

中亚造山系中南段早中生代花岗岩类时空分布特征及构造环境

李 舫, 王 涛, 童 英

(中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037)

摘 要: 依据锆石 U-Pb 年龄, 中亚造山系中南段早中生代花岗岩类大致可以划分出早中三叠世(251~227 Ma)和晚三叠世—早侏罗世(226~195 Ma)两个阶段。早中三叠世花岗岩类, 主要分布于东天山造山带中东部、北山造山带中北部、中蒙古地块、阿尔泰造山带西段及内蒙古—吉林造山带中西部地区, 多沿板块缝合带及附近展布, 具有准铝质—弱过铝质的钙碱性—高钾钙碱性或弱碱性花岗岩的特点, I 型、S 型和 A 型或 I-A 型花岗岩均有出露, 且同期的超镁铁质—镁铁质岩少见。晚三叠世—早侏罗世花岗岩类, 较广泛分布于全区各造山带, 具有准铝质—弱过铝质的高钾钙碱性—碱性花岗岩的特点, 大都为 A 型和 I-A 型花岗岩, 部分具有高分异 I 型花岗岩的特点, 且同期的超镁铁质—镁铁质岩较发育。早期花岗岩类的稀土元素总量(ΣREE)高于晚期, 但晚期较早期具显著负铈异常, 晚期花岗岩 Ba、Nb、Sr、P 和 Ti 的亏损程度较早期更明显一些。花岗岩 Sr-Nd 同位素特征显示, 华北北缘具有非常低的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值($-19.6 \sim -5.4$)和老的 t_{DM} 值(1.23~2.09 Ga), 以古老陆壳为其主要源区; 北蒙古—西外贝加尔造山带和内蒙古—吉林造山带主体以年轻物源为主, 中蒙古地块、阿尔泰造山带、东天山造山带和北山造山带在以古老微陆块为花岗岩源区的构造背景下, 有部分年轻幔源组分的贡献, 总体显示出早期以壳源和幔源的双源为特点, 晚期以幔源为主, 从早期到晚期有年轻幔源组分递增的趋势。大量新生地壳主要分布在鄂霍茨克带及其邻区, 但在一些老的微陆块上, 后造山或后碰撞阶段也有较多年轻幔源岩浆的底侵而导致地壳垂向生长。早中三叠世花岗岩类在中亚造山系西部地区为后造山构造背景, 东部地区为同造山作用的晚期阶段, 晚三叠世—早侏罗世花岗岩类为后造山或非造山或板内伸展构造背景。

关键词: 花岗岩; 锆石年龄; 同位素特征; 构造环境; 早中生代; 中亚造山系

中图分类号: P588.12⁺1; P54

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2010)06-0642-21

Spatial-temporal distribution and tectonic settings of Early Mesozoic granitoids in the middle-south segment of the Central Asia Orogenic System

LI Shan, WANG Tao and TONG Ying

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

Abstract: The Central Asian Orogenic System (CAOS) is one of the largest accretionary orogenic belts characterized by the highest rate of Phanerozoic continental growth in the world. In recent years, extensive studies of the orogenic belts have been conducted, focused mainly on Paleozoic accretionary processes and granitic magmatism. By contrast, Mesozoic magmatism and tectonism are poorly understood. This paper tries to analyze and discuss temporal-spatial distribution and tectonic setting of the early Mesozoic granite magmatism. According to

收稿日期: 2010-04-04; 修订日期: 2010-06-22

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(2007CB411307); 中国地质调查局资助项目(1212010611803); 中俄国际合作基金(40472101)

作者简介: 李舫(1983-), 男, 硕士研究生, 研究方向为花岗岩与大地构造, E-mail: lishan428@163.com; 通讯作者: 王涛, 博士生导师, 从事花岗岩、构造地质研究, E-mail: taowang@cags.net.cn。

zircon U-Pb ages, the Early Mesozoic granitoids in the middle-south segment of the Central Asian Orogenic System can be roughly divided into two stages, i. e., early-middle Triassic (251~227 Ma) and late Triassic-early Jurassic (226~195 Ma). The early-middle Triassic rocks consist mainly of the monzogranite-granodiorite-syenite assemblage. These granitoids are distributed in such areas as the east-middle part of the East Tianshan orogenic belt, the north-middle part of the Beishan orogenic belt, the central Mongolian block, the western part of the Altay orogenic belt and the middle-western region of the Inner Mongolia-Jilin orogenic belt. They are spread along or near the suture zones. The granitoids have metaluminous-weakly peraluminous, calc-alkaline-high-K calc-alkaline or weak alkaline features. I-, S- and A-type or I-A type granites are all exposed. Some ultramafic-mafic rocks are associated with these granitoids. The late stage rocks widely occurring in every orogenic belt are composed of the alkali feldspar granite-K-feldspar granite-monzogranite-alkali feldspar quartz syenite assemblage. They are characterized by metaluminous-weakly peraluminous, high-K calc-alkaline or alkaline granites. Most of them are of A-type and I-A type. Some of them have the characteristics of highly fractionated I-type granites. There exist voluminous coeval ultramafic-mafic rocks. The early-middle Triassic granitoids have a higher ΣREE content, while the late ones have a significant negative Eu anomaly and are more depleted in Ba, Nb, Sr, P and Ti. The Sr-Nd isotopic characteristics reveal that the granitoids in the northern margin of the North China Craton show very low $\epsilon\text{Nd}(t)$ values ($-19.6 \sim -5.4$) and the old t_{DM} values (1.23~2.09 Ga), suggesting derivation from an ancient continental crust: those in the north Mongolia-west Transbaikalia orogenic belt and Inner Mongolia-Jilin orogenic belt were derived from a young source, whereas those in central Mongolian block, Altay orogenic belt, East Tianshan orogenic belt and Beishan orogenic belt were derived from an ancient microcontinental crust with some contributions of young mantle-derived components. In general, the early-middle Triassic granitoids were derived from dual-sources, while the late Triassic-early Jurassic granitoids mainly from the mantle source. Mantle-derived components have an increasing trend from early to late ones. Juvenile compositions of major sources for the granitoids were distributed in the Okhotsk belt and its adjacent areas, and also contributed by the ancient continental crust through underplating of young mantle-derived magma, leading to vertical continental growth in the post-orogenic or post-collision stage. According to recent researches, the early-middle Triassic granitoids in the eastern and western regions show some differences in tectonic settings. The north Mongolia-west Transbaikalia orogenic belt seems to show an intraplate tectonic setting of the continental rift. The central Mongolian block may represent the late stage of the syn-orogenic setting. The Altay orogen and the East Tianshan orogen are described as a post-orogenic extensional setting. The Beishan orogen reflects the late orogenic collision or post-orogenic tectonic setting. The Inner Mongolia-Jilin orogenic belt has the syn-orogenic characteristics. The late Triassic granitoids mainly reflect a post-orogenic, non-orogenic or intraplate extensional tectonic setting.

Key words: granitoids; zircon U-Pb age; isotope characteristics; tectonic setting; Early Mesozoic; Central Asian Orogenic System

中亚造山系(CAOS)是世界上最大的显生宙增生造山带和大陆地壳生长地区(Sengör *et al.*, 1993; Wickham *et al.*, 1996; Jahn *et al.*, 2000a, 2000b; Kovalenko *et al.*, 2004; Xiao *et al.*, 2008, 2009a, 2009b)。近年来,对中亚造山系早中生代增生过程(Windley *et al.*, 2002, 2007; Badarch *et al.*, 2002; Kovalenko *et al.*, 2003a; Xiao *et al.*, 2004, 2008, 2009a, 2009b; Yarmolyuk *et al.*,

2005; Sorokin *et al.*, 2007a)和花岗质岩浆作用(Wang *et al.*, 2006; 董英等, 2007; Yuan *et al.*, 2007; Sun *et al.*, 2008)以及晚古生代后造山过程和花岗质岩浆事件的研究较多(韩宝福等, 2006; Kovalenko *et al.*, 2006; Yarmolyuk *et al.*, 2007, 2008; Kozakov *et al.*, 2007; Li *et al.*, 2008; Jahn *et al.*, 2009),但对中生代的岩浆作用及构造事件研究相对较少(Yarmolyuk *et al.*, 2005; Wang *et al.*,

2008)。已有研究显示,中亚造山系的东部地区(如中国东北和俄罗斯远东地区)广泛出露有中生代的岩浆岩(Wu *et al.*, 2000, 2007; Sorokin *et al.*, 2007b; Xu *et al.*, 2009);中亚造山系西部地区(如阿尔泰地区)最近也识别出一些中生代的岩浆活动(Vladimirov *et al.*, 2005; 朱永峰, 2007; 韩宝福, 2008; Wang *et al.*, 2010);中亚造山系中部(如蒙古地区)及邻区中生代岩浆事件也日益受到关注(Yarmolyuk *et al.*, 2002; Kovalenko *et al.*, 2003b, 2003c; Jahn *et al.*, 2004, 2009)。而且近年来中亚造山系南缘(如东天山、北山和内蒙古-吉林造山带)中生代构造岩浆事件也逐渐引起了学者的广泛注意(石玉若等, 2004; Zhang *et al.*, 2005; 李锦轶等, 2007; Chen *et al.*, 2009)。

这些研究和发现为系统探讨中亚造山系早中生代岩浆作用及构造环境提供了信息,但是目前这些侵入岩的时空分布还不十分清楚,岩石组合特征及成因类型还有待查明,构造环境也存在一定的争议。因此,本文在系统收集和整理中亚造山系中南段早中生代侵入岩的年代学、地球化学和同位素等资料的基础上,综合分析和探讨了该区早中生代花岗岩岩浆活动的特点、时空分布特征和构造环境以及大陆地壳的生长等重要问题。

1 地质背景-构造单元

研究区作为中亚造山系的主体部分,为北方的西伯利亚克拉通与南方的华北板块、塔里木克拉通之间的广阔而复杂的中亚造山系中南部地区(图1)。该区以蒙古主中央构造线——额尔齐斯缝合带为界划分为南北两大构造域(Badarch *et al.*, 2002; Badarch, 2005; Windley *et al.*, 2007),进而划分出14个大地构造单元(任纪舜等, 1999)。北构造域包括7个构造单元(任纪舜等, 1999; 李锦轶等, 2009)北蒙古-西外贝加尔造山带、中蒙古地块、鄂霍茨克造山带、额尔古纳地块、西萨彦湖区造山带、图瓦蒙古地块、阿尔泰造山带,主要由前寒武系和下古生界组成,主体属早中中生代造山带。南部构造域也包括7个构造单元(任纪舜等, 1999; 李锦轶等, 2009)斋桑准噶尔造山带、准噶尔-吐哈盆地、天山造山带、北山造山带、南蒙古-兴蒙造山带、内蒙古-吉林造山带和温都尔庙造山带,主要由古生界组成,主体属晚古生代造山带。据现有资料,北构造域内鄂霍茨克造山带、额尔古纳

地块、西萨彦湖区造山带、图瓦蒙古地块,南构造域内斋桑准噶尔造山带、准噶尔-吐哈盆地、南蒙古-兴蒙造山带、温都尔庙造山带目前尚缺少早中生代花岗岩类锆石 U-Pb 年代学及地球化学资料。

结合区域资料,该区新元古代晚期大陆裂解形成古亚洲洋,石炭纪晚期—二叠纪初期塔里木与西伯利亚古板块碰撞拼贴,潘吉亚大陆形成(Li, 2006; 李锦轶等, 2006a, 2009)。该区东部,华北克拉通与西伯利亚克拉通之间的洋盆持续到了二叠纪中期,相关造山作用可能持续到三叠纪(Xiao *et al.*, 2003, 2009a; 李锦轶等, 2007, 2009; Lin *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2009)。早中生代受三大板块碰撞的影响,该区地壳大规模缩短和加厚,至晚侏罗世—早白垩世,中蒙邻区构造应力转为以拉张为主,形成大规模的变质核杂岩和与裂谷有关的花岗岩(Graham *et al.*, 2001; Meng *et al.*, 2003)。中国北方地区晚海西至印支期构造区带分布于西部的甘肃北山,并经林西向东延伸至长春(李锦轶等, 2007, 2009)。

2 早中生代侵入岩的时空分布

早中生代侵入岩主要分布在研究区中东部(中蒙古-西外贝加尔地区)及南缘地区,年龄变化范围为 196~253 Ma。

北蒙古-西外贝加尔造山带早中生代侵入岩的年龄为 207~230 Ma;中蒙古地块为 211~253 Ma,以 228~253 Ma 居多;阿尔泰造山带为 196~245 Ma,主要为 228~200 Ma;东天山造山带为 210~253 Ma,主要为 229~251 Ma;北山造山带为 221~238 Ma;内蒙古-吉林造山带为 204~248 Ma;华北地块北缘为 203~250 Ma,以 203~228 Ma 居多(图1、图2、表1、表2)。

2.1 北蒙古-西外贝加尔造山带

该带中元古代晚期至早古生代为古太平洋增生区,由具有陆壳基底或岛弧及含古洋岩石圈残片的增生碰撞杂岩组成(Badarch *et al.*, 2002; 李锦轶等, 2009)。晚古生代—早中生代时期发育中亚地区巨大(约 2 000 km×200 km)的花岗岩带(Yarmolyuk *et al.*, 2002; Kevolenko *et al.*, 2004),出露有双峰式火山岩组合并伴随有大量的过碱性花岗岩(295~188 Ma)。早中生代花岗岩主要出露在北蒙古的色楞格一带和西外贝加尔中南部地区(Vorontsov *et al.*, 2007; Jahn *et al.*, 2009)。其中 Kharitonovo 杂

表1 中亚造山系中南段早中生代侵入岩的时代

Table 1 Ages of Early Mesozoic intrusive rocks in the middle-south segment of CAOS

序号	构造单元	岩体	岩性	年龄/Ma	误差	方法	资料来源	年龄引用序号
1	北蒙古-西外贝加尔	Kharitonovo Complex	过碱性正长岩	229	±1	TIMS	Jahn 等(2009)	34
2	北蒙古-西外贝加尔	Kharitonovo Complex	正长岩-花岗岩	230	±1	TIMS	Jahn 等(2009)	34
3	北蒙古-西外贝加尔	Malo-Kunalei pluton	过碱性石英正长岩	219	±1	TIMS	Jahn 等(2009)	34
4	北蒙古-西外贝加尔	Atha	过碱性花岗岩	210		TIMS	Jahn 等(2009)	34
5	北蒙古-西外贝加尔	Zhanchivlan massif	斜长花岗岩	207	±6.8	U-Pb	Yarmolyuk 等(2002)	33
6	北蒙古-西外贝加尔	Zhanchivlan massif	花岗岩	217	±2.7	U-Pb	Yarmolyuk 等(2002)	33
7	北蒙古-西外贝加尔	Zhanchivlan massif	淡色花岗岩	227	±8	U-Pb	Yarmolyuk 等(2002)	33
8	北蒙古-西外贝加尔	Kharkhorin massif	花岗岩-花岗正长岩	228	±2.7	U-Pb	Yarmolyuk 等(2002)	33
9	中蒙古	Hangay batholith	花岗岩	252	±3	U-Pb	Budnikov 等(1999)	30
10	中蒙古	Hangay batholith	花岗岩	253	±2	U-Pb	Budnikov 等(1999)	30
11	中蒙古	Nariyn Teel pluton	花岗岩	229	±6	SHRIMP	Jahn 等(2004)	31
12	中蒙古	Dzarkhyngol	花岗岩	211	±1.5	U-Pb	Yarmolyuk 等(2002)	33
13	中蒙古	Guchin Us massif	花岗岩	241.3	±1.5	SHRIMP	Orolmaa 等(2008)	30
14	阿尔泰	Uench River	花岗岩	240	±5	U-Pb	Kozakov 等(1997)	38
15	阿尔泰	矿山阿尔泰	花岗岩	231		TIMS	Vladimirov 等(1997)	1
16	阿尔泰	矿山阿尔泰	花岗岩	225		TIMS	Vladimirov 等(2001)	2
17	阿尔泰	卡尔古特	花岗岩	216	±3	TIMS	Annikova 等(2006)	3
18	阿尔泰	哈-俄阿尔泰	花岗岩	197	±1	U-Pb	Vladimirov 等(2005)	35
19	阿尔泰	哈-俄阿尔泰	花岗岩	196	±4	U-Pb	Vladimirov 等(2005)	35
20	阿尔泰	哈-俄阿尔泰	花岗岩	245	±2	U-Pb	Vladimirov 等(2005)	35
21	阿尔泰	哈-俄阿尔泰	花岗岩	245	±7	U-Pb	Vladimirov 等(2005)	35
22	阿尔泰	哈-俄阿尔泰	花岗岩	231	±11	U-Pb	Vladimirov 等(2005)	35
23	阿尔泰	哈-俄阿尔泰	花岗岩	225	±4	U-Pb	Vladimirov 等(2005)	35
24	阿尔泰	阿拉尔	花岗岩	212	±2	TIMS	Wang 等(2008)	4
25	阿尔泰	可可托海	3号伟晶岩	218.4	±6	SHRIMP	Zhu 等(2006)	6
26	阿尔泰	可可托海	3号伟晶岩	220	±9	SHRIMP	Wang 等(2007)	5
27	阿尔泰	可可托海	3号伟晶岩	198	±7	SHRIMP	Wang 等(2007)	5
28	阿尔泰	可可托海	3号伟晶岩	212	±6	SHRIMP	Wang 等(2007)	5
29	阿尔泰	尚可兰	花岗岩	202	±4	SHRIMP	Wang 等(2008)	4
30	阿尔泰	阿拉尔	花岗岩	210	±3	LA-ICPMS	Wang 等(2008)	4
31	西天山	托木尔峰	碱长花岗岩	250		TIMS	周泰禧等(2000)	36
32	西天山	托木尔峰	英云闪长岩	218		TIMS	周泰禧等(2000)	36
33	东天山	天湖	黑云母花岗闪长岩	221.6		U-Pb	胡霭芹等(1997)	16
34	东天山	白山东	二长花岗岩	240.62		U-Pb	李嵩龄等(2002)	14
35	东天山	白山南	斜长花岗斑岩	236		TIMS	李华芹等(2006)	12
36	东天山	尾亚	环状二长花岗岩	219.4		TIMS	李华芹等(2004)	9
37	东天山	鄯善采石场	钾长花岗岩	252.7	±7	TIMS	李文明等(2002)	7
38	东天山	鄯善采石场	钾长花岗岩	230	±2.3	TIMS	李文明等(2002)	7
39	东天山	天湖	花岗闪长岩	209.7		SHRIMP	李华芹等(2004)	9
40	东天山	白山东	黑云母斜长花岗岩	239	±8	SHRIMP	李华芹等(2006)	12
41	东天山	尾亚	辉长岩	236	±6	SHRIMP	Zhang 等(2005)	8
42	东天山	尾亚	石英正长岩	246	±6	SHRIMP	Zhang 等(2005)	8
43	东天山	尾亚	石英闪长岩	233	±8	SHRIMP	Zhang 等(2005)	8
44	东天山	尾亚	细粒花岗岩	237	±8	SHRIMP	Zhang 等(2005)	8
45	东天山	尾亚	辉长岩	233.4	±8.6	SHRIMP	Li 等(2005)	11
46	东天山	尾亚	辉长岩	236	±3	SHRIMP	王玉往等(2008)	10
47	东天山	星星峡	黑云母花岗岩	236	±4	SHRIMP	Wang 等(2010)	40
48	东天山	土墩	钾长花岗岩	246.2	±2.6	LA-ICPMS	周涛发等(2010)	41
49	北山	马鞍山北	角闪黑云二长花岗岩	237.8	±4.3	TIMS	刘明强等(2006)	13
50	北山	老金厂西	花岗闪长岩	237		U-Pb	崔惠文(1996)	17
51	北山	花牛山	碱长花岗岩	221	±3	SHRIMP	本文	39
52	北山	花西滩西	石英正长岩	228	±4	LA-ICPMS	毛启贵(2008)	37

续表 1

Continued Table 1

序号	构造单元	岩体	岩性	年龄/Ma	误差	方法	资料来源	年龄引用 序号
53	北山	大豁落山南	石英二长岩	238	±1	LA-ICPMS	本文	39
54	内蒙古吉林	沙廷敖包	霓辉二长岩、石英正长岩	232~248		U-Pb	许保良等(2001)	20
55	内蒙古-吉林	亚干	花岗岩	228	±7	TIMS	Wang等(2004)	18
56	内蒙古-吉林	龙头山	花岗岩	240.7	±3.2	SHRIMP	Liu等(2009)	27
57	内蒙古-吉林	双井子	二云母花岗岩	229.2	±4.1	SHRIMP	李锦铎等(2007)	25
58	内蒙古-吉林	双井子	二云母花岗岩	237.2	±2.7	SHRIMP	李锦铎等(2007)	25
59	内蒙古-吉林	哈拉图	花岗岩	222	±6	SHRIMP	石玉若等(2004)	26
60	内蒙古-吉林	哈拉图	花岗岩	204	±12	SHRIMP	石玉若等(2004)	26
61	内蒙古-吉林	哈拉图北	二长花岗岩	222	±4	SHRIMP	石玉若等(2004)	26
62	内蒙古-吉林	哈拉图	花岗岩	234	±7	SHRIMP	Chen等(2009)	29
63	内蒙古-吉林	查干敖包	石英闪长岩	237	±6	SHRIMP	张万益等(2008)	28
64	华北北缘	巴音满都拉	花岗岩	237~256		U-Pb	陶继雄等(2003)	22
65	华北北缘	那日图	花岗岩	208		U-Pb	陶继雄等(2003)	22
66	华北北缘	板申图	花岗岩	217~227		U-Pb	陶继雄等(2003)	22
67	华北北缘	板申图	花岗岩	211~219		U-Pb	陶继雄等(2003)	22
68	华北北缘	查干陶勒盖	黑云母钾长花岗岩	234	±8	U-Pb	张永清等(2002)	23
69	华北北缘	巴布哈拉	钾长花岗岩	235	±4	U-Pb	张永清等(2002)	23
70	华北北缘	来得记	黑云母花岗岩	228.5		U-Pb	王廷印等(1998)	21
71	华北北缘	盘山	细粒黑云母二长花岗岩	205.3	±2.5	SHRIMP	马寅生等(2007)	24
72	华北北缘	盘山	斑状石英二长岩	207.6	±3.5	SHRIMP	马寅生等(2007)	24
73	华北北缘	盘山	中粒二长花岗岩	203.3	±4.5	SHRIMP	马寅生等(2007)	24
74	华北北缘	盘山	含斑石英二长岩脉	205.8	±2.3	SHRIMP	马寅生等(2007)	24
75	华北北缘	光头山	碱性花岗岩	220	±5	U-Pb	韩宝福等(2004)	未标注
76	华北北缘	韩家店	石英二长岩	250	±4	TIMS	毛德宝等(2003)	未标注
77	华北北缘	韩家店	正长花岗岩	247	±3	TIMS	毛德宝等(2003)	未标注
78	华北北缘	韩家店	二长花岗岩	247	±2	TIMS	毛德宝等(2003)	未标注
79	华北北缘	小张家口	透辉石岩	220	±5	SHRIMP	田伟等(2007)	未标注
80	华北北缘	建平	正长花岗岩脉	241	±2	LA-ICPMS	Zhang等(2009)	未标注
81	华北北缘	建平	二长花岗岩	237	±1	LA-ICPMS	Zhang等(2009)	未标注
82	华北北缘	都山	花岗岩	223	±2	SHRIMP	罗镇宽等(2003)	未标注
83	华北北缘	都山	花岗斑岩脉	222	±4	SHRIMP	罗镇宽等(2003)	未标注
84	华北北缘	柏杖子	花岗岩	222	±3	SHRIMP	罗镇宽等(2004)	未标注
85	华北北缘	西台子	二长花岗岩	218	±4	SHRIMP	苗来成等(2003)	未标注
86	华北北缘	矾山	辉石正长岩	218	±2	SHRIMP	任荣等(2009)	未标注

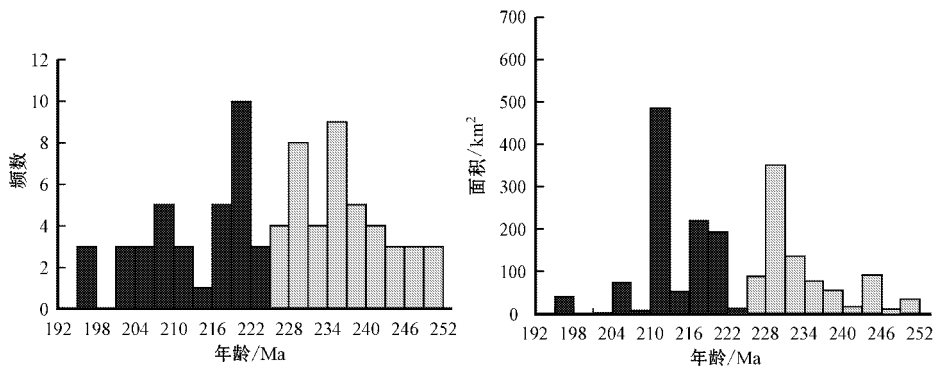


图 2 中亚造山系中南段早中生代花岗岩锆石 U-Pb 年龄及出露面积柱状图

Fig. 2 Histogram of zircon U-Pb age and exposed area of Early Mesozoic granitoids in the middle-south segment of CAOS

岩带的过碱性正长岩的锆石 U-Pb 年龄为 229 ± 1 Ma, 铝质正长岩和花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为 230 ± 1 Ma; Malo-Kunalei 岩体的过碱性石英正长岩锆石 U-Pb 年龄为 219 ± 1 Ma; Atha 岩体的过碱性花岗岩的锆石 U-Pb 年龄大致为 210 Ma (Jahn *et al.*, 2009); Khentei-Dauriy 花岗闪长岩-花岗岩岩基 U-Pb 锆石年龄为 225~195 Ma (Yarmolyuk *et al.*, 2002; Kovalenko *et al.*, 2003b); 中部(Dzarkhyngol 地块)黑云母花岗岩的年龄为 211 ± 1.5 Ma, 南部边缘 Zhanchivlan 地区的花岗闪长岩和 Gorikhin 型黑云母花岗岩的年龄为 217 ± 2.7 Ma, Modotin 型的淡色花岗岩年龄为 227 ± 8 Ma, 含 Li-F 的 Sharakhadin 型花岗岩的年龄为 195.3 ± 0.6 Ma (Kovalenko *et al.*, 2003a) (图 1、图 2、表 1)。

2.2 中蒙古地块

中蒙古地块是以 Hangay 地区的前寒武纪微陆块为核心的围绕着古生代岛弧、弧后/弧前盆地、俯冲增生杂岩组成, 早中生代花岗岩主要出露在 Hangay-Hentey 一带 (Badarch *et al.*, 2002; Kevolenko *et al.*, 2004; Windley *et al.*, 2007)。该区主要出露有 253~228 Ma 的侵入岩, 主要分布在巴彦洪戈尔—乌兰巴托一带, 以发育大面积的早中三叠世 Hangay 岩基为代表 (Yarmolyuk *et al.*, 2002; Jahn *et al.*, 2004; Orolmaa *et al.*, 2006, 2008)。其中蒙古巴彦洪戈尔地区 Nariyn Teel 岩体的黑云母正长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 230 ± 6 Ma, Daltyn-Am 岩株和 Hangay 岩基的黑云母-全岩 Rb-Sr 等时线给出的最小年龄分别为 242 Ma 和 234 Ma (Jahn *et al.*, 2004); Hangay 岩基 Guchin Us 岩体的花岗闪长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 241.3 ± 1.5 Ma (Orolmaa *et al.*, 2008) (图 1、图 2、表 1)。

2.3 阿尔泰造山带

阿尔泰造山带为西伯利亚古板块的一部分, 出露有前寒武纪微陆块、蛇绿混杂岩、岛弧-俯冲增生楔 (Xiao *et al.*, 2004, 2009a; 李锦轶等, 2006a; Windley *et al.*, 2007) 及大面积的古生代花岗岩类 (韩宝福等, 2006; Wang *et al.*, 2006, 2008, 2009; Yuan *et al.*, 2007; Sun *et al.*, 2008)。早中生代花岗岩主要分布于中俄蒙哈阿尔泰地区, 时代上显示为两组: ①245~228 Ma 侵入岩多出露在该单元西部蒙俄哈阿尔泰地区, 并与晚期花岗岩伴生。其中俄罗斯阿尔泰花岗岩-淡色花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为 253~180 Ma (Vladimirov *et al.*, 2001, 2005),

Uench River 中部地区也曾发现有 240 ± 5 Ma (U-Pb 年龄) 的花岗岩 (Kozakov *et al.*, 1997), Artukol 地块的花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 237 ± 4.4 Ma (Gusev, 2003), 且发育有同期的碱性镁铁质岩脉 (Pavlova *et al.*, 2008); ②225~196 Ma 侵入岩在该带均有分布。其中卡尔古特岩体的锆石 U-Pb 年龄为 216~218 Ma (Vladimirov *et al.*, 2001, 2005; Annikova *et al.*, 2006), 蒙古阿尔泰 Chigerte 和 Sagsai 地块中的淡色花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为 225 ± 10 Ma (Demin *et al.*, 2001), 新疆阿尔泰阿拉尔地区黑云母二长花岗岩 U-Pb 锆石年龄为 212 ± 2 Ma 和 210 ± 3 Ma, 尚兰地区黑云母花岗闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 202 ± 4 Ma (Wang *et al.*, 2008); 并且发育伟晶岩 (198~220 Ma) 可能是其特色之一 (Wang *et al.*, 2007) (图 1、图 2、表 1)。

2.4 东天山造山带

天山造山带出露有前寒武纪古陆碎块、古生代陆缘岩系和洋岩石圈残片等, 该区古洋盆可能于石炭纪晚期关闭 (李锦轶等, 2006a, 2006b)。现有的年龄资料显示早中生代侵入岩主要出露在东天山地区, 而西天山仅在霍什布拉克 (230 Ma) 及托木尔峰地区 (218~250 Ma) 显示可能存在早中生代花岗岩类的迹象 (周泰禧等, 2000; 杨富全等, 2001)。时代上显示可分为明显的两组: ①253~228 Ma 侵入岩主要分布在东天山中东部地区。其中东天山尾亚地区辉长岩、石英正长岩、角闪玢岩、花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为 236 ± 6 Ma、 246 ± 6 Ma、 233 ± 8 Ma 和 237 ± 8 Ma (Zhang *et al.*, 2005); 尾亚钒钛磁铁矿含矿辉长岩的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄为 236 ± 3 Ma (王玉往等, 2008), 鄯善采石场钾长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为 230 ± 2.3 Ma (李文明等, 2002); 白山东黑云母斜长花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 239 ± 8 Ma (李华芹等, 2006); 星星峡黑云母花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为 236 ± 4 Ma (Wang *et al.*, 2010); 土墩钾长石花岗岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄为 246.2 ± 2.6 Ma (周涛发等, 2010); ②222~210 Ma 侵入岩在该区数据较少, 其中天湖地区花岗闪长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 209.7 Ma (李华芹等, 2004), 并发育有同期的辉绿岩及煌斑岩脉 (王涛等, 2008) (图 1、图 2、表 1)。

2.5 北山造山带

北山造山带出露有前寒武纪地块、蛇绿混杂岩、岛弧-俯冲增生杂岩及大面积的古生代花岗岩类 (左

国朝等,1990;聂凤军等,2002),而该区古洋盆可能于晚古生代晚期闭合(李锦轶等,2006b,2009)。该构造单元早中生代侵入岩研究一直比较薄弱,缺少可靠的锆石 U-Pb 年龄数,研究程度很低。早中三叠世侵入岩零星出露在该带中北部地区。其中北部马鞍山北角闪黑云二长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄(TIMS法)为 237.8 ± 4.3 Ma(刘明强等,2006);笔者在大豁落山南获得锆石 U-Pb 年龄为 238 Ma 左右的石英二长岩的年龄。而晚三叠世侵入岩目前仅见于该带南部地区。最近在甘肃柳园地区测得的花牛山钾长花岗岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 221 ± 3 Ma(另文发表),且柳园地区也出露有 220~240 Ma 的煌斑岩脉(刘畅等,2006)(图 1、图 2、表 1)。

2.6 内蒙古-吉林造山带

内蒙古-吉林造山带出露有前寒武纪地块、蛇绿混杂岩、岛弧-俯冲增生杂岩及大面积的晚古生代花岗岩类,该区古洋盆可能于二叠纪晚期—三叠纪闭合(Xiao *et al.*, 2003, 2009b; 李锦轶等, 2007, 2009; Chen *et al.*, 2009)。该区早中生代花岗岩零星分布,时代上也大致反映出两个年龄段:①248~229 Ma 侵入岩多出露在该单元中西部地区,其中内蒙古双井子地区二云母花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 229.2 ± 4.1 Ma 和 237.5 ± 2.7 Ma(李锦轶等, 2007);中蒙边境亚干地区糜棱岩化的石英二长岩和二长花岗岩锆石 U-Pb(TIMS)年龄为 230 ± 7 Ma(Wang *et al.*, 2004);哈拉图花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 234 ± 7 Ma(Chen *et al.*, 2009);渣干敖包石英闪长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 237 ± 6 Ma(张万益等,2008);②228~204 Ma 侵入岩主要分布在苏尼特左旗到索伦一带,其中哈拉图地区花岗岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 222 ± 6 Ma 和 204 ± 12 Ma(石玉若等,2004);苏尼特左旗地区 A 型花岗岩锆石 U-Pb 年龄均为 222 ± 4 Ma(石玉若等,2007)(图 1、图 2、表 1)。

2.7 华北地块北缘带

华北地块北缘为阴山-燕山及其以北地区,是一条经历了中元古代裂谷、早古生代弧陆碰撞、晚古生代晚期安第斯型大陆边缘及晚三叠世—中三叠世碰撞造山和中晚侏罗世陆内造山的复合造山带(李锦轶等,2009)。该区早中生代花岗岩主要分布在阴山—燕山及辽西等地区(阎国翰等,2000),相对其北侧内蒙古-吉林造山带花岗岩年龄稍显年轻。早中三叠世侵入岩多出露在该单元的中东部地区。其中,

韩家店二长花岗岩的 TIMS 锆石 U-Pb 年龄为 247 ± 2 Ma(毛得宝等,2003),建平地区正长花岗岩脉和二长花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 241 ± 2 Ma 和 237 ± 1 Ma(Zhang *et al.*, 2009)。晚三叠世侵入岩在该带分布较广泛。其中燕山中段盘山花岗岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 203~208 Ma 之间(马寅生等,2007),矾山岩体辉石正长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 218 ± 2 Ma(任荣等,2009),光头山碱性花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 220 ± 1 Ma(韩宝福等,2004),都山和柏杖子花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为 223 ± 2 Ma 和 222 ± 3 Ma(罗镇宽等,2003,2004),西台子二长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 218 ± 4 Ma(苗来成等,2003)(图 1、图 2、表 1)。

2.8 侵入岩主要期次划分

以上各构造单元早中生代侵入岩的时空分布表明,早三叠世(253~246 Ma)侵入岩仅出露在中蒙古地块、东天山造山带及华北地块北缘地区,中晚三叠世(231~218 Ma)侵入岩在各单元均较广泛发育。北构造域内北蒙古-西外贝加尔造山带、中蒙古地块和阿尔泰造山带 232~240 Ma 的侵入岩分布较少;而南构造域内东天山和北山造山带、内蒙古-吉林带及华北地块北缘 210~217 Ma 的侵入岩分布较少,反映出南北两大构造域之间的差异。据早中生代的岩浆活动的特点,北山北带地区与内蒙古-吉林造山带可能为一岩浆带,北山南带-敦煌地块北缘-阿拉善-华北北缘可能为一岩浆带(李锦轶等,2006b,2009)。

上述侵入岩锆石 U-Pb 年龄及侵入岩体的分布和发育特征表明,中亚造山系早中生代侵入岩大致以 227 Ma 为界可划分出两个岩浆活动期(图 1、图 2):①早中三叠世(251~227 Ma)侵入岩,主要分布于东天山造山带东段、北山造山带中北部、中蒙古地块、阿尔泰造山带西段及南蒙古-兴安造山带和内蒙古-吉林造山带中西部地区,多沿板块缝合带及附近展布;②晚三叠世—早侏罗世(226~195 Ma)侵入岩,较广泛分布于全区各构造单元。

3 岩石组合及成因类型

早中生代中亚造山系(CAOS)中南段出露多种类型的侵入岩(Kovalenko *et al.*, 1995; Jahn *et al.*, 2004),主要为碱长花岗岩、钾长花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩和碱长石英正长岩等(图 3)。其中早

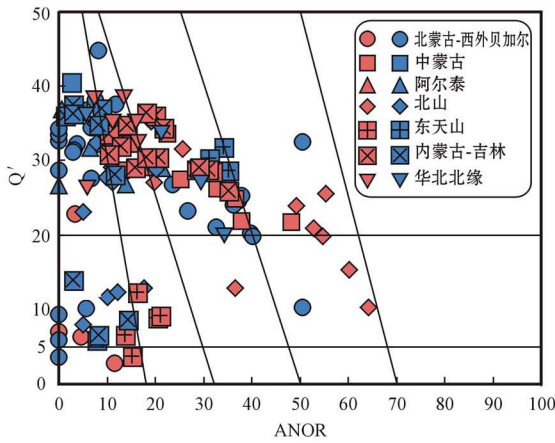


图3 中亚造山系中南段各构造单元的花岗岩类型
(浅红色为早期,浅蓝色为晚期)

Fig. 3 Granite types of different tectonic units in the middle-south segment of CAOS (light red one signifies early stage and light blue one late stage)

数据来源:北蒙古-西外贝加尔(Lykhin *et al.*, 2001, 2004; Kovalenko *et al.*, 2003b; Kozakov *et al.*, 2007; Jahn *et al.*, 2009); 中蒙古(Kovalenko *et al.*, 2003b; Jahn *et al.*, 2004); 阿尔泰(Zhao *et al.*, 1993; Yarmolyuk *et al.*, 2001; Wang *et al.*, 2010); 北山(聂凤军等, 2002; 刘明强等, 2006; 本文); 东天山(李伍平等, 2001; 张遵忠等, 2006); 内蒙古-吉林(Chen *et al.*, 2000; Wang *et al.*, 2004; 石玉若等, 2004, 2007; Liu *et al.*, 2005, 2009; 李锦铁等, 2007); 华北北缘(张永清等, 2002; 苗来成等, 2003; 杨富全等, 2007)

data sources: the north Mongolia-west Transbaikalia orogenic belt (Lykhin *et al.*, 2001, 2004; Kovalenko *et al.*, 2003b; Kozakov *et al.*, 2007; Jahn *et al.*, 2009); central Mongolian orogenic belt (Kovalenko *et al.*, 2003b; Jahn *et al.*, 2004); Altay orogenic belt (Zhao *et al.*, 1993; Yarmolyuk *et al.*, 2001; Wang *et al.*, 2010); Beishan orogenic belt (Nie Fengjun *et al.*, 2002; Liu Mingqiang *et al.*, 2006; this issue); East Tianshan orogenic belt (Li Wuping *et al.*, 2001; Zhang Zunzhong *et al.*, 2006); Inner Mongolia-Jilin orogenic belt (Chen *et al.*, 2000; Wang *et al.*, 2004; Shi Yuruo *et al.*, 2004, 2007; Liu *et al.*, 2005, 2009; Li Jinyi *et al.*, 2007); the northern margin of North China Craton (Zhang Yongqing *et al.*, 2002; Miao Laicheng *et al.*, 2003; Yang Fuquan *et al.*, 2007)

期(251~227 Ma)主要发育钾长花岗岩、二长花岗岩、黑云母/二云母花岗岩、花岗闪长岩、石英正长岩、石英二长闪长岩、石英二长岩等钙碱性-高钾钙碱性系列花岗岩类。晚期(226~195 Ma)主要为碱长花岗岩、钾长花岗岩、二长花岗岩、伟晶岩、淡色花岗岩、碱长石英正长岩等碱质-碱性系列花岗岩类和辉长岩类。早中生代花岗岩大部分具有A型或I-A型花岗岩的特点,部分具有I型(或高分异I型)或S型花岗岩的特点。

3.1 早期阶段侵入岩的岩石组合及成因类型

中亚造山系早中生代早期侵入岩主体为二长花

岗岩-花岗闪长岩-正长岩组合,同期的镁铁质-超镁铁质岩少见(图3)。早期花岗岩总体上反映出具有准铝质-弱过铝质的钙碱性-高钾钙碱性或弱碱性花岗岩的特点,I型、S型、A型或I-A型花岗岩均有出露(图4、表2)。早期花岗岩总体上具有高Sr、低Yb和低Sr、低Yb花岗岩的特点,部分也具有低Sr、高Yb和非常低Sr、高Yb花岗岩的特征(图5)。早期花岗岩稀土元素总量(Σ REE)较高,LREE相对富集,HREE相对平坦,轻重稀土元素分馏不明显,铈负异常不明显甚至出现铈正异常的特征(图6)。东天山造山带具有显著铈正异常的特征,可能反映了深源、浅成的特征(李嵩龄等, 1997; 张遵忠等, 2006)。早期花岗岩具相对富集Rb、Th、La和Zr而亏损Ba、Nb、Sr、P和Ti的特征(图6)。

综合以上特征,中亚造山系中南部东段早中生代早期花岗岩,从北构造域(蒙古-西外贝加尔造山带)→南构造域(北山-内蒙古吉林造山带)有碱性、铝质逐渐降低,从A型(227~230 Ma)→I型/A型/I型或S型(227~251 Ma)花岗岩过渡的趋势;在南构造域内从西→东(东天山→北山→内蒙古-吉林带)有碱性、铝质逐渐降低,从A型(229~251 Ma)→I型或S型(227~248 Ma)花岗岩逐渐过渡的趋势,这可能与中亚造山系中南部东段由北向南的逐渐固结和古亚洲洋由西向东的逐渐闭合有关。

3.2 晚期阶段侵入岩的岩石组合及成因类型

中亚造山系早中生代晚期侵入岩主体为碱长花岗岩-钾长花岗岩-二长花岗岩-碱长石英正长岩组合,发育同期的镁铁质-超镁铁质岩(图3)。晚期花岗岩总体上显示出准铝质-弱过铝质的高钾钙碱性-碱性花岗岩的特点,绝大部分为A型和I型-A型花岗岩,部分具有高分异I型花岗岩的特点(图4,表2)。晚期花岗岩总体上具有非常低Sr、高Yb的特点,部分也具有低Sr、低Yb和低Sr、高Yb的特征(图5)。晚期花岗岩稀土元素总量(Σ REE)较低,LREE也相对富集,HREE也相对平坦,轻重稀土元素分馏也不十分明显,但铈负异常更显著(图6)。晚期花岗岩Rb、Th、La和Zr的富集程度和Ba、Nb、Sr、P和Ti的亏损程度更显著(图6)。

4 研究区早中生代构造环境探讨

中亚造山系中南段早中生代时期各构造单元构造环境具有一定的差异,一些地区争议较大。大多

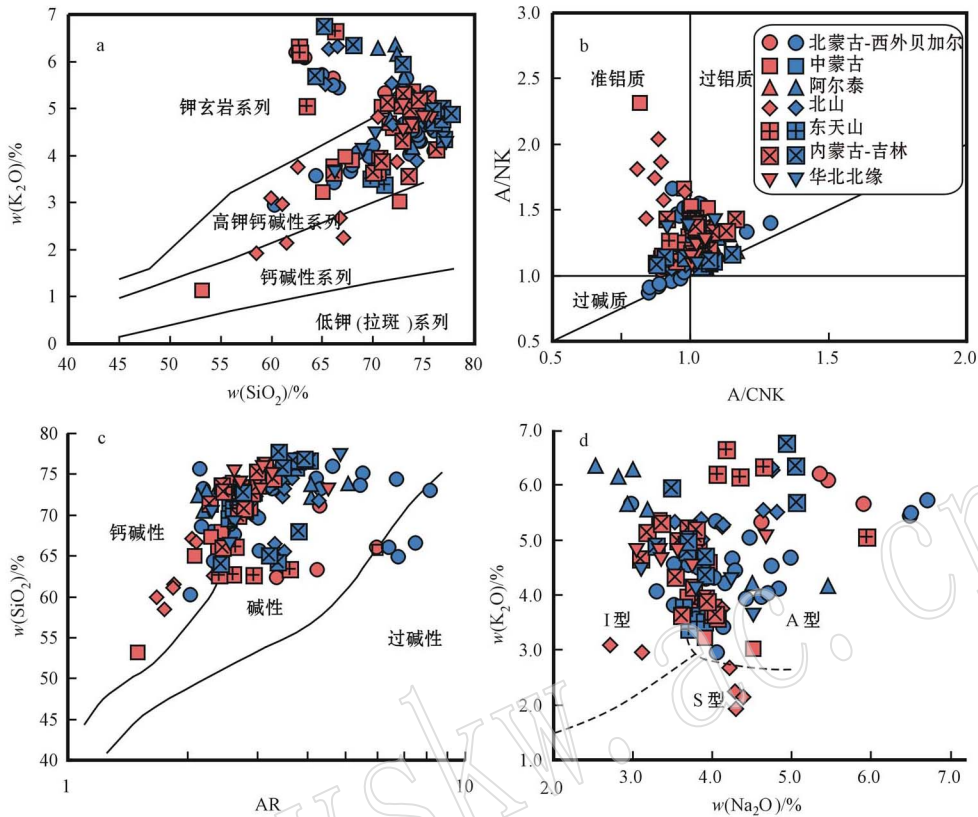


图 4 各构造单元早中生代早期和晚期花岗岩的主要元素特征(地球化学数据来源同图 3)

Fig. 4 The early stage and late stage major elements features of Early Mesozoic granitoids for different tectonic units (geochemical data as for Fig. 3)

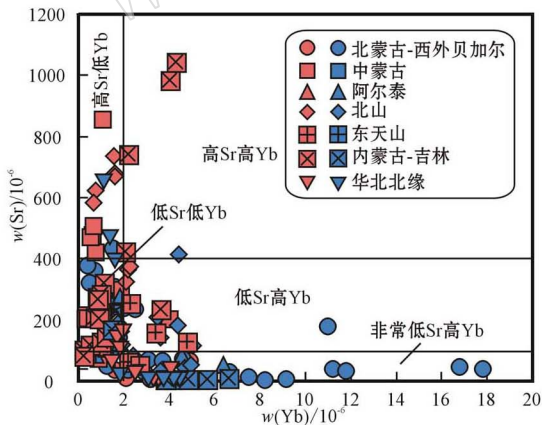


图 5 各构造单元早中生代花岗岩 Sr-Yb 分类(据张旗等, 2006; 地球化学数据来源同图 3)

Fig. 5 Sr-Yb classification of Early Mesozoic granitoids for different tectonic units (after Zhangqi *et al.*, 2006; geochemical data as for Fig. 3)

数学者常把早中生代(251~195 Ma)整体作为一个岩浆事件来考虑, 因此造成了对早中生代花岗岩构

造环境认识的局限性和分歧。本文综合研究显示, 大致以 227 Ma 左右为界可分出性质有差别两个岩浆活动阶段, 并可能形成于不同的构造背景。阿尔泰山、蒙古境内、俄罗斯外贝加尔和中国东北部这一时期的岩浆岩围绕蒙古-鄂霍茨克造山带展布, 可能与蒙古-鄂霍茨克造山带前身洋盆的大陆边缘演化有关; 而北山、内蒙古-吉林造山带和华北北缘是另外一条巨型岩浆岩带, 可能与中朝古陆-敦煌古陆与蒙古古陆的碰撞有关。

4.1 早中生代第一阶段(早中三叠世)构造环境

早中生代第一阶段(251~227 Ma), 各地区的构造背景存在一定的争议, 不同构造单元其构造环境存在一定差异。北蒙古-西外贝加尔造山带第一阶段花岗岩主要为石英正长岩-碱长正长岩-花岗岩组合, 显示出陆内碱性 A 型花岗岩的特征, 可能为后造山或板内构造背景(图 7)(Yarmolyuk *et al.*, 2002; Tsygankov *et al.*, 2007; Jahn *et al.*, 2009)。中蒙古地块为微陆块背景下发育的造山带, 第一阶段花

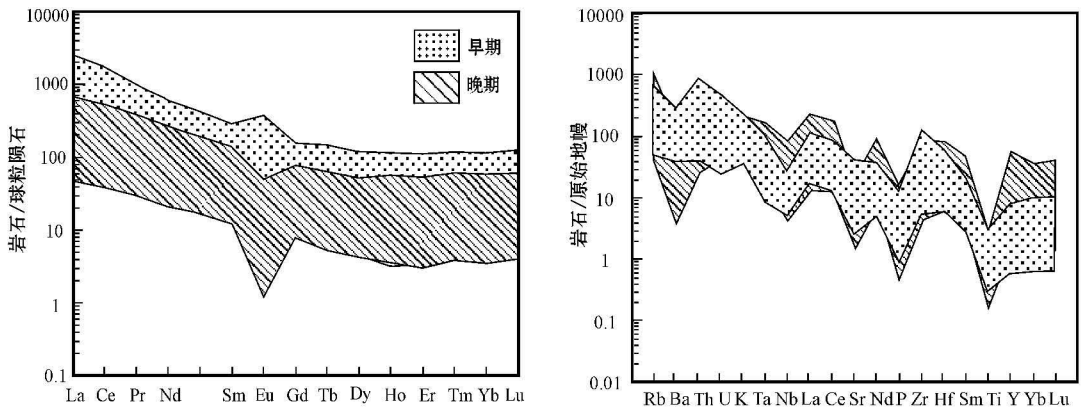


图 6 中亚造山系中南段早中生代早期和晚期花岗岩稀土和微量元素图解(标准化数据引自 Sun and McDonough, 1989; 地球化学数据来源同图 3)

Fig. 6 REE and trace elements diagrams for the Early stage and late stage of Early Mesozoic granitoids in the middle-south segment of CAOS (normalizing values from Sun and McDonough, 1989; geochemical data as for Fig. 3)

岗岩主要为花岗岩-花岗闪长岩-石英二长岩组合, 该带靠近 Mongol-Okhotsk 海的西段, 显示出微大陆边缘高钾钙碱性-钙碱性 S 型或 I 型花岗岩的特点, 这可能与 Baydrag 与 Hangay 微陆块的碰撞及 Hangay-Hantey 或 Mongol-Okhotsk 海的闭合有关 (Badarch *et al.*, 2002; Tomurtogoo *et al.*, 2005, Orolmaa *et al.*, 2008), 因此该单元早中生代第一阶段可能为同造山晚期阶段(图 7)。阿尔泰造山带第一阶段花岗岩主要为淡色花岗岩-碱长花岗岩-二长闪长岩组合, 显示出陆内 I-A 型或 A 型花岗岩的特

征, 并且该区 (Gorny Altai) 发育大面积同期的碱性镁铁质岩脉 (Pavlova *et al.*, 2008), 显示出陆内伸展的构造环境; 并且大多数学者认为该带区域上晚二叠世主造山期已经基本结束, 因此该单元早中生代第一阶段可能为后造山构造背景(图 7)。东天山造山带第一阶段花岗岩主要为石英正长岩-碱长正长岩-花岗岩组合, 显示出高钾钙碱性-钾玄岩系列 A 型或 I-A 型花岗岩的特征。顾连兴等(2006)和张遵忠等(2006)认为东天山早中三叠世岩浆活动与中亚构造体系向特提斯构造体系转变下特提斯洋的向北

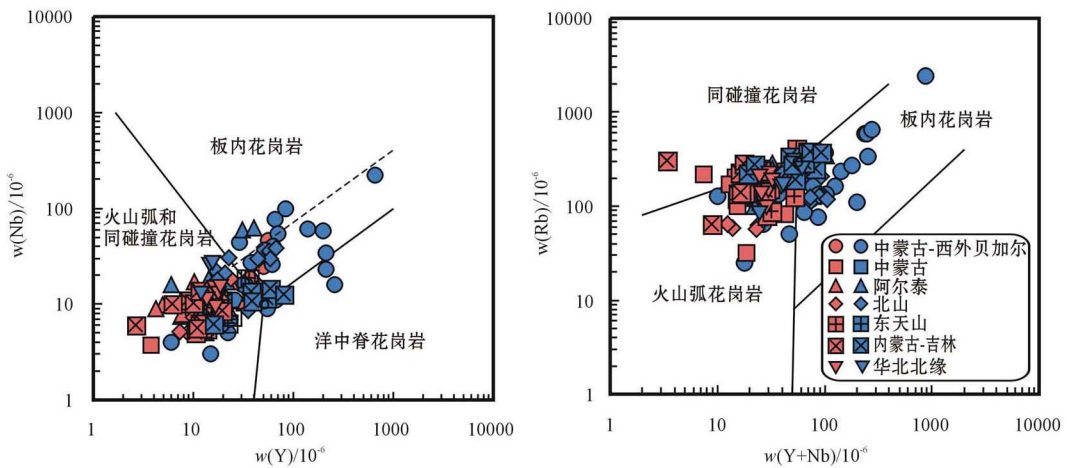


图 7 中亚造山系中南段各构造单元早中生代花岗岩构造环境判别图(据 Pearce 等, 1984; 地球化学数据来源同图 3)

Fig. 7 Tectonic setting discrimination diagrams of Early Mesozoic granitoids for different units in the middle-south segment of CAOS (after Pearce *et al.*, 1984; geochemical data as for Fig. 3)

俯冲有关,也有北疆后碰撞阶段的延续的观点(王京斌等,2008;王玉往等,2008);并且该单元第一阶段侵入岩体多为等轴状或椭圆状,显示后构造被动侵位的特点;结合区域上晚二叠世已为后碰撞或后造山构造背景,因此东天山早中生代第一阶段为后造山伸展背景(图7)。北山造山带第一阶段花岗岩主要为二长花岗岩-花岗闪长岩-石英二长闪长岩组合,显示出钙碱性-高钾钙碱性后碰撞I型或S型花岗岩的特征;结合北山二叠纪的岩浆事件显示出同造山弧岩浆的特点(聂凤军等,2002;江思宏等,2006a),因此北山早中生代第一阶段可能为同造山晚期或后碰撞构造背景(图7)。内蒙古-吉林造山带第一阶段花岗岩主要为二长花岗岩-花岗闪长岩-石英二长闪长岩组合,多为大陆边缘高钾钙碱性I型或S型花岗岩的特点,显示出同造山特点(图7)(Xiao et al., 2004, 2009b;李锦轶等,2007;Miao et al., 2008;Chen et al., 2009)。据华北地块北缘晚古生代-早中生代花岗岩体的侵位深度研究,内蒙古隆起与燕山褶皱带之间的差异性隆生与剥露过程可能与西伯利亚板块与华北板块的拼贴-碰撞作用及华北北缘区域性断裂的活动有关(张拴宏等,2007)。因此内蒙古-吉林造山带早中生代第一阶段可能为同造山构造背景(图7)。北山造山带到内蒙古-吉林造山带,大约在早中三叠世地壳已开始抬升加厚,形成高耸的山脉,至晚三叠世-早侏罗世地壳伸展垮塌减薄,这可能与晚二叠世-早三叠世西伯利亚板块和华北地块碰撞导致的一次强烈的挤压构造和快速的抬升及其后的区域伸展事件有关(李锦轶等,2007;张旗等,2008;Xiao et al., 2009b)。

4.1 早中生代第二阶段(晚三叠世-早侏罗世)构造环境

早中生代第二阶段(226~195 Ma),各地区的岩浆特征与花岗岩构造环境基本一致,主要以碱长花岗岩-花岗闪长岩-碱长石英正长岩组合为特征,总体显示出高钾钙碱性-钾玄岩系列A型花岗岩和高分异I型花岗岩或I-A型花岗岩的特点。该阶段花岗岩主要以岩枝或小岩株状产出,其岩体基本未变形,并且同期的幔源镁铁质-超镁铁质岩发育(Wu et al., 2004; Xu et al., 2009),反映出区域性的伸展环境。结合以上区域演化的关系,区域上晚二叠世-早三叠世主体已为后碰撞或后造山构造环境。除此之外,在蒙古-鄂霍茨克带及其邻区可能有所不同,主要为花岗闪长岩-斜长花岗岩组合,显示同造山(俯冲)环境,可能与

中生代盆地的闭合及岛弧的碰撞背景有关(Kovalenko et al., 2004)。如Zhanchivalan地区的斜长花岗岩(207±6.8 Ma)形成于俯冲环境,可能源于蒙古-鄂霍茨克带印支期大洋地壳的熔融(Yarmolyuk et al., 2002;Kovalenko et al., 2003b)。因此中亚造山系中南段早中生代第二阶段花岗岩除一些地区与鄂霍茨克带闭合有关外,大部分地区主体为后造山或非造山或板内构造伸展背景(Yarmolyuk et al., 2002;Jahn et al., 2004, 2009)(图7)。

5 早中生代花岗岩物源及构造块体性质

北蒙古-西外贝加尔造山带 Sr-Nd 同位素特征(Yarmolyuk et al., 2001, 2002; Lykhin et al., 2001, 2004; Kovalenko et al., 2003b; Jahn et al., 2009)显示,早期花岗岩具有较低的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值(-2.9~-0.7)和较老的 t_{DM} 值(0.78~1.03 Ga),显示其年轻壳源和幔源的双源特点;晚期花岗岩大都具有较高的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值(-1.4~8.1)和较小的 t_{DM} 值(0.32~1.35 Ga),显示出幔源的特点,且随着岩浆的演化从早期到晚期有幔源组分递增的趋势。以上特征显示,该构造块体以年轻物源为主。

中蒙古地块主要出露早期花岗岩,其具有较低的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值(-7.0~-0.4)和较老的 t_{DM} 值(0.92~1.38 Ga)(Jahn et al., 2004),具有较多古老陆壳组分的参与,因此该构造块体以古老壳源为主。

阿尔泰造山带大多数花岗岩具较低的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值(-4.2~-0.5)和较老的 t_{DM} 值(0.94~1.48 Ga)(Zhao et al., 1993; Wang et al., 2002; Kozakov et al., 2007),显示较老陆壳组分的参与,因此该块体在以古老陆壳为花岗岩源区的构造背景下,相对有较少的年轻幔源组分的贡献。

东天山-北山造山带 Sr-Nd 同位素特征(王银喜等,1991;聂凤军等,2002;刘明强等,2006;江思宏等,2006b;王涛等,2008)显示,早期花岗岩大都具有较低的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值(-6.2~-1.9)和较老的 t_{DM} 值(0.99~1.67 Ga),显示其古老陆源的特点;晚期花岗岩具有较高 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值(-3.7~4.3)和较小的 t_{DM} 值(0.54~1.54 Ga),显示出更多年轻幔源组分参与的特点,且随着岩浆的演化从早期到晚期有幔源组分递增的趋势。以上特征显示,该构造块体在以古老微陆块为花岗岩源区的构造背景下,相对有较多年轻幔源组分的贡献。

内蒙古-吉林造山带早期花岗岩具变化的 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值(-5.3~5.8)和 t_{DM} 值(0.52~1.21 Ga) (Chen *et al.*, 2000; Wang *et al.*, 2004; Liu *et al.*, 2005; 李锦轶等, 2007), 显示壳源和幔源的双源特点。以上特征显示, 该构造单元为以年轻物源为主, 并有部分古老陆壳组分的参与。

早中生代花岗岩除华北北缘与其古老的克拉通有关, 具有非常低的 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值(-19.6~-5.4)和老的 t_{DM} 值(1.23~2.09 Ga)外(王廷印等, 1998; 阎国翰等, 2000; 韩宝福等, 2004; 任康绪等, 2005; 杨富全等, 2007; Zhang *et al.*, 2009), 早期花岗岩具有相对低的 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值(-7.0~4.1)和较老的 t_{DM} 值(0.63~1.67 Ga), 总体反映出壳源与幔源的双源特征, 并具有较多陆壳组分的参与。晚期花岗岩具有相对高的 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值(-4.2~8.1)和较年轻的 t_{DM} 值(0.32~1.54 Ga), 显示出较多年轻幔源组分的参与。

通常认为大陆地壳的生长只发生在前寒武纪, 然而近年来同造山和后造山幔源岩浆事件的研究显示, 在显生宙古生代中亚造山系也发生大规模的陆壳生长, 这在全球造山带是罕见的(Sengör *et al.*, 1993; Jahn *et al.*, 2000a, 2000b; Kovalenko *et al.*, 2004)。据 Jahn 等(2000a, 2000b)估算, 中亚造山系显生宙古生代大陆地壳的生长新生物物质组分在 70%~100%。Kovalenko 等(2004)所估算的中亚造山系大陆地壳生长率为 $0.31 \text{ Mkm}^2/100 \text{ Ma}$ 。以上多反映古生代大陆地壳的生长事件, 而中生代大陆地壳的生长研究较少。

随着研究的深入, 早中生代大陆地壳的生长事件备受关注(Jahn *et al.*, 2000a, 2000b; Kovalenko *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2008; 王涛等, 2008)。在阿尔泰及蒙古地区一些微陆块内, 早中生代花岗岩同位素特征显示, 如负 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值、较老的 t_{DM} 值], 老的微陆块基底物质限制了原始的地壳组分, 相对有较少的年轻幔源组分参与(Kovalenk *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2006, 2009)。但是实际上, 在中亚造山系, 很多产于古老微陆块的早中生代花岗岩也具有较高的 ϵNd 值, 如蒙古一些微陆块(Kovalenko *et al.*, 2004)、佳木斯地块(Wu *et al.*, 2000)和南蒙微大陆(Wang *et al.*, 2004), 有高于这些陆块的和一般造山带中花岗岩的 ϵNd 值(尽管低于周围活动带花岗岩正 ϵNd 值)。中亚造山系早中生代花岗岩发育于以古老陆壳为花岗岩源区的构造背景下, 但是仍然有较多年轻幔源组分(多 > 50%)

参与, 较多年轻幔源岩浆加入导致地壳生长。北蒙古-西外贝加尔造山带大规模的正 ϵNd 值早中生代花岗岩块体的基底保持了原始幔源组分的特点, 可能有很少量老的地壳组分加入(Kovalenk *et al.*, 2004; Jahn *et al.*, 2004, 2009; Wang *et al.*, 2006, 2009)。最近, 王涛等(2008)对东天山东段红柳河地区花岗岩的研究揭示出由古生代到中生代, 花岗岩的 ϵNd 值增高, 年轻幔源组分有增加的趋势, 显示了中生代后碰撞或后造山大陆地壳的垂向生长。

一般而言, 显生宙高 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值花岗岩中年轻幔源组分的来源至少有 3 种可能(王涛等, 2008): ①前造山(前寒武纪)底侵的基性岩浆转换的年轻下地壳; ②同造山残留在地壳的洋壳或年轻的火山弧及增生楔物质再循环; ③后造山新底侵的幔源物质(如基性岩浆)。中亚产生大量的新生花岗岩主要有两个过程(Jahn, 2004): ①俯冲带的岩浆活动导致岛弧的侧向增生; ②在岛弧杂岩增生以后和在增生后伸展阶段产生的底侵玄武质岩浆的垂向增生。

中亚造山系西部地区二叠纪时期, 板块俯冲-增生拼贴已基本结束, 东部地区可能持续到中三叠世(李锦轶等, 2006a, 2009)。因此中亚造山系东部地区(如北山和内蒙古-吉林造山)早中生代早期处于同造山或同造山晚期阶段, 且缺少同期的幔源镁铁质-超镁铁质岩, 可能为同造山阶段残留在地壳的洋壳或年轻的火山弧及增生楔物质的再循环而导致的地壳的侧向生长。中亚造山系西部地区(如阿尔泰和东天山造山带)早中生代处于后碰撞或后造山阶段, 阿尔泰地区发育大面积同期的碱性镁铁质岩脉(Pavlova *et al.*, 2008), 东天山红柳河地区也发育同期的煌斑岩脉、辉绿岩脉(王涛等, 2008), 显示了后造山阶段地壳的垂向生长; 中亚造山系东部地区早中生代晚期处于后造山阶段, 并且发育同期的幔源镁铁质-超镁铁质岩(刘畅等, 2006; 李锦轶等, 2007), 可能为后造山阶段新底侵幔源岩浆而导致地壳的垂向生长。这种成因的花岗岩岩浆可以造成一定程度的地壳生长。另外, 根据 Frost 等(2001)的估算, 这些基性岩体积至少大于地表出露的花岗岩体积的 10 个数量级。可见, 这些基性岩浆底侵直接导致的地壳的垂向生长量更为可观。另外, 在中亚造山系, 很多后造山阶段形成的金属矿产及有关花岗岩也具有年轻幔源物质的特性(Hong *et al.*, 2003), 进一步显示了后造山阶段有相当规模的幔源物质加入地壳。这些研究为后碰撞或后造山陆壳的垂向生

长提供了重要证据,表明中亚造山系后碰撞或后造山花岗岩可能是在岛弧杂岩增生以后和在增生后伸展阶段产生的底侵的幔源玄武质岩浆的垂向增生。

6 小结

(1) 中亚造山系早中生代花岗岩类大致可以划分出两个岩浆活动阶段:①早中三叠世(251~227 Ma)花岗岩类,主要分布于东天山造山带中东部、北山造山带中北部、中蒙古地块、阿尔泰造山带西段及内蒙古-吉林造山带中西部地区,多沿板块缝合带及附近展布;②晚三叠世—早侏罗世(226~195 Ma)花岗岩类,较广泛分布于全区各造山带。

(2) 早期花岗岩类具有准铝质-弱过铝质的钙碱性-高钾钙碱性或弱碱性花岗岩的特点,I型和S型和A型或I-A型花岗岩均有出露,且同期的超镁铁质-镁铁质岩少见。晚期花岗岩类具有准铝质-弱过铝质的高钾钙碱性-碱性花岗岩的特点,大都为A型和I-A型花岗岩,部分具有高分异I型花岗岩的特点,且同期的超镁铁质-镁铁质岩较发育。早期花岗岩类的稀土元素总量(ΣREE)高于晚期,但晚期较早期具显著负铈异常,晚期花岗岩Ba、Nb、Sr、P和Ti的亏损程度较早期更明显一些。

(3) 花岗岩Sr-Nd同位素特征表明,总体上早期以壳源和幔源的双源为特点,晚期以幔源为主,从早期到晚期有年轻幔源组分递增的趋势。大量新生地壳主要分布在鄂霍茨克带及其邻区,但在一些老的微陆块上,后造山或后碰撞阶段也有较多年轻幔源岩浆的底侵而导致地壳垂向生长。

(4) 据现有研究,早中生代第一阶段中亚造山系东、西部花岗岩的构造环境存在一定差异:北蒙古-西外贝加尔造山带似乎为板内大陆裂谷构造环境;中蒙古地块可能为同造山晚期阶段;阿尔泰造山带和东天山造山带为后造山伸展环境;北山造山带为后碰撞晚期或后造山构造背景;内蒙古-吉林造山带具有同造山构造特点。早中生代第二阶段花岗岩构造环境基本上都为后造山或非造山或板内构造伸展背景的特点。

本文仅初步总结了中亚造山系早中生代花岗岩的时空分布特征和构造环境。而花岗岩构造环境是很复杂的,很多还有争议,加之由于涉及范围巨大,难免有遗漏和不足之处,特别是如此广泛的区域内,不同地区即使在同一时期的构造环境可能也是不同

的。这方面的研究还有待于深入系统的研究。

致谢 感谢任纪舜院士及洪大卫研究员有益的学术讨论及宝贵的修改建议和意见及谢锡林老师在绘图方面的帮助。感谢评审人提出中肯的修改意见。

References

- Annikova I Y, Vladimirov A G, Vystavnoi S A, *et al.* 2006. U-Pb, $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ age determination and Sm-Nd, Pb-Pb isotope data for the Kalguta Mo-W ore-magmatic system (South Altai, Russia) [J]. *Petrologiya*, 14(1): 90~108 (in Russian).
- Badarch G, Cunningham W D and Windley B F. 2002. A new subdivision for Mongolia: implications for Phanerozoic crustal growth in Central Asia [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21: 87~110.
- Badarch G. 2005. Tectonics of south Mongolia [A]. Seltmann R, Gerel O and Kirwin D. *Geodynamics and Metallogeny of Mongolia with a Special Emphasis on Copper and Gold Deposits* [C]. Published by CERCAMS, 119~129.
- Badnikov S V, Kovalenko V I, Kotov A B, *et al.* 1999. The age and sources of the Hangay batholith (Central Mongolia) in: IGCP-420 [A]. *Continental Growth in the Phanerozoic: Evidence from Central Asia* [C]. Rennes: Second workshop. Abstracts and Excursion Guidebook. *Geosciences*, 11~12.
- Chen B, Jahn B M and Tian W. 2009. Evolution of the Solonker suture zone: Constraints from zircon U-Pb ages, Hf isotopic ratios and whole-rock Nd-Sr isotope compositions of subduction- and collision-related magmas and forearc sediments [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34(3): 245~257.
- Chen B, Jahn B M, Wile S, *et al.* 2000. Two contrasting Paleozoic magmatic belts in northern Inner Mongolia, China: petrogenesis and tectonic implications [J]. *Tectonophysics*, 328: 157~182.
- Cui Huiwen. 1996. Post Paleo-island arc epoch tension zones and marine volcanic rock gold deposits of Beishan area, Gansu province [J]. *Journal of Precious Metallic Geology*, 5(4): 306~314 (in Chinese with English abstract).
- Demin A N, Demin P A and Andreev V V. 2001. Early Mesozoic ore-bearing granitoids and their tectonic setting in the Mongolian Altay [A]. *Postcollisional Evolution of Mobile Belts* [C]. Irkutsk: Abstracts, International Conf. (VIIA. N. Zavaritsky Memorial Workshop). *Izd. Irkutsk Uni* (in Russian).
- Frost C D, Bell J M and Chamberlain K R. 2001. Crustal growth by magmatic underplating: Isotopic evidence from the northern Sherman batholith [J]. *Geology*, 29: 515~518.
- Graham S A, Hendrix M S, Johnson C L, *et al.* 2001. Sedimentary record and tectonic implications of Mesozoic rifting in southern Mongolia [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 113: 1560~1579.
- Gu Lianxing, Zhang Zunyi, Wu Changzhi, *et al.* 2006. Some problems on granites and vertical growth of the continental crust in the eastern Tianshan Mountains, NW China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22

- (5): 1103~1120 (in Chinese with English abstract).
- Gusev A I. 2003. Gold Metallogeny in the Gorny Altai and Southern Gornaya Shoria [J]. STT, Tomsk (in Russian).
- Han Baofu. 2008. A preliminary comparison of Mesozoic granitoids and rare metal deposits in Chinese and Russian Altai Mountain [J]. Acta Petrologica Sinica, 24(4): 655~660 (in Chinese with English abstract).
- Han Baofu, Ji Jianqing, Song Biao, et al. 2006. Late Paleozoic vertical growth of continental crust around the Junggar Basin, Xinjiang, China (Part I): Timing of post-collisional plutonism [J]. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1077~1086 (in Chinese with English abstract).
- Han Baofu, Kagami Hiroo and Li Huimin. 2004. Age and Nd-Sr isotopic geochemistry of the Guangtoushan alkaline granite, Hebei province, China: implications for early Mesozoic crust-mantle interaction in North China Block [J]. Acta Petrologica Sinica, 20(6): 1375~1378 (in Chinese with English abstract).
- Hong D W, Wang S G, Xie X L, et al. 2003. On the metallogenic province derived from mantle sources-Nd, Sr, S, Pb isotope evidence from the Central Asian Orogenic Belt [J]. Gondwan Research, 6(4): 711~728.
- Hu Aiqin, Wang Zhonggang and Tu Guangzhi. 1997. Geological Evolution, Petrogenesis and Metallogeny of North Xinjiang [M]. Beijing: Science Press, 1~246 (in Chinese).
- Jahn B M. 2004. The Central Asian Orogenic Belt and growth of the continental crust in the Phanerozoic [A]. J Malpas, C J N Fletcher and J C Aitchison. Aspects of the Tectonic Evolution of China [C]. London: Geol. Soc., Spec. Pub., 226: 73~100.
- Jahn B M, Capdevila R, Liub D, et al. 2004. Sources of Phanerozoic granitoids in the transect Bayanhongor-Ulaan Baatar, Mongolia: geochemical and Nd isotopic evidence, and implications for Phanerozoic crustal growth [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 23: 629~653.
- Jahn B M, Litvinovsky B A, Reichov M. et al. 2009. Peralkaline Granitoid Magmatism in the Mongolian-Transbaikalian Belt: Evolution, Petrogenesis and Tectonic Significance [J]. Lithos, 113: 521~539.
- Jahn B M, Wu F Y and Chen B. 2000a. Granitoids of the Central Asian Orogenic Belt and continental growth in the Phanerozoic [J]. Transactions Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences, 91: 181~193.
- Jahn B M, Wu F Y and Hong D W. 2000b. Massive granitoids generation in Central Asia: Nd isotopic evidence and implication for continental growth in the Phanerozoic [J]. Episodes, 23(2): 82~92.
- Jiang Sihong and Nie Fengjun. 2006a. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Geochronology of the granitoids in Beishan mountain, NW China [J]. Acta Petrologica Sinica, 22(11): 2719~2732 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Sihong and Nie Fengjun. 2006b. Nd-Isotope Constraints on Origin of Granitoids in Beishan Mountain Area [J]. Acta Geologica Sinica, 80(6): 826~842 (in Chinese with English abstract).
- Kovalenko V I, Yarmolyuk V V and Bogatnikov O. 1995. Magmatism, Geodynamics, and Metallogeny of Central Asia [M]. Moscow: Miko Commercial Herald Publishers, 272.
- Kovalenko V I, Yarmolyuk V V, Kovach V P, et al. 2003a. Magmatism and geodynamics of Early Caledonian structures of the Central Asian Fold Belt (isotopic and geological data) [J]. Russian geology and geophysics, 12(44): 1235~1248.
- Kovalenko V I, Yarmolyuk V V, Kovach V P, et al. 2004. Isotope provinces, mechanisms of generation and sources of the continental crust in the Central Asian Mobile Belt: geological and isotopic evidence [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 23: 605~627.
- Kovalenko V I, Yarmolyuk V V, Sal'nikova E B, et al. 2003b. Sources of Igneous Rocks and Genesis of the Early Mesozoic Tectonomagmatic Area of the Mongolia-Transbaikalia Magmatic Region: 1. Geology and Isotope Geochronology [J]. Petrology, 11(2): 147~160.
- Kovalenko V I, Yarmolyuk V V, Sal'nikova E B, et al. 2003c. Sources of Igneous Rocks and Genesis of the Early Mesozoic Tectonomagmatic Area of the Mongolia-Transbaikalia Magmatic Region: 2. Petrology and Geochemistry [J]. Petrology, 11(3): 205~229.
- Kovalenko V I, Yarmolyuk V V, Sal'nikova E B, et al. 2006. "Geology, Geochronology, and Geodynamics of the Khan Bogd Alkali Granite Pluton in Southern Mongolia" [J]. Geotectonics, 40(6): 1450~1466.
- Kozakov I K, Bibikova E V, Kovalenko V I, et al. 1997. U-Pb Age of Granitoids Located within the Southern Slope of the Caledonides, Mongolian Altai [J]. Dokl. Akad. Nauk 353, 369~371, Dokl. Earth Sci. 353a, 338~340.
- Kozakov I K, Kovach V P, Bibikova E V, et al. 2007. Age and sources of granitoids in the Junction Zone of the caledonides and hercynides in Southwestern Mongolia: geodynamic implications [J]. Petrology, 15(2): 1126~1150.
- Li H Q, Chen F W, Lu F W, et al. 2005. New chronological evidence for indosinian diagenetic mineralization in Eastern Xinjiang, NW China [J]. Acta Geologica Sinica, 79(2): 264~275.
- Li Huaqin and Chen Fuwen. 2004. Regional Metallogenic Chronology in Xinjiang, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~391 (in Chinese).
- Li Huaqin, Chen Fuwen, Li Jinyi, et al. 2006. Age of mineralization and host rocks in the Baishan rhenium-molybdenum district, East Tianshan, Xinjiang, China: Revisited [J]. Geological Bulletin of China, 25(8): 917~923 (in Chinese with English abstract).
- Li J Y. 2006. Permian geodynamic setting of Northeast China and adjacent regions: closure of the Paleo-Asian Ocean and subduction of the Paleo-Pacific Plate [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 26: 207~224.
- Li Jinyi, Gao Liming, Sun Guihua, et al. 2007. 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 Geologica Sinica, 23(3): 565~582 (in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi, He Guoqi and Xu Xin. 2006a. Crustal tectonic framework of Northern Xinjiang and adjacent regions and its formation [J]. Acta Geologica Sinica, 60(1): 148~168 (in Chinese with English abstract).

- Li Jingyi, Wang Kezhao, Li Yaping, *et al.* 2006b. Geomorphological features, crustal composition and geological evolution of the Tianshan Mountains [J]. *Geological Bulletin of China*, 25(8):895-909 (in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi, Zhang Jian, Yang Tiannan, *et al.* 2009. Crustal tectonic division and evolution of the southern part of the North Asian Orogenic Region and its adjacent areas [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 39(4):584-605 (in Chinese with English abstract).
- Li Q G, Liu S W, Wang Z Q, *et al.* 2008. Electron microprobe monazite geochronological constraints on the Late Palaeozoic tectonothermal evolution in the Chinese Tianshan [J]. *Journal of the Geological Society, London*, 165:511-522.
- Li Songling and Feng Xinchang. 1997. Super-unit association of Weiya, Eastern Tianshan of Xinjiang [J]. *Xinjiang Geology*, 19(1):13-27 (in Chinese).
- Li Songling, Li Wenqian, Feng Xinchang, *et al.* 2002. Age of formation of Weiya composition stocks in Eastern Tianshan Mountains [J]. *Xinjiang Geology*, 20(4):357-359 (in Chinese with English abstract).
- Li Wenming, Ren Bingchen, Yan Xingke, *et al.* 2002. The intermediate-acid intrusive magmatism and its geodynamic significance in Eastern Tianshan region [J]. *Northwestern Geology*, 25(4):24-41 (in Chinese with English abstract).
- Li Wuping, Wang Tao, Li Jinbao, *et al.* 2001. Petrology, geochemistry of Hercynian granites of Hongliuhe area and its tectonic setting in Eastern Tianshan Mountains, Western China [J]. *Geological Review*, 47(3):368-376 (in Chinese with English abstract).
- Lin W, Faure M, Nomade S, *et al.* 2008. Permian-Triassic amalgamation of Asia: Insights from Northeast China sutures and their place in the final collision of North China and Siberia [J]. *Comptes Rendus Geosciences*, 340(2-3):190-201.
- Liu Chang, Zhao Zehui, Guo Zhaojie, *et al.* 2006. Chronology and geochemistry of lamprophyre dykes from Beishan area, Gansu province and implications for the crust-mantle interaction [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5):1294-1306 (in Chinese with English abstract).
- Liu Mingqiang, Wang Jianjun and Dai Wenjun. 2006. The U-Pb age of single-grained zircon from Maanshanbei granite in Hongshishan area of the Beishan orogenic belt, Gansu Province [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 25(6):473-479 (in Chinese with English abstract).
- Liu W, Pan X F, Liu D Y, *et al.* 2009. Three-step continental-crust growth from subduction accretion and underplating, through intermediary differentiation, to granitoid production [J]. *Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch)*, 98:1413-1439.
- Liu W, Siebel W, Li X J, *et al.* 2005. Petrogenesis of the Linxi granitoids, northern Inner Mongolia of China: constraints on basaltic underplating [J]. *Chem. Geol.*, 219:5-35.
- Luo Zhenkuan, Li Junjian, Guan Kang, *et al.* 2004. SHRIMP Zircon U-Pb Age of the Granite at Baizhangzi Gold Field in Lingyuan, Liaoning Province [J]. *Geological Survey and Research*, 27(2):82-85 (in Chinese with English abstract).
- Luo Zhenkuan, Miao Laicheng, Guan Kang, *et al.* 2003. SHRIMP U-Pb zircon dating of the Dushan granitic batholith and related granite-porphry dyke, eastern Hebei Province [J]. *Geochimica*, 32(2):173-180 (in Chinese with English abstract).
- Lykhin D A, Kostitsyn Yu A, Kovalenko V I, *et al.* 2001. Ore-bearing magmatism in the Yermakovka berillium deposit in the western Transbaikalia: age, magma sources and interrelations with ore-forming processes [J]. *Geology of the Ore Deposits*, 43/1:52-70.
- Lykhin D A, Kovalenko V I, Yarmolyuk V V, *et al.* 2004. Age, composition, and source of ore-bearing magmatism of the Orot Beryllium Deposit in Western Transbaikalia, Russia [J]. *Geol. Rudn. Mestorozhd*, 46:128-146.
- Ma Yinsheng, Zeng Qingli, Song Biao, *et al.* 2007. SHRIMP U-Pb dating of zircon from Panshan granitoid pluton in Yanshan orogenic belt and its tectonic implications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20(3):547-556 (in Chinese with English abstract).
- Mao Debao, Chen Zhihong, Zhong Changting, *et al.* 2003. Studies on the geochronology and geochemical characteristics of Mesozoic intrusions in Beichagoumen area, northern Hebei province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 19(4):661-674 (in Chinese with English abstract).
- Mao Qigui. 2008. Paleozoic to Early Mesozoic Accretionary and Collisional Tectonics of the Beishan and Adjacent Area, Northwest China [D]. Beijing: Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Science (in Chinese with English abstract).
- Meng Q R, Hu J M, Jin J Q, *et al.* 2003. Tectonics of the late Mesozoic wide extensional basin system in the China-Mongolia border region [J]. *Basin Research*, 15:397-415.
- Miao Laicheng, Fan Weiming, Liu Dunyi, *et al.* 2008. 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*, 32:348-370.
- Miao Laicheng, Fan Weiming, Zhai Mingguo, *et al.* 2003. Zircon SHRIMP U-Pb geochronology of the granitoid intrusions from Jinchanggouliang-Erdaogou gold orefield and its significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 19(1):71-80 (in Chinese with English abstract).
- Nie Fengjun, Jiang Sihong, Bai Daming, *et al.* 2002. Metallogenic studies and ore prospecting in the conjunction area of Inner Mongolia, Gansu and Xinjiang (Beishan Mt.), northwest China [J]. Beijing: Geol. Pub. House, 1-408 (in Chinese).
- Orolmaa D and Erdenesayhan G. 2006. On Granitoid magmatism of the Hangay (in Mongolian) [J]. *IGMR MAS Transactions*, 16:47-70.
- Orolmaa D, Erdenesayhan G, Borisenko A S, *et al.* 2008. Permian-Triassic granitoid magmatism and metallogeny of the Hangay (central Mongolia) [J]. *Russian Geology and Geophysics*, 49:534-544.
- Pavlova G G, Borisenko A S, Goverdovskii V A, *et al.* 2008. Permian-Triassic magmatism and Ag-Sb mineralization in southeastern Altai and northwestern Mongolia [J]. *Russian Geology and Geophysics*, 49:545-555.
- Pearce J A, Harris N B W and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks

- [J]. *Journal of Petrology* , 25 : 956 ~ 983.
- Ren Jishun , Wang Zuoxun , Chen Bingwei , *et al.* 1999. The Tectonics of China from a Global View-A guide to the Tectonic Map of China and Adjacent Regions[M]. Beijing : Geological Publishing House (in Chinese).
- Ren Kangxu , Yan Guohan , Mu Baolei , *et al.* 2005. Geochemistry and Nd , Sr , Pb isotopic characteristics of the alkali-rich intrusive rocks in Alxa Fault Block , Western Inner Mongolia and their implications [J]. *Earth Science Frontiers* , 12(2) : 292 ~ 302(in Chinese with English abstract).
- Ren Rong , Mu Baolei , Han Baofu , *et al.* 2009. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the Fanshan potassic alkaline ultramafite-syenite complex in Hebei Province , China[J]. *Acta Petrologica Sinica* , 25(3) : 588 ~ 594(in Chinese with English abstract).
- Sengör A M C , Natal'in B A and Burtman V S. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia[J]. *Nature* , 364 : 299 ~ 307.
- Shi Yuruo , Liu Dunyi , Zhang Qi , *et al.* 2004. SHRIMP Dating of Diorites and Granites in Southern Suzuqi , Inner Mongolia[J]. *Acta Geologica Sinica* , 78(6) : 789 ~ 799(in Chinese with English abstract).
- Shi Yuruo , Liu Dunyi , Zhang Qi , *et al.* 2007. SHRIMP U-Pb zircon dating of Triassic A-type granites in Sonid Zuqi , central Inner Mongolia , China and its tectonic implications[J]. *Geological Bulletin of China* , 26(2) : 184 ~ 193(in Chinese with English abstract).
- Sorokin A A , Kotov A B , Sal'nikova E B , *et al.* 2007a. Early Paleozoic gabbro-granitoid associations in eastern segment of the Mongolian-Okhotsk foldbelt (Amur River basin) : Age and tectonic position [J]. *Stratigraphy and Geological Correlation* , 25(3) : 241 ~ 257.
- Sorokin A A , Kudryashov N M and Kotov A B. 2007b. Age and geochemistry of the Early Mesozoic granitoid massifs of the southern Bureya terrane of the Russian Far East[J]. *Russian Journal of Pacific Geology* , 1(5) : 454 ~ 463.
- Sun M , Chao Y and Xiao W J. 2008. Zircon U-Pb and Hf isotopic study of gneissic rocks from the Chinese Altai : Progressive accretionary history in the early to middle Palaeozoic[J]. *Chemical Geology* , 247 : 1 352 ~ 1 383.
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts : implications for mantle composition and process [A]. Sowers A D and Norry M J. *Magmatism in the Ocean Basins* [C]. Geological Society Special Publication , 42 : 313 ~ 345.
- Tao Jixiong , Hu Fengxiang and Chen Zhiyong. 2003. Characteristics and tectonic setting of Indosinian S-type granites in the northern margin of North China landmass[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica* , 20(2) : 112 ~ 118(in Chinese with English abstract).
- Tian Wei , Chen Bin , Liu Chaoqun , *et al.* 2007. Zircon U-Pb age and Hf isotopic composition of the Xiaozhangjiakou ultramafic pluton in northern Hebei[J]. *Acta Petrologica Sinica* , 23(3) : 583 ~ 590(in Chinese with English abstract).
- Tomurtogoo O , Windley B F , Kroner A , *et al.* 2005. Zircon age and occurrence of the daatsag ophiolite and Muron shear zone , central Mongolia : Constraints on the evolution of the Mongol-Okhotsk ocean , suture and orogen[J]. *J. Geol. Soc.* , 162 : 125 ~ 134.
- Tong Ying , Wang Tao , Hong Dawei , *et al.* 2007. Ages and origin of the early Devonian granites from the north part of Chinese Altai Mountains and its tectonic implications[J]. *Acta Petrologica Sinica* , 23(8) : 1 933 ~ 1 944(in Chinese with English abstract).
- Tsygankov A A , Matukov D I , Berezhnaya N G , *et al.* 2007. Late Paleozoic granitoids of western Transbaikalia : magma sources and stages of formation[J]. *Russian Geology and Geophysics* , 48 : 120 ~ 140.
- Vladimirov A G , Kozlov M S , Shokal'skii S P , *et al.* 2001. Major epochs of intrusive magmatism of Kuznetsk Alatau , Altai , and Kalba (from U-Pb isotope dates [J]. *Geologiya i Geofizika* (Russian Geology and Geophysics) , 42(8) : 1 157 ~ 1 178(in Russian with English abstract).
- Vladimirov A G , Kruk N N , Polyanskii O P , *et al.* 2005. Correlation of Hercynian deformations , sedimentation and magmatism in the Altai collisional system as reflecting plate- and plum-tectonics[A]. *Problem of Tectonic of the Central Asia* [C]. Moscow : Geos. P. , 1 277 ~ 1 308.
- Vladimirov A G , Ponomareva A P , Shokalsky S P , *et al.* 1997. Late Paleozoic-Early Mesozoic granitoid magmatism in Altai[J]. *Geologiya i Geofizika* (Russian Geology and Geophysics) , 38(4) : 755 ~ 770(in Russian with English abstract).
- Vorontsov A A , Yarmolyuk V V , Lykhin D A , *et al.* 2007. Magmatic sources and geodynamics of the Early Mesozoic Northern Mongolia-Western Transbaikalia Rift Zone[J]. *Petrology* , 15(1) : 135 ~ 157.
- Wang Jingbin , Wang Yuwang and Zhou Taofa. 2008. Metagenetic spectrum related to post-collisional mantle-derived magma in north Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica* , 24(4) : 743 ~ 752(in Chinese with English abstract).
- Wang T , Hong D W , Jahn B M , *et al.* 2006. Timing , petrogenesis , and setting of Paleozoic synorogenic intrusions from the Altai Mountains , northwest China : implications for the tectonic evolution of an accretionary orogen[J]. *The Journal of Geology* , 114 : 1 735 ~ 1 751.
- Wang T , Jahn B M , Kovach V P , *et al.* 2008. Mesozoic anorogenic granitic magmatism in the Altai Paleozoic accretionary orogen , NW China , and its Implications for crustal architecture and growth[J]. Abstract SE53-A010 , AOGS 5th Annual General Meeting , Busan , Korea.
- Wang T , Jahn B M , Kovach V P , *et al.* 2009. Nd-Sr isotopic mapping of the Chinese Altai and implications for continental growth in the Central Asian Orogenic Belt[J]. *Lithos* , doi : 10. 1016/j. lithos. 2009. 02. 001.
- Wang T , Tong Y , Jahn B M , *et al.* 2007. SHRIMP Zircon U-Pb geochronology of No. 3 Pegmatite from the Altai orogen , NW China , and its implications[J]. *Ore Geological Review* , 32 : 325 ~ 336.
- Wang T , Zheng Y D and Li T B. 2002. Forceful emplacement of granitic plutons in an extensional tectonic setting : syn-kinematic plutons in the Yagan-Onch Hayrhan metamorphic core complex on the Sino-Mongolian border[J]. *Acta Geol. Sinica* , 76(1) : 81 ~ 88.
- Wang T , Zheng Y D , Li T B , *et al.* 2004. Mesozoic granitic magmatism in extensional tectonics near the Mongolian border in China and

- its implications for crustal growth[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23 : 715~729.
- Wang Tao, Li Wuping, Li Jinbao, *et al.* 2008. Increase of juvenile 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*, 24(4): 762~772 (in Chinese with English abstract).
- Wang Y, Sun G H and Li J Y. 2010. 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*, 122(3/4): 487~505.
- Wang Tingyin, Gao Junping, Wang Jinrong, *et al.* 1998. Magmatism of collisional and post-orogenic period in Northern Alaxa Region in Inner Mongolia[J]. *Acta Geologica Sinica*, 72(2): 126~137 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yinxi, Li Huimin, Tao Xiancong, *et al.* 1991. A study of Nd, Sr, and isotopes and the crustal growth of granites in eastern segment of middle East Tianshan belt, Chian[J]. *Acta Petrologica Sinica*, (3): 19~26 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yuwang, Wang Jingbin, Wang Lijuan, *et al.* 2008. Zircon U-Pb age, Sr-Nd isotope geochemistry and geological significances of the Weiya mafic-ultramafic complex, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(4): 781~792 (in Chinese with English abstract).
- Wickham S M, Alberts A D, Zanvilevich A N, *et al.* 1996. A stable isotope study of anaorogenic magmatism in East Central Asia[J]. *J. Petrol.*, 37: 1063~1095.
- Windley B F, Alexeev D, Xiao W J, *et al.* 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic belt[J]. *Journal of the Geological Society, London*, 164: 31~47.
- Windley B F, Kroner A, Guo J H, *et al.* 2002. Neoproterozoic to Paleozoic Geology of the Altai Orogen, NW China: New Zircon Age Data and Tectonic Evolution[J]. *J. Geol.*, 110: 719~737.
- Wu F Y, Jahn B M, Wilde S, *et al.* 2000. Phanerozoic crustal growth: U-Pb and Sr-Nd isotopic evidence from the granites in northeastern China[J]. *Tectonophysics*, 328: 89~113.
- Wu F Y, Wilde S A, Sun D Y, *et al.* 2004. Geochronology and petrogenesis of post-orogenic Cu, Ni-bearing mafic-ultramafic intrusions in Jilin, NE China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23: 791~797.
- Wu F Y, Yang J H, Lo C H, *et al.* 2007. The Heilongjiang Group: a Jurassic accretionary complex in the Jiamusi Massif at the western Pacific margin of northeastern China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30: 542~556.
- Xiao W J, Han C M, Yuan C, *et al.* 2008. Middle Cambrian to Permian subduction-related accretionary orogenesis of North Xinjiang, NW China: implications for the tectonic evolution of Central Asia[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32: 102~117.
- Xiao W J, Windley B F, Badarch G. *et al.* 2004. Palaeozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altaids: implications for the growth of Central Asia[J]. *Journal of the Geological Society, London*, 161: 339~342.
- Xiao W J, Windley B F, Hao J, *et al.* 2003. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the central Asian orogenic belt[J]. *Tectonics*, 22(6): 1069~1089.
- Xiao W J, Windley B F, Huang B C, *et al.* 2009b. 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]. *Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch)* doi: 10.1007/s00531-008-0407-z.
- Xiao W J, Windley B F, Yuan C, *et al.* 2009a. Paleozoic multiple subduction-accretion processes of the southern Altaids[J]. *American Journal of Science*, 309: 221~270.
- Xu Baoliang, Yan Guohan, Lu Fengxiang, *et al.* 2001. Petrology of rich-alkaline and alkaline intrusive complexes in Beishan-Alxa Region[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20(3): 263~272 (in Chinese with English abstract).
- Xu W L, Wei Q J, Fu P P, *et al.* 2009. Triassic volcanism in eastern Heilongjiang and Jilin provinces, NE China: Chronology, geochemistry, and tectonic implications[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34: 392~402.
- Yan Guohan, Mu Baolei, Xu Baoliang, *et al.* 2000. Triassic alkaline intrusive rocks geochronology and Sr, Nd, Pb isotopic characteristics and its significance in Yan Liao-Yinshan[J]. *Science in China (D Series: Earth Science)*, 30(4): 383~387 (in Chinese).
- Yang Fuquan, Wang Liben, Ye Jinhua, *et al.* 2001. Zircon U-Pb ages of granites in the Huoshi Bulak area, Xinjiang[J]. *Regional Geology of China*, 20(3): 268~274 (in Chinese with English abstract).
- Yang Fuquan, Zhao Yue, Zeng Qingli, *et al.* 2007. I- and A-type composite granites of the Panshan pluton in the Jixian, Tianjin: a record of regional tectonic transformation? [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(3): 529~546 (in Chinese with English abstract).
- Yarmolyuk V V, Kovach V P, Kovalenko V, *et al.* 2007. Isotopic composition of the Hercynian crust of southern Mongolia: Substantiation of the Hercynian juvenile crust-forming event[J]. *Doklady Earth Sciences*, 417(8): 1178~1182.
- Yarmolyuk V V, Kovalenko V I, Kozlovskii A M, *et al.* 2005. Late Paleozoic-Early Mesozoic rift system of the Central Asia: composition and source of magmatism, development trends and geodynamics [A]. *Problem of tectonic of the Central Asia* [C]. Moscow: Geos. P., 197~232.
- Yarmolyuk V V, Kovalenko V I, Sal'nikova E B, *et al.* 2002. Tectono-Magmatic zoning, magma sources and geodynamics of the early Mesozoic Mongolia-Transbaikalia province[J]. *Geotectonics*, 36(4): 293~311.
- Yarmolyuk V V, Kovalenko V I, Salnikova E B, *et al.* 2008. Geochronology of magmatic rocks and conditions of formation of Late Paleozoic Southern-Mongolian active margin of the Siberian continent[J]. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 16: 162~181.
- Yarmolyuk V V, Litvinovsky B A, Kovalenko V I, *et al.* 2001. Formation stages and sources of the peralkaline granitoid magmatism of the Northern Mongolian-Transbaikalia Rift Belt during Permian and Triassic[J]. *Petrology*, 9: 302~328.
- Yuan C, Sun M, Xiao W J, *et al.* 2007. Accretionary orogenesis of the

- Chinese Altai : insights from Palaeozoic granitoids[J]. *Chemical Geology*, 242 : 22 ~ 39.
- Zhang Qi, Wang Yan, Li Chengdong, *et al.* 2006. Granite classification on the basis of Sr and Yb contents and its implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(9): 2 249 ~ 2 269(in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Wang Yan, Xiong Xiaolin, *et al.* 2008. Adakite and Granite : Challenge and Opportunity[M]. Beijing : China Land Press, 1 ~ 35(in Chinese).
- Zhang Shuanhong, Zhao Yue, Liu Jian, *et al.* 2007. Emplacement depths of the Late Paleozoic-Mesozoic granitoid intrusions from the northern North China block and their tectonic implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(3): 625 ~ 638(in Chinese with English abstract).
- Zhang Shuanhong, Zhao Yue, Song Bian, *et al.* 2009. Contrasting Late Carboniferous and Late Permian-Middle Triassic intrusive suites from the northern margin of the North China craton : Geochronology, petrogenesis, and tectonic implications[J]. *Geological Society of America*, 121(1/2): 181 ~ 200.
- Zhang Wanyi, Nie Fengjun, Jiang Sihong, *et al.* 2008. Zircon SHRIMP U-Pb age of quartz diorite in Qagan Obo of Inner Mongolia and its geological significance[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 27(3): 177 ~ 184(in Chinese with English abstract).
- Zhang Yongqing, Han Jianguang and Hu Fengxiang. 2002. Characteristics and Tectonic Significance of Granites of Middle Triassic in Bayinnuorigong Area, Inner Mongolia[J]. *Geology of Inner Mongolia*, (4): 15 ~ 20(in Chinese with English abstract).
- Zhang Z Z, Gu L X, Wu C Z, *et al.* 2005. Zircon SHRIMP dating for the Weiya pluton, eastern Tianshan : its geological implications[J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 79 : 1 481 ~ 1 490.
- Zhang Zunzhong, Gu Lianxing, Wu Changzhi, *et al.* 2006. Weiya quartz syenite in early Indosinian from eastern Tianshan Mountains : petrogenesis and tectonic implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1 135 ~ 1 149(in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhenhua, Akimasa Masuda, Shabani M B, *et al.* 1993. REE tetrad effects in rare-metal granites[J]. *Chinese Journal of Geochemistry*, 3 : 206 ~ 219.
- Zhou Taixi, Chen Jiangfeng, Xie Zhi, *et al.* 2000. Isotopic geochemistry of granitic rocks from Tuomuer Peak region, Tianshan, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 16(2): 153 ~ 160(in Chinese with English abstract).
- Zhou Taofa, Yuan Feng, Zhang Dayu, *et al.* 2010. Geochronology, tectonic setting and mineralization of granitoids in Jueluotage area, eastern Tianshan, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(2): 478 ~ 502(in Chinese with English abstract).
- Zhu Y F, Zeng Y S and Gu L B, 2006. Geochemistry of the rare metal-bearing pegmatite No. 3 Vein and related granites in the Keketuohai region, Altay Mountains, northwest China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27(1): 61 ~ 77.
- Zhu Yongfeng. 2007. Indosinian movement and metallogeny in Xinjiang, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 26(5): 510 ~ 519(in Chinese with English abstract).
- Zuo Guochao and He Guoqi. 1990. Plate Tectonics and Metallogenic Regularities in Beishan Region[M]. Beijing : Peking University Publishing House, 1 ~ 209(in Chinese).

附中文参考文献

- 崔惠文. 1996. 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*, 3(4): 306 ~ 314.
- 顾连兴, 张遵义, 吴昌志, 等. 2006. 关于东天山花岗岩与地壳垂向增生的若干认识[J]. *岩石学报*, 22(5): 1 103 ~ 1 120.
- 韩宝福. 2008. 中俄阿尔泰山中生代花岗岩与稀有金属矿床的初步对比分析[J]. *岩石学报*, 24(4): 655 ~ 660.
- 韩宝福, 季建清, 宋 彪, 等. 2006. 新疆准噶尔晚古生代陆壳垂向生长(I)——后碰撞深成岩浆活动的时限[J]. *岩石学报*, 22(5): 1 077 ~ 1 086.
- 韩宝福, 加加美宽雄, 李惠民. 2004. 河北平泉光头山碱性花岗岩的时代、Nd-Sr 同位素特征及其对华北早中生代壳幔相互作用的意义[J]. *岩石学报*, 20(6): 1 375 ~ 1 378.
- 胡霏琴, 王中刚, 涂光志. 1997. 新疆北部地质演化及成岩成矿规律[M]. 北京 : 科学出版社, 1 ~ 246.
- 江思宏, 聂凤军. 2006a. 北山地区花岗岩类的⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素年代学研究[J]. *岩石学报*, 22(11): 2 719 ~ 2 732.
- 江思宏, 聂凤军. 2006b. 北山地区花岗岩类成因的 Nd 同位素制约[J]. *地质学报*, 80(6): 826 ~ 842.
- 李华芹, 陈富文. 2004. 中国新疆区域成矿作用年代学[M]. 北京 : 地质出版社, 1 ~ 391.
- 李华芹, 陈富文, 李锦轶, 等. 2006. 再论东天山白山铀钼矿区成矿成岩时代[J]. *地质通报*, 25(8): 917 ~ 923.
- 李锦轶, 高立明, 孙桂华, 等. 2007. 内蒙古东部双井子中三叠世同碰撞壳源花岗岩的确定及其对西伯利亚与中朝古板块碰撞时限的约束[J]. *岩石学报*, 23(3): 565 ~ 582.
- 李锦轶, 何国琦, 徐 新. 2006a. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨[J]. *地质学报*, 60(1): 148 ~ 168.
- 李锦轶, 王克卓, 李亚萍, 等. 2006b. 天山山脉地貌特征、地壳组成与地质演化[J]. *地质通报*, 25(8): 895 ~ 909.
- 李锦轶, 张 进, 杨天南, 等. 2009. 北亚造山区南部及其毗邻地区地壳构造分区与构造演化[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 39(4): 584 ~ 605.
- 李嵩龄, 冯南昌. 1997. 新疆天山东部尾亚超单元组合特征[J]. *新疆地质*, 19(1): 13 ~ 27.
- 李嵩龄, 李文铅, 冯南昌, 等. 2002. 东天山尾亚复式岩株形成时代讨论[J]. *新疆地质*, 20(4): 357 ~ 359.
- 李文明, 任秉琛, 杨兴科, 等. 2002. 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*, 25(4): 24 ~ 41.
- 李伍平, 王 涛, 李金宝, 等. 2001. 东天山红柳河地区海西期花岗岩的岩石地球化学及其构造环境[J]. *地质论评*, 47(3): 368 ~ 376.
- 刘畅, 赵泽辉, 郭召杰, 等. 2006. 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*, 22(5): 1 294 ~ 1 306.
- 刘明强, 王建军, 代文军. 2006. 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*, 25(6): 473 ~ 479.

- 罗镇宽,李俊建,关康等. 2004. 辽宁凌源柏杖子金矿区花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质调查与研究, 27(2): 82~85.
- 罗镇宽,苗来成,关康等. 2003. 冀东都山花岗岩基及相关花岗斑岩脉 SHRIMP 锆石 U-Pb 法定年及其意义[J]. 地球化学, 32(2): 173~180.
- 马寅生,曾庆利,宋彪等. 2007. 燕山中段盘山花岗岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定及其构造意义[J]. 岩石学报, 20(3): 547~556.
- 毛德宝,陈志宏,钟长汀等. 2003. 冀北北岔沟门地区中生代侵入岩地质年代学和地球化学特征研究[J]. 岩石学报, 19(4): 661~674.
- 毛启贵. 2008. 北山及邻区古生代-早中生代增生与碰撞大地构造格局[D]. 北京:中国科学院地质与地球物理研究所.
- 苗来成,范蔚茗,翟明国等. 2003. 金厂沟梁-二道沟金矿田内花岗岩类侵入体锆石的离子探针 U-Pb 年代学及意义[J]. 岩石学报, 19(1): 71~80.
- 聂凤军,江思宏,白大明等. 2002. 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, 1~408.
- 任纪舜,王作勋,陈炳蔚等. 1999. 从全球看中国大地构造——中国及邻区大地构造图[M]. 北京:地质出版社.
- 任康绪,阎国翰,牟保磊等. 2005. 阿拉善断块富碱侵入岩岩石地球化学和 Nd, Sr, Pb 同位素特征及其意义[J]. 地学前缘, 12(2): 292~302.
- 任荣,牟保磊,韩宝福等. 2009. 河北矾山钾质碱性超镁铁岩-正长岩杂岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄[J]. 岩石学报, 25(3): 588~594.
- 石玉若,刘敦一,张旗等. 2004. 内蒙古苏左旗地区闪长-花岗岩类 SHRIMP 年代学[J]. 地质学报, 78(6): 789~799.
- 石玉若,刘敦一,张旗等. 2007. 内蒙古中部苏尼特左旗地区三叠纪 A 型花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其区域构造意义[J]. 地质通报, 26(2): 184~193.
- 陶继雄,胡凤翔,陈志勇. 2003. 华北陆块北缘印支期 S 型花岗岩带特征及其构造环境[J]. 岩石矿物学杂志, 20(2): 112~118.
- 田伟,陈斌,刘超群等. 2007. 冀北小张家口超基性岩体的锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成[J]. 岩石学报, 23(3): 583~590.
- 童英,王涛,洪大卫等. 2007. 中国阿尔泰山北部山区早泥盆世花岗岩的年龄、成因及构造意义[J]. 岩石学报, 23(8): 1933~1944.
- 王京彬,王玉往,周涛发. 2008. 新疆南部后碰撞与幔源岩浆有关的成矿谱系[J]. 岩石学报, 24(4): 743~752.
- 王涛,李伍平,李金宝等. 2008. 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, 24(4): 762~772.
- 王廷印,高军平,王金荣等. 1998. 内蒙古阿拉善北部地区碰撞期和后造山期岩浆作用[J]. 地质学报, 72(2): 126~137.
- 王银喜,李惠民,陶仙聪等. 1991. 中天山东段花岗岩类钽铀同位素及地壳形成年龄[J]. 岩石学报, (3): 19~26.
- 王玉往,王京彬,王莉娟等. 2008. 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, 24(4): 781~792.
- 许保良,阎国翰,路凤香等. 2001. 北山-阿拉善地区二叠-三叠纪富碱侵入岩的岩石学特征[J]. 岩石矿物学杂志, 20(3): 263~272.
- 阎国翰,牟保磊,许保良等. 2000. 燕辽-阴山三叠纪碱性侵入岩年代学和 Sr, Nd, Pb 同位素特征及意义[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 30(4): 383~387.
- 杨富全,王立本,叶锦华等. 2001. 新疆霍什布拉克地区花岗岩锆石 U-Pb 年龄[J]. 中国区域地质, 20(3): 268~274.
- 杨富全,赵越,曾庆利等. 2007. 天津蓟县盘山 I 型-A 型复合花岗岩体——区域构造环境转变的记录?[J]. 岩石学报, 23(3): 529~546.
- 张旗,王焰,李承东等. 2006. 花岗岩的 Sr-Yb 分类及其地质意义[J]. 岩石学报, 22(9): 2249~2269.
- 张旗,王焰,熊小林等. 2008. 埃达克岩和花岗岩:挑战与机遇[M]. 北京:大地出版社, 1~350.
- 张拴宏,赵越,刘健等. 2007. 华北地块北缘晚古生代-中生代花岗岩体侵位深度及其构造意义[J]. 岩石学报, 23(3): 625~638.
- 张万益,聂凤军,江思宏等. 2008. 内蒙古查干敖包石英闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 27(3): 177~184.
- 张永清,韩建刚,胡凤翔. 2002. 内蒙古阿拉善盟巴音诺日公地区中三叠世花岗岩特征及构造意义[J]. 内蒙古地质, (4): 15~20.
- 张遵忠,顾连兴,吴昌志等. 2006. 东天山印支早期尾亚石英正长岩成岩作用及成岩意义[J]. 岩石学报, 22(5): 1135~1149.
- 周泰禧,陈江峰,谢智等. 2000. 天山托木尔峰花岗质岩石的同位素地球化学特征[J]. 岩石学报, 16(2): 153~160.
- 周涛发,袁峰,张达玉等. 2010. 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, 26(2): 478~502.
- 朱永峰. 2007. 新疆的印支运动与成矿[J]. 地质通报, 26(5): 510~519.
- 左国朝,何国琦. 1990. 北山板块构造及成矿规律[M]. 北京:北京大学出版社, 1~209.