



引文格式: 彭素霞, 郭玉, 张照伟, 等. 西北地区与锡成矿有关的花岗岩特征及成矿[J]. 西北地质, 2024, 57(5): 27–39. DOI: 10.12401/j.nwg.2024020

Citation: PENG Suxia, GUO Yu, ZHANG Zhaowei, et al. The Characteristics of Granite Associated with Tin and Mineralization in Northwest China[J]. Northwestern Geology, 2024, 57(5): 27–39. DOI: 10.12401/j.nwg.2024020

西北地区与锡成矿有关的花岗岩特征及成矿

彭素霞¹, 郭玉², 张照伟¹, 全孝勤^{3,*}, 陈博¹, 谢春林¹

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心/西北地质科技创新中心, 自然资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 陕西 西安 710119; 2. 河南省西华县第二高级中学, 河南 周口 466600; 3. 中国冶金地质总局西北地质勘查院, 陕西 西安 710119)

摘要: 西北地区是国内成矿条件优越、矿产资源集中区域之一, 但锡产出不足全国的 2%, 且分布零散、规模较小, 所以西北地区锡矿并没有得到很多关注, 且已有研究主要偏重典型矿床的地球化学分析和矿床成因, 对区域成矿特征和成矿规律少有总结。笔者选择西北地区与锡有关的花岗岩为研究对象, 通过分析此类花岗岩的特征提出锡矿找矿新认识。分析显示, Sn 元素易富集于晚期熔体, 且易由地幔向地壳富集, 花岗岩浆源区地壳物质越多对形成锡矿越有利, A 型花岗岩对锡成矿有更为明显的专属性, 尤其在大陆碰撞、俯冲和洋陆转换环境下形成的过铝质和钙碱性花岗岩更有利于锡富集。同时, 与锡成矿有关的花岗岩普遍具有较高锡丰度, 如东准和天山地区达到 7×10^{-6} , 远远高于地壳 Sn 丰度值 (1.7×10^{-6}), 加之成矿区地层锡值普遍偏高, 锡经过不断的迁移、富集、岩浆结晶分异并在一定的温度下最终成矿。文中简述了西北地区的 6 个锡矿成矿区带特征, 为西北地区锡矿找矿提供参考。

关键词: 锡矿; 与锡有关花岗岩; 成矿条件; 成矿环境; 西北地区

中图分类号: P618.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2024)05-0027-13

The Characteristics of Granite Associated with Tin and Mineralization in Northwest China

PENG Suxia¹, GUO Yu², ZHANG Zhaowei¹, QUAN Xiaoqin^{3,*}, CHEN Bo¹, XIE Chunlin¹

(1. Xi'an Center of China Geological Survey/Northwest China Center for Geoscience Innovation, Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, MLR, Xi'an 710119, Shaanxi, China; 2. The Second Senior Middle School of Xihua County, Henan Province, Zhoukou 466600, Henan, China; 3. China General Administration of Metallurgical Geology Northwest Geological Survey, Xi'an 710119, Shaanxi, China)

Abstract: Northwest China is one of superior conditions area for tin ore formation and rich mineral resources in China, but tin ore output is less than 2%, and scattered distribution and small scale in the area. Because tin is not a dominant mineral, it has not received much attention. Previous research mainly focused on the geochemi-

收稿日期: 2023-07-11; 修回日期: 2024-01-26; 责任编辑: 贾晓丹

基金项目: 国家重点研发计划课题“中亚成矿域战略性矿产信息及成矿规律”(2021YFC2901802), 中国地质调查局项目“阿尔泰-准噶尔北缘成矿带战略性矿产调查”(DD20240073)联合资助。

作者简介: 彭素霞(1976-), 女, 博士, 正高级工程师, 主要从事区域成矿规律和典型矿床研究。E-mail: nokdu@126.com。

* 通讯作者: 全孝勤(1983-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事地质矿产调查与勘探工作。E-mail: 185512342@qq.com。

cal and genesis of typical deposits, lacking a summary and understanding of regional mineralization characteristics and patterns. This paper selects the granite related to tin ore as the research object. The authors put forward some new comprehension of tin prospecting by analyzing the characteristics of the granite. The paper shows that tin is not only enriched in late melt but also from mantle to crust. The more crustal material in granulite basement, it is the more favorable for tin mineralization. A-type granite has a more obvious specificity to tin mineralization. It found that granites related to tin mineralization generally have higher Sn abundance, especially the peraluminous and calc-alkaline granites formed in the environment of continental collision, oceanic or crust subduction and ocean-continent transition are more conducive to tin enrichment. The high Sn abundance is also an essential factor for tin mineralization. For example, in the East Junggar and Tianshan regions, the tin abundance is reached 7×10^{-6} , higher than the crustal tin abundance value of (1.7×10^{-6}) . Tin ore is finally formed at a certain temperature, continuous mobilized, migrated, enriched, and magmatic crystallization differentiation. Based on the above views, the paper describes the characteristics of the 6 tin metallogenic belts in Northwest China, which are considered to be tin prospecting potential area.

Keywords: tin ore; granite related to tin; metallogenic conditions; metallogenic environment; NW China

锡(Sn)在当代主要用于现代国防、工业生产、尖端科学技术和人类生活,是对国家经济发展和国家安全至关重要的矿产资源,是中国战略性矿产之一。全球锡矿主要分布于东亚滨太平洋、西美滨太平洋、东南亚(澳大利亚)、欧亚大陆和非洲,其储量占世界储量的 91.5%。中国锡储量占全球储量 24%(Kamilli et al., 2017),集中分布在华南地区即扬子陆块及东南缘和内蒙古,华南占全国储量的 90%,而西北不足 2%,区域上显示出分布极不平衡。研究表明,世界上与花岗岩有关的锡矿超过 99%(Kamilli et al., 2017),国内大型锡矿均与花岗岩有关,显示出花岗岩对锡成矿特有的专属性,所以分析与锡有关的花岗岩特征显得尤为重要,是研究与花岗岩有关锡成矿的核心,也是寻找锡矿的重要理论手段和方法。锡不是西北地区优势矿种,且分布零散,成矿类型单一,矿床规模小,成型矿床少,目前整区锡矿勘查基本停滞,近几年甚少进展,而且与锡矿有关的研究不多,对成矿规律探讨更少,还没有形成区域性认识。笔者通过分析西北地区大中型锡矿床中与锡有关花岗岩的地球化学特征,讨论花岗岩和成矿的关系,总结锡矿形成条件和形成环境,以此分析找矿潜力,为西北地区锡矿找矿提供重要依据和方向。

1 西北地区锡矿特征

西北地区已发现锡矿床(点)共 67 处,其中,大型矿床 1 处(新疆白干湖钨锡矿床),中型矿床 6 处(青海

日龙沟锡矿、小卧龙铁钨锡矿和新疆萨惹什克锡矿、独山锡矿、彻依布拉克锡矿、喀孜别克锡矿),其余均为小型矿床和矿点,分布在天山-兴蒙和秦祁昆两大造山系的西段。其中,天山-准噶尔地区集中成团分布在东准卡拉麦里、哈密黄阳泉、尉犁独山、阿图什彻依布拉克和温泉喀孜别克等地,矿种组合单一,主要是单锡和钨锡组合;秦祁昆地区锡矿则分布较散,且产出有锡铅锌、钨锡、锡铁铜等多种矿种组合(表 1, 图 1)。

成矿时代主要集中在古生代的石炭纪、二叠纪,有少量成矿在早古生代和三叠纪,这一特点与世界锡成矿期对应,也与中国著名的华南钨锡成矿带和三江成矿带成矿期对应。

成矿类型主要是矽卡岩型、热液型和接触交代型,有少量的斑岩型和热液型,青海日龙沟锡矿(中型)是西北地区迄今为止发现的唯一与火山岩有关的锡矿床。矿体产出位置多处于岩体中或地层与岩体接触部位,锡成矿与花岗岩体密切相关,花岗岩地球化学特征显示出高 Si、高 K、高碱、亏损 Ba、Sr、Eu 等共性,且均为 A 型或 S 型花岗岩(表 1)。由此可见,研究与锡有关的花岗岩对西北地区锡矿有重要的意义。

区内锡多呈锡石形式产出,矿体多呈层状、似层状、细脉状和浸染状,且多出现构造、花岗岩和地层控矿的规律。成矿构造、与成矿有关的侵入岩和石英脉及其形成的矽卡岩和硅化、矽卡岩化等围岩蚀变是西北地区锡矿找矿的常见地质找矿标志。

表 1 西北地区重要锡矿床地质特征表

Tab. 1 Geological characteristics of important tin deposits in Northwest China

矿床名称	矿床规模	成矿元素	矿床类型	围岩	矿体产出位置	矿石矿物	含矿岩体地球化学特征	与成矿有关岩体及时代	参考文献
奇台县萨惹什克锡矿床	中型	Sn	石英脉型	富碱花岗岩	锡石石英脉和含锡花岗岩	锡石	高碱、贫 Ca、富 Rb、Sn、K，强烈亏损 Ba、Sr，Eu， $\delta\text{Eu}=0.01\sim 0.03$ ，A 型花岗岩	锡石石英脉 (324.2±3.4) Ma； 富碱花岗岩 (306±3) Ma、 (313±2) Ma、 314±5) Ma	唐红峰等， 2007；林锦富等，2008
温泉县喀孜别克锡矿床	中型	Sn、W、Cu	云英岩型	上泥盆统碎屑岩建造	喀孜别克岩体内	锡石、黑钨矿、磁铁矿、辉钼矿、闪锌矿、方铅矿、蓝铜矿	$\text{SiO}_2>70\%$ ， $\text{K}_2\text{O}>\text{Na}_2\text{O}$ ， $\sigma=1.62\%\sim 2.07\%$ ，属钙碱岩系列，出现刚玉分子(>1%)，富 Rb、Sn， $\delta\text{Eu}=0.15$ ，S 型花岗岩	喀孜别克岩体，290 Ma	兰天佑等，1994
兴海县日龙沟锡矿床	中型	Sn、Cu、Pb、Zn	海相火山岩型	下二叠统浅变质滨海-浅海相碎屑岩、碳酸盐岩夹火山沉积岩建造	围岩含矿	锡石、黄铁矿、方铅矿、自然铜	—	—	王移生，1990；路远发，1990
都兰县小卧龙铁钨锡矿床	中型	W、Sn、Fe	矽卡岩型	奥陶系—志留系中-基性火山沉积变质岩	角岩化泥质砂岩及矽卡岩	磁铁矿、锡石、白钨矿、黄铜矿	富 SiO_2 、K、Sn，属高钾钙碱性系列	似斑状二长花岗岩，印支期	马慧英等，2009
彻依布拉克锡多金属矿床	中型	Sn、Au、Zn、Cu	矽卡岩型	碱长花岗岩	矽卡岩	锡石、黄铜矿、白钨矿、黄铁矿等	富 Si、富碱、富轻稀土，贫 Mg、Al，Ga/Al 值大，具强 Eu 负异常，A 型花岗岩	塔木岩体，(261.5±2.7) Ma	杨富全等，2003
独山锡矿	中型	Sn	热液型	钾长花岗斑岩	钾长花岗斑岩体	锡石、磁铁矿	A ₂ 型花岗岩	钾长花岗斑岩，(264.6±1.2)~(259.9±2.6) Ma	张子敏等，2001
若羌县白干湖钨锡矿床	大型	W、Sn	矽卡岩型	古元古界金水口群小庙岩组陆源碎屑岩-碳酸盐岩沉积建造	二长花岗岩、更长花岗岩及其与围岩接触带中	锡石、白钨矿、黑钨矿、黄铜矿、黄铁矿	高碱高钾，富 SiO_2 、Rb、Sn，亏损 Ba、Sr，Eu，A 型花岗岩	二长花岗岩 (430.5±1.2) Ma、 (421±4) Ma；含 矿更长花岗岩 (429.5±3.2) Ma	高永宝等，2011；李大新等，2013

2 典型矿床

(1)东昆仑白干湖锡矿: 西北规模最大的锡矿床, 钨和锡均达到大型矿床规模, 位于塔里木-华北板块南部、东昆仑造山带与阿尔金造山带的交汇处、白干湖断裂的北侧, 处于昆北弧后裂陷槽西段、华北和华南两大板块的增生带位置。大地构造环境属于北祁曼塔格早古生带岩浆弧。区内出露地层主要是古元古界金水口群陆源碎屑岩-碳酸盐岩沉积建造的浅变质岩系(图 2), 锡矿体主要赋存于金水口群绢云石英

片岩与加里东期巴什尔希岩浆岩的外接触带上。围岩蚀变以矽卡岩化、云英岩化和硅化为主。区内构造复杂, 断裂、褶皱发育同时具有多期和复合的特点, 对成矿也有明显的控制作用。

矿床类型为矽卡岩-石英脉-云英岩复合型矿床。矽卡岩型矿体受侵入的二长花岗岩体和围岩接触带控制, 呈层状似层状分布在矽卡岩的外接触带。云英岩型和石英脉型矿体发育于内外接触带及裂隙中, 和矽卡岩型矿体相互充填或者叠加, 3 种矿体形成有矽卡岩化-云英岩化-石英脉的先后顺序。

矿区自加里东期至印支期均有岩浆活动, 以加里

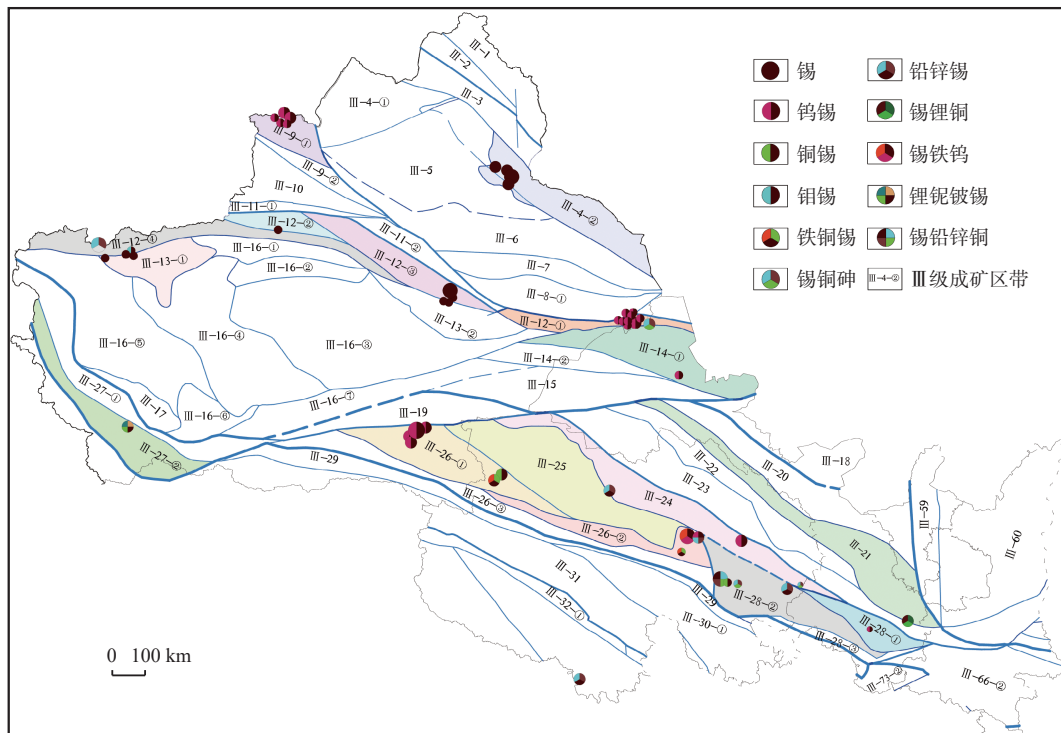
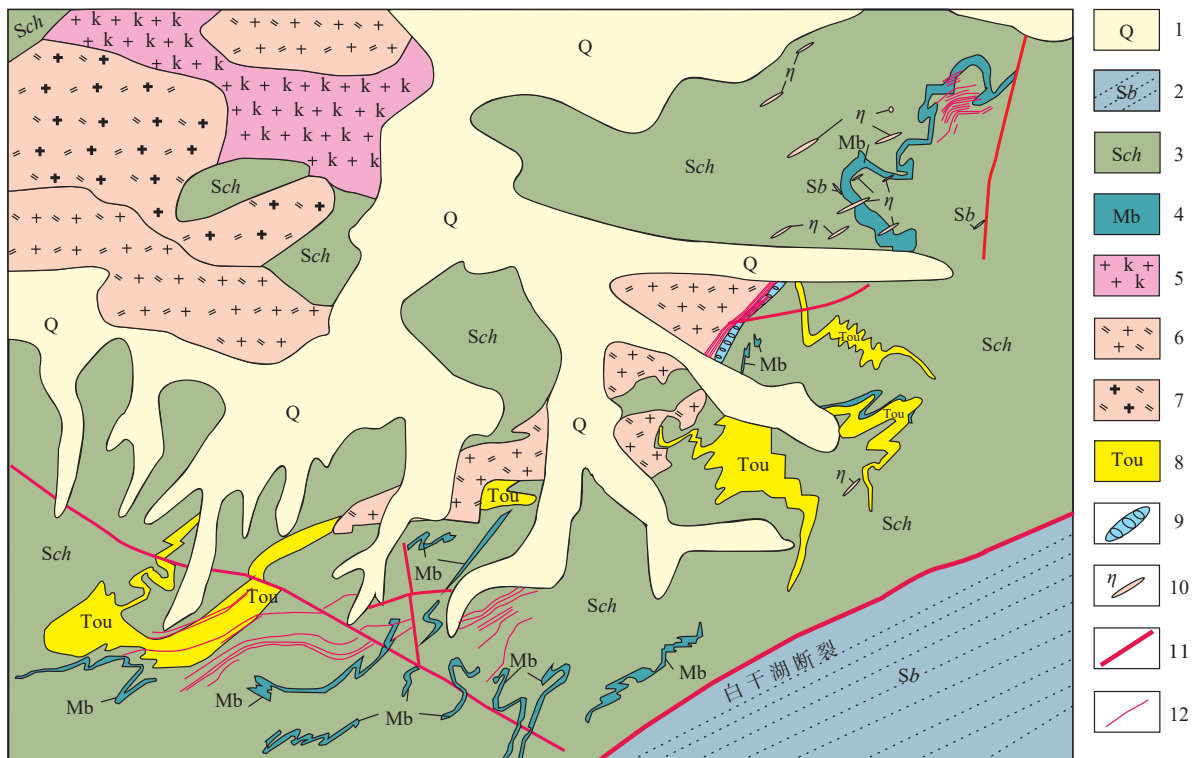


图1 西北地区锡矿分布简图

Fig. 1 Simplified geological map of the tin mines in Northwest China



- 1.第四系; 2.志留系白干湖组泥、砂岩; 3.金水口群小庙岩组绢云石英片岩; 4.金水口群小庙岩组硅质大理岩; 5.钾长花岗岩; 6.中细粒二长花岗岩; 7.似斑状二长花岗岩; 8.电气石化绢云石英片岩; 9.透闪石透辉石矽卡岩; 10.二长花岗岩脉; 11.断裂; 12.矿化体

图2 白干湖矿田地地质略图(据李大新等, 2013 修)

Fig. 2 Sketch geological map of the Baiganhu tungsten tin orefield

东期为主。巴什尔希花岗岩体是最主要的岩体,其酸性-中酸性侵入岩岩性以钾长花岗岩、二长花岗岩为主,原生晕 Sn 元素背景值平均为 2.9×10^{-6} , 大于含锡丰富的上地壳丰度,围岩金水口群地层锡丰度平均值为 3.3×10^{-6} (刘子峰等, 2007; 李大新等, 2013)。富含 Sn 的岩浆岩和围岩为成矿带来了丰富的矿物质,是区域成矿的“矿源层”。

已有研究显示,白干湖钨锡矿床与成矿有关的花岗岩均为 A 型和 S 型花岗岩 (李国臣等, 2012; 李大新等, 2013; 周建厚等, 2015)。与成矿紧密相关的巴什尔希花岗岩中的钾长花岗岩和二长花岗岩均显示出高碱 ($(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})\%=6.61\% \sim 9.69\%$)、高 K ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}=1.02 \sim 1.90$)、富 Fe、贫 Mg、稀土总量高 ($228 \times 10^{-6} \sim 448 \times 10^{-6}$)、轻稀土相对重稀土明显富集的特点,同时具有负 Eu 异常以及富集 La、Ce、Zr、Sm、Th、亏损 Ba、Nb、Ta、Ti 等特征, $\text{A/CNK}=0.92 \sim 1.15$, 为准铝质或弱过铝质 A 型花岗岩 (高晓峰等, 2010; 高永宝等, 2011; 李国臣等, 2012)。另外,白干湖矿区成矿花岗岩-正长花岗岩的 A/CNK 值为 $1.07 \sim 1.11$, A/NK 平均值为 1.47 , ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})\%=6.86\% \sim 7.56\%$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值为 $1.07 \sim 1.27$ 。其微量元素特征与巴什尔希钾长花岗岩和二长花岗岩微量元素特征相似,且该正长花岗岩体含有锰铝榴石和原生白云母等过铝质矿物,总体显示过铝质特征,为 S 型花岗岩 (周建厚等, 2015)。

白干湖钨锡矿床包含了西北锡矿的主要矿床类型,其成矿花岗岩类型和华南锡成矿花岗岩一致,均为 A 型或者 S 型,且具有相同的地球化学特征,是西北最具典型的锡矿床。矿床的形成是在一定地质作用下 W、Sn 等元素初始富集,相对集中于金水口群绢云石英片岩,随着加里东期地幔上侵重熔,含矿花岗质岩浆不断的分异演化萃取 W、Sn 等成矿元素,沿裂隙上涌形成含矿花岗岩,在成矿有利地段富集就位形成不同类型 W、Sn 矿体。

(2) 东准萨惹什克锡矿: 位于准噶尔盆地的东北缘的卡拉麦里地区,处于西伯利亚板块和哈萨克斯坦-准噶尔板块的结合部位,南紧邻卡拉麦里蛇绿混杂岩带,是东准造山带的核心区,也是吐-哈陆块北缘的晚古生代火山弧区,是中亚造山带的重要组成部分。矿区出露地层为中泥盆统蕴都卡拉组 (D_2y) 凝灰质粉砂岩、凝灰岩和玄武岩,华力西中期花岗岩发育并侵入其中。花岗岩为石炭世—二叠世后碰撞阶段形成的偏碱性-富碱性逐渐变化的碱性花岗岩体,呈 NWW

向展布在卡拉麦里深断裂北侧的花岗岩隆起杂岩带上,岩性主要有碱性花岗岩、碱长花岗岩、二长花岗岩及花岗闪长岩,均为 A 型花岗岩 (苏玉平等, 2006; 唐红峰等, 2007)。锡矿分布在花岗岩岩体周围或在岩体内部或在岩体与地层的内接触带上。区内自西向东有萨惹什克、贝勒库都克、干梁子、卡姆斯特 4 个独立锡矿床。

萨惹什克锡矿床所在的萨北岩体是东准碱性花岗岩区的一部分,主要由碱性中细粒钠闪石花岗岩和钠铁闪石花岗岩组成,有小部分片麻状黑云母花岗岩,后者主要以捕虏体和残留体状分布在矿区北部。锡矿(化)体呈稠密星点浸染状赋存于碱性花岗岩和石英脉中 (图 3), 矿床类型主要为石英脉型,少量云英岩型。围岩蚀变主要为硅化、绢云母化、白云母化。萨北碱性花岗岩具有高碱 ($(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})\%=7.49\% \sim 7.59\%$)、贫 Ca ($0.2\% \sim 0.47\%$)、富 Rb ($168 \times 10^{-6} \sim 228 \times 10^{-6}$) 和富 Sn, 强烈亏损 Ba、Sr、Eu 的特点,为典型的 A 型花岗岩特征,其 Sn 的含量达到 $10.9 \times 10^{-6} \sim 15.2 \times 10^{-6}$, 是地壳平均值 2.5×10^{-6} 的 4~6 倍,与世界其他含锡花岗岩的高锡特征一致 (唐红峰等, 2007)。

东准地区经历过板块俯冲、碰撞、拉张、洋盆关闭、板内演化等多重复杂多变的地质过程,使得区内花岗岩成岩具有形成持续时间长和多期多阶段性,且均为后碰撞岩浆活动的产物。以往的研究也证明了东准锡矿和碱性花岗岩时间和空间上密不可分的关系 (刘家远等, 1997; 唐红峰等, 2007; 林锦富等, 2008; 吴宏恩等, 2008)。晚石炭世—早二叠世,区域碰撞造山作用结束,在后造山张性环境下,由卡拉麦里年轻洋壳和陆源沉积物部分熔融形成的、具有一定 Sn 含量的初始花岗岩浆,经过岩浆演化,岩石化学成分逐渐成碱性,在地幔热源的作用下结晶分异作用使锡显著富集,并向浅部侵位形成萨惹什克锡矿床。

3 与锡有关的花岗岩类型及其形成环境

3.1 与锡有关的花岗岩类型

中国最主要锡矿类型是锡石硫化物型 (陈郑辉等, 2015; 蒋少涌等, 2020), 产出两个最大锡矿床 (云南个旧锡铜和广西大厂锡铜铅锌矿床) 以及华南地区多处锡矿床, 其次有石英脉型、斑岩型、云英岩型和矽卡岩型。西北地区锡矿则主要是矽卡岩型、石英脉型及热液型, 其中矽卡岩型和石英脉型最多。成矿组合多

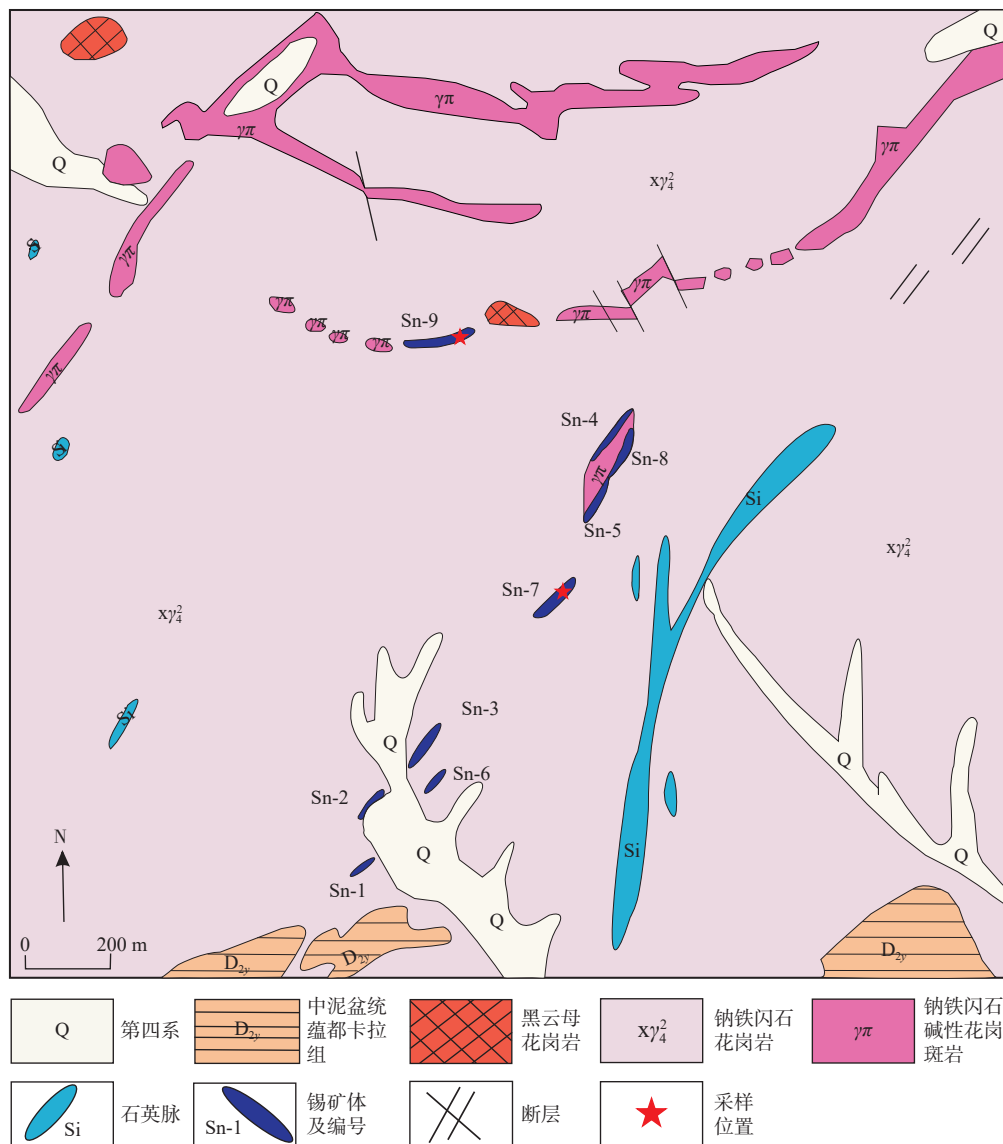


图3 萨惹什克锡矿床地质图(据林锦富等, 2008 修)

Fig. 3 Geological map of the Sareshenke tin ore-deposit

是 Sn 与 W、Cu、Pb、Zn、Fe 共生, W、Sn 组合占绝大多数, 也有少量单锡矿。

从锡矿类型上看, 均以花岗岩为母岩, 显示出花岗岩对锡矿明显的成矿专属性。此类花岗岩均经历了高度的岩浆演化, 均为岩浆结晶分异后期花岗岩, 岩性主要为黑云母花岗岩、二云母花岗岩和钾长花岗岩。Sn 元素的中等不相容性易富集于晚期熔体, 岩浆分异过程中 F、B、CL 等挥发分的增加, 会进一步促进锡元素的富集, 随着岩浆演化锡越来越富集最终在分异作用终端岩浆低温残留体中富集成矿。锡的地球化学性质决定其在不同的环境中同时具有亲氧、亲硫、亲铁的特性, 在不同的氧化还原条件下显示出不同的亲和力从而形成氧化锡、硫化锡及和基性超基性岩浆

中的铂族元素形成的亲铁性金属矿物(隋清霖等, 2020), 而展现出不同的矿物组合。

从花岗岩类型划分上看, 迄今为止, M 型花岗岩没有发现钨锡矿, 与 I 型花岗岩有关的锡矿少且分散, 与锡成矿有关的花岗岩多为 S 型或者 A 型(Blevin et al., 1995; Schwartz et al., 1995; 朱金初等, 2008; Chen et al., 2016), 更多认为是 A 型花岗岩(Jiang et al., 2006; Shu et al., 2011; Yao et al., 2014; Li et al., 2018; Yan et al., 2018)。国际国内发现许多与 A 型花岗岩有关锡矿床, 如尼日利亚 Jos 高原 Sn(Nb、W、Zn)矿床、巴西 Pitin-ga 的 Sn(Zr、Nb、Ta、Y、REE)矿床、加拿大育空 Seagull-Thertymile 的 Sn(Ag)矿床, 以及国内四川西部连龙 Sn-Ag、湖南芙蓉 Sn、锡田 Sn、荷花坪 Sn、柿竹

园超大型 W-Sn、江西会昌岩背 Sn 等矿床。西北地区塔里木陆块东南缘的白干湖大型 W、Sn 矿床及东准噶尔卡拉麦里地区锡矿带的成矿岩体也均属于 A 型花岗岩, 近些年在湖南-桂北地区发现的面积超过 3 000 km²、延伸 350 km 的一条含锡花岗岩带也是 A

型花岗岩(蒋少涌等, 2006)。

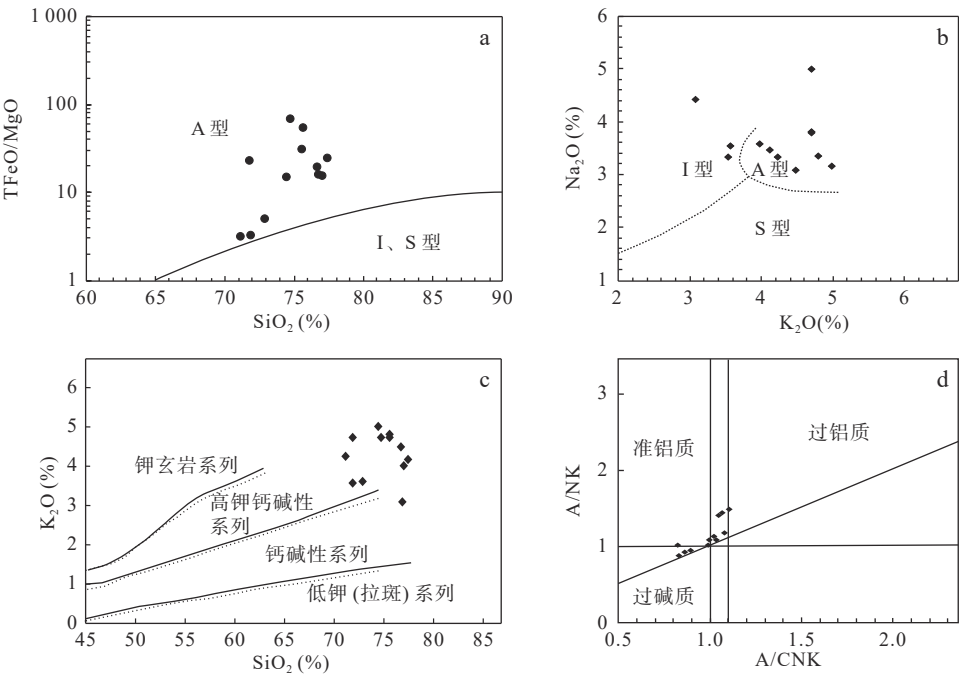
整理西北地区所有大中型锡矿床的与成矿有关的花岗岩地球化学数据(表 2)发现: 在 SiO₂-TFeO/MgO 图解中, 投点全部落入 A 型花岗岩区域(图 4a); 在 K₂O-Na₂O 图解中, 花岗岩投点除个别点外大部分

表 2 西北地区大中型主要锡矿床与成矿有关的花岗岩体主量元素(%)测试数据

Tab. 2 Major element compositions (%) of the metallogenic granite of the main tin deposits in Northwest China

矿床名称 岩体	白干湖		萨惹什克				小卧龙	彻依布拉克	
	似斑状二长花岗岩	细粒二长花岗岩	萨北岩体碱性花岗岩				似斑状二长花岗岩	塔木碱长花岗岩	
SiO ₂	71.10	71.88	76.98	77.36	76.68	76.77	72.88	74.46	71.81
Al ₂ O ₃	14.55	13.84	9.74	9.00	9.27	10.86	13.61	12.00	13.57
Fe ₂ O ₃	0.19	0.69	0.83	1.81	1.61	1.87	1.00	0.49	1.10
FeO	1.85	1.70	0.95	1.05	0.71	0.70	1.63	0.90	1.30
MnO	0.10	0.12	0.16	0.18	0.16	0.18	0.05	0.05	0.04
CaO	1.97	1.79	0.40	0.38	0.47	0.20	1.82	0.64	1.75
MgO	0.64	0.71	0.11	0.11	0.11	0.15	0.51	0.09	0.10
K ₂ O	4.23	3.54	3.98	4.13	4.48	3.08	3.57	4.99	4.71
Na ₂ O	3.33	3.32	3.58	3.46	3.07	4.41	3.53	3.15	4.98
P ₂ O ₅	0.11	0.13	0.20	0.21	0.28	0.22	0.08	0.01	0.01
TiO ₂	0.26	0.30	0.48	0.53	0.53	0.51	0.01	0.10	0.11
Na ₂ O+K ₂ O	7.56	6.86	7.56	7.59	7.55	7.49	7.10	8.14	9.69
TFeO/MgO	3.16	3.27	15.43	24.35	19.62	15.88	4.96	14.90	22.90
A/CNK	1.07	1.10	0.89	0.83	0.86	0.99	1.05	1.02	0.82
A/NK	1.45	1.49	0.96	0.89	0.94	1.03	1.41	1.13	1.02

注: 白干湖数据据李大新等(2013); 萨惹什克数据据唐红峰等(2007); 小卧龙数据据马慧英等(2009); 彻依布拉克数据据杨富全等(2003)。



a 据 Whalen, 1996; b 据 Collins, 1982; c 据 Rickwood, 1989; d 据 Mania et al., 1989

图4 西北地区主要锡矿花岗岩地球化学图解

Fig. 4 Geochemical diagrams for mineralized granite, Northwest China important tin deposit

也落入A型花岗岩区域(图4b);含锡花岗岩普遍高硅, SiO_2 含量为71.1%~85.24%,高于中国花岗岩平均含量71.63(黎彤等,1998); Al_2O_3 含量较高,除东准在9%~10%外,其他矿床均为12%~15%; $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 含量多数处于7.10%~9.69%; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值为0.95~1.58,具有高K钙碱性特征(图4c); A/CNK 值为0.83~1.1,平均为1.08,为过碱质和过铝质系列(图4d)。

全疆与锡成矿有关的花岗岩普遍有富Si、富碱、分异指数高、低K/Rb、高Rb/Sr,而Ba、Sr、Eu明显亏损、相对富重稀土贫轻稀土的特征,且普遍具有较高锡丰度,如西天山阿拉套喀孜别克黑云母花岗岩和东准噶尔卡拉麦里花岗岩Sn含量平均大于 7×10^{-6} ,具有明显的Ba、Sr、Ti负异常,挥发分F含量高于一般花岗岩(800×10^{-6}),显示出高分异的特征(表1),这也为上述论述提供了佐证。

按照Lehmann(1990)的地球中金属分异演化模式,地球壳幔分异过程中锡在地幔中亏损且易向地壳富集,当地壳重熔进一步分异时,锡也进一步汇聚至上地壳,丰度由原始地幔中 0.12×10^{-6} 逐渐到上地壳中 2.1×10^{-6} (Jochum et al., 1993; Rudnick et al., 2003),由此可以推断花岗岩浆源区地壳物质越多对形成锡矿越有利,杨合群(2007)也曾得出此结论。S型花岗岩来源于地壳源或上部地壳物质的重熔,是以壳源为源岩,经过部分熔融、结晶而产生的过铝质花岗岩,所以有利于锡矿的富集。A型花岗岩产于地壳伸展减薄的构造背景,可以出现在非造山环境也可以出现在造山后环境(Sylvester, 1989; Eby, 1992; Whalen et al., 1996; Bonin, 2007),通常出现在稳定的大陆内部和裂谷,代表低压下高温熔融的花岗岩类,同样来源于壳源的物质最多,更有利于锡矿的富集。

3.2 花岗岩形成环境与锡矿的关系

据肖庆辉等(2002)提出的花岗岩类型与地球动力学环境的关系,含白云母过铝质花岗岩(MPG)和含堇青石过铝质花岗岩(CPG)均来源于壳源,属于大陆碰撞环境下形成的过铝质花岗岩;富钾钙碱性花岗岩类(KCG)和含角闪石钙碱性花岗岩类(ACG)来自于地壳和地幔的混合,为俯冲作用和构造体制转换环境下形成的偏铝质和钙碱性花岗岩类;其余花岗岩则来自于大洋扩张或大陆的隆起作用和裂谷作用环境下的幔源。结合锡的富集特点,由此可以认为在大陆碰撞、俯冲和洋陆转换环境下形成的过铝质和钙碱性花岗岩更有利于Sn的富集。

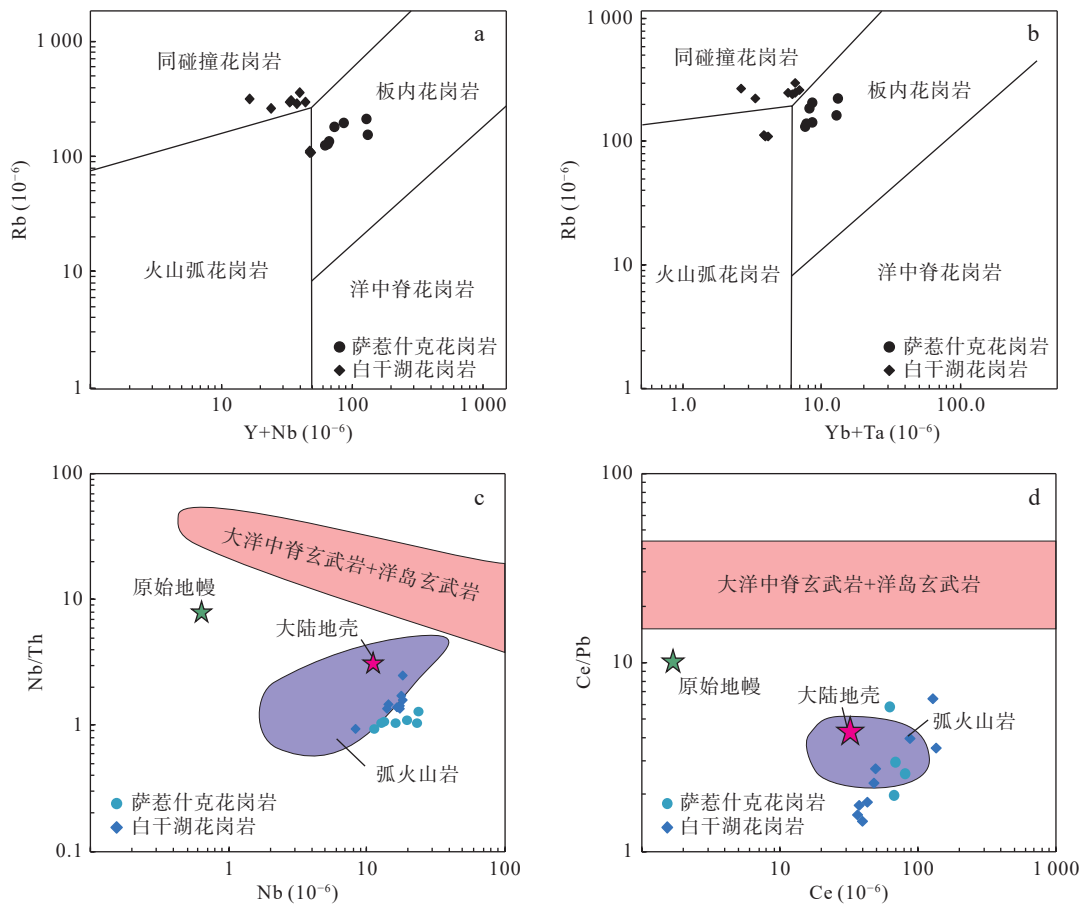
以东昆仑白干湖和东准噶尔萨惹什克锡矿为例,在Rb-Y+Nb和在Rb-Yb+Ta图解中(图5a、图5b),白干湖锡矿与锡有关的花岗岩相关数据点多落在同碰撞花岗岩区内,而萨惹什克锡矿与锡有关花岗岩数据点均落在非造山环境下的板内花岗岩范围内。在Nb/Th-Nb和Ce/Pb-Ce图解中(图5c、图5d),则表现为陆陆碰撞环境下的弧火山岩的亲缘性特征。这些结果与矿床所在区域构造环境一致。

西北地区自太古宙至新生代经历了板块构造发育、构造演化、后碰撞伸展裂谷及陆内造山等几个大的构造阶段,经历了复杂多变的多旋回裂解、离散和汇聚、碰撞的洋陆转换和陆内演化过程等不同动力学体制的演化及不同构造变形和变质改造,为各种金属元素成矿提供了丰富的源区、热源、通道等成矿有利环境。构造提供矽卡岩热液通道,锡矿分布受大地构造控制明显,多分布在造山褶皱带或陆缘活动带、岛弧及深大断裂带,所以矿床(点)总是沿构造带呈带状集中分布(图1)。王永和等(2020)讨论了西北地区成矿与弧盆系的关系,认为在奥陶纪—中泥盆世俯冲—碰撞地壳汇聚背景下,西北地区早古生代弧盆系发育以致形成了一系列与弧岩浆相关的壳源型钨锡矿。例如,在柴北缘岩浆弧,奥陶纪滩间山群海相火山沉积变质岩系两次火山喷发较长间歇期,形成以沙柳河南区钨锡多金属中型矿床为代表的钨锡矿;在东昆仑祁漫塔格早古生代岩浆弧,早古生代中酸性岩与结晶基底(白沙河岩群)接触带形成白干湖大型钨锡矿;晚古生代时期,东准噶尔岩浆弧因为额尔齐斯洋盆向北俯冲作用,在额尔齐斯缝合带以南卡拉麦里地区产出与弧侵入岩相关的萨惹什克等系列锡矿;东昆仑地区的晚古生代晚期—三叠纪弧岩浆作用形成了岩浆热液型—矽卡岩型五一河小型等锡矿床。由此可见,锡矿也与弧盆系构造有密不可分的关系。

4 成矿条件及资源潜力

4.1 成矿条件

对与岩浆岩有关的锡矿而言,成矿除受源区的性质、氧化或者还原状态、挥发份含量及结晶作用等诸多因素的影响和控制外(Linnen et al., 1996; Sato et al., 2002; 蒋少涌等, 2006; Mao et al., 2013; 曹华文, 2015; Romer et al., 2016; 毛景文等, 2018),岩浆岩和地层的Sn含量及成矿温度也是锡成矿的必备因素。



a、b 底图据 [Pearce et al., 1984](#); c、d 底图据 [Boztug et al., 2007](#)

图5 西北地区典型矿床花岗岩构造环境判别图解

Fig. 5 Tectonic discrimination diagrams of the typical deposit granite in Northwest China

岩浆岩不仅提供了成矿物质来源,还提供了热源,也是有益组分运移的载体,锡矿则多发育在岩体边缘、顶部或者接触带中。尤其是岩浆结晶分异会使 Sn 更易聚集并富集成矿,且宜在还原岩浆晚期熔体中富集 ([Lehmann, 1990](#); [隋清霖等, 2020](#)),世界上与锡成矿有关的花岗岩大部分都显示出高分异特征,所以岩浆岩的强结晶分异是寻找锡矿的重要条件 ([Zhang et al., 2017b](#); [Liu et al., 2018](#))。

地层为锡矿成矿提供了部分物质来源,地层的岩性、层位和结构构造控制矿体的形态,锡矿无不是产于地层 Sn 含量偏高的区带上,经过不断的迁移、富集产出成矿。华南地区前寒武纪—泥盆纪地层被研究者认为是锡成矿矿源层,其 Sn 丰度较原始地幔和平均地壳显示明显的正异常 ([刘义茂等, 1998](#); [曹华文, 2015](#); [陈骏, 2000](#); [隋清霖等, 2020](#))。就西北而言,控制锡矿的地层主要在古生代奥陶系—二叠系碳酸盐岩、大理岩、砂岩、变质碎屑岩类,矿区地层的 Sn 含

量明显高于远离锡矿区的同地层,如青海日龙沟下二叠统地层 Sn 丰度达到 110×10^{-6} ,远远超过地壳 Sn 丰度值 (1.7×10^{-6}) ([李聪等, 2019](#)),且地层的物理化学性质决定了矿化和矿化类型。因此,Sn 在源区中初始富集程度也是锡成矿的一个不可或缺的重要因素。

西北地区锡矿多出产于造山褶皱带或陆缘活动带及岛弧,明显的成带分布也证明了构造对成矿的专属控制作用。区域上重要的构造热事件往往伴随着大规模的成矿作用,温度是地球物质迁移的基本条件,也是锡成矿的热动力,高温能增加矿物质的活性,更容易使矿物迁移而聚集。华南钨锡矿带正位于太平洋构造域和特提斯构造域的接合部位,强烈的热事件和岩浆活动导致了大规模的钨锡矿化,验证了锡矿成矿的这几个必备条件。从锡矿成矿模式结合上述成矿因素可以看出,锡矿的形成最初均是伴随岩浆侵位开始的,一部分 Sn 元素沉积在地层,一部分聚集在岩浆热液中,Sn 在不断的构造活动、

热和催化剂的持续作用下,随着花岗岩浆不断分异生成富含锡的成矿热液,然后对构造裂隙进行充填

和对含矿围岩蚀变、交代,最后集中在有利的构造部位形成锡矿床(图 6)。

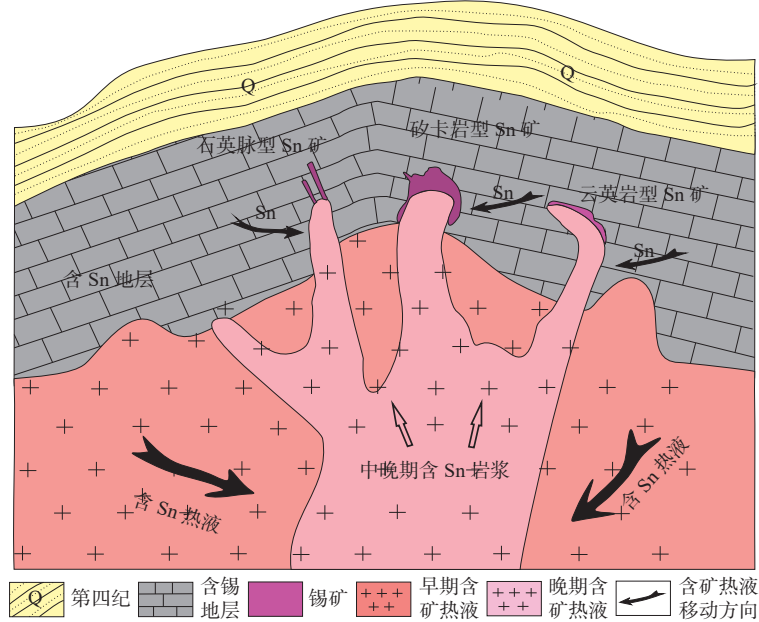


图6 西北地区主要锡矿成矿模式示意图

Fig. 6 Tin metallogenic model in Northwest China

4.2 西北锡矿各成矿带特征

西北地区地处特提斯和古亚洲洋的交汇处,构造复杂,具有多期构造活动和成矿发育的过程和条件,地域广阔,矿种多样,类型丰富,成矿地质条件优越,是中国重要成矿区。锡矿主要沿几个重要成矿带分布(图 1)。

东准卡拉麦里地区发育晚古生代偏碱性-碱性 A 型花岗岩,区内成片分布有多个花岗岩体,为新疆重要的金和石墨成矿区,锡矿床沿岩体周边产出,已发现有萨惹什克中型和卡姆斯特、干梁子、贝勒库都克小型单锡矿床。该地区处于西伯利亚板块和准噶尔板块汇集区南缘,经历了板块碰撞、俯冲等强烈的地质活动,卡拉麦里大断裂成为区域花岗岩的上涌通道而至区域出露大面积花岗岩,同时伴随 Sn、Au、石墨等汇集成矿。区域地质环境为成矿提供了极好的条件,现所见的成矿碱性花岗岩仅是部分分支,主体还在隐伏尚未发现,深部应有更大的锡矿前景,是寻找与 A 型花岗岩有关的锡矿有利潜力区。

西天山阿拉套地区位于准噶尔板块与天山-塔里木板块发生碰撞及俯冲的接合部位,板块活动造成陆壳物质发生重熔并侵位在该地区形成挤压性造山带花岗岩,岩体的岩石化学特征和矿物特征也表明主要来自地壳,岩体平均 Sn 含量高(12.7×10^{-6}) (兰天佑等,

1994)。成矿带南临温泉北大断裂,东止于依连哈比尔尕大断裂,是哈萨克斯坦博尔塔拉成矿带在中国的东延部分。矿床产于华力西中晚期二云母花岗岩、斑状黑云母花岗岩与古生代地层的内外接触带,有明显的成矿特征。该区集中分布着祖鲁洪、喀孜别克、伊呼斯台、查干浑迪、那仁苏等以 Sn、W 矿化为主的云英岩型和石英脉型矿床(点),具有一定的锡矿找矿潜力。

东天山星星峡地区锡矿带位于康古尔塔格断裂和尖山子断裂之间,Sn 成矿于元古界岩群大理岩和片岩、片麻岩建造和晚石炭世闪长岩、二长花岗岩及石炭纪钾长花岗岩接触而成的矽卡岩中,为矽卡岩型钨锡矿。矿带褶皱断裂发育,矿床(点)较多且集中分布,以钨锡型为主,兼铅、锌、金、银矿化,是新疆矿床数量最多、最集中的地段之一,找矿潜力十分巨大。目前除已发现黄羊泉钨锡和猴面钨锡铜小型规模矿床外,还有不少矿点。

南天山锡矿集中分布在准噶尔南缘独山地区和塔里木西北边境阿图什地区,产出有彻依布拉克锡金铜锌、独山锡矿床和哈拉峻、塔木、卡拉丘别、科什布拉克、阿根布拉克西、独山南等多个锡矿点,同时也是西北重要的铁、铜等金属矿的产区。区内构造发育,华力西期地层和花岗岩与成矿关系密切。区域西与

吉尔吉斯坦的锡铋汞矿带相连,中吉边境附近有萨雷贾兹超大型锡矿床,有望延伸境内,成矿条件优越,成矿潜力巨大。

东昆仑锡矿带包括祁漫塔格地区成为近年来新发现的远景很大的重要钨、锡矿带,地区构造活动频繁,经历了陆内造山、拉张等,有丰富的物源和优越的成矿环境,形成热水喷流和热液成矿作用Fe、Cu、Au、W、Sn等矽卡岩型和热液型矿床,产出有白干湖大型钨锡、小卧龙中型铁锡多金属、沙柳河南区钨锡铅锌、五一河小型锡铜和乌兰乌珠尔小型铜锡等矿床,成线性分布并相对集中。白干湖地区钨锡资源量相对集中,但该区工作程度较低,找矿工作仍有很大的空间。

西秦岭成矿带虽发现锡矿床不多,但Pb、Zn、W、Sn异常明显,已有日龙沟中型锡、老藏沟东区小型铅锌锡、别市沟小型锡、锂多金属矿床和铜峪沟南锡、雪花山钨锡等矿点,是成矿有利区,有很好的找矿潜力。

5 结论

(1)西北地区锡矿分布呈天山—准噶尔一带成团、秦祁昆零散的特点,钨锡铅锌等共生较多,东准卡拉麦里和哈密一带出现单锡矿。成矿时代集中在晚古生代的石炭纪、二叠纪和中生代的三叠纪。

(2)花岗岩对锡成矿有专属性,Sn元素的中等不相容性易富集于晚期熔体,锡在地幔中亏损且易向地壳富集,花岗岩浆源区地壳物质越多对形成锡矿越有利,A型和S型花岗岩尤其是A型花岗岩对锡成矿最有利。

(3)西北地区与锡成矿有关的花岗岩普遍有富硅、富碱、分异指数高、低K/Rb、高Rb/Sr、且Ba、Sr、Eu明显亏损、相对富重稀土贫轻稀土的特征,且普遍具有较高锡丰度。

(4)在大陆碰撞、俯冲和洋陆转换环境下形成的过铝质和钙碱性花岗岩更有利于锡富集,且岩浆岩和地层的锡含量及成矿温度是锡成矿的必备因素。

参考文献(References):

曹华文. 滇西腾-梁锡矿带中-新生代岩浆岩演化与成矿关系研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2015, 1-349.

CAO Huawen. Research on Mesozoic-Cenozoic magmatic evolution and its relation with metallogeny in Tengchong-Lianghe tin ore belt, western Yunnan[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing): 2015, 1-349.

陈郑辉, 王登红, 盛继福, 等. 中国锡矿成矿规律概要[J]. 地质学报, 2015, 89(6): 1026-1037.

CHEN Zhenghui, WANG Denghong, SHENG Jifu, et al. The Metallogenic Regularity of Tin Deposits in China[J]. Acta Geologica Sinica, 2015, 89(6): 1026-1037.

陈骏, 王汝成, 周建平, 等. 锡的地球化学[M]. 南京: 南京大学出版社, 2000, 116-154.

CHEN Jun, WANG Rucheng, ZHOU Jianping, et al. Geochemistry of Tin[M]. Nanjing: Nanjing University Press, 2000, 116-154.

高晓峰, 校培喜, 谢从瑞, 等. 东昆仑阿牙克库木湖北巴什尔希花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义[J]. 地质通报, 2010, 29(7): 1001-1008.

GAO Xiaofeng, XIAO Peixi, XIE Congrui, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating and geological significance of Bashierxi granite in the eastern Kunlun area[J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(7): 1001-1008.

高永宝, 李文渊. 东昆仑造山带祁漫塔格地区白干湖含钨锡矿花岗岩: 岩石学、年代学、地球化学及岩石成因[J]. 地球化学, 2011, 40(4): 324-336.

GAO Yongbao, LI Wenyuan. Petrogenesis of granites containing tungsten and tin ores in the Baiganhu deposit, Qimantage, NW China: Constraints from petrology, chronology and geochemistry[J]. Geochimica, 2011, 40(4): 324-336.

蒋少涌, 赵葵东, 姜海, 等. 中国钨锡矿床时空分布规律、地质特征与成矿机制研究进展[J]. 科学通报, 2020, 65(33): 3730-3745.

JIANG Shaoyong, ZHAO Kuidong, JIANG Hai, et al. Spatiotemporal distribution, geological characteristics and metallogenic mechanism of tungsten and tin deposits in China: An overview[J]. Chinese Science Bulletin, 2020, 65(33): 3730-3745.

蒋少涌, 赵葵东, 姜耀辉, 等. 华南与花岗岩有关的一种新类型的锡成矿作用: 矿物化学、元素和同位素地球化学证据[J]. 岩石学报, 2006, 22(10): 2509-2516.

JIANG Shaoyong, ZHAO Kuidong, JIANG Yaohui, et al. New type of tin mineralization related to granite in South China: evidence from mineral chemistry, element and isotope geochemistry[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(10): 2509-2516.

兰天佑, 岳书仓. 新疆喀孜别克锡矿床地质地球化学研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 1994, 17(1): 160-164.

LAN Tianyou, YUE Shucang. Studies on geology and geochemistry of the KEZBIKE tin deposit in Xinjiang[J]. Journal of Hefei University of Technology, 1994, 17(1): 160-164.

李聪, 梁婷, 陈永康, 等. 青海省锡矿成矿特征及成矿规律[J]. 地质与资源, 2019, 28(6): 526-534.

LI Cong, LIANG Ting, CHEN Yongkang, et al. Metallogenic characteristics and regularities of tin deposits in qinghai province[J]. Geology and Resources, 2019, 28(6): 526-534.

李大新, 丰成友, 周安顺, 等. 东昆仑祁漫塔格西段白干湖超大型钨锡矿田地质特征及其矿化交代岩分类[J]. 矿床地质, 2013, 32(1): 37-54.

LI Daxin, FENG Chengyou, ZHOU Anshun, et al. Geological characteristics and mineralization-metasomatite classification of super-large Baiganhu tungsten-tin orefield in western Qimantag, East Kunlun Mountains[J]. Mineral Deposits, 2013, 32(1): 37-54.

- 李国臣, 丰成友, 王瑞江等. 新疆白干湖钨锡矿田东北部花岗岩锆石 SIMS U-Pb 年龄、地球化学特征及构造意义[J]. 地球学报, 2012a, 33(2): 216–226.
- LI Guochen, FENG Chengyou, WANG Ruijiang, et al. SIMS Zircon U-Pb Age, Petrochemistry and Tectonic Implications of Granitoids in Northeastern Baiganhue W-Sn Orefield, Xinjiang[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2012a, 33(2): 216–226.
- 李国臣, 丰成友, 王瑞江, 等. 新疆若羌县柯可卡尔德钨锡矿床地质特征与流体包裹体研究[J]. 地质学报, 2012b, 86(1): 209–218.
- LI Guochen, FENG Chengyou, WANG Ruijiang, et al. Study on Geological Characteristics and Fluid Inclusion of the Kekekaerde W-Sn Deposit in Ruqiang County, Xinjiang[J]. Acta Geologica Sinica, 2012b, 86(1): 209–218.
- 黎彤, 袁怀雨, 吴胜昔. 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, 1998, 22(1): 29–34.
- LI Tong, YUAN Huaiyu, WU Shengxi. On the average chemical composition of granitoids in china and the world[J]. Geotectonica et Metallogenia, 1998, 22(1): 29–34.
- 林锦富, 喻亨祥, 吴昌志, 等. 东准噶尔萨北锡矿 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年及地质意义[J]. 中国地质, 2008, 35(6): 1197–1205.
- LIN Jinfu, YU Hengxiang, WU Changzhi, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating and geological implication of the Sabei Tin ore-deposit from Eastern Junggar of Xinjiang, China[J]. Geology in China, 2008, 35(6): 1197–1205.
- 刘家远, 喻亨祥, 吴郭泉. 新疆北部卡拉麦里富碱花岗岩带的碱性花岗岩与锡矿[J]. 有色金属矿产与勘查, 1997, 6(3): 129–135.
- LIU Jiayuan, YU Hengxiang, WU Guoquan. Alkali granites and tin deposits of the Kalamaili area, northern xinjiang[J]. Geological exploration for non-ferrous metals, 1997, 6(3): 129–135.
- 刘义茂, 王昌烈, 胥友志, 等. 柿竹园超大型钨多金属矿床的成矿条件与成矿模式[J]. 中国科学(D辑), 1998, 28(Suppl): 49–56.
- LIU Yimao, WANG Changlie, XU Youzhi, et al. Metallogenic condition and model of the giant Shizhuyuan tungsten polymetallic deposit[J]. Science in China (Series D), 1998, 28(Suppl): 49–56.
- 刘子峰, 崔雅茹, 魏微. 新疆东昆仑白干湖钨锡矿床地球化学特征[J]. 吉林地质, 2007, 26(4): 54–60.
- LIU Zifeng, CUI Yaru, WEI Wei. The geochemical characteristics of the Baiganhu W Sn deposit, Dongkunjun, Xinjiang[J]. Jilin Geology, 2007, 26(4): 54–60.
- 路远发. 赛什塘-日龙沟矿带成矿地球化学特征及矿床成因[J]. 西北地质, 1990, (3): 20–26.
- 马慧英, 刘继顺, 尹利君, 等. 青海省都兰小卧龙锡、铁、钨多金属矿地质特征及找矿标志[J]. 矿产与地质, 2009, 23(4): 311–315.
- MA Huiying, LIU Jishun, YIN Lijun, et al. Geological feature and exploration sign of Xiaowolong tin-iron-tungsten polymetallic deposit in Dulanxian in Qinghai province[J]. Mineral Resources and Geology, 2009, 23(4): 311–315.
- 毛景文, 谢桂青, 袁顺达, 等. 环太平洋成矿带斑岩-矽卡岩型铜矿和与花岗岩有关的锡多金属矿研究现状与展望[J]. 岩石学报, 2018, 34(9): 2501–2517.
- MAO Jingwen, XIE Guiqing, YUAN Shunda, et al. Current research progress and future trends of porphyry-skarn copper and granite-related tin polymetallic deposits in the Circum Pacific metallogenic belts[J]. Acta Petrologica Sinica, 2018, 34(9): 2501–2517.
- 苏玉平, 唐红峰, 刘丛强, 等. 新疆东准噶尔苏吉泉铝质 A 型花岗岩的确立及其初步研究[J]. 岩石矿物学杂志, 2006, 25(3): 175–184.
- SU Yuping, TANG Hongfeng, LIU Congqiang, et al. The determination and a preliminary study of Sujiquan aluminous A-type granites in East Junggar, Xinjiang[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2006, 25(3): 175–184.
- 隋清霖, 祝红丽, 孙赛军, 等. 锡的地球化学性质与华南晚白垩世锡矿成因[J]. 岩石学报, 2020, 36(1): 23–34.
- SUI Qinglin, ZHU Hongli, SUN Saijun, et al. The geochemical behavior of tin and Late Cretaceous tin mineralization in South China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2020, 36(1): 23–34.
- 唐红峰, 屈文俊, 苏玉平, 等. 新疆萨惹什克锡矿与萨北碱性 A 型花岗岩成因关系的年代学制约[J]. 岩石学报, 2007, 23(8): 1989–1997.
- TANG Hongfeng, QU Wenjun, SU Yuping, et al. Genetic connection of Saresheke tin deposit with the alkaline A-type granites of Sabei body in Xinjiang: constraint from isotopic ages[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(8): 1989–1997.
- 王永和, 高晓峰, 孙吉明, 等. 西北地区大地构造环境与成矿[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2020, 1–281.
- 王移生. 青海日龙沟锡-多金属矿床地质特征及成矿作用[J]. 西北地质, 1990, 23(2): 43–48.
- 吴宏恩, 杨高学, 李永军, 等. 东准噶尔锡矿北花岗岩斑岩地球化学特征[J]. 新疆地质, 2008, 26(4): 325–329.
- WU Hongen, YANG Gaoxue, LI Yongjun, et al. Characteristic of Geochemistry of the Xikuangbei granite-porphyry in Kalamaili area, east junggar[J]. Xinjiang Geology, 2008, 26(4): 325–329.
- 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 等. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京: 地质出版社, 2002, 12–52.
- 杨富全, 邓会娟, 夏浩东, 等. 新疆阿图什依布拉克锡多金属矿点地质特征[J]. 新疆地质, 2003, 21(4): 426–432.
- YANG Fuquan, DENG Huijuan, XIA Haodong, et al. Geological characteristics of Qieyibulake tin-polymetallic ore spot in Atushi city, Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 2003, 21(4): 426–432.
- 杨合群. 钨锡矿与地球演化的关系[J]. 西北地质, 2007, 40(4): 108–108.
- 张子敏, 马汉峰, 蔡根庆. 南天山独山锡矿床的成矿特征及成矿模式[J]. 新疆地质, 2001, 19(1): 49–53.
- ZHANG Zimin, MA Hanfeng, CAI Genqing. Mineralization characteristics and metallogenetic model of Dushan Sn deposit in the eastern part of the south Tianshan mountain[J]. Xinjiang Geology, 2001, 19(1): 49–53.

- 朱金初, 陈骏, 王汝成, 等. 南岭中西段燕山早期北东向含锡钨A型花岗岩带[J]. *高校地质学报*, 2008, 14(4): 474–484.
- ZHU Jinchu, CHEN Jun, WANG Rucheng, et al. Early Yanshanian NE Trending Sn/W-Bearing A-Type Granites in the Western-Middle Part of the Nanling Mts Region[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2008, 14(4): 474–484.
- 周建厚, 丰成友, 李大新, 等. 东昆仑白干湖钨锡矿床成矿岩体岩石学、年代学和地球化学[J]. *岩石学报*, 2015, 31(8): 2277–2293.
- ZHOU Jianhou, FENG Chengyou, LI Daxin, et al. Petrology, geochronology and geochemistry of metallogenetic granite in Baiganhu W-Sn deposit, East Kunlun[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2015, 31(8): 2277–2293.
- Blevin P L, Chappell B W. Chemistry, origin, and evolution of mineralized granites in the Lachlan fold belt, Australia: The metallogeny of I- and S-type granites[J]. *Economic Geology*, 1995, 90(6): 1604–1619.
- Bonin B. A-type granites and related rocks: Evolution of a concept, problems and prospects[J]. *Lithos*, 2007, 97(1–2): 1–29.
- Boztug D, Harlavan Y, Arehart G, et al. K-Ar age, whole-rock and isotope geochemistry of A-type granitoids in the Divrigi-Sivas region, eastern-central Anatolia, Turkey[J]. *Lithos*, 2007, 97(1–2): 193–218.
- Chen Y X, Li H, Sun W D, et al. Generation of Late Mesozoic Qianlishan A2-type granite in Nanling Range, South China: Implications for Shizhuyuan W-Sn mineralization and tectonic evolution[J]. *Lithos*, 2016, 266–267: 435–452.
- Collins W J, Beams S D, White A J R, et al. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1982, 80(2): 189–200.
- Eby G N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications[J]. *Geology*, 1992, 20(7): 641–644.
- Jiang Y H, Jiang S Y, Zhao K D, et al. Petrogenesis of Late Jurassic Qianlishan granites and mafic dykes, Southeast China: Implications for a back-arc extension setting[J]. *Geological Magazine*, 2006, 143(4): 457–474.
- Jochum K P, Hofmann A W, Seufert H M. Tin in mantle-derived rocks: Constraints on Earth evolution[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1993, 57(15): 3585–3595.
- Kamilli R J, Kimball B E, Carlin J F Jr. Tin. In: Schulz K J, DeYoung J H Jr, Seal R R, Bradley D C (eds.). *Critical Mineral Resources of the United States: Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply*[M]. US: USGS, 2017, S1–S53.
- Lehmann B. Metallogeny of Tin[M]. Berlin: Springer, 1990, 1–210.
- Li H, Palinkas L A, Watanabe K, et al. Petrogenesis of Jurassic A-type granites associated with Cu-Mo and W-Sn deposits in the central Nanling region, South China: Relation to mantle upwelling and intra-continental extension[J]. *Ore Geology Reviews*, 2018, 92: 449–462.
- Linnen R L, Pichavant M, Holtz F. The combined effects of f_{O_2} and melt composition on SnO_2 solubility and tin diffusivity in haplogranitic melts[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1996, 60(24): 4965–4976.
- Liu P, Mao J W, Santosh M, et al. Geochronology and petrogenesis of the Early Cretaceous A-type granite from the Feie'shan W-Sn deposit in the eastern Guangdong Province, SE China: Implications for W-Sn mineralization and geodynamic setting[J]. *Lithos*, 2018, 300–301: 330–347.
- Mania P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1989, 101: 635–643.
- Mao J W, Cheng Y B, Chen M H, et al. Major types and time-space distribution of Mesozoic ore deposits in South China and their geodynamic settings[J]. *Mineralium Deposita*, 2013, 48(3): 267–294.
- Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *Journal of Petrology*, 1984, 25(4): 956–983.
- Rickwood P C. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements[J]. *Lithos*, 1989, 22(4): 247–263.
- Rudnick R L, Gao S. Composition of the continental crust[J]. *Treatise on Geochemistry*, 2003, 3: 1–64.
- Romer R L, Kroner U. Phanerozoic tin and tungsten mineralization: Tectonic controls on the distribution of enriched protoliths and heat sources for crustal melting[J]. *Gondwana Research*, 2016, 31: 60–95.
- Sato K, Vrublevsky A A, Rodionov S M, et al. Mid-Cretaceous episodic Magmatism and tin mineralization in Khingan-Okhotsk volcano-plutonic belt, Far East Russia[J]. *Resource Geology*, 2002, 52(1): 1–14.
- Schwartz M O, Rajah S S, Askury A K, et al. The southeast Asian tin belt[J]. *Earth-Science Reviews*, 1995, 38(2–4): 95–293.
- Shu X J, Wang X L, Sun T, et al. Trace elements, U-Pb ages and Hf isotopes of zircons from Mesozoic granites in the western Nanling Range, South China: Implications for petrogenesis and W-Sn mineralization[J]. *Lithos*, 2011, 127(3–4): 468–482.
- Sylvester P J. Post-collisional alkaline granites[J]. *The Journal of Geology*, 1989, 97(3): 261–280.
- Whalen J B, Jenner G A, Longstaffe F J, et al. Geochemical and isotopic (O, Nd, Pb and Sr) constraints on A-type granite petrogenesis based on the Topsails igneous suite, Newfoundland Appalachians[J]. *Journal of Petrology*, 1996, 37(6): 1463–1489.
- Yan Q H, Wang H, Qiu Z W, et al. Origin of Early Cretaceous A-type granite and related Sn mineralization in the Sanjiaowo deposit, eastern Guangdong, SE China and its tectonic implication[J]. *Ore Geology Reviews*, 2018, 93: 60–80.
- Yao Y, Chen J, Lu J J, et al. Geology and genesis of the Hehuaping magnesian skarn-type cassiterite-sulfide deposit, Hunan Province, southern China[J]. *Ore Geology Reviews*, 2014, 58: 163–184.
- Zhang L P, Zhang R Q, Hu Y B, et al. The formation of the Late Cretaceous Xishan Sn-W deposit, South China: Geochronological and geochemical perspectives[J]. *Lithos*, 2017, 290–291: 253–268.