

苗来成, 朱明帅, 张福勤, 等. 北山地区中生代岩浆活动与成矿构造背景分析[J]. 中国地质, 2014, 41(4): 1190-1204.

Miao Laicheng, Zhu Mingshuai, Zhang Fuqin, et al. Tectonic setting of Mesozoic magmatism and associated metallogenesis in Beishan area[J]. Geology in China, 2014, 41(4): 1190-1204(in Chinese with English abstract).

# 北山地区中生代岩浆活动与成矿构造背景分析

苗来成 朱明帅 张福勤

(中国科学院地质与地球物理研究所, 北京100029)

**摘要:**中亚造山带是古亚洲洋演化与最终消亡的产物。北山地区处于该造山带中段南部,是中国重要的铜、钼、金、铁多金属成矿带。北山地区在晚古生代—早中生代曾发生过2次碰撞造山作用,一次发生于晚古生代末,与古亚洲洋的最终闭合有关;另一次发生于早中生代三叠纪,与北山南带发育的石炭纪—二叠纪裂谷封闭有关。因此,从时间演化看,中生代三叠纪北山地区为碰撞—碰撞后造山阶段,发育大规模剪切带和强烈的岩浆活动及伴生的金属成矿作用。北山地区中生代岩浆活动以深成侵入相发育并缺失相应的喷出相为特征;岩石类型以中酸性侵入岩为主,基性侵入岩局部可见,S、I、A型花岗岩均有产出。与中生代岩浆活动有关的矿床类型主要包括与I-A型花岗岩伴生的斑岩铜矿床、与S型花岗岩伴生的钨(锡)矿床、与中酸性侵入体有关的矽卡岩型金、银铜铅锌多金属矿床和与中酸性侵入体有关并受剪切带控制的金矿床。中生代印支期是该地区最晚一次大规模岩浆活动与金属成矿时期,其发育的范围、规模和强度均比原来认识的要广泛的多,值得进一步关注。

**关键词:**中生代岩浆活动;碰撞后阶段;成矿构造背景;北山;中亚造山带

**中图分类号:**P511.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2014)04-1190-15

## 1 引言

中国北山地区属中亚造山带(中国境内部分亦被称为“北方造山带”)的一部分,处于该造山带的中段,是中国重要的铜、钼、金、铁和多金属成矿区(带)。区内花岗岩类大面积分布,矿床(点)数量众多,类型多样。许多研究者,特别是聂凤军研究员的研究群体对这些岩浆岩和矿床进行过详细的研究和系统总结<sup>[1]</sup>,并提出了许多具有重要意义认识。

中亚造山带被认为是典型的以增生作用为主的造山带,具有长期的演化历史<sup>[2-5]</sup>。北山地区中新元古代古堡泉榴辉岩和花岗质岩石的存在<sup>[6-7]</sup>,表明该地区也同样具有较长的板块构造作用历史。与此相对应,认为该区大规模的岩浆活动及相关的成

矿作用也主要集中于中晚元古代至晚古生代。近年来,随着地质研究特别是放射性同位素年代学研究的不断深入,中生代侵入体与矿床被越来越多地甄别出来,并引起人们的关注<sup>[1,8-14]</sup>。然而,目前学界对北山地区中生代岩浆活动与成矿的大地构造背景的认识还存在较大分歧,有研究者认为属于造山后背景<sup>[1,15]</sup>,有研究者认为北山地区存在印支运动<sup>[16]</sup>,还有研究者认为是太平洋构造域演化产物<sup>[14]</sup>。

本文拟在对前人资料综合基础上,结合区域构造演化初步探讨北山地区中生代岩浆活动与成矿作用的关系及其形成的大地构造背景,权作引玉之砖。

## 2 区域背景

北山地区(指新疆、甘肃和内蒙古交界地区)大

收稿日期:2014-06-04;改回日期:2014-06-25

基金项目:中国地质调查局项目(1212011120332)和科技部科技基础性工作专项(2012FY120100)联合资助。

作者简介:苗来成,男,1966年生,博士,副研究员,主要从事成矿大地构造研究;E-mail: miaolc@mail.iggcas.ac.cn.

地构造位置上处于华北—塔里木板块、西伯利亚板块和哈萨克斯坦板块的交汇部位<sup>[17]</sup>。通常,人们以明水南—石板井—小黄山断裂(大体相当于星星峡—明水—旱山中间地块的南缘断裂)为界,将北山地区分为北山北带和北山南带<sup>[17]</sup>。

北山北带最北侧是大南湖—雀儿山—狐狸山陆缘弧带,被认为是西伯利亚板块南缘已增生的中生代活动陆缘带<sup>[4-18]</sup>。该带南侧发育石炭纪—二叠纪岛弧—弧后盆地建造,并发育有黄山、黄山东、葫芦、红石山等二叠纪(280~260 Ma<sup>[19-20]</sup>)基性超基性杂岩及伴生的铜镍硫化物矿床。再向南为星星峡—明水—旱山地块,以发育大量花岗岩和片麻岩及大理岩等强烈变形变质岩石为特征,被认为代表地块的前寒武纪变质基底<sup>[17,21]</sup>。在中间地块的南侧发育早古生代马鬃山(公婆泉)岛弧地体。

北山南带总体为被石炭纪—二叠纪裂谷盆地叠加的敦煌地块北缘元古代—早古生代大陆边缘带。除北山北带与南带之间的石板井—小黄山分界断裂带内的小黄山蛇绿岩外,北山南带还发育有红柳河、火石山—牛圈子和月牙山—洗肠井蛇绿混杂岩带<sup>[22]</sup>,蛇绿岩的形成年龄为530~410 Ma<sup>[23-25]</sup>。在该蛇绿岩带内部及其南侧发育强烈韧性变形变质岩类,主要有混合片麻岩、片岩、大理岩、石英岩、变基性—中酸性火山岩等,系变质变形的敦煌地块北缘古大陆边缘建造,时代上可能从晚元古代至早古生代,部分则可能相当于前长城系敦煌群<sup>[17]</sup>。北山南带石炭纪—二叠纪裂谷西段呈北东向展布,以大角度叠加于上述古大陆边缘建造带之上,而东段则呈NEE或近EW向,与区域构造线一致。

北山地区不同时代的岩浆活动,特别是花岗岩质岩浆作用十分强烈,且分布广泛(图1)。同时,也形成了与这些岩浆活动相关的不同时代、不同类型的金属矿床。

### 3 中生代岩浆岩与主要矿床

#### 3.1 时空分布

表1列出了北山地区主要中生代岩浆岩与矿床的成岩成矿年龄,主要岩体与矿床的位置参见图1。从图1可以看出,北山地区目前发现的中生代岩体和矿床空间分布上具有2个主要特征:一是分布广泛,在前述各个构造单元上均有产出;二是大体

沿区内大的断裂带分布,又具“线型”分布特点。

从已获得的年代学资料统计结果看,北山地区中生代岩浆岩成岩年龄与成矿年龄范围大致相同,即均在180~250 Ma,并均可分为三叠纪和早侏罗世2个时期,且以三叠纪为主(图2-a)。三叠纪的岩浆活动与成矿作用时间范围大致在210~250 Ma,但岩浆岩成岩年龄与成矿年龄的统计分布特征却存在一定差异,表现在成岩年龄众数值在240 Ma左右(图2-b),而成矿年龄的众数值在228 Ma左右(图2-c),暗示本地区主要成矿作用总体上要晚于主要的岩浆作用约10 Ma。早侏罗世岩浆活动和成矿作用的年龄范围在180~195 Ma,与三叠纪的岩浆活动与成矿作用之间存在25~30 Ma的时间间隔。尽管目前早侏罗世的相关资料还十分有限,但却表明北山地区存在该时期的岩浆活动及成矿作用。

#### 3.2 中生代岩浆岩类型及组合

北山地区中生代岩浆岩活动均表现为侵入相,目前尚未发现该时期的喷出岩类。总体上,中生代岩浆岩以中酸性岩类为主,基性岩类仅在东天山尾亚复式岩体中有报道<sup>[26-27]</sup>。岩石类型既有辉长岩(如东天山尾亚岩体)、石英闪长岩和花岗闪长岩(如红石山地区),又有二长花岗岩、黑云母花岗岩和钾长花岗岩类(如红石山、鄯善、土墩岩体等),同时还有石英正长岩、碱性(A型)花岗岩(如尾亚、花牛山和柳园地区)及煌斑岩脉(如柳园地区)等。

在岩石地球化学特征上,中生代侵入岩类具有准铝质—弱过铝质的钙碱性—高钾钙碱性—弱碱性花岗岩至碱性花岗岩的特点<sup>[28-29]</sup>,S型、I型和A型或I-A过渡型花岗岩均有发育。此外,红石山地区早中三叠世花岗岩还表现出类埃达克岩的地球化学特征<sup>[30]</sup>。在同位素组成上,中生代侵入岩具有变化较大的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值(-6.2~+4.3)和 $t_{\text{DM}}$ 值(0.54~1.67 Ga),显示其源区不仅有古老陆壳物质,也有年轻幔源组分<sup>[15, 28-29, 31-32]</sup>。

#### 3.3 主要中生代矿床

目前报道的中生代矿床(种)主要有金、钼、铜、铅(锌)多金属、钨(锡)和钒钛磁铁矿等矿床(表1),其中以金矿床最多,包括南金山、金窝子、拾金坡、金场沟、照壁山等矿床;金多金属矿床以花牛山矿床(田)为代表,钨矿床则以红尖兵山为代表,钼矿床以小狐狸山较为典型。需要说明的是,本地区中

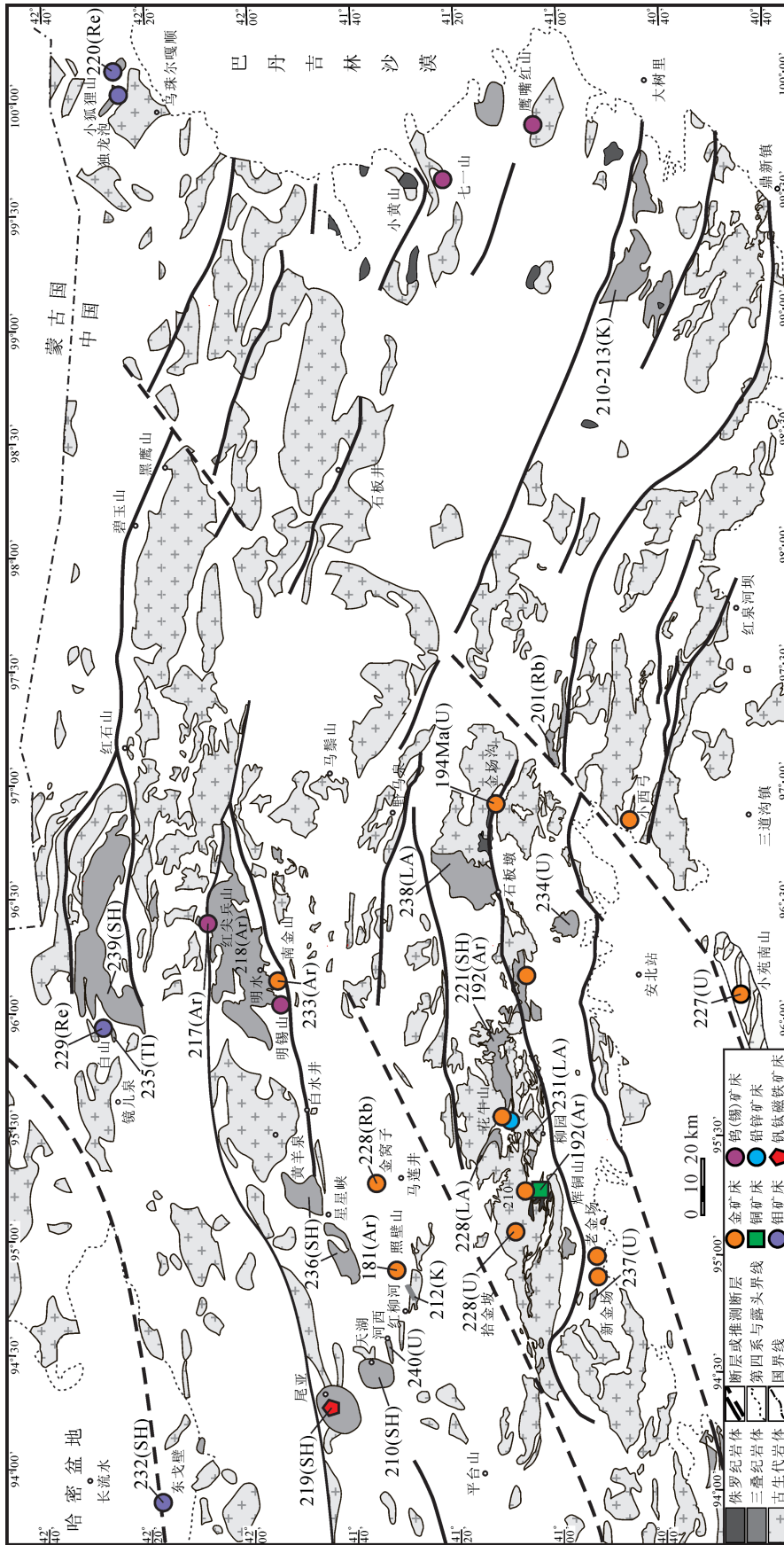


图1 北山地区侵入岩和中生代矿床分布简图

1—图中数字为岩体或矿床的同位素年龄,单位为Ma,其后括号内字符代表测试方法,分别是:U=常规锆石U-Pb法;Ar=Ar-Ar法;Rb=Rb-Sr等时线法;TI=TIMS 锆石U-Pb法;SH=SHRIMP 锆石U-Pb法;LA=LA-ICPMS 锆石U-Pb法;Re=Re-Os等时线法;2—图中岩体或矿床年龄数据的参考文献与表1中相应的文献相同;底图据①修编

Fig.1 Simplified geological map showing distribution of intrusive rocks and Mesozoic deposits in Beishan area

1—The number in the map refers to the isotopic age of an intrusion or mineral deposit and the characteristics within the parentheses following the number denote the method by which the age was obtained, which include: U= conventional zircon U-Pb method; Ar= Ar-Ar method; Rb= Rb-Sr isochron method; TI= TIMS zircon U-Pb method; SH= SHRIMP zircon U-Pb method; LA= LA-ICPMS zircon U-Pb method; Re= Re-Os isochron method; 2—References from which the age data are used to show in the map are accordingly the same as those in Table 1; the base map is compiled from reference①

① 西安地质矿产研究所. 北山地区地质矿产图(1:50万), 2004.

表1 北山地区中生代岩浆岩和成矿年龄

Table 1 Summary of isotope ages for Mesozoic intrusive rocks and mineral deposits in Beishan area

岩体或矿床	侵入体岩性	地点	测试对象	测试方法	年龄/Ma	年龄误差/Ma	资料来源
南金山金矿床		北山	矿石绢云母	Ar-Ar	233	4	[1]
南金山金矿床		北山	矿石绢云母	Ar-Ar	242	1	[1]
金窝子金矿床		北山	矿石方铅矿	Pb-Pb	235		[1]
金窝子金矿床		北山	石英包裹体	Rb-Sr	224	3	[38]
金窝子金矿床		北山	石英包裹体	Rb-Sr	230	6	[38]
小宛南山金矿床		北山	矿石/锆石	U-Pb	227		[41]
拾金坡金矿床		北山	矿石包裹体	Rb-Sr	228		[38]
新井铅(金)矿		北山	矿石/锆石	U-Pb	230		[41]
金场沟金矿		北山	矿石/锆石	U-Pb	194		[14]
照壁山金矿		北山	石英脉	Ar-Ar	181		[39]
查干础鲁金矿		北山	石英脉	Ar-Ar	234	5	[47]
呼伦西伯金矿		北山	石英脉	Ar-Ar	231	8	[47]
阿达日嘎		北山	石英脉	Ar-Ar	249	4.5	[47]
小狐狸山钼矿		北山	辉钼矿	Re-Os	220	2	[44]
花牛山岩体	碱长花岗岩	北山	岩体锆石	SHRIMP	221	3	[29]
花牛山岩体	碱长花岗岩	北山	岩体钾长石	Ar-Ar	194	1	[8]
红尖兵山钨矿床	二长花岗岩	北山	云英岩	Ar-Ar	215	3	[12]
拾金坡金矿床	闪长岩-石英闪长岩	北山	岩体锆石	U-Pb	230		[41]
拾金坡金矿床	似斑状二长花岗岩	北山	岩体锆石	U-Pb	238		[41]
明水岩基	似斑状花岗岩	北山	岩体黑云母	Ar-Ar	218	1	[9]
马鞍山北岩体	角闪黑云二长花岗岩	北山	岩体锆石	TIMS	238	4	[13]
老金厂西岩体	花岗闪长岩	北山	岩体锆石	U-Pb	237		[41]
花西滩西岩体	石英正长岩	北山	岩体锆石	LAICPMS	228	4	[74]
大豁落山南岩体	石英二长岩	北山	岩体锆石	LAICPMS	238	1	[29]
柳园岩体	碱性花岗岩	北山	岩体锆石	LAICPMS	231	3	[74]
辉铜山	钾长花岗岩	北山	岩体钾长石	Ar-Ar	192	3	[10]
柳园	煌斑岩脉	北山	岩脉金云母	Ar-Ar	221	2	[76]
柳园	煌斑岩脉	北山	岩脉金云母	Ar-Ar	234	2	[76]
红柳河	辉绿岩和煌斑岩	北山	岩体全岩	K-Ar	212		[76]
天湖岩体	黑云母花岗闪长岩	东天山	岩体锆石	U-Pb	222		[37]
白山东岩体	二长花岗岩	东天山	岩体锆石	U-Pb	241		[35]
白山南岩体	斜长花岗岩斑岩	东天山	岩体锆石	TIMS	236		[49]
白山东	黑云母斜长花岗岩	东天山	岩体锆石	SHRIMP	239	8	[49]
白山钼铀矿床		东天山	矿石辉钼矿	Re-Os	229	2	[49]
鄯善采石场	钾长花岗岩	东天山	岩体锆石	TIMS	230	3	[70]
天湖岩体	花岗闪长岩	东天山	岩体锆石	SHRIMP	210		[48]
尾亚岩体	环状二长花岗岩	东天山	岩体锆石	TIMS	219		[48]
尾亚岩体	辉长岩	东天山	岩体锆石	SHRIMP	236	6	[26]
尾亚岩体	石英正长岩	东天山	岩体锆石	SHRIMP	246	6	[26]
尾亚岩体	石英正长岩	东天山	岩体锆石	SHRIMP	233	8	[26]
尾亚岩体	细粒花岗岩	东天山	岩体锆石	SHRIMP	237	8	[26]
尾亚岩体	辉长岩	东天山	岩体锆石	SHRIMP	234	9	[71]
尾亚岩体	辉长岩	东天山	岩体锆石	SHRIMP	236	3	[27]
星星峡岩体	黑云母花岗岩	东天山	岩体锆石	SHRIMP	236	4	[61]
东戈壁钼矿床		东天山	矿石辉钼矿	Re-Os	232	2	[65]
土墩岩体	钾长花岗岩	东天山	岩体锆石	LAICPMS	246	3	[77]
河西岩体	碱性花岗岩	东天山	岩体锆石	U-Pb	240		[37]
白石头泉岩体	天河石花岗岩	东天山	岩体全岩	Rb-Sr	210	9	[78]
白石头泉岩体	天河石花岗岩	东天山	岩体黑云母	K-Ar	221	6	[78]

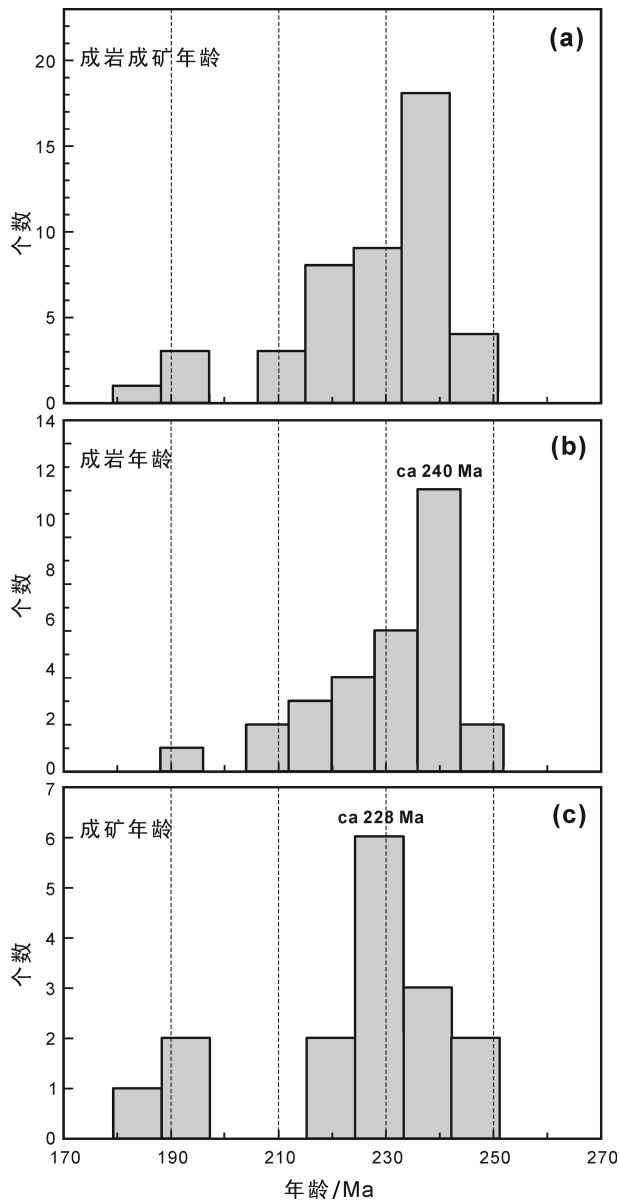


图2 北山地区中生代成岩成矿年龄直方图

Fig.2 Histograms of isotope ages for Mesozoic magmatism and mineralization

中生代矿床均是在近年来同位素测年技术水平不断提高的情况下,从早期所认识的前中生代矿床中甄别出来的,前人对这些矿床的地质特征已有较详细的描述<sup>[1]</sup>,此不赘述。以下仅从中生代花岗岩与成矿的时空关系角度对主要的中生代矿床进行简要说明。

(1)南金山金矿床:为位于“中间地块”内部的一个中型金矿床。实际上,该地区除南金山金矿外

附近还产有马庄山、霍勒扎德盖、狼娃山等数十处金矿床(点),是一金矿富集区。南金山金矿区内出露地层主要为石炭系白山组火山-沉积岩,侵入体仅发育小规模闪长岩脉,但矿区周围花岗岩类侵入体十分发育。金矿化主要发育在变质火山碎屑岩地层中的断裂或破碎带中,闪长岩脉切割矿体的现象可见<sup>[1]</sup>。南金山金矿含金石英脉矿石中绢云母 Ar-Ar 年龄为 233~243 Ma<sup>[1,33]</sup>,矿区外围闪长岩体的 Ar-Ar 年龄为(244±1) Ma<sup>[12]</sup>,表明南金山金矿床形成于早三叠世,大体同时或稍晚于与矿区附近的闪长岩体。南金山金矿先前曾被认为是较典型的火山岩型金矿,但金矿床和闪长岩体早三叠世的年龄则指示金矿化与深成侵入岩时间关系密切。此外,尽管南金山金矿区地表不发育大规模的侵入岩,但矿区内矿化隐爆角砾岩体的发现<sup>[34]</sup>,暗示该区深部可能存在有隐伏的(三叠纪)岩体。

(2)红尖兵山钨矿床:红尖兵山钨矿床产于“中间地块”北缘内侧,矿区出露地层为石炭系下统白山组流纹质凝灰岩、流纹岩、流纹英安岩和安山岩,侵入岩主要为二长花岗岩株和长英质岩脉。钨矿化大多在二长花岗岩株的内部或沿其与围岩的外接触带产出,受断裂构造控制。黑钨矿化与云英岩化关系十分密切。云英岩主要由石英、白云母、(铁)锂云母和少量黄玉等矿物组成,其中的白云母给出的 Ar-Ar 年龄为(215±3) Ma,代表钨矿化年龄<sup>[12]</sup>,与区域上发育的明水花岗岩基 Ar-Ar 坪年龄(218±1) Ma 一致<sup>[11]</sup>,表明红尖兵钨矿床形成于印支中晚期。此外,在明水花岗岩西南端还发育有明锡山钨锡矿床,但尚不清楚其成矿时代是否与红尖兵山钨矿床一致。

(3)尾亚钒钛磁铁矿床:位于“中间地块”北缘断裂带西段东天山地区,是本区目前确认的唯一一处以岩浆分凝和贯入式矿化为主的中生代岩浆型矿床。尾亚岩体侵入于下石炭统中,为一复式杂岩体,由内部石英闪长岩-花岗闪长岩-二长花岗岩-钾长花岗岩的钙碱性单元和外部碱性辉长岩-石英正长岩-碱长花岗岩的碱性单元组成<sup>[35]</sup>。似层状、浸染状、块状、脉状和伟晶状矿化发育于杂岩体内部,具岩浆分凝-贯入式并叠加岩浆热液矿化特征<sup>[36]</sup>。赋矿岩体的锆石 SHRIMP 年龄为 219~246 Ma<sup>[26,28]</sup>,表明尾亚杂岩体和钒钛磁铁矿床形成于中生代

早中三叠世。

(4)金窝子金矿:位于马鞍山地体西段,为一处中型金矿床。附近还产有照壁山等多个金矿床(点)。矿区内金窝子黑云母二长花岗岩体侵入于泥盆系火山-碎屑沉积岩中,岩体内脉岩发育,主要有辉绿岩、闪长岩和花岗岩脉等。金矿化主要发育于岩体内部断裂带或蚀变带内,少量发育在地层围岩中。先前据该岩体常规锆石U-Pb年龄359 Ma(误差不详)<sup>[37]</sup>,一直认为金窝子金矿成矿作用与该岩体有关,即成矿作用发生在古生代,但是含金石英大脉和网脉中脉石英流体包裹体给出的Rb-Sr等时线年龄则分别为(224±3) Ma和(230±6) Ma<sup>[38]</sup>,说明金矿化发生在中三叠世。但目前尚无金窝子岩体高精度年龄的报道。同时在金窝子金矿西南的照壁山金矿区可见容矿的古生代花岗闪长岩(Rb-Sr年龄356 Ma)被早二叠世红柳园组不整合覆盖,含金石英脉产于岩体中并延入下二叠统红柳园组地层中,故金矿化时间应晚于早二叠世。因此,上述石英流体包裹体的Rb-Sr年龄(230 Ma)可能代表该地区金矿化年龄。此外,周济元等<sup>[39]</sup>曾报道了照壁山金矿石英脉同位素年龄181 Ma,并认为存在早侏罗世金成矿作用的叠加。

(5)花牛山金-多金属矿床(田):位于双鹰山—花牛山地体西段。矿田内不同成因类型、不同时代、大小不等的花岗岩类侵入岩分布广泛。其中出露面积较大的花牛山东花岗岩体产状复杂、富含钾长石,与区内金(钼)铅锌银矿床(点)具密切空间分布关系,花牛山铅锌银矿床4号矿区(体)、花牛山金矿床、花黑滩钼矿床和花北滩铅锌银矿床(点)均分布在该岩体的内部及其接触带,属矽卡岩型矿床<sup>[1]</sup>。花牛山钾长花岗岩体的锆石SHRIMP年龄为(221±3) Ma<sup>[29]</sup>,表明该岩体侵位形成于中三叠世,也暗示同时期的矽卡岩型矿化。然而,岩体中钾长石Ar-Ar年龄为(194±1) Ma<sup>[8]</sup>,可能反映另一期成矿事件。此外,该矿田东侧的金场沟金矿床曾报道过矿石锆石U-Pb年龄194 Ma<sup>[44]</sup>。因此,该区域可能存在中三叠世和早侏罗世两期成矿作用。

(6)辉铜山铜矿:位于花牛山矿田西南的辉铜山铜矿床长期被认为是海西期矽卡岩型铜矿床。矿区内发育辉长岩和钾长花岗岩,铜矿化(体)主要发育在钾长花岗岩体内和其与奥陶系灰岩的接触

带中。与花牛山岩体相似,辉铜山钾长花岗岩的钾长石给出早侏罗世的Ar-Ar年龄(192±3) Ma,代表铜矿化年龄<sup>[10]</sup>,说明辉铜山铜矿形成于早侏罗世,但李舳等<sup>[40]</sup>报道了辉铜山钾长花岗岩年龄为(397±3) Ma。对此可有2种解释:一是辉铜山岩体与铜矿化是不同时代形成的,前者仅作为后者的容矿围岩;二是该矿床可能存在两期(即泥盆纪与早侏罗世)矿化叠加。我们认为第二种可能性更大。此外,辉铜山铜矿西北侧的拾金坡金矿床流体包裹体Rb-Sr等时线年龄228 Ma<sup>[38]</sup>,与该区花牛山花岗岩的年龄(221 Ma)大体相同,说明该地区存在中三叠世的金矿化事件。

(7)新金场和老金场金矿床:这两个矿床均产于柳园—俞井子裂谷带北缘,赋存于下二叠统哲斯群中基性火山岩中。矿区内侵入岩不发育,但有辉绿岩与酸性岩脉产出。透镜状与脉状金矿体和矿化体主要产于断裂构造带中。目前尚无这两个金矿床的成矿年龄数据,但金成矿作用应晚于早二叠世。此外,老金场矿区西侧原划为石炭纪花岗闪长岩体的锆石U-Pb年龄为237 Ma<sup>[41]</sup>,说明该区存在三叠纪的岩浆作用,金矿化很可能与此次岩浆活动有关。

(8)小宛南山金矿床:位于墩煌地块北缘变质地体内,属安北—小宛南山—小西弓金铁成矿带<sup>[1]</sup>。矿区内地层为强烈变质变形的墩煌群,并被闪长岩、花岗岩和辉绿岩(脉)等侵入。金矿化呈条带状、脉状、网脉状和浸染状发育于变质地层中,明显受剪切带控制。矿石中锆石U-Pb年龄为227 Ma,并认为代表金矿化年龄<sup>[42]</sup>。需要指出,位于小宛南山金矿北东方向的小西弓金矿床被认为是晚古生代金矿床,主要原因是小西弓金矿区钾长花岗岩与正长斑岩中钾长石的K-Ar年龄306~289 Ma和矿石绢云母的K-Ar年龄284~276 Ma<sup>[43]</sup>。但是小西弓金矿与小宛南山金矿床地质特征相似,均受北西向韧性剪切带控制,而这些剪切带的剪切变形主要发生于中晚三叠世<sup>[44]</sup>,因此小西弓金矿很可能形成于中晚三叠世。

(9)小狐狸山钼矿床:位于北山北带最北侧的一个中型钼矿床,处于红石山—百合山断裂带以北,相当于大南湖—雀儿山中古生代活动陆缘带的东延部分。矿化的小狐狸山花岗斑岩体侵入到奥

陶系咸水湖组火山-沉积岩系。钼矿化主要发育在岩体的边缘相和过渡相内,以浸染状、斑点状和细脉状辉钼矿化为特征,具有斑岩型矿化特征。矿石辉钼矿 Re-Os 等时线年龄(220±2) Ma<sup>[45]</sup>,表明小狐狸山钼矿是中三叠世斑岩型钼矿。在该地区,除小狐狸山钼矿外,还发现有额勒根乌兰乌拉钼铜矿(大型)、流沙山钼金矿(中型)和独龙包钼矿(大型),其中除流沙山钼矿化年龄260 Ma左右<sup>[46]</sup>,其他几个矿床的形成年龄尚不清楚。此外,位于小狐狸山钼矿东侧的查干砬鲁金矿((234±5) Ma)、呼伦西伯金矿((230±8) Ma)和阿达日嘎金矿等均形成于三叠纪<sup>[47]</sup>。

(10)白山钼(铼)矿床:位于红石山-百合山断裂带北侧,与小狐狸山钼矿大致处于同一构造单元,也是较典型的中生代斑岩型钼矿床。网脉状、浸染状钼矿体(化)产于斜长花岗斑岩体内部和其外接触带,围岩为石炭纪变质地层。矿化斜长斑岩(脉)侵位年龄为235 Ma,矿石辉钼矿 Re-Os 等时线年龄(229±2) Ma<sup>[48-49]</sup>,说明白山钼(铼)矿和斜长花岗斑岩(脉)均形成于早中三叠世,但钼矿化稍晚于斜长斑岩脉的侵位。

## 4 讨 论

### 4.1 中生代构造-岩浆-成矿的构造环境

通常认为中亚造山带所代表的古亚洲洋具有自西向东呈“剪刀式”闭合的特征,即其西段闭合时间较早,大约在石炭-二叠纪<sup>[1, 50-51]</sup>,而东段相对较晚,约在二叠纪末-三叠纪<sup>[3, 52-53]</sup>。北山地区处于西部天山造山带和东部兴蒙造山带的接合部位,如前所述,对该地区最终造山作用的时限存在着早中泥盆世、晚泥盆世-早石炭世、早二叠世及二叠纪-早三叠世的争议。实际上,北山北带和北山南带在构造演化上具有不同的发展历史,因此该地区碰撞造山作用在这两个带可能并不是等时的。

除北山南带石炭纪-二叠纪裂谷建造,北山地区的增生构造演化具有从南至北年轻化趋势,即自敦煌(一塔里木)地块向北依次发育晚元古代、早古生代和晚古生代的增生大陆边缘。这一特点与北山西邻的东天山地区相似,反映了古亚洲洋在塔里木-敦煌地块北缘增生演化的特点。目前越来越多的证据表明,北山地区与古亚洲洋闭合有关的造

山作用发生于二叠纪-早三叠世。首先,在北方造山带西段大区域范围内三叠纪的沉积记录不发育或缺失,即使局部发育,也表现为磨拉石建造(如二道井组),说明三叠纪是该地区强烈隆升(造山)时期。同时,北山西侧相邻的中南天山地区发现三叠纪的高压-超高压榴辉岩<sup>[54]</sup>,而在东侧相邻的内蒙古地区发育二叠纪的蛇绿岩<sup>[55-56]</sup>、岛弧和三叠纪的同碰撞花岗岩<sup>[52,57]</sup>。其次,从北山地区来看,一方面,在红石山-百合山断裂带两侧均发育石炭纪-早二叠世的岛弧建造<sup>[4,19-20,58]</sup>;另一方面,北山地区上二叠统为陆相火山岩(如方山口组)和陆源碎屑岩建造(红岩井组),同时该区上二叠统红岩井组与内蒙古中部地区上二叠统林西组岩性及组合相似,以炭质页岩、含炭质粉砂岩、长石砂岩等为主,具残留盆地建造特征<sup>[53,55]</sup>,说明该地区初始碰撞可能发生于早二叠世末。尽管具体的时限还需要更精细的年代学资料确定,但上述事实说明,该地区最终碰撞造山作用应大体发生在晚古生代晚期,并有可能持续到早中生代(三叠纪)初。这与北山北带大规模剪切带的活动时间260~245 Ma<sup>[59-61]</sup>是一致的。因此,对于古亚洲洋构造演化而言,三叠纪北山地区应处于碰撞后造山环境,其构造-岩浆-成矿作用是晚古生代造山作用的延续,属该次造山作用演化的晚期阶段。

北山南带裂谷带发育于敦煌地块北缘早古生代或更早的增生大陆边缘上,其形成发育时期为石炭-二叠纪。北山南带剪切带的活动时间(216 Ma)<sup>[44]</sup>说明裂谷带大致在早中三叠世封闭造山。因此,就裂谷封闭这一造山作用而言,北山地区在早中三叠世处于碰撞造山环境,而晚三叠世-早侏罗世则处于碰撞后环境。

综上,北山地区存在晚古生代和早中生代(三叠纪)2次碰撞造山作用。北山地区对前者而论早中生代属碰撞后造山环境,与古亚洲洋闭合有关;对于后者而论早中生代则属于碰撞环境,早侏罗世则可能进入碰撞后演化阶段,与裂谷带闭合有关。这一认识与前述中生代该地区存在三叠纪与早侏罗世两期花岗质岩浆活动及成矿作用的特点一致。此外,北山地区中生代岩浆活动以钙碱性-高钾钙碱性-碱性花岗岩组合为主,具有碰撞-碰撞后岩浆组合特征<sup>[62-63]</sup>。因此,北山地区中生代构造-岩

浆-成矿的总体构造背景是碰撞-碰撞后环境。

#### 4.2 中生代岩浆活动与矿床类型

碰撞造山带演化的碰撞阶段因强烈挤压和板片叠置,岩浆和流体运移受到很大的约束,因而真正碰撞阶段形成的岩体和矿床在造山带并不占主要地位。相反,碰撞后阶段因块体间剪切走滑、拉分和造山带去根等作用而下表现为“拉张”环境,有利于岩浆侵位与流体向上迁移,故碰撞后阶段的岩浆活动与成矿作用十分活跃<sup>[64]</sup>。北山地区早中生代处于碰撞-碰撞后构造环境,岩浆活动以深成相中酸性岩类大量发育而缺失相应的喷出相为特征,故而也形成了具有特征性的早中生代矿床类型。

除岩浆型(如尾亚)矿床外,就热液矿床而论,斑岩型矿床无疑是与岩浆作用具有密切成因联系矿床的典型代表。北山地区早中生代斑岩型矿床的主要特征是斑岩钼矿发育而斑岩铜矿不发育(至今未见报导)。目前,已确认的早中生代的斑岩钼矿有额济纳旗小狐狸山钼矿床和东天山白山钼(铼)矿。同时,与上述2个钼矿床处于同一构造成矿带上的早中生代流沙山斑岩钼(金)矿形成于二叠-三叠纪之交<sup>[45]</sup>。上述钼矿带西延的东天山新近发现超大型的东戈壁斑岩钼矿(探明资源量50万t),其辉钼矿 Re-Os 等时线年龄(232±2) Ma<sup>[65]</sup>,说明形成于早中生代三叠纪。上述三叠纪斑岩钼矿有关的岩体成因上属I型或I-A过渡类型,主要岩石类型为偏碱性-碱性的石英正长岩、石英二长岩和二长花岗岩及钾长花岗岩等<sup>[27,45-46]</sup>,不同于以含角闪石、黑云母、石英等闪长岩类为主的含斑岩铜矿的I型钙碱性岩石类型。这与三叠纪该区处于碰撞后演化阶段这一构造背景是一致的。众所周知,与板块俯冲有关的岛弧带是斑岩铜矿或含钼斑岩铜矿形成的主要场所<sup>[66]</sup>,斑岩钼矿尽管在岛弧带也有产出,但在碰撞造山带或克拉通内部(具硅铝壳基底)则更为丰富。显而易见,该区三叠纪已不存在板块俯冲作用,不具备形成典型斑岩铜矿的条件,但碰撞后大量地壳重熔花岗岩则有利于形成斑岩型钼矿床。

矽卡岩型矿床也是较典型的与岩浆热液活动密切相关的一类矿床。本区已确认属印支期矽卡岩型的矿床主要是辉铜山铜矿和花牛山金银铅锌金属矿床。尽管这2个矿床有关的侵入体均为钾长花岗岩,具A型花岗岩特征<sup>[29]</sup>,但可以肯定印支期矽

卡岩类矿床有关岩体不只此一种类型。实际上,作为岩浆热液接触交代型的矽卡岩类矿床,对相关的侵入体类型可能并无专属性,但对岩体的围岩却是有选择性的,即碳酸盐岩围岩。

北山地区与早中生代三叠纪岩浆活动具有密切伴生关系的另一类矿床是钨(锡)矿床。目前确认属中生代该类型矿床仅红尖兵山钨矿床1个,其钨矿化发育在印支期二长花岗岩体内部及其接触带,云英岩化蚀变发育。赋矿岩体具S型花岗岩特征,是碰撞后地壳重熔的产物<sup>[12]</sup>。此外,在区内还发育有与S型花岗岩有关的明锡山锡矿床、鹰咀红山钨矿床和东七一山钨(钼)矿床等,由于缺少相应的成岩成矿年代学资料,它们是否属印支期矿床尚不清楚。值得指出的是,与地壳重熔(S)型花岗岩伴生的钨锡矿床在世界其他碰撞造山带(如欧洲海西造山带和东南亚中亚锡矿带<sup>[67]</sup>)是十分重要的矿床类型。印支期是本地区大量地壳重熔(S)型花岗岩发育时期,具有形成该类型锡钨矿床的良好条件,值得进一步关注。

金矿床是北山地区印支期数量最多的矿床类型之一。前人对该区金矿床的研究较为详细,但要得出花岗岩与金矿有密切成因关系的结论却不如以上几种矿床那样容易,这是因为:首先,金矿床的产出并不一定与某个特定的侵入体具有明确的时空联系,有的金矿区甚至并不发育较大规模的侵入岩(如南金山、小西弓等);其次,金矿床稳定同位素和流体包裹体资料往往又给出意义不甚明确的结果(具多解性);第三,该地区金矿床更为显著的特征是它们主要沿大规模剪切带分布(图1),多数矿床的直接赋矿构造也是韧性剪切带或蚀变构造带。总体上,该区印支期金矿床形成于碰撞-碰撞后造山环境,可归入造山型金矿<sup>[68-69]</sup>。

矿床稳定同位素和流体包裹体研究表明,除岩浆型钒钛磁铁矿床外,其他几类矿床的成矿流体,特别是成矿晚期流体均含有大气水组分<sup>[1,33,38,43,71]</sup>,只是不同类型矿床及不同矿床间大气水所占比例不同而已。大气水与岩浆热液或深部流体混合现象可能是热液矿床的共性,说明大气水在热液矿床形成中起着重要作用,其原因可能是低温的大气水与较高温的流体混合,改变了含(运)矿流体的物化条件,进而导致成矿物质大量快速沉淀、聚集成矿。



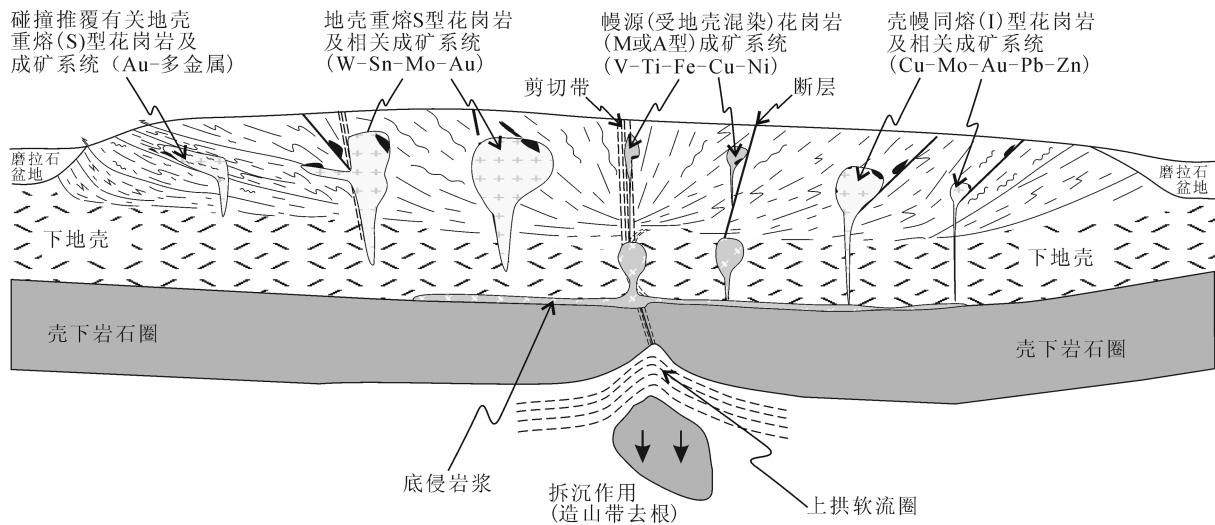


图3 北山地区印支期碰撞-碰撞后构造-岩浆-成矿系统模式图

Fig.3 Cartoon map showing the tectonic-magma-metallogenic system during the Indosinian collision - post-collision stage in Beishan area

在碰撞-碰撞后环境下,造山带中各类流体(包括变质的、岩浆的、层间的及幔源的)和熔体活动均比较活跃。这些流体及熔体均向减压带(如剪切带或岩浆侵位通道)聚集并向地壳浅部运移,在此过程中发生混合,并在地壳浅部与下渗的大气水混合,最终在有利构造部位沉淀而成矿。对单一热液矿床,岩浆活动对成矿的贡献可能体现在以下一个或多个方面:①岩体本身作为矿体的直接赋围岩;②为成矿提供热动力;③岩浆的侵位为后续深部流体运移提供通道;④为成矿提供部分物质和热液。

综上所述,将北山地区早中生代三叠纪碰撞后构造-岩浆-成矿系统模式示于图3。

中生代特别是三叠纪岩浆活动与成矿作用不仅在北山区,而且在新疆西天山和阿尔泰地区也有大量报导<sup>[16, 72-75]</sup>,说明三叠纪是中国北方造山带西段一次重要的成矿期。从构造演化上看,碰撞后阶段是广泛而强烈的岩浆活动时期,也是重要的成矿时期。然而,目前确认的印支期岩体和矿床数量还相对较少,主要原因可能是过去在缺乏可信证据的情况下,将该区许多印支期岩体时代归属为前中生代。相信随着新的高精度年代学资料的不断积累,区内印支期岩体和矿床及矿床类型将会被更多地识别出来。

## 5 结 论

(1)北山地区印支期岩浆岩在整个区域内均有产出,具“面型”分布特征,但岩体的侵位又明显受区域性断裂控制;印支期岩浆活动以中酸性深成侵入岩占主导地位,缺失相应的喷出相。

(2)印支期岩浆活动及与之相关的主要矿床类型有与I-A型花岗岩共生的斑岩钼矿床、与S型花岗岩伴生钨锡矿床、与中酸性侵入体有关的矽卡岩型金铜铅锌多金属矿床和与中酸性侵入有关并受剪切带控制的金矿床及碱性岩浆分凝的钒钛磁铁(岩浆型)矿床等。

(3)北山地区可能存在两次碰撞造山事件,一是古亚洲洋在晚古生代晚期的最终闭合,二是北山南带石炭一二叠纪裂谷在早中三叠世的封闭。因此,北山地区在印支期演化进入碰撞-碰撞后阶段,即该区印支期岩浆活动与成矿作用产生于碰撞-碰撞后构造环境。

(4)印支期(可能连续延至早侏罗世)是北山地区最晚一次大规模岩浆活动与金属成矿时期,其发育的范围、规模和强度均要比原来认识的大的多,应引起学界和找矿勘查界的高度重视。

**致谢:**在撰写本文之前及成文过程中与聂凤军

研究者的深入交流,使作者受益匪浅;审稿专家及编辑部杨艳博士对论文提出了宝贵修改意见,在此一并致以诚挚的谢意。

### 参考文献(References):

- [1] 聂凤军,江思宏,白大明,等.北山地区金属矿床成矿规律及找矿方向[M].北京:地质出版社,2002:1-408.  
Nie Fengjun, Jiang Sihong, Bai Daming, et al. Metallogenic Studies and Ore Prospecting in the Conjunction Area of Inner Mongolia Autonomous Region, Gansu Province and Xinjiang Uygur Autonomous Region (Beishan Mt.), Northwest China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 1-408 (in Chinese with English abstract).
- [2] Sengör A M C, Natal' in B A. Paleotectonics of Asia: Fragments of a synthesis[C]//Yin A, Harrison M(eds.). The Tectonic Evolution of Asia. Cambridge: Cambridge University Press, 1996: 486-641.
- [3] Xiao W J, Windley B F, Hao J, et al. Accretion leading to collision and the Solonker suture, Inner Mongolia, China: termination of the Central Asian Orogenic Belt [J]. Tectonics, 2003, 22: 1069.
- [4] Xiao W J, Windley B F, Huang B C, et al. End-Permian to mid-Triassic termination of the accretionary processes of the southern Altaids: implications for the geodynamic evolution, Phanerozoic continental growth, and metallogeny of Central Asia[J]. International Journal of Earth Sciences, 2009, 98: 1189-1217.
- [5] Windley B F, Alexeiev D, Xiao W J, et al. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt[J]. Journal of the Geological Society of London, 2007, 164: 31-47.
- [6] 梅华林,于海峰,李铨,等.甘肃北山地区首次发现榴辉岩和古元古花岗质岩石[J].科学通报,1998,43(19):2105-2111.  
Mei Hualin, Yu Haifeng, Li Quan, et al. Eclogite and Paleoproterozoic granitoids firstly discovered in Beishan, Gansu Province[J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 43(19): 2105-2111 (in Chinese).
- [7] 杨经绥,吴才来,陈松永,等.甘肃北山地区榴辉岩的变质年龄:来自锆石的U-Pb同位素定证据[J].中国地质,2006,33(2):317-325.  
Yang Jingsui, Wu Cailai, Chen Songyong, et al. Neoproterozoic eclogitic metamorphic age of the Beishan eclogite of Gansu, China: Evidence from SHRIMP U- Pb isotope dating[J]. Geology in China, 2006, 33(2): 317-325 (in Chinese with English abstract).
- [8] 聂凤军,江思宏,刘妍,等.甘肃花牛山东钾长花岗岩<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar同位素年龄及其地质意义[J].地质科学,2002,37(4):415-422.  
Nie Fengjun, Jiang Sihong, Liu Yan, et al. <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar isotopic age on K- feldspar separates from eastern Huaniushan granite, Gansu Province, and its geological significance[J]. Chinese Journal of Geology, 2002, 37(4): 415-422 (in Chinese with English abstract).
- [9] 江思宏,聂凤军,陈文,等.北山明水地区花岗岩时代的确定及其地质意义[J].岩石矿物学杂志,2003,22(2):107-111.  
Jiang Sihong, Nie Fengjun, Chen Wen, et al. The determination of the emplacement age of granite in Mingshui, Beishan area, and its implication[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2003, 22(2): 107-111 (in Chinese with English abstract).
- [10] 江思宏,聂凤军,陈文,等.甘肃辉铜山铜矿床燕山期钾长花岗岩的发现及其地质意义[J].矿床地质,2003,22(2):185-190.  
Jiang Sihong, Nie Fengjun, Chen Wen, et al. Discovery of Yanshanian K- feldspar granite in Huitongshan copper deposit, Gansu Province, and its implication[J]. Mineral Deposits, 2003, 22(2): 185-190 (in Chinese with English abstract).
- [11] 江思宏,聂凤军.北山地区花岗岩类的<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar同位素年代学研究[J].岩石学报,2006,22(11):2719-2732.  
Jiang Sihong, Nie Fengjun. <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar geochronology of granitoids in Beishan mountain, NW China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(11): 2719-2732 (in Chinese with English abstract).
- [12] 江思宏,聂凤军.甘肃北山红尖兵山钨矿床的<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar同位素年代学研究[J].矿床地质,2006,25(1):89-94.  
Jiang Sihong, Nie Fengjun. <sup>40</sup>Ar- <sup>39</sup>Ar geochronology of Hongjianbingshan tungsten deposit in Beishan Mountain, Gansu Province, China[J]. Mineral Deposits, 2006, 25(1): 89- 94 (in Chinese with English abstract).
- [13] 刘明强,王建军,代文军.甘肃北山红石山地区马鞍山北花岗岩体的单颗粒锆石U-Pb年龄及地质意义[J].岩石矿物学杂志,2006,25(6):473-479.  
Liu Mingqiang, Wang Jianjun, Dai Wenjun. The U- Pb age of single- grained zircon from Maanshanbei granite in Hongshishan area of the Beishan orogenic belt, Gansu Province. Acta[J]. Petrologica et Mineralogica, 2006, 25(6): 473- 479 (in Chinese with English abstract).
- [14] 殷先明.甘肃省北山地区中生代构造花岗岩侵入及成矿作用[J].甘肃地质,2008,17(1):1-6.  
Yin Xianming. Mesozoic tectonics, granite and mineralization in Beishan area of Gansu Province[J]. Gansu Geology, 2008, 25(6): 473-479 (in Chinese with English abstract).
- [15] 江思宏,聂凤军.北山地区花岗岩类成因的Nd同位素制约[J].地质学报,2006,80(6):826-842.  
Jiang Sihong, Nie Fengjun. Nd- isotope constraints on origin of granitoids in Beishan mountain area[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(6): 826-842 (in Chinese with English abstract).
- [16] 朱永峰.新疆的印支运动与成矿[J].地质通报,2007,26(5):510-519.  
Zhu Yongfeng. Indosinian movement and metallogeny in Xinjiang, China[J]. Geological Bulletin of China. 2007, 26(5): 510-519 (in Chinese with English abstract).
- [17] 左国朝,何国琦,等(主编).北山板块构造及成矿规律[M].北京:北京大学出版社,1990:1-209.  
Zuo Guochao, He Guoqi, et al(eds.). Plate Tectonics and Metallogenic Regularities in Beishan Region[M]. Beijing: Peking University Publishing House, 1990: 1- 209 (in Chinese with English abstract).

- English abstract).
- [18] 杨合群, 李英, 赵国斌, 等. 北山蛇绿岩特征及构造属性[J]. 西北地质, 2010, 43(1): 24–26.  
Yang Hequn, Li Ying, Zhao Guobin, et al. Character and structural attribute of the Beishan ophiolite[J]. *Northwestern Geology*, 2010, 43(1): 24–36(in Chinese with English abstract).
- [19] 姜常义, 程松林, 叶书锋, 等. 新疆北山地区中坡山北镁铁质岩体岩石地球化学与岩石成因[J]. 岩石学报, 2006, 22: 115–126.  
Jiang Changyi, Cheng Songlin, Ye Shufeng, et al. Lithochemistry and petrogenesis of Zhongposhanbei mafic rock body, at Beishan region, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22: 115–126 (in Chinese with English abstract).
- [20] Ao S J, Xiao W J, Han C M, et al. Geochronology and geochemistry of Early Permian mafic–ultramafic complexes in the Beishan area, Xinjiang, NW China: Implications for late Paleozoic tectonic evolution of the southern Altai[J]. *Gondwana Research*, 2010, 18: 466–478.
- [21] 杨合群, 李英, 李文明, 等. 北山成矿构造背景概论[J]. 西北地质, 2008, 14(1): 22–28.  
Yang Hequn, Li Ying, Li Wenming, et al. General Discussion on Metallogenic Tectonic Setting of Beishan Mountain, Northwestern China[J]. *Northwest Geology*, 2008, 14(1): 22–28 (in Chinese with English abstract).
- [22] 周国庆, 赵建新, 李献华. 内蒙古月牙山蛇绿岩特征及形成的构造背景: 地球化学和 Sr–Nd 同位素制约[J]. 地球化学, 2000, 29(2): 108–119.  
Zhou Guoqing, Zhao Jianxin, Li Xianhua. Characteristics of the Yueyashan ophiolite from western Nei Mongol and its tectonic setting: Geochemistry and Sm–Nd isotopic constraints[J]. *Geochemica*, 2000, 29(2): 108–119 (in Chinese with English abstract).
- [23] 张元元, 郭召杰. 甘新交界红柳河蛇绿岩形成和侵位年龄的准确限定及大地构造意义[J]. 岩石学报, 2008, 24(4): 803–809.  
Zhang Yuanyuan, Guo Zhaojie. Accurate constraint on formation and emplacement age of Honliuhe ophiolite, boundary region between Xinjiang and Gansu Provinces and its tectonic implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(4): 803–809 (in Chinese with English abstract).
- [24] Ao S J, Xiao W J, Han C M, et al. Cambrian to early Silurian ophiolite and accretionary processes in the Beishan collage, NW China: implications for the architecture of the Southern Altai[J]. *Geological Magazine*, 2012, 149: 606–625.
- [25] Tian Z H, Xiao W J, Windley B F, et al. Structure, age, and tectonic development of the Huoshishan–Niujuanzi ophiolitic mélange, Beishan, southernmost Altai[J]. *Gondwana Research*, 2014, 25: 820–841.
- [26] Zhang Z Z, Gu L X, Wu C Z, et al. Zircon SHRIMP dating for the Weiya pluton, eastern Tianshan: Its geological implications[J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2005, 79: 1481–1490.
- [27] 王玉往, 王京彬, 王莉娟, 等. 新疆尾亚含矿岩体锆石 U–Pb 年龄、Sr–Nd 同位素特征及构造意义[J]. 岩石学报, 2008, 24(4): 781–792.  
Wang Yuwang, Wang Jingbin, Wang Lijuan, et al. Zircon U–Pb age, Sr–Nd isotope geochemistry and geological significances of the Weiya mafic–ultramafic complex, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(4): 781–792 (in Chinese with English abstract).
- [28] 屈翠侠, 杨兴科, 何虎军, 等. 新疆北山盐滩一带侵入岩地球化学特征、时代及地质意义[J]. 中国地质, 2013, 40(5): 1409–1420.  
Qu Cuixia, Yang Xingke, He Hujun, et al. Geochemical features and ages of the intrusive rocks from Yantan belt in Beishan area of Xinjiang and their geological implications[J]. *Geology in China*, 2013, 40(5): 1409–1420 (in Chinese with English abstract).
- [29] 李舫, 王涛, 童英. 中亚造山系中段早中生代花岗岩类时空分布特征及构造环境[J]. 岩石矿物学杂志, 2010, 29(6): 642–662.  
Li Shan, Wang Tao, Tong Ying. Spatial–temporal distribution and tectonic settings of Early Mesozoic granitoids in the middle–south segment of the Central Asia Orogenic System[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2010, 29(6): 642–662 (in Chinese with English abstract).
- [30] 刘明强. 甘肃北山造山带红石山地区埃达克质花岗岩类的发现及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2007, 26(3): 232–238.  
Liu Mingqiang. Geochemical characteristics and geological significance of adakitic granitoids in Hongshishan area of the Beishan orogenic belt, Gansu Province[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2007, 26(3): 232–238 (in Chinese with English abstract).
- [31] 刘明强, 王建军, 代文军, 等. 甘肃北山造山带红石山地区正  $\epsilon_{Nd}(t)$  花岗质岩石的成因及地质意义[J]. 地质通报, 2005, 24(9): 831–836.  
Liu Mingqiang, Wang Jianjun, Dai Wenjun, et al. Genesis and geological significance of positive  $\epsilon_{Nd}(t)$  granitoids in the Hongshishan area in the Beishan orogenic belt, Gansu, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24(9): 831–836 (in Chinese with English abstract).
- [32] 王涛, 李伍平, 李金宝, 等. 东天山东段同造山–后造山花岗岩幔源组分的递增及陆壳垂向生长的意义—Sr、Nd 同位素证据[J]. 岩石学报, 2008, 24(4): 762–772.  
Wang Tao, Li Wuping, Li Jinbao, et al. Increase of juvenal mantle–derived composition from syn–orogenic to post–orogenic granites of the east part of the eastern Tianshan (China) and implications for continental vertical growth: Sr and Nd isotopic evidence[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(4): 762–772 (in Chinese with English abstract).
- [33] 江思宏, 聂凤军, 陈伟十, 等. 北山地区南金山矿床的  $^{40}\text{Ar}$ – $^{39}\text{Ar}$  同位素年代学及其流体包裹体特征[J]. 地质论评, 2006, 52(2): 266–274.  
Jiang Sihong, Nie Fengjun, Chen Weishi, et al.  $^{40}\text{Ar}$ – $^{39}\text{Ar}$

- geochronology and fluid inclusion features of the Nanjinshan gold deposit, Beishan Mt., Gansu Province[J]. Geological Review, 2006, 52(2): 266–274 (in Chinese with English abstract).
- [34] 沈远超, 申萍, 曾庆栋, 等. 甘肃北山地区南金山金矿床隐爆角砾岩体的发现及成矿规律研究[J]. 矿床地质, 2006, 25(5): 572–581. Shen Yuanchao, Shen Ping, Zeng Qingdong, et al. Discovery of cryptoexplosive breccia in Nanjinshan gold deposit of Beishan area, Gansu Province and study of metallogenic regularity[J]. Mineral Deposits, 2006, 25(5): 572–581 (in Chinese with English abstract).
- [35] 李嵩龄, 李文铅, 冯新昌, 等. 东天山尾亚复式岩株形成时代讨论[J]. 新疆地质, 2002, 20(4): 357–359. Li Songling, Li Wenqian, Feng Xinchang, et al. Age of formation of Weiya composite stocks in eastern Tianshan mountains[J]. Xinjiang Geology, 2002, 20(4): 357–359 (in Chinese with English abstract).
- [36] 王玉往, 王京彬, 王莉娟, 等. 新疆尾亚钒钛磁铁矿: 一个岩浆分异-贯入-热液型复成因矿床[J]. 矿床地质, 2005, 24(4): 389–397. Wang Yuwang, Wang Jingbin, Wang Lijuan, et al. Weiya vanadium-bearing titanomagnetite deposit in Xinjiang: A polygenetic magmatic differentiation magmatic injection magmatic hydrothermal deposit[J]. Mineral deposits, 24(4): 389–397 (in Chinese with English abstract).
- [37] 胡霁琴, 王中刚, 涂光炽. 新疆北部地质演化及成岩成矿规律[M]. 北京: 科学出版社, 1997, 1–246. Hu Aiqin, Wang Zhonggang, Tu Guangzhi. Geological Evolution and Diagenesis and Mineralization in Northern Xinjiang[M]. Beijing: Science Press, 1997, 1–246 (in Chinese with English abstract).
- [38] 陈富文, 李华芹, 蔡红, 等. 新疆东部金窝子金矿成因讨论[J]. 地质论评, 1999, 45(3): 247–254. Chen Fuwen, Li Huaqin, Cai Hong, et al. The origin of the Jinwozi gold deposit in eastern Xinjiang—Evidence from isotope geochronology[J]. Geological Review, 1999, 45(3): 247–254 (in Chinese with English abstract).
- [39] 周济元, 崔炳芳, 肖惠良, 等. 甘新北山东段裂谷演化及金矿成矿规律[J]. 火山地质与矿产, 2000, 21(1): 7–16. Zhou Jiyuan, Cui Bingfang, Xiao Huiliang, et al. The rift evolution and Au ore-forming regular in east part of Geishan, Gansu and Xinjiang[J]. Volcanology & Mineral Resources, 2000, 21(1): 7–16 (in Chinese with English abstract).
- [40] 李舫, 王涛, 童英, 等. 北山辉铜山泥盆纪钾长花岗岩锆石 U-Pb 年龄、成因及构造意义[J]. 岩石学报, 2011, 27(10): 3055–3070. Li Shan, Wang Tao, Tong Ying, et al. Zircon U-Pb age, origin and its tectonic significances of Huitongshan Devonian K-feldspar granites from Beishan orogen, NW China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(10): 3055–3070.
- [41] 崔惠文. 甘肃北山古岛弧期后张裂带及海相火山岩金矿[J]. 贵金属地质, 1996, 5(4): 306–314. Cui Huiwen. Post paleo-island arc epoch tension zones and marine volcanic rock gold deposits of Beishan area, Gansu Province[J]. Journal of Precious Metallic Geology, 1996, 5(4): 306–314 (in Chinese with English abstract).
- [42] 殷先明(主编). 甘肃岩金矿床地质[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 2000. Yin Xianming (ed.). Geology of Gold Deposits in Gansu Province[M]. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 2000 (in Chinese with English abstract).
- [43] 聂凤军, 江思宏, 胡明, 等. 甘肃小西弓金矿床成矿物质来源和成矿流体运移轨迹同位素示踪[J]. 地质地球化学, 2003, 34(4): 1–10. Nie Fengjun, Jiang Sihong, Hu Ming, et al. Ore-fluid evolution of the Xiaoxigong gold deposit hosted in Proterozoic metamorphic rocks, as deduced from sulfur, oxygen, hydrogen and lead isotopic evidence[J]. Geology-Geochemistry, 2003, 34(4): 1–10 (in Chinese with English abstract).
- [44] 李景春, 赵安生, 崔惠文. 北山北带地质构造特征[J]. 贵金属地质, 1996, 5(1): 59–65. Li Jingchun, Zhou Ansheng, Cui Huiwen. Characteristics of geological tectonic in north belt of Beishan[J]. Journal of Precious Metallic Geology, 1996, 5(1): 59–65 (in Chinese with English abstract).
- [45] 彭振安, 李红红, 张诗启, 等. 内蒙古北山地区小狐狸山钨矿成矿岩体地球化学特征研究[J]. 地质与勘探, 2010, 46(2): 291–298. Peng Zhen'an, Li Honghong, Zhang Shiqi, et al. Geochemical characteristics of Mo-mineralized granite in the Xiaohulishan deposit, Beishan area, Inner Mongolia[J]. Geology and Exploration, 2010, 46(2): 291–298 (in Chinese with English abstract).
- [46] 聂凤军, 江思宏, 赵省民, 等. 内蒙古流沙山金(钨)矿床地质特征及矿床类型的划分[J]. 地质地球化学, 2002, 30(1): 1–7. Nie Fengjun, Jiang Sihong, Zhao Shengmin, et al. Geological features and metallogenic type of the Liushashan gold (molybdenum) deposit in Ejina Qi (Prefecture), Western Inner Mongolia[J]. Geology-Geochemistry, 2002, 30(1): 1–7 (in Chinese with English abstract).
- [47] 李俊建. 内蒙古阿拉善地块区域成矿系统[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 1996: 126–133. Li Junjian. Regional Metallogenic System of Alashan Block in Inner Monolia Autonomous Region[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 1996: 126–133 (in Chinese with English abstract).
- [48] 李华芹, 陈富文. 中国新疆区域成矿作用年代学[M]. 北京: 地质出版社, 2004: 1–391. Li Huaqin, Chen Fuwen. Regional Metallogenic Geochronology of Xinjiang, China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004: 1–391 (in Chinese with English abstract).

- [49] 李华芹, 陈富文, 李锦轶, 等. 再论东天山白山钼铅矿区成矿成岩时代[J]. 地质通报, 2006, 25(8): 917-922.  
Li Huaqin, Chen Fuwen, Li Jinyi, et al. Age of mineralization and host rocks in the Beishan rhenium-molybdenum district, East Tianshan, Xinjiang, China: Revised[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(8): 917-922 (in Chinese with English abstract).
- [50] 何世平, 任秉琛, 姚文光, 等. 甘肃内蒙古北山地区构造单元划分[J]. 西北地质, 2002, 35(4): 30-40.  
He Shiping, Ren Bingchen, Yao Wenguang, et al. The division of tectonic units of Beishan area, Gansu- Inner Mongolia[J]. Northwestern Geology, 2002, 35(4): 30-40 (in Chinese with English abstract).
- [51] 龚全胜, 刘明强, 李海林, 等. 甘肃北山造山带类型及基本特征[J]. 西北地质, 2002, 35(3): 28-34.  
Gong Quansheng, Liu Mingqiang, Li Hailin, et al. The type and basic characteristics of Beishan orogenic belt, Gansu[J]. Northwestern Geology, 2002, 35(3): 28-34 (in Chinese with English abstract).
- [52] Chen B, Jahn B M, Wilde S, et al. Two contrasting Paleozoic magmatic belts in northern Inner Mongolia, China: Petrogenesis and tectonic implications[J]. Tectonophysics, 2000, 328: 157-182.
- [53] Miao L C, Fan W M, Liu D Y, et al. Geochronology and geochemistry of the Hegenshan ophiolitic complex: implications for late-stage tectonic evolution of the Inner Mongolia-Daxinganling orogenic belt, China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2008, 32: 348-370.
- [54] Zhang L F, Ai Y L, Li X P, et al. Triassic collision of western Tianshan orogenic belt, China: evidence from SHRIMP U-Pb dating of zircon from HP/UHP eclogitic rocks[J]. Lithos, 2007, 96: 266-280.
- [55] Miao L C, Zhang F Q, Fan W M, et al. Phanerozoic evolution of the Inner Mongolia-Daxinganling orogenic belt in North China: constraints from geochronology of ophiolites and associated formations[C]//Zhai M G, Windley B F, Kusky T M, (eds.). Mesozoic Sub-Continental Lithospheric Thinning Under Eastern Asia. Geological Society, London, Special Publication, 2007, 280: 223-237.
- [56] Jian P, Liu D Y, Kröner A, Windley B F, et al. Time scale of an early to mid-Paleozoic orogenic cycle of the long-lived Central Asian Orogenic Belt, Inner Mongolia of China: Implications for continental growth[J]. Lithos, 2008, 101: 233-259.
- [57] 李锦轶, 高立明, 孙桂华, 等. 内蒙古东部双井子中三叠世同碰撞壳源花岗岩及其对西伯利亚与中朝古板块碰撞时限的约束确定[J]. 岩石学报, 2007, 23(3): 565-582.  
Li Jinyi, Gao Liming, Sun Guihua, et al. Shuangjingzi middle Triassic syn-collisional crust-derived granite in the east Inner Mongolia and its constraint on the timing of collision between Siberian and Sino-Korean paleo-plates[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(3): 565-582 (in Chinese with English abstract).
- [58] 谢春林, 杨建国, 王立社, 等. 甘肃北山地区古亚洲南缘古生代岛弧带位置的讨论[J]. 地质学报, 2009, 83(11): 1584-1599.  
Xie Chunlin, Yang Jianguo, Wang Lishe, et al. Discussion on the Location of Paleozoic island arc zone on the south margin of Paleozoic Asian Ocean in the Beishan area of Gansu Province[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(11): 1584-1599 (in Chinese with English abstract).
- [59] 陈文, 张彦, 秦克章, 等. 新疆东天山剪切带型金矿床时代研究[J]. 岩石学报, 2007, 23(8): 2007-2016.  
Chen Wen, Zhang Yan, Qin Kezhang, et al. Study on the age of the shear zone-type gold deposit of East Tianshan, Xinjiang, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(8): 2007-2016 (in Chinese with English abstract).
- [60] 王清利, 陈文, 韩丹, 等. 新疆金窝子金矿床形成时代研究及成因机制讨论[J]. 中国地质, 2008, 35(2): 286-292.  
Wang Qingli, Chen Wen, Han Dan, et al. The age and mechanism of formation of the Jinwozi gold deposit, Xinjiang[J]. Geology in China, 2008, 35(2): 286-292 (in Chinese with English abstract).
- [61] Wang Y, Sun G H, Li J Y. U-Pb (SHRIMP) and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronological constraints on the evolution of the Xingxingxia shear zone, NW China: A Triassic segment of the Altyn Tagh fault system[J]. Geological Society of America, 2010, 122(3/4): 487-505.
- [62] Bonin B, Azzouni-Sekkal A, Bussy F, et al. Alkali-calcic and alkaline post-orogenic (PO) granite magmatism: petrologic constraints and geodynamic settings[J]. Lithos, 1998, 45: 45-70.
- [63] Jung S, Mezger K, Hoernes S, 1998. Petrology and geochronology of syn- to post-collisional metaluminous A-type granites—a major and trace element and Nd-Sr-Pb-O isotope study from the Proterozoic Damara Belt, Namibia[J]. Lithos, 45: 147-175.
- [64] 邓晋福, 莫宣学, 肖庆辉, 等. 地质事件序列与造山过程的pTt轨迹[J]. 岩石矿物学杂志, 2002, 21(4): 336-347.  
Deng Jinfu, Mo Xuanxue, Xiao Qinghui, et al. Sequence of geological events and pTt paths of orogenic processes[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2002, 21(4): 336-347 (in Chinese with English abstract).
- [65] 涂其军, 董连慧, 王克卓. 东天山东戈壁钼矿辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及地质意义[J]. 新疆地质, 2012, 30(3): 272-276.  
Tu Qijun, Dong Lianhui, Wang Kezhao. Molybdenite Re-Os dating and its geological implication for the East Gebi molybdenum deposit of the eastern Tianshan mountain in Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 2012, 30(3): 272-276.
- [66] Sillitoe R H, Thompson J F H. Intrusion-related vein gold deposits: types, tectono-magmatic settings, and difficulties of distinction from orogenic gold deposits[J]. Resource Geology, 1998, 48: 237-250.
- [67] Sawkins F J. Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics[M]. Springer-Verlag, 1984.

- [68] Groves D I, Goldfarb R J, Robert F, et al. Gold deposits in metamorphic belts: Overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance[J]. *Economic Geology*, 2003, 98: 1-29.
- [69] Goldfarb R J, Groves D I, Gardoll S. Orogenic gold and geological time: A global synthesis[J]. *Ore Geology Reviews*, 2001, 18: 1-75.
- [70] 殷勇, 殷先明. 甘肃北山重要金属矿床类型及找矿预测[J]. *甘肃地质*, 2008, 17(2): 9-18.  
Yin Yong, Yin Xianming. Main types of metal deposit and prospecting in Beishan area of Gansu Province[J]. *Gansu Geology*, 2008, 17(2): 9-18 (in Chinese with English abstract).
- [71] 李文明, 任秉琛, 杨兴科, 等. 东天山中酸性侵入岩浆作用及其地球动力学意义[J]. *西北地质*, 2002, 25(4): 24-41.  
Li Wenming, Ren Bingchen, Yang Xingke, et al. The intermediate-acid intrusive magmatism and its geodynamic significance in Eastern Tianshan region[J]. *Northwestern Geology*, 2002, 25(4): 24-41 (in Chinese with English abstract).
- [72] Li H Q, Chen F W, Lu F W, et al. New chronological evidence for Indosinian diagenetic mineralization in Eastern Xinjiang, NW China[J]. *Acta Geologica Sinica (English Edit ion)*, 2005, 79(2): 264-275.
- [73] 李华芹, 陈富文, 梅玉萍, 等. 新疆坡北基性-超基性岩带 I 号岩体 Sm-Nd 和 SHRIMP U-Pb 同位素年龄及其地质意义[J]. *矿床地质*, 2006, 25: 463-469.  
Li Huaqin, Chen Fuwen, Mei Yuping, et al. Dating of the No. 1 intrusion of Pobei mafic-ultramafic rocks belt, Xinjiang, and its geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 2006, 25: 463-469 (in Chinese with English abstract).
- [74] 王京彬, 王玉往, 周涛发. 新疆北部后碰撞与幔源岩浆有关的成矿谱系[J]. *岩石学报*, 2008, 24(4): 743-752.  
Wang Jingbin, Wang Yuwang, Zhou Taofa. Metallogenic spectrum related to post-collisional mantle-derived magma in north Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(4): 743-752 (in Chinese with English abstract).
- [75] 王京彬, 王玉往, 何志军. 东天山大地构造演化的成矿示踪[J]. *中国地质*, 2006, 33(3): 451-469.  
Wang Jingbin, Wang Yuwang, He Zhijun. Ore deposits as a guide to the tectonic evolution in the East Tianshan Mountains, NW China[J]. *Geology in China*, 2006, 33(3): 451-469 (in Chinese with English abstract).
- [76] 刘畅, 赵泽辉, 郭召杰, 等. 甘肃北山地区煌斑岩的年代学和地球化学及其壳幔作用过程讨论[J]. *岩石学报*, 2006, 22(5): 1294-1306.  
Liu Chang, Zhao Zehui, Guo Zhaojie, et al. Chronology and geochemistry of lamprophyre dykes from Beishan area, Gansu Province and implications for the crust-mantle interaction[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(5): 1294-1306 (in Chinese with English abstract).
- [77] 周涛发, 袁峰, 张达玉, 等. 新疆东天山觉罗塔格地区花岗岩类年代学、构造背景及其成矿作用研究[J]. *岩石学报*, 2010, 26(2): 478-502.  
Zhou Taofa, Yuan Feng, Zhang Dayu, et al. Geochronology, tectonic setting and mineralization of granitoids in Jueluotage area, eastern Tianshan, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(2): 478-502 (in Chinese with English abstract).
- [78] 顾连兴, 杨浩, 苟晓琴, 等. 东疆星星峡地区白石头泉高铷氟花岗岩的特征和成因[J]. *岩石学报*, 1994, 10(1): 41-53.  
Gu Lianxing, Yang Hao, Gou Xiaoqin, et al. Geology and genesis of the Baishitouquan high-rubidium and fluorine granites in Xingxingshia district of Hami County, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1994, 10(1): 41-53 (in Chinese with English abstract).

## Tectonic setting of Mesozoic magmatism and associated metallogenesis in Beishan area

MIAO Lai-cheng, ZHU Ming-shuai, ZHANG Fu-qin

*(Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)*

**Abstract:** The Central Asian Orogenic Belts (CAOB) resulted from evolution and final closure of the Paleo-Asian Ocean(s). Located in the central segment of the southern portion of the CAOB, the Beishan area, which refers to the conjunction region of Inner Mongolia, Gansu and Xinjiang, is one of the most important metallogenic belts in China, with abundant Cu, Mo, Au, Fe and base metal deposits. Two collisional events took place in the Beishan area during Late Paleozoic–Early Mesozoic: one occurred at the end of Late Paleozoic, which was related to the final closure of the CAOB, and the other took place in Early Mesozoic, resulting from the closure of the Carboniferous–Permian rifts in southern Beishan. As a consequence, the Beishan area was involved, in terms of temporal relations, in a collision to post-collision stage in Indosinian epoch of Mesozoic period, during which large-scale ductile shear zones and intensive magmatism as well as associated metallic mineralization occurred. The Mesozoic magmatism, which is predominated by intermediate–felsic intrusions locally with minor basic ones, is characterized by plutonic intrusive facies, without extrusive counterpart. Petrogenically, S-, I- and A-type granites have been delineated in the area. Types of Mesozoic mineral deposits in the area mainly include porphyry-type Mo mineralization, which is associated with I-and/or A-type granites, W (Sn) deposits associated with S-type granites, skarn-type Au–Ag–Cu polymetallic deposits associated with intermediate–felsic intrusions, and Au deposits related to granitic intrusions and controlled by ductile shear zones. Indosinian epoch is the latest period of major magmatism and metallic mineralization in the area, to which more attentions should be paid since the Indosinian granitoid intrusions and associated mineral deposits may be much more extensive and abundant than recognized presently.

**Key words:** Mesozoic magmatism; post-collisional period; metallogenic tectonic setting; Beishan; Central Asian Orogenic Belt

---

**About the first author:** MIAO Lai-cheng, male, born in 1966, Doctor, associate research fellow, engages in the study of metallogenic tectonics; E-mail: miaolc@mail.iggcas.ac.cn.