

青海省锡矿成矿特征及成矿规律

李 聪¹, 梁 婷^{1,2}, 陈永康¹, 丁 亮¹

1. 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054;
2. 长安大学 成矿作用及其动力学实验室, 陕西 西安 710054

摘 要: 锡矿是青海省找矿潜力较大的有色金属矿之一。青海锡矿成矿时代分布较为集中, 主要为印支期和海西期。锡矿床与锡矿点主要分布于东昆仑成矿带, 成因类型主要为夕卡岩型。结合前人研究与地质资料介绍了青海地区锡矿的成矿地质背景、资源概况、矿床成因类型、控矿因素、成矿时代以及锡矿成矿带的划分, 总结了青海锡矿的成矿特征及成矿规律, 并对青海锡矿下一步找矿的研究提出了建议。

关键词: 锡矿; 控矿因素; 成矿时代; 青海省

METALLOGENIC CHARACTERISTICS AND REGULARITIES OF TIN DEPOSITS IN QINGHAI PROVINCE

LI Cong¹, LIANG Ting^{1,2}, CHEN Yong-kang¹, DING Liang¹

1. School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China;
2. Laboratory of Mineralization and Dynamics, Chang'an University, Xi'an 710054, China

Abstract: Tin is one of the non-ferrous metal minerals with great prospecting potential in Qinghai Province. The ore-forming ages are relatively concentrated, mainly in Indosinian and Hercynian. The tin deposits and occurrences, dominated by skarn type, are mainly distributed in the East Kunlun metallogenic belt. Combined with previous researches and geological data, the paper discusses the metallogenic geological background, general resources situation, genetic types of deposit, ore-controlling factors, metallogenic age and division of tin metallogenic belts, summarizes the metallogenic characteristics and regularities, and puts forward suggestions for further exploration of tin ores in Qinghai Province.

Key words: tin deposit; ore-controlling factor; metallogenic age; Qinghai Province

锡是一种稀贵的有色金属, 由于具有良好的韧性、导热性和耐腐蚀性, 因此在现代国防、工业生产、尖端科学技术和人类生活中都占有重要的地位。我国锡矿资

源丰富, 是世界产锡大国之一, 在世界锡矿中占据了重要地位。锡矿作为我国优势资源, 主要分布在华南、西南“三江”和大兴安岭 3 个成矿区^[1], 行政区域为湖南、

收稿日期: 2019-04-30; 修回日期: 2019-06-10. 编辑: 李兰英.

基金项目: 中国地质调查局项目“中国矿产地质与成矿规律综合集成和服务”(编号: DD20160346)、“中国矿产地质志”(DD20190379-53).

作者简介: 李聪(1994—), 男, 硕士研究生, 矿产普查与勘探专业, 通信地址 陕西省西安市碑林区南二环中段长安大学, E-mail//747793379@qq.com

通信作者: 梁婷(1967—), 女, 博士, 教授, 从事矿物学岩石学和矿床学专业教学与研究, 通信地址 陕西省西安市雁塔路 126 号, E-mail//liangt@chd.edu.cn

云南、广西、广东、江西、内蒙古等,西北地区相对较少,分布具有明显的区带性.近年来,由于找矿难度的加大,原有的资源储量面临危机,目前锡资源属于国家紧缺资源,保有的储量的可利用年限为10~20 a.因此,加强锡矿找矿勘查,保障国家经济的可持续发展,具有重要的经济、战略意义.

青海锡矿资源较为困乏,锡矿储量相对其他省(云南、广西、湖南)分布较少,不到1%,主要分布在东昆仑一带.锡矿的普查与预查集中在20世纪80~90年代,总体上勘查和研究程度低,前人对锡矿开展过成矿时代、岩体特征、成因类型和控矿因素等方面的研究,并取得了一定成果和认识^[2-14],但资料较为零散.本文通过搜集省内一些代表性的锡矿地质普查勘探报告、论文专著、潜力评价及成矿预测等资料,对青海省锡矿的成矿特征和成矿规律进行系统归纳和总结,拟为青海省锡矿下一步勘探找矿提供研究资料.

1 成矿地质背景

青海地处青藏高原东北部,为秦祁昆构造域和特提斯构造域的结合部位,主体属特提斯构造域.在大块构造位置处于核心冈瓦纳与劳亚大陆之间的泛华夏大陆地块群的中西部或冈瓦纳大陆^[15-16],历经多期构造运动.由于受到板块构造的影响,在不同地质历史时期和构造的不同阶段,使得青海地区在省内不同构造部位形成了特有的矿床类型、种类和矿床组合^[17].

地层以东昆仑南部断裂(昆南)为界,分南北两大地区^[18].北部地区包括祁连山、西秦岭、柴达木等分区.南部特提斯地区包括南昆仑、巴颜喀拉等分区,主要为古生界与中生界.该地区地层主要为下古生界奥陶系、志留系,上古生界二叠系及中生界三叠系.赋矿地层有:上奥陶统滩涧山群、奥陶-志留系滩涧山群、奥陶-志留系统纳赤台群哈拉巴依沟组、下二叠统地层、下中三叠统昌马河组等.

青海地区与成矿有关的岩体主要为中酸性岩,分布在东昆仑成矿带和柴达木北缘成矿带,其他地区零星分布,岩性主要为花岗闪长岩、二长花岗岩、石英闪长岩.

青海省构造较发育,断裂构造主要以北西西和近东西向为主.该地区具有多个含锡矿特征的大型变形

构造带,且构造环境主要为陆缘弧-陆碰撞带.

2 锡资源概况

青海省锡矿资源相对稀缺,由于环境条件影响,地质工作相对薄弱,虽发现锡矿点较多,但探明储量不乐观,相比全国其他地区相对较少.经统计,截至到2012年,全省锡矿产地共发现22处^①,其中中型2处(小卧龙铁锡矿床、日龙沟锡多金属矿床),小型矿床5处,重要矿床分布如图1,其他均为矿点.锡矿床主要以共伴生为主,成因上以夕卡岩型和斑岩型为主,其余少量为热液型、岩体型、海相火山岩型.

东昆仑(造山带)成矿带是青海省最主要的锡矿产地,该带内已发现多处锡矿产地,有小型和中型锡矿床(图1)各2处,分别为五一河铜锡矿床、乌兰乌珠尔铜锡矿床、小卧龙锡矿床、日龙沟锡矿床,占全省查明资源量的绝大部分,该地区锡资源储量前2位的是兴海县和都兰县.

3 成矿特征及控矿条件

3.1 矿床成因类型及特征

在总结青海锡矿地质资料的基础上,结合典型矿床的分析,对青海省锡矿的主要矿床成因类型及典型矿床的特征进行总结,见表1.青海锡矿主要为夕卡岩型、斑岩型,并且可开发利用的锡矿床的矿床类型主要为夕卡岩型,已发现的矿化点大部分为热液型和夕卡岩型,少量为斑岩型和海相火山沉积型.

1)夕卡岩型:主要的锡矿成因类型,具有较高的开采价值.根据其成分的不同,夕卡岩型锡矿可分为2种类型:富硫化物夕卡岩型锡矿床和富磁铁矿夕卡岩型锡矿床^[22].典型的矿床有都兰县太子沟夕卡岩型锡多金属矿床、都兰县小卧龙夕卡岩型锡金属矿床、兴海县日龙沟夕卡岩型锡多金属矿床.中酸性侵入岩(花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩)对碳酸盐岩地层夕卡岩化成矿的过程中起着主要作用^[5,13,23],但结合该地区矿床的分析,夕卡岩型锡矿也受到了地层的影响,受地层层位控制较为明显,这表明地层对锡成矿过程也起到了重要的作用,如控制矿体形态、提供不同物源、改变流体性质、影响矿物结晶^[24].以小卧龙锡多金属矿床为例,该矿床构造环境为东昆仑弧盆系,矿区地层主要为下古生界滩涧山群^[13],如图2中可以

①青海省地质矿产勘查开发局.青海省锡矿种成矿规律研究成果报告.2012.

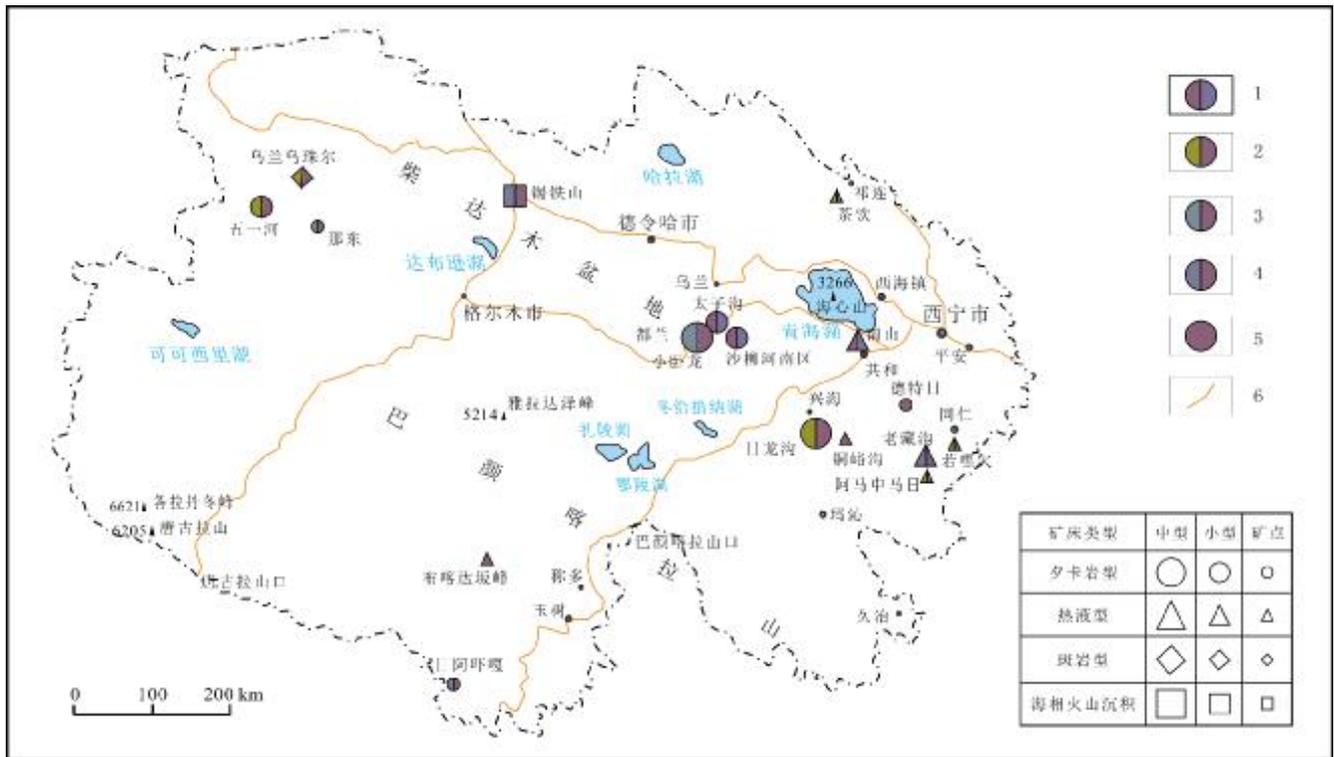


图1 青海省主要锡矿分布图

Fig. 1 Distribution of major tin deposits in Qinghai Province

1—锡钨(Sn-W); 2—铜锡(Cu-Sn); 3—铁锡(Fe-Sn); 4—铅锡(Pb-Sn); 5—锡(Sn); 6—公路(road)

表1 青海代表性锡矿床成因类型及特征

Table 1 Genetic types and characteristics of typical tin deposits in Qinghai Province

成因类型	典型矿床	矿体共生组合	大地构造位置	资料来源
夕卡岩型	兴海县日龙沟锡矿床	Cu,Pb,Zn	东昆仑与西秦岭交接处	文献[2]
	都兰县小卧龙矿床	Fe,W	东昆仑华力西地槽褶皱带东段	文献[13]
	五一河铜锡矿床	Cu	祁漫塔格断褶带	文献[12]
	太子沟钨锡多金属矿床	W	柴北缘火山弧裂陷构造带东段	文献[11]
	都兰南戈滩铜铁锡矿床	Cu,Fe,Zn	柴达木盆地东南缘	文献[8]
	都兰县沙柳河南区钨锡铅锌矿床	W,Zn	柴达木盆地东南缘	文献[9]
斑岩型	乌兰乌珠尔铜锡矿床	Cu	柴达木西南缘东昆仑北带	文献[19]
热液型	巴拉大才曲钨锡矿床	W	玛多-玛沁结合带	文献[10]
	青海湖南山钨锡矿床	W	南山-泽库弧后陆缘活动	文献[20]
	青海昆仑地区钨锡矿床	W	东昆仑南坡俯冲增生杂岩带	文献[21]

看出,锡矿矿体呈层状产出,与地层产状较为一致,矿体分布较为连续,受到 F1 和 F2 断裂的控制,为有利的成矿构造部位,共生组分为铁、锡。控矿构造为 NE 向构造破碎带,侵入岩体为酸性侵入岩,岩性为二长花岗岩,分布较为广泛。锡矿主要形成于夕卡岩热液活

动中的磁铁矿-锡石阶段,矿石矿物主要有磁铁矿、锡石、白钨矿、赤铁矿,脉石矿物有石榴子石、石英、碳酸岩、绿泥石、符山石,围岩蚀变强烈,主要有夕卡岩化、硅化、碳酸岩化、绿泥石化,分带性明显^[13]。综合认为其与典型的夕卡岩型锡矿床具有相同的特征。

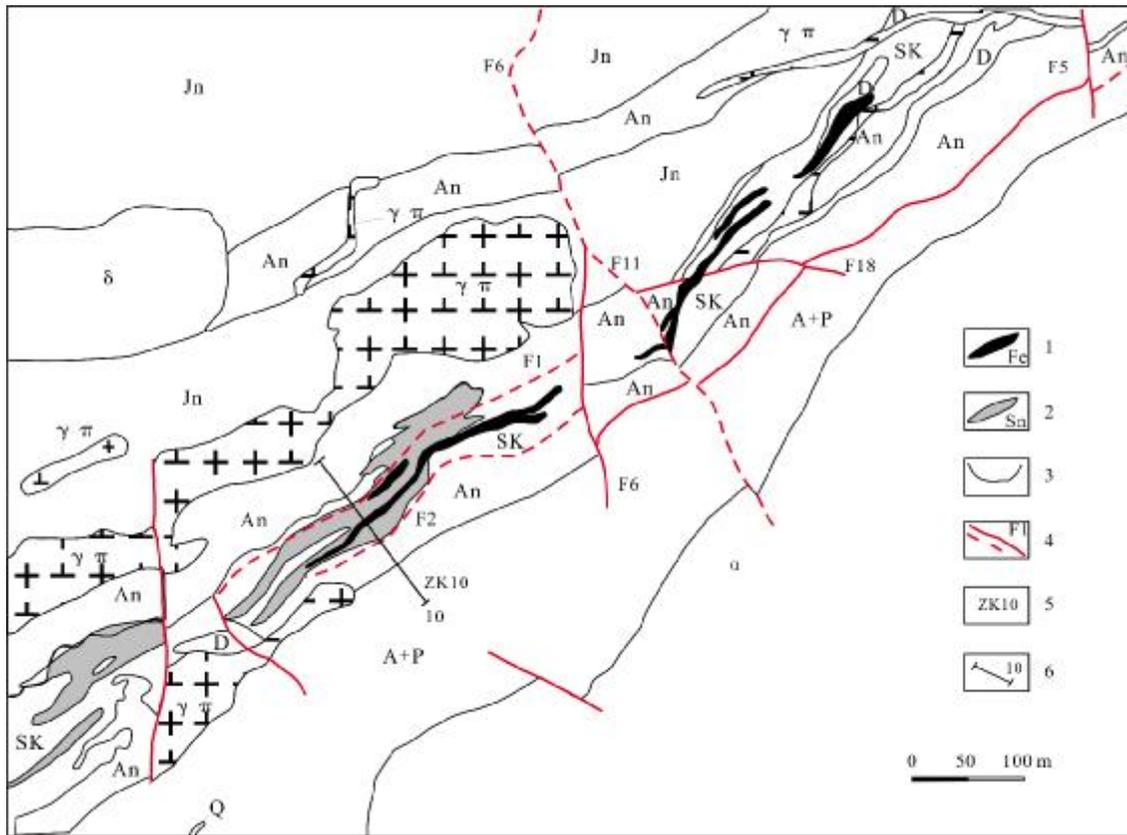


图2 都兰县小卧龙锡铁钨矿地质图
(据文献[13]修改)

Fig. 2 Geological map of Xiaowolong Sn-Fe-W deposit in Dulan County
(Modified from Reference [13])

Q—第四系(Quaternary); Jn—斜长角闪岩(amphibolite); An—变砂岩(metasandstone); SK—夕卡岩(skarn); D—大理岩(marble); δ—细粒角闪闪长岩(fine-grained hornblende diorite); A+P—石英片岩与变砂岩互层(quartz schist interbedded with metasandstone); γπ—二长花岗斑岩(monzogranite porphyry); α—角闪安山岩(hornblende andesite); 1—铁矿体(iron orebody); 2—锡矿体(tin orebody); 3—地质界线(geological boundary); 4—实测、推断层及编号(surveyed/inferred fault and number); 5—钻孔(borehole); 6—剖面线位置及编号(section line position and number)

2)热液型:分布最广泛的锡矿类型之一,代表锡矿床有巴拉大才曲钨锡矿床、青海湖南山钨锡矿床,且分布在各主要锡成矿带上.由于该成因类型目前在青海地区多为矿点,因此现开采价值较低,但具有深远的找矿潜力.巴拉大才钨锡矿床的主要控矿构造为近E-W向和NW断裂,侵入体为中酸性侵入体,矿石矿物主要为黑钨矿、锡石、黄铁矿、白钨矿^[10].

3)斑岩型:分布较少的锡矿类型,形成时代为印支期,与该地区大多数锡矿成矿年龄一致.代表矿床为在乌兰乌珠尔铜锡矿床,胡永达^[19]认为该矿床由于遭受剥蚀的程度非常大,以致于锡矿化出露于地表,且认为该矿床成矿主要与构造和岩浆岩有关,与地层关系不大.据前人资料得知^[19,25],乌兰乌珠尔锡矿床构造

环境为东昆仑弧盆系,从图3可知,锡矿分布于蚀变破碎带中,矿体呈似层状、透镜状产出,分布不连续,共生组分为铜、锡,伴生组分为铅、锌、银.主要控矿构造为NW向F3断裂和NEE向F4断裂,侵入体为酸性侵入岩,与成矿有关的岩体为花岗斑岩和似斑状花岗岩.锡矿主要形成于热液成矿期的锡石阶段^[19,25],矿石矿物主要有黄铜矿、磁铁矿、锡石、黑钨矿,围岩蚀变为硅化、绢云母化、钾化.成矿流体具有中高温、低盐度和低密度特征^[25].综合认为其具有典型的斑岩型矿床特征.

3.2 控矿条件分析

3.2.1 构造对锡矿的控制

构造是控制矿床的形成和分布的重要因素.青海

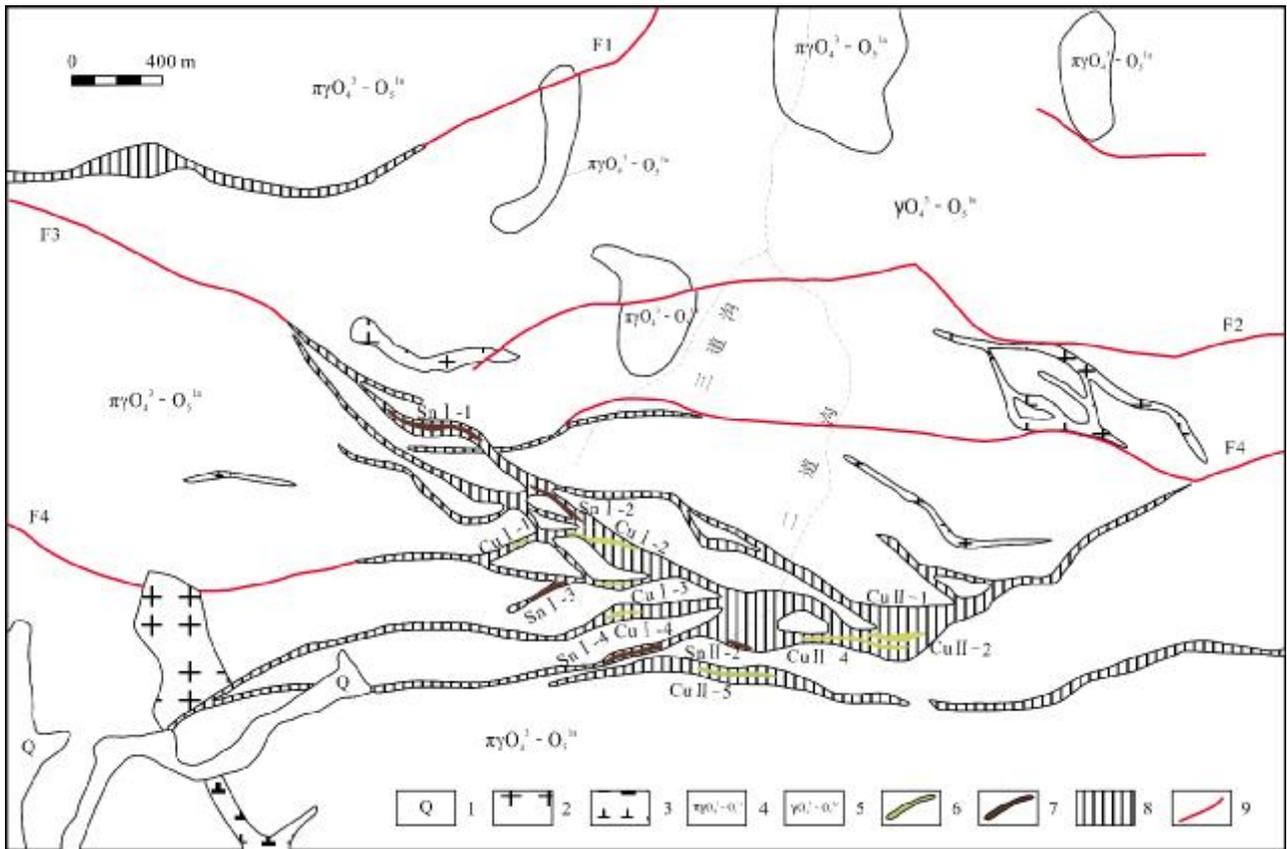


图3 乌兰乌珠尔铜锡矿分布简图
(据文献[19]修改)

Fig. 3 Distribution of Ulan Uzhur Cu-Sn orebodies
(Modified from Reference [19])

- 1—第四系(Quaternary); 2—花岗斑岩脉(granite porphyry dike); 3—闪长玢岩脉(diorite porphyrite dike); 4—似斑状花岗岩(porphyraceous granite);
- 5—花岗岩(granite); 6—铜矿体及编号(Cu orebody and number); 7—锡矿体及编号(Sn orebody and number); 8—蚀变破碎带(altered fracture zone);
- 9—断层(fault)

地区经历了多次构造运动,形成了大量的断裂构造和褶皱构造,构造运动不仅为成矿物质提供了良好的通道,同时为成矿物质的迁移聚集提供了良好的成矿空间,这有利于矿床的形成和空间的展布.总结前人勘查和研究成果^[6-7, 12-13, 17, 19],青海大多数锡矿分布在东昆仑成矿带上,具有开采价值和找矿潜力的锡矿床也都分布在此成矿带周围.由此可见,区域性构造是控制锡矿带展布的主导因素,昆中断裂带和昆北断裂沿东昆仑山主体延伸,控制着小卧龙铁锡矿床、五一河铜锡矿床、乌兰乌珠尔铜锡矿床代表性锡矿床等.而不同方向区域性周围的次级构造控制着锡矿床的分布,例如青海日龙沟矿床受近南北走向压性断裂、北西向压扭性断裂、北东向压扭性断裂控制^[2];太子沟矿床受呈北西—北西西—近东西向展布的复式倒转向斜或

背斜构造的控制^[11];如图2,都兰县小卧龙锡矿床矿体受到北东向和东西向断层控制,为主要的导矿构造^[13].

根据现有资料^[2, 6-7, 11, 13, 16, 18, 25],可以得出青海地区大构造格局整体走向以 NWW 和近 E-W 为主,宏观上控制了锡矿带的展布和锡矿床的形态及分布.区域性大断裂提供了含矿热液运移通道和储存空间,使含矿热液在运移过程中在特定空间和特定的物化条件下富集冷凝成矿.区域性构造周围的次级构造和小规模局部构造及控制了矿体和岩体的空间展布特征,本地区近 E-W、NW 和 NE 向断裂控制了锡矿矿体的走向和形态.

3.2.2 地层对锡矿的控制

地层主要作用是成矿提供部分矿物来源和其特定的岩性及结构构造控制矿体的形态^[26].青海省锡矿

主要赋矿地层有:上奥陶统滩涧山群、奥陶-志留系滩涧山群、奥陶-志留系统纳赤台群哈拉巴依沟组、下二叠统地层、下中三叠统昌马河组等^[2,8,13,27]。该地区矿体形态受地层因素影响较大,如日龙沟锡矿的主要赋矿层位为下二叠统地层,由于受到一定的地层层位控制,矿体呈层状产出,但不连续,并且根据矿区已有的硫同位素测试结果, $\delta^{34}\text{S}$ 的平均值为 $-5.21\text{‰}\sim-8.20\text{‰}$ ^[2],数据表明,较低的负值也表明了该矿区流体的硫来自于地层。小卧龙锡矿床的矿体形状呈层状分布,由于受到地层中的变砂岩屏蔽阻挡的作用,变砂岩在岩石成分上不利于热液交代作用的发生,因此夕卡岩具有呈似层状分布的特点^[13]。都兰南戈滩铜铁锡多金属矿也具有类似的特点^[8]。从表2得知,含Sn成矿元素较高的地层,远高于地壳丰度值($\text{Sn}=1.7\times 10^{-6}$)^[28],可以推测地层可能为锡矿提供了一定的物质来源。总的来说,地层对青海地区锡矿成矿有着一定的影响。

表2 主要锡矿床岩体与地层Sn丰度
Table 2 Sn abundance in rock mass and strata of main tin deposits

构造阶段	矿床	地质体	Sn丰度/ 10^{-6}	资料来源
印支期	小卧龙锡多金属矿	岩体	70~190	文献[13]
印支期	乌兰乌珠尔铜锡矿	岩体	约300	文献[19]
印支期	青海湖南山钨锡矿	岩体	18.25	文献[20]
印支期	日龙沟锡矿床	地层	110	文献①
印支期	巴拉大才钨锡矿	地层	2.48~4.88	文献[27]
印支-燕山期	都兰南戈滩铜铁锡矿	岩体	15.5~20.6	文献[8]
印支期	都兰县沙柳河铅锌锡矿	岩体	4.5~58	文献[9,29]

3.2.3 岩浆岩对成矿的控制

青海地区锡矿床的空间分布与成矿的主要物质来源与碱性花岗岩密切相关(图4),青海省与锡矿形成有关的岩浆岩大部分为中酸性侵入岩,与含锡相关的岩体总体上为花岗岩-二长花岗岩-花岗闪长岩。该地区花岗闪长岩 SiO_2 含量为62.24%~63.67%,低于世界含锡花岗岩(73.1%)^[28],且石英含量较低,这与此类成矿母岩中成铜锡矿有关^[30],岩体整体偏中酸性。该地区二长花岗岩和花岗岩 SiO_2 含量接近于世界含锡花岗岩(73.1%),且这类岩体主要成钨锡矿,这与含钨锡矿花岗岩类的 SiO_2 含量最小为65%,属于高硅花岗岩

范畴观点一致^[31]。在硅钾图解(图4a)上,样品多数落到高钾钙碱性系列和钙碱性系列区域。在全碱-硅分类图解中(图4b),样品均落在Irvine分界线(Ir)以下,属于亚碱性岩石(该线上方为碱性岩石)。样品的铝饱和指数 A/CNK 的范围在1.05~2.68之间,均大于1,属于过铝质。含锡岩体主要分布于青海省北部和东北部,与成矿带的空间分布较为一致,多为中酸性侵入岩。矿区侵入岩体的发育,为成矿提供了物质来源和热动力,岩浆在锡矿成矿中不但提供了主要的成矿物质来源,也提供了热源,也是有益组分运移的载体。从表2得知,岩体中含Sn成矿元素较高,远高于花岗岩平均值($\text{Sn}=3\times 10^{-6}$)^[28,32],属于有利于成矿的岩体,进一步说明岩体为成矿提供了物质来源。因此侵入岩是成矿的关键所在,这与我国锡的成矿作用主要与花岗岩有关的理论相符^[1,33]。

4 成矿时空分布特征

4.1 成矿时代

成矿时代的研究是区域成矿规律的重要内容。我国锡矿主要分布于燕山期^[36],而青海地区与我国锡矿主要成矿时代稍有区别,锡矿成矿期主要成矿期为印支期(表3)。根据前人的研究,青海地区的成矿成岩时代主要分布于印支期和海西期,分布相对集中。斑岩型锡矿类型主要分布于印支期,夕卡岩型和热液型锡矿床分布于印支期和海西期。

4.2 时空分布特征

该地区锡矿床从西北到东南:锡矿呈带状分布,成矿元素呈现从铜锡-钨锡-钨铁锡-锡钨的演化趋势,成因类型从斑岩型-热液型-夕卡岩型依次分布。主要成矿期以印支期为主(表3),其他时期较少分布。夕卡岩型锡矿在该地区东北部是锡矿聚集区且主要分布在东昆仑成矿带,斑岩型锡矿和热液型锡矿在西北部具有重大找矿潜力。

5 锡矿成矿带特征及成矿系列

5.1 锡矿成矿带特征

成矿区带是具有丰富矿产资源及其潜力的成矿地质单元^[1]。青海省主要有5个含锡成矿带,已经发现的锡矿床基本分布在东昆仑(造山带)成矿带、西秦岭

①青海省地质矿产勘查开发局. 青海省锡矿种成矿规律研究成果报告. 2012.

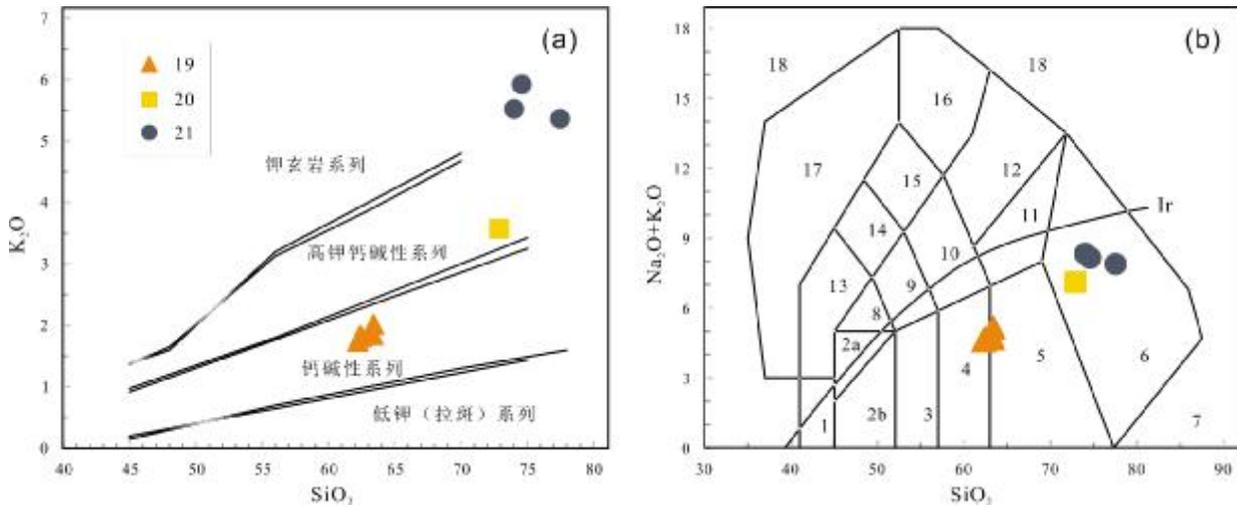


图4 SiO₂-(Na₂O+K₂O)图解及 SiO₂-K₂O 图解
(据文献[34-35])

Fig. 4 The SiO₂-(Na₂O+K₂O) and SiO₂-K₂O diagrams
(After References [34-35])

1—橄榄辉长岩(olivine gabbro); 2a—碱性辉长岩(alkaline gabbro); 2b—亚碱性辉长岩(subalkaline gabbro); 3—辉长闪长岩(gabbro diorite); 4—闪长岩(diorite); 5—花岗闪长岩(granodiorite); 6—花岗岩(granite); 7—石英岩(quartzolite); 8—二长辉长岩(monzogabbro); 9—二长闪长岩(monzodiorite); 10—二长岩(monzonite); 11—石英二长岩(adamellite); 12—正长岩(syenite); 13—副长石辉长岩(foiid gabbro); 14—副长石二长闪长岩(foiid monzodiorite); 15—副长石二长正长岩(foiid monzosyenite); 16—副长正长岩(foiid syenite); 17—副长深成岩(foiidolite); 18—方钠岩/磷霞岩/粗白榴岩(sodalite/urtite/italite); 19—日龙沟锡矿(Rilonggou tin deposit); 20—小卧龙锡矿(Xiaowolong tin deposit); 21—昆仑河锡矿(Kunlunhe tin occurrence); 数据来源:文献[5,13,23](data from References [5,13,23])

表3 青海地区主要锡矿床形成时代

Table 3 Formation age of main tin deposits in Qinghai Province

矿床名称	测年方法	成矿成岩年龄/Ma	成矿元素	资料来源
日龙沟锡矿床	锆石 U-Pb	230.7±1.5(印支期)	Cu, Sn	文献[5]
太子沟钨锡多金属矿床	锆石 U-Pb	加里东期	Sn, W, Zn, Cu, Pb	文献[11]
乌兰乌珠尔(铜)锡矿床	锆石 SHRIMP U-Pb	215.17±4.5(印支期)	Cu, Sn	文献[19,37]
都兰县小卧龙锡矿		印支期	Fe, Sn, W	文献[13]
五一河(铜)锡矿床		印支期	Cu, Sn	文献[12]
巴拉大才钨锡矿		印支期	W, Sn	文献[27]
青海昆仑河地区钨锡矿床	LA-ICP-MS U-Pb	380±11(海西期)	W, Sn	文献[21]
都兰县沙柳河南区钨锡铅锌矿床		印支期	W, Sn, Pb, Zn	文献[9,29]

Pb-Zn-Cu(Fe)-Au-Hg-Sb 成矿带,其他成矿带由于受到各种条件制约,目前勘查程度低,多数仅为矿点。

东昆仑成矿带可划分为呈东西向展布的3个Ⅲ级成矿带,分别为东昆北 Cu、Co、Au、Fe、Pb、Zn、W、Sn 成矿带、东昆中 Au、Fe(W、Sn)成矿带、东昆南 Co、Cu、Au、Pb、Zn 成矿带^①。具有锡矿床分布的或者有锡矿化

点的主要为前2个成矿带。

(1)东昆北 Cu、Co、Au、Fe、Pb、Zn、W、Sn 成矿带
该成矿带锡矿主要分布在祁漫塔格地区,矿床类型主要为夕卡岩型和热液型。该地区主要成矿作用经历了不同的地质构造环境,包括拉张裂隙环境的热液喷流成矿作用、陆内造山作用有关的热液成矿作用^①,

①孙丰月,等. 中国地质调查局“新疆-青海东昆仑成矿带成矿规律和找矿方向综合研究”科研报告. 2003.

主要的成矿元素为 Cu、W、Sn、Fe 等。典型矿床为小卧龙铁锡多金属矿,成矿时代为印支期。

(2)东昆中 Au、Fe(W、Sn)成矿带

该成矿带上的矿床受到强烈的剥蚀,保存条件较差,原因是海西期后期发生抬升剥蚀作用,使得形成的热液型锡矿床不易保存下来,但印支期以后的热液型锡矿床相对较易保存^①。该成矿带分布锡矿含量较少,夕卡岩型矿床为主,成矿元素 W、Sn 多为矿化点。孙丰月等^①认为热液成矿作用主要发生在印支-燕山期。

西秦岭 Pb-Zn-Cu(Fe)-Au-Hg-Sb 成矿带,锡矿分布相对较少,代表性锡矿床为老藏沟多金属矿床,其他分布多为矿点。

该地区锡矿分布相对集中,主要分布在东昆仑成矿带和西秦岭成矿带上,并成线性分布,矿床集中分布在北部和东部,也反映出构造对成矿作用的影响,形成的裂隙、断层对成矿物质的运移、矿物沉淀的影响。

5.2 成矿系列

在一定的地质历史期间或构造运动阶段,在一定的地质构造单元与构造部位,与一定的地质成矿作用有关,形成一组具有成因联系的矿床组合自然体,被称为矿床成矿系列^[38-39]。陈毓川等^[39]结合前人研究,将成矿系列的作为一种新的矿床分类——矿床自然分类,分别为:矿床成矿系列组、矿床成矿系列组合、矿床成矿系列类型、矿床成矿系列、矿床成矿亚系列、矿床式、矿床,矿床成矿系列是其中的核心部分。

在对该地区进行成矿作用与矿床特征了解的基础上,根据陈毓川等^[38-40]提出的矿床的成矿系列可以将青海省锡矿资源划分到 1 个与岩浆成矿作用有关的矿床成矿系列,并同时分成 3 个成矿亚系列(表 4)。这 3

个成矿亚系列的典型矿床主要分布在青海省中部地区,处在秦祁昆成矿域和特提斯成矿域结合部位。

5.3 成矿模式

青海地区锡矿主要为夕卡岩型和斑岩型矿床,本文对这两类锡矿床的成矿模式进行简单描述。夕卡岩锡矿床(小卧龙),印支期的二长花岗岩岩浆沿断裂破碎带侵入地壳上部碳酸盐岩等有利围岩(大理岩),并发生接触交代作用,形成夕卡岩带,后期含矿热液沿着 F1、F2 断裂(图 2)在成矿有利位置发生迁移,富集形成锡铁矿体。斑岩型矿床(乌兰乌珠尔),胡永达^[19]认为富含幔源物质的岩浆随断裂上涌,部分含钾质、硅质的花岗岩岩浆沿 F3、F4(图 3)断裂往上运移,在花岗岩岩浆冷凝形成花岗斑岩(海西-印支早期)的同时,印支晚期富含钾质、硅质的流体沿断裂(F3、F4)发生运移,并与花岗斑岩体发生钾化、硅化,并不断从中萃取成矿物质(Sn、Cu),形成富矿流体,在物质运移中,温压条件的改变,使得成矿物质富集,发生锡矿化并形成锡矿体。

6 结论

1)青海省内锡矿床种类较为复杂,主要分布在东昆仑成矿带上,地质工作由于受到条件制约,相对其他地区工作程度较低,锡矿床的形成主要和区域性构造、地层和岩浆岩有关,具有极大的找矿潜力。

2)青海省锡矿矿床类型有夕卡岩型、斑岩型锡矿,主要为夕卡岩型。目前开发较好的为夕卡岩型锡矿。东昆仑东段是夕卡岩型锡矿聚集区,西段具有斑岩型锡矿找矿潜力。该地区的主要成矿时代为印支期,矿床沿着东昆仑成矿带成线性分布,在空间上表现为一

表 4 青海省成矿系列及特征

Table 4 Metallogenic series and characteristics in Qinghai Province

矿床成矿系列	矿床成矿亚系列	典型矿床	岩浆岩	成矿金属	成因类型	资料来源
岩浆成矿作用系列	与花岗岩有关的 Cu、Sn、Pb、Zn、Au 矿床成矿亚系列	乌兰乌珠尔	二长花岗岩、斑状二长花岗岩	Cu、Sn	斑岩型	文献[19]
	与中酸性侵入岩有关的祁漫塔格-都兰 Fe-Cu-Pb-Zn-W-Sn-Bi-Au-Mo 成矿亚系列	小卧龙	斑状二长花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩	Fe、Sn	夕卡岩型	文献[13]
		五一河	钾长花岗岩、二长花岗岩	Cu、Sn	夕卡岩型	文献[12]
	与中酸性侵入岩有关的智益-铜峪沟 Cu-Pb-Zn-Sn-Au-重晶石矿床成矿亚系列	日龙沟	石英闪长岩、斜长花岗岩、花岗闪长岩	W、Sn	夕卡岩型	文献[41]

①孙丰月,等.中国地质调查局“新疆-青海东昆仑成矿带成矿规律和找矿方向综合研究”科研报告.2003.

条成矿带。

3) 为了进一步在青海地区进行锡矿的找矿研究, 应加强成矿流体、年代学及同位素地球化学特征的研究, 通过对流体包裹体的成分分析、物质来源的研究和成矿时代的厘定, 进一步准确认识矿床形成过程以及成因类型。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 张子军, 黄丛运. 青海日龙沟锡多金属矿床地质特征及矿床成因探讨[J]. 上海地质, 2010, 31(S1): 187-191.
- [3] 朱德全. 青海日龙沟锡多金属矿床成因和找矿标志[J]. 矿床地质, 2014, 33(S1): 1059-1060.
- [4] 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.
- [5] 吴中楠, 计文化, 何世平, 等. 青海省兴海县日龙沟花岗岩闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地球化学特征[J]. 地质通报, 2015, 34(9): 1677-1688.
- [6] 卫岗, 王移生. 青海省兴海县日龙沟-赛什塘一带地质构造格架及其意义[J]. 西北地质, 2010, 43(3): 36-40.
- [7] 丁清峰. 东昆仑造山带区域成矿作用与矿产资源评价[D]. 长春: 吉林大学, 2004.
- [8] 康清清, 马晔, 沙亚洲. 青海省都兰南戈壁滩铜铁锡多金属矿成矿规律浅析[J]. 地下水, 2014, 36(4): 190-193.
- [9] 马国栋, 李玉莲, 李海宾, 等. 青海省都兰县沙柳河南区铅锌多金属矿地质特征及矿床成因分析[J]. 矿产与地质, 2014, 28(5): 560-567.
- [10] 郑英, 张金明. 青海省巴拉大才曲地区钨锡矿地质特征及成矿模式[J]. 甘肃冶金, 2015, 37(6): 86-88.
- [11] 张云国, 王京彬, 周朝究, 等. 青海省柴北缘东段太子沟钨锡多金属矿床地质特征及成因探讨[J]. 地质与勘探, 2014, 50(2): 246-256.
- [12] 胡登攀, 曾敏, 刘长城. 青海省茫崖镇五一河铁铜锡地质特征及找矿方向[J]. 地质论评, 2013, 59(S1): 489-491.
- [13] 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.
- [14] 景向阳, 王维, 张永胜, 等. 青海省茫崖镇乌兰乌珠尔铜矿床地质特征、成因类型及其找矿前景分析[J]. 矿产与地质, 2010, 24(3): 222-228.
- [15] 潘裕生, 孙祥儒. 青藏高原岩石圈结构演化和动力学[M]. 广州: 广东科技出版社, 1998: 217-255.
- [16] 任纪舜. 新一代中国大地构造图——中国及邻区大地构造图(1:5000000)附简要说明: 从全球看中国大地构造[J]. 地球学报, 2003, 24(1): 1-2.
- [17] 肖晓林. 青海省金属矿产成矿规律与控矿因素分析[J]. 中国矿业, 2008, 17(10): 90-92, 98.
- [18] 潘彤. 青海成矿单元划分[J]. 地球科学与环境学报, 2017, 39(1): 16-33.
- [19] 胡永达. 青海东昆仑乌兰乌珠尔铜矿地质特征及成矿远景评价[D]. 长春: 吉林大学, 2007.
- [20] 李俊民, 徐尚礼, 王利华, 等. 青海湖南山钨(锡)矿远景区地球化学勘查及其找矿潜力分析[J]. 矿产与地质, 2006, 20(6): 664-670.
- [21] 康继祖, 许贝贝, 薛万文. 青海昆仑河地区钨锡成矿特征及与早泥盆世花岗岩的关系[J]. 中国矿业, 2014, 23(12): 71-73, 98.
- [22] 陈慧军, 张寿庭, 张云辉. 中国主要锡矿床类型、成矿时期及品位模型[J]. 资源与产业, 2014, 16(2): 64-70.
- [23] 李杰, 康伟浩, 高亮, 等. 青海省昆仑河晚三叠世花岗岩岩石地球化学特征及其构造背景[J]. 青海大学学报(自然科学版), 2017, 35(3): 33-39, 45.
- [24] Baker T, Van Achtenberg E, Ryan C G, et al. Composition and evolution of ore fluids in a magmatic-hydrothermal skarn deposit[J]. Geology, 2004, 32(2): 117-120.
- [25] 许庆林. 青海东昆仑造山带斑岩型矿床成矿作用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
- [26] 王福德, 李云平, 贾妍慧. 青海金矿成矿规律及找矿方向[J]. 地球科学与环境学报, 2018, 40(2): 162-175.
- [27] 王泰山, 张鑫利, 雷晓清, 等. 青海省巴拉大才钨锡矿地质特征及成因探讨[J]. 甘肃冶金, 2016, 38(5): 38-45.
- [28] 黎彤. 化学元素的地球丰度[J]. 地球化学, 1976, 5(3): 167-174.
- [29] 周显强, 宋友贵, 邓军, 等. 青海都兰地区矿田构造与控矿特征[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 1-236.
- [30] 张师. 从中国东部若干重要矿区看花岗岩类的成矿专属性[J]. 地球科学——武汉地质学院学报, 1985, 10(2): 101-109.
- [31] 郭春丽, 陈振宇, 楼法生, 等. 南岭与钨锡矿床有关晚侏罗世花岗岩的成矿专属性研究[J]. 大地构造与成矿学, 2014, 38(2): 301-311.
- [32] 黎彤, 饶纪龙. 中国岩浆岩的平均化学成分[J]. 地质学报, 1963, 43(3): 271-280.
- [33] 毛景文, Lehmann B, Schneider H J. 锡在地球中初始富集与锡矿床成矿关系[J]. 河北地质学院学报, 1991, 14(1): 46-60.
- [34] Middlemost E A K. Naming materials in the magma/igneous rock system[J]. Earth-Science Reviews, 1994, 37(3/4): 215-224.
- [35] Peccerillo A, Taylor S R. Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1976, 58(1): 63-81.
- [36] 王登红, 陈郑辉, 陈毓川, 等. 我国重要矿产成岩成矿年代学研究新数据[J]. 地质学报, 2010, 84(7): 1030-1040.
- [37] 余宏全, 张德全, 景向阳, 等. 青海省乌兰乌珠尔斑岩铜矿床地质特征与成因[J]. 中国地质, 2007, 34(2): 306-314.
- [38] 陈毓川, 裴荣富, 王登红. 三论矿床的成矿系列问题[J]. 地质学报, 2006, 80(10): 1501-1508.
- [39] 陈毓川. 矿床的成矿系列[J]. 地学前缘, 1994, 1(3/4): 90-94.
- [40] 陈毓川. 中国成矿体系与区域成矿评价[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 1-462.
- [41] 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, 23(3): 20-26.