

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.119>



北京房山地区太平山褶皱的变形特征和形成时代： 华北克拉通早白垩世挤压构造的意义

舒 坦, 续海金*, 章军锋, 刘 强

中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

摘要: 北京西山地区广泛发育轴向近 E-W 向的褶皱, 对理解华北克拉通东部构造演化至关重要, 但目前对其形成时代和构造动力学背景却没有明确的认识。北京房山地区的太平山褶皱是轴向近 E-W 向褶皱的典型代表。通过精细的野外构造观察和构造年代学研究, 确定太平山褶皱的空间展布特征和构造样式, 判定构造变形的时代, 为该区乃至华北克拉通东部的构造演化提供重要依据。通过详细的野外构造观察和系统的 β 图解研究, 表明太平山褶皱由直立倾伏背斜和斜歪倾伏向斜构成。通过对早期卷入褶皱变形的煌斑岩席和晚期切层侵入褶皱的闪长玢岩脉进行锆石 U-Pb 定年, 得到煌斑岩席和闪长玢岩脉的形成时代分别为 147.2 ± 2.4 Ma 和 129.0 ± 3.2 Ma, 表明太平山褶皱的形成时代为燕山运动 B 幕。另外, 北京西山地区还存在 NW-SE 向的伸展构造样式。代表本区 NW-SE 向伸展的房山穹窿(约 136 Ma)晚于 N-S 向挤压构造, 侵入切割太平山褶皱, 塑造了研究区现今主体构造格架, 进一步限定太平山褶皱的形成时代为 $147 \sim 136$ Ma。因此, 研究区轴向近 E-W 向的褶皱为早白垩世近 N-S 向挤压构造的产物; N-S 向挤压和 NW-SE 向伸展的构造样式, 为华北克拉通中生代构造体制的转换和动力学背景提供关键依据。

关键词: 构造变形; 变形时代; 构造体制; 北京西山; 华北克拉通; 构造地质。

中图分类号: P54

文章编号: 1000-2383(2019)05-1734-15

收稿日期: 2019-01-06

Deformation Characteristics and Time of Taipingshan Folds in Fangshan Area, Beijing: Implications for Early Cretaceous Compressional Tectonics of North China Craton

Shu Tan, Xu Haijin*, Zhang Junfeng, Liu Qiang

School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: The folds with near E-W-trending fold axis are widely developed in the Western Hills of Beijing, which are very important for understanding the tectonic evolution of the eastern part of North China craton (NCC). However, their deformation age and tectonic dynamic background are poorly understood. Taipingshan folds in the Fangshan area, Beijing, are typical folds with near E-W axial orientation. The detailed field structure observation and tectonic geochronology were carried out to determine the spatial distribution characteristics and tectonic style of Taipingshan folds and their deformation age. The detailed field structure observation and systematic β -diagrams study show that the Taipingshan folds consist of an upright capsized anticline and an inclined capsized syncline. A deformed lamprophyre sheet which is earlier than the folds structure gives a weighted zircon U-Pb age of 147.2 ± 2.4 Ma, and the later porphyrite dyke that cuts strata of the folds gives a weighted zircon U-Pb age of 129.0 ± 3.2 Ma, suggesting that the deformation time of the Taipingshan folds is between ca. 147 and 129 Ma, belonging to phase B of “Yanshanian movement”. In addition, the extensional structure with NW-SE extensional direction is also developed

基金项目: 国家自然科学基金项目(Nos. 41772054, 41572039)。

作者简介: 舒坦(1991—), 男, 在读博士研究生, 主要从事构造地质学研究。ORCID: 0000-0003-2964-9949. E-mail: shutangeo@163.com

* 通讯作者: 续海金, ORCID: 0000-0002-7648-6655. E-mail: xuhaijin@cug.edu.cn

引用格式: 舒坦, 续海金, 章军锋, 等, 2019. 北京房山地区太平山褶皱的变形特征和形成时代: 华北克拉通早白垩世挤压构造的意义. 地球科学, 44(5): 1734-1748.

in the Western Hills of Beijing. Fangshan dome (about 136 Ma), which is a typical product of the extensional tectonic, intruded into and cut the Taipingshan folds, further limiting the deformation age of the Taipingshan folds ranges from ca. 147 to 136 Ma. Thus, the folds with E-W-trending fold axis in the studied area are products of nearly N-S compressional tectonics in Early Cretaceous. The tectonic regime transformation from N-S compressional to NW-SE extensional tectonics provides a key understanding on tectonic dynamics of the eastern part of NCC in Late Mesozoic.

Key words: tectonic deformation; deformation time; tectonic regime; Western Hills of Beijing; North China craton; tectonics.

0 引言

华北克拉通是古老的太古代克拉通 (Liu *et al.*, 1992; Zheng *et al.*, 2004), 克拉通东部在中生代经历了明显的活化和减薄 (Wilde *et al.*, 2003; Gao *et al.*, 2004, 2008; Xu *et al.*, 2012)。北京西山地区位于华北克拉通东部, 经历了多期强烈的构造变形, 呈现出不同世代各自独特的构造样式, 为理解华北克拉通构造演化, 特别是为理解克拉通活化和破坏过程中的构造特征、期次及其动力学特征提供了理想的研究对象。然而, 前人对北京西山地区的构造期次及其演化特征, 仍存在明显争议。单文琅等 (1989) 和宋鸿林 (1996) 在该区识别了印支—燕山—喜山 3 个旋回 10 个世代的构造变形事件, 认为变形序列起始于中晚三叠世 (207 Ma 之前), E-W 褶皱构造是印支运动产物。Yan *et al.* (2006, 2011) 在此变形序列基础上简化为 5 期, 认为 E-W 褶皱和逆冲构造形成于晚三叠世至侏罗系, 并提出了房山岩体晚期侵位为斜向底辟模式。Wang *et al.* (2010) 通过锆石 U-Pb 年代学和云母 Ar-Ar 年代学方法建立了该区 5 期构造事件, 强调了侏罗—白垩系期间存在 1 次挤压和 2 次伸展变形叠加于中—晚三叠世 E-W 走向褶皱和逆冲断层之上。区域上宏观的未改造的轴向呈 E-W 走向褶皱仍然没有很好的限定, 并且给出的年龄范围比较宽泛。因此, 缺乏精确的年代学依据以及构造现象认识的差异, 造成了上述变形期次建立的困难, 特别是解释广泛分布该区的轴向呈 E-W 向的褶皱的形成时代和构造动力学背景。

本文以北京西山南部轴向近 E-W 向的太平山褶皱为研究对象, 通过详细的野外构造观察和构造解析研究, 确定褶皱的形态、空间展布特征及其构造样式; 通过早于褶皱变形的煌斑岩席的年代学研究, 确定褶皱构造时代的上限; 通过晚期侵入褶皱构造的闪长玢岩脉年代学研究, 结合晚期房山伸展穹窿, 确定褶皱构造时代的下限, 进而厘定北京西山地区轴向近 E-W 向褶皱的空间展布特征及其形成时代, 并与区域上构造演化进行对比, 为理解华北克拉通

东部构造变形序列和演化提供重要的依据。

1 地质背景

1.1 区域地质概况

华北克拉通北以中亚造山带为界 (Xiao *et al.*, 2003), 南接秦岭一大别—苏鲁造山带 (Hacker *et al.*, 2006), 大致可划分为东部块体、西部块体和其间的中部过渡带 (Zhao *et al.*, 2005; Gao *et al.*, 2008; 图 1a)。华北克拉通因保留有大于 3.8 Ga 的地质记录, 而成为世界上最古老的克拉通之一 (Liu *et al.*, 1992), 也是全球古老克拉通中遭受破坏和减薄的典型地区 (朱日祥等, 2012)。中生代以来, 华北克拉通东部岩石圈地幔经历了一个独特的演化过程, 由太古代冷而厚 (约 200 km) 的岩石圈转变为新生代热而薄 (60~120 km) 的岩石圈 (Griffin *et al.*, 1998; Fan *et al.*, 2000; Wu *et al.*, 2006), 并且伴随有大规模岩浆活动和构造变形。

北京西山地区在构造上隶属于华北克拉通东部块体, 临近南北重力梯度带。区域上位于 E-W 向阴山—燕山山脉、NNE 向太行山脉和华北平原西北缘交汇处 (单文琅等, 1989; Wang *et al.*, 2010; 图 1b)。该区地层出露齐全, 包括太古界、中新元古界、古生界和中新生界, 与华北克拉通地层记录具有统一性 (童金南等, 2013)。其中, 太古界官地杂岩出露于房山岩体南侧及东北侧, 并与上覆各组地层成拆离断层接触。中新元古界长城系出露于南大寨—辛开口一带, 蓟县系与青白口系主要出露于研究区西侧, 在李各庄、羊屎沟等地有零星分布。古生界至中生界地层主要分布于岩体周围, 构成北岭复式向斜。研究区的东侧被新生界高角度正断层所切割, 构成华北平原与北京西山界限 (颜丹平等, 2005), 东南部分大多被第四系所覆盖。

房山岩体侵位引发的北岭复式向斜, 历来最受研究者所关注。以先存的北岭向斜为代表的 E-W 向褶皱广泛分布在该区, 早白垩世房山岩体的强烈侵位改造了先存的 E-W 向北岭向斜, 形成现今可见的

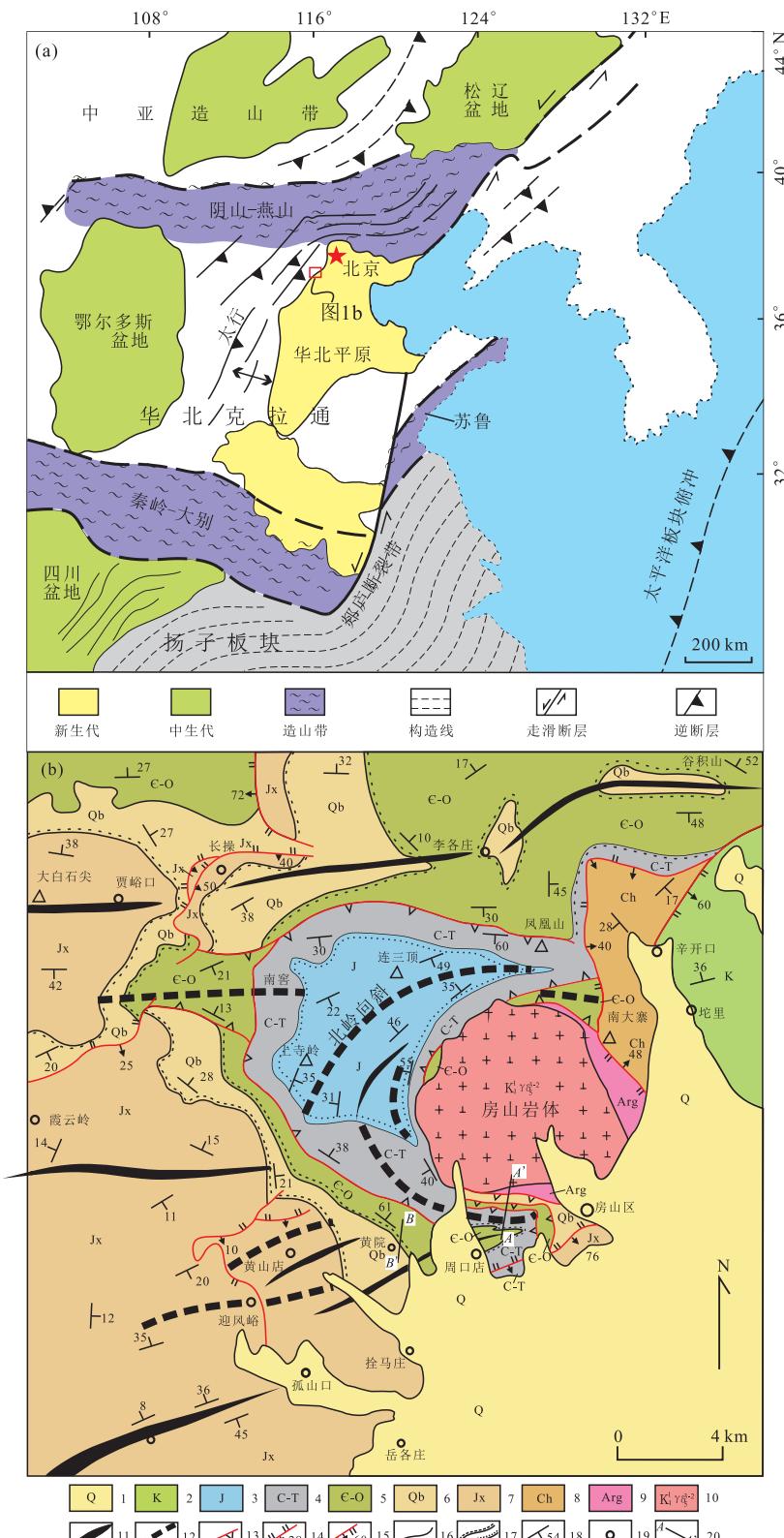


图 1 华北克拉通地质简图(a)和北京西山南部区域地质构造略图(b)

Fig.1 Geological sketch map of North China craton (a) and regional structural and geological sketch map of the southern part of the Western Hills of Beijing (b)

图 a 据 Wang et al. (2010) 修改; 图 b 据赵温霞 (2003) 修改. 1.第四系; 2.白垩系; 3.侏罗系; 4.三叠系至石炭系; 5.寒武系—奥陶系; 6.新元古界青白口系; 7.中元古界蓟县系; 8.中元古界长城系; 9.太古宇官地杂岩; 10.房山花岗闪长岩体; 11.背斜轴迹; 12.向斜轴迹; 13.拆离断层; 14.逆断层产状($^{\circ}$); 15.正断层产状($^{\circ}$); 16.地质界线; 17.平行不整合及角度不整合; 18.面理产状($^{\circ}$); 19.城镇及居民点; 20.剖面线

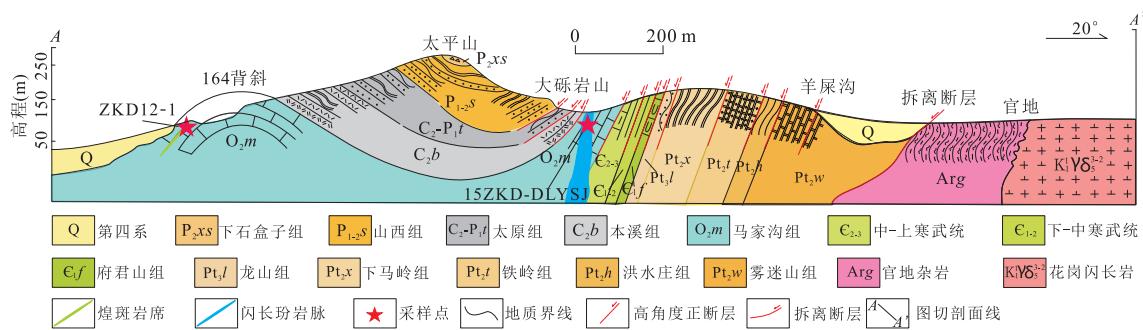


图2 房山地区太平山—官地地层实测剖面

Fig.2 Measured stratigraphic section from Taipingshan to Guandi in the Fangshan area

剖面A-A'见图1b

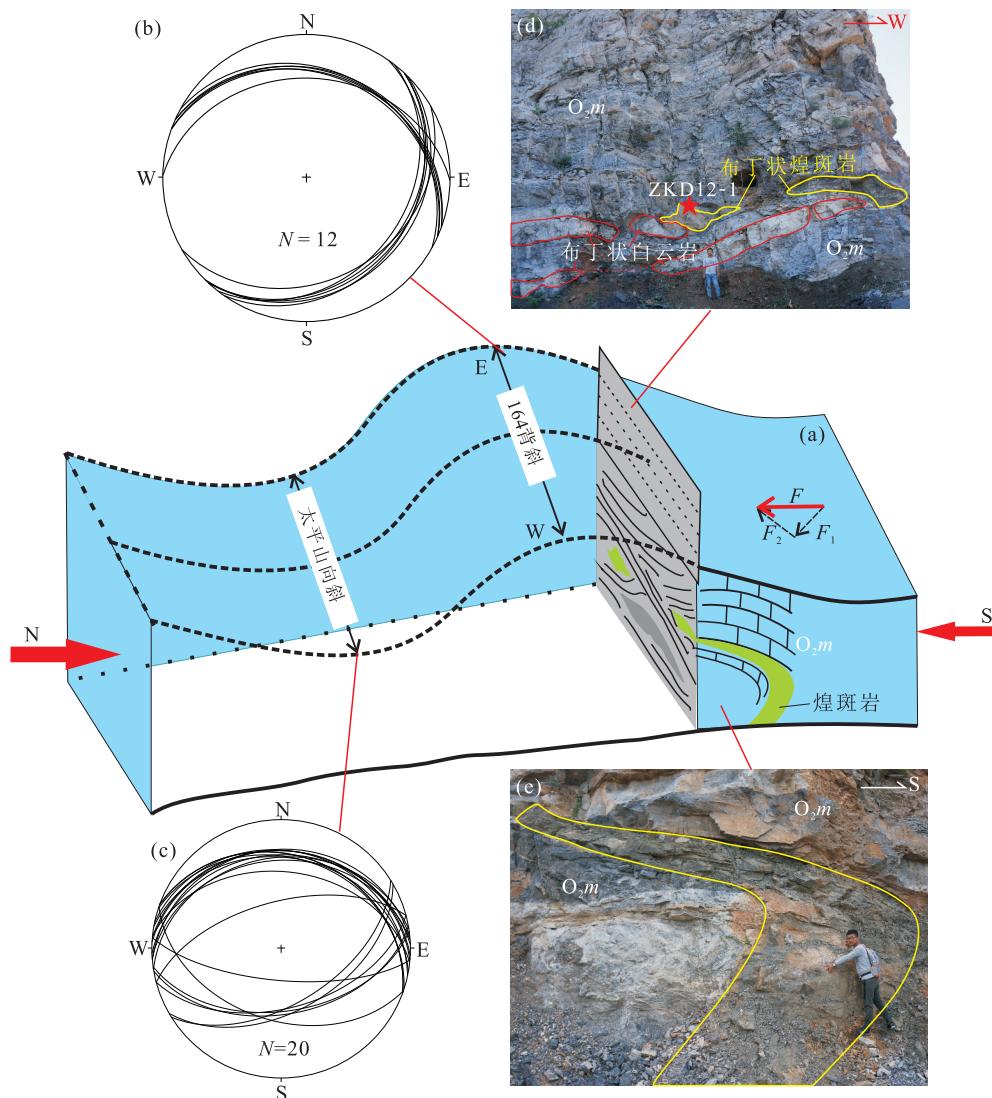


图3 太平山褶皱的出露特征

Fig.3 Exposed features of Taipingshan fold

a.太平山褶皱三维示意; b.164背斜的β图解; c.太平山向斜的β图解; d.164背斜平行于轴面剖面; e.164背斜直立剖面

弧形构造。随距离的增加,岩体侵位的影响减弱,北岭向斜的3个端点(凤凰山向斜、南窖向斜、太平山

褶皱)仍然保持原来的E-W向延伸特征(图1b)。其中太平山褶皱是北岭复式向斜的南端点,位于房山岩

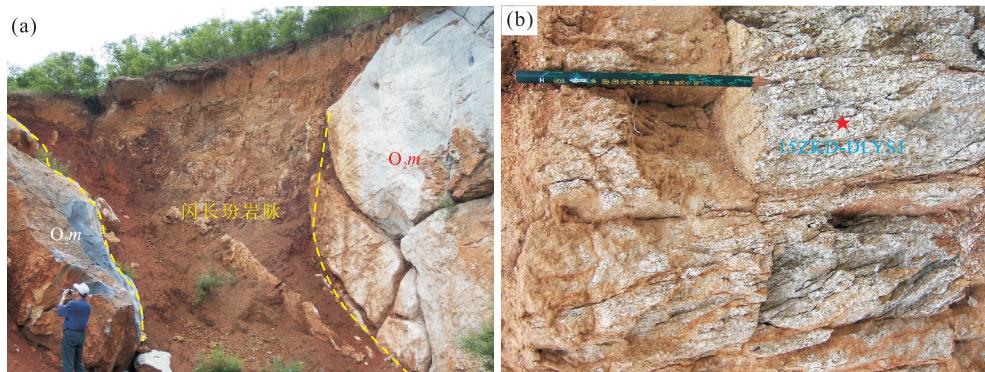


图 4 闪长玢岩脉侵入至马家沟组灰岩(a)和风化的闪长玢岩(b)

Fig.4 The dioritic porphyrite dyke intruded into limestone of Majiagou Formation (O_2m) (a) and weathered dioritic porphyrite (b)

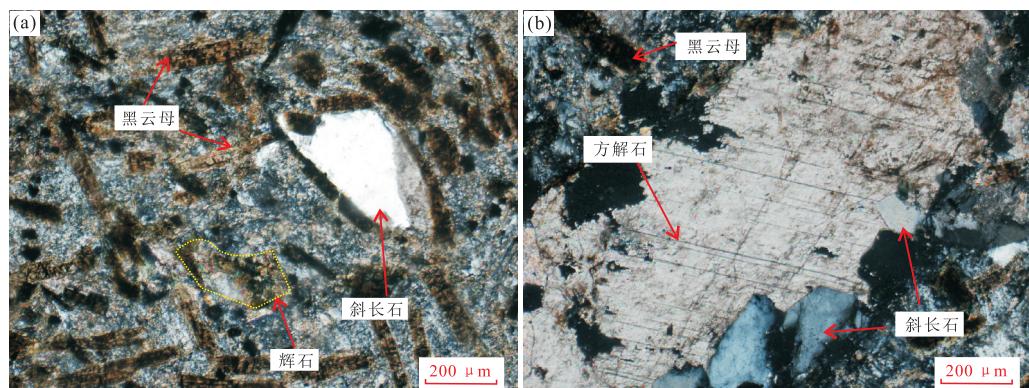


图 5 164 背斜布丁状煌斑岩脉显微照片

Fig.5 Photomicrographs of the pudding lamprophyre dyke in the 164-anticline

a. 灿斑结构，斑晶主要为黑云母和斜长石；b. 灿斑岩侵入时捕获围岩灰岩

体南缘,一直以来被认为是印支期 E-W 向褶皱的典型代表(宋鸿林和葛梦春,1984;宋鸿林,1987;单文琅等,1989).该褶皱由南侧的 164 背斜及北侧的太平山向斜构成,展布范围包括周口店村北部太平山至大东坡一带.褶皱作用卷入的岩层包含奥陶系马家沟组(O_2m)灰岩—二叠系下石盒子组(P_{2xs})砾岩(图 2).

1.2 野外特征和样品采集

164 背斜南翼近转折端处出露有变形的煌斑岩,煌斑岩呈岩席状顺层侵位至马家沟组(O_2m)灰岩中,出露宽度约为 0.5 m,长约为 8 m,与围岩接触部位可见明显的冷凝边和烘烤边,灰岩围岩发生大理岩化.由于开采挖掘而能观察到煌斑岩席的三维结构,在近 N-S 向褶皱直立剖面(垂直于水平面)可见先期侵入的煌斑岩席呈弯曲状(图 3a, 3e),反映了褶皱过程中顺层的剪切滑动作用;在 164 背斜近 E-W 向平行于轴面剖面,可见煌斑岩席受挤压破碎而呈布丁状产出,显示石香肠构造特征(图 3d),指示了二者成因性差异,石香肠体的形成与近 N-S 向挤压应力在垂直于岩层方向上的挤压分量有关.与此

类似,灰岩层中的白云岩夹层也呈现石香肠构造.据此认为,煌斑岩席以及白云岩夹层的变形符合太平山褶皱的整体变形,由此可确定煌斑岩席的侵入早于褶皱形成,对煌斑岩席形成时代的厘定,可以限定褶皱变形时代的上限.

太平山向斜北翼大砾岩山山脚下,观察到闪长玢岩脉切割马家沟组(O_2m)灰岩层侵入(图 4a),且未发生变形.露头观察其延伸约 60 m,产状不稳定,宽度约为 2~3 m.由于遭受强烈的风化作用和劈理化作用而成破碎状,疏松易碎(图 4a, 4b).闪长玢岩脉与围岩的切割关系表明其形成年代晚于褶皱变形时代.

本文选取了 164 背斜南翼的变形的煌斑岩(ZKD12-1)及大砾岩山山脚侵入褶皱的闪长玢岩脉(15ZKD-DLYSJ; 图 2)作为测年对象.煌斑岩(ZKD12-1),新鲜面呈黑绿色,风化面呈褐黄色,块状构造,煌斑结构(图 5a, 5b).斑晶自形程度较高,主要矿物组成为黑云母(40%)、斜长石(20%)、辉石(10%)、角闪石(10%);基质为细粒结构,含量约为

20%, 主要矿物组成为斜长石和黑云母。这些特征表明其为典型的幔源岩浆岩。煌斑岩的耐热性较强, 地壳浅表层的褶皱构造不足以达到塑性变形特征, 故显微镜下未观察到矿物变形特征(图 5a, 5b)。闪长玢岩(15ZKD-DLYSJ)风化严重, 呈灰黑色, 斑状结构, 块状构造。主要矿物组成为斜长石和黑云母。

2 分析方法

锆石分选工作在河北省廊坊市区域地质矿产调查研究所实验室完成, 采用常规方法对样品进行粉碎、淘洗、磁选和重液分离, 然后在双目镜下人工挑选出含包裹体少、无明显裂隙且晶形完好的锆石颗粒。锆石制靶在武汉上谱分析科技有限责任公司完成。锆石的透射、反射、阴极发光(CL)照相均在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。根据上述照片, 选取典型的岩浆锆石进行 LA-ICP-MS 锆石原位微区 U-Pb 测年。测年实验中采用激光束斑直径为 $32 \mu\text{m}$, 以氦气作为剥蚀物质的载气, 同位素组成用标准锆石 91500 作为外标校正, 元素质量分数分别采用 NIST610 和 Zr 作为外标和内标校正。上述测年实验也在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成, 详细测试方法及仪器参数参考 Liu *et al.*(2008)。

锆石原位分析点的同位素比值、U-Pb 表面年龄和微量元素含量采用 ICPMSDataCal 9.0 程序计算。加权平均年龄计算和谐和图的绘制均采用 ISOPLOT 4.16 程序完成。面理产状的 β 图解采用 Stereonet 9.5 程序完成, 具体使用方法参考 Allmendinger *et al.*(2012) 和 Cardozo 和 Allmendinger(2013)。

3 结果

3.1 太平山褶皱变形特征

164 背斜位于太平山南坡 164 第一采石场, 区内长度约为 300 m。其核部地层为奥陶系马家沟组(O_2m)灰岩, 两翼地层为上石炭统本溪组(C_2b)至下二叠统下石盒子组(P_{2xs})地层, 向西被第四纪沉积物所覆盖。野外实地测得多组数据, 获得北翼优选产状为 $20^\circ \angle 24^\circ$, 南翼优选产状为 $133^\circ \angle 22^\circ$, 翼间角为 138.7° , 两翼地层倾向相反, 倾角较小且近似相等, 为一平缓背斜。通过 β 图解(图 3b)方法, 得到褶皱轴面走向和倾角分别为 256.5° 和 90.0° ; 枢纽倾

伏向和倾伏角分别为 77.0° 和 14.9° 。并且在煤炭沟可见该背斜转折端圆滑, 实地测得转折端处岩层的产状为 $82^\circ \angle 23^\circ$, 故枢纽向东倾伏, 为直立倾伏褶皱。在煤炭沟出露的转折端处未见核部地层加厚、翼部地层减薄现象, 同一岩层厚度基本一致, 确定为等厚褶皱或平行褶皱。

太平山向斜自太平山南坡向北延伸至大砾岩山山脚, 其核部地层为二叠系下石盒子组(P_{2xs})砾岩, 两翼地层为奥陶系马家沟组(O_2m)灰岩至二叠系山西组(P_{1-2s})地层。与其南侧的 164 背斜不同, 该向斜两翼产状变化明显, 南翼倾角较小且稳定, 北翼较陡立、倾角自 50° 向北逐渐增大至 83° 。以两翼的山西组(P_{1-2s})地层为例, 测得两翼代表性产状为 $20^\circ \angle 30^\circ$ (南翼)和 $152^\circ \angle 55^\circ$ (北翼), 翼间角为 102.9° , 属一开阔向斜。通过 β 图解(图 3c)方法, 获得轴面走向和倾角分别为 259.9° 和 76.4° , 枢纽倾伏向和倾伏角分别为 $75.3^\circ \angle 18.2^\circ$, 为斜歪倾伏褶皱。

3.2 变形的煌斑岩脉的形成时代

164 背斜变形煌斑岩席(ZKD12-1)和大砾岩山闪长玢岩脉(15ZKD-DLYSJ)的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果列于表 1, 代表性锆石的 CL 图像和锆石 U-Pb 年龄谐和图分别见图 6 和图 7。

164 背斜变形煌斑岩(ZKD12-1)的锆石无色透明, 颗粒细小, 呈自形的长柱状, 长度一般为 $50 \sim 150 \mu\text{m}$, 长宽比约为 $2 : 1 \sim 3 : 1$ 。阴极发光(CL)图像较暗, 具有明显的窄的岩浆振荡环带(图 6a)。Th/U 比值为 $0.57 \sim 1.90$, 均大于 0.4。这些特征都表现为岩浆成因锆石。样品 ZKD12-1 的 7 颗锆石的 7 个分析点基本落在 U-Pb 谐和线上或附近, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄较为集中, 为 $144 \pm 2.0 \text{ Ma} \sim 152 \pm 2.4 \text{ Ma}$, 加权平均年龄为 $147.2 \pm 2.4 \text{ Ma}$ (MSWD=1.7, $n=7$)(图 7a)。这指示了煌斑岩的侵位时代, 也代表了太平山褶皱变形的时代上限, 即太平山褶皱变形的时代应晚于 $147.2 \pm 2.4 \text{ Ma}$ 。

3.3 未变形的闪长玢岩脉的形成时代

大砾岩山山脚未变形的闪长玢岩(15ZKD-DLYSJ)的锆石均为无色透明的半自形—自形的短或长柱状, 长度为 $60 \sim 120 \mu\text{m}$, 长宽比约为 $1.5 : 1 \sim 2.5 : 1$ 。阴极发光(CL)图像明暗不一, 显示出明显的振荡环带(图 6b)。Th/U 比值为 $0.79 \sim 2.31$, 均大于 0.4。上述特征都表明所选锆石颗粒均是典型的岩浆成因。样品 15ZKD-DLYSJ 的 9 颗锆石的 9 个分析点的年龄较为年轻, 它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在谐和图上较为集中, 为 $124.8 \pm 1.2 \text{ Ma} \sim 137.4 \pm 2.0 \text{ Ma}$, 加

表 1 房山地区太平山煌斑岩和闪长玢岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年分析结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotope data for lamprophyre and diorite porphyry from Taipingshan, Fangshan area

| 点号 | Pb (10^{-6}) | Th (10^{-6}) | U (10^{-6}) | Th/ U | 同位素比值 | | | 年龄(Ma) | | |
|------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|----------|-----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|-----------------------------------|-----------|
| | | | | | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | 1σ | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ | 1σ | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | 1σ |
| 煌斑岩(ZKDI2-1), n=7 | | | | | | | | | | |
| 1.1 | 92 | 904 | 1 584 | 0.570 | 0.047 7 | 0.002 5 | 0.149 8 | 0.008 0 | 0.022 6 | 0.000 3 |
| 2.1 | 222 | 2 740 | 1 439 | 1.900 | 0.049 0 | 0.002 5 | 0.154 7 | 0.007 9 | 0.022 8 | 0.000 3 |
| 3.1 | 14 | 448 | 447 | 1.000 | 0.055 2 | 0.003 4 | 0.172 9 | 0.010 2 | 0.022 9 | 0.000 3 |
| 4.1 | 8 | 277 | 244 | 1.130 | 0.055 1 | 0.003 5 | 0.175 5 | 0.010 8 | 0.023 1 | 0.000 5 |
| 5.1 | 31 | 895 | 1 098 | 0.890 | 0.057 1 | 0.002 6 | 0.184 3 | 0.008 0 | 0.023 2 | 0.000 3 |
| 6.1 | 21 | 693 | 653 | 1.060 | 0.046 2 | 0.002 3 | 0.149 9 | 0.007 2 | 0.023 5 | 0.000 3 |
| 7.1 | 12 | 547 | 302 | 1.810 | 0.054 1 | 0.003 3 | 0.177 3 | 0.010 6 | 0.023 9 | 0.000 4 |
| 闪长玢岩(15ZKD-DLYS), n=9 | | | | | | | | | | |
| 1.1 | 51.2 | 432.1 | 456.9 | 0.946 | 0.050 512 | 0.003 983 | 0.147 009 | 0.011 528 | 0.021 042 | 0.000 342 |
| 2.1 | 88.3 | 800.3 | 545.0 | 1.469 | 0.054 716 | 0.003 914 | 0.162 340 | 0.011 425 | 0.021 547 | 0.000 317 |
| 3.1 | 379.0 | 3 635.6 | 1 961.1 | 1.854 | 0.048 056 | 0.001 801 | 0.129 463 | 0.004 815 | 0.019 552 | 0.000 190 |
| 4.1 | 66.3 | 604.3 | 461.0 | 1.311 | 0.061 834 | 0.004 928 | 0.159 428 | 0.010 747 | 0.019 808 | 0.000 367 |
| 5.1 | 120.7 | 1 129.2 | 729.3 | 1.548 | 0.054 523 | 0.003 317 | 0.147 510 | 0.008 710 | 0.019 927 | 0.000 364 |
| 6.1 | 36.2 | 314.8 | 358.8 | 0.877 | 0.052 998 | 0.004 461 | 0.152 499 | 0.013 333 | 0.020 763 | 0.000 346 |
| 8.1 | 151.3 | 1 351.9 | 888.2 | 1.522 | 0.053 070 | 0.003 437 | 0.149 219 | 0.009 312 | 0.020 564 | 0.000 267 |
| 9.1 | 466.9 | 4 612.8 | 1 998.7 | 2.308 | 0.049 243 | 0.002 286 | 0.138 045 | 0.006 256 | 0.020 281 | 0.000 204 |
| 10.1 | 145.0 | 1 441.7 | 969.2 | 1.487 | 0.047 417 | 0.002 297 | 0.129 167 | 0.006 175 | 0.019 675 | 0.000 250 |

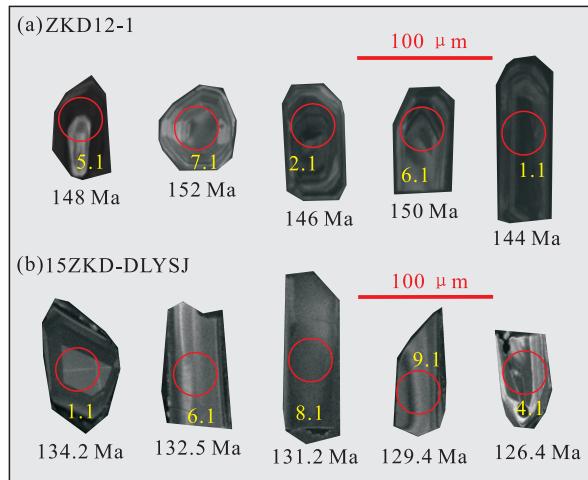


图6 煌斑岩(a)和闪长玢岩(b)锆石阴极发光图像及LA-ICP-MS测年分析点位

Fig.6 Representative cathodoluminescence (CL) images of zircon grains with $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age (Ma) from 164-anticline lamprophyre (a) and diorite porphyry (b) from Daliyanshan

权平均年龄为 129.0 ± 3.2 Ma (MSWD= 5.8, n=9) (图 7b), 代表了闪长玢岩的结晶年龄。

4 讨论

4.1 太平山褶皱的形成时代

164 背斜南翼的煌斑岩席为顺层侵入至马家沟组 ($O_2 m$) 灰岩中, 并与灰岩围岩一起经历了褶皱变形, 因此煌斑岩席的年龄 (147.2 ± 2.4 Ma) 可作为褶皱变形年代的上限, 即太平山褶皱的形成年代应晚于 147.2 ± 2.4 Ma。晚期的闪长玢岩脉在大砾岩山脚切割马家沟组 ($O_2 m$) 灰岩侵入, 因此闪长玢岩脉的

年龄可作为太平山褶皱变形年代的下限, 即太平山褶皱的形成年代应早于 129.0 ± 3.2 Ma。考虑到房山花岗闪长岩体的侵位时代为 136 ± 2 Ma (Xu et al., 2012), 应是 N-S 向挤压变形后的一次 NW-SE 向伸展体制下的产物。房山岩体侵位的挤压作用造成了太平山向斜北翼地层陡倾、地层减薄, 但对太平山南翼和 164 背斜的影响相对较弱。综合考虑, 太平山褶皱的形成年代应为 $147 \sim 136$ Ma, 属晚侏罗—早白垩世 N-S 向挤压产物。

4.2 房山岩体侵位引发的局部变形特征

岩体侵位的影响主要表现为对围岩的侧向挤压、加热烘烤和围岩发生滑脱。据航磁、钻井等资料, Yan et al. (2011) 和李东旭 (2015) 认为房山岩体是由 SE 往 NW 斜向底辟侵位, 岩体剖面形态为向 SEE 倾斜的蘑菇状; 通过对房山岩体中央相暗色包体的测量, 获得了包体长轴呈 NWW 向定向排列, 体现了岩浆向 NW 方向的流动特征。房山岩体斜向强力侵位产生的水平分力侧向挤压, 致使北岭向斜呈现弯月状特征 (李东旭, 2015)。这种侧向挤压作用以 NW 方向最为强烈, 但岩体周围其他部位也受到了较弱的岩体侵位对围岩的膨胀挤压, 表现为边缘相内包体的走向近平行于围岩和围岩的产状明显变陡。太平山向斜北翼至羊屎沟一带, 岩层近于直立 (图 2); 岩体北缘的凤凰山向斜南翼也表现出产状陡峻的特征 (He et al., 2009); 岩体北面的东岭子村处地层也强烈陡倾甚至直立。远离岩体的黄院褶皱 (图 8) 和南窖向斜仍然保持初始的 E-W 走向特征, 并且没有两翼产状的剧烈变化和地层的强烈缺失减薄。岩体强力侵位还存在向上的垂向分力, 与围岩发生相对运动导致围岩发生滑脱, 形成一系列滑

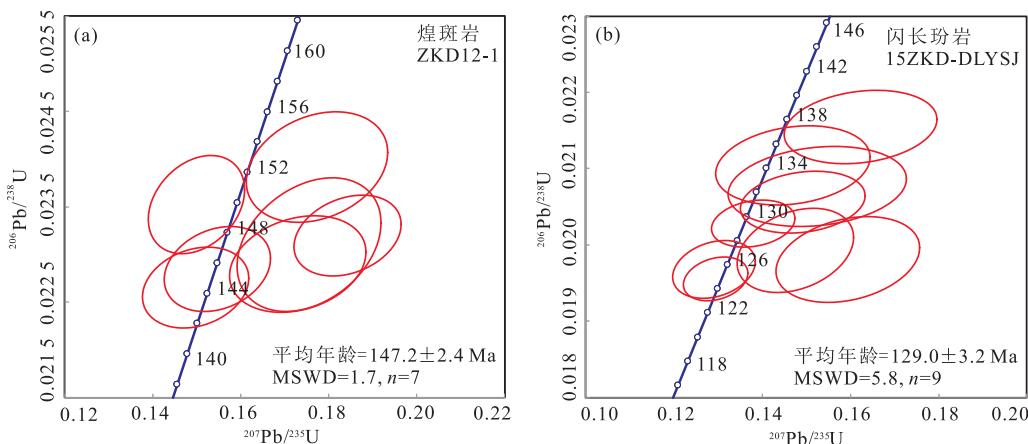


图7 煌斑岩(a)和闪长玢岩(b)LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄谐和图

Fig.7 Zircon U-Pb concordia diagrams for lamprophyre (a) and diorite porphyry (b)

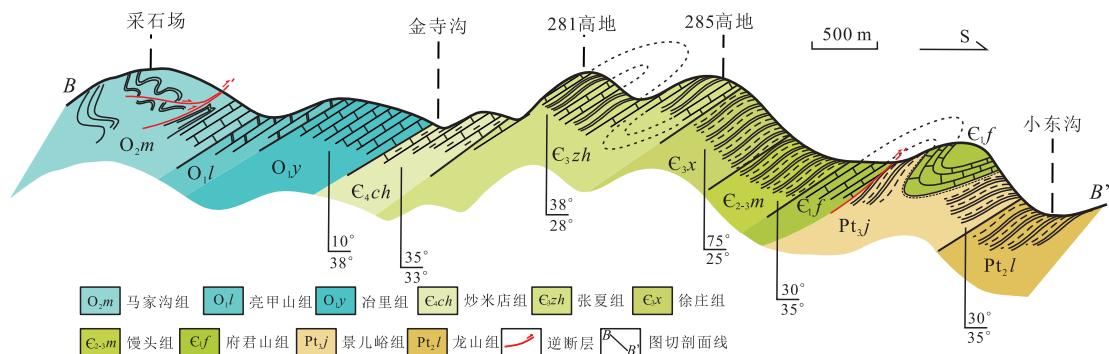


图 8 黄院村采石场一小东沟地层信手剖面

Fig.8 Draft stratigraphic section of Huangyuan quarry-Xiaodonggou

剖面 B-B' 见图 1b

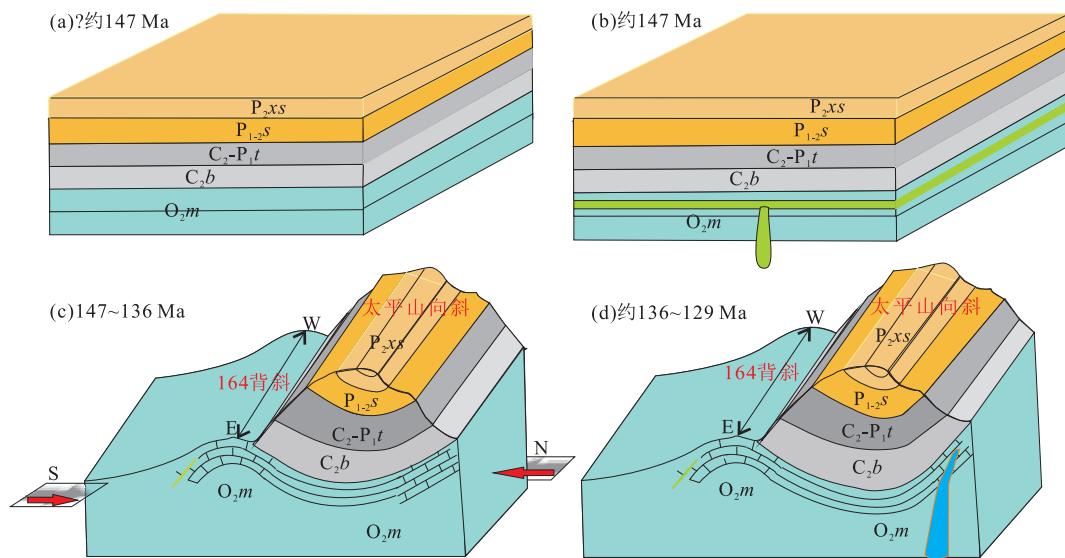


图 9 太平山褶皱的形成和演化

Fig.9 The formation and evolution of Taipingshan fold

a. 地层沉积阶段；b. 大约 147 Ma, 烜斑岩呈席状侵入至马家沟组灰岩中；c. 147~136 Ma, 近 N-S 的挤压形成 E-W 向太平山褶皱；d. 大约 136 Ma, 房山岩体底侵形成穹窿构造并造成太平山向斜北翼陡倾、地层缺失减薄, 此后在 129 Ma, 闪长玢岩脉形成并切层侵入至马家沟组灰岩中

脱断层, 造成了地层的大量缺失和减薄。大砾岩山至羊屎沟一带存在一系列倾向 SE 的走滑断层(图 2), 并且在铁岭组(Pt₂t)中还伴生有大量的右行剪切变形现象。岩体北缘的南观村也存在类似的右行剪切特征。

4.3 太平山褶皱的构造演化

综合上述构造解析和年代学分析, 结合区域沉积演化, 太平山褶皱的形成过程和构造演化, 绘制示意图见图 9。

北京西山南部太平山褶皱地区, 在中二叠统下石盒子组(P₂xs)砾岩沉积之前, 以沉积构造演化为主(在此不做介绍; 图 9a)。在晚侏罗世约 147 Ma, 幔源的煌斑岩脉侵入, 在奥陶系马家沟组(O₂m)灰岩中呈岩席状顺层产出(图 9b)。之后, 发育 N-S 向挤

压形成的轴迹近 E-W 向产出的太平山褶皱(图 9c), 褶皱过程中早期呈岩席状产出的煌斑岩发生构造变形, 形成石香肠构造(图 9d)。在约 136 Ma 和 129 Ma 分别遭受房山岩体侵位时的挤压作用和大砾岩山闪长玢岩的侵入(图 2, 图 4a, 4b, 图 8d), 致使太平山向斜北翼地层产状陡倾、厚度减薄。

4.4 区域构造意义

4.4.1 早期近 N-S 向挤压 北京房山地区广泛发育有轴迹近 E-W 走向的褶皱, 指示近 N-S 向挤压的区域构造。自北向南包括谷积山背斜、南窖向斜、凤凰山向斜、南观向斜、太平山褶皱、黄院褶皱(图 8)、宝金山背斜等。新月形的北岭复式向斜是研究区的主体构造形迹, 褶皱地层包括下寒武统至中侏罗统九龙山组。由于缺乏年代学依据, 对其成因的认识尚

存在分歧。北岭复式向斜是先存的 E-W 走向北岭向斜经后期构造叠加而成的围绕房山岩体西面的弧形构造(单文琅等, 1991; Yan et al., 2006, 2011)。北岭向斜的 3 个端点(凤凰山向斜、太平山褶皱和南窖向斜), 受到房山岩体侵位时的影响相对较小, 仍然保留有与区域上一致的 E-W 向延伸特征。因此, 对太平山褶皱的构造解析及年代学分析, 可为北岭复式向斜的成因及区域构造变形序列提供重要依据。野外实地测量和 β 图解(图 3)显示, 太平山褶皱为枢纽向东倾伏的、轴向近 E-W 向的直立倾伏褶皱。这表明在 S-N 向挤压的基础上存在由西向东的侧向挤压特征, 或者 SSE 向和 NNE 向的斜向挤压构造。该挤压构造的时代, 根据本文研究, 应为晚侏罗—早白垩世(147~136 Ma)(图 9c)。

单文琅等(1989)和宋鸿林(1996)认为北京西南部周口店地区的 E-W 向褶皱是印支期产物, 位于变形序列第四世代(D4), 该序列的时代依据建立在南窖变形闪长岩脉的全岩 K-Ar 年龄为 207 Ma(北京市地质矿产局, 1991; 宋鸿林, 1996, 1999)。李世超等(2017) 和马永非等(2017)对大兴安岭中段晚三叠世(230~210 Ma)哈达陶勒盖组火山岩的研究, 认为大兴安岭中段晚三叠世时期的构造演化背景受蒙古—鄂霍茨克洋板块向南俯冲作用的影响明显。而有关前人对印支期近东西走向的“箱形褶曲”的认识, 认为主要是一种固态流变构造, 以褶叠层、剥离断层、顺层流劈理为特征(单文琅等, 1984; 宋鸿林和葛梦春, 1984; 单文琅和傅昭仁, 1987; 邵济安和张吉衡, 2014), 反映了印支期地壳曾经历的伸展变形, 并非挤压构造。并且 Davis et al.(2002)、王瑜和李锦轶(2007)、张璐等(2008)通过南窖变形闪长岩脉锆石 U-Pb 年代学方法重新测定其年龄为 136~128 Ma, 均不支持印支期构造活动。李碧乐等(2016)通过对小兴安岭东安金矿区细粒正长花岗岩(182 ± 2 Ma)的研究认为, 其形成于大陆弧后伸展和岩石圈减薄的构造背景, 表明在早侏罗世(约 182 Ma)以来蒙古—鄂霍茨克洋板块向南俯冲的构造影响已结束了。

本文通过精确的年代学方法限定太平山褶皱形成于 147~136 Ma, 表明与太平山褶皱作为一个整体的先存 E-W 走向北岭向斜形成于中生代晚期近 N-S 向的挤压作用, 应是燕山期产物。考虑到燕辽地区都存在有下白垩统张家口组与下伏土城子组或后城组间的角度不整合(董树文等, 2007; 张岳桥等, 2007; 陈印等, 2013; 葛肖虹和马文璞, 2014; Yang et al., 2015)。翁文灏(Wong, 1927, 1929)最

早识别了燕山地区的主要变形事件, 命名为“燕山运动”, 并将其划分为 A 幕—中间幕—B 幕, 其中“B 幕”以张家口组底部的角度不整合和近 E-W 向收缩构造为特征。前人通过年代学方法获得了张家口组底部火山岩的年龄为 135~136 Ma(牛宝贵等, 2003; Niu et al., 2004; 赵越等, 2004a, 2004b; Zhang et al., 2008), 土城子组或后城组凝灰岩年龄为 147~137 Ma(Swisher et al., 2002; Cope et al., 2007; Zhang et al., 2009), 据此认为翁氏 B 幕时代早于 135 Ma。北京西山房山地区普遍缺失了晚侏罗—早白垩世地层, 表现为沉积间断特征, 因此可认为该区的 E-W 向褶皱形成于燕山运动 B 幕。

华北克拉通北部中生代晚期近 E-W 向展布的收缩变形不仅局限于北京西山南部, 在其邻区也大量发育同时代 E-W 走向的构造形迹, 包括一系列褶皱和逆冲构造, 如承德向斜、马兰峪背斜、九龙山向斜、丰宁—隆化逆断层、大庙—娘娘庙逆断层、承德县逆断层、四合堂逆冲型剪切带等(张长厚等, 2011)。陈印等(2013)、Zhu et al.(2015)和朱光等(2016)对四合堂逆冲型韧性剪切带进行详细构造变形及年代学研究, 确定其为早白垩世初期(140~137 Ma)近 N-S 挤压体制下形成的上盘向 NNW 运动的逆冲构造, 均支持燕山运动 B 幕在北京西山及邻区的存在。

综上所述, 以太平山褶皱为南端点的北岭向斜显然参与了上述区域性构造变形事件, 应属于燕山运动 B 幕产物。据此可认为太平山褶皱记录了华北克拉通北部中生代晚期(147~136 Ma)近 N-S 向挤压的变形事件, 但区域构造背景仍存在争议。近年来, 一些流行的观点认为其是蒙古—鄂霍茨克洋关闭形成的挤压背景下的产物。虽然关于蒙古—鄂霍茨克洋的最终闭合时间一直存在争议, 但该大洋两侧板块的碰撞是自西向东的顺时针旋转碰撞过程得到地质学界的普遍认同(Zorin, 1999; 黄始琪等, 2014)。蒙古—鄂霍茨克构造带东段封闭时间最晚, 应该在晚侏罗世—早白垩世(Sengor, 1996; 李锦轶, 1998; Yakubchuk and Edwards, 1999; Cogné et al., 2005; 李锦轶等, 2013)。Yang et al.(2015)基于对中亚造山带及华北等地的详细盆地地层和演化分析, 识别了广泛存在的晚侏罗世末—早白垩世初的角度不整合, 提出了蒙古—鄂霍茨克洋的快速关闭形成的挤压背景是造成上述角度不整合和华北北缘、蒙古地区形成巨大褶皱带的重要因素。Zhu et al.(2015)和朱光等(2016)也提出燕山—阴山构造带上一系列近 E-W 向的逆冲断层与褶皱, 形成于蒙古—鄂霍茨克洋的最终

关闭所产生的近 N-S 向挤压体制下。

4.4.2 晚期 NW-SE 向伸展 东部块体是华北克拉通破坏的主要区域,构造上主要表现为大规模伸展构造和岩浆作用。朱日祥等(2011, 2012)、Zhu *et al.* (2012, 2015)和林伟等(2013)通过大量统计研究早白垩世华北克拉通的变质核杂岩或穹窿构造、裂谷盆地和大规模岩浆作用,确定了早白垩世(135~115 Ma)区域上 NWW-SEE 或 NW-SE 方向的伸展作用。北京西山位于太行山以东地区,属华北克拉通破坏的主要部位,记录了华北克拉通的破坏过程,在本区体现最为明显的是 NW-SE 向伸展的构造样式。房山伸展穹窿及其核部的房山岩体长轴呈现 NW-SE 向延伸特征。宋鸿林(1996)通过平衡剖面原则恢复基底剥离断层原始产状为向 SEE 缓倾。野外可观察到羊屎沟一大砾岩山分布有一系列倾向 SE 的滑脱断层(图 2),造成了地层的强烈缺失减薄,还可见引张空间内断层角砾岩以及层内右行韧性剪切变形。王瑜和李锦铁(2007)、Wang *et al.*(2010)统计了岩体周边大量 ESE110°方向的同变形云母所代表的拉伸线理,并获得其⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄为 133~127 Ma。以上特征都指示了早白垩世北京西山地区具有与华北克拉通一致的 NW-SE 方向的伸展特征。

近年来的研究,详细论证了古太平洋板块的俯冲是华北克拉通破坏的主要因素(Wu *et al.*, 2005; Sun *et al.*, 2007; 朱日祥等, 2011, 2012; Zhu *et al.*, 2015)。早白垩世期间,蒙古—鄂霍茨克洋最终关闭以后(136 Ma 以来),中国东部主要受控于太平洋构造域。中国东部一系列伸展构造、岩浆与成矿事件(Zhang *et al.*, 2017),与太平洋板块的俯冲具有时空上的耦合性(Sun *et al.*, 2007; 朱日祥等, 2012)。例如,许中杰等(2017)对北黄海盆地前中生代火山岩的磁化率研究,认为其可能形成于板块俯冲的弧后伸展环境。据此,我们认为北京西山的 NW-SE 向伸展的构造样式同样形成于古太平洋板块俯冲形成的弧后拉张背景下。与此同时的蒙古—鄂霍茨克造山带处于垮塌伸展阶段(Tang *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2015),进一步加强了伸展体制下华北克拉通的强烈破坏。

5 结论

(1) 华北克拉通东部房山地区太平山褶皱由轴向为近 E-W 向的直立倾伏背斜和斜歪倾伏向斜构成,形成时代为 147~136 Ma,为早白垩世初期燕山

运动 B 幕产物。

(2) 太平山褶皱记录了早期(>136 Ma)的近 N-S 向挤压构造,房山伸展穹窿显示了晚期(<136 Ma)的 NW-SE 方向伸展的构造样式,反映了华北克拉通破坏前重要的构造体制转换过程。

致谢:感谢王国庆副教授在野外给予的帮助和胡兆初教授在锆石测年实验提供的帮助。两位匿名审稿人对本文稿件提出了非常中肯、深入的修改意见,在此表示衷心的感谢!

References

- Allmendinger, R. W., Cardozo, N., Fisher, D. M., 2012. Structural Geology Algorithms: Vectors and Tensors. Cambridge University Press, Cambridge.
- Beijing Bureau of Geology and Mineral Resources, 1991. Regional Geology of Beijing Municipality, Ministry of Geology and Mineral Resources: 1. Geological Memoirs. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Cardozo, N., Allmendinger, R. W., 2013. Spherical Projections with OSX Stereonet. *Computers & Geosciences*, 51: 193–205. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.07.021>
- Chen, Y., Zhu, G., Jiang, D. Z., et al., 2013. Timing Determination of Phase B of the Yanshanian Movement in the Eastern North China Craton: Evidence from Dating of a Ductile Shear Zone in Sihetang, Northeastern Beijing. *Acta Geologica Sinica*, 87 (3): 295–310 (in Chinese with English abstract).
- Cogné, J. P., Kravchinsky, V. A., Halim, N., et al., 2005. Late Jurassic-Early Cretaceous Closure of the Mongol-Okhotsk Ocean Demonstrated by New Mesozoic Palaeomagnetic Results from the Trans-Baikal Area (SE Siberia). *Geophysical Journal International*, 163(2): 813–832. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246x.2005.02782.x>
- Cope, T. D., Shultz, M. R., Graham, S. A., 2007. Detrital Record of Mesozoic Shortening in the Yanshan Belt, NE China: Testing Structural Interpretations with Basin Analysis. *Basin Research*, 19(2): 253–272. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2117.2007.00321.x>
- Davis, G. A., Zheng, Y. D., Wang, C., et al., 2002. Mesozoic Tectonic Evolution of the Yanshan Fold and Thrust Belt with Emphasis on Hebei and Liaoning Provinces, Northern China. *Beijing Geology*, 14 (4): 1–40 (in Chinese with English abstract).
- Dong, S. W., Zhang, Y. Q., Long, C. X., et al., 2007. Jurassic Tectonic Revolution in China and New Interpretation of the Yanshan Movement. *Acta Geologica Sinica*, 81 (11): 1449–1461 (in Chinese with English abstract).

- Fan, W. M., Zhang, H. F., Baker, J., et al., 2000. On and off the North China Craton: Where is the Archaean Keel. *Journal of Petrology*, 41(7): 933—950. <https://doi.org/10.1093/petrology/41.7.933>
- Gao, S., Rudnick, R. L., Xu, W. L., et al., 2008. Recycling Deep Cratonic Lithosphere and Generation of Intraplate Magmatism in the North China Craton. *Earth and Planetary Science Letters*, 270(1—2): 41—53. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.03.008>
- Gao, S., Rudnick, R. L., Yuan, H. L., et al., 2004. Recycling Lower Continental Crust in the North China Craton. *Nature*, 432 (7019): 892—897. <https://doi.org/10.1038/nature03162>
- Ge, X. H., Ma, W. P., 2014. A Course in Regional Geotectonic of China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Griffin, W. L., Andi, Z., O'Reilly, S. Y., et al., 1998. Phanerozoic Evolution of the Lithosphere beneath the Sino-Korean Craton. Mantle Dynamics and Plate Interactions in East Asia. American Geophysical Union, New York, 107—126. <https://doi.org/10.1029/gd027p0107>
- Hacker, B. R., Wallis, S. R., Ratschbacher, L., et al., 2006. High-Temperature Geochronology Constraints on the Tectonic History and Architecture of the Ultrahigh-Pressure Dabie-Sulu Orogen. *Tectonics*, 25(5): 239—251. <https://doi.org/10.1029/2005tc001937>
- He, B., Xu, Y. G., Paterson, S., 2009. Magmatic Diapirism of the Fangshan Pluton, Southwest of Beijing, China. *Journal of Structural Geology*, 31(6): 615—626. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2009.04.007>
- Huang, S. Q., Dong, S. W., Zhang, F. Q., et al., 2014. Tectonic Deformation and Dynamic Characteristics of the Middle Part of the Mongolia-Okhotsk Collisional Belt, Mongolia. *Acta Geoscientica Sinica*, 35(4): 415—424 (in Chinese with English abstract).
- Li, B. L., Sun, Y. G., Chen, G. J., et al., 2016. Zircon U-Pb Geochronology, Geochemistry and Hf Isotopic Composition and Its Geological Implication of the Fine-Grained Syenogranite in Dong'an Goldfield from the Lesser Xing'an Mountains. *Earth Science*, 41(1): 1—16 (in Chinese with English abstract).
- Li, D. X., 2015. Synthetical Analyses of the Formation and Deformation of the Beiling Syncline in Fangshan, Beijing. *Geoscience*, 29(3): 481—493 (in Chinese with English abstract).
- Li, J. Y., 1998. Some New Ideas on Tectonics of NE China and Its Neighboring Areas. *Geological Review*, 44(4): 339—342 (in Chinese with English abstract).
- Li, J. Y., Qu, J. F., Zhang, J., et al., 2013. New Developments on the Reconstruction of Phanerozoic Geological History and Research of Metallogenic Geological Settings of the Northern China Orogenic Region. *Geological Bulletin of China*, 32(2—3): 207—219 (in Chinese with English abstract).
- Li, S. C., Zhang, L. Y., Li, P. C., et al., 2017. Discovery and Tectonic Implications of Early Triassic O-Type Adakite in Middle of Great Xing'an Range. *Earth Science*, 42(12): 2117—2128 (in Chinese with English abstract).
- Lin, W., Wang, J., Liu, F., et al., 2013. Late Mesozoic Extension Structures on the North China Craton and Adjacent Regions and Its Geodynamics. *Acta Petrologica Sinica*, 29(5): 1791—1810 (in Chinese with English abstract).
- Liu, D. Y., Nutman, A. P., Compston, W., et al., 1992. Remnants of ≥ 3800 Ma Crust in the Chinese Part of the Sino-Korean Craton. *Geology*, 20(4): 339—342. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1992\)020<0339:romcit>2.3.co;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1992)020<0339:romcit>2.3.co;2)
- Liu, Y. S., Hu, Z. C., Gao, S., et al., 2008. In Situ Analysis of Major and Trace Elements of Anhydrous Minerals by LA-ICP-MS without Applying an Internal Standard. *Chemical Geology*, 257(1—2): 34—43. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2008.08.004>
- Ma, Y. F., Liu, Y. J., Wen, Q. B., et al., 2017. Petrogenesis and Tectonic Settings of Volcanic Rocks from Late Triassic Hadataolegai Fm. at Central Part of Great Xing'an Range. *Earth Science*, 42(12): 2146—2173 (in Chinese with English abstract).
- Niu, B. G., He, Z. J., Song, B., et al., 2003. SHRIMP Dating on Volcanics of Zhangjiakou Group and Its Geological Significance. *Geological Bulletin of China*, 22(2): 140—141 (in Chinese).
- Niu, B. G., He, Z. J., Song, B., et al., 2004. SHRIMP Geochronology of Volcanics of the Zhangjiakou and Yixian Formations, Northern Hebei Province, with a Discussion on the Age of the Xing'anling Group of the Great Hinggan Mountains and Volcanic Strata of the Southeastern Coastal Area of China. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 78(6): 1214—1228. <https://doi.org/10.1111/j.1755-6724.2004.tb00778.x>
- Sengor, A. M. C., 1996. Paleotectonics of Asia: Fragments of a Synthesis. In: Yin, A., Harrison, T. M., eds., *The Tectonic Evolution of Asia*. Cambridge University Press, Cambridge, 486—640.
- Shan, W. L., Fu, Z. R., 1987. A Preliminary Analysis of the Horizontal Laminar Shear-Flow Structure in the West-Hill, Beijing. *Earth Science*, 12(2): 113—120 (in Chinese with English abstract).
- Shan, W. L., Fu, Z. R., Ge, M. C., 1984. The Folding Layer and Its Bedding Rheid Tectonic Community in West-Hill, Beijing. *Earth Science*, 9(2): 33—41, 142 (in Chinese with English abstract).

- Shan, W. L., Song, H. L., Fu, Z. R., et al., 1991. Principles, Methods and Practices of Structural Analysis. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Shan, W. L., Wang, F. Z., Fu, Z. R., et al., 1989. On the Tectonic Evolution of Cover Rocks in the Southern Part of West-Hill, Beijing. *Earth Science*, 14(1): 37—44 (in Chinese with English abstract).
- Shao, J. A., Zhang, J. H., 2014. The Early Mesozoic Continental Crust Reformation in Yanshan Area: Giving Discussion to Indosian Movement. *Earth Science Frontiers*, 21(6): 302—309 (in Chinese with English abstract).
- Song, H. L., 1987. A Primary Analysis on the Tectonic Sequence in the Southern Part of the West Hill, Beijing. *Earth Science*, 12(1): 15—20 (in Chinese with English abstract).
- Song, H. L., 1996. Characteristics of Fangshan Metamorphic Core Complex, Beijing and a Discussion about Its Origin. *Geoscience*, 10(2): 149—158 (in Chinese with English abstract).
- Song, H. L., 1999. Characteristics of Yanshan Type Intraplate Orogenic Belts and a Discussion on Its Dynamics. *Earth Science Frontiers*, 6(4): 309—316 (in Chinese with English abstract).
- Song, H. L., Ge, M. C., 1984. The Indosian 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).
- Song, H. L., Shan, W. L., Fu, Z. R., 1995. Structural Analysis of Zhoukoudian Area, Beijing. *Earth Science Frontiers*, 2(2): 246—247 (in Chinese).
- Sun, W. D., Ding, X., Hu, Y. H., et al., 2007. The Golden Transformation of the Cretaceous Plate Subduction in the West Pacific. *Earth and Planetary Science Letters*, 262(3—4): 533—542. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.08.021>
- Swisher, C. C., Wang, X. L., Zhou, Z., et al., 2002. Further Support for a Cretaceous Age for the Feathered-Dinosaur Beds of Liaoning, China: New $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Dating of the Yixian and Tuchengzi Formations. *Chinese Science Bulletin*, 47(2): 135—138.
- Tang, J., Xu, W. L., Wang, F., et al., 2015. Geochronology, Geochemistry, and Deformation History of Late Jurassic-Early Cretaceous Intrusive Rocks in the Erguna Massif, NE China: Constraints on the Late Mesozoic Tectonic Evolution of the Mongol-Okhotsk Orogenic Belt. *Tectonophysics*, 658: 91—110. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.07.012>
- Tong, J. N., Xu, R., Yuan, Y. M., 2013. Lithostratigraphy and Reconstruction of Sedimentary Sequence and Environment in Zhoukoudian Area of Beijing. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 35(1): 15—23 (in Chinese with English abstract).
- Wang, T., Guo, L., Zhang, L., et al., 2015. Timing and Evolution of Jurassic-Cretaceous Granitoid Magmatism in the Mongol-Okhotsk Belt and Adjacent Areas, NE Asia: Implications for Transition from Contractual Crustal Thickening to Extensional Thinning and Geodynamic Settings. *Journal of Asian Earth Sciences*, 97: 365—392. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2014.10.005>
- Wang, Y., Li, J. Y., 2007. Thermochronological Constraints on the Formation of ESE 110° — 120° Stretching Lineations at Nanjiao Area, West Hills of Beijing. *Acta Petrologica Sinica*, 23(3): 617—624 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y., Zhou, L., Li, J., 2010. Intracontinental Superimposed Tectonics—A Case Study in the Western Hills of Beijing, Eastern China. *Geological Society of America Bulletin*, 123(5—6): 1033—1055. <https://doi.org/10.1130/b30257.1>
- 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. *Geology*, 31(9): 817—820. <https://doi.org/10.1130/g19489.1>
- Wong, W. H., 1927. Crustal Movements and Igneous Activities in Eastern China since Mesozoic Time. *Acta Geologica Sinica*, 6(1): 9—37. <https://doi.org/10.1111/j.1755-6724.1927.mp6001002.x>
- Wong, W. H., 1929. The Mesozoic Orogenic Movement in Eastern China. *Acta Geologica Sinica*, 8(1): 33—44. <https://doi.org/10.1111/j.1755-6724.1929.mp8001004.x>
- Wu, F. Y., Lin, J. Q., Wilde, S. A., et al., 2005. Nature and Significance of the Early Cretaceous Giant Igneous Event in Eastern China. *Earth and Planetary Science Letters*, 233(1—2): 103—119. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2005.02.019>
- Wu, F. Y., Walker, R. J., Yang, Y. H., et al., 2006. The Chemical-Temporal Evolution of Lithospheric Mantle Underlying the North China Craton. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70(19): 5013—5034. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2006.07.014>
- Xiao, W. J., Windley, B. F., Hao, J., et al., 2003. Accretion Leading to Collision and the Permian Solonker Suture, Inner Mongolia, China: Termination of the Central Asian Orogenic Belt. *Tectonics*, 22(6): 680. <https://doi.org/10.1029/2002tc001484>
- Xu, H. J., Song, Y. R., Ye, K., et al., 2012. Petrogenesis of Mafic Dykes and High-Mg Adakitic Enclaves in the Late Mesozoic Fangshan Low-Mg Adakitic Pluton, North China Craton. *Journal of Asian Earth Sciences*, 54—55: 143—161. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2012.04.008>
- Xu, Z. J., Wang, L. L., Kong, Y., et al., 2017. Susceptibility,

- Geochemical Characteristics and Tectonic Significance of Volcanics of North Yellow Sea Basin from Pre-Mesozoic to Mesozoic. *Earth Science*, 42(2): 191—206 (in Chinese with English abstract).
- Yakubchuk, A.S., Edwards, A.C., 1999. Auriferous Paleozoic Accretionary Terranes within the Mongol-Okhotsk Suture Zone, Russian Far East. *Australasian Institute of Mining and Metallurgy*, 99(4): 347—358.
- Yan, D.P., Zhou, M.F., Song, H.L., et al., 2005. A Geochronological Constraint to the Guandi Complex, Western Hills of Beijing, and Its Implications for the Tectonic Evolution. *Earth Science Frontiers*, 12 (2): 332—337 (in Chinese with English abstract).
- Yan, D.P., Zhou, M.F., Song, H.L., et al., 2006. Mesozoic Extensional Structures of the Fangshan Tectonic Dome and Their Subsequent Reworking during Collisional Accretion of the North China Block. *Journal of the Geological Society*, 163(1): 127—142. <https://doi.org/10.1144/0016-764904-154>
- Yan, D.P., Zhou, M.F., Zhao, D.G., et al., 2011. Origin, Ascent and Oblique Emplacement of Magmas in a Thickened Crust: An Example from the Cretaceous Fangshan Adakitic Pluton, Beijing. *Lithos*, 123(1—4): 102—120. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2010.11.015>
- Yang, Y.T., Guo, Z.X., Song, C.C., et al., 2015. A Short-Lived but Significant Mongol-Okhotsk Collisional Orogeny in Latest Jurassic-Earliest Cretaceous. *Gondwana Research*, 28 (3): 1096—1116. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.09.010>
- Zhang, C. H., Li, C. M., Deng, H. L., et al., 2011. Mesozoic Contraction Deformation in the Yanshan and Northern Taihang Mountains and Its Implications to the Destruction of the North China Craton. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 41(5): 593—617 (in Chinese).
- Zhang, H., Wang, M.X., Liu, X.M., 2008. LA-ICP-MS Dating of Zhangjiakou Formation Volcanic Rocks in the Zhangjiakou Region and Its Geological Significance. *Progress in Natural Science*, 18(8): 975—981. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2008.01.028>
- Zhang, H., Wei, Z.L., Liu, X. M., et al., 2009. Constraints on the Age of the Tuchengzi Formation by LA-ICP-MS Dating in Northern Hebei-Western Liaoning, China. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 52(4): 461—470. <https://doi.org/10.1007/s11430-009-0052-9>
- Zhang, L., Liu, B., Chen, N.S., et al., 2008. Age of the Granitoid Pluton from Nanjiao, Zhoukoudian, Beijing and Its Geological Implication. *Geological Science and Technology Information*, 27(6): 43—46 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, X.B., Wang, K.Y., Wang, C.Y., et al., 2017. Age, Genesis, and Tectonic Setting of the Mo-W Mineralized Dongshawan granite Porphyry from the Xilamulun Metallogenic Belt, NE China. *Journal of Earth Science*, 28 (3): 433—446. <https://doi.org/10.1007/s12583-016-0934-1>
- Zhang, Y.Q., Dong, S.W., Zhao, Y., et al., 2007. Jurassic Tectonics of North China: A Synthetic View. *Acta Geologica Sinica*, 81 (11): 1462—1480 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, G.C., Sun, M., Wilde, S.A., et al., 2005. Late Archean to Paleoproterozoic Evolution of the North China Craton: Key Issues Revisited. *Journal of Asian Earth Sciences*, 136 (2): 177—202. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2004.10.002>
- Zhao, W.X., 2003. Geology of Zhoukoudian and Field Geological Work Method and New High-Tech Applications. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Zhao, Y., Xu, G., Zhang, S.H., et al., 2004a. Yanshan Movement and Conversion of Tectonic Regimes in East Asia. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 319—328 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Y., Zhang, S.H., Xu, G., et al., 2004b. The Jurassic Major Tectonic Events of the Yanshanian Intraplate Deformation Belt. *Geological Bulletin of China*, 23 (9—10): 854—863 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, J.P., Griffin, W. L., O'Reilly, S. Y., et al., 2004. U-Pb and Hf-Isotope Analysis of Zircons in Mafic Xenoliths from Fuxian Kimberlites: Evolution of the Lower Crust beneath the North China Craton. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 148(1): 79—103. <https://doi.org/10.1007/s00410-004-0587-x>
- Zhu, G., Chen, Y., Jiang, D.Z., et al., 2015. Rapid Change from Compression to Extension in the North China Craton during the Early Cretaceous: Evidence from the Yunmengshan Metamorphic Core Complex. *Tectonophysics*, 656(1): 91—110.
- Zhu, G., Jiang, D.Z., Zhang, B.L., et al., 2012. Destruction of the Eastern North China Craton in a Backarc Setting: Evidence from Crustal Deformation Kinematics. *Gondwana Research*, 22 (1): 86—103. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.08.005>
- Zhu, G., Wang, W., Gu, C.C., et al., 2016. Late Mesozoic Evolution History of the Tan-Lu Fault Zone and Its Indication to Destruction Processes of the North China Craton. *Acta Petrologica Sinica*, 32(4): 935—949 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, R.X., Chen, L., Wu, F.Y., et al., 2011. Timing, Scale and Mechanism of the Destruction of the North China Craton. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 41 (5): 583—592 (in Chinese).

Zhu, R.X., Xu, Y.G., Zhu, G., et al., 2012. Destruction of the North China Craton. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 42(8): 1135–1159 (in Chinese).

Zorin, Y.A., 1999. Geodynamics of the Western Part of the Mongolia-Okhotsk Collisional Belt, Trans-Baikal Region (Russia) and Mongolia. *Tectonophysics*, 306(1): 33–56. [https://doi.org/10.1016/s0040-1951\(99\)00042-6](https://doi.org/10.1016/s0040-1951(99)00042-6)

附中文参考文献

北京市地质矿产局, 1991. 中华人民共和国地质矿产部地质专报:一. 区域地质. 北京: 地质出版社.

陈印, 朱光, 姜大志, 等, 2013. 四合堂剪切带活动时代及其对燕山运动 B 幕时间的限定. *地质学报*, 87(3): 295–310.

Davis, G.A., 郑亚东, 王琮, 等, 2002. 中生代燕山褶皱冲断带的构造演化——以河北省和辽宁省为重点的研究. *北京地质*, 14(4): 1–40.

董树文, 张岳桥, 龙长兴, 等, 2007. 中国侏罗纪构造变革与燕山运动新诠释. *地质学报*, 81(11): 1449–1461.

葛肖虹, 马文璞, 2014. 中国区域大地构造学教程. 北京: 地质出版社.

黄始琪, 董树文, 张福勤, 等, 2014. 蒙古—鄂霍茨克构造带中段构造变形及动力学特征. *地球学报*, 35(4): 415–424. 李碧乐, 孙永刚, 陈广俊, 等, 2016. 小兴安岭东安金矿区细粒正长花岗岩 U-Pb 年龄、岩石地球化学、Hf 同位素组成及地质意义. *地球科学*, 41(1): 1–16.

李东旭, 2015. 北京房山北岭向斜形成与形变综合解析. *现代地质*, 29(3): 481–493.

李锦轶, 1998. 中国东北及邻区若干地质构造问题的新认识. *地质论评*, 44(4): 339–342.

李锦轶, 曲军峰, 张进, 等, 2013. 中国北方造山区显生宙地质历史重建与成矿地质背景研究进展. *地质通报*, 32(2–3): 207–219.

李世超, 张凌宇, 李鹏川, 等, 2017. 大兴安岭中段早三叠世 O 型埃达克岩的发现及其大地构造意义. *地球科学*, 42(12): 2117–2128.

林伟, 王军, 刘飞, 等, 2013. 华北克拉通及邻区晚中生代伸展构造及其动力学背景的讨论. *岩石学报*, 29(5): 1791–1810.

马永非, 刘永江, 温泉波, 等, 2017. 大兴安岭中段晚三叠世哈达陶勒盖组火山岩成因及构造背景. *地球科学*, 42(12): 2146–2173.

牛宝贵, 和政军, 宋彪, 等, 2003. 张家口组火山岩 SHRIMP 定年及其重大意义. *地质通报*, 22(2): 140–141.

单文琅, 宋鸿林, 傅昭仁, 等, 1991. 构造变形分析的理论、方法和实践. 武汉: 中国地质大学出版社.

单文琅, 傅昭仁, 1987. 北京西山水平分层剪切流变构造初探. *地球科学*, 12(2): 113–120.

单文琅, 傅昭仁, 葛孟春, 1984. 北京西山的褶叠层与“顺层”

固态流变构造群落. *地球科学*, 9(2): 33–41, 142.

单文琅, 王方正, 傅昭仁, 等, 1989. 论北京西山南部的盖层构造演化. *地球科学*, 14(1): 37–44.

邵济安, 张吉衡, 2014. 燕山地区早中生代陆壳的改造: 兼论印支运动. *地学前缘*, 21(6): 302–309.

宋鸿林, 1987. 北京西山南部构造序列初探. *地球科学*, 12(1): 15–20.

宋鸿林, 1996. 北京房山变质核杂岩的基本特征及其成因探讨. *现代地质*, 10(2): 149–158.

宋鸿林, 1999. 燕山式板内造山带基本特征与动力学探讨. *地学前缘*, 6(4): 309–316.

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.

宋鸿林, 单文琅, 傅昭仁, 1995. 北京周口店地区构造解析. *地学前缘*, 2(2): 246–247.

童金南, 徐冉, 袁晏明, 2013. 北京周口店地区岩石地层及沉积序列和沉积环境恢复. *地球科学与环境学报*, 35(1): 15–23.

王瑜, 李锦轶, 2007. 北京西山南客地区南东东 110°~120° 拉伸线理形成时间的年代学制约. *岩石学报*, 23(3): 617–624.

许中杰, 王嘹亮, 孔媛, 等, 2017. 北黄海盆地前中生代—中生代火山岩磁化率、地球化学特征及构造意义. *地球科学*, 42(2): 191–206.

颜丹平, 周美夫, 宋鸿林, 等, 2005. 北京西山官地杂岩的形成时代及构造意义. *地学前缘*, 12(2): 332–337.

张长厚, 李程明, 邓洪菱, 等, 2011. 燕山—太行山北段中生代收缩变形与华北克拉通破坏. *中国科学(D 辑: 地球科学)*, 41(5): 593–617.

张璐, 刘兵, 陈能松, 等, 2008. 北京周口店南客石英二长岩岩枝的锆石 U-Pb 年龄和地质意义. *地质科技情报*, 27(6): 43–46.

张岳桥, 董树文, 赵越, 等, 2007. 华北侏罗纪大地构造: 综评与新认识. *地质学报*, 81(11): 1462–1480.

赵温霞, 2003. 周口店地质及野外地质工作方法与高新技术应用. 武汉: 中国地质大学出版社.

赵越, 徐刚, 张拴宏, 等, 2004a. 燕山运动与东亚构造体制的转变. *地学前缘*, 11(3): 319–328.

赵越, 张拴宏, 徐刚, 等, 2004b. 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.

朱光, 王薇, 顾承串, 等, 2016. 郑庐断裂带晚中生代演化历史及其对华北克拉通破坏过程的指示. *岩石学报*, 32(4): 935–949.

朱日祥, 陈凌, 吴福元, 等, 2011. 华北克拉通破坏的时间、范围与机制. *中国科学(D 辑: 地球科学)*, 41(5): 583–592.

朱日祥, 徐义刚, 朱光, 等, 2012. 华北克拉通破坏. *中国科学(D 辑: 地球科学)*, 42(8): 1135–1159.