

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2024.01.005

引用格式:徐喆,张芳荣,张福神,等.江西硬岩型锂矿类型划分及其找矿启示[J].华东地质,2024,45(1):62-77.(XU Z, ZHANG F R, ZHANG F S, et al. Classification of hard rock lithium deposits in Jiangxi Province and its implication for prospecting[J].East China Geology, 2024, 45(1):62-77.)

江西硬岩型锂矿类型划分及其找矿启示

徐 喆^{1,2,3},张芳荣^{1,2},张福神^{1,2},楼法生¹,张 勇³,潘家永³,吴正昌^{1,2},
贺 彬^{1,2},周 渝^{1,2,3},符海明^{1,2}

(1.江西省地质调查勘查院基础地质调查所,江西 南昌 330030;
2.关键矿产资源勘查与开发江西省重点实验室,江西 南昌 330009;
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:近年来,江西硬岩型锂矿取得重大找矿突破,赣东北地区横峰松树岗探明超大型钨钽矿,伴生氧化锂资源量达超大型,赣西地区新探明巨量花岗岩型锂矿资源,赣南地区新发现云英岩型锂矿。为进一步总结区域成矿规律,查明硬岩型锂矿成矿潜力,实现区域锂矿成矿理论创新,从而指导找矿勘查与综合利用,需要科学合理划分江西省硬岩型锂矿的矿床类型,建立区域找矿标志。文章在野外地质矿产调查的基础上,综合前人研究成果,将江西硬岩型锂矿划分为蚀变花岗岩型、伟晶岩型、细晶岩(霏细斑岩)型和云英岩型 4 种矿床类型,并根据成矿地质体特征、蚀变作用类型、赋矿围岩、主要含锂矿物类型及成矿时代等要素细分为 9 种矿化类型。同时,江西硬岩型锂矿均属于与花岗岩有关的内生矿床,对与锂矿成矿相关的花岗岩基本特征进行了总结。研究表明:蚀变花岗岩型锂矿是江西重要的锂矿资源类型,与成矿相关的淡色花岗岩体是重要的找矿目标地质体;云英岩型锂矿化的发现,为“就钨找锂”理论提供了重要依据,指示在江西乃至华南已知钨多金属矿床外围及深部具有巨大的锂矿找矿潜力。此外,应积极探索利用“以脉找体”的找矿思路,今后要重点加强含 W、Sn 成矿岩体内外接触带中脉状云英岩及其下部蚀变花岗岩中找锂矿工作,助推锂矿找矿实现新突破。

关键词:蚀变花岗岩型;伟晶岩型;细晶岩(霏细斑岩)型;云英岩型;硬岩型锂矿;江西

中图分类号:P618.71

文献标识码:A

文章编号:2096-1871(2024)01-062-16

锂矿被称为“白色石油”和“21 世纪能源金属”,是新能源产业链条里不可或缺的战略关键矿产资源^[1-3]。在自然界中,目前已知的锂矿物及含锂矿物有 150 多种,常见的有 20 多种,如锂辉石、透锂长石、锂云母、锂霞石、磷锂铝石及锂绿泥石等。不同的含锂矿物因其物理化学性质的差异而产于不同类型的锂矿床中。目前,全球锂矿床类型主要为盐

湖型、伟晶岩型、花岗岩型及沉积岩型^[4-5]。其中,盐湖型和伟晶岩型占据主导地位,前者集中分布于以智利、阿根廷及玻利维亚为核心的南美“锂三角”地区,后者则集中在非洲和西澳地区^[6]。近年来,我国锂矿找矿勘查取得重大进展,在四川西部的甲基卡、马尔康县可尔因、石渠扎乌龙和新疆西昆仑大红柳滩等地区发现和探明了大型-超大型伟晶岩型

* 收稿日期:2024-01-11 修订日期:2024-03-07 责任编辑:谭桂丽

基金项目:江西省“科技+地质”联合计划“钦杭成矿带(江西段)花岗岩云母型锂矿成矿机制及成矿规律研究(编号:2023KDG01003)”、“江西九岭南缘花岗岩云母型锂矿成矿机制及成矿规律研究(编号:2023KDG01002)”、江西省重点研发计划“揭榜挂帅”“江西省超大型锂矿找矿快速突破关键技术研究(编号:20223BBG71015)”、江西省地质局青年科学技术带头人培养计划“江西九岭地区燕山期岩浆活动与成矿作用研究(编号:2022JXDZKJRC04)”和江西省地质局“赣南地区稀有金属成矿作用与综合利用研究(编号:2022JXDZKJKY02)”项目联合资助。

第一作者简介:徐喆,1985 年生,男,高级工程师,博士研究生,主要从事区域矿产地质调查、矿产勘查及相关科研工作。Email:303543918@qq.com。

通信作者简介:张芳荣,1969 年生,男,教授级高级工程师,博士,主要从事区域地质调查及相关科研工作。Email:420243911@qq.com。

锂矿床^[7-8],在赣西地区新探明巨量花岗岩型锂矿资源^[9],从而有望改变世界锂矿资源格局。

江西硬岩型锂矿成矿类型以蚀变花岗岩型为主,其次为伟晶岩型及细晶岩(霏细斑岩)型,近年来也发现了云英岩型锂矿床^[10]。蚀变花岗岩型锂矿主要分布于钦杭成矿带,代表性矿床如宜春 414 钽铌锂矿床、横峰松树岗钽铌锂矿床等,特别是九岭南缘的宜春地区蚀变花岗岩型锂资源取得重大找矿突破,发现了大港等特大型锂矿床、白水洞和茜坑等大型锂矿床^[11-16]。2021 年 5 月以来,在宜春地区实施含锂瓷石矿整装勘查项目“大会战”,以 $\text{Li}_2\text{O} \geq 0.2\%$ 圈定锂矿体,新增 5 处超大型和 2 处大型锂矿床,宜丰—奉新地区锂矿 Li_2O 资源量总计超 1 500 万 t,折合碳酸锂超 3 500 万 t^[9]。王登红等^[5]指出,花岗岩型锂矿将逐渐代替伟晶岩型锂矿,成为可工业开采的硬岩型锂矿的主导类型,也将显著影响新的找矿方向。楼法生等^[17]提出,这种大规模低品位花岗岩云母型锂矿以往仅作为瓷石矿中的伴生资源进行综合利用,但现在完全应该作为新的锂矿类型确立下来,其重要性不亚于斑岩型铜矿。

矿床类型的合理划分,对理解成矿作用本质、明确找矿方向与重点以及有效部署勘查工作等,均具有重要意义^[18]。目前,很多学者提出过锂矿类型划分方案^[18-23],例如,李建康等^[19]将锂矿划分为内生和外生两大类 7 个矿床式;郑绵平等^[18]按照锂资源赋存特性将全球锂矿床划分为内生和外生锂矿床(资源)两大类,并着重介绍了外生锂矿特征,对内生花岗岩型锂矿暂未详细介绍。对于江西省境内的锂矿类型划分,前人也作过专门讨论^[24-26],但仍需结合具体的成矿地质特征作进一步研讨和完善,使其更有利于指导找矿勘查工作。为此,文章根据近年来江西锂矿勘查开发的新进展、新认识,提出江西硬岩型锂矿类型的综合划分方案,供同行们讨论交流。

1 江西硬岩型锂矿床类型划分

江西硬岩型锂矿从大类上看,均属于与花岗岩有关的内生矿床。本文重点从锂矿成矿地质体角度考虑,将江西省硬岩型锂矿划分为蚀变花岗岩型、伟晶岩型、细晶岩(霏细斑岩)型、云英岩型 4 种类型,并根据成矿地质体特征、蚀变作用类型、赋矿围岩特征、主要含锂矿物类型及成矿时代等成矿要

素进一步细分为 9 种矿化类型(表 1)。空间上,蚀变花岗岩型锂矿主要分布在武功山、九岭南缘及灵山矿集区,代表性矿床有宜春 414 钽铌锂矿床、横峰松树岗钽铌锂矿床,两者均为超大型蚀变花岗岩型锂矿床,其中九岭南缘的宜丰—奉新地区锂矿田已成为超大型蚀变花岗岩型锂矿床的聚集地^[17]。细晶岩(霏细斑岩)锂矿分布于九岭南缘和武功山地区,伟晶岩型锂矿主要分布于宁都—石城地区,云英岩型锂矿主要分布于赣南崇余犹地区(图 1)。

江西硬岩型锂矿主要成矿地质体为蚀变花岗岩(图 2(a)、(b)、(c)、(d))、细晶岩(霏细斑岩)(图 2(e)、(f))、伟晶岩(图 2(g)、(h))及云英岩(图 2(i)、(j)、(k)、(l))。与锂矿相关的主要蚀变作用类型有钠长石化(图 2(b))、锂云母化(图 2(d))、云英岩化(图 2(i)、(j)、(k)、(l))、黄玉化、铁锂云母化(图 2(l))、萤石化、硅化等。主要赋矿围岩为南华纪—震旦纪变质岩。主要含锂矿物为锂云母、铁锂云母、锂白云母、锂辉石、锂绿泥石等,成矿时代有加里东期和燕山期,加里东期成矿年龄集中于 425~420 Ma^[27],燕山期成矿时代大致可分为 3 个阶段,成矿年龄分别为 160~150 Ma^[27-29]、145~139 Ma^[14-16]和 130 Ma 左右^[27]。

1.1 蚀变花岗岩型

《中国矿产地质志·江西卷》^[26]将与花岗岩型钽铌矿床伴生的锂矿归为蚀变花岗岩型钽铌矿床。该类型锂矿的成矿母岩有二云母花岗岩、白云母花岗岩、正长花岗岩和黑云母花岗岩。锂成矿与蚀变花岗岩体密切相关,包括钠长石化、锂云母化、云英岩化、黄玉化、萤石化及硅化等,因此被称为蚀变花岗岩型锂矿。赋矿围岩主要为南华纪—震旦纪变质岩或砂岩等,而在宜春宜丰—奉新地区为晋宁期和燕山期花岗岩。主要含锂矿物为含锂的云母(锂云母、铁锂云母、锂白云母等),故又被称为花岗岩云母型锂矿^[17]。成矿时代上,该类型锂矿主要集中于晚侏罗世—早白垩世,在钦杭成矿带内主要为大型、超大型锂矿床,从武功山地区依次至九岭南缘、灵山地区,大型、超大型锂矿的成矿时代自 SW 往 NE 明显变新^[9, 17]。分布于武夷成矿带的锂矿床规模为小型、中型,成矿时代属于早白垩世,代表性矿床为石城海罗岭、姜坑里矿床,其主要含锂矿物与横峰松树岗矿床相似,均为铁锂云母,但两者的成矿母岩、赋矿围岩和成矿时代等均有显著差别。

表 1 江西省硬岩型锂矿类型划分表

Table 1 Classification of hard rock lithium deposits in Jiangxi Province

矿床类型		成矿母岩	蚀变作用	赋矿围岩	主要含锂矿物	成矿时代/Ma	矿床实例	分布地区	资料来源		
大类	亚类										
内生矿床	与花岗岩有关的硬岩型锂矿床	蚀变花岗岩型	锂云母蚀变花岗岩型	二云母花岗岩、白云母花岗岩	钠长石化、锂云母化、云英岩化、黄玉化	震旦纪浅变质岩	锂云母、磷铝锂石	158±1(钼铀铁矿 U-Pb) 150.6±5.1(辉钼矿 Re-Os) 152.8±1.4(辉钼矿 Re-Os)	宜春 414	钦杭成矿带武功山地区	[27-29]
		蚀变花岗岩型	锂白云母蚀变花岗岩型	二云母花岗岩、白云母花岗岩	钠长石化、锂云母化、黄玉化	晋宁期花岗岩、晚侏罗世二云母花岗岩	锂云母、富锂白云母、磷锂铝石、铁锂云母、锂绿泥石	144±5(钼铁矿 U-Pb) 139.09±0.56(锂云母 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar)	宜丰大港、白水洞、茜坑	钦杭成矿带九岭南缘	[13, 14, 16]
		蚀变花岗岩型	铁锂云母蚀变黑云母花岗岩型	黑云母花岗岩	钠长石化、铁锂云母化、黄玉化	南华纪—震旦纪变质岩	铁锂云母	140.6(Rb-Sr 等时线)	海罗岭、姜坑里	武夷成矿带武夷山隆起带西缘	[1, 30]
		蚀变花岗岩型	铁锂云母蚀变 A 型花岗岩型	黑云母花岗岩、正长花岗岩	钠长石化、钾长石化、云英岩化、黄玉化、萤石化、硅化	南华纪—震旦纪砂岩、粉砂岩、碳酸板岩与不纯灰岩	铁锂云母	130±2, 129±1(钼铁矿 U-Pb)	横峰松树岗	钦杭成矿带灵山地区	[28]
		伟晶岩型	钠长石锂辉石伟晶岩型	黑云母二长花岗岩	钠长石化云英岩化锂云母化	南华纪—震旦纪变质岩	锂辉石	422±3, 420±4, 424±5(钼铁矿 U-Pb)	宁都河源、广昌头陂、西港	武夷成矿带武夷山隆起带西缘	[28]
		伟晶岩型	云母锂辉石伟晶岩型	黑云母二长花岗岩	钠长石化云英岩化	南华纪变质岩	锂辉石	141.68±0.69(独居石 U-Pb)	石城海罗岭	武夷成矿带武夷山隆起带西缘	[31]
		细晶岩(霏细岩)脉型	细晶岩(霏细岩)脉型	二云母花岗岩、白云母花岗岩	锂云母化、钠长石化	晋宁期黑云母花岗岩、燕山期二云母花岗岩	锂云母	138.3±4.4(锡石 U-Pb)	宜丰同安	钦杭成矿带九岭南缘	[32]
		云英岩型	云英岩热液脉型	二云母花岗岩、黑云母花岗岩	云英岩化、黄玉化、铁锂云母化	二云母花岗岩、黑云母花岗岩和寒武纪砂岩	白云母-多硅白云母、铁锂云母	156.3±1.3(辉钼矿 Re-Os)	大余石雷、洪水寨	南岭成矿带崇余犹矿集区	[10, 33]
		云英岩型	云英岩化花岗岩型	黑云母花岗岩	云英岩化、铁锂云母化	黑云母花岗岩	铁锂云母	130±2, 129±1(钼铁矿 U-Pb) 156.3±1.3(辉钼矿 Re-Os)	横峰松树岗、崇义茅坪	钦杭成矿带灵山地区、南岭成矿带崇余犹矿集区	[28, 34]

根据上述特征,将蚀变花岗岩型锂矿进一步划分为 4 种矿化类型,分别为锂云母蚀变花岗岩型、锂白云母蚀变花岗岩型、铁锂云母蚀变黑云母花岗岩型和铁锂云母蚀变 A 型花岗岩型(表 1)。

锂云母蚀变花岗岩型主要分布于钦杭成矿带,矿床规模大、品位低,伴生有益组分多,综合利用潜力大。以宜春 414 钼铀锂矿床为例,该矿床为超大型锂矿(Li_2O 资源量 64.50 万 t)、钼矿(Ta_2O_5 资源量 1.87 万 t),中型铌矿(Nb_2O_5 资源量 1.54 万 t),共伴生铷(Rb_2O 资源量 3.79 万 t)达超大型,铍(BeO 资源量 4.40 万 t)达大型^[17];成矿元素平均品位 Ta_2O_5 为 0.010 9%, Nb_2O_5 为 0.008 9%, Li_2O 为 0.391 6%, Rb_2O 为 0.221 4%, Cs_2O 为 0.029 1%, BeO 为 0.026 7%^[34]。成矿母岩为雅山复式岩体,出露面积约 9.50 km^2 ,岩性主要为二云母花岗岩和白云母花岗岩,锂矿化与复式岩体晚期阶段的钠长石化锂云母化白云母花岗岩密切相关。野外可通过岩石白度而大致鉴别其矿化蚀变强度,岩石越白

则钠长石化和锂矿化越强^[35],从早至晚可分为黑鳞云母-白云母花岗岩-锂云母花岗岩-黄玉锂云母花岗岩^[36]。成矿岩体在化学组成上具有富硅,贫铁、镁特征,分异指数普遍 >90 ,并具亚碱性、强过铝质特征,属高分异的 S 型花岗岩。同时,岩体富 Nb、Ta、Rb、Cs、Th 及 U,具有较高的 F 和 P 等挥发分,亏损 Ba、Sr, Nb/Ta、Zr/Hf 和 K/Rb 比值低,稀土总量低,具显著的 Eu 负异常($\delta\text{Eu}=0.04\sim0.25$)和四分组效应,指示成矿受到岩浆高度分异演化和流体-熔体相互作用的影响^[37-38]。该矿床的含锂矿物主要为锂云母^[39],含少量磷铝锂石^[40];成岩时代为 161~150.1 Ma^[28, 38, 41],成矿时代为 158~150.6 Ma^[28-29],成岩成矿时代基本一致。赋矿围岩为震旦纪浅变质岩,岩性主要为千枚状变质粉砂岩、粉砂质-砂质绢云千枚岩夹钙质板岩等,为成矿物质的聚集起到了隔挡作用^[35]。

锂白云母蚀变花岗岩型主要分布于钦杭成矿带(江西段)九岭南缘宜丰—奉新地区,近年来该地

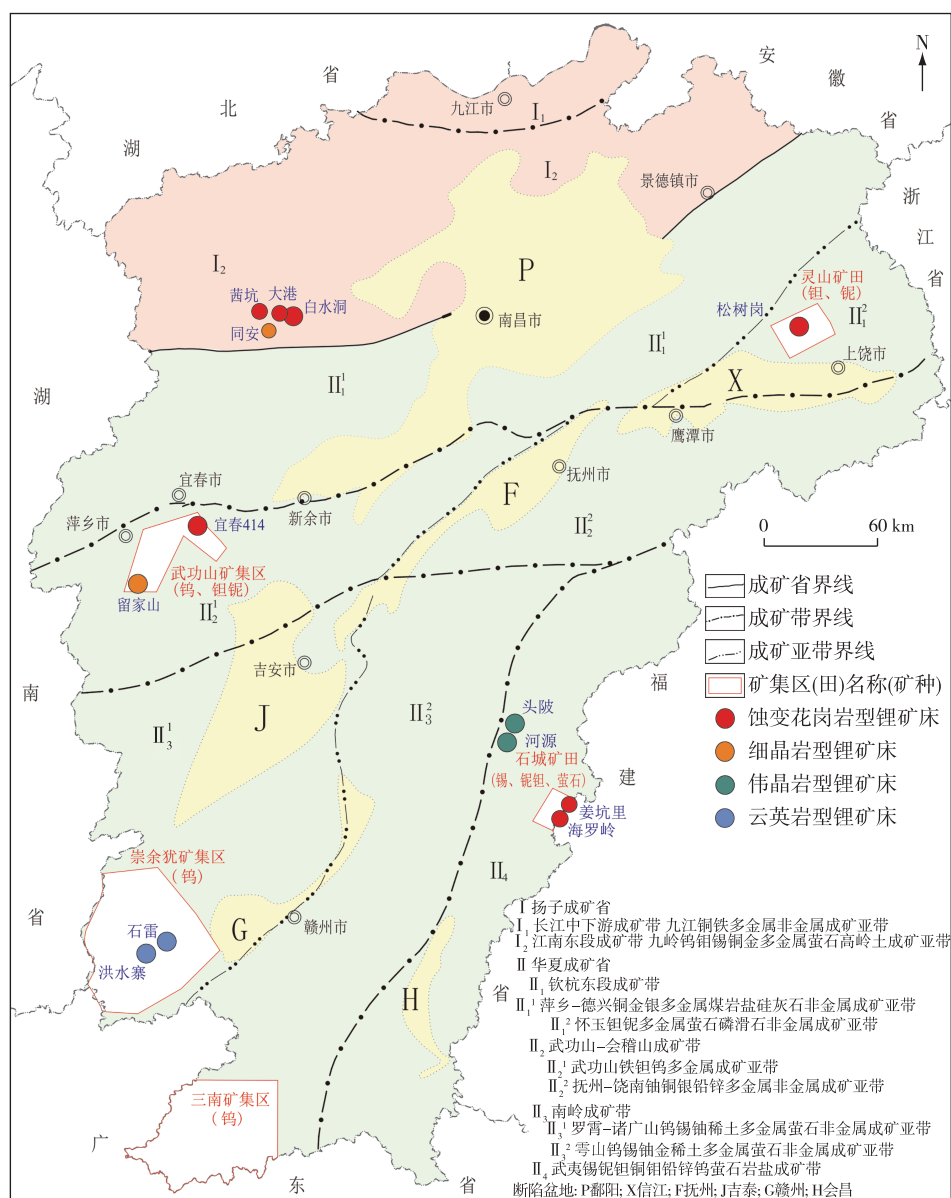
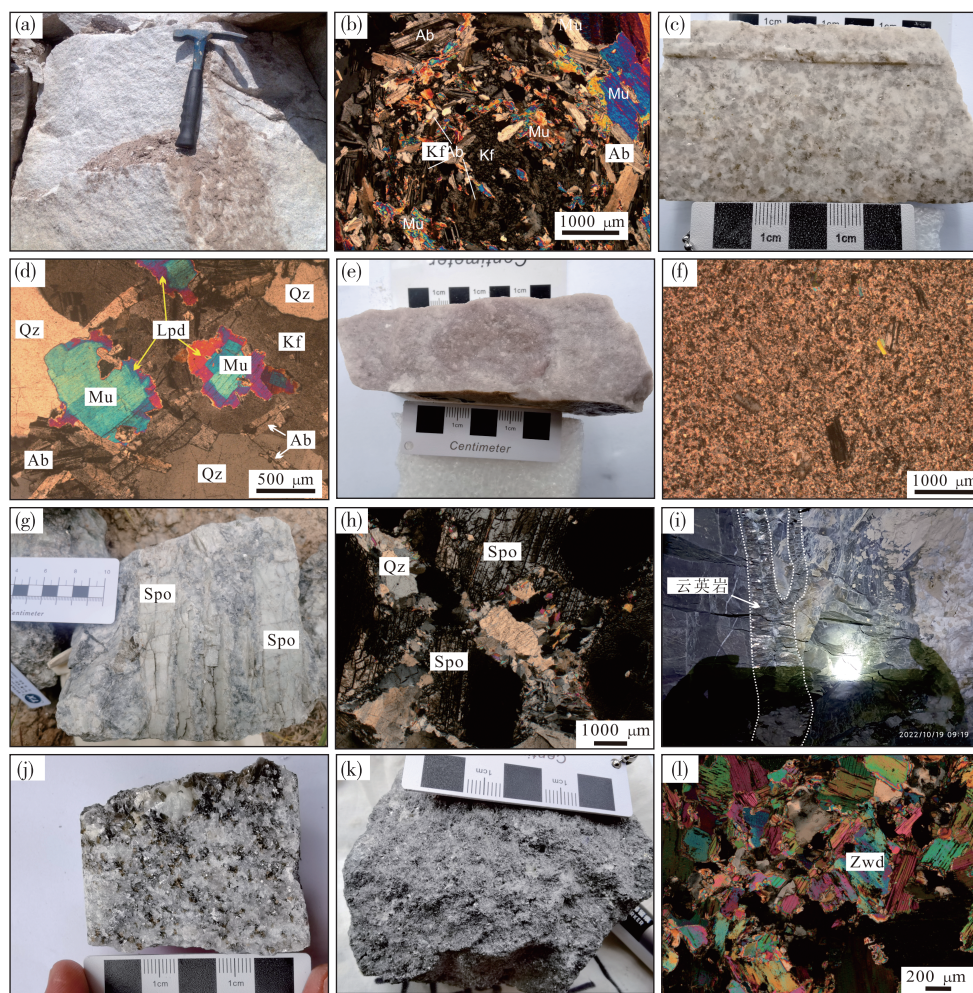
图 1 江西硬岩型典型锂矿床分布图^[26]

Fig. 1 Distribution of typical hard rock lithium deposit in Jiangxi Province^[26]

区通过含锂瓷石矿整装勘查“大会战”，新增圳口里、金子峰—左家里、石家里东段、石家里西段和茅岭 5 处超大型锂矿床，水南和港口 2 处大型锂矿床（图 3），氧化锂资源量超 1 500 万 t^[9]。它们的成矿母岩为二云母花岗岩和白云母花岗岩，化学组成上具高 Si、富碱、高 P，贫 Fe、Mg、Ti 的特征，铝饱和指数 A/CNK 值 > 1.20 ，Nb/Ta 比值 (< 12)、Zr/Hf 比值 (< 2) 极低，显示高分异的过铝质 S 型花岗岩特征。岩石中稀土元素总量低，轻重稀土分异不明显，具较强的负 Eu 异常及一定的四分组效应^[15]，且

成矿岩体富含 F 等挥发性组分及 Li、Rb、Cs、Be、Nb、Ta、Sn 等成矿元素^[14-15]。赋矿围岩为晋宁期九岭花岗岩体和晚侏罗世甘坊复式岩体早期阶段的二云母花岗岩。成岩、成矿年龄基本一致,成矿年龄为 144~139 Ma^[14, 16]。成矿岩体蚀变强烈,普遍发育钾长石化、钠长石化、白(锂)云母化、黄玉化、萤石化、高岭土化等^[17]。锂的载体矿物主要为锂白云母、锂云母及铁锂云母等^[9, 42]。

对比宜春 414 锂云母蚀变花岗岩型锂矿,与宜春—奉新地区锂白云母蚀变花岗岩型锂矿相关的



(a).宜春 414 矿床钠长石化白云母花岗岩;(b).宜春 414 矿床钠长石化白云母花岗岩中发育的“雪球结构”;(c).宜丰视下窝矿区钠长石化白云母花岗岩;(d).宜丰钠长石化白云母花岗岩显微镜下特征;(e).宜丰同安霏细斑岩;(f).同安霏细斑岩显微镜下特征;(g).宁都河源锂辉石伟晶岩;(h).广昌西港锂辉石伟晶岩显微镜下特征;(i).漂塘钨矿区变质岩中发育的云英岩脉;(j).茅坪钨锡矿区云英岩化中细粒白云母花岗岩;(k—l).大余洪水寨矿区云英岩;Ab.钠长石;Kf.钾长石;Lpd.锂云母;Mu.白云母;Qz.石英;Spo.锂辉石;Zwd.铁锂云母

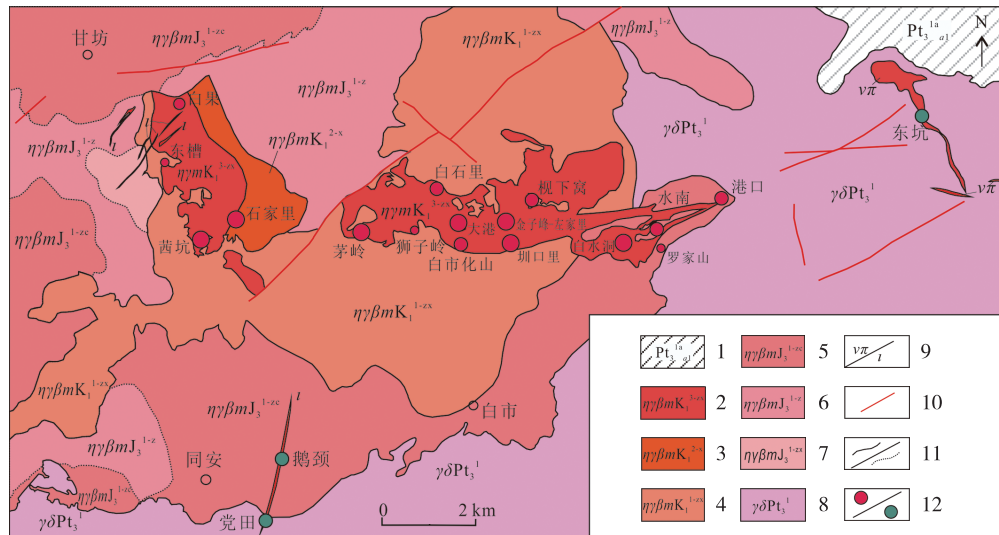
图 2 江西硬岩型锂矿典型岩石照片

Fig. 2 Typical lithium-bearing rocks in Jiangxi Province

燕山期甘坊复式花岗岩体规模更大,出露面积约 316 km^2 [17]。两者的主成矿元素不同,宜丰—奉新地区蚀变花岗岩型锂矿以 Li 为主成矿元素,Nb 和 Ta 含量偏低,为伴生有益组分。它们的主要含锂矿物也不同,宜丰—奉新地区含锂云母矿物主要为锂白云母,少量铁锂云母及锂云母。此外,宜丰—奉新地区矿化蚀变分带不明显,但成矿岩体蚀变作用类型多,主要有钾长石化、钠长石化、白云母化、云英岩化、黄玉化和萤石化等,蚀变作用更为复杂,呈现出多种类、多期次的特点。

赣南地区铁锂云母蚀变黑云母花岗岩型锂矿

主要分布于武夷成矿带武夷山隆起带西缘石城一带,以石城姜坑锂铌钽矿床为代表,其成矿岩体为中细粒黑云母花岗岩,发育钠长石化、铁锂云母化蚀变,成岩年龄为 140.6 Ma (花岗岩 Rb-Sr 等时线),锂的载体矿物为铁锂云母^①。另有石城海罗岭钽铌锂矿床,其成矿元素以 Ta、Nb 为主,伴生 Li、Rb、Zr 和 Hf,矿床平均品位为 $\text{Nb}_2\text{O}_5 0.011 9\%$, $\text{Ta}_2\text{O}_5 0.017 0\%$, Li_2O 含量为 $0.115 6\%$, Rb_2O 含量为 $0.152 1\%$, $(\text{Zr}+\text{Hf})_2\text{O}$ 含量为 $0.007 6\%$ [31]。成矿母岩为中细粒斑状黑云母花岗岩,具有富硅、富碱、富铝,贫钛、镁的特征,F 含量较高,具极低的



1. 双桥山群安乐林组变凝灰质细砂岩; 2. 白水洞岩体中细粒白云母二长花岗岩; 3. 武堂岩体细粒二云母二长花岗岩; 4. 古阳寨岩体中细粒含斑二云母二长花岗岩; 5. 甘坊岩体中粗粒斑状二云母二长花岗岩; 6. 甘坊岩体中粒斑状二云母二长花岗岩; 7. 甘坊岩体中细粒斑状二云母二长花岗岩; 8. 九岭岩体花岗闪长岩; 9. 霏细斑岩脉/细晶岩脉; 10. 断裂; 11. 地质界线/岩相界线; 12. 蚀变花岗岩型/细晶岩型锂矿床

图 3 九岭南缘地区地质图及蚀变花岗岩型锂矿床分布^[9]

Fig. 3 Geology of the southern Jiuling Mountain, showing the distribution of altered granite-associated Li deposits^[9]

Nb/Ta 比值 (0.34 ~ 0.49)、Zr/Hf 比值 (3.73 ~ 4.19) 和稀土元素总量 (ΣREE 为 $(16.3 \sim 23.2) \times 10^{-6}$), 且稀土元素具“四分组”效应, 显示其成矿经历了岩浆-流体相互作用的过程。该矿床蚀变类型主要有钠长石化、白云母化、黄玉化、绢云母化及硅化等, 发育稀有金属花岗岩中典型的“雪球结构”^[31]。赣南地区铁锂云母蚀变花岗岩型锂矿的显著特征是成矿岩体为发育钠长石化的淡色黑云母花岗岩, 从而拓宽了以往稀有金属主要赋存于燕山期复式岩体晚期二云母花岗岩-白云母花岗岩中的固有认识, 为赣南地区稀有金属找矿提供了新的方向^[31]。

赣北地区铁锂云母蚀变 A 型花岗岩型锂矿主要分布于钦杭成矿带赣东北灵山岩体外围, 以横峰松树岗钽铌锂矿床为代表, 为超大型钽铌锂矿床 (Ta_2O_5 资源量 4.18 万 t, Nb_2O_5 资源量 6.22 万 t, Li_2O 资源量 60.38 万 t, 伴生 Rb_2O 资源量 62.80 万 t), 矿床平均品位 Ta_2O_5 为 0.014 3%, Nb_2O_5 为 0.021 2%, Li_2O 为 0.202 0%, Rb_2O 为 0.213 8%^[17]。该矿床具“上脉下体”的二元结构, 矿化类型为上部脉状钨锡矿、下部蚀变花岗岩体型钽铌锂矿, 上部主要发育云英岩化, 下部主要发育钠长石化。垂向

上, 成矿的蚀变花岗岩整体上具有明显的矿化分带特征, 上部为伟晶岩带和钾长石化花岗岩带, 厚度变化大, 零星分布; 往下过渡为云英岩化花岗岩带, 较稳定产出, 属中间过渡体; 下部为钠长石化花岗岩带, 厚度大, 产出稳定, 为该矿床蚀变花岗岩型钽铌锂矿的主矿体^[43]。松树岗矿床成矿岩体为黑云母花岗岩和正长花岗岩^[44-46], 具高硅、高碱、低铁、镁、钙和磷的特征, 富集 Rb、Th、U、Nb 和 Zr, 贫 Ba、Sr 和 Ti, 稀土元素具强负 Eu 异常, Ga/Al 和 $\text{Fe}^\# [\text{FeO}^\text{T}/(\text{FeO}^\text{T} + \text{MgO})]$ 比值高, $\text{Zr} + \text{Nb} + \text{Ce} + \text{Y}$ 含量高^[46-47], 属 A 型花岗岩, 成岩成矿年龄为 130 Ma 左右^[28, 47], 锂的载体矿物为铁锂云母^[48-49]。

1.2 伟晶岩型

江西伟晶岩型锂矿主要分布于广昌—石城地区, 可进一步划分为钠长石锂辉石伟晶岩型和云母锂辉石伟晶岩型。前者属加里东期成矿, 代表性矿床有广昌西港、头陂、宁都河源锂矿床^[11, 28, 50-51], 其成矿年龄为 420 ~ 424 Ma (钽铌铁矿 U-Pb), 属晚志留世^[28]; 成矿地质体为含锂辉石伟晶岩脉, 其形成年龄与会同岩体的斑状黑云母二长花岗岩成岩年龄 $(425.8 \pm 6.2 \text{ Ma})$ ^[52] 基本一致。空间上, 广昌头

陂、西港和宁都河源锂辉石矿床位于会同岩体北西侧外接触带 1~3 km 内。在会同岩体南东侧还有西江排钽铌锂矿、大坝钽铌矿等稀有金属矿点,成矿地质体为伟晶岩脉,常成群出现^[31]。近年来,在会同岩体北东侧湛田一带新发现含磷锂铝石伟晶岩脉,呈 NE 走向,沿走向延伸长度>50 m,脉宽约 1.8 m,整体呈脉状、透镜状,倾向 SE^[53]。上述特征指示,该地区含锂伟晶岩与晚志留世会同花岗岩体具有密切的成因联系,加里东期岩体周缘仍具有伟晶岩型锂矿的找矿潜力。

云母锂辉石伟晶岩型锂矿属燕山期成矿,近期发现于石城海罗岭矿区。云母锂辉石伟晶岩脉的 Li_2O 含量为 0.72%,成岩年龄为 141.68 ± 0.69 Ma (独居石 U-Pb 法),指示赣南地区约 140 Ma 时可能存在一次特殊的稀有金属成矿事件^[31]。燕山期伟晶岩型锂矿的发现,表明赣南地区存在两期伟晶岩型锂矿成矿事件,为江西乃至华南锂矿找矿勘查提供了新的方向。

1.3 细晶岩(霏细斑岩)型

江西细晶岩(霏细斑岩)型锂矿主要分布于武功山地区浒坑—雅山一带和九岭地区宜丰—奉新一带。宜丰同安细晶岩型和霏细斑岩型含锂瓷石矿早被大家熟知,以往主要用于陶瓷产业。随着选矿冶炼技术的提升,瓷石矿中伴生的锂资源有望得到开发利用。

武功山地区细晶岩型锂矿在空间上主要围绕燕山期浒坑岩体外围的安福县钱山乡留家山、浒坑镇、泰山乡万坑等地区分布。细晶岩脉产状与岩体及其边部发育的断裂相关,多呈 NE、近 EW-NEE 走向,主要沿裂隙贯入,侵入于寒武纪变质岩、加里东期花岗岩及晚侏罗世早期黑云母花岗岩中。细晶岩脉体宽 0.5~7.7 m,沿走向延伸长 200 m~10 km,以钱山乡留家山一带岩脉规模最大,宽度为 5.2~7.7 m,平均宽 6.6 m,沿走向断续延伸长约 10 km。脉体即是锂矿化体,其 Li_2O 含量一般为 0.22%~0.65%,同时伴生 Nb、Ta、Rb、Cs 和 Be 等稀有金属矿化,其中 Nb_2O_5 含量为 0.010%~0.012%、 Ta_2O_5 含量为 0.008%~0.011%, Rb_2O 含量为 0.231%~0.257%^[54]。

武功山地区细晶岩呈灰白色,均匀致密,质地坚硬,具细粒花岗结构,块状构造,发育钠长石化和弱高岭土化、绢云母化,沿裂隙面充填萤石。矿物

成分主要有石英(32%)、斜长石(33%)、钾长石(30%)和绢云母(5%),矿物粒径以 0.1~0.5 mm 为主。从主量元素组成上看,细晶岩具富硅、铝、钠,贫铁、镁、钙的特征, $A/\text{CNK} > 1$,属强过铝质岩石,分异指数(DI)均在 90 以上,表明其经历了较高级别的岩浆分异。从微量元素组成上看,细晶岩具有明显的 Rb、U、Ta、P、Hf 正异常和 Ba、K、Sr、Zr、Ti 负异常,且 Nb/Ta 比值(0.68~0.75)、Zr/Hf 比值(6.56~8.35)较低,与相邻的雅山复式岩体中含钽铌矿的强钠长石化白云母花岗岩较为接近,显示出高度分异演化和熔体-流体相互作用的特点。这些细晶岩与雅山复式岩体中早期含钨的二云母花岗岩也有较为相似的岩石地球化学特征,特别是稀土元素配分模式和微量元素蛛网图形态基本一致,显示出含稀有金属岩体与含钨岩体之间的亲源性^[54]。

九岭地区宜丰—奉新一带的细晶岩型和霏细斑岩型锂矿主要分布于燕山期甘坊复式岩体外围,成矿地质体既有细晶岩脉,也有霏细斑岩脉,当前主要作为含锂瓷石矿利用,有党田、鹅颈、洞上和东坑等矿区^[9, 12]。以党田矿区为例,12 条含锂霏细斑岩岩脉沿 NE 向断裂充填,呈带状产出,矿体沿 NE 走向具分支复合和膨大缩小现象。脉带最长>500 m,最宽达 15 m 以上,单脉长 150~800 m,宽 1~6 m,延深>300 m。矿物组成主要为石英、长石、锂云母及黄玉等,含锂矿物主要为锂云母,发育钠长石化、锂云母化、黄玉化。党田矿区累计查明含锂瓷石矿 2437.80 万 t,伴生 Li_2O 资源量 40.47 万 t^[12]。

同安细晶岩富含 Li 等稀有金属, Li、Rb、Cs、Nb、Ta 平均含量分别可达 $6\ 648 \times 10^{-6}$ 、 $3\ 710 \times 10^{-6}$ 、 $4\ 162 \times 10^{-6}$ 、 106.6×10^{-6} 和 160.3×10^{-6} ,成岩年龄为 138.3 Ma(锡石 U-Pb 法),具有高磷、铝,富碱、钙,贫镁、铁、钛的特征以及较高的 A/CNK 值(1.71~1.8),属典型的强过铝质、高钾钙碱性岩石^[32]。从微量元素及稀土元素组成看,细晶岩强烈亏损稀土元素,同时表现出相对富集 Rb、U、Nb、Ta、Pb、P、Hf 和明显亏损 Ba、Th、Sr、Ti 等元素的特征,具有较低的 K/Rb 比值(7.14~7.70,平均值为 7.37)、Nb/Ta 比值(0.63~0.69,平均值为 0.67)和 Zr/Hf 比值(5.74~6.50,平均值为 6.23)^[32],表明其成矿与熔体-流体相互作用密切相关。

1.4 云英岩型

云英岩属岩浆气液交代花岗岩的产物,依据其

形态特征,可将其划分为岩体型和脉带型^[10]。在湖南道县正冲锂多金属矿床,燕山期金鸡岭复式岩体顶部的云英岩富集 Li、Rb、Cs、W、Sn 等元素,是典型的云英岩型锂多金属矿床^[19, 55]。云英岩呈似层状,面型展布,属于岩体型。崇义茅坪钨锡矿床是岩体型和脉带型的复合型,岩体型云英岩主要分布于白云母花岗岩体的岩凸部位,其上部产有石英脉型钨锡矿脉带,其下部是石英脉+云英岩脉带,呈“草帽”状^[10]。此外,根据何维基^[56]提出的江西省钽铌矿床类型划分方案,将发育云英岩化等蚀变的含钨锡石英脉型矿床归为热液脉型;《中国矿产地志·江西卷》^[26]也将与钨锡矿有关的云英岩型锂矿称为石英脉型钨锡(钽铌、锂)矿。据此,综合上述分类方案,依据云英岩形态和赋矿围岩岩性特征,将江西云英岩型锂矿进一步划分为云英岩热液脉型和云英岩化花岗岩型两类。

云英岩热液脉型代表性矿床有赣南石雷矿区,该矿区共发育 7 个 NEE 向脉带组,倾向 NNW,倾角 $69^{\circ}\sim 85^{\circ}$,脉带长 500~1 700 m,宽 100~300 m,最大深度超过 700 m;产于角岩化砂岩中的云英岩 Li_2O 平均含量为 0.25%,二云母花岗岩中石英(长石)脉-云英岩 Li_2O 平均含量为 0.21%,二云母花岗岩中发育的含云母脉云英岩 Li_2O 平均含量为 0.22%^[10]。根据上述赋矿围岩的不同,可将其进一步细分为两类:一类是产于花岗岩中的热液脉型云英岩,受断裂控制,其围岩为花岗岩;另一类是产于石英脉型钨锡矿体顶底板两侧的热液脉型云英岩,呈脉状产出,其围岩为变质岩。大余洪水寨矿区属于产在花岗岩中的云英岩热液脉型锂矿,该矿区云英岩型锂矿体主要分布于矿区中部坑口区段 508—690 中段云英岩带内,主要含锂矿物为铁锂云母。该云英岩带受 NW 向断裂控制,整体走向 NW,长度达 1 000 m 以上,宽度一般 40~60 m,最宽达 90 m,平面上呈带状分布,连续性较好,垂向上向深部分枝尖灭。其围岩为中细粒斑状黑云母花岗岩。矿区内以 Li_2O 含量 $\geq 0.30\%$ 圈定了 3 条锂矿体,均呈 NW 走向,沿走向延伸长 125~560 m,矿体厚度为 4.23~39.68 m,倾向 SSW,倾角为 $70^{\circ}\sim 79^{\circ}$,各矿体 Li_2O 平均含量为 0.50%~0.51%,整个矿区 Li_2O 平均含量为 0.51%,伴生 Rb_2O 平均含量为 0.22~0.24%^②。洪水寨矿区具两期云英岩化特征,早期为云英岩化花岗岩,晚期为富云母云英岩

(Li_2O 含量较高,局部可达 1%左右),两者界线突变。近年来,笔者通过野外调查发现,赣南地区部分钨锡矿床中产于变质岩的脉带型云英岩中 Li_2O 含量一般为 0.27%~0.80%,有的达 1.10%,厚度几米不等,有较好的工业价值,且云英岩化变质岩中 Li_2O 含量也可达 0.10%左右。因此,在与石英脉型 W-Sn 矿体顶底板两侧的云英岩中“就钨找锂”的潜力较大。

云英岩化花岗岩型锂矿主要见于横峰松树岗和崇义茅坪等矿区,在花岗岩体上部发育云英岩化花岗岩。横峰松树岗矿区云英岩化花岗岩型矿石中 Li_2O 含量为 0.61%,含锂矿物为铁锂云母^[49]。崇义茅坪钨锡矿床中云英岩化花岗岩赋存于隐伏花岗岩体突起部位内带,呈似层状、透镜状,沿花岗岩顶部呈面型分布,产出标高-16~-200 m,一般延长 400~519 m,最长 660 m,平均长 299 m,一般宽 173~328 m,最宽 488 m,平均宽 189 m,产状与其下部隐伏花岗岩体(白云母花岗岩)的顶面产状基本一致^[57],且隐伏花岗岩中还发育钠长石化,具有寻找大型蚀变花岗岩型锂矿床的潜力。

2 江西与锂成矿相关的花岗岩特征

江西与硬岩型锂矿成矿相关的花岗岩主要形成于加里东期和燕山期。其中,加里东期伟晶岩型锂矿床无论是空间上还是时间上,均表现出与加里东期花岗岩密切的成因联系;蚀变花岗岩型、细晶岩(霏细斑岩)型和云英岩型锂矿则与燕山期淡色花岗岩密切相关。蚀变花岗岩型锂矿主要成矿地质体即是蚀变的淡色花岗岩体,而细晶岩(霏细斑岩)和云英岩型锂矿也与同时代的花岗岩具有密切的成因联系。

江西加里东期伟晶岩型锂矿主要与加里东期会同花岗岩体具有密切的时空联系。会同岩体岩性主要为斑状黑云母二长花岗岩,成岩时代属晚志留世;围岩有南华纪万源岩组变粒岩等,南华纪一震旦纪洪山组冰碛砾岩、石墨石英片岩等,寒武纪外管坑组硅质岩、碳质板岩等和白垩纪茅店组红色砂岩、砂砾岩等。会同岩体总体为过铝质到强过铝质($A/\text{CNK}=1.05\sim 1.28$)高钾钙碱性系列花岗岩,富集 Rb、Th、U、K、Pb,亏损 Ba、Sr、P、Ti,稀土总量较高(平均值为 296.3×10^{-6}),轻稀土富集, Eu 负异常明显,属于 S 型花岗岩,形成于后碰撞伸展背

景下成熟地壳的强烈再造和深熔作用^[52]。

蚀变花岗岩型锂矿主要分布于华南,集中在江西,该类型锂矿具有资源量巨大、易于开采、伴生元素多、综合利用潜力大、品位低等特点,是一种找矿潜力和开发利用价值巨大的锂资源^[17],其成矿地质体多属淡色花岗岩。淡色花岗岩具有极低的暗色矿物含量($\leq 5\%$),是一种特殊的花岗岩类型,包括浅色黑云母花岗岩、二云母花岗岩和白云母花岗岩。因其较高的铝饱和指数($A/CNK \geq 1.1$),且含有石榴石和白云母等富铝矿物,通常被认为是变沉积岩经过白云母等矿物脱水部分熔融形成,即淡色花岗岩是 S 型花岗岩的典型代表。部分淡色花岗岩更可能是高分异花岗岩,常伴生 W、Sn、Li、Nb 和 Ta 等重要的稀有金属矿床^[58-59]。淡色花岗岩演化晚期则可能形成锂矿化伟晶岩或细晶岩(霏细斑岩),若进一步经历热液作用的交代则可能形成锂矿化云英岩。综合前人研究成果,将与江西硬岩型锂矿相关的淡色花岗岩基本特征总结如下:①成岩时代集中于晚侏罗世—早白垩世,浅剥蚀,含矿岩体多为复式岩体的晚期岩体^[5, 17, 27]。②围岩多为前泥盆纪砂质泥岩,源区多为泥质源区,多形成于后碰撞伸展环境下的隆起区(例外的是松树岗形成于拗陷区)^[14-15, 17, 37-38, 60]。③岩体的 SiO_2 含量明显偏高(多数为 $72\% \sim 75\%$,部分 $> 75\%$),碱质含量高($K_2O + Na_2O > 7.5\%$),Fe、Mg、Ca、Ti 等含量明显偏低,F 含量高(多数 $> 0.2\%$,部分 $> 1\%$),分异程度高(分异指数 $DI > 85\%$,常为 $90\% \sim 95\%$),铝饱和指数 > 1.1 ,为过铝质花岗岩类^[15, 31, 37-38]。④稀土元素组成上,具有极低的稀土总量和 Eu 的强烈亏损,四分组效应明显($TE_{1,3}$ 值多大于 1.10)^[14-15, 31-38, 60-61]。⑤微量元素组成上,多数具有 Nb/Ta 比值 < 2 、Zr/Hf 比值 < 10 ,K/Rb 比值 < 50 的特征^[31]。⑥发育明显的钠长石化、云英岩化、白云母化、钾长石化、黄玉化等蚀变。⑦具有明显的 Li 矿致异常。上述特征可为锂矿找矿勘查过程中筛选有利成矿地质体和圈定找矿靶区提供参考。

3 找矿启示

喜马拉雅新生代淡色花岗岩带有望成为一条新的世界级 Li-Be-Sn-W-Ta 稀有金属成矿带^[62]。在喜马拉雅地区高分异淡色花岗岩带及共生伟晶

岩带中,发育以 Be、Nb、Ta(W-Sn)、Li 组合为主的矿化,且已在多处发现了大型锂多金属矿床,是我国新识别的重要稀有金属成矿区带^[63-69]。秦克章等^[68]基于喜马拉雅地区含 Li 伟晶岩形成于“远”母体、“高”海拔的特点,提出在区域构造层位的上部(前震旦系统布组以上)或更高海拔地区,以及淡色花岗岩体外侧远端的围岩(震旦系肉切村群分布区),可能是含锂伟晶岩的就位空间与找矿重点地段,并在琼嘉岗地区发现了超大型伟晶岩型锂矿^[67]。

与喜马拉雅新生代淡色花岗岩带相比较,在江西乃至华南分布的大规模燕山期复式花岗岩体中,晚阶段的二云母花岗岩和白云母花岗岩及钠长石化、云英岩化黑云母花岗岩也都属于淡色花岗岩,应该作为下一步重要的找锂矿目标地质体。楼法生等^[17]提出,除已经取得找矿突破的九岭南缘甘坊—白水洞岩体、武功山地区的雅山复式岩体外,江西幕阜山一带的白岭岩体、武功山地区的浒坑岩体、崇余犹地区的九龙脑岩体、三南地区的陂头岩体及会昌地区的早叫山岩体等复式岩体的较晚阶段花岗岩等,都是成矿有利的淡色花岗岩体。

近年来,云英岩化对锂的富集影响,也在赣北大湖塘钨矿区等地区得到关注。大湖塘矿区含铌钽花岗岩斑岩中的云母为含锂白云母, Li_2O 含量最高可达 2.1% ^[70]。其内外接触带云英岩带内的铁锂云母 Li_2O 含量为 $4.15\% \sim 4.86\%$,指示钨矿深部内接触带的云英岩化带和钠长石化带是寻找富锂-云母化蚀变岩型锂铷多金属矿的重要标志,显示出在钨成矿岩体中寻找锂矿的巨大潜力,“就钨找锂”的找矿思路也被正式提出^[71]。云英岩在赣南地区广泛分布的钨锡矿床中也十分发育,例如,在崇余犹矿集区的西华山、漂塘、茅坪等大型钨锡矿床以及淘锡坝锡矿床、洪水寨钨锡矿床和盘古山地区的铁山垅钨矿床中,共伴生的云英岩均有不同程度锂矿化显示^[10],说明江西乃至华南地区“就钨找锂”前景巨大。不少学者已提出应加强对华南地区已知钨锡矿区内锂的综合评价以及铁锂云母花岗岩及云英岩的岩石序列、矿物演变、金属元素富集和岩浆储存机制等的研究^[59, 72]。目前,已发现的大余石雷、洪水寨矿区云英岩热液脉型锂矿主要位于内外接触带的变质岩和黑云母花岗岩中,根据“就钨找锂”的思路^[71],在云英岩带下部的钠长石化淡色花岗岩带中,还具有巨大的蚀变花岗岩型锂矿找矿潜

力,应利用“以脉找体”的找矿思路,在 W-Sn 矿床的矿根部探索寻找蚀变花岗岩型锂矿,力争实现江西锂矿找矿勘查新突破。

另一方面,区域地球化学特征也反映江西乃至华南钨锡多金属矿床聚集区内具有寻找锂矿的巨大潜力。王学求等^[73]依据全国汇水域沉积物地球化学数据,以锂含量 42.9×10^{-6} (累积 85%) 作为异常下限,并兼顾重要的低缓区域地球化学异常,在华南圈定了与花岗岩有关的锂矿地球化学异常面积达 $259\,290\text{ km}^2$,异常内锂含量平均值为 51.1×10^{-6} ,划为华南地球化学省,主要分布在江西、湖南南部和广东中北部。这一范围也是华南重要的稀有金属、钨、锡多金属矿床聚集区,江西宜春 414 矿床、湖南道县正冲锂矿床和尖峰岭锂矿床等重要锂矿床都位于该地球化学省范围内。

4 结论

(1)江西省硬岩型锂矿均属于与花岗岩相关的内生矿床,划分为蚀变花岗岩型、伟晶岩型、细晶岩(霏细斑岩)型、云英岩型 4 种矿床类型、9 种矿化类型。

(2)蚀变花岗岩型和细晶岩(霏细斑岩)锂矿主要分布在武功山、九岭南缘及灵山矿集区,伟晶岩型锂矿主要分布于宁都—石城地区,云英岩型锂矿主要分布于赣南崇余犹地区。

(3)与蚀变花岗岩型、细晶岩(霏细斑岩)型和云英岩型锂矿有关的花岗岩属燕山期淡色花岗岩。云英岩型锂矿的发现,开拓了“就钨找锂”、“以脉找体”的找矿新思路。今后应加强淡色花岗岩岩体侵位过程、岩浆-热液体系中 Li、Be、Nb、Ta、W、Sn 等成矿元素超常富集机制研究,探索含 W、Sn 成矿岩体内外接触带云英岩及云英岩下部蚀变花岗岩的锂矿勘查新空间。

致谢:感谢两位审稿专家提出的宝贵修改意见,使本文内容更加丰富完善。感谢本刊执行主编谭桂丽高级工程师的悉心指导和修改,感谢本刊主编邢光福研究员的细致修改和提出的宝贵修改意见,使本文质量大幅提升!

注释

① 许建祥,王淑敏,陈为光,等.江西省石城县井坑里矿区钽铌矿详查地质报告. 2001:4-48.

② 阮林森,严腾腾,褚汉文.江西省大余县洪水寨矿区钨矿资源储量核实报告. 2020:1-164.

参考文献

- [1] 王登红,刘丽君,刘新星,等.我国能源金属矿产的主要类型及发展趋势探讨[J].桂林理工大学学报,2016,36(1):21-28.
WANG D H, LIU L J, LIU X X, et al. Main types and research trends of energy metallic resources in China[J]. Journal of Guilin University of Technology, 2016, 36(1): 21-28.
- [2] 翟明国,吴福元,胡瑞忠,等.战略性关键金属矿产资源:现状与问题[J].中国科学基金,2019,33(2):106-111.
ZHAI M G, WU F Y, HU R Z, et al. Critical metal mineral resources: current research status and scientific issues [J]. China Science Foundation, 2019, 33 (2): 106-111.
- [3] 张生辉,王振涛,李永胜,等.中国关键矿产清单、应用与全球格局[J].矿产保护与利用,2022,42(5):138-168.
ZHANG S H, WANG Z T, LI Y S, et al. List, application and global pattern of critical minerals of China [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2022, 42(5): 138-168.
- [4] 刘丽君,王登红,刘喜方,等.国内外锂矿主要类型、分布特点及勘查开发现状[J].中国地质,2017,44(2):263-278.
LIU L J, WANG D H, LIU X F, et al. The main types, distribution features and present situation of exploration and development for domestic and foreign lithium mine[J]. Geology in China, 2017, 44 (2): 263-278.
- [5] 王登红,代鸿章,刘善宝,等.中国锂矿十年来勘查实践和理论研究的十个方面新进展新趋势[J].地质力学学报,2022,28(5):743-764.
WANG D H, DAI H Z, LIU S B, et al. New progress and trend in ten aspects of lithium exploration practice and theoretical research in China in the past decade[J]. Journal of Geomechanics, 2022, 28(5): 743-764.
- [6] 代鸿章,王登红,刘善宝,等.国外锂矿找矿新进展(2019~2021年)及对我国战略性矿产勘查的启示[J].地质学报,2023,97(2):583-595.
DAI H Z, WANG D H, LIU S B, et al. New progress in lithium prospecting abroad (2019 ~ 2021) and its significance to China's strategic mining resources ex-

- ploration[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2023, 97(2): 583-595.
- [7] 许志琴, 王汝成, 赵中宝, 等. 试论中国大陆“硬岩型”大型锂矿带的构造背景[J]. *地质学报*, 2018, 92(6): 1091-1106.
- XU Z Q, WANG R C, ZHAO Z B, et al. On the structural backgrounds of the large-scale “hard rock type” lithium ore belts in China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2018, 92(6): 1091-1106.
- [8] 毛景文, 袁顺达, 谢桂青, 等. 21 世纪以来中国关键金属矿产找矿勘查与研究新进展 [J]. *矿床地质*, 2019, 38(5): 935-969.
- MAO J W, YUAN S D, XIE G Q, et al. New advances on metallogenic studies and exploration on critical minerals of China in 21st century[J]. *Mineral Deposits*, 2019, 38(5): 935-969.
- [9] 陈祥云, 吴俊华, 唐维新, 等. 赣西地区新探明巨量花岗岩型锂矿资源 [J]. *地球科学*, 2023, 48(10): 3957-3960.
- CHEN X Y, WU J H, TANG W X, et al. Newly found giant granite-associated lithium resources in the western Jiangxi Province, South China[J]. *Earth Science*, 2023, 48(10): 3957-3960.
- [10] 王成辉, 王登红, 刘善宝, 等. 赣南石雷钨锡矿云英岩型锂矿找矿新发现及其区域成矿潜力分析 [J]. *中国地质*, 2022, 49(6): 1834-1844.
- WANG C H, WANG D H, LIU S B, et al. New discovery and regional prospecting potentiality of greisen-type lithium mineralization in the Shilei tungsten and tin deposit, Southern Jiangxi Province[J]. *Geology in China*, 2022, 49(6): 1834-1844.
- [11] 熊定一, 王孝磊, 邢光福. 从超大陆旋回看前寒武纪伟晶岩型锂矿的形成[J]. *华东地质*, 2023, 44(1): 1-12.
- XIONG D Y, WANG X L, XING G F. A super continental cycles perspective for the formation of Precambrian pegmatitic lithium deposits[J]. *East China Geology*, 2023, 44(1): 1-12.
- [12] 吴学敏, 周敏娟, 罗喜成, 等. 江西西北部锂及稀有金属成矿条件及找矿潜力分析 [J]. *华东地质*, 2016, 37(4): 275-283.
- WU X M, ZHOU M J, LUO X C, et al. The metallogenic conditions and prospecting potential of lithium and rare metals in northwestern Jiangxi[J]. *East China Geology*, 2016, 37(4): 275-283.
- [13] 王成辉, 王登红, 陈晨, 等. 九岭式狮子岭岩体类型稀有金属成矿作用研究进展及其找矿意义 [J]. *地质学报*, 2019, 93(6): 1359-1373.
- WANG C H, WANG D H, CHEN C, et al. Progress of research on the Shiziling rare metals mineralization from Jiuling-type rock and its significance for prospecting [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2019, 93(6): 1359-1373.
- [14] XIE L, LIU Y, WANG R, et al. Li-Nb-Ta mineralization in the Jurassic Yifeng granite-aplite intrusion within the Neoproterozoic Jiuling batholith, south China: a fluid-rich and quenching ore-forming process [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2019, 185: 104047.
- [15] 李仁泽, 周正兵, 彭波, 等. 江西宜丰县大港超大型含锂瓷石矿床地质特征及成因机制探讨 [J]. *矿床地质*, 2020, 39(6): 1015-1029.
- LI R Z, ZHOU Z B, PENG B, et al. A discussion on geological characteristics and genetic mechanism of Dagang superlarge lithium-bearing porcelain stone deposit in Yifeng County, Jiangxi Province [J]. *Mineral Deposits*, 2020, 39(6): 1015-1029.
- [16] 聂晓亮, 王水龙, 刘爽, 等. 江西茜坑锂矿床地质地球化学特征与锂云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究 [J]. *矿物学报*, 2022, 42(3): 285-294.
- NIE X L, WANG S L, LIU S, et al. Geological and geochemical characteristics of the Xikeng lithium deposit and the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronology of lepidolite of the deposit in Jiangxi Province, China [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2022, 42(3): 285-294.
- [17] 楼法生, 徐喆, 黄贺, 等. 江西低品位超大型花岗岩云母型锂矿地质特征及找矿意义 [J]. *东华理工大学学报(自然科学版)*, 2023, 46(5): 425-436.
- LOU F S, XU Z, HUANG H, et al. Geological characteristics and prospecting significance of low grade and super large granite mica-type lithium deposits in Jiangxi province [J]. *Journal of East China Institute of Technology (Natural Science Edition)*, 2023, 46(5): 425-436.
- [18] 郑绵平, 邢恩袁, 张雪飞, 等. 全球锂矿床的分类、外生锂矿成矿作用与提取技术 [J]. *中国地质*, 2023, 50(6): 1599-1620.
- ZHENG M P, XING E Y, ZHANG X F, et al. Classification and mineralization of global lithium deposits and lithium extraction technologies for exogenetic lithium deposits [J]. *Geology in China*, 2023, 50(6): 1599-1620.
- [19] 李建康, 刘喜方, 王登红. 中国锂矿成矿规律概要 [J]. *地质学报*, 2014, 88(12): 2269-2283.
- LI J K, LIU X F, WANG D H. The Metallogenic Regularity of Lithium Deposit in China [J]. *Acta Geo-*

- logica Sinica, 2014, 88(12): 2269-2283.
- [20] 张苏江, 张彦文, 张立伟, 等. 中国锂矿资源现状及其可持续发展策略 [J]. 无机盐工业, 2020, 52(7): 1-7. ZHANG S J, ZHANG Y W, ZHANG L W, et al. Present situation and sustainable development strategy of China's lithium resources [J]. Inorganic Chemicals Industry, 2020, 52(7): 1-7.
- [21] 王建国, 邢佳, 宋振国, 等. 我国典型锂矿床类型、分布特征及资源利用探讨 [J]. 有色金属工程, 2021, 11(11): 1-9. WANG J G, XING J, SONG Z G, et al. Discussion on the types, distribution characteristics and resource utilization of typical lithium deposits in China [J]. Non-ferrous Metals Engineering, 2021, 11 (11): 1-9.
- [22] 王核, 黄亮, 白洪阳, 等. 中国锂资源的主要类型、分布和开发利用现状: 评述和展望 [J]. 大地构造与成矿学, 2022, 46(5): 848-866. WANG H, HUANG L, BAI H Y, et al. Types, distribution, development and utilization of lithium mineral resources in China: review and perspective [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2022, 46 (5): 848-866.
- [23] 隰弯弯, 赵宇浩, 倪培, 等. 锂矿主要类型、特征、时空分布及找矿潜力分析 [J]. 沉积与特提斯地质, 2023, 43(1): 19-35. XI W W, ZHAO Y H, NI P, et al. Main types, characteristics, distributions, and prospecting potential of lithium deposits [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2023, 43(1): 19-35.
- [24] 刘爽, 王水龙, 邢新龙, 等. 江西省锂矿资源分布、矿床类型及找矿前景 [J]. 资源环境与工程, 2019, 33(2): 195-198, 207. LIU S, WANG S L, XING X L, et al. Distribution, types and prospecting potential of lithium deposits in Jiangxi Province [J]. Resources Environment and Engineering, 33 (2): 195-198, 207.
- [25] 陈祺, 舒立旻, 贺玲, 等. 江西省锂矿资源分布特征及其研究工作展望 [J]. 矿产与地质, 2022, 36(2): 234-241. CHEN Q, SHU L M, HE L, et al. Distribution characteristics of lithium mineral resources in Jiangxi and discussion of the future research emphases [J]. Mineral Resources and Geology, 2022, 36 (2): 234-241.
- [26] 《中国矿产地质志·江西卷》编委会. 中国矿产地质志·江西卷 [M]. 北京: 地质出版社, 2015. The Mineral Geological Records of China • Volume of Jiangxi Editorial Committee. The Mineral Geological Records of China • Volume of Jiangxi [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2015.
- [27] 李胜虎. 华南典型花岗岩型稀有金属矿床的成矿机制与找矿模式研究 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2015. LI S H. Ore forming mechanisms and prospecting models of typical granite type rare metal deposits in South China [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2015.
- [28] CHE X D, WANG R C, WU F Y, et al. Episodic Nb-Ta mineralisation in South China: constraints from in situ LA-ICP-MS columbite-tantalite U-Pb dating [J]. Ore Geology Reviews, 2019, 105: 71-85.
- [29] 张勇, 马东升, 徐喆, 等. 雅山 414 钽锂矿辉钼矿铌钽年龄及找矿意义 [C]// 第九届全国成矿理论与找矿方法学术讨论会论文摘要集, 2019: 199-200. ZHANG Y, MA D S, XU Z, et al. Yashan 414 tantalum-lithium ore molybdenite rhenium-osmium age and prospecting significance [C]// Abstract Collection of Papers of the Ninth National Symposium on Metallogenic Theory and Prospecting Methods, 2019: 199-200.
- [30] 胡论元, 侯珊珊, 梁国安. 江西海罗岭钽锡多金属矿田成矿规律及找矿方向探讨 [J]. 矿产勘查, 2015, 6(2): 132-141. HU L Y, HOU S S, LIANG G A. Study on the metallogenic regularity and prospecting direction in the Hailuoling tantalum-tin polymetallic ore field in Jiangxi [J]. Mineral Exploration, 2015, 6(2): 132-141.
- [31] 徐喆, 张勇, 潘家永, 等. 江西石城海罗岭花岗岩型钽钼矿床岩石地球化学、年代学特征及其地质意义 [J]. 地质学报, 2023, 97(6): 1874-1899. XU Z, ZHANG Y, PAN J Y, et al. Petrogeochemical and geochronological characteristics of Hailuoling granite type niobium-tantalum deposit in Shicheng, Jiangxi Province and its geological significance [J]. Acta Geologica Sinica, 2023, 97 (6): 1874-1899.
- [32] 曾闰灵, 章敬若, 贺玲, 等. 江西宜丰同安花岗细晶岩年代学及其成因研究 [J]. 地质学报, 2023, 97(11): 3750-3765. ZENG R L, ZHANG J R, HE L, et al. Chronology and genesis of the Tong'an granitic aplite in Yifeng, Jiangxi Province [J]. Acta Geologica Sinica, 2023, 97(11): 3750-3765.
- [33] 丰成友, 黄凡, 曾载淋, 等. 赣南九龙脑岩体及洪水寨云英岩型钨矿年代学 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(1): 111-121.

- FENG C Y, HUANG F, ZENG Z L, et al. Isotopes chronology of Jiulongnao granite and Hongshuizhai greisens-type tungsten deposit in South Jiangxi Province [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2011, 41(1): 111-121.
- [34] 龙细友, 陈正钱, 刘志军, 等. 江西雅山 414 和灵山松树岗钽铌矿成矿特征对比分析研究 [J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 2021, 44(3): 239-248.
LONG X Y, CHEN Z Q, LIU Z J, et al. Contrasting metallogenic geological characteristics of Yashan 414 and Lingshan Songshugang Ta-Nb deposits in Jiangxi [J]. Journal of East China Institute of Technology (Natural Science Edition), 2021, 44(3): 239-248.
- [35] 徐喆, 王迪文, 吴正昌, 等. 江西宜春雅山地区钽铌矿床地质特征及成因探讨 [J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 2018, 41(4): 364-378.
XU Z, WANG D W, WU Z C, et al. Geological characteristics and genesis of the Yashan Niobium-Tantalum deposit at Yichun, Jiangxi Province [J]. Journal of East China Institute of Technology (Natural Science Edition), 2018, 41(4): 364-378.
- [36] YIN L, POLLARD P J, HU S X, et al. Geologic and geochemical characteristics of the Yichun Ta-Nb-Li deposit, Jiangxi Province, South China [J]. Economic Geology, 1995, 90(3): 577-585.
- [37] 李洁, 黄小龙. 江西雅山花岗岩岩浆演化及其 Ta-Nb 富集机制 [J]. 岩石学报, 2013, 29(12): 4311-4322.
LI J, HUANG X L. Mechanism of Ta-Nb enrichment and magmatic evolution in the Yashan granites, Jiangxi Province, South China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(12): 4311-4322.
- [38] 杨泽黎, 邱检生, 邢光福, 等. 江西宜春雅山花岗岩体的成因与演化及其对成矿的制约 [J]. 地质学报, 2014, 88(5): 850-868.
YANG Z L, QIU J S, XING G F, et al. Petrogenesis and magmatic evolution of the Yashan granite pluton in Yichun, Jiangxi Province, and their constraints on mineralization [J]. Acta Geologica Sinica, 2014, 88(5): 850-868.
- [39] 黄小娥, 徐志华. 江西雅山花岗岩体交代作用及其与稀有金属的成矿关系 [J]. 江西有色金属, 2005, 19(4): 1-4.
HUANG X E, XU Z H. Metasomatism of Jiangxi Yashan granite body and metallogenic relationship between it and rare metals [J]. Nonferrous Metals Science and Engineering, 2015, 19(4): 1-4.
- [40] 车旭东, 王汝成, 胡欢, 等. 江西宜春黄玉-锂云母花岗岩中的铍矿化作用: 铍磷酸盐矿物组合 [J]. 岩石学报, 2007, 23(6): 1552-1560.
CHE X D, WANG R C, HU H, et al. Beryllium mineralization in the Yichun topaz lepidolite granite, Jiangxi: associations of beryllium phosphate minerals [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(6): 1552-1560.
- [41] 楼法生, 沈渭洲, 王德滋, 等. 江西武功山穹隆复式花岗岩的锆石 U-Pb 年代学研究 [J]. 地质学报, 2005, 79(5): 636-644.
LOU F S, SHEN W Z, WANG D Z, et al. Zircon U-Pb isotopic chronology of the Wugongshan dome compound granite in Jiangxi Province [J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(5): 636-644.
- [42] 龚敏, 吴俊华, 季浩, 等. 赣西大港花岗岩型锂矿床锂赋存状态及成岩成矿年代学 [J]. 地球科学, 2023, 48(12): 4370-4386.
GONG M, WU J H, JI H, et al. Occurrence of lithium and geochronology of magmatism and mineralization in Dagang granite-associated lithium deposit, west Jiangxi Province [J]. Earth Science, 2023, 48(12): 4370-4386.
- [43] 钟建昇, 靳鑫. 葛源松树岗钽铌矿床地质特征及富集规律 [J]. 世界有色金属, 2017(15): 181-182.
ZHONG J S, JIN X. Geological characteristics and enrichment law of tantalum-niobium deposit in Songshugang of Geyuan County [J]. World Nonferrous Metals, 2017(15): 181-182.
- [44] 章崇真, 李吉涛, 黄定堂, 等. 江西灵山花岗岩的演化和成矿 [J]. 大地构造与成矿学, 1985, 9(4): 323-340.
ZHANG C Z, LI J T, HUANG D T, et al. The evolution and mineralization of Lingshan granite in Jiangxi [J]. Geotectonica et Metallogenia, 1985, 9(4): 323-340.
- [45] 黄定堂. 江西横峰松树岗钨锡铌钽多金属矿床成因探讨 [J]. 有色金属矿产与勘查, 1999, 8(4): 231-236.
HUANG D T. Origin of the Songshugang W-Sn-Nb-Ta polymetallic deposit, Jiangxi [J]. Geological Exploration for Non ferrous Metals, 1999, 8(4): 231-236.
- [46] 黄定堂. 灵山岩体演化特征及其与稀有金属的成矿关系 [J]. 地质与勘探, 2003, 39(4): 35-40.
HUANG D T. Evolving characteristics and related rare-metal metallogenesis of Lingshan rock body [J]. Geology and Prospecting, 2003, 39(4): 35-40.
- [47] WANG C Z, ZHAO X L, HUANG Z Z, et al. Early Cretaceous extensional-tectonism-related petrology of the Gan-Hang Belt SE China: Lingshan A-type granite

- at ca. 130 Ma [J]. *Geological Journal*, 2018, 53(6): 2487-2506.
- [48] 曾庆友, 潘世语, 彭蜀涛, 等. 江西松树岗钠长石化花岗岩型钽铌矿工艺矿物学特征 [J]. *矿产综合利用*, 2020, 41(6): 180-185.
- ZENG Q Y, PAN S Y, PENG S T, et al. Technological mineralogical characteristics of Songshugang albitized granitic type tantalum-niobium ore in Jiangxi Province [J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020, 41(6): 180-185.
- [49] 曾庆友, 林忠良, 潘世语, 等. 江西松树岗云英岩化花岗岩型钽铌矿矿物组成及赋存形式 [J]. *矿产勘查*, 2021, 12(8): 1765-1772.
- ZENG Q Y, LIN Z L, PAN S Y, et al. Ore substance composition and occurrence of Songshugang greisenized granite type Tantalum-Niobium deposit [J]. *Mineral Exploration*, 2021, 12 (8): 1765-1772.
- [50] 胡为正, 黄俊平, 黄孝文. 赣南西港伟晶岩型钽铌锂辉石矿床地质特征及成因 [J]. *资源调查与环境*, 2005, 26(4): 258-266.
- HU W Z, HUANG J P, HUANG X W. Characteristics and genesis of pegmatite type Nb-Ta spodumene deposit in Xigang, south Jiangxi [J]. *Resources Survey & Environment*, 2005, 26 (4): 258-266.
- [51] 胡为正, 黄孝文, 谢振东. 赣南西港—冷井地区锂辉石矿床地质特征及找矿前景 [J]. *东华理工学院学报*, 2006(Z1): 187-194.
- HU W Z, HUANG X W, XIE Z D. Geological characteristics and prospect foreground of spodumene deposits in Xigang-Lengjing area, south Jiangxi Province [J]. *Journal of East China Institute of Technology*, 2006(Z1): 187-194.
- [52] 崔圆圆, 赵志丹, 蒋婷, 等. 赣南早古生代晚期花岗岩类年代学、地球化学及岩石成因 [J]. *岩石学报*, 2013, 29(11): 4011-4024.
- CUI Y Y, ZHAO Z D, JIANG T, et al. Geochronology, geochemistry and petrogenesis of the Early Paleozoic granitoids in southern Jiangxi Province, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(11): 4011-4024.
- [53] 黄传冠, 贺彬, 夏明, 等. 赣南地区伟晶岩型锂矿资源禀赋特征与找矿新进展 [J]. *中国矿业*, 2021, 30(3): 212-216.
- HUANG C G, HE B, XIA M, et al. Resource endowment characteristics and prospecting progress of pegmatite type lithium mine in southern Jiangxi Province [J]. *China Mining Magazine*, 2021, 30(3): 212-216.
- [54] 徐喆, 楼法生, 吴正昌, 等. 江西武功山地区稀有金属成矿作用特征、成矿模式及找矿方向探讨 [C] // 2022 江西地质新进展, 2022.
- XU Z, LOU F S, WU Z C, et al. Mineralization characteristics, metallogenic model and prospecting direction of rare metals in Wugongshan, Jiangxi [C] // *Collected Papers Reflecting Geoscience New Progress in Jiangxi Province*, 2022.
- [55] 文春华, 罗小亚, 李胜苗. 湖南道县正冲稀有金属矿床云英岩地球化学特征及对成矿的约束 [J]. *桂林理工大学学报*, 2016, 36(1): 90-98.
- WEN C H, LUO X Y, LI S M. Geochemical characteristics and geochemical characteristics mineralization of greisen in Zhengchong rare metal deposit of Daoxian, Hunan [J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 2016, 36(1): 90-98.
- [56] 何维基. 江西省钽铌矿床类型及时空分布规律 [J]. *矿产与地质*, 2001, 15(Z1): 450-456.
- HE W J. Tantalum niobium ore deposit type in Jiangxi Province and its time-space distribution rule [J]. *Mineral Resources and Geology*, 2001, 15 (Z1): 450-456.
- [57] 王定生, 陆思明, 胡本语, 等. 江西茅坪钨锡矿床地质特征及成矿模式 [J]. *中国钨业*, 2011, 26(2): 6-11.
- WANG D S, LU S M, HU B Y, et al. The geological characteristics and mineralization model of a tungsten-tin deposit [J]. *China Tungsten Industry*, 2011, 26(2): 6-11.
- [58] 吴福元, 刘小驰, 纪伟强, 等. 高分异花岗岩的识别与研究 [J]. *中国科学(地球科学)*, 2017, 47(7): 745-765.
- WU F Y, LIU X C, JI W Q, et al. Highly fractionated granites: Recognition and research [J]. *Science China Earth Sciences*, 2017, 47(7): 745-765.
- [59] 吴福元, 郭春丽, 胡方泱, 等. 南岭高分异花岗岩成岩与成矿 [J]. *岩石学报*, 2023, 39(1): 1-36.
- WU F Y, GUO C L, HU F Y, et al. Petrogenesis of the highly fractionated granites and their mineralizations in Nanling Range, South China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2023, 39(1): 1-36.
- [60] ZHU Z Y, WANG R C, CHE X D, et al. Magmatic-hydrothermal rare-element mineralization in the Songshugang granite (northeastern Jiangxi, China): insights from an electron-microprobe study of Nb-Ta-Zr minerals [J]. *Ore Geology Reviews*, 2015, 65: 749-760.
- [61] 赵振华, 增田彰正, M.B.夏巴尼. 稀有金属花岗岩的

- 稀土元素四分组效应 [J]. 地球化学, 1992 (3): 221-233.
- ZHAO Z H, MASUDA A, SHABANI M B. Tetrad effects of rare-earth elements in rare-metal granites[J]. *Geochimica*, 1992(3):221-233.
- [62] 曹华文, 李光明, 张林奎, 等. 喜马拉雅淡色花岗岩成因与稀有金属成矿潜力 [J]. 沉积与特提斯地质, 2022, 42(2): 189-211.
- CAO H W, LI G M, ZHANG L K, et al. Genesis of himalayan leucogranite and its potentiality of rare metal mineralization [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2022, 42(2): 189-211.
- [63] 吴福元, 刘志超, 刘小驰, 等. 喜马拉雅淡色花岗岩 [J]. 岩石学报, 2015, 31(1): 1-36.
- WU F Y, LIU Z C, LIU X C, et al. Himalayan leucogranite: Petrogenesis and implications to orogenesis and plateau uplift [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2015, 31 (1): 1-36.
- [64] 李光明, 张林奎, 焦彦杰, 等. 西藏喜马拉雅成矿带错那洞超大型铍锡钨多金属矿床的发现及意义 [J]. 矿床地质, 2017, 36(4): 1003-1008.
- LI G M, ZHANG L K, JIAO Y J, et al. First discovery and implications of Cuonadong superlarge Be-W-Sn polymetallic deposit in Himalayan metallogenic belt, southern Tibet [J]. *Mineral Deposits*, 2017, 36 (4): 1003-1008.
- [65] 王汝成, 吴福元, 谢磊, 等. 藏南喜马拉雅淡色花岗岩稀有金属成矿作用初步研究 [J]. 中国科学: 地球科学, 2017, 47(8): 871-880.
- WANG R C, WU F Y, XIE L, et al. A preliminary study of rare-metal mineralization in the Himalayan leucogranite belts, South Tibet [J]. *Science China Earth Sciences*, 2017, 47(8): 871-880.
- [66] 吴福元, 王汝成, 刘小驰, 等. 喜马拉雅稀有金属成矿作用研究的新突破 [J]. 岩石学报, 2021, 37(11): 3261-3276.
- WU F Y, WANG R C, LIU X C, et al. New breakthroughs in the studies of Himalayan rare-metal mineralization [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2021, 37 (11): 3261-3276.
- [67] 秦克章, 赵俊兴, 何畅通, 等. 喜马拉雅琼嘉岗超大型伟晶岩型锂矿的发现及意义 [J]. 岩石学报, 2021, 37 (11): 3277-3286.
- QIN K Z, ZHAO J X, HE C T, et al. Discovery of the Qiongjiagang giant lithium pegmatite deposit in Himalaya, Tibet, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2021, 37(11): 3277-3286.
- [68] 秦克章, 周起凤, 赵俊兴, 等. 喜马拉雅淡色花岗岩带伟晶岩的富铍成矿特点及向更高处找锂 [J]. 地质学报, 2021, 95(10): 3146-3162.
- QIN K Z, ZHOU Q F, ZHAO J X, et al. Be-rich mineralization features of Himalayan leucogranite belt and prospects for lithium-bearing pegmatites in higher altitudes[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2021, 95 (10): 3146-3162.
- [69] 李光明, 付建刚, 郭伟康, 等. 西藏喜马拉雅成矿带东段嘎波伟晶岩型锂矿的发现及其意义 [J]. 岩石矿物学杂志, 2022, 41(6): 1109-1119.
- LI G M, FU J G, GUO W K, et al. Discovery of the Gabo granitic pegmatite-type lithium deposit in the Kulagangri Dome, eastern Himalayan metallogenic belt and its prospecting implication [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2022, 41 (6): 1109-1119.
- [70] 刘莹, 谢磊, 王汝成, 等. 赣北大湖塘矿床的含铌钽与含钨花岗岩成岩成矿特征对比研究 [J]. 地质学报, 2018, 92(10): 2120-2137.
- LIU Y, XIE L, WANG R C, et al. Comparative study of petrogenesis and mineralization characteristics of Nb-Ta-bearing and W-bearing granite in the Dahutang deposit, northern Jiangxi Province [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2018, 92(10): 2120-2137.
- [71] 张勇, 潘家永, 马东升. 赣西北大湖塘钨矿富锂-云母化岩锂元素富集机制及其对锂等稀有金属找矿的启示 [J]. 地质学报, 2020, 94(11): 3321-3342.
- ZHANG Y, PAN J Y, MA D S. Lithium element enrichment and inspiration for prospecting for rare-metal mineralization in the Dahutang tungsten deposit: constraints from mineralogy and geochemistry of hydrothermal alteration[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2020, 94(11): 3321-3342.
- [72] 李晓峰, 韦星林, 朱艺婷, 等. 华南稀有金属矿床: 类型、特点、时空分布与背景 [J]. 岩石学报, 2021, 37 (12): 3591-3614.
- LI X F, WEI X L, ZHU Y T, et al. Rare metal deposits in South China: types, characteristics, distribution and tectonic setting[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 37 (12): 3591-3614.
- [73] 王学求, 刘汉粮, 王玮, 等. 中国锂矿地球化学背景与空间分布: 远景区预测 [J]. 地球学报, 2020, 41(6): 797-806.
- WANG X Q, LIU H L, WANG W, et al. Geochemical abundance and spatial distribution of lithium in China: implications for potential prospects [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2020, 41(6): 797-806.

Classification of hard rock lithium deposits in Jiangxi Province and its implication for prospecting

XU Zhe^{1,2,3}, ZHANG Fangrong^{1,2}, ZHANG Fushen^{1,2}, LOU Fasheng¹, ZHANG Yong³,
PAN Jiayong³, WU Zhengchang^{1,2}, HE Bin^{1,2}, ZHOU Yu^{1,2,3}, FU Haiming^{1,2}

(1. *Institute of Basic Geological Survey, Jiangxi Geological Survey and Exploration Institute*,
Nanchang 330030, Jiangxi, China;

2. *Jiangxi Province Key Laboratory of Exploration and Development of Critical Mineral Resources*,
Nanchang 330009, Jiangxi, China;

3. *State Key Laboratory of Nuclear Resources and Environment, East China University of Technology*,
Nanchang 330013, Jiangxi, China)

Abstract: In recent years, the exploration of hard rock lithium deposits has made great breakthrough in Jiangxi Province, including the discovery of a super large niobium-tantalum deposit associated with ultra-large scale of lithium oxide resources in Songshugang of Hengfeng County, northeastern Jiangxi, a huge amount of granitic lithium resources in western Jiangxi, and greisen lithium deposits in southern Jiangxi. It's necessary for us to scientifically divide the types of hard rock lithium deposits in Jiangxi and establish local prospecting indicators, by further summarizing regional metallogenic regularity and identifying metallogenic potential, we can innovate the metallogenic theory of regional hard rock lithium and improve ore-prospecting and comprehensive utilization. Based on the field investigation and previous research results, this paper divides the hard rock lithium deposits in Jiangxi into four types: altered granite type, pegmatite type, aplite (felsophyre) type and greisen type, and nine mineralization types in accordance with the characteristics of ore-forming geological bodies, alteration types, ore-bearing surrounding rocks, main lithium-bearing mineral types and metallogenic age. Meanwhile, the hard rock lithium in Jiangxi are all endogenous deposits related to granite. This paper also summarizes the basic characteristics of the granite-associated lithium mineralization. The research shows that the altered granite lithium deposit is an important lithium type in Jiangxi, and the light granite body related to mineralization is an important targeted prospecting geological body. The discovery of greisen lithium mineralization provides an important basis for “looking for lithium in tungsten”, indicating great potential for lithium prospecting in the periphery and deep of known tungsten polymetallic deposits in Jiangxi and even South China. In addition, we should actively explore the idea of “looking for orebody after vein”. In the future, we should strengthen lithium deposits prospecting in vein-like greisen and its lower altered granite in the inner and outer contact zone of W-Sn metallogenic rock mass, so as to accelerate the breakthrough of lithium ore prospecting.

Key words: altered granite type; pegmatitic type; aplite (felsophyre) type; greisen type; hard rock lithium ore; Jiangxi Province