

燕山运动的“绪动”——燕山事件

张宏仁¹⁾, 张永康²⁾, 蔡向民³⁾, 渠洪杰⁴⁾, 李海龙⁴⁾, 王猛⁵⁾

- 1) 中华人民共和国国土资源部, 北京, 100812; 2) 江苏省徐霞客研究会, 南京, 210018;
3) 北京市地质调查研究院, 北京, 102206; 4) 中国地质科学院地质力学研究所, 北京, 100081;
5) 中国五矿集团公司五矿勘查开发有限公司, 北京, 100044;

内容提要:燕山运动是中生代期间发生在中国东部的一次最重要构造变动,它打破了华北克拉通数亿年的稳定格局,形成了一系列北东向深大断裂,并引发了剧烈的岩浆活动。然而,由于褶皱变形不显著,构造运动的主要不整合面难以确定,所以对燕山运动的起始时间和形成机制长期以来存在较大争议。本文通过对燕山运动概念历史的考证、北京西山和平原区地层序列的对比,结合华北地区其他晚中生代盆地的发展演化过程,认为燕山运动的起始时间应为中侏罗世含煤碎屑岩沉积之后、同造山砾岩形成之前。该运动所产生的深大断裂成为中国东部的构造骨架,成为而后大量岩浆上升的通道。根据构造变形的特点,结合材料力学的原理,认为燕山运动是中国东部遭受来自外部快速打击的后果,是以脆性变形为主的构造运动,并将该快速打击事件定义为燕山运动的“绪动”或“燕山事件”。

关键词:燕山运动;北京西山;龙门组砾岩;绪动;材料力学

大陆漂移说创立至今已经过去一个世纪,板块学说风靡全球至今也已有半个多世纪,后者很好地解释了发生在板块边界上的现象,但在阐述发生在大陆内部的地质过程时则存在诸多问题。通过对燕山运动各种现象的综合分析,认为应用板块学说难以解释其过程,尤其是起始时间和形成机制上。张宏仁(1998)曾以《燕山事件》为题发表了一篇文章,认为燕山运动源于一次强烈的构造事件,其发生时间采纳了翁文灏最初定义的界面,即九龙山组与髫髻山组之间的不整合面所代表的时间(张宏仁, 1998)。如果燕山事件的思路成立,那么事件前后构造环境应当发生过根本性的改变,而在北京西山九龙山组与髫髻山组之间却看不到这种改变,这一点很令人困惑。

为了查证这一关键问题,依托中国地质调查局和地质力学研究所的支持,以“燕山运动的再研究”为题申请并完成了项目和相关研究工作。

燕山运动的重要性在中国地质界是普遍认同的,同时也是被持续关注的。例如,任继舜指出:“在中国东部以来的历次地质事件中,燕山造山旋回都是一次最重要的,压倒一切的构造运动,中国的主要

大地构造单元雏形基本形成”(图1)(任继舜等, 1990)。尽管燕山运动的概念从提出至今,已过去80多年,可对一系列重大问题的认识仍是众说纷纭。一些研究者通过对中生代岩浆岩地球化学的分析和地球物理数据的解释,提出了“华北克拉通破坏”的概念,并认为克拉通破坏是一个长期的过程,但是早白垩世是其克拉通破坏的峰期,空间范围集中在太行山以东地区,主要的动力来源为太平洋板块的西向俯冲(吴福元等, 2008; 朱日祥等, 2011, 2012; Zhu Rixiang et al., 2012)。董树文等(2008)通过对地表变形方式和期次的研究,提出了晚侏罗世“东亚多向汇聚”的理论模型(董树文等, 2008)。

华北地区大量的岩浆活动和强烈的褶皱变形发生在侏罗纪含煤碎屑岩沉积之后,自元古代以来长期稳定的环境被破坏,本文主要通过对燕山运动主要不整合面的查证,发现燕山运动或华北板块“活化”或“克拉通破坏”起源于一次短暂并剧烈的地质事件。

作者于20世纪70年代在北京地区工作时发现,被黄庄-高丽营断裂分割的北京西山和北京平原区虽然近在咫尺,但地层序列却有天壤之别。北京

注:本文为中国地质调查局地质调查项目(工作项目编号 1212010911063、1212011121095)资助的成果。

收稿日期:2013-05-08; 改回日期:2013-11-10; 责任编辑:郝梓国, 黄敏。

作者简介:张宏仁,男,1934年生。教授,地质学专业。通讯作者:渠洪杰,男,1979年生。副研究员,沉积学专业,电话 010-88815575; Email: hongjiequ@163.com。

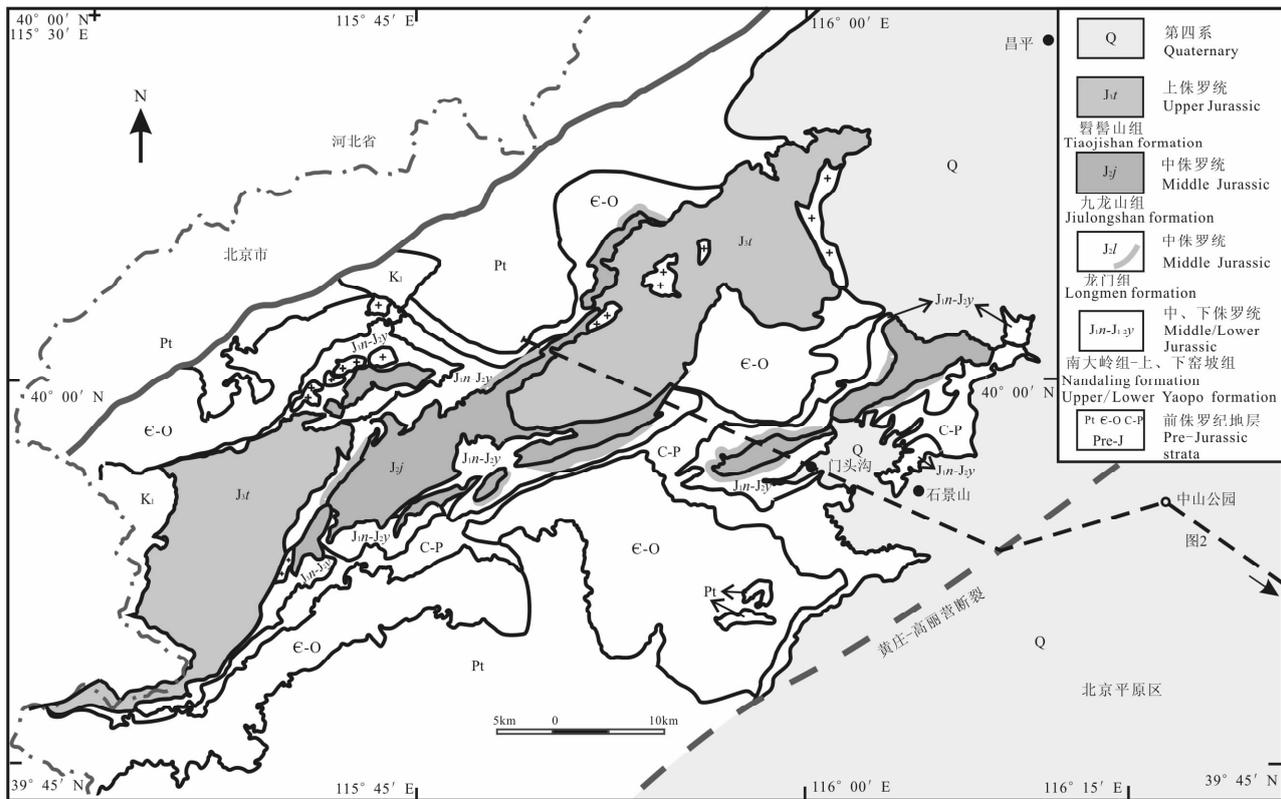


图 1 北京西山中、上侏罗统分布图(修改自 1 : 250000 北京市地质图, 鲍亦冈, 2001)

Fig. 1 Distribution of middle and upper Jurassic in Western Hills of Beijing (modified from 1 : 250000 geological map of Beijing, Bao Yigang, 2001)

西山相当完整地保留了从元古代到早、中侏罗世的地层。然而, 钻孔资料表明, 北京平原区大部分地区元古界上部到中、下侏罗统则全部缺失(图 2, 图 3)。综合各种迹象表明, 这是一次突发的大地构造事件的后果, 而这次事件应当就是燕山运动。

在当时认识的基础上, 作者发表了题为《燕山事件》的论文(张宏仁, 1998), 但在燕山运动发生的时间上, 沿用了至今仍为许多人认同的翁文灏的说法,

即“燕山运动年代应限于北京西山的九龙山系与髫髻山系之间”(Wong W H, 1927)。为了查明当年翁文灏得此结论的根由, 有必要对燕山运动概念提出历史进行回顾。

1 历史的回顾

1.1 《北京西山地质志》与燕山运动

燕山运动虽然是 1926 年正式提出的(Wong W

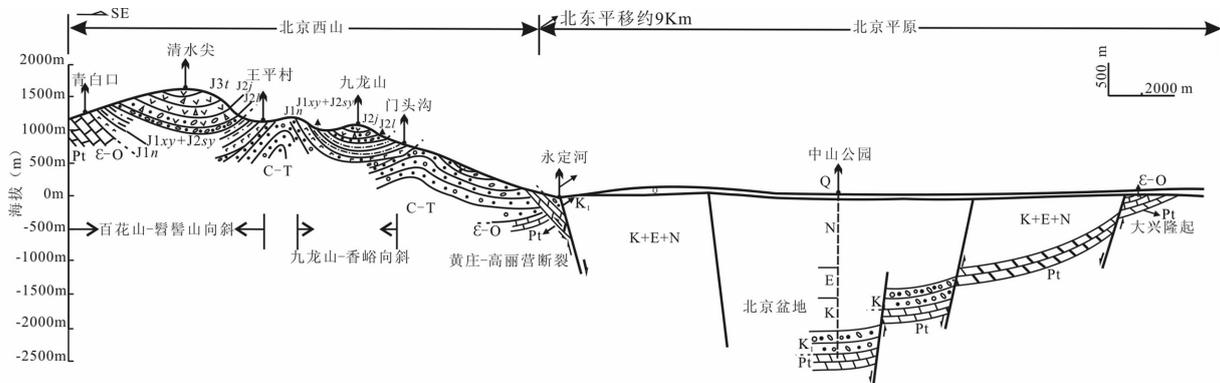


图 2 北京西山至北京平原区北东-西南向地质剖面示意图

Fig. 2 NE-SW cross section from the Western Hills to the plain of Beijing

“(1)自元古界以迄侏罗系,地层率皆整合(作者注:即地层之间产状没有改变)。(2)髻髻山砾岩层,每覆于各种古代岩层之上。即倾斜亦无不貌似整合,而最新之岩层,被其所复者,即九龙山紫绿岩系。可知在九龙山系之后,与砾岩层未成之先,其间必有大不整合焉。”

所谓的“大不整合”应当代表一次大的地壳变动。因此燕山运动早在20世纪20年代以前就已经被中国年轻的地质学家发现了。

1.2 翁文灏的重大贡献

1926年,翁文灏在东京泛太平洋科学大会上发表了题为《中国东部的地壳运动》的文章,首次提出了燕山运动。次年,他对文章做少量修改后,以《中国东部中生代以来的地壳运动及岩浆活动》为题,发表在《中国地质学会志》(作者注:即现《地质学报》)上(Wong W H,1927)。翁文灏指出:

“我国沉积记录中虽常出现地层间断,但从震旦系(未变质的前寒武系)直到侏罗系、有些地方可到更高层位的全部序列显然是整合的,而没有或很少角度不整合的踪迹。在许多地点主要不整合见于侏罗系以上,故中生代运动在中国大地构造学中具极大重要意义,应过细予以研究。”

“北京西山九龙山和髻髻山岩系之间倾角的差别也许并不很显著,但在我看来,不会有多大疑问,在髻髻山岩系沉积之前,曾发生过重大的变形和剥蚀。”

翁文灏进一步将“髻髻山岩系沉积之前”细化为:“燕山运动年代应限于北京西山的九龙山系与髻髻山系之间。”

翁文灏提出的燕山运动概念,得到中国地质学界的热烈响应,很快为广地质学家所接受。

1.3 意见分歧

对比翁文灏的论述和《北京西山地质志》的描述,不难看出,翁文灏提出燕山运动的根据主要来自《北京西山地质志》所做的地质调查工作。这并不以为奇。因为翁文灏是当时的地质研究所的导师和领导人之一。我们现在已经很难区分《北京西山地质志》中哪些意见是翁文灏的,哪些意见是执笔人叶良辅的,或者别的什么人的。

但是值得注意的是:在燕山运动发生的具体时间上,叶良辅与翁文灏之间显然有分歧。叶良辅认为,“清水尖髻髻山之南翼,本层(指髻髻山系)继续整合于九龙山系之上。两者之间界限不清。所可区别者,惟斑岩状之砾岩不见於九龙山系,而含炭层与

富於石灰岩卵石之砾岩,似尝为髻髻山层之底部是也。”而在翁文灏1926年的文章的不太引人注目的一段脚注中,翁文灏写道:“叶良辅君感觉到髻髻山系之下的不整合相当难以肯定,因而认为它是一个可疑的整合。”“此外,髻髻山系底部出现石灰岩和花岗岩砾石,这一事实也清楚地表明在沉积之前曾有重要的变形作用。”

翁文灏所言“在髻髻山岩系沉积之前,曾发生过重大的变形和剥蚀。”的认识是正确的。然而,未经论证就肯定“燕山运动年代应限于北京西山的九龙山系与髻髻山系之间。”可惜过于仓促。此后的调查证明这种看法不全面,所谓“斑岩状之砾岩”同样也“见於九龙山系。”“而含炭层与富於石灰岩卵石之砾岩”并不一定是“髻髻山层之底部”,“清水尖髻髻山之南翼,本层(指髻髻山系)继续整合于九龙山系之上”的事实使得叶良辅驻足不前,失去了定义一次重要大地构造事件的机会。翁文灏根据“砾岩”覆盖在不同年代的地层上的观察,提出了燕山运动的概念,是大胆而有远见的。可惜对“砾岩”的定位略有误差,长时间影响了人们对燕山运动的正确认识。

1.4 谢家荣的更正

谢家荣(1933)提出与叶良辅类似的质疑,他认为:“本系(指髻髻山系)与九龙山系的接触,从前认为是一大不整合,据最近陈恺、赵金科、高振西诸君的研究,似乎其间连清切分界的地方也没有,遑论不整合。因为本系内有凝灰岩,而九龙山系内亦未尝没有,所以自下而上,岩性逐渐变迁,竟找不到间断的地方。”“九龙山系和其下面的地层,不但是假整合,并且还是不整合。假整合只表示侵蚀的痕迹,而不需有造山运动,不整合则不然。果如此说,在九龙山系以前,应当另有一个造山运动(谢家荣,1933)。”

谢家荣1937年进一步明确指出(谢家荣,1937):

“在西山近年的研究反复地表明,在九龙山组与门头沟煤系之间有一个明显的不整合。在这种解释的各种证据中,最有决定意义的有以下几点:

“九龙山组与各种不同的地层相接触,如下侏罗统、二叠系乃至奥陶系石灰岩。换句话说,九龙山组是躺在不同成分截短了的表面之上的。”

“在九龙山组底部存在明显的巨厚底砾岩。”

在《中国主要地质构造单位》一文及系列著作中,黄汲清支持了谢家荣的观点(Huang,1945;黄汲清,1954;1960):他指出:“我将提议说,髻髻山系相当于部分的九龙山系,二者在年代上相差不很多,而

只是在相的方面有所不同。如果此项解释是正确的,那么,九龙山系前和髫髻山系前的不整合将是吻合的”。

此后在很长一段时期内,人们把注意力放在按照槽台假说对燕山运动的分期上,或者按照板块学说解释燕山运动的成因,而对代表燕山运动的主要不整合面何在,缺乏统一认识。

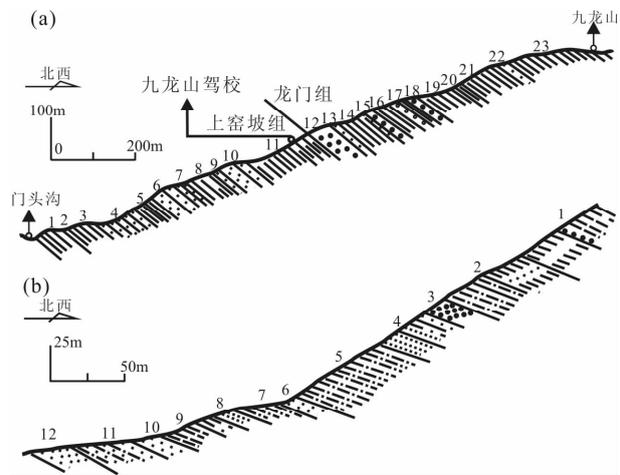


图 5 《北京西山地质志》(a)和 Wang C C 等(1933)

(b)附侏罗系含煤碎屑岩与上覆砾岩剖面图

Fig. 5 The cross sections of the top of Upper Yaopo formation and the bottom of Longmen formation(a) after "Geology of Hsi-Shan or the Western Hills of Peking" (Ye Liangfu, 1920); (b) modified from Wang C C et al., 1933)

2 九龙山南坡侏罗系剖面的重要意义

在中国地质调查局和地质力学研究所的支持下,从 2009 年起开展了对燕山运动的再研究。为了验证当年对燕山运动不整合面的确定,首先在北京西山踏勘了一系列剖面,其中以北京门头沟区九龙山南坡,即九龙驾校东门外的剖面最能说明问题。这不仅因为剖面的交通条件方便,露头因修公路剥去表面的风化层,更由于事后发现《北京西山地质志》所附剖面中,正好有九龙山南坡的剖面,其位置大体和九龙驾校剖面的位置相当(图 5a),而 Wang C C 等(1933)年《京西门头沟煤田》一文中所附剖面图同样也大致在这一位置上(Wang C C et al., 1933)(图 5b),这就为对比创造了极好的条件。

2.1 砾岩在九龙山组底部早已被发现

从《北京西山地质志》所附的综合柱状图和九龙山剖面图可以清楚地看到,侏罗系被分为上、下两

统,下统分为门头沟煤系和九龙山组,上统为髫髻山组。

两张图上都清楚地标出编号分别为 12(或 3)、15 和 17 的 3 层砾岩,这说明《北京西山地质志》断言的“斑岩状之砾岩不见於九龙山系”的判别准则是不全面的。覆盖在不同年代地层上的“砾岩”从九龙山组之前就已出现,而不是晚到髫髻山组底部。门头沟煤系反映的是相对稳定的沉积环境,而所谓“斑岩状之砾岩”,即角砾状砾石占很大比重的砾岩,反映的是动荡的沉积环境,应当更接近九龙山组。不知道出于何种理由,《北京西山地质志》的作者把编号为 12、15 的砾岩划归门头沟煤系,而把相隔不远的编号为 17 的砾岩则划归九龙山系的底部。

2.2 区域性逆断层已经发生

九龙山南坡剖面中含煤碎屑岩之上的第一层砾岩(即龙门组底部砾岩)砾石成分复杂,并可见有含燧石条带白云岩碎屑,这些碎屑成分与该地区大量元古代地层岩性相同,说明当时元古界已抬升到地表,其岩层风化后的碎屑物沉积保存在龙门组砾岩中,应是超大规模的逆断层作用结果,使得侏罗系含煤碎屑岩层与元古界之间的古生代和早中生代地层被剥蚀殆尽,从被剥蚀掉的地层厚度可以推断,逆断层的垂直断距可达 4000 余米。

2.3 龙门组的划分

王竹泉 1932 年应中英煤矿公司的邀请,对门头沟矿区进行了较详细的地质调查。1933 年发表了题为《京西门头沟煤田》的文章(Wang C C et al., 1933)。为了适应煤矿生产的需要,他把《北京西山地质志》命名的门头沟煤系,细分为下窑坡组、上窑坡组和龙门组,同时将上述 3 层砾岩全部划归龙门组(图 5,图 6)。这种划分是对《北京西山地质志》一种合理的修正,被一直沿用至今。然而,对龙门组真正的含义,除少数作者外(赵越,1990),很少有人给予足够的重视。

2.4 判断燕山运动不整合的两条准则

翁文灏 1926 年曾指出“北京西山九龙山和髫髻山岩系之间倾角的差别也许并不很显著,但在我看来,不会有多大疑问,在髫髻山岩系沉积之前,曾发生过重大的变形和剥蚀(Wong W H, 1927)。”

很少有人注意到翁文灏指出的“岩系之间倾角的差别也许并不很显著”这句话的真正含义。他实际上指的是燕山运动一个极为突出的特点,即运动产生的变形以脆性断裂为主,褶皱极不发育,因此极少能见到角度不整合。针对这一特点,翁文灏提出

了在不明显角度不整合条件下判别不整合的两个准则。

第一个准则：“不整合之存在不能尽于地层倾斜之不一致求之。如异种地层之接触，及砾岩岩石之来源等亦应予以深切注意。”“异种地层之接触”是指同一层砾岩在不同地点覆盖在不同年代的地层上。翁文灏在提出燕山运动时，运用了这一准则，遗憾的是把九龙山底部的砾岩当成髻髻山砾岩，以至于把燕山运动的年代误定在九龙山组与髻髻山组之间。

判别不整合的第二个准则是砾岩岩石来源。在地壳变动以断裂为主、褶皱不发育的条件下，可以利用逆断层上盘上升过程中，重力坍塌在下盘上形成的砾岩来判断不整合面。这种砾岩在不同条件下被称为同造山砾岩、前陆盆地砾岩，或者磨拉石。龙门组砾岩就是典型的、燕山运动的同造山砾岩。

2.5 构造运动发生的时间限制

在被划分为龙门组砾岩层的底部砾石中见有大量燧石及含燧石白云岩，这些砾石显然来自元古界雾迷山组。

下伏在砾岩之下最新地层的年龄说明断裂发生时间不老于其沉积时期，砾石层则限定了断裂活动的最晚时限。砾岩中所含最老地层的砾石反映了断层垂直断距。按照这一思路不难发现，燕山运动逆断层发生的时间应当在中侏罗世煤系(上窑坡组)之后和煤系之上第一层砾岩(即龙门组砾岩)底部之间。垂直断距超过4000m，其断层面应当深深地插入上地幔。

从所附九龙山南坡剖面图可以看出，《北京西山

地质志》的作者已经发现了砾岩层中的燧石砾石，翁文灏本人也已发现砾岩中有碳酸盐岩的砾石，可惜没有把他自己确立的第二条准则用在这里。龙门组砾岩含有元古界砾石的事实说明，在龙门组最下面一层砾岩沉积之前，极强烈的断块运动已经发生，不整合面应当在龙门组之下。另一方面，上、下窑坡组含煤组及相应时代的地层在华北的广泛分布，直到煤系地层的顶部，未发现有北东向断块活动的破坏，断块活动应当发生在上窑坡组沉积之后。

由于两组之间再没有更小的地层划分，这是层序地层学所能达到的最高分辨率。所以，当年翁文灏确定的“燕山运动年代应限于北京西山的九龙山系与髻髻山系之间”应修改为：“燕山运动年代应限于北京西山的窑坡组与龙门组之间。”

3 龙门组砾岩的物质来源

九龙山北坡的剖面表明，断层把几千米地下深部的地层上推到地表，其剥蚀物沉积下来形成龙门组的砾岩，这显然是逆断层造成的后果。由于九龙山北坡剖面地层没有重要缺失，这一地段在逆断层推进时应当处于逆断层的下盘，而提供砾石物质来源应当是逆断层的上盘。那么物源区在哪里或何处是逆断层上盘呢？

最重要的逆断层的上盘是北京市的平原区。北京中心城区被永定河冲积扇的冲积物所覆盖，过去人们对第四系盖层以下的情况知之甚少。20世纪70年代开始对地热资源进行调查，在平原区打了一系列钻孔，发现大片地区从元古界雾迷山组上部开

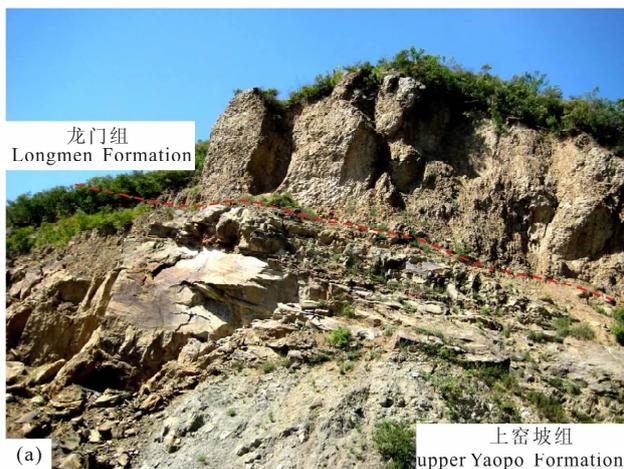


图6 北京西山地区侏罗系上窑坡组与龙门组接触关系

Fig. 6 Contact between the Upper Yaopo Formation and Longmen Formation in the Western Hills basin

(a) 上窑坡组含煤碎屑岩与龙门组砾岩接触面特征；(b) 一龙门组砾岩特征

(a) —Contact between Upper Yaopo Formation and Longmen Formation; (b) —the characteristic of Longmen Formation conglomerate)

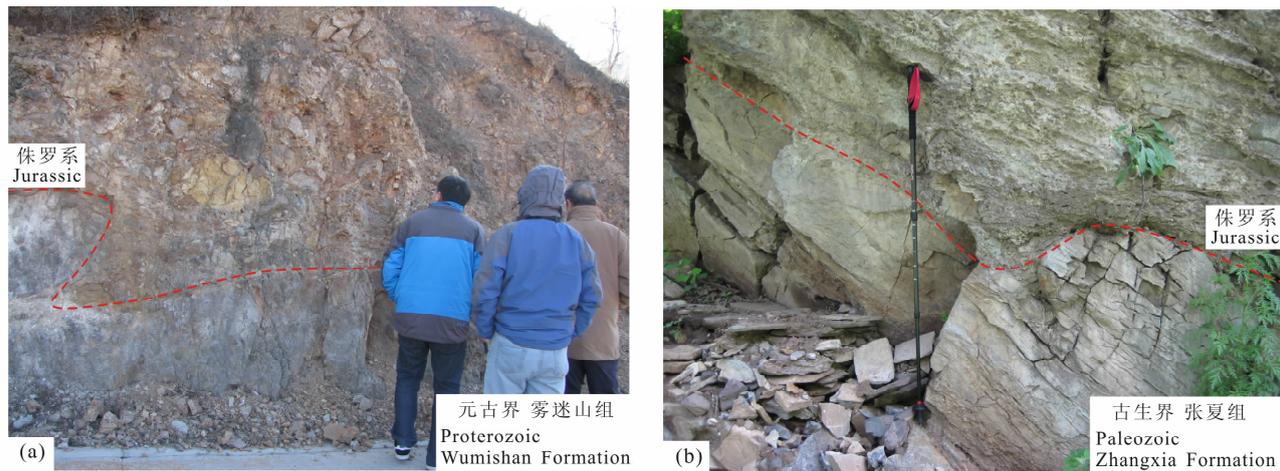


图 7 北京西山不同构造位置龙门组砾岩赋存特征

Fig. 7 Characteristics of Longmen formation conglomerate in different structure positions of Western Hills of Beijing

始,直到上窑坡组乃至以上,缺失了几千米的地层(张宏仁,1998)。北京平原区显然曾经是逆断层的上盘。这一点有力地证明了以上根据九龙山南坡剖面所做的推断。

北京西山与北京平原区之间的黄庄-高丽营断裂无疑就是产生龙门组砾岩的北东向主要逆断层之一。燕山运动开始时,北京平原区相对于北京西山急剧上升了超过 4000m,突出地表的部分在重力作用下坍塌在下盘上,形成龙门组砾岩。有的地方突出地表的断块甚至来不及瓦解,形成独特的“八宝山”断块。钻孔发现“八宝山”断块向东北延伸,地下发现有大量砾岩,被称为“洼里砾岩”,其实也是紧靠主断层面的龙门组砾岩。

虽然在北京平原区有大量钻孔,但由于取岩芯的困难,对古不整合面很难有直观的认识,该现象在昌平韩家台村北见到了代表逆断层上盘的极好露头(图 7)。雾迷山组白云岩的表面参差不齐,上面覆盖着含大量棱角状白云岩砾石的砾岩层。

刘公沟剖面相当于《北京西山地质志》所说的砾岩覆盖在“下震旦系之鲕状灰岩之上”的剖面(《北京西山地质志》所说的下震旦系就是寒武系)。砾岩中所含砾石绝大部分是古生界的石灰岩,属于极其近缘的产物。

4 龙门组砾岩作为燕山运动主不整合面标志的普遍意义

以上的讨论集中在北京地区。然而,事实表明中侏罗世含煤碎屑岩或相对粗碎屑岩之间的界面作为燕山运动主不整合面,在整个华北地块乃至华南地块都

普遍存在(图 8)。

在华北北缘的辽宁西部有一个与北京上、下窑坡组同期的北票组,北票组煤系地层之上覆盖着海房沟组砾岩,后者具典型的冲积扇相沉积特征(图 8a)。翁文灏曾进行过调查,发现“底部砾岩中有时砾石甚巨,为太古界之花岗岩或片麻岩所成,凡此皆以证明此层沉淀之时侵蚀作用之猛烈而深入,即以证明此层生成以前造山作用之急剧而伟大(Wong W H,1927)。”

与北京西山盆地可对比的还有山西大同的大同组和上覆的云冈组砾岩(图 8b)。云冈组砾岩中砾石磨圆度较好,砾石以石英砂岩为主,沉积特征指示其形成于冲积扇-辫状河流环境,也是近源堆积的产物,但其结构成熟度和成分成熟度相对于龙门组和海房沟组都较好。

柳江盆地位于华北北缘河北省境内,周边保存有华北克拉通典型沉积地层序列,盆地内下花园组含煤碎屑岩之上为一套冲积扇砾岩(图 8c)。

具有同样特点的还有燕山西部的尚义盆地和中西部的下花园盆地、太行山构造带内的宁武-静乐盆地等。

5 判别造山运动主幕的准则

5.1 翁文灏观点的转变

燕山运动的提出正值地槽假说盛行的年代,学界普遍认为地壳运动就像有机体一样,有其发生、发展、巅峰、衰减、消亡的旋回过程,而把推覆体、逆掩断层和花岗岩浆的活动看作是巅峰的标志。翁文灏原来定义的燕山运动以单一的断裂为主,似乎够不上巅峰的标准。



图 8 华北和华南地区不同盆地侏罗系含煤碎屑岩系与上覆砾岩特征

Fig. 8 The Jurassic coal-bearing clastic rocks and the overlying conglomerate in different basins in North and South China

(a) — 北票盆地; (b) — 大同盆地; (c) — 柳江盆地; (d) — 华南象山盆地

(a) — Beipiao basin; (b) — Datong basin; (c) — Liujiang basin; (d) — Xiangshan basin in South China

1927 年冬和 1928 年初,翁文灏等人两度考察了北票煤田的地质构造,当地的逆掩断层给他留下了深刻的印象,并以《热河北票附近地质构造研究》为题刊发了论文。论文中写道:“余从前尝论中国东部燕山期地壳运动之重要,按之北票地质则知所谓燕山期者应相当于上煤系及上火山岩系间之不整合,仅为绪动期间,而主要运动则为时尚稍后,而其动之性质又极猛烈,使余前说不得不有所补充或修正(翁文灏,1928)。”

《热河北票附近地质构造研究》一文中还提出将燕山运动分为三期的观点:“由上研究,余拟分燕山期为下列三分期。A 期地壳变动——此期在侏罗纪之末或白垩纪之初,地层起宽缓之折曲或拗曲,大部分倾斜不甚急,而局部的上下升降则颇大。

“中间火山期——大多数地方在白垩纪之初,火山喷发甚盛,亦有少数地方从侏罗纪之终,火山作用

即已开始。其岩石先为安山岩,渐变为粗面岩,或流纹岩,更继以花岗岩及闪长岩之侵入。”

“B 期地壳变动——火山作用之后,地壳变动剧烈,而在特别地带更发生剧烈折曲与逆掩构造。在造山带外之地方则折曲较为和缓。”

从翁文灏的这一修正开始,地质学界的注意力转移到燕山运动的分期、推覆体、逆掩断层、岩浆活动与同位素测年上(赵宗溥等,1959a;1959b;鲍亦冈等,1983; Davis et al., 1998; Xu Yigang, 2001; Gao Shan et al., 2004; 袁洪林等,2005; Wu Fuyuan et al., 2005; Yang Jinhui et al., 2006,2008; 董树文等,2008; 吴福元等,2008; Zhu Rixiang, 2012), 翁文灏(1926)最初提出的原来意义上的燕山运动反而被当作“绪动”而被冷落。

章鸿钊曾做过生动的描述:“自翁文灏先生唱燕山运动之说,一时言中国地质构造者莫不宗之。顾

以其时调查未遍,立论往往有所出入。即翁先生亦复前后稍异其词,始谓燕山运动在侏罗纪末,白垩纪前,继乃分为甲乙二期,而以期间为火山活动期。甲期在侏罗纪末,白垩纪初,谓之绪动。乙期在下白垩纪火山岩系之后,以盛大褶曲及逆掩断层为特征,为燕山运动之主要期(章鸿钊,1936)。”

5.2 断裂是燕山运动的主导性地壳变动

和其他造山运动相比较,燕山运动有其极为突出的特点。

首先,燕山运动并不是发生在“地槽”内,而是在比较稳定的地台上。以华北地台为例,从元古代到中侏罗世的十多亿年期间,一直保持相对稳定,而燕山运动的发生被称之为地台活化。至于地台为什么会活化,没有人能够给出答案。

板块构造学说风靡全球以后,人们试图用其来解释燕山运动。然而,进展并不顺利,因为中国大陆远离欧亚和太平洋板块边界,而且,从到目前为止能够恢复的板块运动历史看,也找不到任何一个大地构造事件能和燕山运动挂上钩。于是,又一个新名词诞生了:板内构造;这个名词的创造也并未能解决任何问题。

如果不是从概念出发,而是从实际出发,从燕山运动的特点出发,也许能够找到一条出路。

任何一个地区地壳的活化需要有能量和物质的补充,为此必须打通与地幔的通道。华北陆块之所以在漫长的十几亿年保持相对稳定,就是因为地壳完整,密封性好,地幔物质难以向地表渗透。

燕山运动的最大贡献在于产生了一系列北东向的,直通地幔的深大断裂。为地幔物质上升提供了通道,这些断裂直接导致岩浆的侵入和喷发,沿断裂侵入的岩浆,在地下形成岩浆房,孕育了“燕山期花岗岩”,形成大量矿产,原来强度较高的地壳因此强度降低,更易于形成推覆体、逆掩断层。

总之,基底断裂的形成是燕山运动、地台活化的前提,而其他各种构造变动则是后果。没有深大断裂的形成,就没有此后大量的岩浆作用、推覆体、逆掩断层、变质核杂岩和碎屑沉积盆地等一系列重大深浅部地质作用。从因果关系上讲,翁文灏最初定义的燕山运动,后来被他称为“绪动”的部分才是中国东部大地构造面貌发生重大转折的真正前因。“绪动”这个词,如果不考虑他的贬义,其实倒是燕山运动比较确切的写照。没有“绪动”就没有后继的地壳变动或地台活化。

5.3 燕山运动“绪动”——燕山事件

翁文灏当年一方面令人遗憾地贬低了“绪动”的重要性,但另一方面却正确地强调了被其他人忽略的“绪动”的特殊性。即不整合面上下地层倾角差别很小。“地层起宽缓之折曲或拗曲,大部分倾斜不甚急,而局部的上下升降则颇大”,砾岩与“时代老少极不同之地层迳相接叠”,砾岩来源表明一些断块曾大幅度急剧上升“凡此皆以证明此层沉淀之时侵蚀作用之猛烈而深入,即以证明此层生成以前造山作用之急剧而伟大(翁文灏,1928)。”

“北京西山地区九龙山和髻髻山岩系之间的倾角差异不甚突出,但我并不怀疑在髻髻山岩系沉积之前确已发生重要的变形和剥蚀”。

“第二不整合即在上煤系与上火山岩系之间,本篇已论之甚详。然上下地层亦不甚见走向倾斜之差异,则此间地壳运动虽有升降,而殊少剧烈折曲,又可想见”。

在远离北京的辽北地区,以及以上提到的有与龙门组同期地层出露的任何地区,都可以见到类似现象。它说明燕山运动产生的变形是高度脆性的,这使得在相当大的范围内,无法找到与燕山运动相对应的角度不整合。只能看到逆断层造成的,不同断块参差不齐的抬升所导致的不同程度的地层缺失。这就是燕山运动发生时间难以确定的重要原因。

从组成中国大陆东部岩石圈的材料来看,并不具有特别的脆性,难以解释燕山运动缺乏褶皱所表现出来的极高的脆性,由于岩石也是一种固体材料,也许材料力学可以帮助解释这种奇怪的现象。

岩石材料的行为可以用互相串联的减震器和弹簧来模拟(图9)。当应变速率较小时,能量主要消耗在塑性变形——“减震器”上。如果应变速率过高,“减震器”来不及响应,一旦超过弹性极限,岩石就会破裂。近年来,随着民用航空的发展,飞机撞鸟导致的重大事故时有所闻。肉身的鸟为什么能把金属制成的飞机撞一个洞。就是因为两者相撞的速度很快。孩子吃的麦芽糖棒可以被用来很好地演示这一特性。如果对麦芽糖棒(关东糖)缓慢地伸拉,糖棒会被拉长但不断裂。如果用小锤快速一敲,糖棒就很容易碎裂。另一个例子是商店的橱窗玻璃。在快速打击下很容易粉碎。但在长期重力作用下,上部的玻璃会流到下部,使玻璃上薄下厚。

如果以上推理是正确的,那么燕山运动的“绪动”一定是一次地质历史上极为罕见的、速率极高的

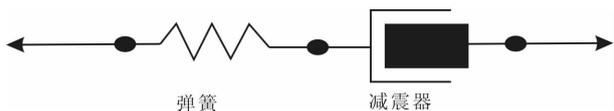


图9 Maxwell模型示意图

Fig. 9 Schematic diagram of the Maxwell model

应变,或者说一次突发的外来撞击造成的。所有一切令人瞩目的地壳变动如褶皱、岩浆活动、中国东部几大地块的铆合等,都是燕山运动的“绪动”的后果。从因果关系的角度看,“绪动”是决定性的。用“燕山事件”来称呼燕山运动的“绪动”更为确切。

6 燕山事件的古地磁佐证

20世纪以来,为了研究华北地块和华南地块的碰撞史,国内外学者开展了大量的古地磁工作,这些研究也为燕山运动提供了重要的佐证。

从晚三叠世到白垩纪,华北地块的视极移曲线变化显著,其中在中侏罗世前后更是有个突然的转折(图10),或说华北地块中生代视极移曲线在中侏罗前后有一个尖点,指示华北地块的边界条件在那时可能有急剧的突变,而燕山运动的“绪动”也正好发生在这一时间的前后。这显然并非巧合,尖点很可能就是燕山运动的具体表现。因为在此前后没有任何可以与燕山运动相提并论的构造运动,而华北地块的磁极移曲线在此前后也再没有别的尖点。另一个重要的现象是华南、华北两个地块的视极移曲线,从中侏罗世前后合为一体以后再也没有分开,两个地块从此相互增生成一体,这很可能意味着是燕山运动提供了强大的冲击,使两个地块铆合成一体。

Yang Zhenyu等(1992)有关中生代古地磁的工作是在鄂尔多斯盆地的陕北地区开展的(Yang Zhenyu et al., 1992),如果上述推论成立,本文前面所述有关燕山运动的问题,应当也可以推广到陕北。由于远离东南沿海,鄂尔多斯地块内部对燕山运动的反应不强烈,而地块边缘断裂带附近,则有较强烈的表现。

总之,如果把古地磁信息与其他现象综合在一起,可以为燕山运动的“绪动”提供有力的支持。

7 华南地块的燕山运动“绪动”

既然古地磁资料表明,华北与华南地块是在燕山运动“绪动”的时刻铆合成一体的,那么应当能够在华南地块找到与“绪动”相应的表现。我们曾希望在宁镇山脉有所发现。因为在早中侏罗世早期,在

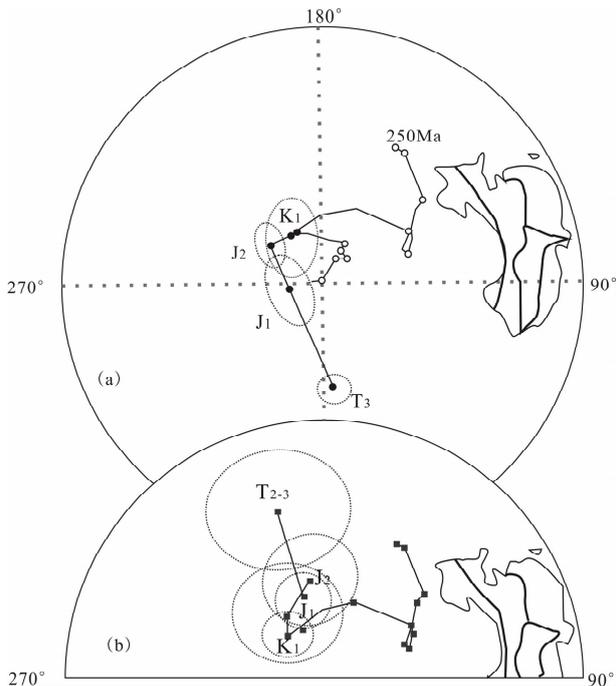


图10 华北和华南地块的磁极移曲线(据 Yang Zhenyu et al., 1992)

Fig. 10 The APWP of North China and the Southern China block (after Yang Zhenyu et al., 1992) (a) Apparent Polar Wander Path (APWP) of the North China block from the Upper Triassic to the Lower Cretaceous (solid circles). (b) APWP of the South China block for the same period (squares)

华南地块的陆相盆地中,沉积了含煤的象山群,表明当时沉积环境相对稳定,而到了晚侏罗世早期(西横山期)在观音山、韩府山等地堆积了厚达千余米的砾岩、砂砾岩、含砾中、粗粒长石石英砂岩等粗碎屑物(图8d)。砾石成分为灰岩、砂岩,分选性较差;与龙门组相似。但由于地层对比方面未取得一致意见,目前尚不能做肯定的判断。现在的问题是如何能确定华南深大断裂产生的时间,这是值得进一步工作的重点。

与华北地块相似的还有变形特点,在宁镇山脉燕山运动产生的变形同样也以断裂为主,褶皱也不发达。

8 东北地区

华北地块以北的我国东北地区,侏罗纪以前基本上是褶皱带(谢鸣谦,2000)。中生代以后才在拼贴基础上统一断陷下降成为较大的沉积盆地。大量钻井资料表明,沉积盆地基底是在燕山运动中形成的(图11)。由于没有露头,无法直接查证不整合面

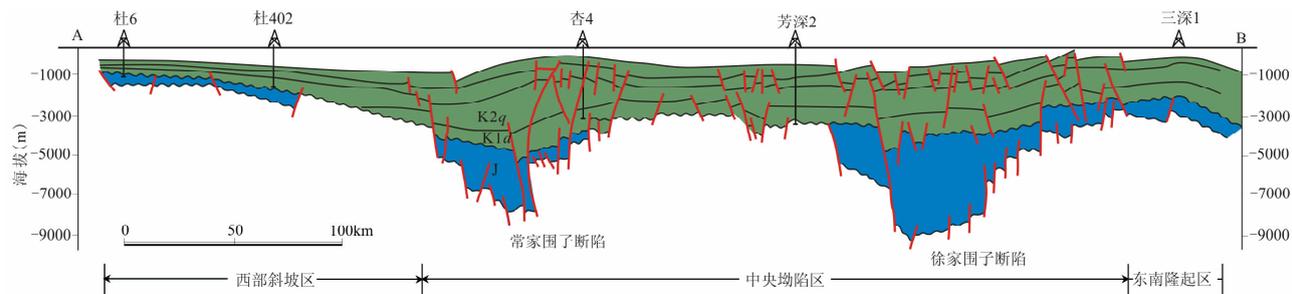


图 11 松辽盆地近东西向构造剖面图(据李国玉等,2002)

Fig. 11 The E-W cross section of the Songliao Basin(after Li Guoyu et al., 2002)

的存在,但由于燕山运动产生的北东向深大断裂同时切穿了华南、华北、东北三个地块,人们有理由相信,东北地区同样经受了燕山运动“绪动”的影响。钻孔资料表明松辽盆地的基底,形成于晚侏罗世。

综上所述,中国东部普遍存在以龙门组同造山砾岩为标志的,强烈的、影响广泛的造山运动,也就是燕山运动的“绪动”。

9 结论

根据以上所列大量事实,可以为燕山运动得出以下结论:

(1)代表燕山运动起始发生的界面,不是原来翁文灏所定的侏罗系九龙山组与髫髻山组之间,而是在门头沟煤系或上窑坡组与龙门组之间。

(2)龙门组砾岩是表征燕山运动开端的同造山砾岩,上窑坡组与龙门组间的界面就是燕山运动开端的不整合面。

(3)这一不整合面在华北地块、乃至华南地块的广泛分布,说明燕山运动开端的影响瞬时遍及中国东部大陆。

(4)燕山运动开始时造成的是一系列北东向高角度深大逆断层。从缺失的地层和不整合面以上砾岩所含砾石推断,垂直断距可达几千米乃至近万米。

(5)在广大的范围内,断裂未伴有明显的褶皱,因此很难见到角度不整合。

(6)逆断层上盘因上升受剥蚀,导致部分断块地壳减薄。

(7)断裂活动强度由中国东部向西逐渐衰减,或表明其动力来源方向为东部。掩盖在年轻沉积之下的华北平原基底断裂最密集,逆断层上盘抬升幅度和剥蚀量最大,揭露到元古界。太行山构造带内则剥蚀到古生界,而鄂尔多斯盆地大面积上基本未剥蚀,仅在地块边缘有较强烈的反映。

(8)沉积岩层序列说明岩浆活动明显晚于断裂

活动,是断裂为岩浆活动创造了条件。砾岩之上最早的火山岩同位素年代学定年结果为 161Ma,表明初始活动不晚于 161Ma,即为中侏罗世晚期。

(9)变形以挤压开始,北京平原区断块先是高速抬升,几千米地层被剥蚀,继之以拉张。原来相对上升的上盘转而下降,形成盆地并接受新沉积。

参 考 文 献

- 鲍亦冈,谢德源,陈正帮,穆炳涛. 1983. 论北京地区燕山运动. 地质学报, 2:195~204.
- 鲍亦冈. 2001. 北京地质百年研究:北京地区基础地质研究的历史与最新成果. 北京:地质出版社,附图.
- 董树文,张岳桥,陈宣华,龙长兴,王涛,杨振宇,胡健民. 2008. 晚侏罗世东亚多向汇聚构造体系的形成与变形特征. 地球学报, 29(3):306~317.
- 黄汲清. 1954. 中国主要地质构造单位. 北京:地质出版社,1~162.
- 黄汲清. 1960. 中国地质构造基本特征的初步总结. 地质学报, 40(1):1~37.
- 李国玉,吕鸣岗. 2002. 中国含油气盆地图集(第二版). 北京:石油工业出版社,6.
- 任纪舜,陈廷愚,牛宝贵. 1990. 中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化与成矿. 北京:科学出版社,1~218.
- 翁文灏. 1928. 热河北票附近地质构造研究. 地质汇报, 11:1~23.
- 吴福元,徐义刚,高山,郑建平. 2008. 华北岩石圈减薄与克拉通破坏研究的主要学术争论. 岩石学报, 24(6):1145~1174.
- 谢家荣. 1933. 西山地质的新研究. 见:谢家荣. 2007. 谢家荣文集, 第二卷,地质学(2). 北京,地质出版社,115~121.
- 谢家荣. 1937. 北平西山地质构造概说评述. 地质论评, 2(4):269~287.
- 谢鸣谦. 2000. 拼贴板块构造及其驱动机理——中国东北及邻区的大地构造演化. 北京:科学出版社,1~260.
- 叶良辅. 1920. 北京西山地质志-地质专报,中华民国农商部地质调查所,甲种1号.
- 袁洪林,柳小明,刘勇胜,高山,凌文黎. 2005. 北京西山晚中生代火山岩 U-Pb 锆石年代学及地球化学研究. 中国科学 D 辑, 9:821~836.
- 张宏仁. 1998. 燕山事件. 地质学报, 72(2):103~111.
- 章鸿钊. 1936. 中国中生代晚期以后地壳运动动向与动期之检讨并

- 震旦方向之新认识. 地质论评, 1(1): 7~32.
- 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.
- 赵宗溥, 何铸文. 1959a. 北票地区的侏罗纪地层层序及燕山期火山活动、地壳运动及构造形态的几个问题. 地质科学, 2(2): 45~48.
- 赵宗溥. 1959b. 论燕山运动. 地质论评, 19(8): 339~346.
- 朱日祥, 陈凌, 吴福元, 刘俊来. 2011. 华北克拉通破坏的时间、范围与机制. 中国科学: 地球科学, 41(5): 583~592.
- 朱日祥, 徐义刚, 朱光, 张宏福, 夏群科, 郑天愉. 2012. 华北克拉通破坏. 中国科学: 地球科学, 42(8): 1135~1159.
- Davis G A, Wang Cong, Zheng Yadong, Zhang Changhou. 1998. The enigmatic Yinshan fold-and-thrust belt of northern China: new views on its intraplate contractional styles. *Geology*, 26: 43~46.
- Gao Shan, Rudnick R L, Yuan Honglin, Liu Xiaoming, Liu Yongqing, Xu Wenlang, Ling Wenli, Ayers J, Wang Qinghai. 2004. Recycling lower continental crust in the North China Craton. *Nature* 432, 892~897.
- Huang T K. 1945. On major tectonic forms of China. *Memoirs of National Survey of China, Ser. A*, 20. 1~165.
- Wang C C, Chi Y S. 1933. The coal field of Mentoukou, West of Peiping. *Bulletin of the Geological Society of China*, 399~413.
- Wong W H. 1927. Crustal movements and igneous activities in eastern China since Mesozoic time. *Bulletin of the Geological Society of China*, 6(1): 9~37.
- Wong W H. 1929. The Mesozoic orogenic movement in eastern China. *Bulletin of the Geological Society of China*, 8(1): 33~44.
- Xu Yigang. 2001. Thermo-tectonic destruction of the Archean lithospheric keel beneath eastern China: evidence, timing and mechanism. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A* 26, 747~757.
- Yang Jinhui, Wu Fuyuan, Shao Ji'an, Wilde S A, Xie Liewen, Liu Xiaoming. 2006. Constraints on the timing of uplift of the Yanshan Fold and Thrust Belt, North China. *Earth and Planetary Science Letters*, 246 (3-4): 336~352.
- Yang Jinhui, Wu Fuyuan, Wilde S A, Belousova E, Griffin. 2008. Mesozoic decratonization of the North China Block. *Geology*, 36(6): 467~470.
- Yang Zhenyu, Courtillot V, Besse J, Ma Xinghua, Xing Lisheng, Xu Shujun, Zhang Jingxing. 1992. Jurassic paleomagnetic constraints on the collision of the North and South China Blocks. *Geophysical Research Letters*, 19 (6). 577~580.
- Zhu Rixiang, Yang Jinhui, Wu Fuyuan. 2012. Timing of destruction of the North China Craton. *Litho*, 149: 51~60.

The Triggering of Yanshan Movement: Yanshan Event

ZHANG Hongren¹⁾, ZHANG Yongkang²⁾, CAI Xiangmin³⁾, QU Hongjie⁴⁾, LI Hailong⁴⁾, WANG Meng⁵⁾

1) *Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China, Beijing*, 100812; 2) *Xu Xiaoke Research Association of Jiangsu Province, Nanjing*, 210018; 3) *Beijing Institute of Geological Survey, Beijing*, 102206; 4) *Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing*, 100081; 5) *Exploration Technology Division, Minmetals Exploration & Development Co. Ltd. China, Beijing*, 100044;

Abstract

Yanshan movement is by far the most important Mesozoic tectonic event in eastern China, this event broke initially stable and intact North China Craton into a series of NE blocks with deep faults, and led to intense igneous activity. Owing to the lack of obvious angular unconformity, there was great difficulty in interpreting the process of Yanshan orogen. Based on the historical research on the concept of Yanshan movement, the stratigraphic comparison between the plain and Western Hills areas of Beijing, combined with the evolution of other late Mesozoic Basin in North China, it is inferred that the time of triggering of Yanshan movement should be after the Middle Jurassic Upper Yaopo coal-bearing formation and before syn-orogenic conglomerate of Longmen formation. Deep faults caused by the movement formed the tectonic framework of eastern China, and provided channel for intense magmatic activity. According to the extremely brittle characteristics of tectonic deformation (only faulting, no folding), combined with the principles of mechanics of materials, we propose that the Yanshan movement in eastern China is the consequences of very high strain rate, and the deep faulting event, could be defined as the "triggering" of the Yanshan movement, or "the Yanshan event".

Key words: Yanshan movement, Western Hills of Beijing, conglomerate of Longmen formation, triggering, Mechanics of materials