantle and lower crust on the Yanshanian metallogenic granites in the Middle Nanling (Hunan)[J]. *Land and Resources Herald*, 17(1): 27–33 (in Chinese with English abstract).
- Li Ziyang, Huang Zhizhang, Li Xiuzhen. 2011. Guidong Magmatic Rocks and Uranium Mineralization in the Nanling Mountain[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–292 (in Chinese).
- Li X H, Liu D Y, Sun M, Li W X, Liang X R, Liu Y. 2004. Precise Sm–Nd and U–Pb isotopic dating of the supergiant Shizhuyuan polymetallic deposit and its host granite SE China[J]. *Geological Magazine*, 141(2): 225–231.
- Li X H, Li Z X, Li W X, Liu Y, Yuan C, Wei G J, Qi C S. 2007. U–Pb zircon, geochemical and Sr–Nd–Hf isotopic constrains on age and origin of Jurassic I– and A–type granites from central Guangdong, SE China: A major igneous event in response to foundering of a sub–ducted flat–slab?[J]. *Lithos*, 96: 186–204.
- Liang Xinquan, Li Xianhua, Qiu Yuanxi, Yang Dongsheng. 2005. Indosinian collisional orogeny: Evidence from structural and

- sedimentary geology in Shiwandashan, South China[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 29(1): 99–112 (in Chinese with English abstract).
- Liao Sen, Zou Zhenwei, Xie Gang. 2017. Geological structure characteristics of Xinfeng Daqiao coalfield[J]. *Resource Information and Engineering*, 32(6): 55–56 (in Chinese with English abstract).
- Liao Yuzhong. 2019. The Qianlishan Granite Genetically Related to the Zoning of Shizhuyuan Ore-field[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 1–197 (in Chinese with English abstract).
- Lin Kun, Li Haidong, Liu Bin, Long Ziqiang, Wu Jianyong. 2021. Zircon U–Pb chronology and Hf isotope composition of porphyritic dacite in Hekou rock mass of northern Guangdong and their geological implications[J]. *Geology and Exploration*, 57(2): 392–401 (in Chinese with English abstract).
- Lin Xiaoming, Li Hongwei, Huang Jianye, Lou Feng. 2016. LA–ICP–MS zircon U–Pb dating of Shibeit pluton at Dading iron mine area in Lianping, Guangdong and its geological significance[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 55(1): 131–136 (in Chinese with English abstract).
- Liu Chang, Tian Jianji, He Debao, Wang Wenquan, Li Junyang, Liu Wei. 2022. The uranium occurrence and paragenetic association of minerals in the Shuikoushan Pb–Zn polymetallic orefield, Hunan Province[J]. *Geology and Exploration*, 58(1): 1–11 (in Chinese with English abstract).
- Liu Guoqing, Wu Shicong, Du Andao, Fu Jianming, Yang Xiaojun, Tang Zhihua, Wei Junqi. 2008. Metallogenic ages of the Xitian tungsten–tin deposit, eastern Hunan Province[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 32(1): 63–71 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xiaofei. 2014. *Geology, Geochemistry and Genesis of the Jinchuantang Tin–Bismuth Deposit, Hunan Province*[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 1–80 (in Chinese with English abstract).
- Liu X H, Li B, Xu J W, He B, Liao J, Peng H W, Wang Y H, Lai J Q. 2022. Monazite geochronology and geochemistry constraints on the formation of the giant Zhengchong Li–Rb–Cs deposit in South China[J]. *Ore Geology Reviews*, 150: 105147.
- Liu Youyue, Fu Jianming, Chen Shunbo, Ma Liyan, Zhang Kun. 2013. SHRIMP zircon U–Pb geochronology of the ore-bearing granite porphyry in the Jiepailing tin–polymetallic deposit, Southern Hunan province[J]. *South China Geology*, 29(3): 199–206 (in Chinese with English abstract).
- Lu Yuanfa, Ma Liyan, Qu Wenjun, Mei Yuping, Chen Xiqing. 2006. U–Pb and Re–Os isotope geochronology of Baoshan Cu–Mo polymetallic ore deposit in Hunan province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(10): 2483–2492 (in Chinese with English abstract).
- Ma Liyan, Lu Yuanfa, Mei Yuping, Chen Xiqing, Yang Hongmei. 2005. Rb–Sr isotopic ages of the Furong tin orefield in Hunan and their implications[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 26(S1): 143–145 (in Chinese with English abstract).
- Ma Liyan, Lu Yuanfa, Qu Wenjun, Fu Jianming. 2007. Re–Os isotopic chronology of molybdenites in Huangshaping lead–zinc deposit, southeast Hunan, and its geological implications[J]. *Mineral Deposits*, 26(4): 425–431 (in Chinese with English abstract).
- Ma Liyan, Lu Yuanfa, Fu Jianfa, Chen Xiqing, Chen Shunbo. 2010. The Rb–Sr and Sm–Nd geochronology constraints on the formation age of Jinchuantang and Hongqiling tin–polymetallic deposits in Dongpo orefield, Hunan Province[J]. *South China Geology*, 26(4): 23–29 (in Chinese with English abstract).
- Ma Liyan, Liu Shusheng, Fu Jianming, Chen Shunbo, Lu Youyue, Mei Yuping. 2016. Petrogenesis of the Tashan–Yangmingshan granitic batholiths: Constraint from zircon U–Pb age, geochemistry and Sr–Nd isotopes[J]. *Acta Geologica Sinica*, 90(2): 284–303 (in Chinese with English abstract).
- Ma Tieqiu, Bai Daoyuan, Kuang Jun, Wang Xianhui. 2005. Zircon SHRIMP dating of the Xitian granite pluton, Chaling, southeastern Hunan, and its geological significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 24(5): 415–419 (in Chinese with English abstract).
- Ma Xinghua, Chen Bin, Wang Zhiqiang, Gao Lin, Sun Keke. 2014. Petrogenesis of the Lianyang composite granite, Nanling region: U–Pb zircon geochronology, geochemistry and Nd–Hf isotopes constraints[J]. *Earth Science Frontiers*, 21(6): 264–280 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Cheng Y B, Chen M H. 2013. Major types and time–space distribution of Mesozoic ore deposits in South China and their geodynamic settings[J]. *Mineralium deposita*, 48(3): 267–294.
- Mao Jinwen, Li Hongyan, Pei Rongfu. 1995. Nd–Sr isotopic and petrogenetic studies of the Qianlishan granite stock, Hunan Province[J]. *Mineral Deposits*, 14(3): 235–242 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Li Xiaofeng, Bernd Lehmann, Chenwen, Lan Xiaoming, Wei Shaoliu. 2004. ^{40}Ar – ^{39}Ar dating of tin ores and related granite in Furong tin orefield, Hunan Province, and its geodynamic significance[J]. *Mineral Deposits*, 23(2): 164–175 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Xie Guiqing, Guo Chunli, Chen Yuchuan. 2007. Large–scale tungsten–tin mineralization in the Nanling region, South China: Metallogenic ages and corresponding geodynamic processes[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(10): 2329–2338 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Xie Guiqing, Guo Chunli, Yuan Shunda, Chen Yanbo, Chen Yuchuan. 2008. Spatial–temporal distribution of Mesozoic ore deposits in South China and their metallogenic settings[J]. *Geological Journal of China Universities*, 14(4): 510–526 (in Chinese with English abstract).
- Mi Jiuru, Yuan Shunda, Xuan Yisa, Zhang Dongliang. 2018. Zircon U–Pb ages, Hf isotope and trace element characteristics of the granodiorite porphyry from the Baoshan–Dafang ore district, Hunan: Implications for regional metallogeny[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 34(9): 2548–2564 (in Chinese with English abstract).

- Mo Zhusun, Ye Bodan, Pan Weizu. 1980. Geology of the Nanling Mountain Granite[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–363 (in Chinese).
- Peng Jiantang, Hu Ruizhong, Bi Xianwu, Dai Tongmo, Li Zhaoli, Li Xiaomin, Shuang Yan, Yuan Shunda, Liu Shirong. 2007. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotopic dating of tin mineralization in Furong deposit of Hunan Province and its geological significance[J]. Mineral Deposits, 26(3): 237–248 (in Chinese with English abstract).
- Peng Nengli, Wang Xianhui, Yang Jun, Chen Di, Luo Lai, Luo Peng, Liu Tianyi. 2017. Re–Os dating of molybdenite from Sanjiaotan tungsten deposit in Chuankou area, Hunan Province, and its geological implications[J]. Mineral Deposits, 36(6): 1402–1414 (in Chinese with English abstract).
- Qin J H, Wang D H, Li C, Chen Y C, Cai F C. 2020. The molybdenite Re–Os isotope chronology, in situ scheelite and wolframite trace elements and Sr isotope characteristics of the Chuankou tungsten ore field, South China[J]. *Ore Geology Reviews*, 126: 103756–103775.
- Qin J H, Wang D H, Chen Y C. 2022. Geochemical and geochronological constraints on a granitoid containing the largest Indosinian tungsten (W) deposit in South China (SC): Petrogenesis and implications[J]. Minerals, 12(80): 1–33.
- Qin Jinhua, Wang Chenghui, Chen Yuchuan, Zhao Ruyi. 2022. Mineralogical characteristics and geological significance of beryl and muscovite from Yiliu deposit in middle of Nanling metallogenic belt[J]. Mineral Deposits, 41(5): 1025–1041 (in Chinese with English abstract).
- Qin Zhengwei, Fu Jianming, Xing Guangfu, Cheng Shunbo, Lu Youyue, Zhu Yingxue. 2022. The petrogenetic differences of the Middle–Late Jurassic W–, Sn–, Pb–Zn–Cu–bearing granites in the Nanling Range, South China[J]. Geology in China, 49(2): 518–539 (in Chinese with English abstract).
- Quan Tiejun, Kong Hua, Wang Gao, Fei Lidong, Guo Biying, Zhao Zhiqiang. 2012. Petrogenesis of the granites in the Huangshaping area: Constraints from petrochemistry, zircon U–Pb chronology and Hf isotope[J]. Geotectonica et Metallogenia, 36(4): 597–606 (in Chinese with English abstract).
- Rao C, Gu X, Wang R, Xia Q, Cai Y, Dong C, Hatert F, Hao Y. 2022. Chukochenite, $(\text{Li}_{0.5}\text{Al}_{0.5})\text{Al}_2\text{O}_4$, a new lithium ox spinel mineral from the Xianghualing skarn, Hunan province, China. American Mineralogist[J], 107(5/6): 842–847.
- Shan Zhibo. 2014. Zircon U–Pb Geochronology, Geochemistry and Petrogenesis of the Taocunba Granite, Northern Guangdong Province Deposit in Lianping, Northern Guangdong[D]. Naniing: Nanjing University, 1–52 (in Chinese with English abstract).
- Shu Liangshu, Zhou Shuming, Deng Ping, Yu Xinqi, Wang Bin, Zu fuping. 2004. Geological features and tectonic evolution of Meso–Cenozoic basins in southeastern China[J]. Geological Bulletin of China, 23(9): 876–884 (in Chinese with English abstract).
- Shu Liangshu, Zhou Shuming, Deng Ping, Yu Xinqi. 2006. Principal geological features of Nanling tectonic belt, South China[J]. Geological Review, 52(2): 251–265 (in Chinese with English abstract).
- Sun Tao, Zhou Xinmin, Chen Peirong, Li Huimin, Zhou Hongying, Wang Zhicheng, Shen Weizhou. 2003. Genesis and tectonic significance of Mesozoic strong peraluminous granites in eastern Nanling[J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 33(12): 1209–1218 (in Chinese).
- Sun Yinchao, Chen Zhenhui, Zhao Guochun, Huang Hongxin, Zeng Le, Yan Chao, Wu Shicong. 2017. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of muscovite from the contact zone of granite–aplite in the Dengfuxian W–Nb–Ta deposit and its geological significance[J]. Geological Bulletin of China, 36(2): 466–476 (in Chinese with English abstract).
- Wang Qunying, Lu Yuanfa, Chen Zhenhui, Ye Shiwen, Huang Hongxin. 2015. Fluid inclusion characteristic and ore–bearing granite U–Pb age of the Dengbuxian tungsten deposit, Hunan Province[J]. South China Geology, 31(1): 77–88 (in Chinese with English abstract).
- Wang Chenghui, Wang Denghong, Qin Jinhua, Li Jiankang, Liu Shanbao, Chen Zhenyu. 2021. Discovery of granitic pegmatite type beryllium ore deposit in middle of Nanling metallogenic belt[J]. Mineral Deposits, 40(2): 398–401 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong. 1998. Mantle Plume and Mineralization[M]. Beijing: Seismological Press, 1–160 (in Chinese).
- Wang Denghong, Li Jiangkang, Ying Lijuan, Chen Zhenghui, Chen Yuchuan. 2007. Thinking of applying the concept of full mineralization and missing prospecting to find platinum group element deposits[J]. Journal of Mineralogy, (Z1): 460–462 (in Chinese).
- Wang Denghong, Li Huaqin, Qin Yan, Mei Yuping, Chen Zhenhui, Qu Wenjun, Wang Yanbin, Cai Hong, Gong Shuqing, He Xiaoping. 2009. Rock–forming and ore–forming ages of the Yaogangxian tungsten deposit of Hunan Province[J]. Rock and Mineral Analysis, 28(3): 201–208 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Chen Zhenhui, Chen Yuchuan, Tang Juxing, Li Jiankang, Ying Lijuan, Wang Chenghui, Liu Shanbao, Li Xingli, Qin Yan, Li Huaqin, Qu Wenjun, Wang Yanbin, Chen Wen, Zhang Yan. 2010. New data of the rock–forming and ore–forming chronology for China's important mineral resources areas[J]. Acta Geologica Sinica, 84(7): 1030–1040 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Chen Zhenyu, Huang Fan, Wang Chenghui, Zhao Zhi, Chen Zhenhui, Zhao Zheng, Liu Xinxing. 2014. Discussion on metallogenic specialization of the magmatic rocks and related issues in the Nanling region[J]. Geotectonica et Metallogenia, 38(2): 230–238 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Liu Lijun, Hou Jianglong, Dai Hongzhang, Yu Yang,

- Dai Jingjing, Tian Shihong. 2017. A preliminary review of the application of "Five levels + Basement" model for Jiajika-style rare metal deposits[J]. *Earth Science Frontiers*, 24(5): 1-7 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jun, Lai Zhongxin, Zhang Huiren, Hu Gang, Yang Kunguang. 2011. The characteristics of pluton and its tectonic environment in Xiazhuang ore-field, North Guangdong[J]. *Uranium Geology*, 27(3): 136-145 (in Chinese with English abstract).
- Wang Kaixing, Chen Weifeng, Chen Peirong, Zhang Jian. 2012. LA-ICP-MS zircon geochronology, geochemistry and petrogenesis of the Yajiangqiao and Wufengxian intrusions in central Hunan[C]//Proceedings of the National Symposium on the Construction of Uranium Mining Base (Part 1): 486-494 (in Chinese with English abstract).
- Wang Rucheng, Xie Lei, Zhu Zeyin, Hu Huan. 2018. Micas: Important indicators of granite-pegmatite-related rare-metal mineralization [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 35(1): 69-75 (in Chinese with English abstract).
- Wu Guangying. 2005. The Yanshanian Granitoids and Their Cosmical Mineralization Interaction in Poly Metallogenic Deposit-concentrated, Area in Southeastern Hunan[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 1-218 (in Chinese with English abstract).
- Wu Guangying, Ma Tieqiu, Bai Daoyuan, Li Jindong, Che Qinjian, Wang Xianhui. 2005. Petrological and geochemical characteristics of granodioritic crypto explosion breccia and zircon SHRIMP dating in the Baoshan area, Hunan Province[J]. *Geoscience*, 19(2): 198-204 (in Chinese with English abstract).
- Wu Jiguang. 2013. LA-ICPMS U-Pb dating of zircons in dacite porphyry at North Guidong pluton in Nanling Mountain and its geological significance[J]. *Uranium Geology*, 29(5): 268-273, 262 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Hongquan, Zhao Kuidong, Jiang Shaoyong, Jiang Yaohui, Ling Hongfei. 2003. Lead isotope geochemistry and ore-forming age of Jinchuantang Sn-Bi deposit in Dongpo ore field, Hunan Province[J]. *Mineral Deposits*, 22(3): 264-270 (in Chinese with English abstract).
- Xie Yincui. 2013. Genesis of the Granodiorite Porphyry and Sources of Metallogenic Materials in the Baoshan Pb-Zn Polymetallic Deposit, Southern Hunan Province[D]. Nanjing: Nanjing University, 1-104 (in Chinese with English abstract).
- Xu Xisheng, Deng Ping, O'Reilly S Y, Griffin W L, Zhou Xinmin, Tan Zhengzhong. 2003. ICPMS U-Pb dating of single-grain zircon from the Guidong complex in South China and its diagenetic significance[J]. *Chinese Science Bulletin*, 48(12): 1328-1334 (in Chinese with English abstract).
- Xu Zhigang, Chen Yuchuan, Wang Denghong, Chen Zhenghui, Li Houmin. 2008. The Scheme of the Classification of the Minerogenetic Units in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1-138 (in Chinese with English abstract).
- Yao Junming, Hua Renming, Lin Jinfu. 2005. Zircon LA-ICPMS U-Pb dating and geochemical characteristics of Huangshaping granite in southeast Hunan province, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 688-696 (in Chinese with English abstract).
- Yao Yuan. 2013. Magnesian and Calcic Skarn Type Tin-polymetallic Mineralization in the Nanling Range: A Case Study from Hehuaping and Xitian[D]. Nanjing: Nanjing University, 1-151 (in Chinese with English abstract).
- Yuan S D, Peng J T, Shen N P, Hu R Z, Dai T M. 2007. ^{40}Ar - ^{39}Ar isotopic dating of the Xianghualing, Hunan, Sn-polymetallic ore field and its geological implications[J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 81(2): 278-286.
- Yuan S D, Mao J W, Cook N J, Wang X D, Liu X F, Yuan Y B. 2015. A Late Cretaceous tin metallogenic event in Nanling W-Sn metallogenic province: Constraints from U-Pb, Ar-Ar geochronology at the Jiepailing Sn-Be-F deposit, Hunan, China[J]. *Ore Geology Reviews*, 65: 283-293.
- Yuan Shunda, Liu Xiaofei, Wang Xudong, Wu Shenghua, Yuan Yabing, Li Xuekai, Wang Tiezhu. 2012. Geological characteristics and ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology of the Hongqiling tin deposit in southern Hunan Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(12): 3787-3797 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Shunda. 2017. Several crucial scientific issues related to the W-Sn metallogenesis in the Nanling Range and their implications for regional exploration: A review[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 36(5): 736-749 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Yunfu, Shen Qilin, Zhang Jinquan, Chi Sanchuan, Ge Chaohua, Liu Wenjun, Xu Xinhuang, et al. 1987. The Nanling Mountain Devonian stratabound deposit[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Zhang Min, Chen Peirong, Zhang Wenlan, Chen Weifeng, Li Huimin, Zhang Mengqun. 2003. Geochemical characteristics and petrogenesis of Dadongshan granite pluton in mid Nanling Range[J]. *Geochimica*, (6): 529-539 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Rongqing, Lu Jianjun, Wang Rucheng, Yao Yuan, Ding Teng, Hu Jiabin, Zhang Huaifeng. 2016. Petrogenesis of W- and Sn-bearing granites and the mechanism of their metallogenic diversity in the Wangxianling area, southern Hunan Province[J]. *Geochimica*. 45(2): 105-132 (in Chinese with English abstract).
- Zhang R Q, Lu J J, Wang R C, Yang P, Zhu J C, Yao Y A, Gao J F, Li Chao, Lei Z H, Zhang W L, Guo W M. 2015. Constraints of in situ zircon and cassiterite U-Pb, molybdenite Re-Os and muscovite ^{40}Ar - ^{39}Ar ages on multiple generations of granitic magmatism and related W-Sn mineralization in the Wangxianling area, Nanling Range, South China[J]. *Ore Geology Reviews*, 65: 1021-1042.
- Zhang Shuming, Zhou Weixun, Wu Jianhua. 2002. Discrimination of volcanic rocks in Xiazhuang uranium ore-field and its comparison with volcanic rocks of the same period in adjacent areas[J].

- Uranium Geology, 18(4): 202–209 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xiaojun, Luo Hua, Wu Zhihua, Fan Xianwang, Xiong Jun, Yang Jie, Mou Jinyi. 2014. Rb–Sr isochron age and its geological significance of Baishaziling tin deposit in Dayishan ore field, Hunan Province[J]. Earth Science, 39(10): 1422–1432 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Chunlin. 1964. Liberite ($\text{Li}_2\text{BeSiO}_4$): A new lithium–beryllium silicate mineral from the Nanling Ranges, South China[J]. Acta Geologica Sinica, 44(3): 334–342 (in Chinese).
- Zhao Ruyi, Wang Denghong, Wang Yaowu, Chen Yuchuan, Liu Wusheng, Zhang Xiong, Jiang Jinchang, Liu Zhanqing, Li Tingjie, Wang Langen, Ying Lijuan. 2020. A prospecting breakthrough and progress in the Dabaoshan porphyry copper deposit in Guangdong Province[J]. Acta Geologica Sinica, 94(1): 204–216 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhi, Wang Denghong, Chen Zhenhui, Chen Zhenyu. 2017. Progress of research on metallogenic regularity of ion–adsorption type REE deposit in the Nanling Range[J]. Acta Geologica Sinica, 91(12): 2814–2827 (in Chinese with English abstract).
- Zhen Shiming, Zhu Xinyou, Li Yongsheng, Du Zezhong, Gong Fanyin, Gong Xiaodong, Qi Fanyu, Jia Delong, Wang Lulin. 2012. Zircon U–Pb geochronology and Hf isotopic compositions of the monzonite, related to the Xianrenyan gold deposit in Hunan Province and its geological significances[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 42(6): 1740–1756 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Jiahao, Guo Chunli. 2012. Geochronology, geochemistry and zircon Hf isotopes of the Wangxianling granitic intrusion in South Hunan Province and its geological significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 28(1): 75–90 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Jiyan, Du Siqing, Wei Xiangui. 1980. Discussion on structural system and coal prospecting direction in Xinfeng bridge coalfield area, Jiangxi Province[J]. Journal of Chengdu College of Geology, (2): 28–44 (in Chinese).
- Zhou X M, Sun T, Shen W Z, Shu L S, Niu Y L. 2006. Petrogenesis of Mesozoic granitoids and volcanic rocks in South China: A response to tectonic evolution[J]. Episodes, 29(1): 26–33.
- Zhou Yun, Liang Xinquan, Liang Xirong, Wu Shi, Cong Jiangying, Wen Shunv, Cai Yongfeng. 2013. Chronology and geochemical characteristics of W–Sn A–type granite in Xitian, Hunan[J]. Geotectonica et Metallogenia, 37(3): 511–529 (in Chinese with English abstract).
- Zou Dongfeng, Li Fanglin, Zhang Shuang, Huang Bin, Zong Keqing. 2011. Timing of No. 335 ore deposit in Xiashuang uranium orefield, northern Guangdong Province: Evidence from LA–ICP–MS U–Pb dating of pitchblende[J]. Mineral Deposits, 30(5): 912–922 (in Chinese with English abstract).
- Zuo Changhu, Lu Rui, Zhao Zengxia, Xu Zhaowen, Lu Jianjun, Wang Ru Cheng, Chen Jinqian. 2014. Characterization of element geochemistry, LA–ICP–MS zircon U–Pb age, and Hf isotope of granodiorite in the Shuikoushan deposit, Changning, Hunan Province[J]. Geological Review, 60(4): 811–823 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 柏道远, 陈建超, 马铁球, 王先辉. 2005. 湘东南骑田岭岩体 A 型花岗岩的地球化学特征及其构造环境[J]. 岩石矿物学杂志, 24(4): 255–272.
- 柏道远, 马铁球, 王先辉, 张晓阳, 陈必河. 2008. 南岭中段中生代构造–岩浆活动与成矿作用研究进展[J]. 中国地质, 35(3): 436–455.
- 柏道远, 唐分配, 李彬, 曾广乾, 李银敏, 姜文. 2022. 湖南省成矿地质事件纲要[J]. 中国地质, 49(1): 151–180.
- 伯慧, 邱开国, 陈富贵, 程星敏, 王鹤. 2016. 江西省信丰县含煤地层中推覆体的初步研究[J]. 江西煤炭科技, (4): 108–109.
- 蔡富成, 秦锦华, 覃金宁, 姜必广, 朱成生. 2021. 湖南川口岩体型钨矿赋花岗岩地球化学特征及 LA–ICP–MS 锆石 U–Pb 定年[J]. 中国地质, 48(4): 1212–1224.
- 蔡锦辉, 韦昌山, 孙明慧. 2004. 湖南骑田岭白腊水锡矿床成矿年龄讨论[J]. 地球学报, 25(2): 235–238.
- 蔡明海, 陈开旭, 屈文俊, 刘国庆, 付建明, 印建平. 2006. 湘南荷花坪锡多金属矿床地质特征及辉钼矿 Re–Os 测年[J]. 矿床地质, 25(3): 263–268.
- 蔡明海, 张文兵, 彭振安, 刘虎, 郭腾飞, 谭泽模, 唐龙飞. 2016. 湘南荷花坪锡多金属矿床成矿年代研究[J]. 岩石学报, 32(7): 2111–2123.
- 蔡杨, 马东升, 陆建军, 黄卉, 章荣清, 屈文俊. 2012. 湖南邓阜仙钨矿辉钼矿铷–钪同位素定年及硫同位素地球化学研究[J]. 岩石学报, 28(12): 3798–3808.
- 陈迪, 陈焰明, 马爱军, 刘伟, 刘耀荣, 倪艳军. 2014. 湖南锡田岩体的岩浆混合成因: 岩相学、岩石地球化学和 U–Pb 年龄证据[J]. 中国地质, 41(1): 61–78.
- 陈迪, 刘珏璐, 付胜云, 马铁球, 刘耀荣. 2017. 湖南邓阜仙岩体地质地球化学特征、锆石 U–Pb 年龄及其意义[J]. 地质通报, 36(9): 1601–1615.
- 陈骏, 陆建军, 陈卫锋, 王汝成, 马东升, 朱金初, 张文兰, 季峻峰. 2008. 南岭地区钨锡铋钽花岗岩及其成矿作用[J]. 高校地质学报, 14(4): 459–473.
- 陈培荣, 华仁民, 章邦桐, 陆建军, 范春方. 2002. 南岭燕山早期后造山花岗岩类: 岩石学制约和地球动力学背景[J]. 中国科学 (D 辑: 地球科学), 32(4): 279–289.
- 陈毓川, 裴荣富, 张宏良, 林新多, 白鸽, 李崇佑, 胡永嘉, 刘娟群, 洗柏琪. 1989. 南岭地区与中生代花岗岩类有关的有色及稀有金属矿床地质[M]. 北京: 地质出版社, 1–508.
- 陈毓川, 裴荣富, 张宏良. 1990. 南岭地区与中生代花岗岩类有关的有色、稀有金属矿床地质[J]. 中国地质科学院院报, (1): 79–85.
- 陈毓川, 王登红, 徐志刚, 黄凡. 2014. 华南区域成矿和中生代岩浆成矿规律概要[J]. 大地构造与成矿学, 38(2): 219–229.
- 程亮开. 2018. 粤北大东山岩体加里东期花岗岩锆石 U–Pb 年龄及地质意义[J]. 华南地质与矿产, 34(1): 31–40.

- 程顺波, 付建明, 马丽艳, 卢友月, 王晓地, 夏金龙. 2016. 南岭地区早侏罗世成矿作用——来自粤北大顶铁锡矿床 LA-ICP-MS 和 Ar-Ar 年代学证据[J]. *地质学报*, 90(1): 163-176.
- 邓平, 沈渭洲, 凌洪飞, 孙立强, 朱捌, 黄国龙, 谭正中. 2011. 粤北热水岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及地球化学特征研究[J]. *地质学报*, 85(8): 1274-1283.
- 邓湘伟, 刘继顺, 戴雪灵. 2015. 湘东锡田合江口锡钨多金属矿床地质特征及辉钼矿 Re-Os 同位素年龄[J]. *中国有色金属学报*, 25(10): 2883-2897.
- 丁兴, 陈培荣, 陈卫锋, 黄宏业, 周新民. 2005. 湖南浏山花岗岩中锆石 LA-ICPMS U-Pb 定年: 成岩启示和意义[J]. *中国科学 (D 辑: 地球科学)*, 35(7): 606-616.
- 董超阁. 2018. 湖南锡田锡钨矿床和邓阜仙钨矿床成岩成矿年代学及动力学研究[D]. 广州: 中国科学院大学 (中国科学院广州地球化学研究所), 1-158.
- 董少花, 毕献武, 胡瑞忠, 陈佑纬. 2014. 湖南瑶岗仙复式花岗岩岩体成因及与钨成矿关系[J]. *岩石学报*, 30(9): 2749-2765.
- 付建明, 马昌前, 谢才富, 张业明, 彭松柏. 2004. 湖南骑田岭岩体东缘莱岭岩体的锆石 SHRIMP 定年及其意义[J]. *中国地质*, 31(1): 96-100.
- 付建明, 程顺波, 卢友月, 伍式崇, 马丽艳, 陈希清. 2012. 湖南锡田云英岩-石英脉型钨锡矿的形成时代及其赋矿花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年[J]. *地质与勘探*, 48(2): 313-320.
- 高剑峰, 凌洪飞, 沈渭洲, 陆建军, 张敏, 黄国龙, 谭正中. 2005. 粤西连阳复式岩体的地球化学特征及其成因研究[J]. *岩石学报*, 21(6): 1645-1656.
- 顾雄飞, 丁奎首, 徐英年. 1976. 南岭石——一种新的亚砷酸盐矿物[J]. *地球化学*, (2): 107-112.
- 郭爱民, 陈必河, 陈剑锋, 杜云, 郑正福, 周超, 田磊, 樊晖. 2017. 湖南塔山花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *地质通报*, 36(Z1): 459-465.
- 何德宝. 2017. 粤北下庄矿田不同类型铀矿床成矿机制对比研究[D]. 北京: 核工业北京地质研究院, 1-82.
- 黄崇轲, 朱裕生, 张忠伟. 1997. 南岭银矿[M]. 北京: 地质出版社, 1-293.
- 黄会清, 李献华, 李武显, 刘颖. 2008. 南岭大东山花岗岩的形成时代与成因——SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄、元素和 Sr-Nd-Hf 同位素地球化学[J]. *高校地质学报*, 14(3): 317-333.
- 黄蕴慧, 杜绍华. 1986. 我国第一个新矿物——香花石的发现及研究(1958)[J]. *中国地质科学院矿床地质研究所文集*, (18): 1.
- 贾大成, 胡瑞忠, 谢桂青. 2002. 湘东北中生代基性岩脉微量元素地球化学特征及岩石成因[J]. *地质地球化学*, 30(3): 33-39.
- 贾小辉, 王晓地, 杨文强, 牛志军. 2014. 桂北圆石山早侏罗世 A 型花岗岩的岩石成因及意义[J]. *地球科学 (中国地质大学学报)*, 39(1): 21-36.
- 来守华. 2014. 湖南香花岭锡多金属矿床成矿作用研究[D]. 北京: 中国地质大学 (北京), 1-142.
- 黎彤, 袁怀雨, 吴胜昔. 1998. 中国花岗岩类和世界花岗岩类平均化学成分的对比如研究[J]. *大地构造与成矿学*, 22(1): 29-34.
- 李红艳, 毛景文, 孙亚利, 邹晓秋, 何红蓼, 杜安道. 1996. 柿竹园钨多金属矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄研究[J]. *地质论评*, 42(3): 261-267.
- 李华芹, 路远发, 王登红, 陈毓川, 杨红梅, 郭敬, 谢才富, 梅玉萍, 马丽艳. 2006. 湖南骑田岭芙蓉矿田成岩成矿时代的厘定及其地质意义[J]. *地质论评*, 52(1): 113-121.
- 李建华, 张岳桥, 徐先兵, 李海龙, 董树文, 李廷栋. 2014. 湖南白马山龙潭超单元、瓦屋塘花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *吉林大学学报 (地球科学版)*, 44(1): 158-175.
- 李赛, 段先哲, 牛苏娟, 李南, 孙浩然, 吴鹏, 戴浩鐘, 郭聪, 丁心科. 2022. 华南中生代玄武岩地球化学特征及其地球动力学意义[J]. *地质与勘探*, 58(5): 1001-1015.
- 李顺庭, 王京彬, 祝新友, 李超. 2011. 湖南瑶岗仙钨多金属矿床辉钼矿 Re-Os 同位素定年和硫同位素分析及其地质意义[J]. *现代地质*, 25(2): 228-235.
- 李顺庭, 祝新友, 王京彬, 王艳丽, 程细音, 蒋斌斌. 2015. 瑶岗仙复式岩体地质地球化学特征及其与成矿的关系[J]. *矿产勘查*, 6(4): 347-355.
- 李勇, 张岳桥, 苏金宝, 李建华, 董树文. 2015. 湖南大义山、塔山岩体锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. *地球学报*, 36(3): 303-312.
- 李永胜, 甄世民, 公凡影, 杜泽忠, 贾德龙. 2015. 湖南水口山铅锌金银矿田鸭公塘 3 号岩体地质及地球化学特征[J]. *矿物学报*, 35(S1): 708-709.
- 李振红. 2020. 南岭中段 (湖南段) 上地幔-下地壳对燕山期成矿花岗岩的约束[J]. *国土资源导刊*, 17(1): 27-33.
- 李子颖, 黄志章, 李秀珍. 2011. 南岭贵东岩浆岩与铀成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 1-292.
- 梁新权, 李献华, 丘元禧, 杨东生. 2005. 华南印支期碰撞造山——十万大山盆地构造和沉积学证据[J]. *大地构造与成矿学*, 29(1): 99-112.
- 廖森, 邹振威, 谢刚. 2017. 信丰大桥煤田地质构造特征[J]. *资源信息与工程*, 32(6): 55-56.
- 廖煜钟. 2019. 千里山花岗岩及其与柿竹园矿田矿化分带的成因联系[D]. 北京: 中国地质大学 (北京), 1-197.
- 林坤, 李海东, 刘斌, 龙自强, 吴建勇. 2021. 粤北河口岩体次英安斑岩锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素特征及其地质意义[J]. *地质与勘探*, 57(2): 392-401.
- 林小明, 李宏卫, 黄建桦, 娄峰. 2016. 广东连平大顶铁矿区石背岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. *中山大学学报 (自然科学版)*, 55(1): 131-136.
- 刘畅, 田建吉, 何德宝, 王文全, 李君阳, 刘威. 2022. 湖南水口山铅锌多金属矿田中铀的赋存状态及其共生矿物组合[J]. *地质与勘探*, 58(1): 1-11.
- 刘国庆, 伍式崇, 杜安道, 付建明, 杨晓君, 汤质华, 魏君奇. 2008. 湘东锡田钨锡矿区成岩成矿时代研究[J]. *大地构造与成矿学*, 32(1): 63-71.
- 刘晓菲. 2014. 湖南金船塘钨铋矿床地质地球化学特征及成因探讨[D]. 北京: 中国地质大学 (北京), 1-80.
- 卢友月, 付建明, 程顺波, 马丽艳, 张鲲. 2013. 湘南界牌岭锡多金属矿床含矿花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学研究[J]. *华南地质与矿产*, 29(3): 199-206.

- 路远发, 马丽艳, 屈文俊, 梅玉萍, 陈希清. 2006. 湖南宝山铜-钨多金属矿床成岩成矿的 U-Pb 和 Re-Os 同位素定年研究[J]. *岩石学报*, 22(10): 2483-2492.
- 马丽艳, 路远发, 梅玉萍, 陈希清, 杨红梅. 2005. 湖南芙蓉锡矿田 Rb-Sr 同位素年龄及其地质意义[J]. *地球学报*, 26(S1): 143-145.
- 马丽艳, 路远发, 屈文俊, 付建明. 2007. 湖南黄沙坪铅锌多金属矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄及其地质意义[J]. *矿床地质*, 26(4): 425-431.
- 马丽艳, 路远发, 付建明, 陈希清, 程顺波. 2010. 湖南东坡矿田金船塘、红旗岭锡多金属矿床 Rb-Sr、Sm-Nd 同位素年代学研究[J]. *华南地质与矿产*, 26(4): 23-29.
- 马丽艳, 刘树生, 付建明, 程顺波, 卢友月, 梅玉萍. 2016. 湖南塔山、阳明山花岗岩的岩石成因: 来自锆石 U-Pb 年龄、地球化学及 Sr-Nd 同位素证据[J]. *地质学报*, 90(2): 284-303.
- 马铁球, 柏道远, 邝军, 王先辉. 2005. 湘东南茶陵地区锡田岩体锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. *地质通报*, 24(5): 415-419.
- 马星华, 陈斌, 王志强, 高林, 孙克克. 2014. 南岭连阳复式岩体成因: 锆石 U-Pb 年代学、地球化学和 Nd-Hf 同位素约束[J]. *地学前缘*, 21(6): 264-280.
- 毛景文, 李红艳, 裴荣富. 1995. 湖南千里山花岗岩体的 Nd-Sr 同位素及岩石成因研究[J]. *矿床地质*, 14(3): 235-242.
- 毛景文, 李晓峰, Bernd Lehmann, 陈文, 蓝晓明, 魏绍六. 2004. 湖南芙蓉锡矿床锡矿和有关花岗岩的⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄及其地球动力学意义[J]. *矿床地质*, 23(2): 164-175.
- 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 陈毓川. 2007. 南岭地区大规模钨锡多金属成矿作用: 成矿时限及地球动力学背景[J]. *岩石学报*, 23(10): 2329-2338.
- 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 袁顺达, 程彦博, 陈毓川. 2008. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境[J]. *高校地质学报*, 14(4): 510-526.
- 弥佳茹, 袁顺达, 轩一撒, 张东亮. 2018. 湖南宝山—大坊矿区成矿花岗岩闪长斑岩的锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素及微量元素组成对区域成矿作用的指示[J]. *岩石学报*, 34(9): 2548-2564.
- 莫柱孙, 叶伯丹, 潘维祖. 1980. 南岭花岗岩地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1-363.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 毕献武, 戴樟谟, 李兆丽, 李晓敏, 双燕, 袁顺达, 刘世荣. 2007. 湖南芙蓉锡矿床⁴⁰Ar-³⁹Ar 同位素年龄及地质意义[J]. *矿床地质*, 26(3): 237-248.
- 彭能立, 王先辉, 杨俊, 陈迪, 罗来, 罗鹏, 刘天一. 2017. 湖南川口三角潭钨矿床中辉钨矿 Re-Os 同位素定年及其地质意义[J]. *矿床地质*, 36(6): 1402-1414.
- 秦锦华, 王成辉, 陈毓川, 赵如意. 2022. 南岭中段一六矿床绿柱石和白云母矿物学特征及其地质意义[J]. *矿床地质*, 41(5): 1025-1041.
- 秦拯纬, 付建明, 邢光福, 程顺波, 卢友月, 祝颖雪. 2022. 南岭成矿带中—晚侏罗世成钨、成锡、成铅(铜)花岗岩的差异性研究[J]. *中国地质*, 49(2): 518-539.
- 全铁军, 孔华, 王高, 费利东, 郭碧莹, 赵志强. 2012. 黄沙坪矿区花岗岩岩石地球化学、U-Pb 年代学及 Hf 同位素制约[J]. *大地构造与成矿学*, 36(4): 597-606.
- 单芝波. 2014. 粤北桃村坝花岗岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学及成因研究[D]. 南京: 南京大学, 1-52.
- 舒良树, 周新民, 邓平, 余心起, 王彬, 祖辅平. 2004. 中国东南部、新生代盆地特征与构造演化[J]. *地质通报*, 23(9): 876-884.
- 舒良树, 周新民, 邓平, 余心起. 2006. 南岭构造带的基本地质特征[J]. *地质评论*, 52(2): 251-265.
- 孙涛, 周新民, 陈培荣, 李惠民, 周红英, 王志成, 沈渭洲. 2003. 南岭东段中生代强过铝花岗岩成因及其大地构造意义[J]. *中国科学(D 辑: 地球科学)*, 33(12): 1209-1218.
- 孙颖超, 陈郑辉, 赵国春, 黄鸿新, 曾乐, 晏超, 伍式崇. 2017. 湖南邓阜仙钨铋矿花岗岩细晶岩接触带白云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄及其地质意义[J]. *地质通报*, 36(2): 466-476.
- 汪群英, 路远发, 陈郑辉, 叶诗文, 黄鸿新. 2015. 湖南邓埠仙钨矿流体包裹体特征及含矿岩体 U-Pb 年龄[J]. *华南地质与矿产*, 31(1): 77-88.
- 王成辉, 王登红, 秦锦华, 李建康, 刘善宝, 陈振宇. 2021. 南岭成矿带中亚带发现花岗伟晶岩型铍矿[J]. *矿床地质*, 40(2): 398-401.
- 王登红. 1998. 地幔柱及其成矿作用[M]. 北京: 地震出版社, 1-160.
- 王登红, 李建康, 应立娟, 陈郑辉, 陈毓川. 2007. 对运用全位成矿与缺位找矿理念寻找铂族元素矿床的思考[J]. *矿物学报*, (Z1): 460-462.
- 王登红, 李华芹, 秦燕, 梅玉萍, 陈郑辉, 屈文俊, 王彦斌, 蔡红, 龚述清, 何晓平. 2009. 湖南瑶岗仙钨矿成岩成矿作用年代学研究[J]. *岩矿测试*, 28(3): 201-208.
- 王登红, 陈郑辉, 陈毓川, 唐菊兴, 李建康, 应立娟, 王成辉, 刘善宝, 李立兴, 秦燕, 李华芹, 屈文俊, 王彦斌, 陈文, 张彦. 2010. 我国重要产地成岩成矿年代学研究新数据[J]. *地质学报*, 84(7): 1030-1040.
- 王登红, 陈振宇, 黄凡, 王成辉, 赵芝, 陈郑辉, 赵正, 刘新星. 2014. 南岭岩浆岩成矿专属性及相关问题探讨[J]. *大地构造与成矿学*, 38(2): 230-238.
- 王登红, 刘丽君, 侯江龙, 代鸿章, 于扬, 代晶晶, 田世洪. 2017. 初论甲基卡式稀有金属矿床“五层楼+地下室”勘查模型[J]. *地学前缘*, 24(5): 1-7.
- 王军, 赖中信, 张辉仁, 胡刚, 杨坤光. 2011. 粤北下庄钨矿田岩体地球化学特征及其构造环境[J]. *铀矿地质*, 27(3): 136-145.
- 王凯兴, 陈卫锋, 陈培荣, 章健. 2012. 湖南中部地区丫江桥和五峰仙岩体地球 LA-ICP-MS 锆石年代学、地球化学及岩石成因研究[C]//全国铀矿大基地建设学术研讨会论文集(上): 486-494.
- 王汝成, 谢磊, 诸泽颖, 胡欢. 2018. 云母: 花岗岩—伟晶岩稀有金属成矿作用的重要标志矿物[J]. *岩石学报*, 35(1): 69-75.
- 伍光英. 2005. 湘东南多金属矿集区燕山期花岗岩类及其大规模成矿作用[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 1-218.
- 伍光英, 马铁球, 柏道远, 李金冬, 车勤建, 王先辉. 2005. 湖南宝山花岗岩闪长质隐爆角砾岩的岩石学、地球化学特征及锆石 SHRIMP 定年[J]. *现代地质*, 19(2): 198-204.
- 吴继光. 2013. 南岭贵东岩体北部英安斑岩锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *铀矿地质*, 29(5): 268-273, 262.
- 肖红全, 赵葵东, 蒋少涌, 姜耀辉, 凌洪飞. 2003. 湖南东坡矿田金船塘锡矿床铅同位素地球化学及成矿年龄[J]. *矿床地质*, 22(3):

- 264-270.
- 谢银财. 2013. 湘南宝山铅锌多金属矿区花岗闪长斑岩成因及成矿物质来源研究[D]. 南京: 南京大学, 1-104.
- 徐夕生, 邓平, O'Reilly S Y, Griffin W L, 周新民, 谭正中. 2003. 华南贵东杂岩体单颗粒锆石激光探针 ICPMS U-Pb 定年及其成岩意义[J]. *科学通报*, 48(12): 1328-1334.
- 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 陈郑辉, 李厚民. 2008. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社, 1-138.
- 姚军明, 华仁民, 林锦富. 2005. 湘东南黄沙坪花岗岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 定年及岩石地球化学特征[J]. *岩石学报*, 21(3): 688-696.
- 姚远. 2013. 南岭镁质及钙质矽卡岩型锡多金属成矿作用研究[D]. 南京: 南京大学, 1-151.
- 袁顺达, 刘晓菲, 王旭东, 吴胜华, 原垭斌, 李雪凯, 王铁柱. 2012. 湘南红旗岭锡多金属矿床地质特征及 Ar-Ar 同位素年代学研究[J]. *岩石学报*, 28(12): 3787-3797.
- 袁顺达. 2017. 南岭钨锡成矿作用几个关键科学问题及其对区域找矿勘查的启示[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 36(5): 736-749.
- 曾允孚, 沈德麒, 张锦泉, 池三川, 葛朝华, 刘文均, 徐新煌, 等. 1987. 南岭泥盆系层控矿床[M]. 北京: 地质出版社.
- 张敏, 陈培荣, 张文兰, 陈卫锋, 李惠民, 张孟群. 2003. 南岭中段大东山花岗岩体的地球化学特征和成因[J]. *地球化学*, (6): 529-539.
- 章荣清, 陆建军, 王汝成, 姚远, 丁腾, 胡加斌. 2016. 湘南王仙岭地区中生代含钨与含锡花岗岩的岩石成因及其成矿差异机制[J]. *地球化学*, 45(2): 105-132.
- 张树明, 周维勋, 巫建华. 2002. 下庄铀矿田火山岩的厘定及与周边同期火山岩的对比[J]. *铀矿地质*, 18(4): 202-209.
- 张晓军, 罗华, 吴志华, 范先旺, 熊俊, 杨杰, 牟金焱. 2014. 湖南大义山矿田白沙子岭锡矿床 Rb-Sr 同位素等时线年龄及其地质意义[J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 39(10): 1422-1432.
- 赵春林. 1964. 锂铍石——一个新的富锂、铍矿物[J]. *地质学报*, 44(3): 334-342.
- 赵如意, 王登红, 王要武, 陈毓川, 刘武生, 张熊, 蒋金昌, 刘战庆, 李挺杰, 王兰根, 应立娟. 2020. 广东省大宝山斑岩型铜矿床勘查突破及其区域找矿意义[J]. *地质学报*, 94(1): 204-216.
- 赵芝, 王登红, 陈郑辉, 陈振宇. 2017. 南岭离子吸附型稀土矿床成矿规律研究新进展[J]. *地质学报*, 91(12): 2814-2827.
- 甄世民, 祝新友, 李永胜, 杜泽忠, 公凡影, 巩小栋, 齐钊宇, 贾德龙, 王璐琳. 2012. 湖南仙人岩与金矿床有关的二长岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素及地质意义[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 42(6): 1740-1756.
- 郑佳浩, 郭春丽. 2012. 湘南王仙岭花岗岩体的锆石 U-Pb 年代学、地球化学、锆石 Hf 同位素特征及其地质意义[J]. *岩石学报*, 28(1): 75-90.
- 周济元, 杜思清, 魏显贵. 1980. 江西信丰大桥煤田地区构造体系及找煤方向的探讨[J]. *成都地质学院学报*, (2): 28-44.
- 周云, 梁新权, 梁细荣, 伍式, 崇蒋英, 温淑女, 蔡永丰. 2013. 湖南锡田含 W-Sn A 型花岗岩年代学与地球化学特征[J]. *大地构造与成矿学*, 37(3): 511-529.
- 邹东风, 李方林, 张爽, 黄彬, 宗克清. 2011. 粤北下庄 335 矿床成矿时代的厘定——来自 LA-ICP-MS 沥青铀矿 U-Pb 年龄的制约[J]. *矿床地质*, 30(5): 912-922.
- 左昌虎, 路睿, 赵增霞, 徐兆文, 陆建军, 王汝成, 陈进全. 2014. 湖南常宁水口山 Pb-Zn 矿区花岗闪长岩元素地球化学, LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素特征[J]. *地质论评*, 60(4): 811-823.