

中国钼矿主要矿集区及其资源潜力探讨

黄 凡 陈毓川 王登红 袁忠信 陈郑辉

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要: 钼矿是中国的优势矿种之一, 在全国范围内均有分布。矿床成因类型以斑岩型、矽卡岩型和热液脉型为主, 成矿时代以中生代和新生代为主。新世纪, 随着科技进步, 钼的应用领域逐渐扩大, 带动了我国钼矿的勘探和开采工作, 取得了一系列找矿新突破, 特别是在非传统的钼矿产区发现了许多大型和超大型钼矿, 使我国钼矿资源量有了大的突破, 基本上改变了过去“南钨北钼”的原有格局。本文在广泛搜集资料的基础上, 总结了我国钼矿资源特点, 并综合考虑岩浆、构造、地层、流体、成矿时代等因素, 初步将我国钼矿划分为 17 个大的矿床集中区(矿集区), 简单介绍了矿集区的基本地质特征和成矿特征, 给出了几个最重要矿集区的区域成矿模式, 同时根据已有资料 and 找矿新进展, 对主要钼矿集区进行了资源潜力分析, 并对我国钼矿找矿工作提出了建议。

关键词: 钼矿; 矿集区; 成矿模式; 资源潜力

中图分类号: P618.65 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2011)05-1111-24

1 概 述

中国是钼矿资源丰富的国家, 钼矿是中国 6 个优势有色金属矿之一。中国钼矿发现于清末, 始采于第一次世界大战前夕。新中国成立以来, 经过半个多世纪的地质勘探和开发利用, 截至 2008 年底, 据《全国矿产资源储量通报》中国已探明钼矿区 411 处, 钼矿查明资源储量已达 1232.23 万 t, 位居世界第一。总的来说, 中国钼矿资源特点可以概括为:

(1) 中国钼资源分布广泛, 相对集中在中南地区。中南地区占全国钼查明资源储量的 40.24%, 居首位。其次是东北 17.85%、华东 12.85%、华北 12.50%、西北 9.88%、西南 6.72%。河南、吉林、陕西、山东、广东、江西、西藏、内蒙古等省(区)为中国最主要的钼金属产地。其中河南省资源储量最多, 占全国钼矿总量的 29.47%。

(2) 中国钼矿一般规模大、类型多。著名的超大型、大型钼矿床有陕西金堆城钼矿床、河南栾川的南

泥湖、三道庄、上房沟钼矿床、辽宁锦西杨家杖子钼矿床、吉林大黑山钼矿床等, 以及新发现的河南东沟钼矿床、安徽沙坪沟钼矿床、四川沐川钼矿床等, 其他著名的大矿山还有山东邢家山、辽宁兰家沟、陕西黄龙铺等。此外, 中国钼矿类型多样(表 1), 按成因可划分为斑岩型、矽卡岩型、热液脉型、沉积型和海相火山岩型等 5 个主要类型, 以斑岩型为主, 矽卡岩型、热液脉型次之。

(3) 中国钼矿以原生硫化钼矿为主, 并且原矿品位低, 伴生组分复杂多样: 三道庄、金堆城、大黑山的钼矿工业品位约 0.1%。据统计, 钼作为单一矿产的矿床, 其储量只占中国总储量的 14%; 作为主矿产, 还伴生有其他有用组分的矿床, 其储量占全国总储量的 64%; 与铜、钨、锡等金属共生和伴生的钼储量占中国钼储量的 22%^[1]。

(4) 钼矿床的成矿时代, 就全世界而言, 主要为中生代和新生代, 这两个时期形成的钼矿床约占世界上已探明钼总储量的 90%左右。中国钼矿主要为

收稿日期: 2011-01-05; 改回日期: 2011-03-20

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(K1022)和全国矿产资源潜力评价项目(1212010633901)资助。

作者简介: 黄凡, 男, 1983 年生, 博士生, 主要从事矿物、岩石、矿床学研究; E-mail: hfhyym@163.com。

表 1 中国钼矿成因类型及分布简表

Table 1 Genetical types and distribution of Mo deposits in China

矿床成因类型		矿床个数/%	储量/%	矿床式(类型)	典型矿床	主要分布地区	
斑岩型		33%	69.6%	金堆城式斑岩型钼矿	陕西金堆城, 吉林大黑山, 山西繁峙后峪, 河南东沟	陕西、吉林、山西、河南等	
				大黑山式斑岩型钼矿			
				后峪式斑岩型钼矿			
砂卡岩型		24%	22.9%	杨家杖子式砂卡岩型钼矿 柿竹园式云英岩型-砂卡岩型钼矿	辽宁杨家杖子, 黑龙江五道岭, 江苏句容铜山, 湖南柿竹园	辽宁、黑龙江等 湖南、江苏等	
热液脉型	与花岗岩有关	36%	6.7%	石坪川式热液脉型钼矿	浙江青田石坪川, 安徽太平萌坑、	浙江	
				萌坑式热液脉型钼矿		安徽	
				白石峰式热液脉型钼矿	铜牛井, 广东五华白石峰, 陕西大石沟, 新疆白山	广东	
				白山式热液脉型钼矿		新疆	
	与碳酸岩有关			黄龙铺钼铅矿	黄龙铺	陕西	
沉积型		7%	0.8%	沐川式砂岩型钼矿	四川沐川, 云南广通鹿子湾, 贵州兴义大际山	云贵川	
海相火山岩型					拉拉厂式伴生钼矿	四川拉拉厂	四川
					遵义式黑色岩系型钼镍矿	湖南大庸, 贵州遵义	湖南、贵州

内生矿床, 成矿主要与岩浆活动有关。从统计的 133 个同位素样品年龄 (多数为 Re-Os 同位素年龄) 可以看出, 中国钼矿的成矿时代主要为燕山期, 其次为喜山期、印支期和海西期(图 1)。即绝大多数钼矿床和铜(钼)矿床均为中生代燕山期的产物。

(5) 中国钼矿产出的构造背景独特, 主要受板(陆)内构造活动的控制。世界范围内, 钼矿不仅产生于与大洋板片的俯冲有关的岛弧及陆缘弧环境^[2,3], 也可以产出于碰撞造山环境^[4,5]及板(陆)内造山环境^[6,7]。后者是中国学者根据中国大陆成矿环境的复杂性和特殊性提出的成矿构造环境。中国的钼矿床主要分布在东亚地区的三大构造域, 即古亚洲构造域、特提斯—喜马拉雅构造域和滨太平洋构造域^[8]。不同构造域内区域性构造活动控制了中国古生代以来的大地构造发展和成岩成矿作用, 特别是受深(大)断裂构造控制明显。现有资料表明中国钼矿床主要分布在地槽、地台区的边缘, 即造山带内广泛发育钼矿床^[9], 如规模巨大的东秦岭钼矿集区内, 钼矿床往往就定位在秦岭造山带内的断裂构造带的交汇部位或构造结点处, 深大断裂成带或成群分布。

(6) 钼成矿对围岩没有选择性, 常与中酸性浅成-超浅成岩浆活动有关。据罗铭玖等^[10]统计的 120 个钼矿床的矿床地质特征表明, 中国钼矿赋矿围岩

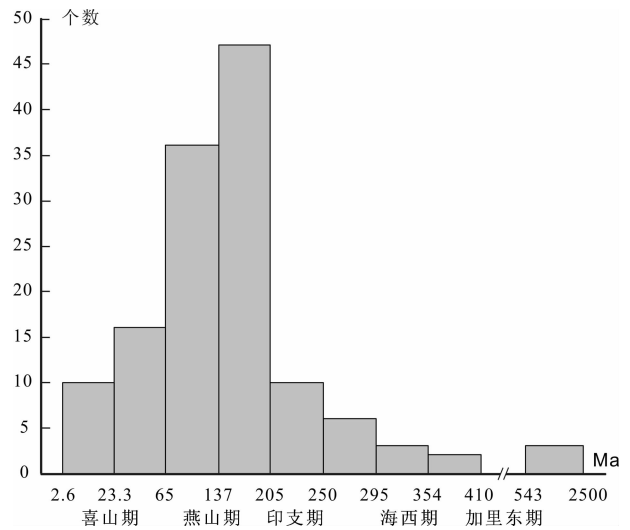


图 1 中国钼矿年龄分布直方图

Fig.1 Age histograms of Mo deposits in China

多样, 从震旦纪的白云质灰岩(喀左肖家营子钼矿)到侏罗纪的砂岩、页岩(五华汶水钼矿), 从太古宙片麻岩、元古宙石英岩(繁峙后峪钼矿)到中元古界栾川群变质岩系(栾川钼矿)、寒武纪变质岩系(分宜下桐岭钼矿), 从中元古界熊耳群火山岩系(金堆城钼矿)到晚侏罗世火山岩(连城铜坑钼矿), 以及地质时期广泛发育的中酸性侵入岩系均有钼矿化发育。上述

统计表明,不同地区不同时代的不同地层(或地层组合)可能对钼成矿作用矿化类型、成矿元素组合和矿化强度有一定的影响^[9],但绝对不是主要因素,更多的是为钼成矿作用提供一个有利的物理化学环境^[8,10]。中国多数钼矿床的形成均与燕山期的构造岩浆活动形成的中酸性小岩体具有明显的空间相关性^[1]。这些矿化岩体出露面积比较小,一般小于 1 km²(图 2),产状呈岩株、岩墙、岩脉等,受岩浆本身性质、侵位深度、构造环境及侵位方式控制。岩性主要为花岗斑岩、花岗岩、二长花岗岩,以及爆破角砾岩,少部分为花岗闪长斑岩、二长花岗斑岩、斜长花岗斑岩、石英斑岩、石英闪长岩及闪长岩,多数情况下是由几种岩石构成从酸性到中性的复式杂岩体^[8,11,12]。

(7)中国钼矿最具潜力的地区主要集中分布在中南地区、华北地区以及东北地区,资源潜力主要来自已有矿山的深部和外围。西南地区也是重要的钼矿集区潜在分布区,随着研究工作及勘查工作的深入,有可能发展成为中国重要的钼矿集区,如冈底斯矿集区、三江矿集区。从矿床成因类型来看,中国主要的钼矿床成因类型为斑岩型,次为矽卡岩型、热液脉型。这些类型仍为最有找矿潜力的成因类型。最近在河南方城发现的与萤石伴生的 F-Mo 组合的富钼矿床(姚店钼矿)和四川沐川砂岩沉积型钼矿床

以及海相火山岩型等成因类型的钼矿床亦可作为潜在的找矿方向。

2 中国钼矿矿集区的圈定

2.1 矿集区圈定的原则

金属成矿的实质不简单是指成矿元素的重新合成与堆积,而更强调元素在地幔系统中自原始的分散状态,通过壳幔间物质和能量交换与地壳内各类构造-地质活动和地质作用及其中所包含的导致元素再分配(集中和分散)的机制逐步浓集,最终在地壳的局部地段达到当前工业可利用的浓集状态(矿体和矿石)的全部过程^[13]。而这一过程是完全靠自然力来驱动和完成的,所以对成矿作用的探讨必须置于特定的成矿环境中来探讨。显然,对于单矿种矿集区的划分是十分必要和有意义的。

但在探讨矿集区之前,成矿域(省)、成矿区带的划分尤为重要。中国矿床成矿系列的研究已取得了显著进展^[14-23],这些研究将中国成矿区带划分为诸多 I 级成矿域、II 级成矿省、III 级成矿区带。矿集区的研究就是在上述成矿带基础之上的进一步细化研究。矿集区划分的最基本依据是区域矿床的时空分布规律,相似的成矿环境、相似的或密切联系的成矿机制形成的空间相近的一组矿床(点)的集中区,同时考虑不同时期形成的矿床在同地区的叠加和密集分布。单矿种矿集区的圈定就是为了更好地把握本矿产的分布特征,以及区域地质演化历史对成矿作用的影响,亦反映了该元素在当前地壳中分散聚集程度和矿集区内本矿种的资源潜力等。因此,单矿种矿集区的圈定必须建立在成矿带基础之上,原则上不跨 II 级成矿省,以区域地质构造演化史及已有矿床、矿化分布特征为基础,并综合考虑地层、岩浆岩、区域构造格架及成矿作用的年代等因素划分出矿集区。

本文钼矿矿集区的圈定即遵循了上述准则,但从目前资料积累程度上来看,还存在一些空白区没纳入钼矿集区中,将在今后的工作中进行细化、补充和修正。钼矿矿集区的命名采用了两种方式:一是采用大地构造、地质构造单元命名,如东秦岭钼矿集区;二是按照地理位置命名,如东南沿海钼矿集区。

2.2 矿集区圈定结果

按照上述矿集区的划分原则,结合钼矿床的时空分布特征及所处地质构造单元的具体特征,初步将全国钼矿划分为 17 个大的钼矿集中区(图 3,表 2)。

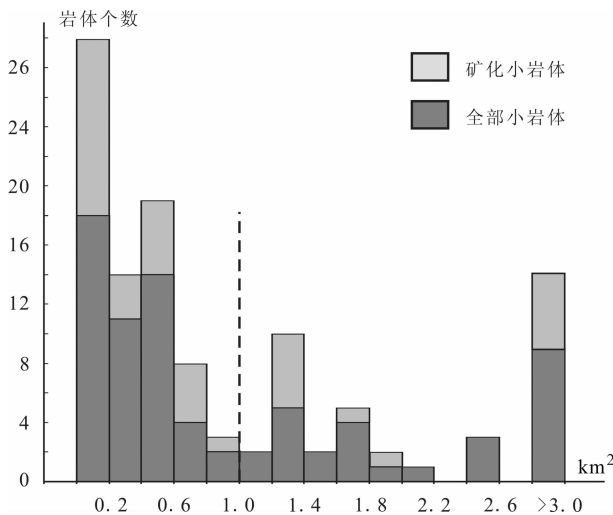


图 2 东秦岭-大别山中生代中酸性小岩体出露面积直方图
Fig.2 Area histograms of small intrusions in the East Qinling-Dabie orogenic belt

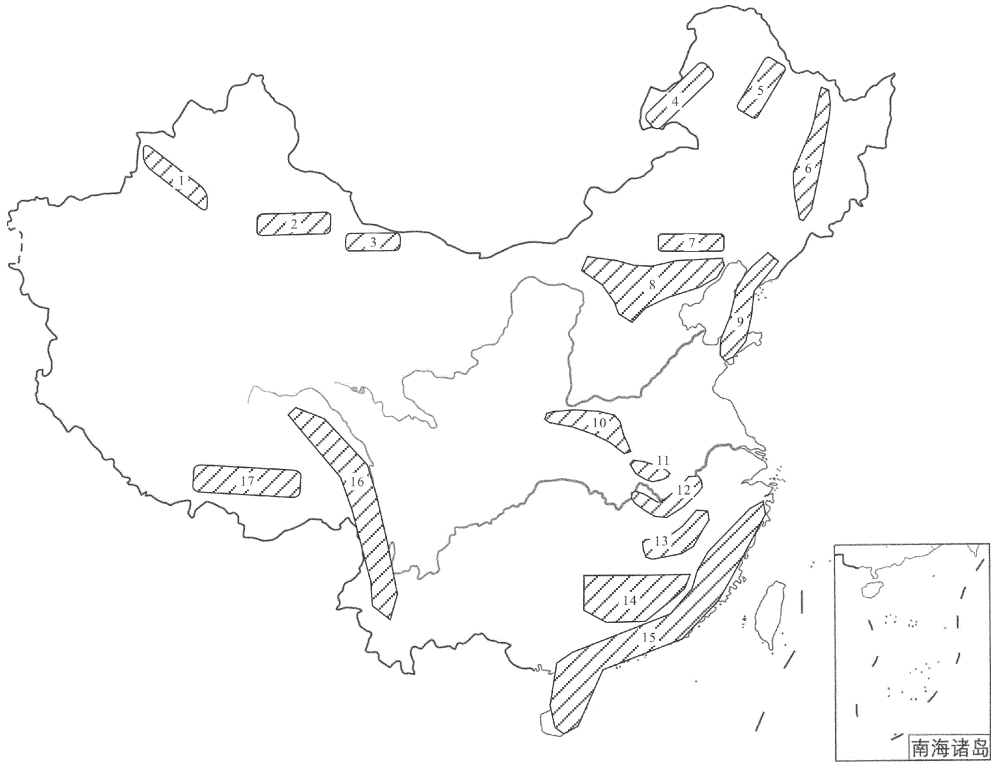


图 3 中国大陆钼矿集区分布图(编号见表 2)

Fig.3 Distribution of Mo ore concentration areas in China

3 最重要钼矿集区特征及资源潜力评述

3.1 东秦岭钼矿集区

位于中国大陆中央造山带东秦岭钼成矿带为国内最重要的钼成矿带或钼矿集区。矿集区内主要出露于陕西洛南—河南方城镇平一带,西起陕西省洛南县的金堆城钼矿床,东至河南省方城县的尚古寺钼矿床,南至商丹断裂,呈近东西向狭长带状展布,长约 250 km,宽 20~26 km,面积 $>10\,000\text{ km}^2$ (图 4)。

3.1.1 区域地质背景

秦岭造山带是一个经历长期多次不同造山作用而形成的复合型大陆造山带,以商丹和勉略两个主缝合带为界,秦岭造山带被划分为华北板块南缘、秦岭板块、扬子板块三部分^[24]。东秦岭钼矿集区即主要出露于秦岭造山带的华北板块南缘(图 4)。

矿集区内构造活动频繁,构造形态复杂。由于秦岭造山带夹持于华北、扬子两板块之间,奠基于硅—铝壳基底之上,自古元古代中期首次开张以来,以裂陷机制为主导,经历了多次造山运动,形成地壳深部

和浅部均较复杂的近东西向构造带,成为后期最重要的导岩、导矿构造。中生代以来,本区由于西部特提斯构造体系和东部西太平洋构造体系的叠加、改造,又被近南北向构造、北东向构造所复杂化,形成网格状构造格局,严格控制着后期岩体和矿床的定位。

矿集区内主要赋矿地层为太古宇太华群、中元古界下部长城系熊耳群、宽坪群,中部的蓟县系龙家园组、高山河组和上部青白口系栾川群。特别是广泛发育的栾川群及熊耳群地层为钼矿的主要赋矿围岩。栾川群主要为炭硅质板岩、含砾石英砂岩、石英岩、大理岩和白云质大理岩等,为成矿流体中成矿物质的沉淀提供了有利的物理化学场所。熊耳群则由一套火山岩系组成,变形较弱,展布平缓,属相对稳定的地质体,它角度不整合于太古宇之上,而这些地层构成了古老大陆地壳和结晶基底,上部被汝阳群、官道口群等陆源碎屑岩—碳酸盐岩地层不整合覆盖。熊耳群上限年龄为 1750 Ma,下限年龄可能为 1800 Ma^[25],形成在中元古代或中元古代之前。熊耳群火山岩地层的形成标志着华北克拉通南部盖层发

表 2 中国钼矿矿集区圈定结果及潜力分析一览表
Table 2 Mo ore concentration areas and their potential analyses

编号	矿集区名称	已知典型矿床	主要特征及找矿方向
1	天山西段	莱历斯高尔、喇嘛苏、达巴特、冬吐劲、3571、肯登高尔、库勒萨依斑岩型钼矿床等	矿集区内钼矿主要集中在赛里木和博罗科洛地区。赋矿地层从志留系到石炭系,矿床成因类型以斑岩型钼矿床为主,主要与海西期花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、花岗岩斑岩以及流纹斑岩等中酸性岩体有关,成矿时代集中在晚石炭世一早二叠世。NNW 向深大断裂对成矿控制明显,沿深大断裂发育的中酸性小侵入体以及侵入岩体与泥灰岩和不纯灰岩的接触带部位应加强找矿勘查,特别是在西天山中北部地区具有很好的成矿前景,如准噶尔南缘阿拉套远景区、伊什基里克远景区、博罗霍洛远景区等
2	天山东段	土屋—延东、灵龙、赤湖、三岔口、白山、小白石头钼钨矿等	矿集区内已发现钼矿床多为组合金属矿床,沿近东西向断裂带展布。矿床类型主要有斑岩型、矽卡岩型和石英热液脉型,以斑岩型为主。成矿时代集中在晚古生代和中生代,主要赋矿地层为石炭系。矿集区内成矿前景较好的地区主要有博格达铜钼铁多金属远景区、哈尔里克铜钼钨金多金属远景区、卡拉塔格—土屋—沁城一带铜钼钨成矿远景区
3	甘蒙北山	额勒根乌兰乌拉铜钼矿、双沟山钼矿、流沙山金钼矿、花牛山钼矿、小柳沟钼钨多金属矿床等	矿集区内已知矿床空间分布与海西期花岗岩类侵入岩伴生,成矿时代主要集中在晚古生代,主要矿床类型为斑岩型,其次为热液脉型和矽卡岩型,钼成矿远景区主要有甜水井—黑鹰山远景区、早山—七一山远景区、花牛山远景区、石板山—峡东远景区、金场沟远景区、小西弓—账房山远景区、俞井子—白山堂远景区、新井—野马井远景区等
4	得尔布干	乌奴格吐山铜钼矿、乌山铜钼矿、八大关铜钼矿、长岭钨多金属矿、下布依鲁基钼矿等	矿集区内已知钼矿床分布受 NNE 向得尔布干深断裂带和次级 NE、NNE 向、NW 向断裂控制,呈现出北东成带、北西成行的展布特征,成矿作用与燕山期火山—侵入岩浆活动密切相关,矿床空间分布与该时代的火山岩与浅成—超浅成侵入杂岩体有关,主要成矿期为晚侏罗世至早白垩世,矿床成因类型为斑岩型和矽卡岩型,主要成矿远景区有八大关—富克山远景区、哈泥沟远景区、克尔伦—尚丁高志高远景区
5	大兴安岭北段	多宝山铜钼矿、梨子山铜钼铁矿、小二沟钼矿、紫沟钼矿、铜山钼矿、宜里钼矿等	矿集区钼矿形成主要与晚古生代酸性、中酸性岩浆活动有关,分布受成矿后区域构造控制,矿化富集与次级构造密切相关。区域主断裂带嫩江—长治深断裂,是矿集区内最重要的导岩导矿构造,矿床紧邻断裂带西侧产出,矿化富集部位受断裂带旁侧次级北西—北西向西向弧形断裂及围岩中裂隙与片理化构造直接控制。这种弧形构造的转折地段,有利于成矿元素的聚集成矿
6	小兴安岭—张广才岭	大黑山钼矿、五道岭钼矿、翠宏山钼矿、二股东山、苏家围子、头道沟、铁汞山、半拉川等	矿集区内多数钼矿床与中酸性小岩体密切相关,矿化强度自北向南增强。矿床的形成主要受深断裂带、隆拗褶带及所在地段北北东向、南北向与东西向等主干断裂带控制,主要定位在多组次级断裂交汇部位
7	西拉木伦	小东沟、鸡冠山、碾子沟、岗子、柳条沟、红山子、库里吐、车户沟等	矿集区沿西拉木伦河南岸呈东西向展布,属华北地台北缘外带的加里东增生带。钼成矿作用多与侏罗纪—早白垩世火山热液活动和酸性岩浆活动有关。主要赋矿地层为晚古生代和中生代地层
8	燕辽地区	涞源大湾、丰宁撤岱沟门、杨家杖子、兰家沟、繁峙后峪、北松树卯、大庄科、董家沟、贾家营、三义庄等钼矿床	矿集区北部的尚义—北票深断裂带和南部的怀涿—锦西深断裂带为最主要的导岩导矿构造,对中生代中酸性火山喷发、岩浆侵入和与侵入体有关的钼矿床起着控制作用。矿集区内已知的钼矿床(点),大多沿深断裂带及其旁侧分布,或在深断裂带与其他断裂的交汇部位产出,总体上呈带状分布,与深断裂带延伸一致。钼成矿主要与燕山中酸性小岩体有关,不受地层制约,但地层岩性对钼矿化强度有一定影响,钙质和钙镁质碳酸盐岩层应为主要的找矿层位。钼成矿远景区主要有:内蒙古地轴北部、八达岭地区、承德—平泉地区、凌源—锦州地区和太行山东缘(北段)
9	胶东—辽东	邢家山、尚家庄、石人沟、临江、黄柏峪、孔辛头等钼矿床	矿集区内钼矿床与燕山中酸性小侵入体密切相关,受构造岩浆控制明显。区域性的北北东向主干断裂导岩导矿构造,北北东向、北西(西)向断裂与东西向断裂的交汇部位是主要的储矿构造,钼矿化的富集地段一般出现在岩浆侵入的前锋(邢家山)、岩体侵入接触—蚀变构造带(孔辛头)及岩体的次级构造裂隙带内(石人沟、尚家庄等钼矿)

续表 2

编号	矿集区名称	已知典型矿床	主要特征及找矿方向
10	东秦岭	金堆城钼矿床、河南栾川南泥湖、三道庄、上方沟钼矿床、汝阳东沟钼矿床等	矿集区内钼矿床主要与燕山期中酸性小岩体密切相关, 中生代时期, 区内发育的北北东—北东向断裂和沿断裂分布的中酸性构造岩浆带与东西向深断裂组成格子状构造。在上述两组断裂交汇构造结点及附近常发育钼矿床。找矿远景区有龙王庙—祁雨沟斑岩(角砾岩)金钼矿远景区、夜长坪—八宝山—南泥湖斑岩铜钼钨多金属成矿远景区、窟窿山—尚洞斑岩铜矿成矿远景区、南召—云阳—大寺斑岩钼矿成矿远景区、板厂—秋树湾斑岩铜(钼)成矿远景区、蒲塘—毛堂斑岩(角砾岩)金(铜)成矿远景区等
11	大别山	汤家坪钼矿、母山钼矿、肖皈钼矿、大银尖钼矿、沙坪沟钼矿、千鹅冲钼矿等	矿集区内钼矿床主要与中生代中酸性小岩体有关, 主要受北西西向的区域性深大断裂控制, 对地层没有选择性。主要分布在龟山—梅山断裂和桐柏—商城断裂的南北两侧, 产出部位往往是北西西向断裂与北北东向断裂的交汇部位或附近。已发现矿床具有明显的分带特征, 按成因类型, 一般以小斑岩体为中心, 斑岩体内为斑岩型矿床, 向外为矽卡岩型、脉型或角砾岩筒型矿床; 按成矿元素组合, 一般以小斑岩体为中心, 中间为 Mo(W)矿床、向外依次为 Cu、Pb、Zn 多金属矿床和 Pb、Zn (Ag) 多金属矿床。找矿远景区有朱裴店—亮山, 母山—汤家坪远景区
12	长江中下游	猴头山、铜录山、铜山口、石头嘴、封山洞、城门山、铜牛井、萌坑、檀树岭、铜矿里、金口岭、蘑菇山、句容铜山、安基山等钼矿	矿集区内钼矿床主要与燕山期中酸性小侵入体有关。区内深大断裂是主要的导岩导矿构造, 钼矿床常分布于区内次级隆起内或次级隆起与次级拗陷的过渡地带(偏隆起一侧)。区内主要含矿地层为中下三叠统, 次为石炭—二叠系, 少数为奥陶—志留系, 富钙、镁质地层具有重要的找矿意义。主要找矿远景区有鄂城—大冶远景区、九江—瑞昌远景区、安庆—芜湖远景区和南京—镇江远景区
13	赣北—浙西	闲林埠、三枝树、硃砂红、铜厂、富家坞、阳储岭、朱溪—塔前、下桐岭等钼矿床	矿集区内钼矿床与燕山期中酸性侵入小岩体关系密切, 矽卡岩型矿床还受围岩岩性制约。钼矿床主要分布于江南台隆北东段隆起区的边部和隆起区的外缘, 其产出位置常于多组断裂的交汇部位, 或断裂与次级褶皱的交汇部位, 钼矿体发育在岩体内外接触带, 常定位于小岩体的顶部突起或凹部, 受侵入接触带构造控制
14	南岭	宝山、黄沙坪、新田岭、柿竹园、西华山、大吉山、大龙山、黄沙、铜坑嶂、大宝山、红岭等伴生钼矿床以及园岭寨等独立钼矿	矿集区内钼矿化与燕山期岩浆活动密切相关, 矿床多为伴生钼矿床, 矿床类型以石英脉型占绝对优势。矿床的分布受区域性复式褶皱与构造—岩浆岩带控制, 成群成带, 分段集中, 矿床定位受深断裂带或复式褶皱带旁侧不同方向的复合构造控制
15	东南沿海	白石嶂、石坪川、赤路、锡坪、马坑、瑄坑、汶水、林湾、坡子营、梅岭、石门山、罗葵洞、行洛坑、铜坑等钼矿床	矿集区呈北东—西南向略向东南突出的弧形展布, 跨北东部东南沿海海西期褶皱系和中部及西南部华南加里东期褶皱系南部。区域以北东—北北东向深大断裂为主要的导岩导矿构造。主要钼矿床与燕山期中酸性小岩体有关。钼矿床定位多受深断裂旁侧次一级北(北)东向、北(北)西向和近东西向几组断裂的复合构造控制, 或受褶皱与断裂的复合构造控制。找矿远景区有武夷山, 浙东沿海, 闽东沿海, 粤东, 粤西—桂东, 海南东南沿海
16	三江	玉龙、多霞松多、馬拉松多、马厂箐、普朗等钼矿	矿集区内钼矿床与中生代酸性—中酸性浅成—超浅成相岩体有关, 矿体与岩体空间关系紧密相伴, 地层及岩性对成矿作用的制约很小。矿床受构造控制明显, 均受区域性近南北向主干断裂带控制, 深大断裂及其旁侧次级褶皱带控制岩体和矿床的分布。矿床定位受更次一级的褶皱和断裂的复合构造控制。已发现矿床具有明显的分带性, 上部一般为铜矿带, 中部为铜钼矿, 下部为铜钼矿, 底部无矿化带及根部无矿斑岩。找矿远景区有玉树—德格—中甸, 纳日汞玛—玉龙—芒康, 祥云—红河—金平, 腾冲—梁河等
17	冈底斯	沙让、甲玛、驱龙、帮浦、吉如、亚贵拉、克鲁、冲木达、拉抗俄等钼矿床	矿集区呈近东西向展布, 其大地构造位置属雅鲁藏布江缝合带北侧冈底斯火山—岩浆弧东西向构造带与念青唐古拉山北东—近南北向构造带的交汇部位。主要赋矿地层有二叠系一套浅变质砂板岩及碳酸盐岩及侏罗系安山岩—英安岩—流纹岩组成的火山岩系。已发现矿床(点)均与中酸性浅成小斑岩体密切相关。矿集区内成矿元素在空间上呈现出一定的规律性: 由南向北依次为: Cu-Au→Mo(Cu)→Cu-Mo(Au)→Pb-Zn。找矿远景区有雄村—洞嘎普斑岩型矿床远景区、甲玛—驱龙斑岩—矽卡岩型矿床远景区、蒙亚啊—洞中拉—亚贵拉矽卡岩—斑岩型矿床远景区、程巴—冲木达斑岩—矽卡岩型矿床远景区

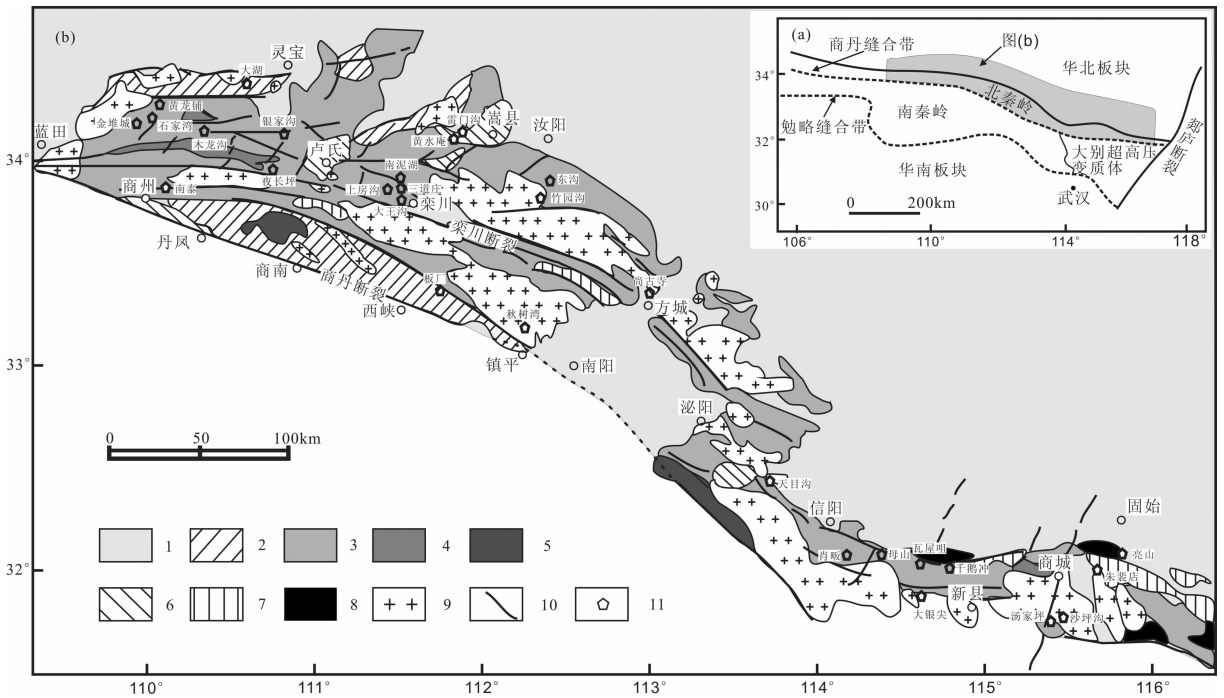


图 4 东秦岭—大别山钼矿集区地质简图及矿床分布 (据文献[8]修改)

- 1—第四纪沉积物; 2—太古宙基底; 3—元古宙火山岩和碳酸岩; 4—古生代碳酸岩和碎屑岩; 5—加里东期花岗岩;
- 6—三叠纪碎屑岩; 7—中生代碎屑岩和火山岩; 8—白垩纪火山岩; 9—燕山期花岗岩; 10—主要断裂; 11—钼矿床

Fig.4 Sketch geological map of the East Qinling and Dabie Mo-ore concentration area, showing the distribution of Mo deposits

- 1—Quaternary sediments; 2—Archean basement; 3—Proterozoic volcanic and carbonates rocks; 4—Paleozoic carbonate and clastic rocks;
- 5—Caledonian granite; 6—Tertiary clastic rocks; 7—Mesozoic clastic and volcanic rocks; 8—Cretaceous volcanic rocks;
- 9—Yanshanian granite; 10—Main faults; 11—Mo deposit

育的开始,为后续的成矿作用提供了较为理想的成矿空间。

矿集区内岩浆活动发育,岩浆作用贯穿本区整个地质演化历史,具有长期性、多次性的特点,卢欣祥^[20]将秦岭地区的岩浆活动划分为7个大的构造岩浆旋回。主要有太古宙晚期的双峰式火山喷发和中元古代早期的溢流与喷发,以及燕山期大规模中酸性岩浆活动,其中以燕山期岩浆活动最为强烈,形成众多的浅成—超浅成相小岩体,与成矿关系最为密切。

3.1.2 成矿规律

(1)与成矿有关中酸性小岩体分布特征

东秦岭钼矿集区内钼矿床的形成常与中酸性小岩体有着密切关系,在小岩体周边围岩或岩体内往往发育钼矿化。这些中酸性小岩体多属酸性偏碱性的花岗斑岩、花岗岩、二长花岗岩,以及爆破角砾岩,少部分为花岗闪长斑岩、二长花岗斑岩、斜长花岗斑岩、石英斑岩、石英闪长岩及闪长岩。岩体具斑状结构,矿物成分主要是长英质矿物及少量暗色矿

物,斑晶成分为钾长石、石英和斜长石,有时还有黑云母及角闪石,后两者常有不同程度的暗化边,有的被熔蚀或被撕裂。石英斑晶呈六方双锥的高温变种,并被熔蚀。这些小岩体空间上自东向西(大别山),由南向北(秦岭)岩石的酸度常常是逐渐增高的,具有更高的硅和碱含量^[21]。这些小侵入岩体的岩石化学多属钙碱性岩系,它们具有更多的硅和碱,而且是钾大于钠,具有高硅、富碱、贫镁、低钙和钾大于钠等显著特征^[11]。岩石化学对成矿具有明显的控制作用:当 $SiO_2 \geq 72\%$, $K \geq Na$, $(K_2O + Na_2O) > 8\%$ 时几乎生成单一的钼(钨)矿;当 $SiO_2 \leq 70\% \sim 72\%$, $K \leq Na$ 时则生成以铜、金为主的铜(钼)矿床^[11]。

矿集区内中酸性小岩体及爆破角砾岩体的分布具有明显的规律性^[22]:①严格受深大断裂的控制,出露在大断裂的两侧及断裂带中,东西向构造和北北东向构造的复合部位是中酸性小岩体的定位构造;②沿大断裂成群成带分布并构成密集区;③产在各大岩基之外,和各大岩基有一定距离,互不接触;④没

有同时代的火山岩与之共生;⑤多已蚀变和矿化。

(2)成矿系列和矿床类型

矿集区内不仅仅发育有钼矿床,同时也是中国主要的金、铅、锌、铜等多金属的重要产地。所以,在不同的地质历史演化过程中,本区经历了不同的构造岩浆活动和成矿作用,形成不同的成矿系列和矿床类型^[15]。根据矿床成矿系列思想和金属矿床成矿规律研究,中生代东秦岭—大别地区的钼(钨)、金、银、铅锌等金属矿床可划分为中—晚三叠世与碱性岩有关的钼成矿亚系列、晚侏罗世—早白垩世与I型花岗斑岩有关的钼(钨)银铅锌金成矿亚系列、早白垩世与重熔花岗岩有关的以金为主的矿床成矿亚系列和早白垩世晚期与铝质A型花岗岩有关的钼铅锌成矿亚系列4个矿床成矿亚系列^[27]。王平安^[28]在综合分析秦岭造山带的矿床特征、控矿因素和成因信息后,将造山带内的成矿作用系统归结为4个主要类型:(a)岩浆及岩浆热液成矿作用类型,(b)海相火山—沉积成矿作用类型,(c)沉积(包括风化)成矿作用类型和(d)区域变质成矿作用类型。每一种成矿作用类型均代表着造山带不同演化阶段的地质演化特征及不同的成矿方式。

按照主要成矿元素组合、矿化蚀变特征,可以分出6种主要的成矿作用类型:(1)斑岩型钼矿,如东沟、上房、金堆城等;(2)斑岩型钼、钨矿,如南泥湖、三道庄、夜长坪等;(3)斑岩型钼、金矿,如雷门沟等;(4)斑岩(角砾岩筒)型金(铜)矿,如祁雨沟、蒲塘;(5)斑岩(角砾岩筒)型铜(钼)矿,如秋树湾;(6)斑岩(角砾岩筒)型铜多金属矿,如板厂、亮山等。依据成矿岩体特征、岩石类型可以把成矿作用类型归结为3个建造(组合)^[29]:(1)单一的斑岩建造,指产在独立的单一斑岩体中及接触带中的矿床,如东沟、金堆城等;(2)爆破角砾岩建造,指与爆发角砾岩有成因联系的矿床,如祁雨沟金矿、秋树湾北山铜矿、板厂铜多金属矿等;(3)斑岩—爆破角砾岩筒建造,指与斑岩和爆发角砾岩均有成因联系的矿床,如雷门沟钼、金矿。

(3)地球动力学背景

东秦岭钼矿集区内钼矿床的形成与浅成—超浅成相和爆发角砾岩相的深源浅成中酸性小岩体在空间上密切相关^[11,30],钼矿床以产出超大型钼矿床为最主要特征,矿床成因类型以斑岩型(斑岩—矽卡岩

型)钼矿床为主。Mao et al.根据辉钼矿 Re—Os 同位素测年将本区钼成矿作用划分为3个时间段^[31]:233~221 Ma,148~138 Ma 和 131~112 Ma。由此,本区钼矿主要成矿时代集中在中生代印支期(235~210 Ma)和燕山期(150~110 Ma),印支期钼成矿作用对应着碰撞造山和碰撞后的伸展拉张环境,而燕山期钼成矿作用时间比印支期钼成矿作用的时间晚了约60 Ma,应被归为燕山期陆(板)内造山作用的产物^①,并且以燕山期钼成矿作用为主^[31]。

总之,本区地质构造演化可以划分为早期的前造山阶段、中期的主造山阶段、晚期的后造山阶段3个阶段^[24,26]。本区在印支运动之后,又发育了规模不亚于主造山阶段的板内造山作用,在中新生代,燕山运动时期还发生了岩石圈的大量减薄^[32]和幔源岩浆的底侵及下地壳的拆沉作用^[26]。研究表明,大的构造运动旋回往往伴随着岩浆作用和成矿作用,因为大规模造山之后,壳和幔都是热的,流体活动强烈,储存在中下地壳或地幔中的流体可以运移到地壳上部,对成矿极为有利^[11]。因此,本区岩石圈减薄必然对燕山期的岩浆活动和成矿作用产生巨大的影响。因为伴随着软流圈物质上涌、岩石圈减薄或拆沉作用的发生,下地壳的部分熔融产生中酸性岩浆,深部储集的流体被触发,并随同强烈的岩浆活动共同侵位上升至浅部地壳,导致燕山期大规模的成矿作用^[31,33,34]。

(4)区域成矿模式

综合矿集区内地层、构造、岩体及矿床分布信息,给出本区地层—岩浆—流体综合成矿模式(图5)。

3.1.3 资源潜力评述

东秦岭钼矿集区作为中国乃至全球最重要的钼矿生产基地,蕴含着丰富的钼资源储量。根据以往勘查成果,矿集区内已探明超大型钼矿床5处,大中型钼矿床10余处,小型钼矿床及矿点若干。截止到2008年,本区已探明钼资源储量为585.62万t,约占中国钼矿查明资源量的41.07%。其中5个超大型矿床分别为陕西金堆城钼矿床、河南栾川南泥湖、三道庄、上方沟钼矿床、汝阳东沟钼矿床,查明钼资源储量总和为427.45万t,约占矿集区查明钼资源储量的73%。

由于矿集区内已知矿山多露天开采,钼矿生产和勘探的深度都不大,新近找矿勘查发现一批新的

①杨宗锋,罗照华,卢欣祥,等.东秦岭尚古寺含钼花岗岩斑岩地质学、岩石学特征与辉钼矿 Re—Os 年龄(未刊资料),2010.

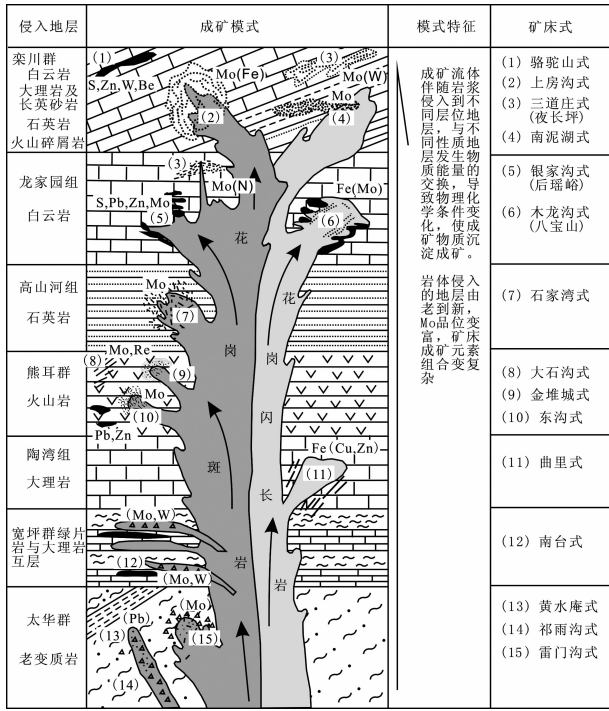


图 5 东秦岭钼矿集区成矿模式图(据文献[9]修改)
Fig.5 Metallogenic model of the East Qingling Mo ore concentration area

钼矿床(点),如东沟超大型钼矿的发现,显示出本区巨大的成矿潜力。结合本区成矿规律研究,主要找矿区域应集中在深大断裂带内及两侧中酸性小岩体分布区,特别是近东西向断裂与近南北向断裂的交汇部位。本区的主要钼找矿预测类型有斑岩型、矽卡岩型和热液脉型,此外,石英脉型,侵入于同时代大岩体中的斑岩-爆破角砾岩型,与萤石伴生的 F-Mo 组合的富钼矿,变质地层中细脉浸染状钼矿以及花岗岩中裂隙充填型钼矿等新类型钼矿化均为本区比较有远景的找矿方向^[35]。本区主要钼矿找矿远景区有龙王庙—祁雨沟斑岩(角砾岩)金钼矿远景区、夜长坪—八宝山—南泥湖斑岩铜钼钨多金属成矿远景区、窟窿山—尚洞斑岩铜矿成矿远景区、南召—云阳—大寺斑岩钼矿成矿远景区、板厂—秋树湾斑岩铜(钼)成矿远景区、蒲塘—毛堂斑岩(角砾岩)金(铜)矿成矿远景区等 6 个成矿远景区。

3.2 小兴安岭—张广才岭钼矿矿集区

小兴安岭—张广才岭钼矿矿集区位于黑龙江省东部及吉林省东南部松辽盆地的东缘,属于松嫩地块的组成部分,主要分布于小兴安岭—张广才岭及

其南西延伸的吉林哈达岭山区,东以嘉荫—依兰—牡丹江断裂为界与佳木斯地块相接;北以黑河—嫩江断裂为界与兴安地块相连。自北向南呈北北西—近南北向微向东突的弧形展布,南北长约 650 km,东西宽 60~100 km(图 6)。

3.2.1 区域地质背景

矿集区展布与小兴安岭—张广才岭山系基本一致。区内出露地层除缺失志留系外,从元古宇的变质岩系到新近系湖相沉积均有发育。主要赋矿地层为二叠纪交界屯组浅海相沉积岩、五道岭组中酸性火山岩、侏罗纪玉屯组中酸性火山岩和早古生代头道沟组地层。

本区岩浆活动强烈,主要有元古宇中酸性火山岩和呈岩基状和岩株状产出的花岗岩类,加里东期中性—中酸性熔岩和深成或中深成相花岗岩,晚印支期中酸性—酸性火山岩和碱性花岗岩类,燕山期中性—酸性火山岩和呈岩株状产出的中酸性浅成—超浅成花岗岩类等四次岩浆活动。地表广布花岗岩,出露面积达 80%,以加里东期花岗岩分布最为广泛,组成近南北向的花岗岩带,燕山期花岗岩以及古生代浅变质的砂板岩(夹火山岩)、灰岩、中酸性火山岩及碎屑岩零星出露于花岗岩带中(图 6)。

本区在中生代以前构造线以近南北向为主,并伴有稀疏的东西向和北东向构造,南北向和东西向两组构造相互交错呈网格状构造格局;中生代时期,区域主构造转变为北东—北北东向。现今基本构造格架由一系列北东—北北东向复式褶皱、断裂和与之交切的北西向断裂组成。上述构造控制着本区中酸性火山活动、岩浆侵入以及相关矿床的分布。

3.2.2 成矿规律

(1) 矿床类型及分布规律

矿集区内金属矿床的分布主要与加里东期、印支期和燕山期多旋回岩浆活动形成的岩体有关,岩性有白岗质花岗岩和黑云母闪长斑岩等。3 个时期的成矿作用均与中酸性侵入体及广泛的流体活动密切相关,成矿时代总体由北向南变新,矿床成因类型主要为斑岩型、矽卡岩型和热液脉型。由于不同地段地质构造条件的差异,钼矿化强度由北向南呈现增强的趋势。并且钼矿床呈现出成带、分段发育的特征。自北而南可划分为 3 个成矿亚区,即北部小兴安岭—伊春、中部张广才岭滨东—五常和南部吉林哈达岭永吉—盘石,钼矿床(点)主要集中发育于南

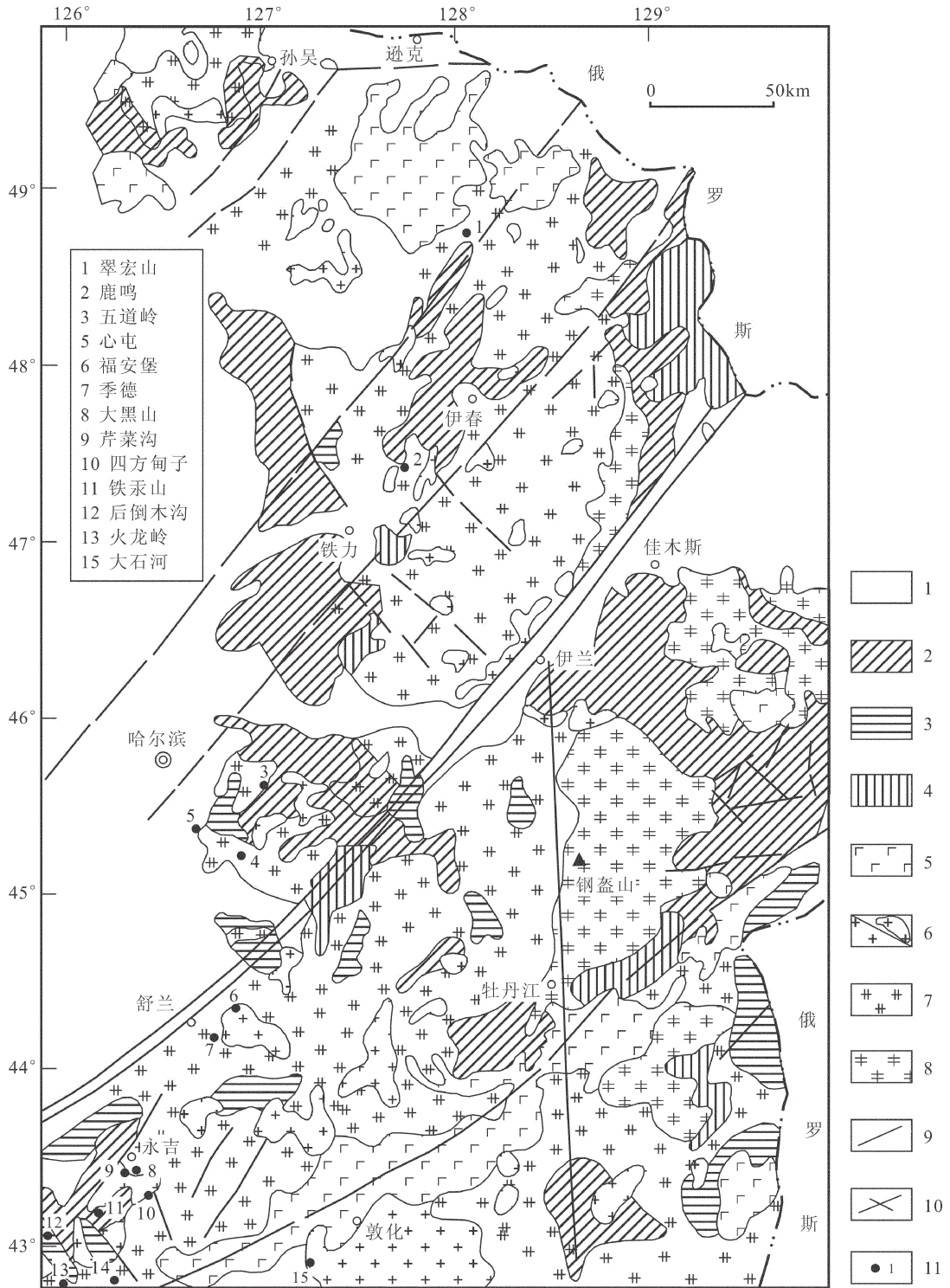


图6 小兴安岭—张广才岭钼矿集区地质简图及矿床分布(据文献[8]修改)

1—新生代;2—中生界;3—上古生界;4—前震旦系;5—新生代玄武岩;6—中生代晚期花岗岩;7—晚古生代—早中生代花岗岩;8—元古宙花岗岩;9—深断裂;10—一般断裂;11—钼矿床及编号

Fig. 6 Sketch geological map of the Xiaoxinganling-Zhangguangcailing Mo-ore concentration area, showing the distribution of molybdenum deposits

1—Cenozoic; 2—Mesozoic; 3— Upper Paleozoic; 4— Presinian; 5— Cenozoic basalts; 6— Late Mesozoic granitoids; 7— Late Paleozoic—Early Mesozoic granitoids; 8— Proterozoic granitoids; 9— Deep fault; 10—Common fault; 11— Molybdenum deposit and its serial number

部吉林哈达岭永吉—盘石成矿亚区,统计钼矿床有 20 余个^[8]。矿集区内已知矿床(点)的分布,明显受北北东向、南北向与东西向等主干断裂带的控制,矿床定位一般受多组次级断裂交汇的复合构造控制,以南部吉林哈达岭永吉—盘石成矿亚区钼矿床最为明显^[8]。尹冰川等^[36]根据本区矿床的赋矿地层、与成矿有关的花岗岩、矿化类型以及矿床的时、空分布特征,将区域矿床划分为加里东期成矿系列和印支期成矿系列。韩振新等^[37]依据矿床成矿系列及亚系列划分的原则,按成矿时代不同,划分出 3 个矿床成矿系列,又按岩浆岩的侵入期次划分出 6 个矿床成矿亚系列,其中钼矿床主要集中在加里东中期与花岗岩类有关的钨、钼、铅、锌、铁矿床成矿系列中的与加里东中期第三侵入次二长花岗岩有关的钨、钼、铅、锌、铁矿床成矿亚系列和印支晚期与花岗岩类有关的铅、锌、铁、钼矿床成矿系列中的与印支晚期第三侵入次碱长花岗岩有关的铁、铅、锌、钼矿床成矿亚系列。

(2) 地球动力学背景

本区是小兴安岭—松嫩和佳木斯—兴凯两个地块之间的拼接活动带,经历了多次拉张分裂和挤压闭合,地质构造错综复杂,具有多旋回发展特点。两地块之间在前寒武纪曾一度被洋盆相隔,新元古代曾发生过大洋板块的俯冲消减;至早古生代末期,大洋板块又一次俯冲,使两地块发生拼合、碰撞乃至逆冲推覆等造山事件,形成了加里东期成矿系列。晚古生代本区已成为一个统一大陆,至印支期,由于中国东北北部大陆处于由南北向挤压向东西向挤压的转换时期,本区处于伸展—走滑的构造环境,伴随松辽盆地的初始裂陷及佳木斯—伊舒断裂的走滑,引发了大规模的花岗质岩浆活动和流体成矿作用,在张广才岭的阿城—尚志一带形成了与此事件有关的印支期成矿系列^[36]。

李立兴等^[38]和王成辉等^[39]分别通过辉钼矿 Re—Os 测年技术对吉中地区福安堡钼矿和大黑山钼矿进行了年代学约束,两个矿床的成矿年龄分别为 $(166.9 \pm 6.7)\text{Ma}$ 和 $(168.2 \pm 3.2)\text{Ma}$, 显示出本区燕山早期的钼成矿作用属性^[8]。由于本区自晚三叠世以来滨太平洋构造域开始发展^[40],受古太平洋板块向欧亚板块俯冲挤压的影响,构造表现为剧烈的断块运动,产生北东向断裂构造带,至早白垩世,挤压开始转向拉张^[41],导致深部岩浆和成矿流体上涌,表现为沿断裂带强烈的火山喷发活动、岩浆侵入活动和

金属成矿作用,由此造成燕山期矿床的发育。

(3) 区域成矿模式

根据成矿系列思想和典型矿床的基本特征,给出本区理想的区域成矿模式(图 7)。

3.2.3 成矿潜力评述

据统计^[8],本区已知钼矿床(点)20 余处,其中超大型 1 处(大黑山,储量达 109 万 t)、中型 2 处(五道岭、翠宏山)、小型 5 处(二股东山、苏家围子、头道沟、铁汞山、半拉川),其余为矿点或矿化点(如杏山、刘来沟、三道川等),新近也发现了一批大中型钼矿床,如季德钼矿、福安堡钼矿、大石河钼矿等。截止到 2008 年,本区已有矿山储量约为 180.25 万 t,约占中国钼矿查明资源量的 12.92%。随着钼找矿相关工作的进展,小兴安岭—张广才岭钼矿集区已逐步成为中国第二大钼矿集中区。

本区的钼成矿作用均与古太平洋板块向欧亚大陆的俯冲消减有关。加里东期成矿作用与松嫩和佳木斯地块拼合、碰撞造山的大地构造背景有关;而印支期成矿作用和燕山期成矿作用均与板内拉分—走滑的构造环境有关,中国东北北部大陆由南北向挤压向东西向挤压的构造应力转换阶段。每个阶段都发育有强烈的岩浆活动,并伴随有成矿流体活动,具有良好的成矿潜力和找矿前景,特别是燕山期与中酸性小岩体有关的钼成矿作用。

区内主要矿床预测类型为斑岩型和矽卡岩型,根据构造地质条件以及已有矿床的分布,可将本区划分为 3 个成矿远景区,即北部小兴安岭—伊春、中部张广才岭滨东—五常和南部吉林哈达岭永吉—盘石。最主要的钼矿床(点)集中在永吉—盘石一带,共 19 个矿床(点),约占本区总储量的 91.04%^[8]。控矿构造主要有 3 组断裂,即东西向、北北东向及北北西向,3 组断裂总体上呈网格状构造格局。东西向断裂时早期(成矿前)断裂的复活构造;北北东向断裂,发育于燕山中晚期;北北西向断裂则为北北东向断裂的配套构造。北北西向断裂与东西向或北北东向断裂的交汇部位,是钼矿床(点)的产出地段,如大黑山超大型钼矿即是东西向大黑山—芹菜沟断裂与北北西向大黑山—双阳树断裂的交汇处。所以在上述构造的交汇处仍有找寻大型钼矿床的可能。

3.3 燕辽地区钼矿集区

燕辽钼矿集区西起内蒙四子王旗白乃庙,东至于辽宁锦州—北票一线,南界大体在阜平—涑水—昌

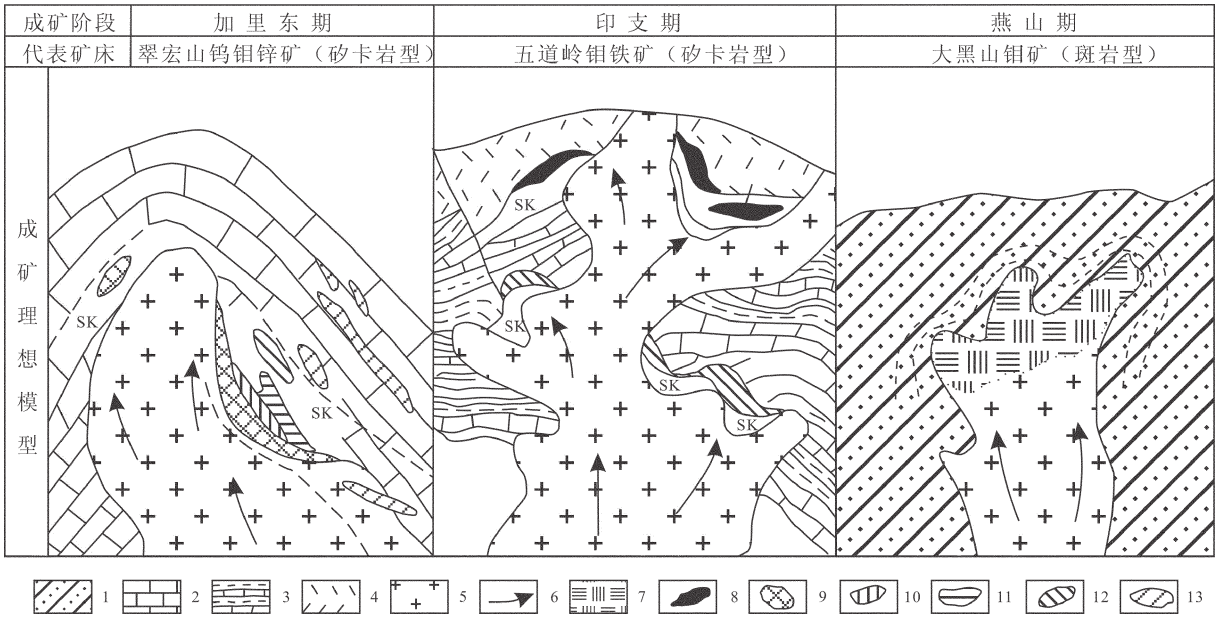


图7 小兴安岭—张广才岭钼矿集区成矿模式(据文献[37]修改)

1—阳起石岩及黑板岩;2—碳酸岩;3—碎屑岩、大理岩;4—中酸性火山岩;5—花岗质岩石;6—流体运移方向;7—钼矿体;8—钼铁矿体;9—钨钼(锡)矿体;10—钨钼铁矿体;11—铁矿体;12—铅锌铁矿体;13—铅锌铜矿体;SK—矽卡岩(化)

Fig.7 Metallogenic model of the Xiaoxinganling-Zhanguangcailing Mo ore concentration area

1- Actinolite and black slate; 2- Carbonate; 3- Clastic rocks, marble; 4- Intermediate-acid volcanic rocks; 5- Granitic rocks; 6- Direction of fluid migration; 7- Mo ore body; 8- Mo, Fe ore body; 9- W, Mo(Sn) ore body; 10- W, Mo, Fe ore body; 11- Fe ore body; 12- Pb, Zn, Fe ore body; 13- Pb, Zn, Cu ore body; SK- Skarn

平—秦皇岛附近,北段抵达四子王旗(北)—康保—围场—赤峰一线以南。矿集区东西延长约 800 km,南北宽 160~250 km,空间上呈弧形展布(图 8)。

3.3.1 区域地质背景

燕辽钼矿集区是华北板块北缘主要的钼、铜成矿集中区之一,位于古亚洲洋和滨太平洋的构造域结合部位。本区出露地层主要为太古宇和古元古界变质岩系、中—新元古界至下古生界海相碳酸盐岩系、上古生界陆相碎屑岩系和中生界陆相火山—沉积岩系。赋矿地层主要有中元古界蓟县系碳酸盐岩、寒武—奥陶系灰岩、白云岩、页岩以及侏罗—白垩系火山碎屑岩。矿集区内燕山期岩浆活动强烈,大量花岗闪长岩、二长花岗岩、花岗岩等小侵入体以岩株、岩墙、岩脉及爆破角砾岩筒等形式定位,加上伴随大范围的流体活动,形成许多著名的钼矿床。区内主体构造为近 EW 向转 NE 向呈弧形展布的构造带,钼矿的形成受控于燕山台褶带内中生代构造—岩浆带,中生代时期复活的近 EW 向老基底断裂和新产生的 NE-NNE 向断裂或它们的交汇部位,往往形成侵入体或火山机构,控制着与钼或铜(钼)矿

化有关的花岗岩类和矿床的空间分布^[42]。

3.3.2 成矿规律

(1)矿床类型及分布规律

矿集区内钼矿床成因类型有斑岩型、矽卡岩型、爆破角砾岩型、热液脉型等。成矿年龄统计显示^[43],本区钼成矿作用时间介于 115~195 Ma,集中在燕山期成矿,并且与燕山期浅成—超浅成相中酸性小岩体密切相关^[8,43]。陈毓川等^[44]依据矿床成矿系列和区域矿床成矿谱系思想将华北板块北缘矿床划分出 18 个矿床成矿系列,反映了本区矿床的演化及分布规律和区域地壳演化史,指出华北板块北缘经历了 4 个主要的地壳演化和成矿时期,成矿时代整体表现出太古宙和元古宙成矿作用从东部到西部时代分别趋新,古生代成矿作用在东、西两区各显特色,中生代成矿作用从东向西推进,强度趋弱。

矿集区内已知的钼矿床(点),大多沿深断裂带及其旁侧分布,或在深断裂带与其他断裂的交汇部位产出,总体上呈带状分布,与深断裂带延伸一致。特别是北部的尚义—北票深断裂带和南部的怀涿—锦西深断裂带为最主要的导岩导矿构造,对中生代

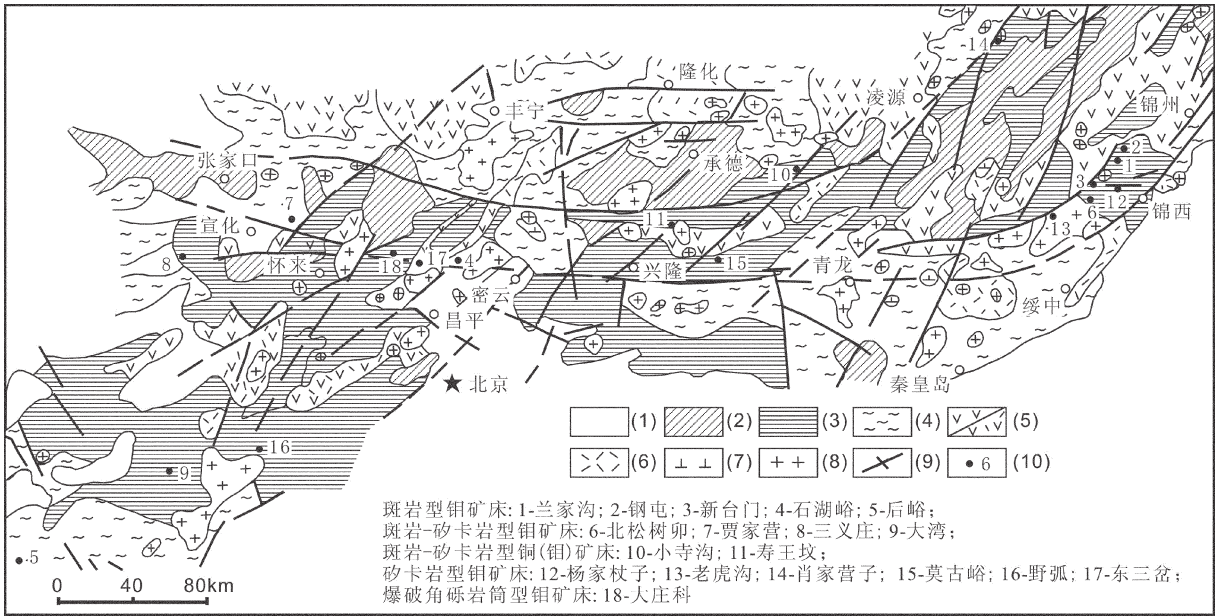


图 8 燕辽钼矿矿集区地质简图及矿床分布(据文献[42]修改)

- (1)喜山期构造层(含 R、N、Q); (2)燕山期构造层(J-K); (3)后吕梁—印支期构造层(Pt₂-T);
- (4)太古宙—元古代构造层(Ar-Pt₁); (5)燕山期基性—中性火山岩; (6)燕山期酸性火山岩;
- (7)燕山期中性侵入岩; (8)燕山期花岗岩类; (9)—断裂; (10)—钼矿床及编号

Fig.8 Sketch geological map of the Yanliao Mo-ore concentration area, showing the distribution of molybdenum deposits

- (1)-Himalayan structural layer (including R, N, Q); (2)-Yanshanian structural layer (J-K); (3)-Post-Luliang-Indosinian structural layer (Pt₂-T); (4)-Archeozoic-early Proterozoic structural layer (Ar-Pt₁); (5)-Yanshanian basic and intermediate-basic volcanic rocks;
- (6)-Yanshanian acidic volcanic rocks; (7)-Yanshanian intermediate intrusions; (8)-Yanshanian granitoids;
- (9)-Fault; (10)-Molybdenum or copper-molybdenum deposit and its serial number

中酸性火山喷发、岩浆侵入和钼矿床起着控制作用。区内钼矿床成矿元素常具有分带性,具体表现为:水平方向上以岩体为中心,内部为钼矿富集带,岩体以外围岩经常是铁铜或铅锌矿的富集带(图 9)。

(2)地球动力学背景

晚二叠世—三叠纪西伯利亚板块与华北—蒙古板块的碰撞缝合,导致了本区一系列深达地幔的以 EW 向为主、NE 向次之的断裂构造,为后期成矿流体及物质运移提供了有利条件^[46]。随后,本区进入陆内造山阶段,经历 5 期造山幕,即前造山幕—初始造山幕(J₁),早期造山幕(J₂),峰期造山幕(J₃),晚造山幕(K₁)和后造山幕(K₂)。在同造山阶段(早期,峰期和晚期),发育大规模的金属成矿作用^[47]。据代军治^[43]研究,本区不同类型金属矿床成矿年龄主要为 240~205 Ma、204~175 Ma、154~135 Ma 3 个时间段,分别集中于 215~235 Ma、185 Ma 和 140 Ma,其中,与钼铜成矿作用相关矿床的年龄主要集中在 185 Ma 左右和 140 Ma 左右^[46],对应同造山幕(早期,峰期和晚期)。在早侏罗世,玄武质岩浆底侵开始对本区下地壳进

行加热,同时下地壳增厚,至中晚三叠世—早白垩世,增厚下地壳局部拆沉,下地壳物质发生大量局部熔融,产生中酸性岩浆^[47,48]。这些岩浆连同混入的流体沿早期形成的区域性断裂带上升侵位到浅部地壳,产生了本区众多的钼多金属矿床。

燕辽地区钼矿集区与东秦岭钼矿集区均为华北板块边缘的钼矿集区,两个钼矿集区在矿床成因类型和成矿作用时间上有一定相似性,即在晚三叠世和晚侏罗世具有同时性,但在早侏罗世和早白垩世不同:燕辽地区早侏罗世钼矿床成矿事件较为强烈,早白垩世成矿作用弱;而东秦岭早侏罗世钼成矿事件弱,晚侏罗—早白垩世成矿作用强烈^[43]。

(3)区域成矿模式

综合本区典型矿床特征,给出岩浆—流体—蚀变—成矿环境的理想成矿模式(图 9)。

3.3.3 成矿潜力评述

矿集区内赋存有丰富的钼、铜资源,截至 2008 年,本区已探明钼资源储量为 144.63 万 t,约占中国钼矿查明资源量的 10.37%。目前已发现钼(铜)矿床

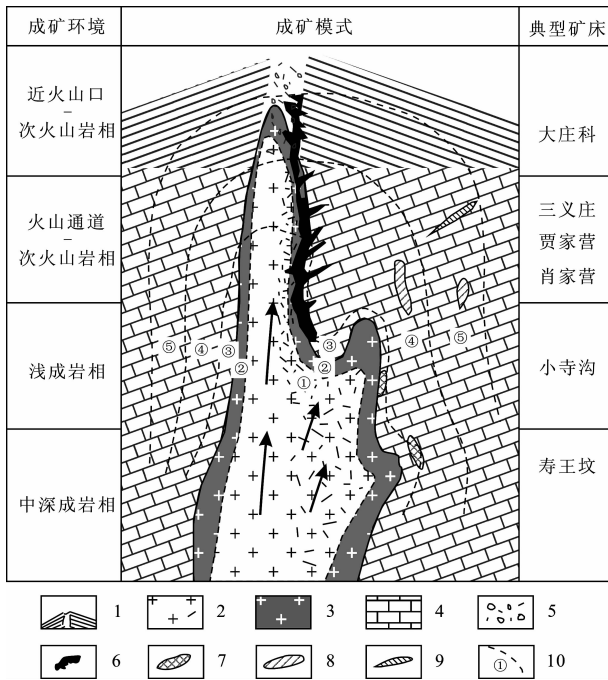


图9 燕辽矿集区钼多金属成矿作用模式(据文献[45]修改)
 1—侏罗系层状火山岩;2—(钾化)中酸性斑岩;3—绢云母石英化斑岩;4—蓟县系雾迷山组碳酸岩;5—爆破角砾岩;6—钼矿、铁铜矿;7—铁矿、铜矿;8—铜矿;9—铅锌矿;10—蚀变带及编号:①—钾化石英化带;②—绢云母—石英化带;③—矽卡岩—矽卡岩化带;④—蛇纹石化带;⑤—绿泥石化带

Fig.9 Metallogenic model of the Yanliao Mo ore concentration area

1- Jurassic layered volcanic rocks; 2- Intermediate-acid porphyry (potassic alteration); 3-Sericitized-silicified porphyry; 4-Miwushan formation carbonate of Jixianian System; 5- Explosion breccias; 6- Mo ore body; 7- Fe or Fe-Cu ore body; 8-Cu ore body; 9- Pb, Zn ore body; 10- Alteration zone and its serial number: ①-Potassium-silicification; ②-Sericitization-silicification; ③-Skarn; ④-Serpentinization; ⑤-Chloritization

(点)20余处,其中大型矿床6处,中小型矿床十余处。本区矿床类型齐全,主要有斑岩型、斑岩-矽卡岩型、矽卡岩型、热液脉型和角砾岩型。主要分布在辽西和冀北地区,如辽西的杨家杖子、兰家沟钼矿床,肖家营子钼(铁)矿床;冀北的撒岱沟门钼矿床,寿王坟铜(铁、钼)矿床,小寺沟、大湾等铜(钼)矿床。近年来,随着找矿勘查工作的深入,相继发现了河北丰宁张麻井、大草坪,内蒙赤峰鸭鸡山等石英脉型钼矿床,使该区已成为一个集不同类型钼矿于一区的大型钼矿集中区,并且呈现出良好的找矿前景。

区内已发现矿床以小于30万t级的大中型钼矿床为主,广泛发育钼矿点。主要的钼矿床类型齐

全,斑岩型、斑岩-矽卡岩型、矽卡岩型及热液脉型为最主要钼成矿预测类型,矿床的分布明显受区域EW向、NE向和NNE断裂联合控制,集中分布在辽西和冀北地区,特别是辽西地区。由于区内有利的成矿地质条件,极有可能发育更大规模的钼矿床。虽然钼成矿主要与燕山期中酸性小岩体有关,不受地层制约,但地层岩性对钼矿化强度有一定影响。根据区内已知的主要大中型钼矿床的地质特征,钙质和钙镁质碳酸盐岩层应为主要的找矿层位^[8]。根据已有矿床的分布,成矿地质背景条件,构造岩浆活动的发育情况,将本区划分为5个成矿远景区:内蒙古轴北部、八达岭地区、承德—平泉地区、凌源—锦州地区和太行山东缘(北段)。

3.4 冈底斯钼矿集区

本区位于西藏自治区中部,区内钼矿床多为本世纪发现并确定,具体范围尚未最后确定,大致西起南木林县东至工布江达县,沿雅鲁藏布江展布,东西延长约400 km,南北宽约50 km,总面积达26万km²(图10)。

3.4.1 区域地质背景

本区位于西藏腹地冈底斯地块南缘的冈底斯造山带中^[51,52]。冈底斯地块南北缘分别以雅鲁藏布江缝合带和班公湖—怒江缝合带为界,其大地构造演化与特提斯洋的演化以及印度大陆与亚洲大陆的碰撞作用以及青藏高原的隆升作用密切相关。自中生代以来冈底斯大致经历了晚侏罗世—早白垩世火山—岩浆弧阶段、中晚白垩世火山—岩浆弧阶段、白垩纪末—始新世碰撞造山阶段和随后的后碰撞阶段等多个构造演化阶段^[52-55]。

区内主要出露地层属藏滇地层大区^[56]。结晶基底为中新元古界念青唐古拉群,下古生界以碳酸盐岩建造、陆源碎屑岩建造为主;晚古生代地层为一套海相碎屑岩和碳酸盐岩沉积,局部夹双峰式火山岩建造(见玄武岩)。中生代总体为一套厚度巨大的弧火山岩建造、碳酸盐岩建造和复陆源碎屑岩建造组合,其中叶巴组、则弄群和桑日群等侏罗—白垩系和林子宗群古近系为火山岩建造。矿集区内主要的赋矿地层有二叠系一套浅变质砂板岩及碳酸盐岩及侏罗系安山岩—英安岩—流纹岩组成的火山岩系。

3.4.2 成矿规律

(1) 含矿斑岩体的特征

冈底斯矿集区内已发现的一系列矿床(点)均与

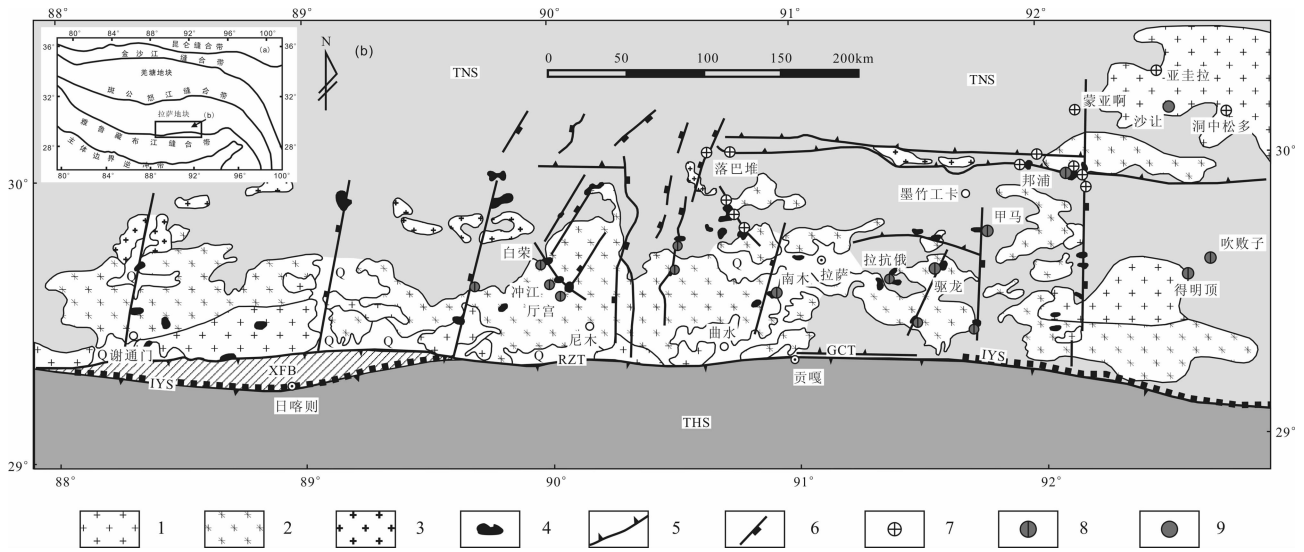


图 10 冈底斯钼矿矿集区地质略图及矿床分布(据文献[49]和[50]修改)

1—中晚燕山期花岗岩;2—早喜马拉雅期花岗岩;3—中新世小体积花岗岩;4—斑岩;5—逆冲带;6—正断层;

7—锌铜矿床;8—铜钼矿床;9—钼矿床;GCT—冈底斯中央逆冲断裂;IYS—印度河—雅鲁藏布江缝合带;RTZ—仁布—泽当逆冲带;THS—特提斯喜马拉雅岩系;TNS—三叠系—新近系岩系;XFB—日喀则弧前盆地

Fig.10 Sketch geological map of the Gangdise Mo concentration area, showing the distribution of ore deposits

1—Mid-late Yanshanian granite; 2—Early Himalayan granite; 3— Miocene small granite; 4—Porphyry intrusion;

5— Thrust belt; 6—Normal fault; 7—Pb, Zn, Cu deposit; 8— Cu, Mo deposit; 9—Mo deposit; GCT— Gangdise central thrust fault; RTZ—Renbu—Zedang thrust zone; IYS—Indian River—Yarlung Zangbo River suture zone;

TNS—Triassic—Neogene rock series; XFB—Xigaze forearc basin

中新世及渐新世中酸性浅成小斑岩体密切相关。这些含矿斑岩规模一般小于 1 km²,零星孤立分布,东西断续成带,南北串珠成群(图 10);即含矿斑岩整体上东西成带,与东西向展布的冈底斯逆冲断裂带平行产出,侵入于花岗岩基及少量灰岩、火山岩内;南北成串,明显受 NS 向正断层系统控制,集中产出于伸展地堑或裂隙盆地内,形成众多南北延伸的小岩群^[53,55]。

含矿斑岩主要为灰白色二长花岗斑岩和花岗闪长斑岩、石英二长斑岩、花岗斑岩和少数碱性花岗斑岩。岩石具斑状结构,块状构造。斑晶体积分数为 15%~50%,多由斜长石、钾长石、石英、黑云母组成,部分斑岩斑晶中出现角闪石。副矿物组合为磷灰石+榍石+锆石±金红石。斑晶成分及其组合因岩石类型而异。花岗闪长斑岩与石英二长斑岩的斑晶组合相似,为斜长石+普通角闪石+石英,基质成分相差较大,前者基质由微晶斜长石和少量石英组成,后者以隐晶质和微晶石英为主。二长花岗斑岩的斑晶组合为斜长石+石英+黑云母(普通角闪石),有少量的钾长石,基质中有大量的钾长石。与花岗闪长斑岩相比,石英斑晶含量明显增加。花岗斑岩与碱性花岗

斑岩斑晶组合相同,均为石英+斜长石+钾长石,含少量的黑云母,但花岗斑岩中钾长石斑晶含量少于碱性花岗斑岩^[57]。

含矿斑岩主要元素地球化学特征表明,岩石属钾玄岩系列和高钾钙碱性系列,显著区别于同碰撞的冈底斯花岗岩基^[52];斑岩富 Al₂O₃ 和 Sr,贫 Y 和 HREE,显示埃达克岩地球化学特征^[49];相对富集 K、Rb 和 Ba,显著亏损 Nb、Ta、P 和 Ti^[52],反映其岩浆源区是一种含水的无斜长石的榴辉岩源岩,可能为加厚的镁铁质下地壳,或者为俯冲的新特提斯洋壳板片的变质产物^[49,53]。

(2)已知矿床的空间分布规律

本矿集区的总体勘查程度较低,目前主要集中在冈底斯中段。矿集区内钼矿床的成因类型主要为斑岩型、矽卡岩型和热液脉型,以斑岩型最为主要。区内从南到北可划分为雄村铜金矿、程巴—冲木达钼铜矿、驱龙—甲玛铜钼多金属矿、冲江—厅宫、蒙亚啊—亚贵拉铜钼铅锌矿等 5 个主要成矿区段,集中了目前冈底斯中段初步查明或查明的主要大型—超大型矿床。成矿元素在空间上呈现出一定的规律性,由南向北依次为:Cu—Au(雄村铜金矿,矿床类

型为斑岩型)→Mo(Cu)(程巴、冲木达、列布等,矿床类型为斑岩-矽卡岩型)→Cu-Mo(Au)(驱龙、甲玛、冲江、厅官、白容、拉抗俄、知不拉,矿床类型为斑岩-矽卡岩型-热液脉型)→Pb-Zn(郎嘎啦、则学、则桑,矿床类型为与推覆构造有关的热液脉型)(唐菊兴等,2009^①)。

(3) 地球动力学背景

近年来的工作研究将冈底斯成矿带成矿作用归为大陆碰撞造山作用的结果^[58]。将大陆碰撞成矿作用概括为 3 个成矿作用,即主碰撞造山成矿作用(65~41 Ma)、晚碰撞转换成矿作用(40~26 Ma)和后碰撞伸展成矿作用(25~0 Ma),包括 12 种主要矿床类型^[59],其中以冈底斯斑岩型矿集区金属成矿作用最为主要。

矿集区内含矿斑岩的时空分布及成矿时代统计结果^①表明:本区目前测得含铜斑岩体结晶年龄为 20~12 Ma,其侵位高峰期在(16±1)Ma 左右;成矿年龄为(13.5~20.7)Ma,集中于(15±1)Ma 左右^[59],表明本区主要的铜钼矿形成于印度—亚洲大陆碰撞造山带的碰撞后伸展环境:(21±1)Ma 前后的高原(冈底斯)大幅隆升和东西向初始伸展,控制了冈底斯含铜斑岩的岩浆起源与时空定位,14 Ma 左右的强烈伸展断裂作用导致了冈底斯成矿流体系统的大规模发育^[53]。即印度—亚洲大陆碰撞造成冈底斯地壳加厚并发生榴辉岩化;印度大陆俯冲板片断离造成软流圈物质上涌,导致冈底斯加厚下地壳加热产生局部部分熔融,产生中酸性含矿斑岩体岩浆,这些含矿岩浆与发育的流体系统沿正断层系统提供的通道上升并浅成侵位,形成本区现今的斑岩型铜钼多金属矿床的分布格局。

(4) 区域成矿模式

在综合考虑冈底斯矿集区成岩成矿基本特征的基础上,本文借鉴孟祥金^[60]给出的冈底斯矿集区中新世斑岩铜钼矿区域成矿的理想模式(图 11)。矿化类型与岩浆—流体系统侵位的围岩环境有关。当侵位于火成岩区或砂板岩系,矿化类型主要为 Cu、Cu-Mo 矿化,主矿体主要赋存在斑岩体及其与围岩接触带中;当侵位于碳酸盐岩区时,发生强烈的铅锌铜多金属矿化,形成矽卡岩容矿的脉状、块状乃至

似层状多金属矿体。

3.4.3 成矿潜力评述

虽然本区工作环境恶劣,工作程度极低,但成矿条件十分有利,作为国家近些年大规模地质调查和资源评价对象的主要区域之一,自 1999 年开展地质调查工作以来,已经取得了重要进展^[61],已发现一批铜、钼、铅锌、金等多金属矿产,被称之为最有潜力的矿集区。目前,矿集区内已发现具有大型以上前景的矿床(点)20 余处,代表性矿床有沙让、甲玛、驱龙、帮浦、吉如、亚贵拉、克鲁、冲木达、拉抗俄等。截止到 2008 年,本区已探明钼资源储量为 20.43 万 t,约占中国钼矿查明资源量的 1.46%。

冈底斯已探明钼矿资源总储量还很少,并且钼矿多以伴生钼的形式产出,只发现少数单独钼矿床,如沙让斑岩型钼矿^[59]。但随着地质勘查工作的深入,冈底斯作为国内钼矿资源储备地初现端倪。李光明等^[62]研究认为本区具有以下有利的区域成矿背景和成矿条件:区内多条火山岛弧—深成岩浆带与多条不同时期形成的弧—弧碰撞结合带呈条带状镶嵌,构成本区的主导性区域构造格架和至关重要的构造—岩浆成矿活动的前提条件;晚古生代以来频繁的构造岩浆活动与多期次成矿叠加,形成了多个不同的成矿系统,为冈底斯大型—超大型矿床的形成提供了最根本内在条件;不同的构造演化阶段形成不同的矿化类型及其相应的优势矿种,与弧岩浆活动和碰撞带消减杂岩有关的有色金属、黑色金属及贵金属矿产资源在西藏冈底斯地区具有明显的优势;与各类型沉积盆地有关的沉积矿床、浅成低温热液矿床具有很好的前景;区内成矿时代较新,中—新生代是冈底斯成矿带最重要的成矿期,尤其是与喜马拉雅期陆内汇聚和高原隆升阶段有关的浅成斑岩活动和多方向的断裂构造活动对区内大型矿床的形成、定位和富集有明显的控制作用。

已有的成矿年代数据和研究显示,矿集区内铜钼多金属矿床一般为后碰撞伸展成矿作用阶段的产物^[59],但是主碰撞期亚贵拉钼矿^(63.6±2.2 Ma^[63])和沙让钼矿床(51±1.0 Ma^[64])成矿年龄的厘定,为我们提供了新的找矿方向,即今后应注重碰撞前和主碰撞期钼矿床的查找。此外,矿集区内出露的大量含矿

①唐菊兴,陈毓川,多吉,等. 冈底斯成矿带主要矿床类型、成矿规律和找矿评价. 见中国地质科学院矿产资源研究所主编. 我国重要成矿区带主要矿床类型成矿规律和找矿评价,2009:97-123(内部出版)。

斑岩因其侵位较晚,故通常剥蚀极浅,出露范围小,多数仅出露其顶,直径多不足 200 m^[53],尤其在驱龙、拉抗俄、南木几个新发现的矿区,含矿斑岩体在沟谷中刚被剥露出来,可能预示着深部良好的找矿前景。

李光明等^[62]曾对冈底斯矿产资源进行过远景评价与展望。根据成矿地质背景和成矿条件,结合含矿岩石建造的展布、矿床(点)的空间分布规律和矿床的主要成因类型,本区可划分出 5 个找矿远景区:冲江—厅宫远景区,驱龙—甲玛远景区,克鲁—冲木达远景区,谢通门远景区和勒青拉—金达远景区。唐菊兴等^①将冈底斯划分为 5 个远景区雄村—洞嘎普斑岩型矿床远景区、甲玛—驱龙斑岩—矽卡岩型矿床远景区、蒙亚啊—洞中拉—亚贵拉矽卡岩—斑岩型矿床远景区、程巴—冲木达斑岩—矽卡岩型矿床远景区。这些工作为区域矿产资源评价奠定了良好的基础,特别是区内一批铜钼矿、铁矿、铅锌矿等矿产地的发现将冈底斯矿集区升格为国内最主要的矿产资源后备基地之一。

因此,冈底斯应该是一个世界级的多金属矿产资源聚集区,近年来地质大调查矿产资源评价工作已显示出本区利好的成矿条件和资源潜力,应继续加大本区的地质勘查和资源评价,扩充国家的战略储备资源。

4 近年来钼找矿进展

随着科学技术及社会经济的发展,已经为钼提供了更为广泛的应用领域,如钼在能源、工业及运输业中的特殊用途和广泛需求,素有“能源金属”之称^②;以钼为组分的合金在电子、金属加工及航天工业中也得到日益广泛的应用。钼应用领域的拓展进一步促进了中国钼矿找矿工作。近年来,随着中国主要矿产重点成矿区带的调查评价和地质大调查项目的实施,带动了一批危机矿山深部找矿项目、商业性勘查项目,在中国各主要钼产地均有新的找矿突破,亦发现有不少新的钼矿产地,预示了中国大陆范围内广阔的钼找矿前景。

近年来,中国已取得的主要钼矿找矿成果见表 3。

5 结论与建议

总结全文,可以得到如下结论。

(1)中国钼资源分布广泛,相对集中在中南地区,钼矿床一般规模大、类型多,以斑岩型、矽卡岩型和热液脉型为主,成矿时代主要为中生代和新生代,并且有自己独特的构造背景——板内成矿和碰撞成矿。钼矿床的分布受深(大)断裂控制明显,常定位于深(大)断裂带附近及其与旁侧次级断裂的交汇地段。

(2)中国钼成矿常与中酸性浅成—超浅成岩浆活动有关,特别是与小岩体存在明显的空间相关性,小岩体也因此成为找寻大型矿床的一个独特标志,且小岩体富硅、富碱、贫镁、低钙和挥发分(F、Cl)对钼成矿作用有利。围岩对成矿有一定影响,但主要是提供一个有利的物理化学环境,老地层可能更有利于大规模钼矿床的赋存,如东秦岭的多数大型、超大型钼矿均赋存于中元古界地层中。此外,当发育有中酸性岩体时,钙质和钙镁质碳酸盐岩层也为主要的找矿层位。

(3)根据中国钼矿资源特点,并综合考虑岩浆、构造、地层、流体、成矿时代等因素,初步将中国钼矿划分为 17 个大的矿床集中区(矿集区),分别是天山西段、天山东段、甘蒙北山、得尔布干、大兴安岭北段、小兴安岭—张广才岭、西拉木伦、燕辽地区、胶东—辽东、东秦岭、大别山、长江中下游、赣北—浙西、南岭、东南沿海、三江和冈底斯。简单概括总结了每个矿集区自己独特地质特征和有利成矿的构造—岩浆—流体活动、地球动力学背景等,并据此给出了 4 个最重要矿集区的区域成矿模式,可用于指导矿产预测。

综上所述,中国钼矿资源量相当丰富,但是因为地球资源量是有限的,随着浅表矿产资源的开发利用将尽,加之人类科技发展水平有限,一定程度上又加大了矿产资源的深度勘查与开发的难度。所以要求我们在当前经济和科学技术条件下构建矿产资源和谐持久的勘查开发体制。特别是随着金属钼应用领域的扩展,市场前景乐观,钼矿资源的战略意义更加凸显。因此,针对中国钼矿资源现状,对中国钼矿找矿提出以下几点建议。

①唐菊兴,陈毓川,多吉,等. 冈底斯成矿带主要矿床类型、成矿规律和找矿评价. 见中国地质科学院矿产资源研究所主编. 我国重要成矿区带主要矿床类型成矿规律和找矿评价, 2009: 97-123 (内部出版).

表 3 近年来中国新发现主要钼矿床一览表
Table 3 List of Mo deposits discovered in recent years in China

编号	矿区名称	省(区)	矿集区	资源类型	资源量/万 t
1	汝阳东沟	河南	东秦岭	探明储量	68.98
2	汝阳竹园沟	河南	东秦岭	估算钼矿量	10
3	嵩县鱼池岭	河南	东秦岭	探明钼资源量	55
4	栾川石窑沟	河南	东秦岭	探明储量	7.11
5	栾川白庙沟	河南	东秦岭	钼资源量	6.14
6	嵩县大石门沟	河南	东秦岭	钼资源量	>10
7	商城汤家坪	河南	大别山	探明储量	23.5
8	金寨沙坪沟	安徽	大别山	探明钼资源量	220
9	信阳千鹅冲	河南	大别山	钼金属量	60
10	武山温泉	甘肃	西秦岭	探明储量	11.67
11	仙游	福建	东南沿海	钼金属资源量	1.21
12	工布江达沙让	西藏	冈底斯	估算资源量	>10
13	尼木县冲江	西藏	冈底斯	钼金属量	2.7
14	工布江达亚贵拉	西藏	冈底斯	钼金属量	>23
15	墨竹工卡驱龙	西藏	冈底斯	估算钼金属量	>37
16	工布江达汤不拉	西藏	冈底斯	估算钼金属量	>10
17	封开圆珠顶	广东	东南沿海	钼金属资源量	25
18	苏左旗乌兰德勒	内蒙古		估算钼金属量	12
19	西乌旗东不拉格	内蒙古		估算钼金属量	7
20	阿旗必鲁甘干	内蒙古		估算钼金属量	9.23
21	阿荣旗太平沟	内蒙古	大兴安岭北段	钼金属量	>5
22	松岭区岔路口钼矿	黑龙江	大兴安岭北段	探明资源储量	134
23	乌拉特后旗	内蒙古		探明钼金属储量	>30
24	额济纳旗小狐狸山	内蒙古	甘蒙北山	估算钼金属量	>10
25	卓资大苏计	内蒙古		钼金属量	12
26	栖霞市尚家庄	山东	胶东-辽东	钼金属量	4.02
27	宽甸万宝源	辽宁	胶东-辽东	钼金属量	0.22
28	新宾下营子	辽宁	胶东-辽东	钼金属量	2
29	舒兰季德钼矿	吉林	小兴安岭-张广才岭	钼金属量	24.51
30	敦化大石河	吉林	小兴安岭-张广才岭	钼金属储量	10
31	安远园岭寨	江西	南岭	估算钼金属量	>20
32	哈密东戈壁	新疆	东天山	探明钼金属储量	39
33	保罗罗葵洞	海南	东南沿海	钼金属量	30.58

(1)立足主要钼矿矿集区,加强基础地质工作,发展开拓新的钼矿生产基地。目前,中国超大型矿床的发现基本上集中在传统的钼矿集区内,但不能忽视新近发现钼矿产地,这些地区可能蕴含强大的

钼成矿潜力,例如在东南沿海地区、大别山区、冈底斯、大兴安岭北段等矿集区,近年来已经取得重大找矿进展。应充分利用成矿理论、实践经验、遥感和物化探研究成果,在已知矿区或新发现矿产地外围圈

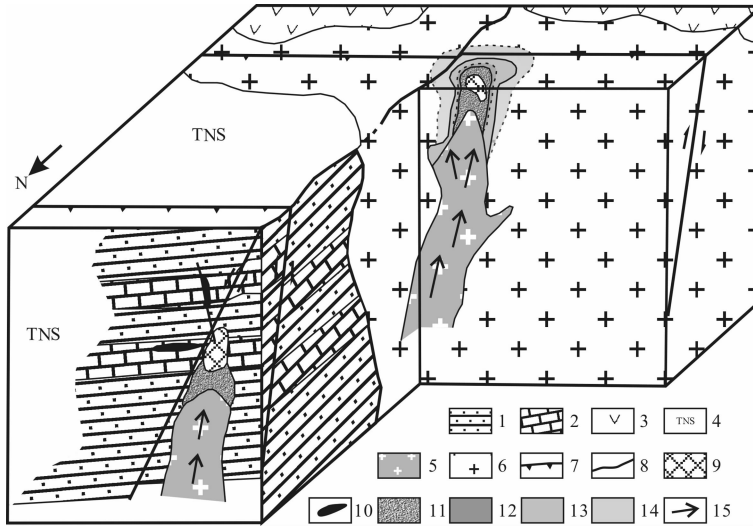


图 11 冈底斯矿集区钼多金属矿区域成矿模式(据文献[60]修改)

1—碎屑岩;2—砂卡岩化灰岩;3—火山岩;4—三叠系—新近岩系;5—花岗斑岩体;6—冈底斯花岗岩基;7—逆冲断层;8—张性断裂;9—铜钼矿体;10—铜铅锌矿体;11—钾硅酸盐化带;12—石英绢云母化带;13—泥化带;14—青磐岩化带

Fig.11 Metallogenic model of the Gangdise Mo-ore concentration area

1- Clastic rocks; 2-Skarnized limestone; 3-Volcanic rocks; 4-Neogene-Tertiary rock series; 5-Granite porphyry body; 6-Gangdise granitic batholiths; 7-Thrust fault; 8-Tensional fracture; 9-Cu, Mo ore body; 10-Cu, Pb, Zn ore body; 11- Potassic alteration; 12-Quartz-sericitization; 13-Argillization; 14-Propylitization

定出找矿远景区和靶区,争取有新的找矿突破。

(2)加强典型矿床研究,突出重点(斑岩型矿床),加快找矿进度。加强钼矿矿集区以及典型矿床的对比研究,包括矿床成因类型、成矿条件、成矿背景和成矿规律总结,建立起典型矿床成因模式、区域成矿模式及找矿模式,用于指导矿产预测与勘查。同时要特别注意斑岩型矿床的查找。按成因类型分类,中国钼矿均每个斑岩型矿床的储量为 88695 t,而砂卡岩型矿床为 40331 t,热液脉型矿床仅为 7813 t,每个斑岩型矿床的储量分别是砂卡岩型和热液脉型矿床的 2.2 倍和 11.4 倍。并且中国已知主要的大型超大型矿床中,斑岩型矿床约占钼储量的 81%。所以,斑岩型矿床的查找能提高中国钼矿找矿的效率,快速增加中国钼资源储量。

(3)重视和加强危机矿山深部和外围找矿工作。相比其他矿种,中国钼矿的勘查程度高,但不均匀,且勘探深度一般不足 500 m。中国钼矿以斑岩型、砂卡岩型和热液脉型为主,表明钼成矿作用多为内生成矿作用成矿,与岩浆和流体活动有关,在钼矿田内具有成矿元素的分带性。因此,在钼矿田的外围及深部、铅锌铜等其他较低温的成矿元素矿田的深部可能存在钼矿的找矿潜力。开展危机矿山外围和深部

找矿既十分必要又具备客观条件。

(4)加强矿山管理和尾砂的综合利用。中国钼矿存在勘探、开发、尾砂处理及其他伴生金属的提取和回收、环境治理等环节上还存在一系列问题^[65, 66]。因此,加强矿山管理,提高钼矿中伴生有益组分的综合回收利用率及尾砂的综合利用率是一项紧迫任务。

参考文献 (References):

[1] 中国地质矿产信息研究院. 中国矿产[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 1993:1-391.
Chinese Institute of Geology and Mineral Resources Information. Mineral Resources of China [M]. Beijing: China Building Material Industry Publishing House, 1993:1-391 (in Chinese with English abstract).

[2] Hedenquist J W and Richards J P. The influence of geochemical techniques on the development of genetic models for porphyry copper deposits [J]. Reviews in Economic Geology, 1998, 10:235-256.

[3] Richards J P. Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu - (Mo - Au) deposit formation [J]. Economic Geology, 2003, 98: 1515-1533.

[4] Hou Z Q, Ma H W, Zaw K, et al. The Himalayan Yulong Porphyry Copper Belt: product of large-scale strike-slip faulting in Eastern Tibet[J]. Economic Geology, 2003, 98:125-145.

[5] Hou Z Q, Gao Y F, Qu X M, et al. Origin of adakitic intrusives

- generated during mid-Miocene east-west extension in southern Tibet[J]. *Rarh and Planetary Science Letters*, 2004, 220:139-155.
- [6] 安三元, 卢欣祥. 东秦岭斑岩组合的地质特征及成矿关系[C]//徐克勤, 涂光炽主编. 花岗岩地质和成矿关系 (国际学术会议论文集). 南京:江苏科学技术出版社, 1984:398-405.
- An Sanyuan, Lu Xinxiang. Geologecal mineralization features and origin of mesozoic porphyry assemblage in eastern Qinling mountains [C]//Xu Keqin, Tu Guangzhi (eds.). *Characteristics of Granites and Metallogenesis*. Nanjing:Jiangsu Science and Technology Publishing House, 1985: 398-405.
- [7] 罗照华, 梁涛, 陈必河, 等. 板内造山作用与成矿 [J]. *岩石学报*, 2007, 23(8):1945-1956.
- Luo Zhaohua, Liang Tao, Chen Bihe, et al. Intraplate orogenesis and its implications in metallogenesis [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(8): 1945-1956(in Chinese with English abstract).
- [8] 罗铭铭, 张辅民, 董群英, 等. 中国钼矿床[M]. 郑州:河南科学技术出版社, 1991:1-452.
- Luo Mingjiu, Zhang Fuming, Dong Qunying. *Molybdenum Deposits of China* [M]. Zhengzhou: Henan Science & Technology Press, 1991:1-425(in Chinese).
- [9] 乔怀栋, 刘长命, 董有, 等. 初步探讨东秦岭地区与小岩体有关矿床的成矿模式[J]. *河南国土资源*, 1983, 01:25-34
- Qiao Huaidong, Liu Changming, Dong You, et al. A preliminary debate on metallogenic model of deposit related small intrusion in east Qinling[J]. *Land and Resources of Henan*, 1983, 01:25-34 (in Chinese).
- [10] 罗照华, 卢欣祥, 陈必河, 等. 透岩浆流体成矿作用导论 [M]. 北京:地质出版社, 2009:1-177.
- Luo Zhaohua, Lu Xinxiang, Chen Bihe, et al. *Introduction to the Metallogenic Theory on the Transmagmatic Fluids* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009, 1-177(in Chinese with English abstract).
- [11] 卢欣祥, 于在平, 冯有利, 等. 东秦岭深源浅成型花岗岩的成矿作用及地质构造背景[J]. *矿床地质*, 2002, 21 (2):168-178.
- Lu Xinxiang, Yu Zaiping, Feng Youli, et al. Mineralization and tectonic setting of deep-hypabyssal granites in East Qinling Mountain[J]. *Mineral Deposits*, 2002, 21(2):168-178 (in Chinese with English abstract).
- [12] 卢欣祥. 河南省秦岭-大别山地区燕山期中酸性小岩体的基本地质特征及成矿专属性[J]. *河南地质*, 1983, 1(1):49-55.
- Lu Xinxiang. Geological characteristic and metallogenic specialization of Yanshanian intermediate-acid small intrusion in Qingling-Dabie eare, Henan province[J]. *Geology of Henan*, 1(1): 49-55 (in Chinese).
- [13] 张本仁. 地壳演化与成矿-以秦岭为例[C]//陈毓川主编. 当代矿产资源勘查评价的理论与方法. 北京:地震出版社, 1999:64-73.
- Zhang Benren. Crustal evolution and metallogenesis-example from Qinling [C]//Chen Yuchuan (ed.). *Theories and Methods for Exploration and Evaluation of Mineral Resources*. Beijing: Seismological Press, 1999:64-73(in Chinese).
- [14] 陈毓川. 矿床的成矿系列[J]. *地质前缘*, 1994, 1(3/4):90-94.
- Chen Yuchuan. Metallogenetic series of ore deposits[J]. *Earth Science Frontiers*, 1994, 1(3/4):90-94(in Chinese with English abstract).
- [15] 陈毓川. 矿床的成矿系列研究现状与趋势[J]. *地质与勘探*, 1997, 33(1):21-25.
- Chen Yuchuan. Present situation and trend of research on metallogenetic series of ore deposits [J]. *Geology and Prospecting*, 1997, 33(1):21-25(in Chinese with English abstract).
- [16] 陈毓川, 叶天竺, 张洪涛, 等. 中国主要成矿区带矿产资源远景评价[M]. 北京:地质出版社, 1999:1-536.
- Chen Yuchuan, Ye Tianzhu, Zhang Hongtao, et al. *China's Major Metallogenic Belt Prospective Evaluation of Mineral Resources for Major Metallogenic Belt in China* [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1999:1-536(in Chinese with English abstract).
- [17] 陈毓川, 王登红, 徐志刚, 等. 对中国成矿体系的初步探讨[J]. *矿床地质*, 2006, 25(2):155-163.
- Chen Yuchuan, Wang Denghong, Xu Zhigang, et al. Preliminary study of Chinese mineralization system [J]. *Mineral Deposits*, 2006, 25(2):155-163(in Chinese with English abstract).
- [18] 陈毓川, 王登红, 朱裕生, 等. 中国成矿体系与区域成矿规律[M]. 北京:地质出版社, 2007:1-1005.
- Chen Yuchuan, Wang Denghong, Zhu Yusheng, et al. *China Mineralization System and Regional Metallogeny* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007:1-1005 (in Chinese with English abstract).
- [19] 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.
- Chen Yuchuan, Pei Rongfu, Wang Denghong. On minerogenetic (metallogenetic) series; third discussion [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(10):1501-1508(in Chinese with English abstract).
- [20] 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣, 等. 再论矿床的成矿系列问题[J]. *中国地质科学院院报*, 1983, 第6号:1-64
- Cheng Yuqi, Chen Yuchuan, Zhao Yiming, et al. Further discussion on the problems of minerogenetic seeies of mineral deposits [J]. *Bullentin Chinese Acad. Geol. Sci.*, 1983, No.6:1-64 (in Chinese).
- [21] 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣. 初论矿床的成矿系列问题 [J]. *中国地质科学院院报*, 1979, 第1号:1-55.
- Cheng Yuqi, Chen Yuchuan, Zhao Yiming. Preliminary discussion on the problem of Chinese metallogenic series of mineral deposits [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 1979, 1 (1):32-58 (in Chinese with English abstract).
- [22] 朱裕生, 肖克炎, 宋国耀, 等. 中国主要成矿区带成矿地质特征及矿床成矿谱系[M]. 北京:地质出版社, 2007:1-458.
- Zhu Yusheng, Xiao Keyan, Song Yaoguo, et al. *Geological Feature and Metallogenic Pedigree of Ore Deposits in the Major Metallogenic Regions Belts in China* [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2007:1-458(in Chinese with English abstract).
- [23] 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 等. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京:地质出版社, 2008:1-138.

- Xu Zhigang, Chen Yuchuan, Wang Denghong, et al. The Scheme of the Classification of the Minerogenetic Units in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008:1-138 (in Chinese with English abstract).
- [24] 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学 [M]. 北京: 科学出版社, 2001:1-885.
- Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, et al. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics [M]. Beijing: Science Press, 2001:1-885(in Chinese with English abstract).
- [25] 赵太平, 翟明国, 夏斌, 等. 熊耳群火山岩锆石 SHRIMP 年代学研究: 对华北克拉通盖层发育初始时间的制约 [J]. 科学通报, 2004, 49(22):2342-2349.
- Zhao Taiping, Zhai Mingguo, Xia Bin, et al. Study on the zircon SHRIMP ages of the Xiong'er Group volcanic rocks: constraint on the starting time of covering strata in the North China Craton [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 9(23):2495-2502(in Chinese).
- [26] 卢欣祥. 秦岭花岗岩大地构造图 [M]. 西安: 西安地图出版社, 1999:1-27.
- Lu Xinxiang. Granitoid Tectonic Map of Qinling Belt [M]. Xi'an: Xi'an Cartographic Publishing Home, 1999:1-27(in Chinese with English abstract).
- [27] 李厚民, 陈毓川, 叶会寿, 等. 东秦岭-大别地区中生代与岩浆活动有关钨(钼)金银铅锌矿床成矿系列 [J]. 地质学报, 2008, 82(11): 1468-1477.
- Li Houmin, Chen Yuchuan, Ye Huishou, et al. Mo, (W), Au, Ag, Pb, Zn minerogenetic series related to Mesozoic magmatic activities in east Qinling-Dabie mountains [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(11): 1468-1477 (in Chinese with English abstract).
- [28] 王平安. 秦岭造山带区域矿床成矿系列、构造-成矿旋回与演化 [D]. 中国地质科学院博士学位论文, 1997:1-146.
- Wang Ping'an. Regional Minerogenetic Series, Tectono-minerogenic Cycles and Evolution in the Qinling Orogen [D]. PhD Thesis of Chinese Academy of Geological Sciences, 1997:1-146(in Chinese with English abstract).
- [29] 安三元, 卢欣祥. 简论东秦岭中生代斑岩组合的特征及成因 [J]. 西安地质学院学报, 1982, 1:4-9.
- An Sanyuan, Lu Xinxiang. An analysis of characteristics and genesis of Mesozoic porphyry assemblage in east Qinling [J]. Xi'an College of Geology, 1982, 1:4-9(in Chinese with English abstract).
- [30] 黄凡, 罗照华, 卢欣祥, 等. 东沟含钼斑岩由泰山庙岩基派生? [J]. 矿床地质, 2009, 28(5):569-584.
- Huang Fan, Luo Zhaohua, Lu Xinxiang, et al. Was Donggou porphyry Mo deposit derived from Taishanmiao batholiths? [J]. Mineral Deposits, 2009, 28 (5):569-584 (in Chinese with English abstract).
- [31] Mao J W, Xie G Q, Bierlein F, et al. Tectonic implications from Re-Os dating of Mesozoic molybdenum deposits in the East Qinling-Dabie orogenic belt [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2008, 72: 4607-4626.
- [32] 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 等. 中国东部燕山期岩石圈-软流圈系统大灾变与成矿环境 [J]. 矿床地质, 1999, 18(4):309-315.
- Deng Jinfu, Mo Xuanxue, Zhao Hailing, et al. The Yanshanian lithosphere-asthenosphere catastrophe and metallogenic environment in East China [J]. Mineral Deposits, 1999, 18 (4):309-315 (in Chinese with English abstract).
- [33] 华仁民, 毛景文. 试论中国东部中生代成矿大爆发 [J]. 矿床地质, 1999, 18(4):300-308.
- Hua Renmin, Mao Jingwen. A Preliminary Discussion on the Mesozoic Metallogenic Explosion in East China [J]. Mineral Deposits, 1999, 18(4): 300-308(in Chinese with English abstract).
- [34] 毛景文, 华仁民, 李晓波. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区 [J]. 矿床地质, 1999, 18(4):291-299.
- Mao Jingwen, Hua Renmin, Li Xiaobo. A preliminary study of large-scale metallogenesis and large clusters of mineral deposits [J]. Mineral Deposits, 1999, 18 (4):291-299 (in Chinese with English abstract).
- [35] 卢欣祥, 罗照华, 谷德敏, 等. 秦岭-大别山花岗岩与钼矿的关系研究 [C]//孟宪来主编. 中国地质学会 2009 年学术年会论文摘要汇编. 北京: 中国大地出版社, 2009:110-111.
- Lu Xinxiang, Luo Zhaohua, Gu Demin, et al. Research on relationship between Mo deposits and granite in Qinling-Dabie orogen [C]// Meng Xianlai (ed.). Abstracts of the 2009 Annual Conference of Geological Society of China. Beijing: China Land Press, 2009:110-111 (in Chinese).
- [36] 尹冰川, 冉清昌. 小兴安岭-张广才岭地区区域成矿演化 [J]. 矿床地质, 1997, 16(3):235-242.
- Yin Bingchuan, Ran Qingchang. Metallogenic evolution in Xiaohingganling-Zhangguangcailing region, Heilongjiang Province [J]. Mineral Deposits, 1997, 16 (3):235-242 (in Chinese with English abstract).
- [37] 韩振新, 徐衍强, 郑庆道, 著. 黑龙江省重要金属和非金属矿产的矿床成矿系列及其演化 [M]. 哈尔滨: 黑龙江人民出版社, 2004: 96-139.
- Han Zhenxin, Xu Yanqiang, Zheng Qingdao. An Important Metal and Non-metallic Mineral Deposit Metallogenic Series and its Evolution, Heilongjiang Province [M]. Harbin: Heilongjiang People's Publishing House, 2004: 96-139(in Chinese with English abstract).
- [38] 李立兴, 松权衡, 王登红, 等. 吉林福安堡钼矿中辉钼矿铼-钨同位素定年及成矿作用探讨 [J]. 岩矿测试, 2009, 28(3):283-287.
- Li Lixing, Du Songheng, Wang Denghong, et al. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Fu'anpu molybdenum deposit of Jilin Province and discussion on its metallogenesis [J]. Rock and Mineral Analysis, 2009, 28 (3):283-287 (in Chinese with English abstract).
- [39] 王成辉, 松权衡, 王登红, 等. 吉林大黑山超大型钼矿辉钼矿铼-钨同位素定年及其地质意义 [J]. 岩矿测试, 2009, 28(3):269-273.
- Wang Chenghui, Song Quanheng, Wang Denghong, et al. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Daheishan molybdenum deposit of Jilin Province and its geological significance [J]. Rock and

- Mineral Analysis, 2009, 28 (3):269-273 (in Chinese with English abstract).
- [40] 李之彤, 赵春荆. 吉黑东部晚三叠世岩浆活动及其与板块构造的关系[J]. 中国地质科学院院报, 1988, 第 18 号, 21-32.
Li Zhitong, Zhao Chunjing. Late Triassic magmatic activities in relation to plate tectonic in the eastern part of Jilin and Heilongjiang Provinces, northeast China [J]. Bulletin Chinese Acad. Geol. Sci., 1988, No.18, 21-32 (in Chinese with English abstract).
- [41] 李之彤, 赵春荆. 小兴安岭—张广才岭花岗岩带的形成和演化[C]//李之彤主编. 中国北方花岗岩及其成矿作用论文集. 1991: 66-75.
Li Zhitong, Zhao Chunjing. The formation and evolution of granite belt in Xiaoxing'anling—Zhangguangcai [C]//Li Zhitong (ed.). A symposium on Granite and Mineralization in North China. 1991:66-75(in Chinese).
- [42] 黄典豪, 杜安道, 吴澄宇, 等. 华北地台钼(铜)矿床成矿年代学研究——辉钼矿铼—钨年龄及其地质意义 [J]. 矿床地质, 1996, 15 (4): 365-373.
Huang Dianhao, Du Andao, Wu Chengyu, et al. Metallochronology of molybdenum (-copper) deposits in the north China platform; Re-Os age of molybdenite and its geological significance [J]. Mineral Deposits, 1996, 15 (4): 365-373 (in Chinese with English abstract).
- [43] 代军治. 燕辽成矿带钼(铜)矿床成矿作用与成矿动力学背景[D]. 中国地质科学院博士论文, 2008:1-107.
Dai Junzhi. The Metallogenesis and Geodynamic Settings of Molybdenum (Copper) Deposits in Yan-Liao Metallogenic Belt [D]. Ph.D. Thesis of Chinese Academy of Geological Sciences, 2008:1-107 (in Chinese with English abstract).
- [44] 陈毓川, 薛春纪, 王登红, 等. 华北陆块北缘区域矿床成矿谱系探讨[J]. 高校地质学报, 2003, 9(4): 520-535.
Chen Yuchuan, Xue Chunji, Wang Denghong, et al. A discussion on the regional mineralizing pedigree of the ore deposits in the Northern Margin of the North China Landmass [J]. Geological Journal of China Universities, 2003, 9(4):520-535(in Chinese with English abstract).
- [45] 王吉珺, 余和勇. 冀北辽西斑岩型铜钼矿成矿规律[J]. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊, 1982, 第 3 号, 47-58.
Wang Jijun, Yu Heyong. Metallogeny of porphyry copper - molybdenum deposits in the northern Hebei - western Liaoning area [J]. Bulletin of the Institute of Mineral Deposits of Chinese Academy of Geological Sciences, 1982, 3:47-58 (in Chinese with English abstract).
- [46] 代军治, 毛景文, 杨富全, 等. 华北地台北缘燕辽钼(铜)成矿带矿床地质特征及动力学背景[J]. 矿床地质, 2006, 25(5):598-612.
Dai Junzhi, Mao Jingwen, Yang Fuquan, et al. Geological characteristics and geodynamic background of molybdenum (copper) deposits along Yanshan-Liaoning metallogenic belt on northern margin of North China block [J]. Mineral Deposits, 2006, 25(5):598-612 (in Chinese with English abstract).
- [47] 邓晋福, 冯艳芳, 刘翠, 等. 太行—燕辽地区燕山期造山过程、岩浆源区与成矿作用[J]. 中国地质, 2009, 36(3):623-633.
Deng Jinfu, Feng Yanfang, Liu Cui, et al. Yanshanian (Jurassic - Cretaceous) orogenic processes, magma sources and metallogenesis as well as coal formation in the Taihangshan -Yanshan -West Liaoning region [J]. Geology in China, 2009, 36 (3):623-633(in Chinese with English abstract).
- [48] 邓晋福, 苏尚国, 刘翠, 等. 关于华北克拉通燕山期岩石圈减薄的机制与过程的讨论:是拆沉,还是热侵蚀和化学交代?[J]. 地学前缘, 2006, 13(2):105-119.
Deng Jinfu, Su Shangguo, Liu Cui, et al. Discussion on the lithospheric thinning of the North China craton: delamination? Or thermal erosion and chemical metasomatism? [J] Earth Science Frontiers, 2006, 13(2):105-119(in Chinese with English abstract).
- [49] 侯增谦, 高永丰, 孟祥金, 等. 西藏冈底斯中新世斑岩铜矿带:埃达克质斑岩成因与构造控制[J]. 岩石学报, 2004, 20(2):239-248.
Hou Zengqian, Gao Yongfeng, Meng Xiangjin, et al. Genesis of adakitic porphyry and tectonic controls on the Gangdese Miocene porphyry copper belt in the Tibetan orogen [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(2):239-248(in Chinese with English abstract).
- [50] 秦克章, 李光明, 赵俊兴, 等. 西藏首例独立钼矿—冈底斯沙让大型斑岩钼矿的发现及其意义 [J]. 中国地质, 2008, 35 (6):1101-1112.
Qin Kezhang, Li Guangming, Zhao Junxing, et al. Discovery of sharang large-scale porphyry molybdenum deposit, the first Single Mo deposit in Tibet and its significance [J]. Geology in China, 2008, 35(6):1101-1112(in Chinese with English abstract).
- [51] 侯增谦, 曲晓明, 黄卫, 等. 冈底斯斑岩铜矿成矿带有望成为西藏第二条“玉龙”铜矿带[J]. 中国地质, 2001, 28(10):27-39.
Hou Zengqian, Qu Xiaoming, Huang Wei. Gangdese porphyry copper belt may be the second “Yulong” porphyry copper belt in Tibetan plateau [J]. Geology in China, 2001, 28 (10): 27-39(in Chinese).
- [52] 曲晓明, 侯增谦, 黄卫. 冈底斯斑岩铜矿(化)带:西藏的第二条玉龙铜矿带?[J]. 矿床地质, 2001, 20(4):355-366.
Qu Xiaoming, Hou Zengqian, Huang Wei. Is the Gangdese porphyry copper belt the Yulong porphyry copper belt in Tibetan plateau?[J]. Mineral Deposits, 2001, 20 (4):355-366 (in Chinese with English abstract).
- [53] 侯增谦, 曲晓明, 王淑贤, 等. 西藏高原冈底斯斑岩铜矿带辉钼矿 Re-Os 年龄:成矿作用时限与动力学背景应用[J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33(7):509-618.
Hou Zengqian, Qu Xiaoming, Wang Shuxian, et al. Re-Os age for molybdenite from the Gangdese porphyry copper belt on Tibetan plateau: Duration of the Cu mineralization and implication for geodynamic setting[J]. Science in China(Series D), 2003, 33(7): 509-618(in Chinese).
- [54] 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. 岩石学报, 2006, 22(3):521-533.

- Pan Guitang, Mo Xuanxue, Hou Zengqian. Spatial-temporal framework of the Gangdese Orogenic Belt and its evolution [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22 (3):521-533 (in Chinese with English abstract).
- [55] Qu X M, Hou Z Q, Khin Zaw, et al. Characteristics and genesis of Gangdese porphyry copper deposits in the southern Tibetan Plateau: preliminary geochemical and geochronological results [J]. *Ore Geology Reviews* 31, 2007:205-223.
- [56] 夏代祥, 刘世坤. 西藏自治区岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997:1-302.
- Xia Daixiang, Liu Shikun. Lithostratigraphy of Tibet Autonomous Region[M]. Wuhan:China University of Geosciences Press, 1997: 1-302(in Chinese).
- [57] 孟祥金, 侯增谦, 高永丰, 等. 碰撞造山型斑岩铜矿蚀变分带模式——以西藏冈底斯斑岩铜矿带为例 [J]. *地质前缘*, 2004, 11 (1):201-214.
- Meng Xiangjin, Hou Zengqian, Gao Yongfeng, et al. The alteration zoning model of porphyry copper deposit in collisional orogen: case studies of porphyry copper deposits in Gangdese belt, Xinjiang (Tibet)[J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11 (1):201-214 (in Chinese with English abstract).
- [58] 侯增谦. 大陆碰撞成矿论[J]. *地质学报*, 2010, 84(1):30-58.
- Hou Zengqian. Metallogensis of continental collision [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2010, 84 (1):30-58 (in Chinese with English abstract).
- [59] 侯增谦, 莫宣学, 杨志明, 等. 青藏高原碰撞造山带成矿作用: 构造背景、时空分布和主要类型[J]. *中国地质*, 2006, 33(2):340-351.
- Hou Zengqian, Mo Xuanxue, Yang Zhiming, et al. Metallogenesis in the collisional orogen of the Qinghai-Tibet Plateau: Tectonic setting, tempo-spatial distribution and ore deposit types[J]. *Geology in China*, 2006, 33(2):340-351(in Chinese with English abstract).
- [60] 孟祥金. 西藏碰撞造山带冈底斯中新世斑岩铜矿成矿作用研究[D]. 中国地质科学院博士论文, 2004:1-105.
- Meng Xiangjin. The Metallogeny of the Mioene Gangdese Porphyry Copper Belt in Tibetan Collisional Orogen [D]. PhD Thesis of Chinese Academy of Geological Sciences, 2004:1-105(in Chinese with English abstract).
- [61] 余宏全, 李光明, 董英君, 等. 西藏冈底斯多金属成矿带斑岩铜矿定位预测与资源潜力评价[J]. *矿床地质*, 2009, 28(6):803-814.
- She Hongquan, Li Guangming, Dong Yingjun, et al. Regional metallogenic prognosis and mineral reserves estimation for porphyry copper deposits in Gangdese polymetallic ore belt, Tibet [J]. *Mineral Deposits*, 2009, 28(6):803-814(in Chinese with English abstract).
- [62] 李光明, 潘桂棠, 王高明, 等. 西藏冈底斯成矿带矿产资源远景评价与展望[J]. *成都理工大学(自然科学版)*, 2004, 31(1):22-27.
- Li Guangming, Pan Guitang, Wang Gaoming, et al. Evaluation and prospecting value of mineral resources in Gangdise metallogenic belt, Tibet, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)* 2004, 31 (1):22-27 (in Chinese with English abstract).
- [63] 高一鸣, 陈毓川, 唐菊兴, 等. 西藏工布江达县亚贵拉铅锌铜多金属矿床石英斑岩锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. *地质学报*, 2009, 83(10):1436-1444.
- Gao Yiming, Chen Yuchuan, Tang Juxing, et al. SHRIMP zircon U-Pb dating of quartz porphyry from the Yaguila Pb-Zn, Mo deposit in Gongbujiangda county, Tibet and its geological implication[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(10):1436-1444 (in Chinese with English abstract).
- [64] 唐菊兴, 陈毓川, 王登红, 等. 西藏工布江达县沙让斑岩钼矿床辉钼矿铼-钨同位素年龄及其地质意义 [J]. *地质学报*, 2009, 83 (5): 698-704.
- Tang Juxing, Chen Yuchuan, Wang Denghong, et al. Re-Os Dating of Molybdenite from the Sharang Porphyry Molybdenum Deposit in Gongbo'gyamda County, Tibet and Its Geological Significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83 (5):698-704 (in Chinese with English abstract).
- [65] 王斌, 田朝晖. 栾川钼矿田的开发和利用 [J]. *中国钼业*, 2000, (10):3-7.
- Wang Bin, Tian Zhaohui. The exploitation and utilization of Luanchuan molybdenum ore field[J]. *China Molybdenum Industry*, 2000, (10):3-7(in Chinese with English abstract).
- [66] 霍孟申, 杨建业, 张晰. 中国钼矿开发现状及其尾砂的处理[J]. *矿业快报*, 2007, (8):1-3.
- Huo Mengsheng, Yang Jianye, Zhang Xi. Development present situation of molybdenum ore in China and disposal of tailings[J]. *Express Information of Mining Industry*, 2007, (8):1-3(in Chinese with English abstract).

A discussion on the major molybdenum ore concentration areas in China and their resource potential

HUANG Fan, CHEN Yu-chuan, WANG Deng-hong, YUAN Zhong-xin, CHEN Zheng-hui

(Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: Distributed extensively in the whole country, molybdenite is one of the dominant minerals in China. Mo deposits are mainly of porphyry type, skarn type and hydrothermal vein type in genesis. Metallogenic epochs are mostly concentrated in Mesozoic and Cenozoic. In recent years, with the development of technology, the applied area of molybdenum has been gradually expanded, which has stimulated the exploration and exploitation work of molybdenum minerals and made a series of breakthroughs in the exploration and expansion of molybdenum resources. In non-traditional molybdenum ore areas, many large or giant molybdenum deposits were found, which has fundamentally changed the original pattern of “W in South, Mo in North”. In this paper, based on extensive data collection, the authors summarized the characteristics of molybdenum ore resources in China and preliminary divided molybdenum ore deposits in China into 17 large ore concentration areas in consideration of magma, tectonic settings, stratigraphy, fluids, metallogenic ages and other factors. The main geological characteristics and metallogenic characteristics of molybdenum ore concentration areas were described. On such a basis, regional metallogenic models for four most important molybdenum ore concentration areas were established. Meanwhile, based on data and molybdenum ore-searching achievements, this paper makes a comment on the resource potential of major molybdenum ore concentration areas and gives suggestions for future exploration work.

Key words: molybdenum minerals; ore concentration areas; metallogenic model; resource potential

About the first author: HUANG Fan, male, born in 1983, doctor candidate, engages in the study of mineralogy, petrology and mineral deposits; E-mail: hfhymn@163.com.