

# 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?\*

杨富全<sup>1</sup> 赵越<sup>2</sup> 曾庆利<sup>3</sup> 吴海<sup>4</sup> 夏浩东<sup>4</sup>

YANG FuQuan<sup>1</sup>, ZHAO Yue<sup>2</sup>, ZENG QingLi<sup>3</sup>, WU Hai<sup>4</sup> and XIA HaoDong<sup>4</sup>

1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037

2. 中国地质科学院地质力学所, 北京 100081

3. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

4. 国土资源部实物地质资料中心, 河北燕郊 065201

1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100081, China

3. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

4. National Geological Samples Center, Ministry of Land and Resources, Yanjiao 065201, China

2006-08-17 收稿, 2007-02-27 改回.

Yang FQ, Zhao Y, Zeng QL, Wu H and Xia HD. 2007. I- and A-type composite granites of the Panshan pluton in the Jixian, Tianjin: a record of regional tectonic transformation? *Acta Petrologica Sinica*, 23(3): 529–546

**Abstract** The Late Triassic Panshan I- and A-type composite granites are located in the eastern segment of the Yanshan intracontinental orogenic belt. In accordance with their intruding order, from early to late, the composite granites can be divided into four units, the Langjiayu, Guanzhuang, Dongluozhuang and Xiaopanshan units. The Langjiayu and Guanzhuang units are characterized by I-type granite, but Dongluozhuang and Xiaopanshan units belong to A-type granite. Investigation results have shown that the features of petrology, major elements, trace elements, rare earth elements and Sr-Nd isotopic compositions between the I-type and A-type granites are quite different. Geochemistry of the I-type granites is rich in alkalis ( $K_2O + Na_2O = 8.15\% \sim 9.50\%$ ), Al ( $Al_2O_3 = 13.05\% \sim 15.49\%$ ), Ca ( $CaO = 1.22\% \sim 3.02\%$ ), REE, Rb, Ba, Hf and Tb, poor in Nb, P, Ti, Zr and Th. The A-type granites are rich in Si, alkalis, Th, Nd, Rb, Hf, and depleted in REE, Ba, Sr, P, Ti and Zr, and have higher Rb/Sr and Ga/Al, and display obviously negative europium anomaly. The  $^{87}Sr/^{86}Sr$  initial ratios of the rock from the Panshan composite granites ranging from 0.70234 to 0.70628 and the  $\epsilon_{Nd}(t)$  values of  $-12.73$  to  $-15.70$ . Regional setting and geochemistry compositive analyse suggests that the Panshan pluton was emplaced in an environment of regional compressional shortening transforming to extension. Early I-type granites record the feature of regional compressional shortening environment, but late A-type granites record the feature of lithospheric extension and thinning. The Panshan I- and A-type composite granites are confirmed, showing that the Yanshan intracontinental orogenic belt in the end of Late Triassic to Early Jurassic went through environment transforming from regional compressional shortening to extension.

**Key words** I- and A-type composite granite, Geological and geochemical characteristics, Petrogenesis, Tectonic implication, Panshan

**摘要** 晚三叠世末的盘山 I 型-A 型复合岩体位于燕山陆内造山带东段,可划分为四个单元,从早到晚,依次为狼家峪单元、官庄单元、东罗庄单元和小盘山单元,前两个单元具有 I 型花岗岩特征,后两个单元为 A 型花岗岩。在岩石学、主量、微量、稀土元素和 Sr-Nd 同位素特征上, I 型与 A 型花岗岩存在明显差异。I 型花岗岩相对富碱( $K_2O + Na_2O = 8.15 \sim 9.50\%$ )、铝( $Al_2O_3$  变化于  $13.05\% \sim 15.49\%$ )、钙( $CaO$  介于  $1.22\% \sim 3.02\%$ )、REE、Rb、Ba、Hf、Tb,相对亏损 Nb、P、Ti、Zr 和 Th。A 型花岗岩富 Si、全碱、Th、Nd、Rb、Hf,相对亏损 REE、Ba、Sr、P、Ti、Zr,并具有偏高的 Rb/Sr、Ga/Al 和明显的铕负异常。盘山复合岩体

\* 国家重点基础研究 973 课题(2006CB403501)、国家自然科学基金委重点项目(40132020)和国土资源大调查项目(DKD2001008)资助。

第一作者简介: 杨富全,男,1968 年生,博士,研究员,矿物学、岩石学、矿床学专业, E-mail: fuquanyang@163.com

具有低的初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值(0.70234~0.70628),负的 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值(-12.73~-15.70)。区域背景和地球化学综合分析表明,岩体定位于构造环境从挤压向伸展转折过程中,早期的I型花岗岩记录了挤压环境特征,晚期的A型花岗岩形成于相对伸展的构造环境。盘山I型-A型复合岩体的确定,表明燕山陆内造山带在晚三叠世末到早侏罗世经历过由挤压向伸展环境的转折。

**关键词** I型和A型复合花岗岩;地质和地球化学特征;岩石成因;构造意义;盘山

**中图法分类号** P588.121

燕山造山带位于华北陆块北缘,是典型的板内造山带。近年来国内外地质学家对燕山期的沉积盆地、构造变形、岩浆岩的成因、构造背景和深部动力学过程的研究取得了重要成果(赵越,1990,1994,2004;朱大岗等,1999;邓晋福等,2000;郑亚东等,2000;Davis *et al.*, 2001;刘红涛等,2002;崔盛芹等,2002;杨富全等,2003;杨晓勇等,2004;李伍平等,2005)。对于该区印支期的构造变形和岩浆活动的研究相对薄弱,印支期的构造变形最早由崔盛芹等<sup>①</sup>和潘广(1963)提出,并被以后的研究证实(王季亮等,1994;杨农等,1996;张招崇和王永强,1997;Chen,1998;阎国翰等,2001;徐刚等,2003)。印支运动在燕山地区表现为形成不同方向的褶皱构造、逆冲推覆、岩浆活动、局部有浅变质作用(崔盛芹等,1983;宋鸿林等,1984;吴珍汉等,2001)。

花岗岩侵入体是区域构造过程的产物,同时也记录了区域构造的演化。在区域构造发展中造山和伸展,挤压和拉张曾发生过转变,在构造转换期间侵入的花岗岩应当记录下这一过程。如浙闽沿海地区鼓山-魁歧、青田、普陀山-桃花岛以及崂山I型-A型复合花岗岩体均记录了区域构造应力由挤压到伸展的转变(洪大卫等,1987;Martin *et al.*, 1994;王德滋等,1995;赵广涛等,1998;邱检生等,1999)。马寅生等(2002)提出燕山地区在中生代的构造演化过程是挤压与伸展的交替演化过程,中三叠世末为挤压作用时期,晚三叠世一早侏罗世为伸展的成盆沉积期。邵济安等(2000)指出晚三叠世末在华北地区构造演化历史上是一个重要的转折点。天津蓟县一带发育印支期褶皱、逆冲构造以及形成于晚三叠世末构造转折时期的盘山复合花岗岩体,因此,盘山复合花岗岩体是这一构造转折的真实记录。本文以盘山岩体的详细野外调查为基础,通过不同单元锆石SHRIMP U-Pb精确定年和系统的地球化学分析,探讨区域挤压到伸展构造环境转换过程的岩浆活动,为阐述燕山地区区域构造演化和探讨大陆内部特有的动力学背景和机制提供信息。

## 1 区域地质背景

盘山岩体处于燕山造山带东段的马兰峪复背斜南翼,位于华北陆块北部,北邻兴蒙造山带,南接华北陆块内部(图1)。区内出露太古宙结晶基底—华北克拉通内时代最老、变质最深的古—中太古界迁西群(3.8~2.5Ga, Liu *et al.*, 1992),主要由麻粒岩、片麻岩、斜长角闪岩、磁铁石英岩组成。燕山地区的结晶基底岩石固结于古元古代末的吕梁运动,其后的中元代至古生代长期处于构造相对稳定的克

拉通盖层发育阶段。中—晚元古代经历了坳拉槽发育阶段,发育一套半深海—浅海相的碎屑岩和碳酸盐岩沉积组合,总厚度达万余米。寒武纪—中奥陶世发育一套浅海相碳酸盐岩沉积,晚奥陶世至早石炭世沉积缺失,中石炭世—早二叠世发育碳酸盐岩和含煤碎屑岩,晚二叠世发育一套红色内陆碎屑岩系。古生代末—中生代初,伴随华北克拉通陆块与西伯利亚陆块之间的碰撞和最终焊接(程裕淇,1994),华北克拉通北缘及其邻区进入了中生代早中期的碰撞后大陆岩石圈演化阶段(刘红涛等,2002)。中生代燕山地区进入强烈的活化阶段,具有陆内造山作用的特点,陆内变形开始于古生代末(杨农等,1996;Davis *et al.*, 2001),中晚侏罗世陆内造山作用达到高潮(赵越,1990,2004;Deng *et al.*, 2004)。陆内沉积作用、岩浆活动、多阶段褶皱、逆冲推覆及走滑断裂发育是燕山造山带的主要特色(Davis *et al.*, 2001)。

燕山地区的三叠纪沉积主要出现在一些盆地中,如辽西凌源牛营子盆地(徐刚等,2003)、冀北平泉和下巴城盆地(杨富全等,1999)、北京西山盆地(赵越等,2002)等,主要为河流相砂砾岩、红色砂泥岩沉积。印支期华北克拉通北缘的燕辽地区发育一条碱性岩带,该带向西延到阴山(阎国翰等,1998,2001),受深大断裂控制(张招崇和王永强,1997),其侵位时代为260~205Ma,这套碱性侵入岩组合标志着燕山地区与华北克拉通陆块和西伯利亚陆块之间的碰撞造山作用的结束(阎国翰等,2000)。尽管冀东地区不发育三叠系,但发育印支期岩体,如盘山复合花岗岩体、太平庄正长岩体、棒锤崖岩体(K-Ar年龄为234.6Ma<sup>②</sup>)等,这些岩体是碱性岩带的组成部分。冀东地区在印支期发生了较强烈的构造变形,形成盘山背斜、庄果峪向斜和府君山向斜,在此基础上发生了蓟县逆冲构造,盘山岩体侵位较晚,侵入到盘山背斜和蓟县逆冲断裂中。区域上侏罗系发育,为一套基性—中酸性火山熔岩、火山碎屑岩和含煤岩系,其中中侏罗世晚期髻髻山组具有埃达克岩特征(李伍平等,2005)。白垩纪早期发育一套安山岩—粗安岩—粗面岩组合的钙碱—碱性系列的中性熔岩(朱大岗等,1999),晚期侵入岩较发育,以酸性岩和碱性岩为主。

## 2 岩体地质及岩石学特征

盘山复合花岗岩体分布于天津市蓟县盘山、官庄和北京

① 崔盛芹等. 1962. 中国大地构造基本特征. 地质部地质科学院主编(内部资料)

② 杨富全等. 全岩K-Ar同位素年龄(未刊)

市平谷县东罗庄一带，包括主岩体和小岩体，主岩体南北向 12km，东西向最宽 7.6km，平面上呈椭圆形，面积约 58km<sup>2</sup>（图 2）。小岩体呈 NW-SE 向展布的椭圆形，面积约 2km<sup>2</sup>。盘山岩体侵入中元古界长城系高于庄组上部、蓟县系杨庄组 和雾迷山组下部，侵入接触界线清楚、圆滑，接触面外倾，倾角 35°~55°，但小岩体侵入接触界面倾角较缓，为 30°~35°。岩体内接触带发育冷凝边。围岩热接触变质发育，变质带宽 500~1500m，主要为含透辉石、橄榄石、金云母和透闪石化白

云质大理岩，伴有钼、铁、铜、铅锌和金矿化，其次是角岩，具有一定的分带性。岩体面理不发育，局部可见长石斑晶或石英集合体长轴定向排列，而矿物变形发育，主要表现为石英波状消光和亚颗粒。按岩石谱系单位划分原则将盘山岩体划分为四个单元，归并为盘山序列。依据野外接触关系从早到晚四个单元依次为狼家峪单元、官庄单元、东罗庄单元和小盘山单元（表 1）。

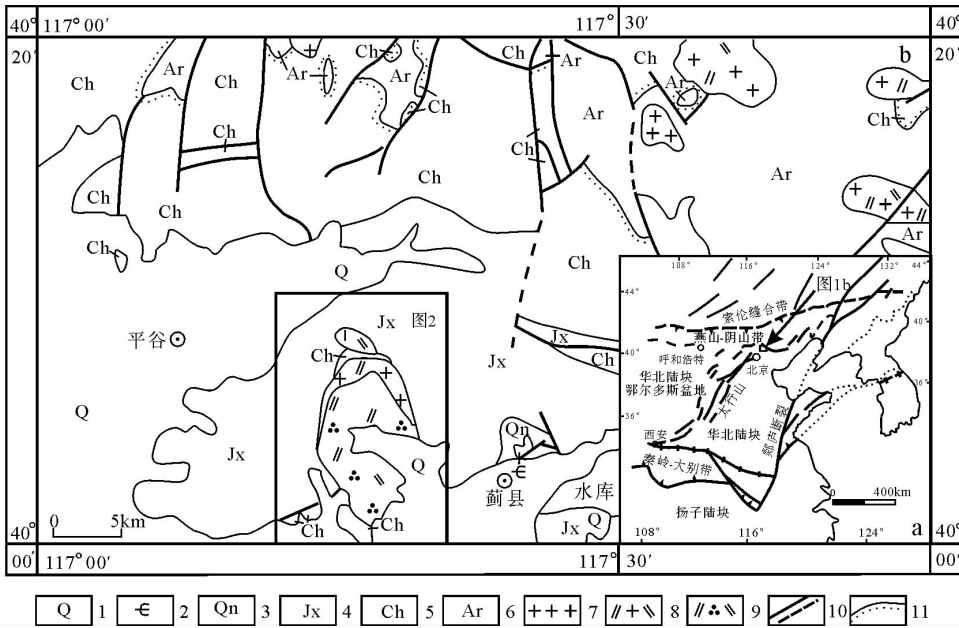


图 1 盘山区域地质图(河北省北京市天津市区域地质志,1989,简编)

1-第四系; 2-寒武系; 3-青白口系; 4-蓟县系; 5-长城系; 6-太古宇; 7-花岗岩; 8-二长花岗岩; 9-石英二长岩; 10-断层; 11-不整合界线

Fig.1 Regional geological map of the Panshan (after the regional geology of Hebei province, Beijing Municipality and Tianjin Municipality, 1989)

表 1 盘山岩体 4 个单元岩石学特征

Table 1 The petrology of the four units from the Panshan pluton

单元	代号	岩石名称	构造	结构	矿物成分	副矿物组合
狼家峪	TL	中细粒黑云母二长花岗岩	块状构造	中细粒花岗岩结构	钾长石(30%~40%)、斜长石(25%~35%)、石英(25%~30%)、黑云母(5%~7%)，少量角闪石	磁铁矿、钛铁矿、榍石、锆石、磷灰石、褐帘石，可见石榴石
官庄	TG	似斑状石英二长岩	块状构造	似斑状结构，基质具细中粒花岗岩结构	斑晶为斜长石(5%~15%)，少量钾长石和角闪石。基质为钾长石(25%~35%)、斜长石(25%~40%)、石英(15%~20%)、角闪石(5%±)、黑云母(<5%)、辉石(0~1%)	磁铁矿、榍石、钛铁矿、锆石、褐帘石、磷灰石
东罗庄	TD	粗中粒二长花岗岩	块状构造	粗中粒花岗岩结构	钾长石(40%~45%)、斜长石(20%~25%)、石英(30%~35%)、黑云母(<5%)	磁铁矿、白钛石、锆石、磷灰石、钍石、褐钇钶、钛铁矿
小盘山	TX	细粒二长花岗岩	块状构造	细粒结构，局部似斑状结构	钾长石(35%~40%)、斜长石(20%~25%)、石英(25%)	以磁铁矿、锆石为主，少量磷灰石、钍石，见石榴石、褐钇钶、榍石、白钛石、钛铁矿

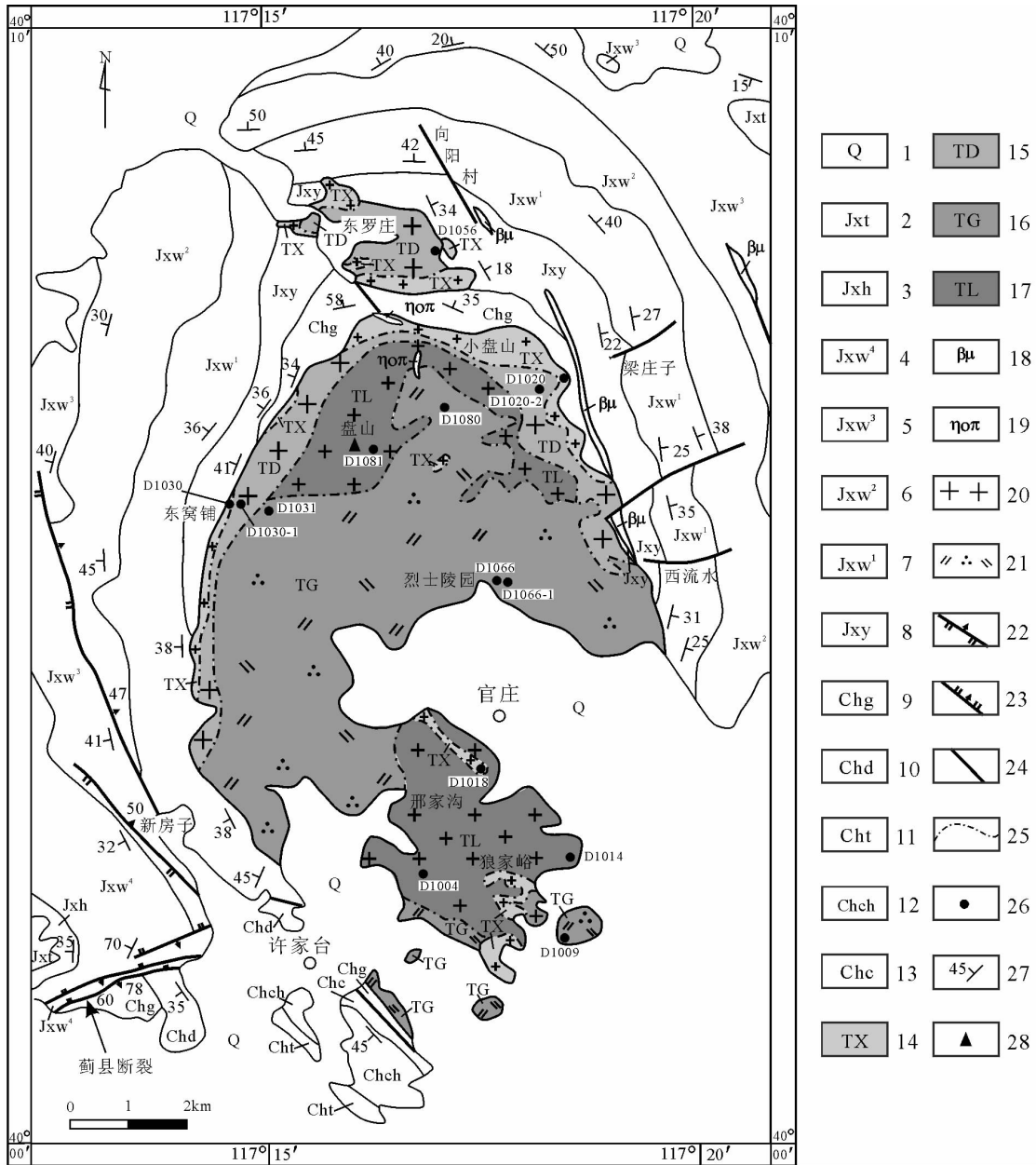


图2 盘山岩体地质图(据1:20万兴隆幅、1:5万蓟县幅地质图及野外填图修编)

1-第四系; 2-13-中元古界; 2-铁岭组; 3-洪水庄组; 4-雾迷山组四段; 5-雾迷山组三段; 6-雾迷山组二段; 7-雾迷山组一段; 8-杨庄组; 9-高家庄组; 10-大红峪组; 11-团山子组; 12-串岭沟组; 13-常州沟组; 14-小盘山单元; 15-东罗庄单元; 16-官庄单元; 17-狼家峪单元; 18-辉绿岩脉; 19-石英二长斑岩脉; 20-花岗岩; 21-斑状石英二长岩; 22-逆断层; 23-正断层; 24-性质不明断层; 25-脉动侵入界线; 26-采样点; 27-地层产状; 28-山峰

Fig. 2 Geological map of the Panshan pluton (after the 1:200000 Xinglong station and 1:50000 Jixian station regional geological map as well as the geological map filled in the field from this paper)

狼家峪单元(TL)岩性为中细粒黑云母二长花岗岩,局部黑云正长花岗岩,分布于盘山主峰和狼家峪一带,由2个侵入体组成。狼家峪侵入体中发育黄铁矿化、黄铜矿化等,局部发育含钨石英细脉带。

官庄单元(TG)为似斑状石英二长岩,分布于岩体中部,出露面积最大,与地层呈明显的侵入接触关系。在梁庄子西

见粗中粒二长花岗岩与中细粒黑云母二长花岗岩界线清楚,前者的长石斑晶平行接触界面,后者中节理被接触面截切,表明官庄单元脉动侵入狼家峪单元(图3a)。该单元中含暗色微粒包体(图4),其形态以浑圆状、椭圆状居多,少量透镜状和不规则状,长轴一般几mm~十几mm,小者不足1mm,呈水滴状。包体在侵入体中随机分布,局部成群出现,与寄

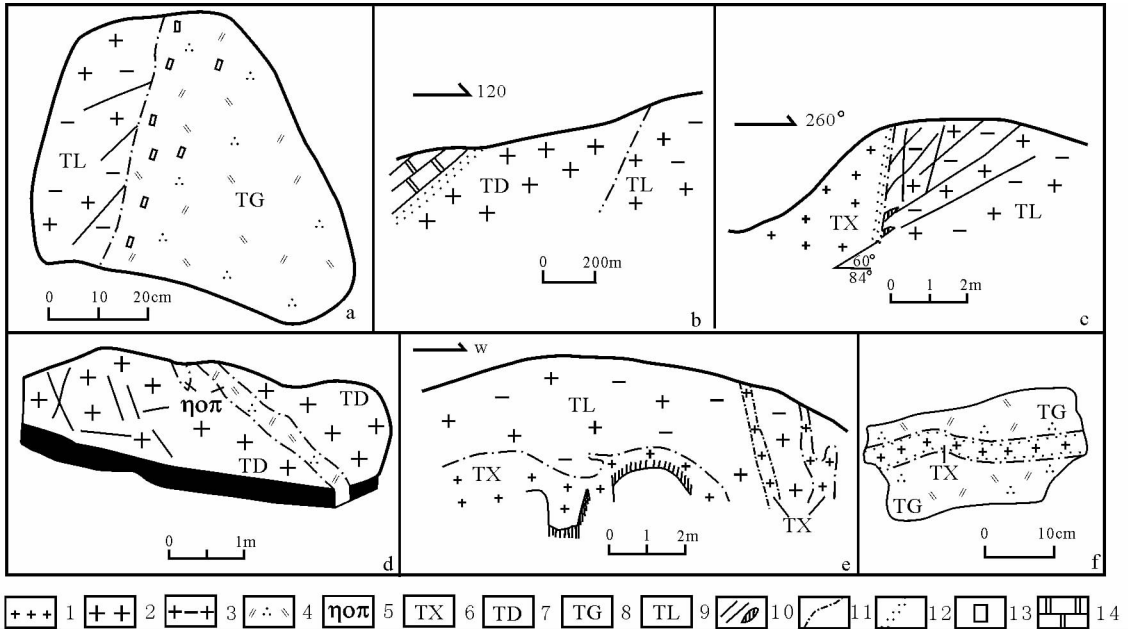


图 3 盘山序列各单元脉动型侵入接触关系

1-细粒花岗岩; 2-粗粒花岗岩; 3-黑云花岗岩; 4-石英二长岩; 5-石英二长斑岩脉; 6-小盘山单元; 7-东罗庄单元; 8-官庄单元; 9-狼家峪单元; 10-节理, 石英脉; 11-脉动侵入接触界线; 12-冷凝边; 13-长石斑晶; 14-大理岩

Fig. 3 Sketch of pulsant intrusive contact relation of each unit in the Panshan system



图 4 官庄单元暗色微粒包体

Fig. 4 Mafic microgranular enclave in the Guanzhuang unit

主岩石的边界大多呈突变关系, 界线清楚, 边界平滑。少数包体与寄主岩石呈过渡关系, 为弥散状或锯齿状, 有时可见包体具细粒边。包体岩性为闪长质, 细粒半自形粒状结构, 块状构造。主要矿物: 斜长石 (65% ~ 70%), 粒径 0.2 ~ 1mm 为主, 少量 2 ~ 5mm, 发育环带结构; 钾长石 (10% ~ 15%), 它形粒状, 一般 0.1 ~ 5mm, 大者内有斜长石、角闪石、黑云母包体, 局部交代斜长石; 黑云母 (10% ~ 15%), 片状, 大小 0.05 ~ 0.2mm; 角闪石 (5% ~ 7%), 半自形柱粒状; 石英 (<5%), 它形粒状。副矿物为磷灰石、磁铁矿、钛铁矿、榍石、锆石, 少量褐帘石等。

东罗庄单元 (TD) 为粗中粒二长花岗岩, 部分为似斑状二长花岗岩, 出露于主岩体北部和小岩体中, 由 3 个侵入体组成, 东罗庄一带侵入体最宽, 与围岩侵入接触明显。岩石结构以粗中粒为主, 部分为似斑状结构, 斑晶 (10% ~ 20%) 为钾长石。东罗庄单元与狼家峪单元界线截然, 但未见冷凝边或矿物定向排列 (图 3b)。

小盘山单元 (TX) 为细粒二长花岗岩, 主要为细粒结构, 局部似斑状结构, 斑晶为斜长石 (10% ~ 15%)。在平面上呈窄条状分布于主岩体最外侧, 脉状和不规则状出露于狼家峪单元以及分布于小岩体边部, 由 12 个侵入体组成。该单元脉动侵入狼家峪和官庄单元, 接触关系明显 (图 3c、e、f)。小盘山单元与东罗庄单元之间部分呈快速过渡关系, 部分有截然的界线, 在小岩体中可见小盘山单元脉动型侵入东罗庄单元。

岩体内和围岩中发育二长斑岩脉,呈近 SN 向和 NW 向,最大的 1 条长 3Km,宽 20m。二长斑岩脉形成最晚,侵入四个单元。在转石上见细中粒石英二长斑岩脉侵入东罗庄单元粗中粒二长花岗岩(图 3d)。

根据各单元侵入体的穿插关系,狼家峪单元侵位最早,官庄单元脉动侵入狼家峪单元,东罗庄单元侵位晚于前两个单元,小盘山单元侵位最晚,侵入到前三个单元中。

前人对盘山岩体侵位时代进行过研究,不同测试方法的年龄数据介于 203 ~ 235Ma(表 2)。本次重点对复合岩体四个单元进行锆石 SHRIMP U-Pb 精确定年工作(马寅生等, 2007),其结果:狼家峪单元为  $205 \pm 3\text{Ma}$ ,官庄单元为  $208 \pm 4\text{Ma}$ ,其闪长质包体为  $200 \pm 3\text{Ma}$ ,东罗庄单元为  $203 \pm 5\text{Ma}$ ,小盘山单元与东罗庄单元年龄相近。测年结果与野外根据接触关系确定的四个单元侵入顺序略有差别,其原因是四个单元年龄差别不大,在误差范围内基本一致。因此,根据锆石 SHRIMP U-Pb 年龄确定盘山复合岩体形成于晚三叠世晚期。

### 3 分析方法

对岩体各单元进行系统采样,薄片鉴定后选择新鲜和有代表性的样品进行地球化学分析。样品由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所用无污染法破碎、磨碎(>200 目)制成分析样品。主量、稀土和微量元素分析在中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所测定,主量元素 FeO 采用容量法,CO<sub>2</sub>,Corg 采用电导法,H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> 采用重量法,其他用熔片法 X-射线荧光光谱法(XRF)分析;稀土元素采用等离子体质谱法(ICP-MS)分析;微量元素采用 ICP-MS 和 XRF。分析过程中用国标 GBW07103 和 GBW07104 监控。

岩石的 Sm、Nd、Rb 和 Sr 同位素测定在中国地质科学院

地质研究所完成。将 0.5g 粉末样品(小于 200 目)置于低压密封溶样杯中,加入 HF + HNO<sub>3</sub> 溶解,待样品完全溶解后,蒸干,用 HCl 溶解。样品分为两部分:一份用于含量测定,另一份用于 Nd 和 Sr 比值测定。含量分析采用同位素稀释法分析,样品中加入稀释剂,混匀,加 HClO<sub>4</sub>,转为 HCl 介质,用阳离子交换柱(AG500W × 8(H<sup>+</sup>), 200 ~ 400 目),收集 MREE 和 Rb、Sr,蒸干,在 MAT-261 固体同位素质谱计上测定。Nd 和 Sr 同位素分析:样品加入 HClO<sub>4</sub>,蒸干,用阳离子交换柱分离,收集 REE 和 Sr,蒸干,再通过 HDEHP 交换柱分离,收集 Nd,蒸干,在同位素质谱计上测定。Nd 和 Sr 同位素比值测定分别采用  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$  和  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.1194$  进行质量分馏校正,分析流程空白实验本底:Sm、Nd 为  $5 \times 10^{-11}\text{g}$ , Rb、Sr 为  $10^{-9} \sim 10^{-10}\text{g}$ 。标样测定结果:J. M. Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.511125 \pm 8(2\sigma)$ ; GBW04419,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512725 \pm 10(2\sigma)$ ; NBS987SrCO<sub>3</sub>,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.71025 \pm 2(2\sigma)$ 。计算参数: $\lambda_{\text{Rb}} = 1.42 \times 10^{-11}/\text{a}$ ,  $\lambda_{\text{Sm}} = 6.54 \times 10^{-12}/\text{a}$ ,  $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{UR}} = 0.512638$ ,  $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{UR}} = 0.1967$ 。

### 4 地球化学及同位素特征

#### 4.1 主量元素

表 3 列出盘山复合岩体代表性岩石样品的主量元素分析结果。狼家峪单元和官庄单元富硅(SiO<sub>2</sub> 变化于 66.34% ~ 73.77%)、富碱(K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O = 8.15% ~ 9.50%)、富铝(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 变化于 13.05% ~ 15.49%)、富钙(CaO 介于 1.22% ~ 3.02%)、TiO<sub>2</sub> 和 MgO 偏高。K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O 含量高于胶东地区郭家岭 I 型花岗岩(7.34% ~ 8.49%,杨进辉等,2003)。在 K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> 图解(图略)中,样品均落在高钾钙碱性系列区域内。

表 2 盘山岩体年龄数据

Table 2 The dating data of Panshan pluton

单元	岩性	年龄值(Ma)	测年方法	资料来源
东罗庄单元	二长花岗岩	203 ± 5	锆石 SHRIMP U-Pb 年龄	马寅生等,2007,本期
	中粗粒花岗岩	222.7 ± 1.5	锆石 U-Pb 法	陈一笠(1991)
官庄单元	石英二长岩	208 ± 4	锆石 SHRIMP U-Pb 年龄	马寅生等,2007,本期
	闪长质包体	200 ± 3	锆石 SHRIMP U-Pb 年龄	马寅生等,2007,本期
	石英二长岩	217.1	锆石 U-Pb 法	陈一笠(1991,1993)
	石英二长岩	235.15 ± 8	全岩 Rb-Sr 等时线	王玉富(1988,1989)
	石英二长岩	214	黑云母 K-Ar 法	叶伯丹等(1986)
	粗粒似斑状二长岩	208.8 ± 0.4	角闪石 Ar-Ar 坪年龄	吴珍汉等(1999)
狼家峪单元	黑云母二长花岗岩	205 ± 3	锆石 SHRIMP U-Pb 年龄	马寅生等,2007,本期
	角闪二长花岗岩	226.48 ± 5.72	角闪石 K-Ar 法	吴珍汉等(1999,2001)
	角闪二长花岗岩	204.95 ± 3.01	黑云母 K-Ar 法	吴珍汉等(1999,2001)
盘山岩体四个单元		203 ± 3	全岩 Rb-Sr 等时线	王季亮等(1994)

表 3 盘山岩体主化学成分(%)、稀土元素( $\times 10^{-6}$ )和微量元素( $\times 10^{-6}$ )丰度

Table 3 Chemical compositions of major elements (%), trace elements ( $\times 10^{-6}$ ) and rare earth elements ( $\times 10^{-6}$ ) of the Panshan pluton

单元 样号	狼家峪			官庄			包体			东罗庄			小盘山			标样	
	D1004	D1014	D1081	D1031	D1066	D1080	D1009	D1066-1	D1020-2	D1030-1	D1056	D1018	D1020	D1030	GBW07103	GBW07104	
SiO <sub>2</sub>	73.77	72.46	72.38	66.72	66.34	67.91	64.44	60.76	76.91	76.40	74.08	76.39	77.24	77.16	73.03	61.10	
TiO <sub>2</sub>	0.29	0.34	0.35	0.56	0.54	0.51	0.68	0.89	0.16	0.14	0.20	0.13	0.08	0.12	0.29	0.52	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.05	13.74	13.11	15.44	15.49	15.19	16.84	16.73	12.38	12.17	13.20	12.52	12.56	11.95	13.24	16.35	
FeO	1.01	1.17	0.84	1.72	1.70	1.46	2.25	2.72	0.37	0.16	0.80	0.20	0.18	0.30	1.02	2.28	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.77	0.75	1.13	1.72	1.68	1.51	1.77	2.33	0.63	0.79	0.53	0.79	0.52	0.56	1.00	2.39	
MnO	0.039	0.046	0.039	0.056	0.056	0.053	0.066	0.100	0.051	0.033	0.048	0.014	0.022	0.048	0.065	0.080	
CaO	1.26	1.33	1.22	2.75	3.02	2.47	2.47	4.34	0.55	0.64	1.00	0.56	0.34	0.45	1.54	5.16	
MgO	0.75	0.68	0.79	1.62	1.66	1.26	1.23	2.35	0.11	0.37	0.36	0.21	0.05	0.17	0.47	1.55	
K <sub>2</sub> O	4.41	4.61	4.54	3.83	3.62	3.85	3.94	2.70	4.22	4.14	3.94	4.75	4.26	4.20	4.96	1.66	
Na <sub>2</sub> O	4.10	4.13	4.96	5.02	4.53	5.37	5.31	5.80	3.90	3.91	5.14	3.92	4.25	4.11	3.80	3.95	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.092	0.106	0.095	0.185	0.172	0.172	0.221	0.263	0.040	0.028	0.060	0.037	0.014	0.021	0.096	0.241	
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.93	0.87	0.72	0.69	0.85	0.74	1.07	0.98	0.49	0.49	0.80	0.69	0.78	0.82	0.58	1.32	
CO <sub>2</sub>	0.01	0.02	0.070	0.020	0.210	0.020	0.08	0.010	0.800	0.080	0.350	0.060	0.040	0.450	0.210	3.750	
Gorg	0.021	0.006	0.03	0.071	0.101	0.007	0.003	0.033	0.014	0.094	0.013	0.006	0.044	0.134	0.007	0.014	
总量	100.50	100.26	100.27	100.40	99.97	100.52	100.37	100.01	100.62	99.45	100.52	100.28	100.38	100.49	100.31	100.36	
K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	8.51	8.74	9.50	8.85	8.15	9.22	9.25	8.50	8.12	8.05	9.08	8.67	8.51	8.31			
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	1.08	1.12	0.92	0.76	0.80	0.72	0.74	0.47	1.08	1.06	0.77	1.21	1.00	1.02			
A/NCK	0.94	0.97	0.86	0.88	0.92	0.82	0.97	0.82	1.03	1.02	0.91	0.98	1.03	0.98			
AKI	0.88	0.86	1.00	0.80	0.73	0.86	0.76	0.75	0.89	0.89	0.96	0.93	0.93	0.94			
AR	3.93	3.76	4.93	2.90	2.57	3.18	2.84	2.35	4.38	4.38	4.55	4.93	4.88	5.06			
La	40.9	39.8	37.4	43.6	40.1	45.9	51.7	29.1	13.2	23.8	38.2	30.3	2.4	11.8	54.5	23.0	
Ce	67.2	70.8	59.1	73.6	69.1	77.0	92.2	56.5	28.4	44.9	66.4	41.9	2.6	31.5	108.5	40.5	
Pr	6.9	7.0	6.8	7.6	7.1	7.9	9.8	6.8	3.6	4.6	6.9	5.3	0.3	2.2	12.3	4.7	
Nd	23.8	25.2	24.7	27.4	26.5	28.8	36.0	29.0	13.4	15.7	24.2	18.6	1.1	7.2	47.8	19.7	
Sm	3.0	3.5	3.6	3.9	3.8	3.9	4.8	4.8	2.5	2.3	3.8	2.9	0.2	1.1	9.6	3.4	
Eu	0.71	0.86	0.78	1.14	1.14	1.15	1.31	1.29	0.23	0.23	0.65	0.44	0.07	0.15	0.85	1.11	
Gd	2.55	3.03	3.11	3.34	3.24	3.26	4.15	4.18	2.26	2.16	3.44	2.51	0.27	1.01	9.25	2.76	
Tb	0.37	0.45	0.47	0.50	0.48	0.48	0.59	0.66	0.44	0.37	0.55	0.41	0.07	0.17	1.83	0.41	
Dy	1.73	2.16	2.37	2.41	2.27	2.31	2.95	3.25	2.59	2.14	2.85	2.19	0.56	0.98	10.27	1.97	
Ho	0.31	0.39	0.45	0.44	0.40	0.41	0.54	0.59	0.57	0.46	0.52	0.42	0.15	0.21	2.09	0.33	
Er	0.96	1.16	1.33	1.25	1.20	1.21	1.56	1.66	2.04	1.64	1.68	1.31	0.75	0.82	6.67	0.96	

续表 3

Continued Table 3

单元 样号	狼家峪			官庄			包体			东罗庄			小盘山			标样	
	D1004	D1014	D1081	D1031	D1066	D1080	D1009	D1066-1	D1020-2	D1030-1	D1056	D1018	D1020	D1030	GBW07103	GBW07104	
Tm	0.14	0.18	0.19	0.18	0.16	0.17	0.22	0.24	0.36	0.29	0.26	0.21	0.18	0.16	1.10	0.13	
Yb	1.00	1.21	1.31	1.22	1.14	1.17	1.59	1.62	2.92	2.36	1.90	1.50	1.87	1.45	8.34	0.92	
Lu	0.16	0.19	0.20	0.18	0.17	0.18	0.25	0.25	0.46	0.38	0.29	0.24	0.35	0.25	1.33	0.14	
LREE	142.51	147.16	132.38	157.24	147.74	164.65	195.81	127.49	61.33	91.53	140.15	99.44	6.67	53.95			
HREE	7.22	8.77	9.43	9.52	9.06	9.19	11.85	12.45	11.64	9.8	11.49	8.79	4.2	5.05			
LR/HR	19.74	16.78	14.04	16.52	16.31	17.92	16.52	10.24	5.27	9.34	12.2	11.31	1.59	10.68			
ΣREE	149.77	155.93	141.81	166.76	156.8	173.84	207.66	139.94	72.97	101.33	151.64	108.23	10.87	59.00			
(La/Sm) <sub>N</sub>	8.81	7.35	6.71	7.22	6.82	7.61	6.96	3.92	3.41	6.69	6.50	6.75	7.76	6.93			
(La/Yb) <sub>N</sub>	29.35	23.60	20.49	25.64	25.24	28.15	23.33	12.89	3.24	7.24	14.43	14.49	0.92	5.84			
δEu	0.76	0.79	0.70	0.94	0.97	0.96	0.88	0.86	0.29	0.31	0.54	0.49	0.92	0.43			
Sr	251	303	284	604	650	612	603	708	64	61	262	83	17	32	114	784	
Rb	107	122	105	89	83	89	127	75	209	206	111	126	244	250	496	38	
Ba	928	1082	1179	1407	1420	1349	2244	921	157	155	726	342	43	103	341	993	
Th	7.9	8.1	5.4	9.5	7.9	6.0	9.8	7.4	20.7	16.3	12.5	11.1	16.8	19.9	51.2	3.1	
U	1.76	2.39	0.86	1.14	1.17	0.86	3.46	1.39	4.75	4.18	2.39	2.66	2.86	3.85	18.56	1.02	
Cr	6.4	8.2	10.8	21.6	28.7	15.5	7.0	17.0	5.1	5.0	5.0	6.4	5.0	9.9	8.2	37	
Ta	1.25	1.18	1.35	1.43	1.12	1.01	1.42	1.13	4.53	3.76	3.07	1.67	6.04	4.03	7.21	0.50	
Nb	12.5	13.4	15.5	16.3	12.8	15.0	19.1	18.3	44.8	38.8	33.4	16.3	58.1	39.6	49.5	7.0	
Zr	139	157	162	180	174	183	339	205	111	103	140	110	111	93	167	100	
Hf	5.43	6.63	6.57	7.06	6.30	7.47	9.64	9.18	4.27	4.00	5.85	3.79	5.11	4.10	5.58	2.53	
Cu	29.7	19.7	2.8	7.0	3.7	6.7	11.6	11.5	5.1	2.7	1.3	32.1	7.8	7.6	2.9	55.2	
Pb	25.5	26.0	17.8	22.5	17.0	18.1	23.5	17.6	36.2	24.6	29.0	28.6	41.7	43.7	30.9	9.9	
Zn	25	31	24	43	40	44	55	61	22	13	21	10	10	17	29	68	
Mo	11.63	0.69	0.18	0.29	2.20	0.39	2.12	0.69	0.32	0.67	0.54	0.77	0.71	0.57	3.34	0.61	
V	28	34	31	57	55	46	40	85	19	14	19	12	16	10	21	91	
Ni	4.2	5.1	6.7	12.4	13.9	15.0	7.5	35.5	8.2	5.7	17.5	2.4	2.6	4.9	3.0	17.4	
Y	9.1	11.4	12.6	12.2	11.2	11.6	14.6	15.5	18.9	15.0	15.7	12.9	5.5	7.5	67.4	9.7	
Co	3.5	4.0	3.9	6.7	6.8	7.5	6.4	12.8	1.1	0.9	2.0	1.3	0.7	0.9	3.2	12.8	
Ga	16	16	16	18	20	19	22	20	16	17	18	15	20	18	21	18	
Sc	2.5	3.1	2.9	6.4	6.2	6.1	4.9	12.2	2.3	2.3	2.8	1.9	2.3	2.1	6.8	9.5	
Sr/Y	27.58	26.58	22.54	49.51	58.04	52.76	41.30	45.68	3.39	4.07	16.69	6.43	3.09	4.27			
Rb/Sr	0.43	0.40	0.37	0.14	0.13	0.15	0.21	0.11	3.27	3.38	0.42	1.51	14.35	7.81			



东罗庄单元和小盘山单元总体表现为高硅( $\text{SiO}_2$  变化于 74.08% ~ 77.24%)、高碱( $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 8.05\% \sim 9.08\%$ )和低  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0.014% ~ 0.060%)、 $\text{FeO}$  (0.16% ~ 0.80%)、 $\text{MgO}$  (0.05% ~ 0.37%)、 $\text{TiO}$  (0.08% ~ 0.20%) 和  $\text{CaO}$  (0.34% ~ 1.00%) 的特点, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  比值为 0.77 ~ 1.21 (仅有 1 件样品小于 1),显示钾质花岗岩和钾玄岩系列特征 (Väisänen *et al.*, 2000; 王涛等, 2005)。 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  含量高于北秦岭老君山和秦岭梁 I 型-A 型花岗岩 (6.8% ~ 8.5%, 王晓霞等, 2003),与巴西 Queimadas 碰撞后 A 型花岗岩 ( $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  平均为 8.95%, Almeida *et al.*, 2002) 和福建鼓山-魁岐 I-A 型花岗岩 ( $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 8.39\% \sim 10.77\%$ , 邱检生等, 1999) 相似。

盘山复合岩体的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (11.95% ~ 15.49%) 高于一般碱性花岗岩 (一般 < 12%), 其中狼家峪单元和官庄单元高于东罗庄单元和小盘山单元。铝饱和指数  $A/\text{NCK}$  介于 0.82 ~ 0.98, 少数 1.02 ~ 1.03, 碱性指数 (AKI) 介于 0.73 ~ 1.00, 岩石为准铝质, 但东罗庄单元为微过铝质。在哈克尔变异图解中 (图 5), 各单元及包体的  $\text{SiO}_2$  与其余氧化物之间具有良好的线性关系, 随  $\text{SiO}_2$  含量增加  $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$  降低, 而  $\text{SiO}_2$  与  $\text{K}_2\text{O}$  呈正相关关系, 呈现出典型岩浆混合或结晶分异演化趋势。

闪长质包体的  $\text{SiO}_2 = 60.76\% \sim 64.44\%$ ,  $\text{CaO} = 2.47\% \sim 4.34\%$ , 明显比官庄单元寄主岩石 ( $\text{SiO}_2 = 66.34\% \sim 67.91\%$ ,  $\text{CaO} = 2.47\% \sim 3.02\%$ ) 偏基性。 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 8.50\% \sim 9.25\%$ 。在  $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  图解 (图略) 中, 样品落在高钾钙碱性和钙碱性系列。 $A/\text{NCK} = 0.82 \sim 0.97$ , 为准铝质。在哈克尔变异图解中 (图 5), 包体与寄主岩石具有相同的变化特征。

### 4.2 稀土元素

盘山岩体各单元代表性样品稀土元素分析结果列于表 3。各单元稀土总量不高 ( $10.87\% \sim 173.8 \times 10^{-6}$ ), 从早单元到晚单元稀土总量平均值由较高 ( $149.14 \times 10^{-6}$ ) → 高 ( $165.8 \times 10^{-6}$ ) → 较低 (平均  $108.65 \times 10^{-6}$ ) → 低 ( $59.37 \times 10^{-6}$ ); ( $\text{La}/\text{Yb}$ )<sub>N</sub> 由较高 (23.00) → 高 (24.75) → 较低 (7.80) → 低 (6.65)。稀土元素总量呈递降趋势, 这可能与岩浆结晶过程中不同性质的矿物分离有关 (徐士进等, 1991)。小盘山单元稀土含量明显偏低、重稀土强烈亏损和 Lu 增高, 其原因是富集 HREE 的暗色矿物单斜辉石和角闪石在岩浆形成时与长石等矿物发生了强分离结晶, 在源区残留了大量角闪石和单斜辉石。

$\delta\text{Eu}$  平均值由 0.75 → 0.90 → 0.38 → 0.61。稀土配分曲线具有右倾式特点 (图 6), 轻稀土明显富集, 而重稀土相对平坦。由表 3 和图 6 可看出, 盘山复合岩体分成两组, 一组为狼家峪单元、官庄单元及其包体, 另一组为东罗庄单元和小盘山单元, 二组在稀土元素特征上存在明显差异, 主要表现在三个方面。其一, 前者轻重稀土分馏程度较高, LREE/

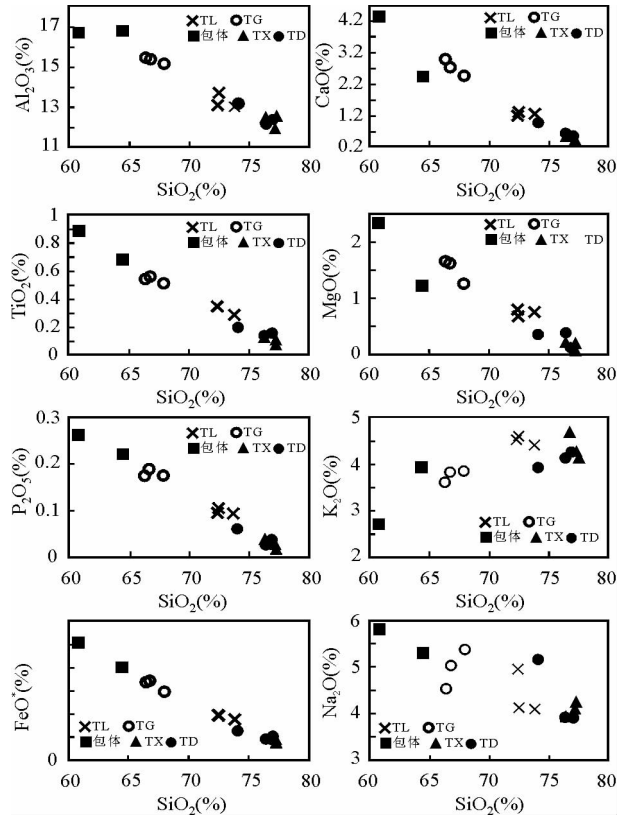


图 5 盘山岩体主要元素与  $\text{SiO}_2$  协变图

Fig. 5 Diagrams of  $\text{SiO}_2$  versus predominant oxides of Panshan pluton

HREE 和 ( $\text{La}/\text{Yb}$ )<sub>N</sub> 比值较大, 后一组 LREE/HREE 比值较小, 在一定程度上指示其幔源组分含量更高 (邱检生等, 1999; 肖庆辉等, 2002); 其二, 后者稀土总量较低 (平均  $108.65 \times 10^{-6}$  和  $59.37 \times 10^{-6}$ ); 其三, 前者具弱的负铕异常 ( $\delta\text{Eu} = 0.70 \sim 0.97$ ), 后者的铕负异常明显,  $\delta\text{Eu}$  值小 (0.29 ~ 0.54, 但样品 D1020 除外)。随着  $\text{SiO}_2$  含量的增高, 铕负异常更加明显, 显示岩浆曾发生过斜长石分离结晶。

包体和官庄单元寄主岩石的稀土配分曲线型式一致 (图 6b), ( $\text{La} / \text{Yb}$ )<sub>N</sub> = 12.89 ~ 23.33, 为轻稀土富集, 重稀土亏损的右倾型, 具有弱的铕负异常。稀土总量平均值 ( $173.8 \times 10^{-6}$ ) 高于寄主岩石 (平均值  $165.8 \times 10^{-6}$ )。

### 4.3 微量元素

微量元素 (表 3) 显示, 盘山复合岩体各单元的 Rb 含量不高, 为  $24 \times 10^{-6} \sim 250 \times 10^{-6}$ , Sr 含量除官庄单元及其包体较高, 为  $603 \times 10^{-6} \sim 708 \times 10^{-6}$ , 其它含量较低 ( $17 \times 10^{-6} \sim 379 \times 10^{-6}$ )。东罗庄单元和小盘山单元 Rb/Sr 比值较高 (平均 2.32 和 8.04), 反映花岗岩经历了分异演化作用, 其它单元该比值小 (0.11 ~ 0.43)。Sr/Y 呈规律性变化, 较早的 2 个单元比值大 (平均 25.57 和 53.43), 较晚的 2 个单元比值小 (平均 8.05 和 4.60)。

在原始地幔标准化微量元素蛛网图上 (图 7), 四个单元

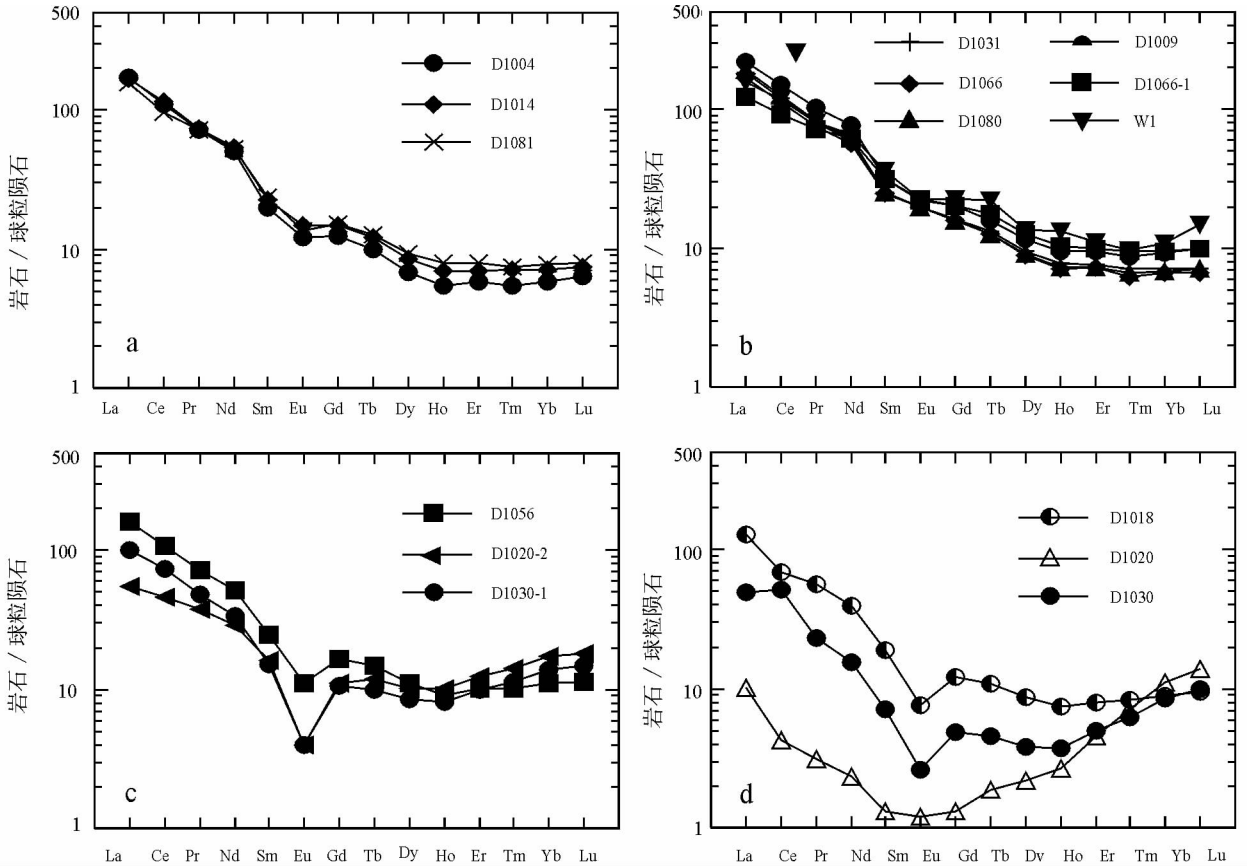


图6 盘山岩体稀土元素配分型式(W1据盘山幅1:5万区域地质调查报告,其他为本文资料)

a-狼家峪单元; b-官庄单元及包体; c-东罗庄单元; d-小盘山单元;

Fig.6 Chondrite-normalized REE patterns of Panshan pluton

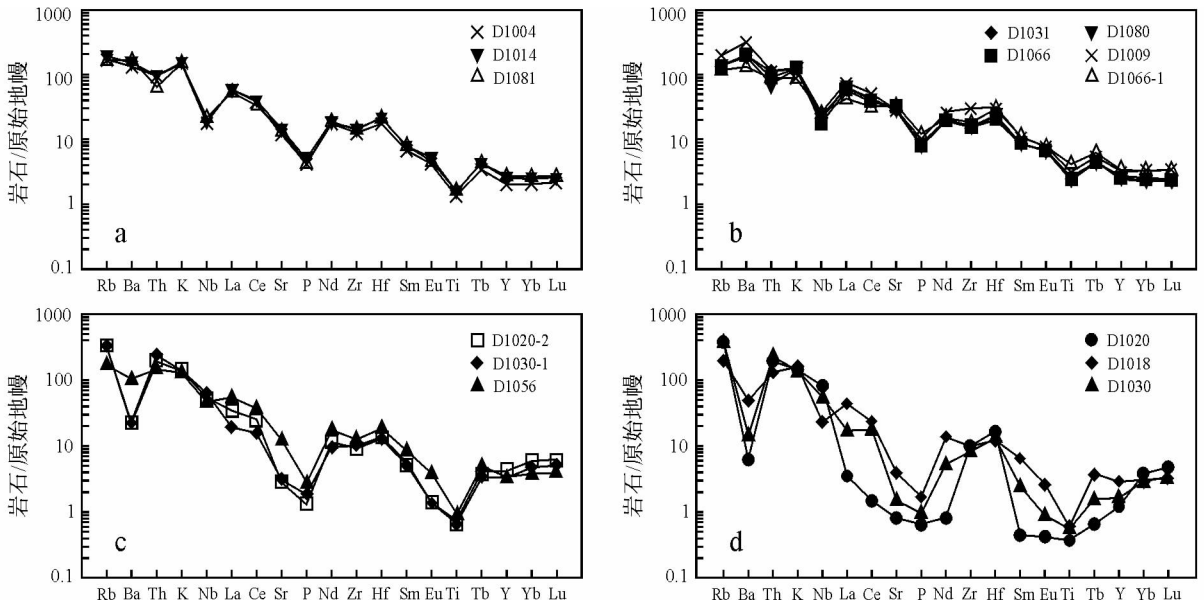


图7 盘山岩体微量元素蛛网图(原始地幔值采用Sun and McDonough, 1989推荐值)

a-狼家峪单元; b-官庄单元及包体; c-东罗庄单元; d-小盘山单元;

Fig.7 Primitive mantle-normalized trace element spider diagram for Panshan pluton (Normalization Values after Sun and McDonough, 1989)

的微量元素曲线形态分成两类。狼家峪单元和官庄单元曲线形态相似,出现 Nb、P 和 Ti 相对亏损, Th、Zr 弱亏损, 但 Rb、Ba、K、Hf、Tb、Sr 富集。Nb 明显亏损, 表明岩浆起源于岩石圈地幔或受到地壳物质混染。东罗庄单元和小盘山单元曲线形态相似, 出现 Ba、Sr、P、Ti 相对亏损, Zr 弱亏损, 而 Th、Nd、K、Rb、Hf 相对富集,  $(Ga/Al) \times 10^4$  比值为 2.26 ~ 3.01, 具有 A 型花岗岩的特征 (Whalen *et al.*, 1996), 微量元素特征与承德甲山 A 型花岗岩相似 (杨富全等, 2003)。

在原始地幔标准化微量元素蛛网图上 (图 7), 包体的 Nb、P 和 Ti 高场强元素明显亏损, 出现“V”形, 包体和官庄单元寄主岩石的曲线整体形态相似, 表明二者在成因上存在一定的亲缘关系。

#### 4.4 Sr、Nd 同位素

盘山复合岩体各单元 Sr、Nd 同位素分析结果列于表 4。 $^{87}Rb/^{86}Sr$  比值变化大, 从 0.3233 ~ 29.11, 除 4 件样品比值大于 3 外, 其他样品具有地质意义。 $f_{Sm/Nd}$  变化于 -0.40 ~ -0.56, 落在 -0.2 ~ -0.6 之间, 表明所测岩石的模式年龄  $t_{DM}$  有效 (Jahn *et al.*, 2000)。各单元及岩脉  $^{87}Sr/^{86}Sr$  初始比值变化范围非常大, 为 0.67861 ~ 0.70628, 其中 4 个样品  $^{87}Sr/^{86}Sr$  初始比值  $I_{Sr}$  小于 0.7000, 并具有大的误差范围, 变化于  $0.67861 \pm 0.00072 \sim 0.69971 \pm 0.001$ , 个别样品甚至低于石质陨石的初始值 (0.69897), 为不合理的低值。这些“异常”样品主要来自东罗庄和小盘山单元 A 型花岗岩, 这在中国的 A 型花岗岩中并不少见, 如黑龙江碾子山岩体 (魏春生等, 2001)、福建魁岐岩体、山海关岩体 (许保良等, 1998)、内蒙古亚干钾质花岗岩体 (王涛等, 2002) 等, 均出现过“异常”样品。出现“异常”样品的原因是 A 型花岗岩中铷含量低 (如表 4 中的  $24.21 \times 10^{-6} \sim 73.04 \times 10^{-6}$ ) 和较高的 Rb/Sr, 使年龄对  $I_{Sr}$  影响大, 并易受测量误差影响, 这导致计算的初始 Sr 同位素比值有很大误差 (Jahn *et al.*, 2000; 魏春生等, 2001; 王涛等, 2002)。

剔除“异常”样品后,  $I_{Sr}$  变化于 0.70234 ~ 0.70628, 其中狼家峪单元  $I_{Sr} = 0.70361 \sim 0.70498$ ; 官庄单元  $I_{Sr} = 0.70234 \sim 0.70439$ ; 东罗庄单元  $I_{Sr} = 0.70474$ , 三个单元、包体及岩脉  $I_{Sr}$  值均落在上地幔范围内 (0.702 ~ 0.706, Faure, 1986)。

盘山复合岩体各单元、包体及岩脉的  $\epsilon_{Nd}(t)$  值为 -12.73 ~ -15.70, 其中狼家峪单元  $\epsilon_{Nd}(t) = -13.54 \sim -12.73$ , 平均为 -13.12; 官庄单元  $\epsilon_{Nd}(t) = -14.96 \sim -13.00$ , 平均为 -14.07; 东罗庄单元  $\epsilon_{Nd}(t) = -14.66 \sim -13.24$ , 平均为 -14.08; 小盘山单元  $\epsilon_{Nd}(t) = -15.70 \sim -13.79$ , 平均为 -14.75。四个单元  $\epsilon_{Nd}(t)$  值明显低于燕辽-阴山三叠纪碱性岩的  $\epsilon_{Nd}(t)$  值 (-3.21 ~ -17.19, 平均为 -7.09, 阎国翰等, 2000) 和北京西山早侏罗世南大岭组中基性火山岩 ( $\epsilon_{Nd}(t)$  值 = -7.4 ~ -13.5, 杨晓勇等, 2004), 但与燕山地区白垩纪的山海关岩体、响山岩体、窟窿山等 A 型花岗岩体相似 [ $\epsilon_{Nd}(t) = -11.35 \sim -14.48$ ,

表 4 盘山岩体 Sr、Nd 同位素组成

单元	样品	Rb( $10^{-6}$ )	Sr( $10^{-6}$ )	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$\pm 2\sigma$	t (Ma)	$I_{Sr}$	Sm( $10^{-6}$ )	Nd( $10^{-6}$ )	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	$f_{Sm/Nd}$	$\epsilon_{Nd}(t)$	$t_{DM}$ (Ma)
狼家峪	D1004	107.7	226.5	1.377	0.707884	14	0.70387 ± 0.00006	3.571	25.314	0.08533	0.511818 ± 9	-0.56	-13.09	1578
	D1014	88.92	275.0	9.364 × 10 <sup>-1</sup>	0.707708	15	0.70498 ± 0.00004	3.451	23.346	0.08942	0.511842 ± 7	-0.55	-12.73	1601
	D1081	114.2	256.4	1.290	0.707372	14	0.70361 ± 0.00005	4.251	27.225	0.09445	0.511807 ± 7	-0.52	-13.54	1712
	D1031	214.4	547.2	1.134	0.705678	14	0.70234 ± 0.00005	4.576	29.393	0.09419	0.511833 ± 11	-0.52	-13.00	1676
官庄	D1066	73.72	600.5	3.555 × 10 <sup>-1</sup>	0.705436	11	0.70439 ± 0.00001	4.172	26.752	0.09433	0.511733 ± 6	-0.52	-14.96	1804
	D1080	122.2	556.3	6.362 × 10 <sup>-1</sup>	0.705566	13	0.70369 ± 0.00003	3.878	26.576	0.08827	0.511761 ± 8	-0.55	-14.25	1684
	D1020-2	365.3	55.59	1.906 × 10	0.733634	13	0.67861 ± 0.00072	2.671	13.626	0.1186	0.511856 ± 8	-0.40	-13.24	2067
东罗庄	D1030-1	216.7	51.24	1.227 × 10	0.734335	19	0.69891 ± 0.00067	2.496	15.382	0.09816	0.511756 ± 11	-0.50	-14.66	1834
	D1056	104.1	247.6	1.217	0.708254	11	0.70474 ± 0.00004	3.917	23.229	0.1020	0.511778 ± 8	-0.48	-14.33	1867
	D1018	209.4	73.04	8.303	0.717106	14	0.69314 ± 0.00034	2.570	16.017	0.09706	0.511799 ± 11	-0.51	-13.79	1761
小盘山	D1030	241.8	24.21	2.892 × 10	0.783191	12	0.69971 ± 0.0010	1.101	7.158	0.09304	0.511696 ± 10	-0.53	-15.70	1832
	D1066-1	74.25	665.0	3.233 × 10 <sup>-1</sup>	0.705242	13	0.70432 ± 0.00001	5.099	28.324	0.1089	0.511807 ± 8	-0.45	-13.98	1947
二长斑岩脉	0609-1	60.87	252.3	6.984 × 10 <sup>-1</sup>	0.708306	14	0.70628 ± 0.00003	5.279	31.139	0.1025	0.511792 ± 9	-0.48	-14.06	1856

样品由唐索寒、王进辉分析。  $f_{Sm/Nd} = (^{147}Sm/^{144}Nd) / (^{147}Sm/^{144}Nd)_{CHUR} \times (e^{\lambda t} - 1)$  计算 (Jahn *et al.*, 2000) ( $^{143}Nd/^{144}Nd)_{CHUR} = 0.512638$ ;  $I_{Sr}$  的误差按  $^{87}Rb/^{86}Sr \times \text{error} \times (e^{\lambda t} - 1)$  计算 (Jahn *et al.*, 2000) ( $\lambda_{Sm} = 6.54 \times 10^{-12}$ ;  $\lambda_{Rb} = 1.42 \times 10^{-11}$ ;  $(^{147}Sm/^{144}Nd)_{CHUR} = 0.1967$ ;

李伍平,2002<sup>①</sup>].在( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub>- $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 图解中(图8),投点位于原始地幔和EM I之间,但接近EM I范围,表明岩浆起源与富集的岩石圈地幔有关,同时也与古老下地壳的贡献有关.Nd同位素的亏损地幔模式年龄 $t_{\text{DM}}$ 为1578Ma~2067Ma,表明华北岩石圈的富集作用主要发生在古—中元古代。

官庄单元中包体的 $I_{\text{Sr}}$ 为0.704323,略高于寄主岩石的平均值(0.703474)。包体的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为-13.98,与寄主岩石的平均值(-14.07)相似。包体的模式年龄 $t_{\text{DM}}$ 为1947Ma,明显早于寄主岩石的模式年龄(1676~1804Ma)。二长斑岩脉的Sr、Nd同位素特征与官庄单元相似。

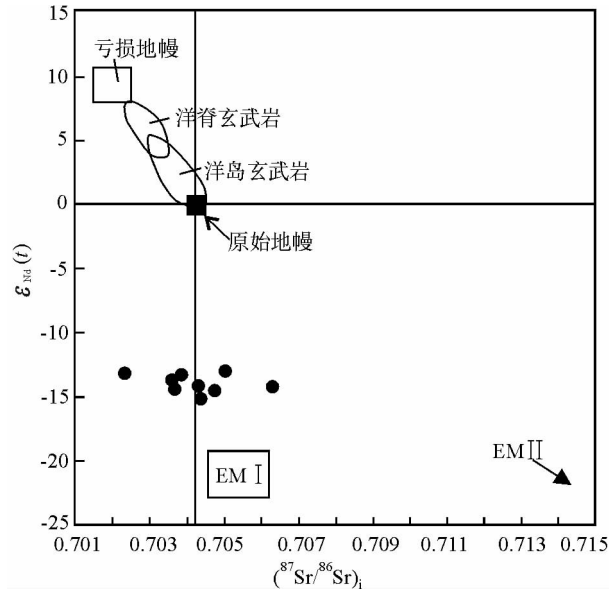


图8 盘山岩体 $I_{\text{Sr}}$ - $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 关系图(底图据邱检生等,2002)

Fig. 8  $I_{\text{Sr}}$  vs.  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  diagram for Panshan pluton (after Qiu *et al.*, 2002)

## 5 讨论

### 5.1 I-A型花岗岩成因类型

前人对盘山岩体的成因类型进行过研究,但存在分歧,归纳为:① I型花岗岩(王玉富,1989;崔盛芹等,2002);② 壳幔混合源S型花岗岩(王季亮等,1994);③ 陈一笠(1993)根据 $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$ 图解,认为东罗庄单元和狼家峪单元为A型花岗岩,官庄单元和小盘山单元属I型花岗岩,提出该岩体成因类型具有I型向A型过渡性质。

在野外详细地质填图基础上,通过系统的矿物成分、主量元素、稀土元素、微量元素和Sr-Nd同位素研究,认为盘山岩体具有I型和A型花岗岩过渡特点。岩体明显分成两组,狼家峪单元、官庄单元及其包体特征相同,东罗庄单元和小盘山单元特征相似。在 $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$ 图解(图9),前一组投在I型和I型与A型边界附近,后一组主要落在A型花岗岩区。

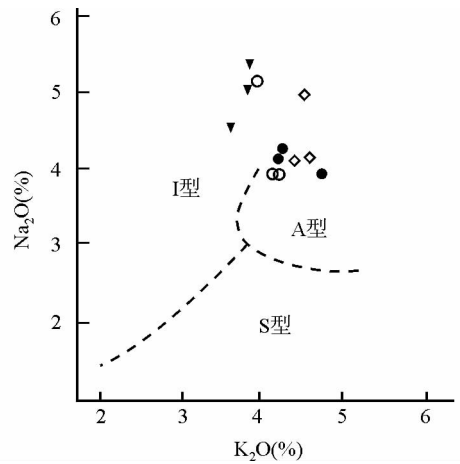


图9  $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$ 图解(据Collins等,1982)

◇-狼家峪单元; ▽-官庄单元; ○-东罗庄单元; ●-小盘山单元

Fig. 9  $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$  diagram (after Collins *et al.*, 1982)

狼家峪和官庄单元在Zr、Nb、Ce、 $\text{Y} \cdot 10^4 \times \text{Ga}/\text{Al}$ 判别图解中(图略),投点落在I型和S型范围内,岩石中普遍出现了I型花岗岩的典型矿物学标志角闪石,微量元素上出现Nb、P和Ti强烈亏损,Rb、Ba、K、Hf、Th、Sr富集,这些特征显示出I型花岗岩特点。东罗庄和小盘山单元与前两个单元明显不同,Ga含量较高,在Zr、Nb、Ce、 $\text{Y} \cdot 10^4 \times \text{Ga}/\text{Al}$ 判别图解中,投点落在A型或与I型、S型花岗岩区边界一带,Ba、Sr、P、Ti强烈亏损,在原始地幔标准化微量元素蛛网图上,4个元素呈明显的“V”型谷,Th、Nd、K、Rb元素相对富集,具有A型花岗岩特点。因此,盘山岩体是具有I-A型过渡特征的高钾钙碱性或高分异钙碱性花岗岩,其中狼家峪和官庄单元为I型花岗岩,狼家峪和官庄单元为A型花岗岩。盘山I型-A型花岗岩体的确定,表明燕山地区在三叠纪钙碱性和碱性花岗岩可能是连续过渡的,如同阿尔泰造山带的二叠纪花岗岩(王涛等,2005)。

这种I型-A型复合花岗岩在我国主要分布在东部沿海地区、中亚造山带及秦岭等地。沿海地区I型-A型复合花岗岩形成于晚中生代,浙闽沿海地区典型岩体有漳州岩体(周珣若等,1994)、鼓山-魁岐、青田和普陀山-桃花岛岩体(邱检生等,1999;王德滋等,1995)。苏鲁地区典型岩体有苏州地区花岗岩体(周珣若等,1997)、崂山花岗岩体(赵广涛等,1998)。阿尔泰喇嘛昭I型-A型岩体形成于二叠纪。印支期的I型-A型复合花岗岩有北秦岭老君山、秦岭梁(王晓霞等,2003)、东北伊春地区(肖庆辉等,2002)。燕山地区目前仅发现了盘山复合岩体,其特征与上述典型I型-A型花岗岩基本相似。

① 李伍平. 2002. 燕山造山带中生代火山岩地球化学特征及其地球动力学背景. 中国科学院广州地球化学研究所[博士后研究报告], 1-65

## 5.2 岩浆的混合成因

狼家峪和官庄单元  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值为  $-12.73 \sim -14.96$ , 在  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i - \varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  图解中, 投点接近 EM I 范围, 表明岩浆起源与富集地幔有关, 同时也与古老下地壳的贡献有关。这两个单元具有 Nb、Eu 亏损和 Rb、K 富集特征, 也提供了证据。在蛛网图上, 狼家峪和官庄单元显示 Ba、Sr 正异常, 引起这种正异常的原因有 3 种, 其一, 岩浆的起源可能与加厚地壳的部分熔融有关; 其二, 岩浆起源于富集的岩石圈地幔; 其三, 壳幔混合源岩浆。这两个岩体中含有暗色微粒包体, 暗示壳幔混合源岩浆的可能性更大。

东罗庄和小盘山单元出现 Ba、Sr、P、Ti 相对亏损, 表明其岩浆的起源与狼家峪和官庄单元的岩浆不同或岩浆的分离结晶作用程度不同。这两个单元的稀土元素配分曲线显示岩浆形成时长石、角闪石等矿物的强分离结晶, 在源区残留了大量角闪石, 造成中稀土亏损和 Lu 增高, 同时造成稀土含量降低, 小盘单元最明显。

闪长质包体常出现在 I 型和 S 型钙碱性花岗岩中, 对其研究可以为探讨岩浆演化过程和花岗岩的成因机制提供信息 (Bonin, 2004; 王晓霞等, 2005)。官庄单元发育大量闪长质包体, 这为研究岩体成因和岩浆演化过程提供了可能。研究表明官庄单元具有岩浆混合的岩相学标志, 如 (1) 发育暗色微粒包体, 包体颜色明显比寄主岩石深, 其粒度比寄主岩石细, 暗示形成包体的岩浆比寄主岩石的岩浆更基性; (2) 暗色微粒包体具有细粒半自形粒状结构, 表明包体是岩浆结晶形成的; (3) 闪长质包体与寄主岩石的矿物组合相似, 均为岩浆岩矿物组合; (4) 部分包体与寄主岩石之间为渐变关系; (5) 部分包体发育细的冷凝边, 是岩浆快速冷却的标志, 表明发生混合的两种岩浆具有不相同的初始温度和流变学性质; (6) 包体周围发育浅色晕圈; (7) 可见钾长石巨晶位于包体和寄主岩石的界线上, 并横切界线, 表明钾长石巨晶是早期结晶的寄主花岗质岩浆的斑晶, 在镁铁质岩浆与花岗质岩浆混合时被带到镁铁质岩浆中 (肖庆辉等, 2002)。上述特征表明岩浆混合是以闪长质包体为代表的基性岩浆注入到酸性岩浆中。官庄单元锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为  $208 \pm 4\text{Ma}$ , 闪长质包体为  $200 \pm 3\text{Ma}$ , 在误差范围内二者年龄基本是同时, 排除了闪长质包体为源区固态难熔残余或围岩捕掳体的可能性, 也排除了基性岩浆在花岗质岩浆固结后才侵入的可能性。从年代学角度证明, 官庄单元石英二长岩和闪长质包体是岩浆混合作用的产物, 寄主岩石更接近岩浆混合作用中的酸性端元, 包体是注入到花岗质岩浆中未完全混合的基性岩浆团块 (Didier and Barbarin, 1991; 刘成东等, 2004), 在年龄上比寄主岩石稍显年轻。

在  $(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}) - (\text{Na}_2\text{O}/\text{CaO})$ 、 $(\text{Si}_2\text{O}/\text{CaO}) - (\text{Na}_2\text{O}/\text{CaO})$ 、 $(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}) - (\text{Si}_2\text{O}/\text{MgO})$  同分母氧化物比值相关图 (图略) 上, 包体和寄主岩石为线性相关, 表明包体和寄主岩石为混合作用的演化趋势。在哈克尔变异图解中 (图 5), 主

要氧化物在包体和寄主岩石中呈明显的线性关系, 随着  $\text{SiO}_2$  含量增加  $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  +  $\text{FeO}$  降低, 而  $\text{SiO}_2$  与  $\text{K}_2\text{O}$  呈正相关关系。主要氧化物的线性关系表明酸性岩浆中的组分向基性岩浆扩散, 使基性岩浆中结晶出的铁镁矿物处于不平衡状态。随着这种作用的进行, 基性矿物逐渐被酸性矿物代替, 如辉石被角闪石代替, 角闪石被黑云母代替, 包体现在的成分不能完全代表原始岩浆的成分 (王晓霞等, 2005), 包体的原始岩浆可能为基性岩浆。稀土配分模式和原始地幔标准化微量元素蛛网图上, 包体和寄主岩石相似, 表明微量元素在岩浆混合过程中发生过交换。包体的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  初始比值和  $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$  值与寄主岩石相似, 表明两种岩浆混合过程中同位素发生均一化, 秦岭环斑结构花岗岩中的暗色包体也具有类似特征 (王晓霞等, 2005)。总之, 岩石学、地球化学和同位素特征表明, 形成包体的岩浆和形成寄主岩石的岩浆发生过混合, 并进行过成分上的交换。

岩浆混合的可能模式: 中生代华北东部岩石圈发生了大规模的减薄和壳幔置换作用, 由于深大断裂的活动, 富集地幔起源的基性岩浆底侵到地壳, 引起下地壳的 TTG 岩石部分熔融形成花岗质岩浆, 之后玄武质和花岗质岩浆发生混合, 形成部分岩体和其中的暗色微粒包体 (MME)。Coleman *et al.* (2004) and Glazner *et al.* (2004) 对加里福尼亚的 Tuolumne 侵入岩套进行了研究, 岩性组合为花岗闪长岩、英云闪长岩、花岗斑岩, 侵入岩时代为  $95 \sim 85\text{Ma}$ , 岩体的形成并非是大岩浆房经过结晶分异形成, 而是小岩浆房积累形成复式岩体。尽管盘山复式岩体最早单元与最晚单元侵入时间仅相差几个 Ma, 但岩石学、岩石化学、稀土元素和微量元素特征有显著差别, 他们的形成可能不是同一个岩浆房, 而是类似与 Tuolumne 侵入岩套的形成机制。除了各单元形成时构造背景不同 (见下文讨论) 外, 小岩浆房积累可能是盘山岩体岩浆混合的一种方式, 是形成 I 型-A 型复合花岗岩的原因之一。

## 5.3 岩体形成构造背景

在主量元素上, 该复合花岗岩以富硅、富碱, 贫铁为特征, 在  $\text{R}_1 - \text{R}_2$  多阳离子图解中 (图 10), 狼家峪单元落在同造山花岗岩区, 官庄单元和包体落在晚造山期, 东罗庄单元和小盘山单元则落在造山后期 A 型花岗岩区附近。在 Yb-Ta 图解中 (图 11), 盘山 I 型花岗岩落在同碰撞花岗岩区与火山弧花岗岩区边界, 并偏向前者, 而 A 型花岗岩主要落在板内花岗岩区。花岗岩落入板内环境有两种可能: 一是由于结晶分异造成 Nb、Y、Rb 富集的结果; 二是形成于拉张构造环境 (Forster *et al.*, 1999; 王涛等, 2002)。盘山岩体的  $\delta\text{Eu}$  中等异常, 分异不太强, 反映后者的可能性大。在 Rb-(Y+Nb) 相关图解上 (图 12), I 型和 A 型花岗岩的投点有明显差别, 但均位于后碰撞区域, 显示了后碰撞特征。 $\text{SiO}_2 - \log[\text{CaO}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})]$  图解 (图 13) 显示, I 型花岗岩落在挤压型岩浆作用区, 而 A 型花岗岩位于引张型岩浆作用区。

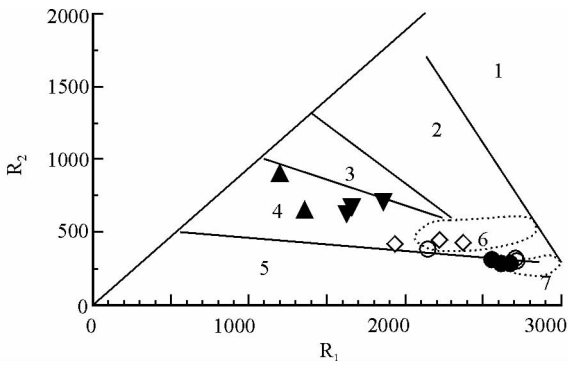


图 10  $R_1$ - $R_2$  多阳离子图解 (据 Batchelor and Bowden, 1985)

1-幔源分异花岗岩; 2-板块碰撞前削减地区; 3-板块碰撞后隆起; 4-晚造山期; 5-非造山区; 6-同造山期; 7-造山后期 A 型花岗岩;  $\diamond$ -狼家峪单元;  $\blacktriangledown$ -官庄单元;  $\blacktriangle$ -包体;  $\circ$ -东罗庄单元;  $\bullet$ -小盘山单元

Fig. 10 Diagram  $R_1$ - $R_2$  multiple cations (after Batchelor and Bowden, 1985)

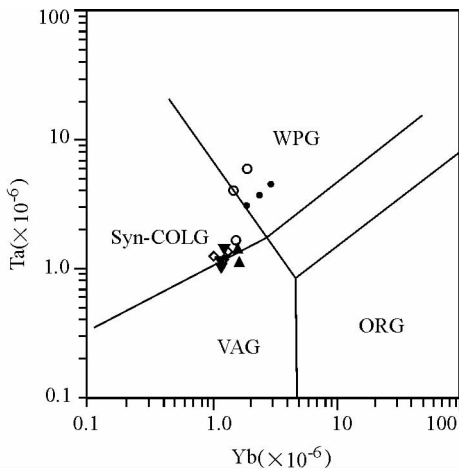


图 11 花岗岩 Yb-Ta 图解 (据 Pearce *et al.*, 1984)

$\diamond$ -狼家峪单元;  $\blacktriangledown$ -官庄单元;  $\blacktriangle$ -包体;  $\circ$ -东罗庄单元;  $\bullet$ -小盘山单元

Fig. 11 Yb-Ta diagram for granites (after Pearce *et al.*, 1984)

上述构造判别图解反映了盘山复合岩体的 I 型和 A 型花岗岩形成的区域构造环境有明显的差别, 尽管它们的侵位时代差别不是很大。盘山复合岩体侵位时正处于挤压向伸展作用转折过程中, 早期的 I 型花岗岩记录了挤压环境特征, 晚期的 A 型花岗岩形成于相对拉张的构造环境。这与我我国浙闽沿海 (王德滋等, 1995; 邱检生等, 1999)、苏鲁地区 (赵广涛等, 1998; 周珣若等, 1997)、北秦岭老君山、秦岭梁 (王晓霞等, 2002)、东北伊春 (肖庆辉等, 2002) 等地的 I-A 型花岗岩相似, 花岗岩侵位于构造体制转换时期, 构造环境经

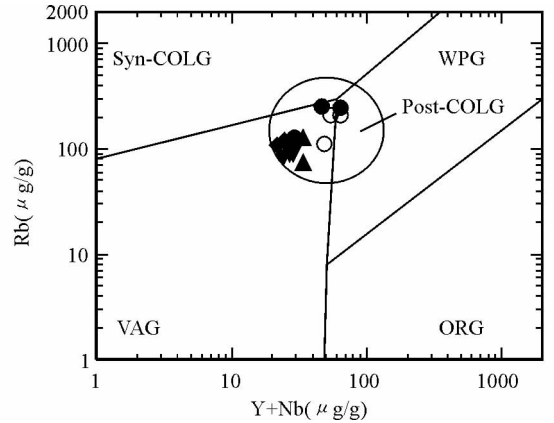


图 12 Rb-Y + Nb 相关图解 (据 Pearce, 1996)

Syn-COLG-同碰撞; Post-COLG-后碰撞; VAG-岛弧; ORG-洋脊花岗岩; WPG-板内;  $\diamond$ -狼家峪单元;  $\blacktriangledown$ -官庄单元;  $\blacktriangle$ -包体;  $\circ$ -东罗庄单元;  $\bullet$ -小盘山单元

Fig. 12 Diagrams of Rb-Y + Nb (after Pearce, 1996)

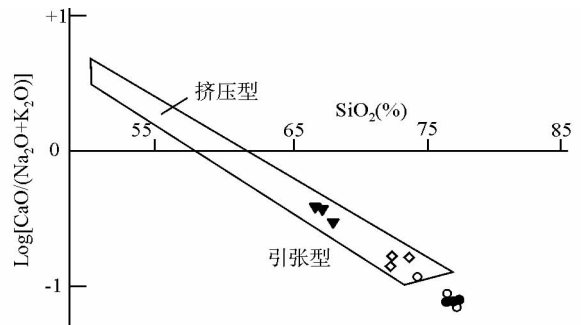


图 13  $SiO_2$ - $\text{Log} [CaO / (Na_2O + K_2O)]$  关系图 (据 Rogers *et al.*, 1981)

$\diamond$ -狼家峪单元;  $\blacktriangledown$ -官庄单元;  $\circ$ -东罗庄单元;  $\bullet$ -小盘山单元

Fig. 13  $SiO_2$ - $\text{Log} [CaO / (Na_2O + K_2O)]$  diagram (after Rogers *et al.*, 1981)

历由挤压向伸展的转变。总之, I 型与 A 型花岗岩的复合是造山带中花岗质岩浆活动的普遍现象, 是造山带构造环境变迁的岩石学标志 (Collins *et al.*, 1982; Whalen and Currie, 1983; Martin *et al.*, 1994; 王德滋等, 1995; 洪大卫等, 1995; 赵广涛等, 1998)。

华北陆块与西伯利亚陆块相互作用对燕山地区印支期构造具有重要影响 (赵越, 1990), 古生代末—中生代初, 伴随华北克拉通陆块与西伯利亚陆块之间的碰撞和最终焊接 (程裕淇, 1994), 华北克拉通北缘及其邻区进入了后碰撞演化阶段。伴随地壳均衡的调整或地应力松弛, 并逐渐传递到板块内部而发生拉张作用 (张招崇和王永强 1997)。华北克拉通北缘的燕辽地区到阴山发育的三叠纪碱性岩带, 如赛马杂岩体、矾山杂岩体、姚家庄杂岩体、响水沟杂岩体、亚干核杂岩糜棱状花岗岩等 (牟保磊等, 1992; 阎国翰等, 1998, 2001; 王涛等, 2002), 是这一过程的产物。邵济安等 (2000) 认为这

些碱性岩以及镁铁-超镁铁岩是早中生代幔隆背景下底侵作用的产物, 标志着中生代一个新的构造-岩浆活动的开始。

印支运动在燕山及其邻区表现为形成不同方向的褶皱构造、逆冲推覆、岩浆活动、盆地形成、局部有浅变质作用, 其构造演化是挤压与伸展的交替过程, 区域性挤压构造变形居主导地位(崔盛芹等, 1983; 宋鸿林等, 1984; 吴珍汉等, 2001; 马寅生等, 2002)。马寅生等(2002)提出中三叠世末、早侏罗世末为挤压作用时期, 早中三叠世、晚三叠世-早侏罗世、中晚侏罗世为伸展的成盆沉积期。早侏罗世的火山活动为南大岭-兴隆沟期火山喷发作用, 形成一套高钾碱钙性-碱性玄武岩系列, 少量安山质熔岩的岩石组合, 玄武安山岩时代为 195~180Ma(Ren *et al.*, 1996; Davis *et al.*, 2001), 这些火山岩形成于陆内伸展构造环境, 原始岩浆来源于上地幔(朱大岗等, 1999; 马寅生等, 2002; 杨晓勇等, 2004)。杨晓勇等(2004)认为火山岩的形成是区域上强烈挤压后应力松弛引起伸展作用所致, 应力松弛诱发先存深大断裂带再次活动, 导致软流圈上隆, 从而诱发俯冲交代改造的古老岩石圈地幔减压熔融而成。冀东蓟县一带发育印支期形成的盘山背斜、庄果峪向斜和府君山向斜等褶皱, 被其后形成的逆冲构造所切, 这些构造事件形成时间与马寅生等(2002)提出中三叠世末的挤压作用时期相当。盘山复合花岗岩体侵入了蓟县背斜和蓟县逆冲断裂, 岩体时代为晚三叠世末(203~208Ma), 处于中三叠世末的挤压作用向晚三叠世-早侏罗世的伸展作用转化时期。花岗岩侵入体是区域构造过程的产物, 同时也记录了区域构造的演化。在构造转换期间侵入的盘山复合岩体记录下构造背景转化这一过程, 早期的 I 型花岗岩记录了形成褶皱和逆冲断裂的挤压环境特征。晚期的 A 型花岗岩形成于相对拉张的构造环境, 与早侏罗世南大岭组玄武岩的形成环境一致。盘山 I 型-A 型复合岩体的确定, 表明燕山陆内造山带在晚三叠世末到早侏罗世经历过由挤压向伸展环境的转折, 这对于认识燕山造山带区域构造演化历史和陆内变形过程具有重要意义。

## 6 结论

(1) 盘山复合岩体为 I 型-A 型过渡的高钾钙碱性花岗岩, 属钙碱性型和 A 型花岗岩的过渡类型。岩体划分为四个单元, 从早到晚, 依次为狼家峪单元、官庄单元、东罗庄单元和小盘山单元。各单元锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为  $208 \pm 4$  Ma ~  $203 \pm 5$  Ma, 形成于晚三叠世末。岩体明显侵入盘山背斜和蓟县断层, 为探讨燕山地区印支运动及岩浆作用提供了可靠的年代学约束。

(2) 狼家峪和官庄单元为 I 型花岗岩, 东罗庄和小盘山单元具有 A 型花岗岩特征。在矿物成分、主量元素、稀土元素、微量元素和 Sr-Nd 同位素特征上, 二者存在明显差异。

(3) 综合构造、区域背景和地球化学分析表明, 盘山 I 型-A 型复合岩体定位于从挤压向伸展环境转折过程中, 是

区域构造运动转折的记录, 早期的 I 型花岗岩记录了挤压环境特征, 晚期的 A 型花岗岩形成于相对伸展的构造环境。

**致谢** 李伍平博士审阅了初稿并提出了建设性修改意见, 两位匿名审稿人对稿件提出了宝贵的修改意见, 在此向他们表示诚挚的感谢。

## References

- Almeida CN, Guimarães IP and Da Silva Filho AF. 2002. A-type post-collisional granites in the Borborema province-NE Brazil: the Queimadas pluton. *Gondwana Research*, 5(3): 667-681
- Batchelor RA and Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multication parameters. *Chemical Geology*, 48(1): 43-55
- Bonin B. 2004. Do coeval mafic and felsic magmas in post-collisional to within-plate regimes necessarily imply two contrasting, mantle and crustal, sources? A review. *Lithos*, 78: 1-24
- Chen AG. 1998. Geometric and kinematic evolution of basement-cored structures; intraplate orogenesis within the Yanshan orogen, northern China. *Tectonophysics*, 292: 17-42
- Chen YL. 1991. Trying analysis intrusive age of Panshan rock body. *Journal of Tianjin Geological Society*, 9(1): 22-26
- Chen YL. 1993. Geotectonic setting in Panshan rock body of Indosinian in Northern Tianjin. *Journal of Tianjin Geological Society*, 11(2): 20-25 (in Chinese)
- Cheng YQ. 1994. Outline of regional geology of China. Beijing: Geological Publishing House, 1-517 (in Chinese)
- Coleman DS, Gray W and Glazner AF. 2004. Rethinking the emplacement and evolution of zoned plutons: geochronologic evidence for incremental assembly of the Tuolumne intrusive Suite, California. *Geology*, 32(5): 433-436
- Collins WJ, Beams SD, White AJR, Chappell BW. 1982. Nature and origin of A-type granites with patricular reference to Southeastern Australia. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 80: 189-200
- Cui SQ, Li JR, Wu ZH, Yi MC, Shen SM, Yin HR and Ma YS. 2002. Mesozoic and Cenozoic intracontinental orogenesis of the Yanshan area, China. Beijing: Geological Publishing House, 109-144 (in Chinese with English abstract)
- Cui SQ and Li JR. 1983. Trying analysis on Indosinian in oceanic shelf. *Acta Geologica Sinica*, 57(1): 51-61 (in Chinese)
- Davis GA, Zheng Y, Wang C, Darby BJ, Zhang C and Gehrels G. 2001. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning provinces, northern China. *Geological Society of America Memoir*, 194: 171-197
- Deng JF, Su SG, Mo XX, Zhao GC, Xiao QH, Ji GY, Qiu RZ, Zhao HL, Luo ZH, Wang Y and Liu C. 2004. The sequence of magmatic-tectonic events and orogenic processes of the Yanshan Belt, North China. *Acta Geologica sinica (English Edition)*, 78(1): 260-266
- Deng JF, Zhao GC, Zhao HL, Luo ZH, Dai SQ and Li KM. 2000. Yanshanian igneous petroectonic assemblage and orogenic-deep processes in east China. *Geological Review*, 46(1): 41-48 (in Chinese with English abstract)
- Didier J and Barbarin B. 1991. Enclaves and Granite Petrology. Amsterdam: Elsevier, 625
- Faure G. 1986. Principles of isotope geology (2nd ed.). New York: John Wiley and Sons, 567
- Forster HJ, Tischendorf G and Trumbull RB. 1997. An evolution of the Rb vs. (Y + Nb) discrimination diagram to infer tectonic setting of silicic igneous rocks. *Lithos*, 40: 261-293
- Glazner AF, Bartley M, Coleman DS, Gray W and Ryan ZT. 2004. Are plutons assembled over millions of years by amalgamation from small magma chambers? *GSA Taylor*, 14(4-5): 4-11

- Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources. 1989. Regional geology of Hebei province, Beijing Municipality and Tianjin Municipality (Ministry of Geology and Mineral Resources, Geological Memoirs, Series 1, Number 15) (in Chinese with English abstract)
- Hong DW, Guo WQ, Li GJ, Kang W and Xu HM. 1987. The petrology of miarolitic granites along the southeast coast of Fujian Province and their generation. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 128 (in Chinese with English abstract)
- Hong DW, Wang SG and Han BF. 1995. Discrimination marks for tectonic setting of alkaline granites. *Science in China*, 25(4): 418 - 426 (in Chinese)
- Jahn BM, Wu F and Hong D. 2000. Important crustal growth in the Phanerozoic: Isotopic evidence of granitoids from east-central Asia. *Proc. Indian Acad. Sci. (Earth Planet Sci.)*, 109(1): 5 - 20
- Li WP and Li XH. 2005. Petrogenesis and its implication for the middle-late Jurassic intermediate-acidic volcanic rocks in the middle section of Yanshan orogen. *Acta Petrologica Sinica*, 20(3): 501 - 510 (in Chinese with English abstract)
- Liu D, Nutman A, Compston W, Wu J and Shen Q. 1992. Remnants of  $\geq 3800$  Ma crust in the Chinese part of the Sino-Korean craton. *Geology*, 20: 339 - 342
- Liu HT, Zhai MG, Liu JM and Sun SH. 2002. The Mesozoic granitoids in the northern marginal region of North China Craton: evolution from post-collisional to anorogenic settings. *Acta Petrologica Sinica*, 18(4): 433 - 448
- Liu CD, Luo ZH, Yu XH, Chen HW, Li SW and Zhao X. 2004. Crust-mantle magma mixing in East Kunlun: Evidence from zircon SHRIMP chronology. *Chinese Science Bulletin*, 49(6): 596 - 602
- Ma YS, Wu ML and Zeng QL. 2002. The Mesozoic-Cenozoic compression and extension transformation process and ore-forming process in Yanshan and adjacent area. *Acta Geoscientia Sinica*, 23(2): 115 - 121 (in Chinese with English abstract)
- Martin H, Bonin B, Capdevila R, Jahn BM, Lameyre J, Wang Y. 1994. The Qiuqi peralkaline granitic complex (SE China): Petrology and Geochemistry. *J. Petrol.*, 35(4): 983 - 1015
- Mou BL and Yan GH. 1992. Geochemistry of Triassic alkaline or subalkaline igneous complexes in the Yan-Liao area and their significance. *Acta Geologica Sinica*, 66(2): 108 - 121 (in Chinese with English abstract)
- Ma YS, Zeng QL, Song B, Du JJ, Yang FQ, Zhao Y. 2007. SHRIMP U - Pb dating of zircon from Panshan granitoid pluton in Yanshan Orogenic belt and its tectonic implications. *Acta Petrologica Sinica*, 23(3):
- Pan G. 1963. The Indosinian movement of the Sino-Korea plates. *Chinese Science Bulletin*, 3: 61 - 63 (in Chinese)
- Pearce JA, Harris NBL and Tindle AG. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, 4: 956 - 983
- Pearce JA. 1996. Sources and setting of granitic rock. *Episode*, 23(2): 120 - 125
- Qiu JS, Wang DZ, Liu H and Ling WL. 2002. Post-collisional potash-rich volcanic rocks in the north margin of Dabie orogenic belt: geochemistry and petrogenesis. *Acta Petrologica Sinica*, 18(3): 319 - 330 (in Chinese with English abstract)
- Qiu JS, Wang DZ and Brent IA McInnes. 1999. Geochemistry and petrogenesis of the I- and A-type composite granites masses in the coastal area in Zhejiang and Fujian province. *Acta Petrologica Sinica*, 15(2): 237 - 246 (in Chinese with English abstract)
- Ren D, Jia ZP and Liu LW. 1996. Mesozoic stratigraphy and faunae in the Luanping-Chengde region, Hebei Province. In: 30<sup>th</sup> Int. Geol. Congress Field Trip Guide. Beijing: Geological Publishing House, T217.1 - T217.10
- Rogers JJW, *et al.* 1981. Trace elements in continental-margin magmatism: Part II, Alkali granites and their relationship to cratonization; Summary. *Bull. Geol. Soc. Am.*, Part I, 92: 6 - 9
- Shao JA, Mu BL and Zhang LQ. 2000. Deep geological process and its shallow response during Mesozoic transfer of tectonic frameworks in eastern North China. *Geological Review*, 46(1): 32 - 40 (in Chinese with English abstract)
- Song HL and Ge MC. 1984. The Indosinian movement in the Western hill of Beijing discussed in the light of the structural characteristics. *Geological Review*, 30(1): 77 - 80 (in Chinese with English abstract)
- Sun SS and McDonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunderson AD, and Norry MJ (ed). *Omagmatism in the Ocean Basins*. Geological Society Special Publication, 42: 313 - 345
- Väisänen M, Mänttari I, Kriegsman LM and Holtt P. 2000. Tectonic setting of post-collisional magmatism in the Palaeoproterozoic Svecofennian Orogen, SW Finland. *Lithos*, 54: 63 - 81
- Wang DZ, Zhao GT and Qiu JS. 1995. The tectonic constraint on the late Mesozoic A-type granitoids in Eastern China. *Geological Journal of Universities*, 1(2): 13 - 21 (in Chinese with English abstract)
- Wang JL, Li BZ, Zhou DX, Yao SC and Li ZY. 1994. Geological characteristics and relationship between rock body and metallization of intermediate acidity rock body, Hebei province. Beijing: Geological Publishing House, 34 - 40 (in Chinese)
- Wang T, Hong DW, Tong Y, Han BF and Shi YR. 2005. Zircon U-Pb SHRIMP age and origin of post-orogenic Lamazhao granitic pluton from Altai orogen; its implications for vertical continental growth. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 640 - 650 (in Chinese with English abstract)
- Wang T, Zheng YD, Liu SW, Li TB and Ma MB. 2002. Mylonitic potassic granitoids from the Yagan metamorphic core complex on Sino-Mongolian border: A mark of transition from contractile to extensional tectonic regime. *Acta Petrologica Sinica*, 18(2): 177 - 186 (in Chinese with English abstract)
- Wang XX, Wang T, Happala I and Lu XX. 2005. Genesis of mafic enclaves from rapakivi-textured granites in the Qinling and its petrological significance: evidence of elements and Nd, Sr isotopes. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 935 - 946 (in Chinese with English abstract)
- Wang XX, Wang T, Lu XX and Xiao QH. 2003. Laojunshan and Qinlingliang rapakivi-textured granitoids in North Qinling and their tectonic setting: A possible orogenic-type rapakivi granitoids. *Acta Petrologica Sinica*, 19(4): 650 - 660 (in Chinese with English abstract)
- Wang YF, Li Y, Zhang SZ, Zhang X and Song MZ. 1988. Rb-Sr isotopic age of Panshan quartz-monzonite and its geological significance, Ji Xian Tianjin. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 3(3): 90 - 93 (in Chinese with English abstract)
- Wang YF. 1989. Characteristics and genesis of main granite pluton in Panshan, Jixian. *Journal of Tianjing Geological Society*, 7(1): 14 - 21 (in Chinese)
- Wei CS, Zheng YF and Zhao ZF. 2001. Nd-Sr-O isotopic geochemistry constraints on the age and origin of the A-type granites in eastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 17(1): 95 - 111 (in Chinese with English abstract)
- Whalen JB and Currie KL. 1983. The Topsails igneous terrane of western Newfoundland. In: *Current Research, Part A. Geol. Surv. Can.*, 83(1A): 15 - 23
- Whalen JB, Jenner GA, Longstaffe FJ, Robert F, Garipey C. 1996. Geochemical and isotopic (O, Nd, Pb and Sr) constraints on A-type granite petrogenesis based on the Topsails igneous suits, Newfoundland Appalachians. *Journal of Petrology*, 37(6): 1463 - 1489
- Wu ZH, Cui SQ, Zhu DG and Feng XY. 1999. Thermal history and tectono-geomorphic evolution of Panshan pluton at southern margin of the Yanshan orogenic belt. *Journal of Geomechanics*, 5(3): 28 - 32 (in Chinese with English abstract)
- Wu ZH, Wu ZH, Jiang W and Zhou JR. 2001. The Cenozoic evolution and mechanism of tectonic-landforms of China continent and its adjacent areas. Beijing: Geological Publishing House, 100 - 140 (in Chinese with English abstract)
- Xiao QH, Deng JF, Ma DQ, Hong DW, Mo XX, Lu XX, Li ZC, Wang



- XW, Ma CQ, Wu FY, Luo ZH and Wang T. 2002. The ways of investigation on granitoids. Beijing: Geological Publishing House, 247–253 (in Chinese)
- Xu BL, Wang SG, Han BF, Yang GH and He ZF. 1998. A-type granites with the character of enrichment and loss with particular reference to both studies of the Yanshan, North China and Wulunguube, Northwest China. *Acta Sci. Natural. Universit. Peking.*, 34(2–3): 352–362 (in Chinese with English abstract)
- Xu G, Zhao Y, Hu JM, Zeng QL, Liu XW, Wu H and Song B. 2003. Late Triassic thrusting in the Niuyingzi region, western Liaoning, China. *Acta Geologica Sinica*, 77(1): 25–34 (in Chinese with English abstract)
- Yan GH, Xu BL, Mu BL, Tan LK and He ZF. 1998. Extensive magmatism of northern China's intraplate during Mesozoic and Cenozoic era and its implication of geodynamic. Collected works of international symposium on geological science held at Peking University, Beijing China. Beijing: Seismological Press, 650–659 (in Chinese)
- Yan GH, Mou BL, Xu BL, He GQ, Tan LK, Zhao H, He ZF and Qiao GS. 2000. Chronology, Sr, Nd and Pb isotopic compositions of Triassic alkaline intrusions in the Yanliao-Yinshan and tectonic implications. *Science in China (Series D)*, 42(6): 383–387 (in Chinese)
- Yan GH, Tan LK, Xu BL, Mou BL, Shao HX, Chen TL, Tong Y, Ren KX and Yang B. 2001. Petrogeochemical characteristics of Indosinian alkaline intrusions in Yinshan area. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20(3): 281–292 (in Chinese with English abstract)
- Yang FQ, Wu H, Liu XW, Xu G and Zhao Y. 2003. The Jiashan syenite in Northern Hebei: an early record of lithospheric thinning in the Yanshan intracontinental orogenic belt. *Geological Review*, 49(5): 474–485 (in Chinese with English abstract)
- Yang FQ, Ye PS and Liu JP. 1999. Division of Triassic system and analysis of sedimental environment in the Shangu area, Hebei Province. *Bulletin of the 562 Comprehensive Geological Brigade Chinese Academy of Geological Sciences*, (14): 17–23 (in Chinese with English abstract)
- Yang JH, Chu MF, Liu W and Zhai MG. 2003. Geochemistry and petrogenesis of Guojialing granodiorites from the northwestern Jiaodong Peninsula, eastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 19(4): 692–700 (in Chinese with English abstract)
- Yang N, Chen ZL, Lei WZ and Zhang HX. 1996. A study of Indosinian tectonic characteristics in Yanshan area, north Hebei province. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)
- Yang XY, Fan WM, Guo F, Wang YJ and Li CW. 2004. modification of the lithospheric mantle beneath the northern north China Block by the Paleo-asian Ocean; geochemical evidence from mafic volcanic rocks of the Nandaling Formation in the Xisahn area, Beijing. *Acta Petrologica Sinica*, 20(3): 557–566 (in Chinese with English abstract)
- Ye BD, Shen YZ and Zhu JC. 1986. Compiles iostopic geochronologic data in China. Beijing: Geological Publishing House, 32 (in Chinese)
- Zhang ZC and Wang YQ. 1997. Indosinian alkaline magmatism in north Hebei province and its geodynamic significance. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 16(4): 214–217 (in Chinese with English abstract)
- Zhao GT, Wang DZ, Cao QC and Yu LS. 1998. Thermal evolution and significance about compound granites of I-A type: A case study of the Laoshan granitoids. 1998. *Science In China (Series D)*, 28(4): 296–302 (in Chinese)
- Zhao Y, Cui SQ, Guo T and Xu G. 2002. Evolution of Jurassic basin of the Western Hills, Beijing, North China and its tectonic implications. *Geological Bulletin of China*, 21(4–5): 211–217
- Zhao Y, Yang ZY and Ma XH. 1994. Geotectonic transition from Paleasian system and Paleotethyan system to Paleopacific active continental margin in Eastern Asia. *Scientia Geologica Sinica*, 29(2): 105–119 (in Chinese with English abstract)
- Zhao Y, Zhang SH, Xu G, Yang ZY and Hu JM. 2004. The Jurassic major tectonic events of the Yanshanian intraplate deformation belt. *Geological Bulletin of China*, 23(9–10): 854–863
- Zhao Y. 1990. The Mesozoic orogenies and tectonic evolution of the Yanshan area. *Geological Review*, 36(1): 1–13 (in Chinese with English abstract)
- Zheng YD, Davis GA, Wang C, Darby BJ and Zhang CH. 2000. Major Mesozoic tectonic events in the Yanshan belt and the plate tectonic setting. *Acta Geologica Sinica*, 74(4): 289–302 (in Chinese with English abstract)
- Zhou XR, Wu KL *et al.* 1994. Zhangzhou I- and A-type composite granite. Beijing: Science Press (in Chinese)
- Zhou XR, Yang J and Ren J. 1997. Comparative study on the characteristics and genesis between I and A- type granite of Suzhou area. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 22(3): 240–246 (in Chinese with English abstract)
- Zhu DG, Wu ZH, Cui SQ, Wu GG, Ma YS and Feng XY. 1999. Feature of Mesozoic magmatic activities in the Yanshan area and their relations to intracontinental orogenesis. *Geological Review*, 45(2): 163–172 (in Chinese with English abstract)

### 附中文参考文献

- 陈一笠. 1991. 试论天津蓟县盘山岩体的侵入时代. *天津地质学会志*, 9(1): 22–26
- 陈一笠. 1993. 津北印支期盘山岩体侵位时的大地构造环境. *天津地质学会志*, 11(2): 20–25
- 程裕洪(主编). 1994. 中国区域地质概论. 北京: 地质出版社, 1–517
- 崔盛芹, 李锦蓉, 吴珍汉, 易明初, 沈淑敏, 尹华仁, 马寅生. 2002. 燕山地区中生代陆内造山作用. 北京: 地质出版社, 109–144
- 崔盛芹, 李锦蓉. 1983. 试论中国滨太平洋带的印支运动. *地质学报*, 57(1): 51–61
- 邓晋福, 赵国春, 赵海玲, 罗照华, 戴圣潜, 李凯明. 2000. 中国东北燕山期火成岩构造组合与造山—深部过程. *地质论评*, 46(1): 41–48
- 河北省地质矿产局. 1989. 河北省北京市天津市区域地质志. 北京: 地质出版社
- 洪大卫, 郭文歧, 李戈晶, 康庚, 徐海明. 1987. 福建沿海晶洞花岗岩带的岩石学和成因演化. 北京: 科学技术出版社, 128
- 洪大卫, 王式光, 韩宝福, 勒满元. 1995. 碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴定标志. *中国科学*, 25(4): 418–426
- 李伍平, 李献华. 2005. 燕山造山带中段晚侏罗世中酸性火山岩的成因及其意义. *岩石学报*, 20(3): 501–510
- 刘红涛, 翟明国, 刘建明, 孙世华. 2002. 华北克拉通北缘中生代花岗岩: 从碰撞后到非造山. *岩石学报*, 18(4): 433–448
- 刘成东, 莫宣学, 罗照华, 喻学惠, 湛宏伟, 李述为, 赵欣. 2004. 东昆仑壳-幔岩浆混合作用: 来自锆石 SHRIMP 年代学的证据. *科学通报*, 49(6): 596–602
- 马寅生, 吴满路, 曾庆利. 2002. 燕山及邻区中生代挤压与伸展的转换和成矿作用. *地球学报*, 23(2): 115–121
- 马寅生, 曾庆利, 宋彪, 杜建军, 杨富全, 赵越. 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. *岩石学报*, 23(3): 本期
- 牟保磊, 阎国翰. 1992. 燕辽三叠纪碱性偏碱性杂岩体地球化学特征及意义. *地质学报*, 66(2): 108–121
- 潘广. 1963. 中朝陆台的印支运动. *科学通报*, 3: 61–63
- 邱检生, 王德滋, Brent IA, McInnes. 1999. 浙闽沿海地区 I 型-A 型复合

- 花岗岩体的地球化学及成因. 岩石学报, 15(2): 237-246
- 邱检生, 王德滋, 刘洪, 凌文黎. 2002. 大别造山带北缘后碰撞富钾火山岩: 地球化学与岩石成因. 岩石学报, 18(3): 319-330
- 邵济安, 牟保磊, 张履桥. 2000. 华北东部中生代构造格局转换过程中的深部与浅部响应. 地质论评, 46(1): 32-40
- 宋鸿林, 葛梦春. 1984. 从构造特征论北京西山的印支运动. 地质论评, 30(1): 77-80
- 王德滋, 赵广涛, 邱检生. 1995. 中国东部晚中生代 A 型花岗岩的构造制约. 高校地质学报, 1(2): 13-21
- 王季亮, 李丙泽, 周德星, 姚士臣, 李枝荫. 1994. 河北省中酸性岩体地质特征及其与成矿的关系. 北京: 地质出版社, 34-40
- 王涛, 洪大卫, 童英, 韩宝福, 石玉若. 2005. 中国阿尔泰造山带后造山喇嘛昭花岗岩体锆石 SHRIMP 年龄、成因及陆壳垂向生长意义. 岩石学报, 21(3): 640-650
- 王涛, 郑亚东, 刘树文, 李天斌, 马铭波. 2002. 中蒙边界亚干变质核杂岩糜棱状钾质花岗岩——早中生代收缩与伸展构造体制的转换标志. 岩石学报, 18(2): 177-186
- 王晓霞, 王涛, Happala I, 卢欣祥. 2005. 秦岭环斑结构花岗岩中暗色包体的岩浆混合成因及岩石学意义——元素和 Nd、Sr 同位素地球化学证据. 岩石学报, 21(3): 935-946
- 王晓霞, 王涛, 卢欣祥, 肖庆辉. 2003. 北秦岭老君山和秦岭梁环斑结构花岗岩及构造环境——一种可能的造山带型环斑花岗岩. 岩石学报, 19(4): 650-660
- 王玉富, 李义, 张绍宗, 张祥, 宋明哲. 1988. 天津蓟县盘山石英二长花岗岩的 Rb-Sr 同位素年龄及其地质意义. 地质找矿论丛, 3(3): 90-93
- 王玉富. 1989. 蓟县盘山花岗岩主体的特征及成因. 天津地质学会志, 7(1): 14-21
- 魏春生, 郑永飞, 赵子福. 2001. 中国东部 A 型花岗岩形成时代及物质来源的 Nd-Sr-O 同位素地球化学制约. 岩石学报, 17(1): 95-111
- 吴珍汉, 崔盛芹, 朱大岗, 冯向阳. 1999. 燕山南缘盘山岩体的热历史与构造-地貌演化过程. 地质力学学报, 5(3): 28-32
- 吴珍汉, 吴中海, 江万, 周继荣. 2001. 中国大陆及邻区新生代构造-地貌演化过程与机理. 北京: 地质出版社, 100-140
- 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 洪大卫, 莫宣学, 卢欣祥, 李志昌, 汪雄武, 马昌前, 吴福元, 罗照华, 王涛. 2002. 花岗岩研究思维与方法. 北京: 地质出版社, 247-253
- 徐刚, 赵越, 胡建民, 曾庆利, 刘晓文, 吴海, 宋彪. 2003. 辽西牛营子地区晚三叠世逆冲构造. 地质学报, 77(1): 25-34
- 徐士进等. 1991. 花岗岩质岩石的稀土元素地球化学问题. 南京大学学报(地球科学), (3): 231-240
- 许保良, 王式洗, 韩宝福, 阎国翰, 何中甫. 1998. 富集性和亏损性 A 型花岗岩——以华北燕山和新疆乌伦古河地区岩石为例. 北京大学学报(自然科学版), 34(2-3): 352-362
- 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. 中国科学(D 辑), 30(4): 383-387
- 阎国翰, 谭林坤, 许保良, 牟保磊, 邵宏翔, 陈延礼, 童英, 任康绪, 杨斌. 2001. 阴山地区印支期碱性侵入岩岩石地球化学特征. 岩石矿物学杂志, 20(3): 281-292
- 阎国翰, 许保良, 牟保磊, 谭林坤, 何中甫. 1998. 中国北方中、新生代内板内拉张性岩浆作用及其地球动力学意义. 北京大学国际地质科学学术研讨会文集, 北京: 地震出版社, 650-659
- 杨富全, 吴海, 刘晓文, 徐刚, 赵越. 2003. 冀北承德甲山正长岩——燕山陆内造山带岩石圈减薄的早期记录. 地质论评, 49(5): 474-485
- 杨富全, 叶培盛, 刘剑平. 1999. 河北上谷三叠纪地层划分及沉积环境分析. 中国地质科学院 562 综合大队集刊, 第 14 号: 17-23
- 杨进辉, 朱美妃, 刘伟, 翟明国. 2003. 胶东地区郭家岭花岗岩长岩的地球化学特征及成因. 岩石学报, 19(4): 692-700
- 杨农, 陈正乐, 雷伟志, 张辉旭. 1996. 冀北燕山地区印支期构造特征研究. 北京: 地质出版社
- 杨晓勇, 范蔚茗, 郭锋, 王岳军, 李超文. 2004. 古亚洲洋对华北陆缘岩石圈的改造作用: 来自于西山南大岭组中基性火山岩的地球化学证据. 岩石学报, 20(3): 557-566
- 叶伯丹, 申永治, 朱杰辰. 1986. 全国同位素地质年龄数据汇编. 北京: 地质出版社, 32
- 张招崇, 王永强. 1997. 冀北印支期碱性岩浆活动及其地球动力学意义. 矿物岩石地球化学通报, 16(4): 214-217
- 赵广涛, 王德滋, 曹钦臣, 于联生. 1998. I-A 型复合花岗岩体的热演化及其意义——以崂山花岗岩体为例. 中国科学(D 辑) 28(4): 296-302
- 赵越, 崔盛芹, 郭涛, 徐刚. 2002. 北京西山侏罗纪盆地演化及其构造意义. 地质通报, 21(4-5): 211-217
- 赵越, 杨振宁, 马醒华. 1994. 东亚大地构造发展的重要转折. 地质科学, 29(2): 105-119
- 赵越, 张拴宏, 徐刚, 杨振宇, 胡健民. 2004. 燕山板内变形带侏罗纪主要构造事件. 地质通报, 23(9-10): 854-863
- 赵越. 1990. 燕山地区中生代造山运动及构造演化. 地质论评, 36(1): 1-13
- 郑亚东, Davis GA, 王琮, Darby BJ, 张长厚. 2000. 燕山带中生代主要构造事件与板块构造背景问题. 地质学报, 74(4): 289-302
- 周珣若, 吴克隆. 1994. 漳州 I-A 型花岗岩. 北京: 科学出版社
- 周珣若, 杨静, 任进. 1997. 苏州地区 I-A 型花岗岩特征与成因的对比研究. 地球科学——中国地质大学学报, 22(3): 240-246
- 朱大岗, 吴珍汉, 崔盛芹, 吴淦国, 马寅生, 冯向阳. 1999. 燕山地区中生代岩浆活动特征及其陆内造山作用关系. 地质论评, 45(2): 163-171