第 29 卷 第 6 期
2010 年 11 月

岩 石 矿 物 学 杂 志
ACTA PETROLOGICA ET MINERALOGICA

Vol. 29, No. 6:824~842
Nov., 2010

华北地块北缘晚古生代—早中生代岩浆活动期次、特征及构造背景

张拴宏[1],赵 越[1],刘建民[1],胡健民[1],宋 彪[2],刘 健[1],吴 海[3]

(1. 中国地质科学院 地质力学研究所,北京 100081;2. 北京离子探针中心,中国地质科学院 地质研究所,北京 100037;3. 国土资源部 实物地质资料中心,河北 燕郊 065201)

摘 要:通过对华北陆块北缘近年来获得的晚古生代—早中生代岩浆岩锆石 U-Pb 及部分^{39}Ar-^{40}Ar 测年结果的分析,认为该区晚古生代—早中生代期间至少经历了泥盆纪、早石炭世晚期—中二叠世及二叠纪末—三叠纪等 3 期明显的岩浆作用过程。泥盆纪岩浆活动时限在 400~360 Ma 左右,岩性主要为碱性岩(正长岩及二长岩),其次为基性-超基性岩、二长闪长岩、碱性花岗岩及流纹岩,出露面积较少。早石炭世晚期—中二叠世岩浆活动时限在 330~265 Ma 左右,岩性主要为闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩及花岗岩,其次为辉长岩及英云闪长岩。二叠纪末—三叠纪岩浆活动(250~200 Ma),岩性主要为钾长花岗岩、二长花岗岩及碱性杂岩,其次为基性-超基性岩及少量中酸性火山岩。华北地块北缘晚古生代—早中生代岩浆岩呈近东西走向的带状分布,其中泥盆纪及早石炭世晚期—中二叠世岩浆岩主要分布在内蒙古隆起上,而二叠纪末—三叠纪岩浆岩分布范围更大,其南界可以到达燕山构造带最南端的蓟县盘山及太行山北段的河北涿鹿矾山地区。这些广泛分布的多期次岩浆活动表明华北地块北缘在晚古生代—早中生代期间经历了复杂的岩浆及构造作用过程。泥盆纪岩浆活动可能与白乃庙岛弧岩带与华北克拉通弧-陆碰撞后的伸展作用有关。早石炭世晚期—中二叠世岩浆活动的形成与古亚洲洋向华北地块的俯冲作用有关。而二叠纪末—三叠纪岩浆活动的形成与华北地块与西伯利亚南缘蒙古增生褶皱带拼合后的伸展及岩石圈拆沉作用有关。

关键词:岩浆活动期次;晚古生代—早中生代;华北地块;大陆边缘;锆石 U-Pb 定年;兴蒙造山带(中亚造山带)

中图分类号:P588.1;P54 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-6524(2010)06-0824-19

Geochronology, geochemistry and tectonic setting of the Late Paleozoic-Early Mesozoic magmatism in the northern margin of the North China Block: A preliminary review

ZHANG Shuan-Hong[1], ZHAO Yue[1], LIU Jian-Min[1], HU Jian-Min[1], SONG Biao[2], LIU Jian[1] and WU Hai[3]

(1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China; 2. Beijing SHRIMP Center and Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3. Geological Sample Center, Ministry of Land and Resources, Yanjiao 065201, China)

Abstract: Tectonic evolution of northern North China Block (NCB) and its relation with the Central Asia Orogenic Belt (CAOB) during the Late Paleozoic to Early Mesozoic period have aroused considerable interest among earth scientists in recently years. A summary of the recently obtained zircon U-Pb or ^{39}Ar-^{40}Ar ages of the Late Paleozoic-Early Mesozoic magmatic rocks in the northern margin of NCB indicates that at least three stages of magmatism including Devonian (400~360 Ma), late Early Carboniferous to Middle Permian (330~265 Ma)

收稿日期:2010-04-26;**修订日期**:2010-07-05

基金项目:国土资源部百人计划;中国地质调查局地调项目 1212010711817);地质力学研究所基本科研业务费项目(DZLXJK200704)

作者简介:张拴宏(1974-),男,博士,副研究员,主要从事构造地质、大地构造及岩石学方面的研究工作,E-mail:tozhangshuanhong@163.com。

and latest Permian to Triassic (250～200 Ma) occurred during the Late Paleozoic to Early Mesozoic period. The main components of the Devonian magmatism are syenite and monzonite, together with some other rocks such as monzodiorite, alkaline granite, rhyolite and mafic-ultramafic rocks. These rocks exhibit high alkali content (K_2O+Na_2O) and have alkaline to high K calc-alkaline, metaluminous or weak peraluminous geochemical features. Rocks from the late Early Carboniferous-Middle Permian intrusive suite are composed mainly of diorite, quartz diorite, granodiorite and granite, with some gabbro and tonalite. The late Early Carboniferous-Middle Permian magmatic rocks have variable SiO_2 content and calc-alkaline to high K calc-alkaline, metaluminous or weak peraluminous geochemical features. Some of the late emplaced magmatic rocks (latest Early Permian-Middle Permian) display shoshonitic or alkaline geochemical compositions, indicating a trend of transition from calc-alkaline to shoshonitic or alkaline series during magmatic evolution. The latest Permian magmatic rocks consist mainly of monzogranite, K-feldspar granite, syenite, monzonite, mafic-ultramafic rocks and some intermediate-felsic volcanic rocks. They are characterized by high content of SiO_2, K_2O and alkali (K_2O+Na_2O) and display geochemical signatures ranging from highly fractionated I-type to A-type. Magmatic evolution exhibits a transition trend from high K calc-alkaline series in the early stage to the coexistence of alkaline and high K calc-alkaline series during the late stage. Compared with the Devonian and late Early Carboniferous to Middle Permian rocks, the latest Permian to Triassic magmatic rocks show much more extensive distribution. The wide distribution of the Late Paleozoic to Early Mesozoic magmatic rocks indicates a very complex tectonomagmatic history of the northern margin of the NCB during the Late Paleozoic to Early Mesozoic period. The Devonian rocks are probably related to post-collisional extension after the arc-continental collision between the Early Paleozoic Bainaimiao arc belt and the northern margin of the North China Craton during the latest Silurian to earliest Devonian period. The late Early Carboniferous to Middle Permian intrusive rocks are interpreted as subduction-related magmatic rocks emplaced in an Andean-style continental margin arc during the southward subduction of the Paleo-Asian oceanic plate beneath the NCB. The formation of large quantities of latest Permian to Triassic magmatic rocks might have resulted from post-collisional/post-orogenic lithospheric extension after final collision and suturing of the Mongolian arc terranes with the NCB.

Key words: magmatism phases; Late Paleozoic-Early Mesozoic; North China Block; continental margin; zircon U-Pb dating; Xing-Meng Orogenic Belt (Central Asian Orogenic Belt)

华北地块是世界上最古老的克拉通之一(Liu *et al*., 1992)。**与世界其他典型克拉通(如非洲、西伯利亚等)不同,华北克拉通在中新生代期间经历了强烈的岩石圈减薄、岩浆活动及成矿作用**(Fan and Menzies, 1992；**邓晋福等**, 2000；Davis *et al*., 2001；**毛景文等**, 2003；**赵越等**, 2004),**已成为国内外近期关注的热点之一**(Menzies *et al*., 1993, 2007；Xu, 2001；Zhang *et al*., 2002；Wilde *et al*. 2003；**郑建平等**, 2006；**吴福元等**, 2008；Yang *et al*. 2008；**嵇少丞等**, 2008；**高山等**, 2009)。**近年来的研究工作发现在内蒙古隆起内("内蒙地轴")以往所认为的太古—古元古代结晶基底岩系内,存在有大量的晚古生代—早中生代侵入体(如:罗镇宽等**, 2001；**倪志耀**, 2002；**张拴宏等**, 2004；**马芳等**, 2004；**王惠初等**, 2007；Zhang *et al*., 2007a, 2007b, 2009a, 2009b, 2009c；**等**),**构成了沿华北地块北缘呈东西向分布的岩浆岩带。这些岩浆岩带的成因及构造背景研究对于认识华北地块北缘晚古生代—早中生代构造演化历史具有重要意义。**

华北地块北缘毗邻中亚造山带(或称北亚造山区)东段(兴蒙造山带),而该带是全球最主要的显生宙增生型造山带之一,在古生代—早中生代期间经历了复杂的构造演化历史(Wang and Liu, 1986；**王荃等**, 1991；Hsu *et al*., 1991；Sengor *et al*., 1993；Xiao *et al*, 2003；Windley *et al*., 2007；**李锦轶等**, 2009)。**关于华北地块北缘的构造背景及其与兴蒙造山带及古亚洲洋构造演化的关系一直存在有较大争议**(**王荃等**, 1991；**徐备等**, 1997；Xiao *et al*, 2003),**而位于华北地块北缘的晚古生代—早中生代岩浆岩带为研究这一问题提供了重要依据。初**

步研究结果表明,华北地块北缘晚古生代—早中生代岩浆岩在形成时代、岩石组合及空间分布上均有明显的规律。本文将通过华北地块北缘近些年获得的晚古生代—早中生代岩浆岩的年代学、岩石学、地球化学及构造背景等资料的研究,希望对该区晚古生代—早中生代构造演化历史提供一些制约。

1 岩浆活动期次划分及其时代

表 1 列出了近些年来发表的有关华北地块北缘晚古生代—早中生代火成岩锆石 U-Pb 及少量^{39}Ar-^{40}Ar年龄,结合笔者近期获得的一些新数据,初步将

表 1 华北地块北缘晚古生代—早中生代岩浆岩锆石 U-Pb 及^{39}Ar-^{40}Ar 年龄汇总表

Table 1 Summary of zircon U-Pb or ^{39}Ar-^{40}Ar ages of the Late Paleozoic-Early Mesozoic magmatic rocks in the northern margin of NCB

样品号	纬度	经度	产地	岩性	年龄/Ma	测试方法	数据来源
泥盆纪岩浆活动							
DP-4	40°53′	115°21′	水泉沟东坪	石英二长岩	390°6	SHRIMP	罗镇宽等(2001)
HG-1	40°54′	115°37′	水泉沟后沟	正长岩	386±7	SHRIMP	罗镇宽等(2001)
H-1	41°09′	117°43′	下哈叭沁	异剥钙榴岩	397±6	SHRIMP	倪志耀(2002)
D055-1	41°12′09″	117°48′04″	孤山	二长闪长岩	390±5	SHRIMP	Zhang 等(2007b)
D485	41°10.3′	117°16.0′	红石砬	辉石岩	394±4	LA-ICP-MS	Zhang 等(2009b)
D486	41°10.2′	117°15.9′	红石砬	辉石岩	381±7	SHRIMP	Zhang 等(2009b)
D488	41°10.1′	117°16.2′	红石砬	辉石岩	387±2	LA-ICP-MS	Zhang 等(2009b)
D500	41°08.3′	117°38.3′	二道沟	角闪石岩	395±11	SHRIMP	Zhang 等(2009b)
D496-1	41°09.3′	117°43.0′	下哈叭沁	异剥钙榴岩	392±5	SHRIMP	Zhang 等(2009b)
06C205	—	—	车户沟	正长斑岩	376±3	LA-ICP-MS	Liu 等(2010)
07D014-1	42°34.2′	119°42.0′	赤峰莲花山	流纹岩	364±2	LA-ICP-MS	张拴宏等(2010)
2006MHS	—	—	赤峰红山	钾长花岗岩	387±4	SHRIMP	Shi 等(2010)
早石炭世晚期—中二叠世岩浆活动							
99YG25	40°38′	110°22′	杨克楞	火山灰	290±6	SHRIMP	Cope 等(2005)
RP-16	41°00′	117°16′	滦平	球状闪长岩	284±8	SHRIMP	马芳等(2004)
SD020-3	41°20′00″	117°46′40″	隆化	石英闪长岩	311±2	SHRIMP	张拴宏等(2004)
YZ02-12-3	42°28′46″	128°56′12″	延边	英云闪长岩	285±9	LA-ICPMS	Zhang 等(2004)
D018-1	41°16′10″	117°38′06″	大光顶	石英闪长岩	324±6	SHRIMP	Zhang 等(2007a)
D169-2	41°14′07″	117°26′43″	大光顶	石英闪长岩	314±6	SHRIMP	Zhang 等(2009a)
HLB-G	41°03′54″	117°20′25″	波罗诺	石英闪长岩	302±4	SHRIMP	Zhang 等(2007a)
FP2	40°59′17″	116°59′01″	虎什哈	花岗闪长岩	310±5	SHRIMP	Zhang 等(2007a)
HFH-1	40°58′10″	116°59′30″	虎什哈	花岗岩脉	304±8	SHRIMP	Zhang 等(2009a)
T3S-1	39°56′57″	115°55′30″	北京西山	凝灰岩	296±4	SHRIMP	Zhang 等(2007c)
Ch9808146	40°58′34″	115°38′38″	镇宁堡	片麻状花岗岩	273±1	Pb-Pb 蒸发	Zhang 等(2009c)
Ch9808160	41°02′03″	116°58′23″	厢黄旗	闪长岩	274±1	Pb-Pb 蒸发	Zhang 等(2009c)
Ch9808160	41°02′03″	116°58′23″	厢黄旗	闪长岩	274±9	SHRIMP	Zhang 等(2009c)
D315	41°52′57″	119°37′48″	建平	花岗闪长岩	304±2	LA-ICPMS	Zhang 等(2009a)
04ZH79	40°27.0′	118°33.8′	东湾子	辉石岩	308±4	SHRIMP	Zhang 等(2007)
04ZH77	40°27.1′	118°32.3′	东湾子	辉长岩脉	306±6	SHRIMP	Zhao 等(2007)
04ZH80	40°27.9′	118°34.1′	东湾子	辉长岩	298±3	SHRIMP	Zhao 等(2007)
04ZH85	40°27.6′	118°33.4′	东湾子	辉长岩	304±3	SHRIMP	Zhao 等(2007)
04ZH82	40°28.3′	118°34.9′	东湾子	淡色辉长岩	303±6	SHRIMP	Zhao 等(2007)
04ZH83	40°28.7′	118°35.3′	东湾子	辉石岩	301±2	SHRIMP	Zhao 等(2007)
05J05	40°59.595′	116°58.65′	天桥	石英闪长岩	280±6	SHRIMP	王惠初等(2007)
05A06	40°53.355′	116°37.14′	喇嘛沟门	闪长岩	288±5	SHRIMP	王惠初等(2007)
D490	41°03′57″	117°20′22″	波罗诺	角闪辉长岩	297±1	LA-ICPMS	Zhang 等(2009b)
WZ08	41°39.58′	108°50.28′	乌拉特中旗	花岗闪长岩	291±4	SHRIMP	罗红玲等(2007)
X3-3	41°10.0′	110°38.5′	元恒永	石英闪长岩	282±5	TIMS	袁桂邦等(2006)
—	41°10.5′	110°48.5′	石兰哈达	石英闪长岩	299±4	TIMS	张玉清等(2007)
D252	41°02′54″	116°57′14″	厢黄旗	角闪辉长岩	276±2	LA-ICPMS	Zhang 等(2009c)
D464	40°57′29″	116°45′08″	五道营子	闪长岩	283±2	LA-ICPMS	Zhang 等(2009c)

续表 1-1

Continued Table 1-1

样品号	纬度	经度	产地	岩性	年龄/Ma	测试方法	数据来源
D077-1	40°59′39″	116°58′28″	天桥	石英闪长岩	288±2	LA-ICPMS	Zhang 等(2009c)
D079-1	41°01′37″	117°06′17″	凌营	花岗闪长岩	288±4	LA-ICPMS	Zhang 等(2009c)
D215-1	40°59′05″	117°33′30″	周台子	石英闪长岩	291±3	LA-ICPMS	Zhang 等(2009c)
NM54	—	—	四子王旗	闪长岩	331±5	LA-ICPMS	周志广等(2009)
NM47	—	—	四子王旗	辉长岩	302±2	LA-ICPMS	周志广等(2009)
PM401YQ2221	—	—	固阳西营子	石英闪长岩	282±3	LA-ICPMS	曾俊杰等(2008)
ZQ05-06	41°20′33″	108°11′13″	乌梁斯太	花岗岩	277±3	SHRIMP	罗红玲等(2009)
—	—	—	红旗店	辉长闪长岩	273	LA-ICPMS	罗红玲等(2009)
—	—	—	温更	角闪石闪长岩	274	LA-ICPMS	罗红玲等(2009)
—	—	—	温更	辉长岩	272	SHRIMP	罗红玲等(2009)
Hq33	41°09′58″	115°05′20″	赤城海流图	二长花岗岩	299±3	LA-ICPMS	王　芳等(2009)
ZL21C	40°59′	115°39′	赤城镇宁堡	二长花岗岩	287±1	LA-ICPMS	王　芳等(2009)
JB6037-1	—	—	丰宁凤山	二长花岗岩	307±6	LA-ICPMS	凤永刚等(2009)
JB6024	—	—	丰宁凤山	闪长岩	315±3	LA-ICPMS	凤永刚等(2009)
—	—	—	四子王旗大庙	花岗闪长岩	265±(7	LA-ICPMS	章永梅等(2009)
06B193	—	—	汽修车间东	黑云母花岗岩	268±2	LA-ICPMS	范宏瑞等(2009)
06B218	—	—	打花儿东	黑云母花岗岩	272±2	LA-ICPMS	范宏瑞等(2009)
06B195	—	—	炸药库东南	花岗闪长岩	269±3	LA-ICPMS	范宏瑞等(2009)
06B204	—	—	白音敖包北	辉长闪长岩	281±3	LA-ICPMS	范宏瑞等(2009)
06B201	—	—	东炸药库 NE	辉长岩	264±4	LA-ICPMS	范宏瑞等(2009)
06B161	—	—	菠萝图山 SW	黑云母花岗岩	270±3	LA-ICPMS	范宏瑞等(2009)
06B241	—	—	僧经图东	钾长花岗岩	266±4	LA-ICPMS	范宏瑞等(2009)
06B242	—	—	浩勒包西	钾长花岗岩	268±5	LA-ICPMS	范宏瑞等(2009)
06B180	—	—	打花儿东	二长花岗岩	269±5	LA-ICPMS	范宏瑞等(2009)
06B129	—	—	汽修车间桥边	二长花岗岩	263±4	LA-ICPMS	范宏瑞等(2009)
06B211	—	—	乌兰哈达山	二长花岗岩	268±3	LA-ICPMS	范宏瑞等(2009)
06B221	—	—	呼白公路河岔口 N	二长花岗岩	270±3	LA-ICPMS	范宏瑞等(2009)
06B177	—	—	化工厂 NE	黑云母花岗岩	273±3	LA-ICPMS	范宏瑞等(2009)
06B179	—	—	化工厂 NE	黑云母花岗岩	265±2	LA-ICPMS	范宏瑞等(2009)
06B289	—	—	白云宾馆南	细粒花岗岩	270±4	LA-ICPMS	范宏瑞等(2009)
GST-19	—	—	高寺台	辉长岩脉	280±3	SHRIMP	Chen 等(2009)
NM010-1	42°19′57″	118°29′38″	柴胡栏子	辉长闪长岩	271±2	LA-ICPMS	未发表数据
D404-1	40°58′28″	115°40′02″	赤城镇宁堡东	片麻状花岗岩	292±3	LA-ICPMS	未发表数据
07027-2	41°53′32″	113°26′23″	大库伦西	黑云母花岗闪长岩	268±2	LA-ICPMS	未发表数据
07189-1	41°38′26″	108°27′29″	乌拉特中旗	石英闪长岩	276±4	LA-ICPMS	未发表数据
07223-1	41°18′50″	108°36′01″	大红山南	闪长岩	282±3	LA-ICPMS	未发表数据
二叠纪末—三叠纪岩浆活动							
PRC-22	42°00′	119°05′	赤峰娄子店	二长花岗岩	253±3	TIMS	Davis 等(2001)
GZZ-1	40°50′03″	115°12′26″	张家口谷嘴子	花岗岩	236±2	SHRIMP	Miao 等(2002)
DSH-1	—	—	冀东都山	花岗岩	223±2	SHRIMP	罗镇宽等(2003)
SJ-1	—	—	冀东三家金矿	花岗斑岩脉	222±4	SHRIMP	罗镇宽等(2003)
By98228	41°38′	117°10′	丰宁韩家店	石英二长岩	250±4	TIMS	毛德宝等(2003)
By99087	41°40′	117°06′	丰宁韩家店	钾长花岗岩	247±3	TIMS	毛德宝等(2003)
By98046	41°41′	117°08′	丰宁韩家店	二长花岗岩	247±2	TIMS	毛德宝等(2003)
YZ02-2	42°52′15″	128°30′32″	延边	二长花岗岩	249±4	LA-ICPMS	Zhang 等(2004)
YZ02-22-2	42°12′14″	128°49′21″	延边	二长花岗岩	245±6	LA-ICPMS	Zhang 等(2004)
YZ02-25-2	42°10′57″	128°44′58″	延边	二长花岗岩	245±3	LA-ICPMS	Zhang 等(2004)
YZ02-27-2	42°03′10″	128°49′32″	延边	二长花岗岩	248±2	LA-ICPMS	Zhang 等(2004)
—	—	—	白云鄂博	石英正长岩	247.3	TIMS	许立权等(2004)
BZHZ-4	—	—	凌源柏杖子	花岗岩	222±3	SHRIMP	罗镇宽等(2004)
—	—	—	光头山	碱性花岗岩	220±1	TIMS	韩宝福等(2004)
Nangoushang-1	40°55′43″	119°14′42″	凌源	辉石安山岩	230±3	SHRIMP	胡健民等(2005a)

续表 1-2

Continued Table 1-2

样品号	纬度	经度	产地	岩性	年龄/Ma	测试方法	数据来源
FW04-332	40°54′39″	124°32′56″	柏林川	正长岩	231±1	LA-ICPMS	吴福元等(2005)
FW01-424	40°57′40″	124°16′08″	赛马	正长岩	233±1	TIMS	吴福元等(2005)
99-SAW-109	—	—	吉林红旗岭	淡色辉长岩	216±5	SHRIMP	Wu 等(2004)
P4-5	—	—	吉林漂河川	辉石岩	217±3	SHRIMP	Wu 等(2004)
99CH23 Bt	40°45′	118°14′	承德	火山岩砾石	241±1	^{39}Ar-^{40}Ar	Cope 等(2007)
N301	—	—	张家口红花梁	花岗岩	235±2	SHRIMP	Jiang 等(2007)
XZJ	—	—	小张家口	超基性岩	220±5	SHRIMP	田 伟等(2007)
D1081	40°06′27″	117°16′01″	盘山	二长花岗岩	205±2	SHRIMP	马寅生等(2007)
D1066	40°05′15″	117°17′24″	盘山	石英二长岩	208±4	SHRIMP	马寅生等(2007)
D1030-1	40°05′48″	117°14′28″	盘山	二长花岗岩	203±5	SHRIMP	马寅生等(2007)
D1087	41°05′24″	117°11′29″	盘山	石英二长岩脉	206±2	SHRIMP	马寅生等(2007)
—	—	—	丰宁长阁北西	二长花岗岩	248±10	SHRIMP	王惠初等(2007)
NGS	—	—	凌源邓杖子组	安山岩砾石	211±6	SHRIMP	胡健民等(2007)
—	—	—	凌源河坎子	霞石正长岩	227±2	LA-ICPMS	吴福元等(2008)
CHFG-2	41°10′28″	117°16′00″	光岭山	二长花岗岩	254±3	SHRIMP	Zhang 等(2009a)
D315-1	41°52′57″	119°37′48″	建平	正长花岗岩	241±2	LA-ICPMS	Zhang 等(2009a)
D315-3	41°52′57″	119°37′49″	建平	二长花岗岩	237±1	LA-ICPMS	Zhang 等(2009a)
Hq01	41°09′40″	115°14′44″	赤城海流图	二长花岗岩	250±11	LA-ICPMS	王 芳等(2009)
Hq06	41°04′16″	115°11′48″	赤城白花沟	石英闪长岩	252±3	LA-ICPMS	王 芳等(2009)
BY88	—	—	矾山	辉石正长岩	218±2	SHRIMP	任 荣等(2009)
Fk04-5	42°29′46″	123°29′32″	辽宁法库	辉长岩	241±6	SHRIMP	Zhang 等(2009)
07215-1	41°20′44″	107°05′14″	赛乌素南	二长花岗岩	239±1	LA-ICPMS	未发表数据
07251-1	41°37.78′	117°11.82′	碱房	二长花岗岩	253±1	LA-ICPMS	未发表数据
08018-2	40°54.39′	118°52.17′	平泉松树台	火山岩砾石	255±5	LA-ICPMS	未发表数据
08012-2	40°47.00′	118°12.04′	承德县东	火山岩砾石	247±4	LA-ICPMS	未发表数据

华北陆块北缘晚古生代—早中生代岩浆活动划分为泥盆纪(400～360 Ma)、早石炭世晚期—中二叠世(330～265 Ma)及二叠纪末—三叠纪(250～200 Ma)等 3 个不同阶段,构成了华北地块北缘延伸上千公里的近东西向晚古生代—早中生代岩浆岩带(图 1)。

1.1 泥盆纪岩浆活动

泥盆纪岩浆活动分布范围虽然不大,但在华北地块北缘自东向西均有分布,时代主要为早泥盆世末期—中泥盆世,少量为晚泥盆世。典型的泥盆纪岩体主要包括 冀西北张家口水泉沟碱性杂岩体,其侵位年龄在 390 Ma 左右(罗镇宽等, 2001) ;冀北承德大庙孤山二长闪长岩,侵位年龄为 390±5 Ma (Zhang *et al*., 2007b) ;内蒙古大青山北缘高家村角闪二长岩(锆石 TIMS U-Pb 年龄为 390 Ma)❶ ;赤峰车户沟正长花岗斑岩(376±3 Ma, Liu *et al*., 2010) 赤峰红山公园钾长花岗岩(387±4 Ma, Shi *et al*., 2010)等。沿大庙断裂带出露的一些基性—超基性杂岩(红石砬、二道沟及下哈叭沁等地,倪志耀, 2002 ; Zhang *et al*., 2009b)及白云鄂博地区的一些碱性花岗岩❷也形成于这一时期。在赤峰东部莲花山、敖汉旗朝吐沟等地还存在有一些晚泥盆世流纹斑岩及流纹质熔结凝灰岩,其形成时代为 364±2 Ma(张拴宏等, 2010)。

1.2 早石炭世晚期—中二叠世岩浆活动

早石炭世末—晚石炭世侵入岩分布范围较大,但主要出露在内蒙古隆起上(图 1),仅有冀东遵化东湾子基性岩体侵位在内蒙古隆起南侧的中元古代沉积地层中。岩性主要为闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩及花岗岩,其次为英云闪长岩及辉长岩。典型岩体包括冀北隆化(311±2 Ma,张拴宏等, 2004)、大光顶(324±6～314±6 Ma, Zhang *et al*., 2007a, 2009a)、凤山(315±3～307±6 Ma, 凤永刚等, 2009)、波罗诺(302±4 Ma, Zhang *et al*., 2007a)、虎什哈(310±5 Ma, Zhang *et al*., 2007a)、周台子

❶ 天津地质矿产所区域地质调查队. 2002. 1∶5 万石兰哈达幅区域地质图(K49E018011).

❷ 内蒙古自治区地质调查院. 2003. 1∶25 万白云鄂博幅区域地质图(K49C003002).

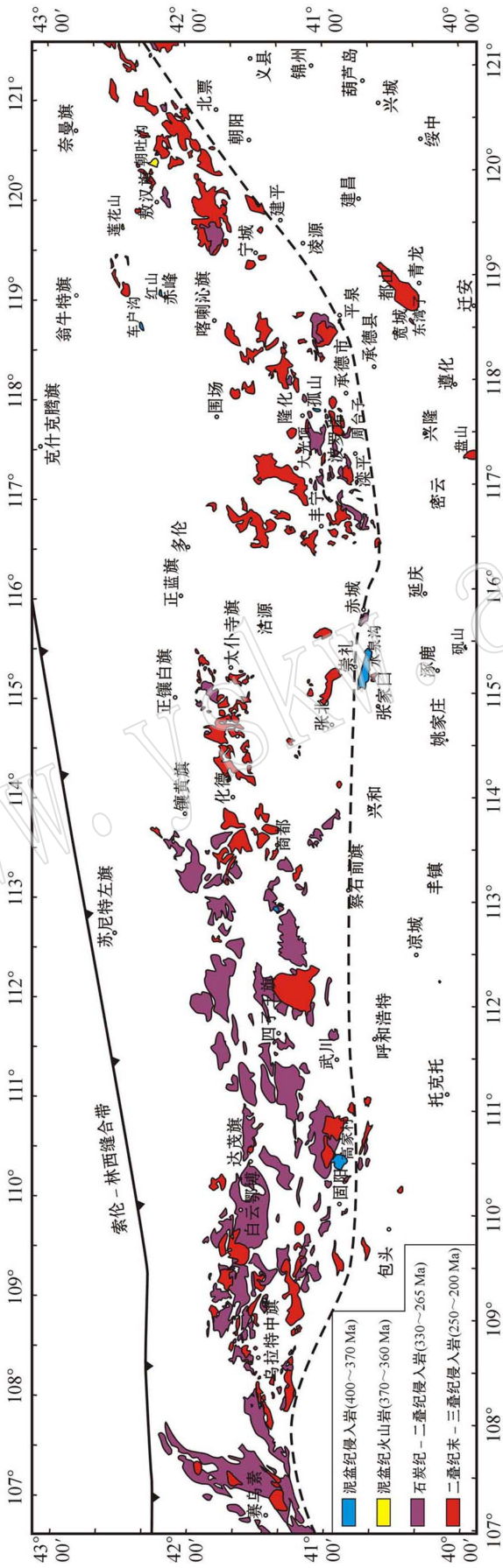

图 1　华北地块北缘晚古生代—早中生代岩浆岩分布简图[据河北省地质矿产局(1989)、辽宁省地质矿产局(1989)及内蒙古自治区地质矿产局(1991)底图修编]

Fig. 1　Geological sketch map showing distribution of the Late Paleozoic-Early Mesozoic magmatic rocks in the northern margin of the NCB (base geological map modified after Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources, 1989, Liaoning Bureau of Geology and Mineral Resources, 1989 and Inner Mongolia Bureau of Geology and Mineral Resources, 1991)

图中虚线表示内蒙古隆起南缘断裂(集宁–尚义–赤城–古北口–平泉–北票断裂)

Dashed line is the southern boundary faults of the Inner Mongolia Paleo-uplift (Jining-Shangyi-Chicheng-Gubeikou-Pingquan-Beipiao faults)

(291±3 Ma,Zhang *et al*.,2009c)、凌营(288±4 Ma,Zhang *et al*.,2009c)、天桥(288±2～280±6 Ma,王惠初等,2007;Zhang *et al*.,2009c)、五道营子-镶黄旗(283±2～274±9 Ma,Zhang *et al*.,2009c)及喇叭沟门(288±5 Ma,王惠初等,2007)闪长岩-花岗闪长岩体,赤城海流图花岗岩(299±3 Ma,王芳等,2009),赤城镇宁堡花岗岩(287±1～273±1 Ma,王芳等,2009;Zhang *et al*.,2009c),内蒙古大库伦西花岗闪长岩(268±2 Ma),固阳西营子闪长岩-花岗闪长岩(282±3 Ma,曾俊杰等,2008),大青山北石兰哈达石英闪长岩(299±4 Ma,张玉清等,2007),武川元恒永辉长苏长岩-闪长岩-花岗岩(282±5 Ma,袁桂邦等,2006),四子王旗活佛滩闪长岩(331±5 Ma,周志广等,2009),四子王旗大庙花岗闪长岩(265±7 Ma,章永梅等,2009),白云鄂博闪长岩-花岗岩(281±3～263±4 Ma,范宏瑞等,2009),乌拉特中旗闪长岩-花岗岩(291±4～272 Ma,罗红玲等,2007,2009),内蒙古大红山南闪长岩(282±3 Ma),冀东东湾子基性岩(308±4～298±3 Ma,Zhao *et al*.,2007),辽西建平花岗闪长岩(304±2 Ma,Zhang *et al*.,2009a),赤峰柴胡栏子辉长闪长岩(271±2 Ma),吉林延边英云闪长岩(285±9 Ma,Zhang *et al*.,2004)等。这些岩体的侵位时代主要为330～265 Ma左右。

与早石炭世晚期—中二叠世侵入岩相对应的火山岩在华北地块北缘不甚发育,仅在赤峰、镶黄旗及达茂旗-白云鄂博北部有少量二叠纪火山岩分布。对华北地块北缘花岗质岩体侵位深度研究结果(Zhang *et al*.,2006;张拴宏等,2007)表明,内蒙古隆起在晚古生代—早中生代期间经历了强烈的剥露作用,位于其中部的冀北地区的剥露幅度达到了15～18 km(Zhang *et al*.,2006)。在这种强烈的剥露过程中,华北地块北缘大量的早石炭世晚期—中二叠世火山岩被剥蚀了,但华北地块北部晚石炭世—二叠纪沉积盆地内凝灰岩层可能记录了此期强烈的岩浆喷发活动(Cope *et al*.,2005;Zhang *et al*.,2007c)。

早石炭世晚期—中二叠世变质作用在华北地块北缘也有报道。根据对冀北地区退变榴辉岩及异剥钙榴岩的SHRIMP U-Pb测年结果分析(倪志耀,2002;倪志耀等,2004;Ni *et al*.,2006),早石炭世末-晚石炭世在华北陆块北缘内蒙古隆起南部区域性大断裂(如大庙断裂、赤城断裂等)附近可能还存在有角闪岩相的变形-变质作用。

1.3 二叠纪末—三叠纪岩浆活动

二叠纪末—三叠纪岩浆岩的分布范围也很广泛,岩性主要为钾长花岗岩、二长花岗岩及碱性杂岩,其次为基性-超基性岩及少量中酸性火山岩。典型岩体包括:丰宁光岭山花岗岩(254±3 Ma,Zhang *et al*.,2009a)、丰宁韩家店花岗岩(250±4～247±3 Ma,毛德宝等,2003)、丰宁长阁北西花岗岩(248±10 Ma,王惠初等,2007)、冀东都山花岗岩(223±2～222±3 Ma,罗镇宽等,2003,2004)、蓟县盘山花岗岩-二长岩(208±4～203±5 Ma,马寅生等,2007)、赤城小张家口超基性-基性岩(220±5 Ma,田伟等,2007)、赤城海流图花岗岩(250±11 Ma,王芳等,2009)、赤城白虎沟石英闪长岩(252±3 Ma,王芳等,2009)、张家口谷嘴子花岗岩(236±2 Ma,Miao *et al*.,2002)、张家口红花梁花岗岩(235±2 Ma,Jiang *et al*.,2007)、辽西建平花岗岩(241±2～237±1 Ma,Zhang *et al*.,2009a)、赤峰娄子店花岗岩(253±3 Ma,Davis *et al*.,2001)、吉林延边花岗岩(249±4～245±6 Ma,Zhang *et al*.,2004)、吉林红旗岭基性-超基性岩(216±25 Ma,Wu *et al*.,2004)、吉林漂河川基性-超基性杂岩(217±3 Ma,Wu *et al*.,2004)及乌拉特后旗赛乌素南二长花岗岩(239±1 Ma)等。这些岩体的侵位时代主要为250～200 Ma左右。

三叠纪碱性杂岩在华北地块北部的燕辽及阴山广泛分布(阎国翰,2000,2001)。锆石U-Pb年代学结果测试结果表明(韩宝福等,2004;吴福元等,2005,2008;任荣等,2009),华北地块北部大多数碱性杂岩体,如:辽西凌源河坎子霞石正长岩体(227±2 Ma,吴福元等,2008)、辽东柏林川正长岩(231±1 Ma,吴福元等,2005)、辽东赛马正长岩(233±1 Ma,吴福元等,2005)、内蒙包头东霓辉正长岩体、河北阳原姚家庄环状次透辉岩-正长岩体、华北涿鹿矾山钾质碱性超镁铁岩-正长杂岩体(218±2 Ma,任荣等,2009)、河北平泉光头山碱性花岗岩体(220±1 Ma,韩宝福等,2004)等的侵位时间非常接近,主要集中在230～210 Ma,即晚三叠世。该碱性岩带向东可以延伸到北朝鲜境内(Peng *et al*.,2008),侵位时代与华北地块北缘非常相似(234±2～224±4 Ma,Wu *et al*.,2007a;Peng *et al*.,2008),向西可延伸到阿拉善东部地区(如:苏亥图及文都尔浩正长岩体等,任康绪,2005),构成了华北地块北部长达

数千公里的晚三叠世近东西向碱性岩带(Peng *et al.*，2008)。

二叠纪末—三叠纪火山岩在华北地块北缘出露非常有限。目前报道的仅有辽西凌源地区的水泉沟组安山岩，其锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 230±3 Ma(胡健民等，2005a)。但在冀北下板城—平泉、辽西朝阳、南票、凌源及内蒙古大青山等地晚三叠世—早侏罗世沉积岩中却见有较多的火山岩砾石，时代主要为三叠纪(Cope *et al.*，2007；胡健民等，2007)，显示晚三叠世—早侏罗世期间有大量火山岩被剥露到盆地中沉积。笔者近期也获得了平泉松树台及承德县晚三叠世—早侏罗世砾岩中火山岩砾石的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 250 Ma 左右(表 1)。由于沉积分析结果显示物源主要来源于华北克拉通北侧的内蒙古隆起(Cope，2003；Cope *et al.*，2007；刘健等，2007)，因此三叠纪火山岩可能在华北地块北缘广泛存在，只是由于后期强烈的构造作用被大量剥蚀了。

与主要出露在内蒙古隆起上的石炭纪-二叠纪东西向侵入岩带明显不同，华北地块北缘三叠纪岩浆岩带的分布范围更宽，其南界可以到达燕山构造带最南端的蓟县盘山、太行山北段的河北涿鹿及内蒙古中南部的凉城地区(图 1)，表明三叠纪岩浆活动的影响范围更广。

2　岩石组合及地球化学特征

对华北地块北缘晚古生代—早中生代岩浆岩初步分析发现，各期岩浆活动在岩石组合及地球化学特征方面均有明显的差别。在同一期岩浆活动的不同阶段，岩石组合及岩浆演化也表现出一定的差异。

2.1　泥盆纪岩浆活动

泥盆纪岩浆岩在岩石组合上以碱性杂岩(张家口水泉沟岩体、大青山北缘高家村)及碱性花岗岩(赤峰车户沟、红山公园)为主，其次为二长闪长岩(承德大庙孤山)、基性-超基性杂岩(红石砬、二道沟及下哈叭沁等地)、流纹质火山岩及次火山岩(赤峰莲花山、朝吐沟等)。其中花岗岩类型主要为 A 型。

在地球化学组成上，泥盆纪岩浆岩总体上以高碱(K_2O+Na_2O)、碱性-高钾钙碱性及准铝质或弱过铝质为特征。球粒陨石标准化稀土元素分配曲线一般表现为无 Eu 异常或弱正 Eu 异常(Jiang，2005；Zhang *et al.*，2007b；Wan *et al.*，2009；Zhang *et al.*，2009b)，仅少量花岗岩表现出具明显负 Eu 异常(Shi *et al.*，2010)。孤山二长闪长岩无论是在常量、微量与稀土元素还是同位素组成方面均可与水泉沟碱性杂岩(Jiang，2005)相对比，表明二者有相似的源区及成因(Zhang *et al.*，2007b)，但二者侵位深度却有明显差异，水泉沟碱性杂岩的侵位深度明显浅于孤山二长闪岩体(张拴宏等，2007)。泥盆纪火山岩及次火山岩则以富硅、碱、铝，贫铁、镁、钙、钛及过铝质为特征(张拴宏等，2010)。

全岩 Sr-Nd 及锆石 Hf 同位素分析结果(包志伟等，2003；Jiang，2005；Zhang *et al.*，2007b；Wan *et al.*，2009；Zhang *et al.*，2009b；Shi *et al.*，2010)显示，不同类型岩石的同位素组成呈现有规律的变化(图 2 及图 3)。大多数中泥盆世基性-超基性岩具有较低的$^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始比值(~0.705)和相对较高的$\varepsilon Nd(t)$值(-6.3~-1.5)及$\varepsilon Hf(t)$值(-6.5~5.5)(Zhang *et al.*，2009b)，表明这些岩石可能起源于轻度富集的岩石圈地幔的熔融。车户沟岩体具有较低的$^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始比值(0.708~0.711)、异常低的 $\varepsilon Nd(t)$值(-20 左右，Wan *et al.*，2009)及非常古老的 Nd 模式年龄(2.0~2.8 Ga)，说明这套岩石应起源于古老下地壳物质的重熔。水泉沟碱性杂岩与孤山二长闪长岩同位素特征相似，大多数岩石以低$^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始比值(0.705 左右)、低$\varepsilon Nd(t)$值(-13.2~-6.2)及 $\varepsilon Hf(t)$值(-11.8~-5.8)为特征，表明这些岩石主要来源于富集岩石圈地幔的部分熔融，但有地壳物质的混染(Jiang，2005；Zhang *et al.*，2007b)。

2.2　早石炭世晚期—中二叠世岩浆活动

早石炭世晚期—中二叠世岩浆岩岩石组合主要为闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩及花岗岩，其次为英云闪长岩及辉长岩。岩石组合随时间演化也有明显变化，其中早石炭世晚期—早二叠世岩石组合主要为闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩，其次为英云闪长岩、辉长岩及花岗岩；早二叠世末—中二叠世岩石组合除闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩及辉长岩外，还出现较多的花岗岩(黑云母花岗岩、二长花岗岩及钾长花岗岩)，特别是在华北地块北缘中段及西段地区较为明显。花岗岩以Ⅰ型花岗岩为主，晚期出现少量 A 型花岗岩。

早石炭世晚期—中二叠世岩浆岩以钙碱性-高钾钙碱性、准铝质或弱过铝质及 SiO_2 含量变化大为特征。岩浆作用晚期(早二叠世末期—中二叠世)出

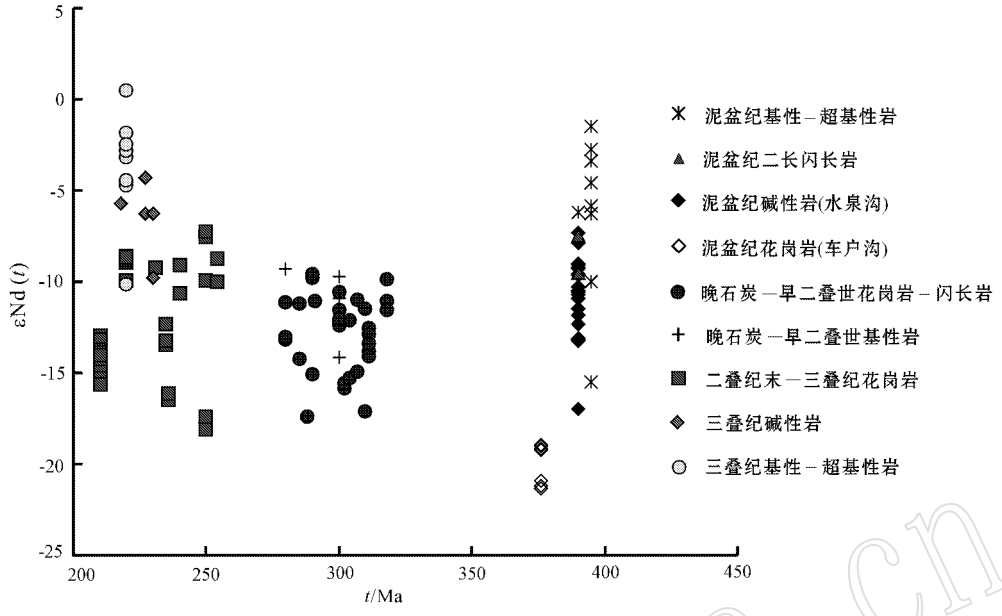

图 2 华北地块北缘晚古生代—早中生代岩浆岩的 Nd 同位素组成

Fig. 2 Nd isotopic compositions of the Late Paleozoic-Early Mesozoic magmatic rocks in the northern margin of the NCB

数据来源 陈安国等(1996)、阎国翰等(2000)、包志伟等(2003)、韩宝福等(2004)、任康绪等(2004，2005b)、Jiang(2005)、杨富全等(2007)、田伟等(2007)、罗红玲等(2007)、Jiang 等(2007)、Zhang 等(2007b)、陈斌等(2008)、Wan 等(2009)、Zhang 等(2009a，2009b，2009c)、凤永刚等(2009)、王芳等(2009)

Data from Chen Anguo *et al*. (1996); Yan Guohan *et al*. (2000); Bao Zhiwei *et al*. (2003); Han Baofu *et al*. (2004); Ren Kangxu *et al*. (2004, 2005b); Jiang(2005); Yang Fuquan *et al*. (2007); Tian Wei *et al*. (2007); Luo Hongling *et al*. (2007); Jiang *et al*. (2007); Zhang *et al*. (2007b); Chen Bin *et al*. (2008); Wan *et al*. (2009); Zhang *et al*. (2009a, 2009b, 2009c); Feng Yonggang *et al*. (2009); Wang Fang *et al*. (2009)

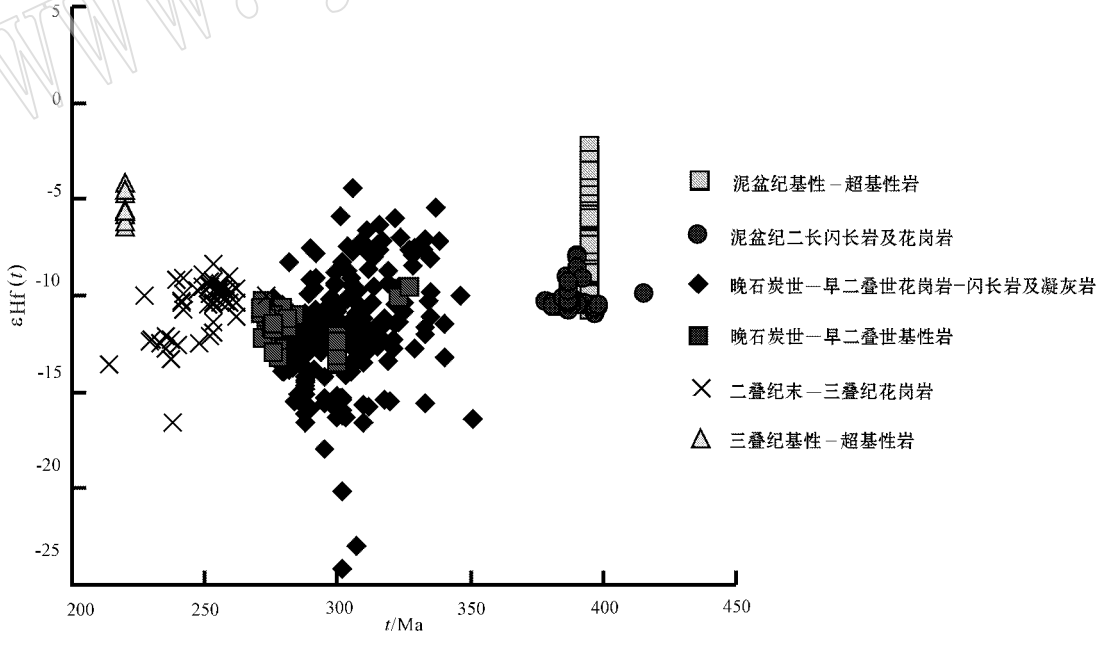

图 3 华北地块北缘晚古生代—早中生代岩浆岩锆石的 Hf 同位素组成

Fig. 3 Zircon Hf isotopic compositions of the Late Paleozoic-Early Mesozoic magmatic rocks in the northern margin of the NCB

数据来源 田伟等(2007)、Jiang 等(2007)、Zhang 等(2007b，2009a，2009b，2009c)、凤永刚等(2009)、王芳等(2009)、Shi 等(2010)

Data from Tian Wei *et al*. (2007); Jiang *et al*. (2007); Zhang *et al*. (2007b, 2009a, 2009b, 2009c); Feng Yonggang *et al*. (2009); Wang Fang *et al*. (2009); Shi *et al*. (2010)

现部分钾玄岩-碱性岩系列的岩石组合，表明岩浆作用有由钙碱性岩质向钾玄岩质或碱性岩质演化的趋势。部分花岗质岩石具高 Sr 低 Y 及轻稀土元素明显富集的埃达克质岩特征(罗红玲等，2007；曾俊杰等，2008)，可能与俯冲过程中地壳加厚有关(Zhang *et al*.，2007a，2009a，2009c)。

全岩 Sr-Nd 及锆石 Hf 同位素分析结果(Liu *et al*.，2006；罗红玲等，2007；Zhang *et al*.，2009a，2009b，2009c；凤永刚等，2009；王芳等，2009)显示(图 2 及图 3)，大多数岩体(如冀北的隆化、波罗诺、凤山、虎什哈、周台子、凌营、天桥、镶黄旗-五道营子、海流图、镇宁堡岩体，辽西建平岩体，乌拉特中期克布岩体等)具有较低的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始比值(0.705～0.710)及低的 $\varepsilon Nd(t)$ 值(－17.1～－9.3)与 $\varepsilon Hf(t)$ 值(－38.3～－7.4)，但显示出较大的变化范围。与花岗质岩石相比，岩体中的角闪辉长岩具有相对低的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始比值(0.705～0.706)及 $\varepsilon Nd(t)$ 值(－10.9～－9.3)与 $\varepsilon Hf(t)$ 值(－17.0～－9.1)。这些同位素特征表明花岗质岩石主要起源于古老下地壳物质的重熔，基性岩可能起源于富集岩石圈地幔的局部熔融，而大量的闪长岩则可能是幔源岩浆与壳源岩浆不同程度混合的产物。但一些稍早侵位的岩体(大光顶岩体，早石炭世末—中石炭世初侵位)则表现出相对较高的全岩 $\varepsilon Nd(t)$ 值(－11.5～－9.9)、较年轻的 Nd 模式年龄(1.82～1.64 Ga)及低的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始比值(0.704 6～0.704 8)；其中少量锆石表现出高的 $^{176}Hf/^{177}Hf$ 初始比值及 $\varepsilon Hf(t)$ 值(－8.7～1.2)，表明岩石圈地幔甚至俯冲板片在早期岩浆活动中可能发挥了重要作用(Zhang *et al*.，2009a)。

2.3　二叠纪末—三叠纪岩浆活动

二叠纪末—三叠纪岩浆岩岩石组合主要为钾长花岗岩、二长花岗岩及碱性杂岩，其次为基性-超基性岩及少量中酸性火山岩。其中二叠纪末—早三叠世岩石组合主要为钾长花岗岩、二长花岗岩及少量石英二长岩。从晚三叠世开始大量出现碱性杂岩(霞石正长岩、霓辉正长岩、石英正长岩、正长岩及碱性花岗岩等)及共生的碱性超镁铁岩。二叠纪末—三叠纪花岗岩类型主要为 A 型，少量为 I 型，S 型花岗岩不甚发育。

二叠纪末—三叠纪岩浆的特征是高硅、高钾、高碱(K_2O+Na_2O)，并表现出高分异 I 型花岗岩或 A 型花岗岩特征。在 A/NK－A/CNK 图解上主要为弱过铝质，其次为准铝质及过碱质。强过铝质花岗岩(A/CNK＞1.1，Sylvester，1998)，特别是含有特征富铝矿物(如原生白云母、石榴石、堇青石、电气石或红柱石等)的花岗岩不很发育。岩石系列有由早期高钾钙碱性为主向晚期碱性系列及高钾钙碱性共生转变的趋势。在晚三叠世碱性杂岩及碱性花岗岩中大量出现特征碱性矿物如霓辉石、霓石、霞石及碱性角闪石等。

二叠纪末—三叠纪岩浆岩已有的全岩 Sr-Nd 及锆石 Hf 同位素组成显示出较大的变化范围(阎国翰等，2000；韩宝福等，2004；任康绪等，2004，2005b；杨富全等，2007；田伟等，2007；Jiang *et al*.，2007；Zhang *et al*.，2009a；王芳等，2009)，表明其物源可能较为复杂(图 2 及图 3)。部分花岗岩体(如 赤城海流图、张家口谷嘴子及红花梁等)具有与早石炭世晚期—中二叠世花岗质岩石相似的低 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始比值(～0.707)及低 $\varepsilon Nd(t)$ 值(－18.1～－12.3)与 $\varepsilon Hf(t)$ 值(－23.3～－9.9)，表明这些岩石主要来源于古老下地壳的熔融(Jiang *et al*.，2007；王芳等，2009)。其他花岗岩体(如 赤城白虎沟、丰宁光岭山及辽西建平等，Zhang *et al*.，2009a；王芳等，2009)则表现出稍高的 $\varepsilon Nd(t)$ 值(－10.6～－8.8)及 $\varepsilon Hf(t)$ 值(－14.9～－6.7)，其 Hf 同位素及 Nd 同位素模式年龄也更年轻，表明岩石形成过中可能有更多新生亏损物质的加入。而大多数晚三叠世碱性杂岩及碱性花岗岩(阎国翰等，2000；韩宝福等，2004；任康绪等，2004，2005b)具有相对更高的 $\varepsilon Nd(t)$ 值(－9.9～－4.3)。大多数学者认为华北地块北缘晚三叠世碱性杂岩及碱性花岗岩起源于富集岩石圈地幔的局部熔融(阎国翰等，2000；韩宝福等，2004；任康绪等，2004，2005b)，但由于这些岩体的 $\varepsilon Nd(t)$ 值比亏损地幔来源的晚石炭世—早三叠世基性-超基性岩明显偏高，因此在这些碱性杂岩及碱性花岗岩形成过程中可能还有软流圈物质的贡献。特别是晚三叠世侵位的冀西北小张家口基性-超基性杂岩体内大多数岩石具有较低的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始比值(0.704 5～0.708 1)和较高的 $\varepsilon Nd(t)$ 值(－4.7～0.5)与 $\varepsilon Hf(t)$ 值(－2.9～－1.7)[根据陈安国等(1996)数据重新计算；田伟等，2007；陈斌等，2008]，这一结果与该地区晚石炭世—早三叠世基性-超基性杂岩 Sr-Nd-Hf 同位素组成(Zhang *et al*.，2009b)相比明显亏损，表明该岩体物源中除富集的岩石圈地幔外，还可能有亏损的软流圈地幔物

质加入。晚三叠世侵位的吉林红旗岭及漂河川基性-超基性杂岩也以较高的 εNd(t)值(-0.2~4.3)及相对年轻的模式年龄(0.8~2.0 Ga)为特征(Wu *et al*., 2004)。

3 不同期次岩浆活动构造背景分析

华北地块北缘晚古生代—早中生代强烈的岩浆活动表明华北地块北缘在晚古生代—早中生代期间经历了非常复杂的演化历史。华北地块北缘晚古生代—早中生代的构造演化是与其北侧的兴蒙造山带及古亚洲洋密切相关的。

3.1 泥盆纪岩浆活动

华北地块北缘泥盆纪岩浆岩岩石组合及地球化学特征显示出伸展背景的岩浆作用特征。早古生代期间,在华北克拉通北侧发育了白乃庙岛弧岩带(如 刘敦一等,2003;许立权等,2003;贾和义等,2003;Jian *et al*.,2008;张维等,2008;等)。对岛弧火山岩及侵入岩的锆石 U-Pb 定年结果表明(刘敦一等,2003;许立权等,2003;Jian *et al*.,2008;张维等,2008 以及笔者未发表数据),白乃庙岛弧岩带开始于早奥陶世(~475 Ma),结束于晚志留世(~420 Ma)。志留纪末期,白乃庙岛弧与华北克拉通北缘发生弧-陆碰撞(李锦轶等,2009),白乃庙岛弧增生拼贴在华北克拉通北缘之上。内蒙古中部西别河组地层与下覆奥陶纪—志留纪岛弧火山沉积岩系之间的不整合(内蒙古地质矿产局,1991;许立权等,2003)可能与这一弧-陆碰撞过程有关。位于不整合面之上的西别河组为一套磨拉石或类磨拉石沉积(苏养正,1996),其沉积时代为晚志留世(内蒙古地质矿产局,1991)或晚志留世末期—早泥盆世早期(苏养正,1996;王平,2005;Chen and Boucot,2007)。泥盆纪期间,华北地块北缘进入弧-陆碰撞后伸展阶段。华北地块北缘泥盆纪岩浆活动的形成可能与此次弧-陆碰撞后的伸展背景有关。

3.2 早石炭世晚期—中二叠世岩浆活动

早石炭世晚期—中二叠世侵入岩呈平行于华北地块北缘边界的东西向带状分布在内蒙古隆起上(图 1),在岩石组合、矿物组合、岩石地球化学、同位素组成及空间分布等方面均显示出活动大陆边缘岩浆弧的特征,并且可以与世界典型大陆边缘岩浆弧(如北美内华达岩浆弧、南美秘鲁海岸岩基等)相对比(Ducea,2001;Lackey *et al*.,2005;等)。岩浆作用由钙碱性岩质向钾玄岩质或碱性岩质演化的趋势也与俯冲带岩浆成分极性随时间演化规律相一致(Wilson,1989)。因此早石炭世晚期—中二叠世岩浆活动发育的构造背景应为安第斯型活动大陆边缘,其形成与古亚洲洋板块向华北地块的俯冲有关。华北地块北缘内蒙古隆起大致代表了这一安第斯型活动大陆边缘弧的范围。同时在古亚洲洋板块向南俯冲过程中,由于弧后局部扩张作用,在内蒙古隆起南侧的沉积盆地中还有少量基性岩浆侵入(如晚石炭世—二叠纪初侵位的冀东东湾子基性岩体)。

对于古老的活动大陆边缘岩浆弧而言,由于后期强烈的构造及剥蚀作用,与侵入岩相对应的地表弧型火山岩常常被剥蚀,保留下来的主要为深成侵入岩组合。岩体侵位深度估算结果表明,华北地块北缘内蒙古隆起在晚古生代—早中生代期间经历了强烈的剥露作用(Zhang *et al*.,2006;张拴宏等,2007),其上的大部分火山岩已经被剥蚀,但华北地块北部晚古生代沉积盆地凝灰岩可能记录了这一强烈的火山作用过程。对华北地区晚古生代沉积地层的研究结果表明,在内蒙古大青山、河北兴隆、山西大同、宁夏银川、辽宁等地的石炭—二叠系地层中均发现了大量的凝灰岩层(钟蓉等,1995;贾炳文等,1999;周安朝等,2001;等)。沉积学分析结果表明,凝灰岩的物源区在其北侧,但由于华北地块北缘同期火山岩出露非常有限,因此这些凝灰岩通常被认为是兴蒙造山带古火山活动的产物(贾炳文等,1999)。对北京西山上古生界地层凝灰岩夹层锆石 SHRIMP U-Pb 测年及微区 Lu-Hf 同位素分析表明,凝灰岩锆石 Hf 同位素组成[低 $^{176}Hf/^{177}Hf$ 初始比值及负 εHf(t)值]与内蒙古隆起内晚石炭世—早二叠世侵入岩非常相似,但与中亚造山带内同期岩浆岩[高 $^{176}Hf/^{177}Hf$ 初始比值及正 εHf(t)值,Yang *et al*.,2006]明显不同,表明这些凝灰岩主要来源于华北北缘的内蒙古隆起,而不是其北侧的兴蒙造山带(Zhang *et al*.,2007c)。因此,晚古生代期间在内蒙古隆起上应该存在有与安第斯型活动大陆边缘有关的弧形的古火山活动,但由于后期构造作用被强烈剥蚀(Zhang *et al*.,2007c)。

早石炭世晚期—中二叠世岩浆活动发育在安第斯型活动大陆边缘的认识也得到了沉积学结果的支持。对华北晚古生代沉积盆地的研究结果表明,石炭纪末—二叠纪期间,华北地块北部沉积盆地已经由克拉通盆地转变为具有弧后性质的前陆盆地(孟

祥化等，2001）。华北北部晚古生代沉积盆地碎屑锆石研究结果显示，在晚古生代沉积地层内除来自太古—古元古代结晶基底岩系的锆石外，还存在有大量的晚石炭世—二叠纪岩浆锆石（Cope *et al*.，2005；Yang *et al*.，2006；李洪颜等，2009），这些岩浆锆石的时代及 Hf 同位素特征等均与华北地块北缘内蒙古隆起上同期岩浆锆石相似（Yang *et al*.，2006；李洪颜等，2009），表明晚古生代期间内蒙古隆起上有大量的物质被剥露到南侧的盆地中沉积。

3.3　二叠纪末—三叠纪岩浆活动

二叠纪末—三叠纪岩浆岩在岩石组合、岩浆演化、矿物组成、地球化学及同位素组成等方面均显示后碰撞/后造山岩浆作用的特征。岩石组成由二叠纪末—中三叠世以高钾钙碱性为主向晚三叠世大量出现碱性岩及相伴的碱性超镁铁岩的演变也与后碰撞/后造山岩浆演化规律相一致。与喜马拉雅及阿尔卑斯等碰撞造山带明显不同，华北地块与西伯利亚南缘蒙古增生褶皱带的拼合造山过程为弱碰撞过程，因此缺少显著的同碰撞期高压变质、地壳加厚及强过铝质 S 型花岗岩。

尽管目前对华北地块与蒙古增生褶皱带最终碰撞拼合时代还存在一定争议，但近期大量的多学科研究结果均支持华北地块与西伯利亚南缘蒙古增生褶皱带最终碰撞拼合时间为二叠纪末—三叠纪初期（如：王荃等，1991；Hsu *et al*.，1991；Sengor *et al*.，1993；Zorin *et al*，1993；Wang and Mo，1995；Chen *et al*.，2000；Xiao *et al*，2003，2009；尚庆华，2004；Li，2006；Wu *et al*.，2007b；Windley *et al*.，2007；Miao *et al*.，2007；Lin *et al*.，2008；等），且最终缝合带位于索伦—林西（或西拉木伦）—长春—延吉一线，而不是一些学者所认为的索伦—贺根山一线（如：Sengor *et al*.，1993；等）。华北地块北缘二叠纪末—三叠纪岩浆岩形成于后碰撞/后造山构造环境与这一认识相符合。内蒙古中部中二叠世出现 I 型花岗岩及 A 型花岗岩共生的事实说明华北地块与西伯利亚南缘蒙古增生褶皱带沿索伦—林西（或西拉木伦）—长春—延吉拼合的时间至西向东可能有一定差别，西侧可能稍早于东侧。

对华北地块北缘晚古生代—早中生代基性-超基性杂岩 Nd-Hf 同位素的对比结果表明，从二叠纪—早三叠世至晚三叠世期间，岩石 $\varepsilon Nd(t)$ 值及锆石 $\varepsilon Hf(t)$ 值有明显升高，表明晚三叠世期间可能有亏损的软流圈地幔物质的加入，指示华北地块北缘在中晚三叠世期间可能发生了明显的岩石圈拆沉及软流圈上涌，而这一拆沉可能代表了华北克拉通北缘岩石圈减薄的开始（Zhang *et al*.，2009b）。华北克拉通北缘早中生代岩石圈减薄也得到了该区及邻区伸展构造及沉积盆地研究结果的支持（Ritts *et al*.，2001；Davis *et al*.，2004；胡健民等，2005b）。因此，与华北克拉通内部相比，其北缘岩石圈开始减薄的时间可能更早。这一早期的岩石圈较薄可能对认识华北克拉通的破坏过程具有重要意义。

4　初步认识及结论

（1）晚古生代—早中生代期间，华北陆块北缘至少存在泥盆纪（400～360 Ma）、早石炭世晚期—中二叠世（330～265 Ma）及二叠纪末—三叠纪（250～200 Ma）等 3 期较强的岩浆作用过程。这 3 期岩浆作用在岩石组合、地球化学、构造变形及空间分布等方面均有明显的差异。

（2）泥盆纪岩浆活动分布范围较为局限，主要分布于赤峰、承德、张家口、大青山及白云鄂博等地，岩性主要为碱性杂岩，其次为基性岩、碱性花岗岩及流纹岩。泥盆纪岩石组合反映伸展构造背景特征，可能与白乃庙岛弧岩带与华北克拉通弧-陆碰撞后的伸展作用有关。

（3）早石炭世晚期—中二叠世岩浆活动广泛分布于内蒙古隆起上，岩石组合要为闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩及花岗岩，其次为英云闪长岩及辉长岩。这套岩石侵位于安第斯型大陆边缘弧，其形成可能与古亚洲洋向华北地块的俯冲作用有关。该期与俯冲有关的弧火山岩在内蒙古隆起也有发育，但大部分已在后期构造作用中被剥蚀。华北北部晚石炭世—二叠纪沉积地层内广泛分布的凝灰岩层则记录了这一火山作用过程。

（4）二叠纪末—三叠纪岩浆活动分布范围更为广泛。除在内蒙古隆起上广泛出露外，其南界可到达燕山构造带最南缘的天津蓟县盘山地区及太行山北端的砚山地区。岩石组合主要为钾长花岗岩、二长花岗岩及碱性岩，其次为基性-超基性岩及少量中酸性火山岩。二叠纪末—三叠纪岩浆活动的形成可能与华北地块与西伯利亚南缘蒙古增生褶皱带拼合后的伸展及岩石圈拆沉作用有关。

致谢　此研究得到了国土资源部百人计划、中

国地质调查局(1212010711817)及地质力学研究所基本科研业务费(DZLXJK200704)项目的资助。与李锦轶研究员的讨论使作者受益颇多。感谢审稿人建设性的意见及建议。

References

Bao Zhiwei, Zhao Zhenhua, Zhang Peihua, *et al*. 2003. REE, Sr, Nd and Pb isotopic evidence for the Shuiquangou syenite complex in NW Hebei Province[J]. China. Geological Review, 40(6): 596~604 (in Chinese with English abstract).

Chen X G and Boucot A J. 2007. Late Silurian brachiopods from Darhan Mumingan Joint Banner, Inner Mongolia[J]. Geobios, 40(1): 61~74.

Chen Anguo, Ma Peixue, Li Hongyang, *et al*. 1996. The main characteristics and age of Xiaozhangjiakou ultrabasic rocks in Chicheng County, Hebei Province[J]. Acta Petrologica Sinica. 12: 156~162 (in Chinese with English abstract).

Chen B, Jahn B M, Wilde S, *et al*. 2000. Two contrasting Paleozoic magmatic belts in northern Inner Mongolia, China: Petrogenesis and tectonic implications[J]. Tectonophysics, 328: 157~182.

Chen Bin, Tian Wer and Liu Ankun. 2008. Petrogenesis of the Xiaozhangjiakou mafic-ultramafic complex, North Hebei: constraints from petrological, geochemical and Nd-Sr isotopic data[J]. Geological Journal of China Universities. 14: 295~303 (in Chinese with English abstract).

Chen B, Suzuki K, Tian W, *et al*. 2009. Geochemistry and Os-Nd-Sr isotopes of the Gaositai Alaskan-type ultramafic complex from the northern North China craton: implications for mantle-crust interaction[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 158(5): 683~702.

Cope T D. 2003. Sedimentary Evolution of the Yanshan Fold-Thrust Belt, Northeast China (Ph.D thesis)[D]. Stanford: Stanford University, 230.

Cope T D, Ritts B D, Darby B J, *et al*. 2005. Late Paleozoic sedimentation on the northern margin of the North China block: implications for regional tectonics and climate change[J]. International Geology Review, 47: 270~296.

Cope T D, Shultzw M R and Graham S A. 2007. Detrital record of Mesozoic shortening in the Yanshan belt, NE China: testing structural interpretations with basin analysis[J]. Basin Research, 19: 253~272.

Davis G A, Zheng Y D, Wang C, *et al*. 2001. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning Provinces, Northern China[J]. Geological Society of America Memoir, 194: 171~197.

Davis G A, Xu B, Zheng Y D, *et al*. 2004. Indosinian extension in the Solonker suture zone: The Sonid Zuoqi metamorphic core complex, Inner Mongolia, China[J]. Earth Science Frontiers, 11(3): 135~144(in English with Chinese abstract).

Deng Jinfu, Zhao Guochun, Zhao Hailing, *et al*. 2000. Yanshanian igneous petrotectonic assemblage and orogenic-deep processes in East China[J]. Geological Review, 46(1): 41~48(in Chinese with English abstract).

Ducea M. 2001. The California arc: thick granite batholiths, eclogitic residues, lithospheric-scale thrusting, and magmatic flare-ups[J]. GSA Today, 11: 4~10.

Fan Hongrui, Hu Fangfang, Yang Kuifeng, *et al*. 2009. Geochronology framework of late Paleozoic dioritic-granitic plutons in the Bayan Obo area, Inner Mongolia, and tectonic significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 25(11): 2 933~2 938(in Chinese with English abstract).

Fan W M and Menzies M A. 1992. Destruction of aged lower lithosphere and accretion of asthenosphere mantle beneath eastern China[J]. Geotectonica et Metallogenia, 16: 171~180.

Feng Yonggang, Liu Shuwen, Lü Yongjun, *et al*. 2009. Petrogenesis of the Late Paleozoic diorites-granitoids in Fengshan area, northern Hebei Province: constraints from petrochemistry, zircon U-Pb chronology and Hf isotope[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 45(1): 59~70(in Chinese with English abstract).

Gao Shan, Zhang Junfeng, Xu Wenliang, *et al*. 2009. Delamination and destruction of the North China Craton[J]. Chinese Science Bulletin, 54: 3 367~3 378.

Han Baofu, Kagami H 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: 1 375~1 388 (in Chinese with English abstract).

Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources. 1989. Regional Geology of Hebei Province, Beijing Municipality and Tianjin Municipality [M]. Beijing: Geological Publishing House, 741(in Chinese with English abstract).

Hsu K J, Wang Q and Hao J. 1991. Geologic evolution of the Neomonides: a working hypothesis[J]. Eclogae Geologicae Helvetiae, 84: 1~31.

Hu Jianmin, Liu Xiaowen, Xu Gang, *et al*. 2005b. The slidding-slump-mudflow sedimentation during the late Triassic to middle Juiassic in western Liaoning Province, China[J]. Acta Geologica Sinica, 79(4): 453~464(in Chinese with English abstract).

Hu Jianmin, Liu Xiaowen and Yang Zhiqing. 2007. Geochronological constrains for the early Mesozoic tectonic deformation of Yanshan intraplate orogen in northeastern China[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(3): 605~616(in Chinese with English abstract).

Hu Jianmin, Zhao Yue, Liu Xiaowen, *et al*. 2005a. SHRIMP U-Pb dating for zircons from pyroxene andesite of Shuiquangou Formation in western Liaoning Province and its tectonic significances[M]. Geological Bulletin of China, 24(2): 104~109(in Chinese with English abstract).

Inner Mongolia Bureau of Geology and Mineral Resources. 1991. Regional ge-

ology of the Inner Mongolia Autonomous Region[M]. Beijing: Geological Publishing House, 725(in Chinese with English abstract).

Ji Shaocheng, Wang Qian and Xu Zhiqin. 2008. Break-up of the North China Craton through lithospheric thinning[J]. Acta Geologica Sinica, 82(2): 174～193(in Chinese with English abstract).

Jia Bingwen, Zhou Anchao and Gu Dongqi. 1999. Geochemistry and provenance analysis of Late Paleozoic volcanic event deposits in West Liaoning[J]. Acta Sedimentology Sinica, 17: 473～477(in Chinese with English abstract).

Jia Heyi, Bao Y and Zhang Yuqing. 2003. Characteristics and tectonic significance of the Wude suture zone in northern Damaoqi, Inner Mongolia[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 30(1): 30～34(in Chinese with English abstract).

Jian P, Liu D Y, Kröner A, *et al*. 2008. 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, 101: 233～259.

Jiang N. 2005. Petrology and geochemistry of the Shuiquangou syenitic complex, northern margin of the North China Craton[J]. Journal of the Geological Society, London. 162: 203～215.

Jiang N, Liu Y, Zhou W, *et al*. 2007. Derivation of Mesozoic adakitic magmas from ancient lower crust in the North China craton [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 71: 2 591～2 608.

Lackey J S, Valley J W and Saleeby J B. 2005. Supracrustal input to magmas in the deep crust of Sierra Nevada batholith: Evidence from high-$\delta^{18}O$ zircon[J]. Earth and Planetary Science Letters, 235: 315～330.

Liaoning Bureau of Geology and Mineral Resources. 1989. Regional Geology of Liaoning Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 858(in Chinese with English abstract).

Li Hongyan, Xu Yigang, Huang Xiaolong, *et al*. 2009. Activation of northern margin of the North China Craton in Late Paleozoic: Evidence from U-Pb dating and Hf isotopes of detrital zircons from the Upper Carboniferous Taiyuan Formation in the Ningwu-Jingle basin [J]. Chinese Science Bulletin, 54(4): 677～686.

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, Zhang Jin, 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 the Jilin University (Earth Science Edition), 39: 584～605(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 Geoscience, 340: 190～201.

Liu Dunyi, Jian Ping, Zhang Qi, *et al*. 2003. SHRIMP dating of adakites in the Tulingkai ophiolite, Inner Mongolia: Evidence for the Early Paleozoic subduction[J]. Acta Geologica Sinica, 77(3): 317～327(in Chinese with English abstract).

Liu D Y, Nutman A P, Compston W, *et al*. 1992. Remmants of (3 800 Ma crust in the Chinese part of the Sino-Korean Craton[J]. Geology, 20: 339～342.

Liu Jian, Zhao Yue, Liu Xiaoming, *et al*. 2007. Sedimentation feature and its tectonic significances of Xingshikou formation in Xiabancheng basin, Yanshan fold-and-thrust belt[J]. Acta Petrologica Sinica, 23: 639～654(in Chinese with English abstract).

Liu J M, Zhao Y, Sun Y L, *et al*. 2010. Recognition of the latest Permian to Early Triassic Cu-Mo mineralization on the northern margin of the North China block and its geological significance[J]. Gondwana Research, 17: 125～134.

Liu S W, Tian W, Lü Y J, *et al*. 2006. Geochemistry, Nd isotopic characteristics of metamorphic complexes in northern Hebei: Implications for crustal accretion[J]. Acta Geologica Sinica (English edition), 80: 807～818.

Luo Hongling, Wu Tairan and Li Yi. 2007. Geochemistry and SHRIMP dating of the Kebu massif from Wulatezhongqi, Inner Mongolia: evidence for the Early Permian underplating beneath the North China Craton[J]. Acta Petrologica Sinica, 23: 755～766(in Chinese with English abstract).

Luo Hongling, Wu Tairan and Zhao Lei. 2009. Zircon SHRIMP U-Pb dating of Wuliangsitai A-type granite on the northern margin of the North China Plate and tectonic significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 25(3): 515～526(in Chinese with English abstract).

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*. 2001. SHRIMP chronological study of the Shuiquangou intrusive body in Zhangjiakou area, Hebei Province and geochemical significance[J]. Geochimica, 30(2): 116～122(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-porphyry dyke, eastern Hebei Province, China, and their geological significance[J]. Geochimica. 32(2): 173～180(in Chinese with English abstract).

Ma Fang, Mu Zhiguo and Liu Yulin. 2004. Geochronology and the geologic significance of the orbicular dioritic rocks in Luanping, Hebei Province[J]. Geological Review, 50(4): 360～364(in Chinese with English abstract).

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, 23: 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 Jingwen, Wang Y T, Zhang Zuoheng, *et al*. 2003. Geodynamic settings of Mesozoic large scale mineralization in North China and adjacent areas: implication from the highly precise dating of ore deposits[J]. Science in China (Series D), 46(8):838~851.

Meng Xianghua and Ge Ming. 2001. Discovery and evidence of the foreland basin in the North China Platform in the Permian period[J]. Geological Science and Technology Information, 20:8~14(in Chinese with English abstract).

Menzies M A, Fan W M and Zhang M. 1993. Palaeozoic and Cenozoic lithoprobe and the loss of >120 km of Archean lithosphere, Sino-Korean craton, China[A]. Prichard H M, Alabaster T, Harris N B W, *et al*. Magmatic Processes and Plate Tectonic. Geological Society[C]. London: Special Publications, 76:71~81.

Menzies M, Xu Y G, Zhang H F, *et al*. 2007. Integration of geology, geophysics and geochemistry: A key to understanding the North China Craton[J]. Lithos, 96:1~21.

Miao L C, Qiu Y M, McNaughton N J, *et al*. 2002. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of granitoids from Dongping Area, Hebei Province, China: constraints on tectonic evolution and geodynamic setting for gold metallogeny[J]. Ore Geology Reviews, 19:187~204.

Miao L C, Zhang F Q, Fan W M, *et al*. 2007. Phanerozoic evolution of the Inner Mongolia-Daxinganling orogenic belt in North China: constraints from geochronology of ophiolites and associated formations [A]. Geological Society. London: Special Publications 280[C]. 223~237.

Ni Zhiyao. 2002. Retrograded eclogites, rodingites and metamorphic periodtites and their geotectonic significance m the northern margin of the North China craton, Hebei Province, China[D]. Postdoctoral research report of the Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, 1~83(in Chinese with English abstract).

Ni Zhiyao, Zhai Mingguo, Wang Renmin, *et al*. 2004. Discovery of the late Paleozoic retrograded eclogites from the northern margin of the North China craton[J]. Chinese Science Bulletin, 49(6):600~606.

Ni Z Y, Zhai M G, Wang R M, *et al*. 2006. Late Paleozoic retrograded eclogites from within the northern margin of the North China Craton: Evidence for subduction of the Paleo-Asian ocean[J]. Gondwana Research, 9, 209~224.

Peng P, Zhai M G, Guo J H, *et al*. 2008. Petrogenesis of Triassic post-collisional syenite plutons in the Sino-Korean craton: an example from. North Korea[J]. Geological Magazine, 145:637~647.

Ren Kangxu, Yan Guohan, Mou Baolei, *et al*. 2004. Geochemical characteristics and geological implications of the Hekanzi alkaline complex in Lingyuan County, western Liaoning Province[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 23(3):193~202(in Chinese with English abstract).

Ren Kangxu, Yan Gangxu, Mou Baolei, *et al*. 2005a. Rb-Sr age and geological implication of the Alxa alkaline-rich intrusive rocks, western Inner Mongolia[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 41(2):204~211(in Chinese with English abstract).

Ren Kangxu, Yan Guohan, Mou Baolei, *et al*. 2005b. 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):292~301(in Chinese with English abstract).

Ren Rong, Mou 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, 25:588~594(in Chinese with English abstract).

Ritts B D, Darby B J and Cope T. 2001, Early Jurassic extensional basin formation in the Daqing Shan segment of the Yinshan belt, northern North China, Inner Mongolia[J]. Tectonophysics. 339:239~258.

Sengor 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.

Shang Qinghua. 2004. Occurrences of Permian radiolarians in central and eastern Nei Mongol (Inner Mongolia) and their geological significance to the Northern China Orogen[J]. Chinese Science Bulletin, 49(24):2 613~2 619.

Shi Y R, Liu D Y, Miao L C, *et al*. 2010. Devonian A-type granitic magmatism on the northern margin of the North China Craton: SHRIMP U-Pb zircon dating and Hf isotopes of the Hongshan granite at Chifeng, Inner Mongolia, China[J]. Gondwana Research, 17:632~641.

Su Yangzheng. 1996. Paleozoic stratigraphical of Nei Mongol grass stratigraphical province[J]. Jilin Geology, 15(3~4):42~54(in Chinese with English abstract).

Sylvester P J. 1998. Post-collisional strongly peraluminous granites[J]. Lithos. 45:29~44.

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, 23:583~590(in Chinese with English abstract).

Wan B, Hegner E, Zhang L C, *et al*. 2009. Rb-Sr geochronology of chalcopyrite from the Chehugou porphyry Mo-Cu deposit (Northeast China) and geochemical constraints on the origin of hosting granites [J]. Economic Geology, 104:351~363.

Wang Fang, Chen Fukun, Hou Zhenhui, *et al*. 2009. Zircon ages and Sr-Nd-Hf isotopic composition of late Paleozoic granitoids in the Chongli-Chicheng area, northern margin of the North China block [J]. Acta Petrologica Sinica, 25(11):3 057~3 074(in Chinese with English abstract).

Wang H and Mo X. 1995. An outline of the tectonic evolution of China [J]. Episodes, 18:6~16.

Wang Huichu, Zhao Fengqing, Li Huimin, *et al*. 2007. Zircon

SHRIMP U-Pb age of the dioritic rocks from northern Hebei: the geological records of late Paleozoic magmatic arc[J]. Acta Petrologica Sinica, 23: 597～604(in Chinese with English abstract).

Wang Ping. 2005. The Xibiehe section and Xibiehe Formation of the Bateaobao area in Darhan Mumingan Joint Banner, Inner Mongolia [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 35(4): 409～414(in Chinese with English abstract).

Wang Q and Liu X Y. 1986. Paleoplate tectonics between Cathaysia and Angaraland in Inner Mongolia of China[J]. Tectonics, 5: 1 073～1 088.

Wang Quan, Liu Xueya and Li Jinyi. 1991. Plate Tectonics Between Cathaysia and Angaraland in China[M]. Beijing: Peking University Publishing House, 56～60(in Chinese with English abstract).

Windley B F, Alexeiev 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: 31～48.

Wilde S A, Zhou X H, Nemchin A A, *et al*. 2003. Mesozoic crust-mantle interaction beneath the North China craton: A consequence of the dispersal of Gondwanaland and accretion of Asia[J]. Geology, 31(9): 817～820.

Wilson M. 1989. Igneous Petrogenesis: A Global Ttectonic Approach [M]. Springer, 466.

Wu F Y, Han R Y, Yang J H, *et al*. 2007a. Initial constraints on the timing of granitic magmatism in North Korea using U-Pb zircon geochronology[J]. Chemical Geology, 238: 232～248.

Wu F Y, Wilde S A, Zhang G L, *et al*. 2004. Geochronology and petrogenesis of the post-orogenic Cu-Ni sulfide-bearing mafic-ultramafic complexes in Jilin Province, NE China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 23: 781～797.

Wu Fuyuan, Xu Yigang, Gao Shan, *et al*. 2008. Lithospheric thinning and destruction of the North China Craton[J]. Acta Petrologica Sinica, 24: 1 145～1 174(in Chinese with English abstract).

Wu Fuyuan, Yang Jinhui and Liu Xiaoming. 2005. Geochronological framework of the Mesozoic granitic magmatism in the Liaodong Peninsula, Northeast China[J]. Geological Journal of China Universities, 11(3): 305～307(in Chinese with English abstract).

Wu F Y, Zhao G C, Sun D Y, *et al*. 2007b. The Hulan Group: its role in the evolution of the Central Asian Orogenic Belt of NE China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 30: 542～556.

Xiao W, 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, doi: 10.1029/2002TC001484.

Xiao W J, Windley B F, Huang B C, *et al*. 2009. 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, 98(6): 1 189～1 217.

Xu Bei and Chen Bin. 1997. Frame work and evolution of the Middle Paleozoic orogenic belt between Siberian and North China Plate in northern Inner Mongolia[J]. Science in China (Series D), 40: 463～469.

Xu Liquan, Deng Jinfu, Chen Zhiyong, *et al*. 2003. The identification of Ordovician adakites and its signification in northern Damao, Inner Mongolia[J]. Geoscience, 17(4): 428～434(in Chinese with English abstract).

Xu Liquan, Jia Heyi, Zhang Yuqing, *et al*. 2004. The characters and significance of alkali syenites in Bayan Obo area, Inner Mongolia[J]. Geological Survey and Research, 27(1): 43～47(in Chinese with English abstract).

Xu Y G. 2001. Thermo-tectonic destruction of t he Archaean lithospheric keel beneath eastern China: evidence, timing and mechanism[J]. Physics and Chemistry of the Earth (A), 26: 747～757.

Yan Guohan, Mu Baolei, Xu Baoliang, *et al*. 2000. Triassic alkaline intrusives in the Yanliao-Yinshan area: their chronology, Sr, Nd, Pb isotopic characteristics and their implications[J]. Science in China (Series D), 42(6): 582～587.

Yan Guohan, Tan Linkun, Xu Baoliang, *et al*. 2001. Petrogeochemical characteristics of Indosinian alkaline I trusions in Yinshan area[J]. Acta Petrologica et Mineralogica. 20: 281～292(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): 629～546(in Chinese with English abstract).

Yang J H, Wu F Y, Shao J A, *et al*. 2006. Constraints on the timing of uplift of the Yanshan Fold and Thrust Belt, North China[J]. Earth and Planetary Science Letters, 246: 336～352.

Yang J H, Wu F Y, Wilde S A, *et al*. 2008. Mesozoic decratonization of the North China Block[J]. Geology, 36: 467～470.

Yuan Guibang and Wang Huichu. 2006. Magmatic activity and its tectonic implications during the Early Permian in the Northwestward of Wuchuan, Inner Mongolia[J]. Geological Survey and Research, 29: 303～310(in Chinese with English abstract).

Zeng Junjie, Zheng Youye, Qi Jianhong, *et al*. 2008. Foundation and geological significance of adakitic granite at Guyang of Inner Mongolia[J]. Earth Science, 23(6): 755～763(in Chinese with English abstract).

Zhang H F, Sun M, Zhou X H, *et al*. 2002. Mesozoic lithosphere destruction beneath the North China Craton: evidence from major, trace element, and Sr-Nd-Pb isotope studies of Fangcheng basalts [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 144: 241～253.

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 ab-

stract).

Zhang Shuanhong, Zhao Yue, Song Biao, *et al*. 2004. The late Paleozoic gneissic granodiorite pluton in early Precambrian high-grade metamorphic terrains near Longhua County in northern Hebei Province, North China: result from zircon SHRIMP U-Pb dating and its tectonic implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 20(3): 621~626(in Chinese with English abstract).

Zhang S H, Zhao Y and Song B. 2006. Hornblende thermobarometry of the Carboniferous granitoids from the Inner Mongolia Paleo-uplift: implications for the geotectonic evolution of the northern margin of North China block[J]. Mineralogy and Petrology, 87: 123~141.

Zhang S H, Zhao Y, Song B, *et al*. 2007a. Carboniferous granitic plutons from the northern margin of the North China block: Implications for a Late Paleozoic active continental margin[J]. Journal of the Geological Society London, 164: 451~463.

Zhang S H, Zhao Y, Song B, *et al*. 2007b. Petrogenesis of the Middle Devonian Gushan diorite pluton on the northern margin of the North China block and its tectonic implications[J]. Geological Magazine, 144: 553~568.

Zhang S H, Zhao Y, Song B, *et al*. 2007c. Zircon SHRIMP U-Pb and in-situ Lu-Hf isotope analyses of a tuff from Western Beijing: evidence for missing late Paleozoic arc volcano eruptions at the northern margin of the North China block[J]. Gondwana Research, 12: 157~165.

Zhang S H, Zhao Y, Song B, *et al*. 2009a. Contrasting Late Carboniferous and Late Permian-Middle Triassic intrusive belts from the northern margin of the North China craton: geochronology, petrogenesis and tectonic implications[J]. Geological Society of America Bulletin, 121(1~2): 181~200.

Zhang S H, Zhao Y, Liu X C, *et al*. 2009b. Late Paleozoic to Early Mesozoic mafic-ultramafic complexes from the northern North China Block(constraints on the composition and evolution of the lithospheric mantle[J]. Lithos, 110(1~4): 229~246.

Zhang S H, Zhao Y, Kröner A, *et al*. 2009c. Early Permian plutons from the northern North China Block: Constraints on continental arc evolution and convergent margin magmatism related to the Central Asian Orogenic Belt[J]. International Journal of Earth Sciences, 98(6): 1 441~1 467.

Zhang Shuanhong, Zhao Yue, Liu Jianmin, *et al*. 2010. Recognition of the latest Devonian volcanic rocks in the Chifeng area, northern North China block and its geological implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 26(in press) (in Chinese with English abstract).

Zhang Wei and Jian Ping. 2008. SHRIMP dating of Early Paleozoic granites from North Damaoqi, Inner Mongolia[J]. Acta Geologica Sinica, 82(6): 778~787(in Chinese with English abstract).

Zhang X H, Zhang H F, Zhai M G, *et al*. 2009. Geochemistry of Middle Triassic gabbros from northern Liaoning, North China: origin and tectonic implications[J]. Geological Magazine, 146: 540~551.

Zhang Y, Wu F, Wilde S A, *et al*. 2004. Zircon U-Pb ages and tectonic implications of 'Early Paleozoic' granitoids at Yanbian, Jilin Province, northeast China[J]. Island Arc, 13: 484~505.

Zhang Yongmei, Zhang Huafeng, Liu Wencan, *et al*. 2009. Timing and petrogenesis of the Damiao granodiorite, Siziwangqi, Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica Sinica, 25(12): 3 165~3 181(in Chinese with English abstract).

Zhang Yuqing, He Zhongyin, Zhang Jian, *et al*. 2007. Discussion on tectonic setting of the quartz diorite in Shilanhada, northern Daqingshan Mountain in Inner Mongolia[J]. Geological Survey and Research, 30: 22~26(in Chinese with English abstract).

Zhao G C, Wilde S A, Li S Z, *et al*. 2007. U-Pb zircon age constraints on the Dongwanzi ultramafic-mafic body, North China, confirm it is not an Archean ophiolite[J]. Earth and Planetary Science Letters, 255: 85~93.

Zhao Yue, Zhang Shuanhong, Xu Gang, *et al*. 2004. The Jurassic major tectonic events of the Yanshan intraplate deformational belt, North China[J]. Geological Bulletin of China, 23(9~10): 22~31 (in Chinese with English abstract).

Zheng Jianping, Lu Fengxiang, Griffin W L, *et al*. 2006. Lithospheric thinning accompanying mantle lateral spreading, erosion and replacement beneath the eastern part of north China: evidence from peridotites[J]. Earth Science Frontiers, 13: 76~85(in Chinese with English abstract).

Zhong Rong, Sun Shanping, Chen Fen, *et al*. 1995. The discovery of rhyo-tuffite in the Taiyuan Formation and stratigraphic correlation of the Daqingshan and Datong coalfields[J]. Acta Geoscientia Sinica, 16: 291~301(in Chinese with English abstract).

Zhou Anchao, Jia Bingwen, Ma Meiling, *et al*. 2001. The whole sequences of volcanic event deposits on the north margin of the North China plate and their features[J]. Geological Review, 47: 175~183(in Chinese with English abstract).

Zhou Zhiguang, Zhang Huafeng, Liu Huanlin, *et al*. 2009. Zircon U-Pb dating of basic intrusions in Siziwangqi area of middle Inner Mongolia, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 25(6): 1 519~1 528(in Chinese with English abstract)

Zorin Y A, Belichenko V G, Turuzantov E K, *et al*. 1993. The south Siberia-central Mongolia transect[J]. Tectonophysics, 225: 361~378.

附中文参考文献

包志伟,赵振华,张佩华,等. 2003. **张家口水泉沟正长岩杂岩体成因的 REE 和 Sr、Nd、Pb 同位素证据**[J]. **地质论评**,49(6): 596~604.

陈安国,马配学,李洪阳. 1996. **河北省赤城县小张家口超基性岩体主要特征和时代**[J]. **岩石学报**,12: 156~162.

陈　斌，田　伟，刘安坤. 2008. 冀北小张家口基性-超基性杂岩的成因：岩石学、地球化学和 Nd-Sr 同位素证据[J]. 高校地质学报，14(3)：295～303.

邓晋福，赵国春，赵海玲，等. 2000. 中国东部燕山期火成岩构造组合与造山-深部过程[J]. 地质论评，46(1)：41～48.

高　山，章军峰，许文良，等. 2009. 拆沉作用与华北克拉通破坏[J]. 科学通报，54(14)：1 962～1 973.

范宏瑞，胡芳芳，杨奎峰，等. 2009. 内蒙古白云鄂博地区晚古生代闪长质-花岗质岩石年代学框架及其地质意义[J]. 岩石学报，25(11)：2 933～2 938.

凤永刚，刘树文，吕勇军，等. 2009. 冀北凤山晚古生代闪长岩-花岗质岩石的成因：岩石地球化学、锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素制约[J]. 北京大学学报(自然科学版)，45(1)：59～70.

韩宝福，加加美宽雄，李惠民. 2004. 河北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作用的意义[J]. 岩石学报，20：1 375～1 388.

河北省地质矿产局. 1989，河北省北京市天津市区域地质志[M]. 北京：地质出版社.

胡健民，赵　越，刘晓文，等. 2005a. 辽西凌源地区水泉沟组辉石安山岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其意义[J]. 地质通报，24(2)：104～109.

胡健民，刘晓文，徐　刚，等. 2005b，辽西晚三叠世末-中侏罗世崩塌-滑坡-泥石流沉积及其构造意义[J]. 地质学报，70(4)：453～464.

胡健民，刘晓文，杨之青. 2007. 辽西地区燕山板内造山带早中生代构造变形的年代学限定[J]. 23(3)：605～616.

嵇少丞，王　茜，许志琴. 2008. 华北克拉通破坏与岩石圈减薄[J]. 地质学报，82(2)：174～192.

贾炳文，周安朝，谷东起. 1999，辽西地区晚古生代火山事件沉积地球化学特征及物源区分析[J]. 沉积学报，17：473～477.

贾和义，宝音乌力吉，张玉清. 2003. 内蒙古达茂旗乌德缝合带特征及大地构造意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版)，30(1)：30～34.

李洪颜，徐义刚，黄小龙，等. 2009. 华北克拉通北缘晚古生代活化：山西宁武-静乐盆地上石炭统太原组碎屑锆石 U-Pb 测年及 Hf 同位素证据[J]. 科学通报，54：632～640.

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.

辽宁省地质矿产局. 1989. 辽宁省区域地质志[M]. 北京：地质出版社.

刘敦一，简　平，张　旗，等. 2003. 内蒙古图林凯蛇绿岩中埃达克岩 SHRIMP 测年：早古生代洋壳消减的证据[J]. 地质学报，77(3)：317～327.

刘　健，赵　越，柳小明，等. 2007. 燕山褶断带下板城盆地杏石口组沉积特征及其构造意义[J]. 岩石学报，23(3)：639～654.

罗红玲，吴泰然，李　毅. 2007. 乌拉特中旗克布岩体的地球化学特征及 SHRIMP 定年：早二叠世华北克拉通底侵作用的证据[J]. 岩石学报，23(4)：755～766.

罗红玲，吴泰然，赵　磊. 2009. 华北板块北缘乌梁斯太 A 型花岗岩体锆石 SHRIMP U-Pb 定年及构造意义[J]. 岩石学报，25(3)：515～526.

罗镇宽，苗来成，关　康，等. 2001，河北张家口水泉沟岩体 SHRIMP 年代学研究及其意义[J]. 地球化学，30(2)：116～122.

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.

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.

马　芳，穆治国，刘玉琳，2004，河北滦平球状闪长岩年代学及其地质意义[J]. 地质论评，50(4)：360～364.

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，23：547～556.

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.

毛景文，张作衡，余金杰，等. 2003. 华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景：从金属矿床年龄精测得到的启示[J]. 中国科学(D 辑)，33(4)：289～299.

孟祥化，葛　铭. 2001. 中国华北地台二叠纪前陆盆地的发现及其证据[J]. 地质科技情报，20：8～14.

内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京：地质出版社.

倪志耀，翟明国，王仁民，等. 2004. 华北古陆块北缘中段发现晚古生代退变榴辉岩[J]. 科学通报，49(6)：585～591.

倪志耀. 2002. 冀北退变榴辉岩、易剥钙榴岩和变质橄榄岩及其地质意义[D]. 中国科学院地质与地球物理研究所博士后出站报告.

任康绪，阎国翰，牟保磊，等. 2004. 辽西凌源河坎子碱性杂岩体地球化学特征及地质意义[J]. 岩石矿物学杂志，23(3)：193～202.

任康绪，阎国翰，牟保磊，等. 2005a. 阿拉善断块富碱侵入岩 Rb-Sr 年龄及其地质意义[J]. 北京大学学报(自然科学版)，41(2)：204～211.

任康绪，阎国翰，牟保磊，等. 2005b. 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)：292～301.

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.

尚庆华. 2004. 北方造山带内蒙古中、东部地区二叠纪放射虫的发现及其意义[J]. 科学通报. 49(24)：2 574～2 579.

苏养正. 1996. 内蒙古草原地层区的古生代地层[J]. 吉林地质，15(3～4)：42～54.

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，23：583～590.

王　芳，陈福坤，侯振辉，等. 2009. 华北陆块北缘崇礼-赤城地区晚

古生代花岗岩类的锆石年龄和 Sr-Nd-Hf 同位素组成[J]. 岩石学报, 25(11):3 057~3 074.

王惠初,赵凤清,李惠民,等. 2007. 冀北闪长质岩石的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄:晚古生代岩浆弧的地质记录[J]. 岩石学报,23(3):597~604.

王 平. 2005. 内蒙古达茂旗巴特敖包地区的西别河剖面与西别河组[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 35(4):409~414.

王 荃,刘雪亚,李锦轶. 1991. 中国华夏与安加拉古陆间的板块构造[M]. 北京:北京大学出版社,50~60.

吴福元,杨进辉,柳小明. 2005. 辽东半岛中生代花岗质岩浆作用的年代学格架[J]. 高校地质学报, 11(3):305~317.

吴福元,徐义刚,高 山,等. 2008. 华北岩石圈减薄与克拉通破坏的主要学术争论[J]. 岩石学报, 24(6):1 145~1 174.

徐 备,陈 斌. 1997. 内蒙古北部华北板块与西伯利亚板块之间中古生代造山带的结构及演化[J]. 中国科学(D 辑),27(3):227~232.

许立权,邓晋福,陈志勇,等. 2003. 内蒙古达茂旗北部奥陶纪埃达克岩类的识别及其意义[J]. 现代地质,17(4):428~434.

许立权,贾和义,张玉清,等. 2004, 白云鄂博地区碱性正长岩特征及其意义[J]. 地质调查与研究,27(1):43~47.

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), 30(4):383~387.

阎国翰,谭林坤,许保良,等. 2001. 阴山地区印支期碱性侵入岩岩石地球化学特征[J]. 岩石矿物学杂志, 20(3):281~292.

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.

袁桂邦,王惠初. 2006. 内蒙古武川西北部早二叠世岩浆活动及其构造意义[J]. 地质调查与研究,29(4):302~310.

曾俊杰,郑有业,齐建宏,等. 2008. 内蒙古固阳地区埃达克质花岗岩的发现及其地质意义[J]. 地球科学,33(6):755~763.

张拴宏,赵 越,宋 彪,等. 2004, 冀北隆化早前寒武纪高级变质区内的晚古生代片麻状闪长岩—锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 岩石学报,20(3):621~626.

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.

张拴宏,赵 越,刘建民,等. 2010. 内蒙古赤峰地区晚泥盆世火山岩的发现及其地质意义[J]. 岩石学报,26 (待刊).

张 维,简 平. 2008. 内蒙古达茂旗北部早古生代花岗岩类 SHRIMP U-Pb 年代学[J]. 地质学报,82(6):778~787.

章永梅,张华峰,刘文灿,等. 2009. 内蒙古中部四子王旗大庙岩体时代及成因[J]. 岩石学报,25(12):3 165~3 181.

张玉清,贺忠银,张 健,等. 2007. 内蒙古大青山北石兰哈达石英闪长岩构造环境讨论[J]. 地质调查与研究,30(1):22~26.

赵 越,张拴宏,徐 刚,等. 2004, 燕山陆内变形带侏罗纪主要构造事件[J]. 地质通报,23(9~10):22~31.

郑建平,路凤香,Griffin WL,等. 2006. 华北东部橄榄岩与岩石圈减薄中的地幔伸展和侵蚀置换作用[J]. 地学前缘,13:76~85.

钟 蓉,孙善平,陈 芬,等. 1995. 大青山、大同煤田太原组流纹质沉凝灰岩的发现及地层对比[J]. 地球学报,16:291~301.

周安朝,贾炳文,马美玲,等. 2001. 华北板块北缘晚古生代火山事件沉积的全序列及其主要特征[J]. 地质论评,47(2):175~183.

周志广,张华峰,刘还林,等. 2009. 内蒙中部四子王旗地区基性侵入岩锆石定年及其意义[J]. 岩石学报,25(6):1 519~1 528.