

燕山地区平衡地质剖面研究

杨 农 陈正乐 许顺山

(中国地质科学院地质力学研究所)

摘 要 本文在深入分析燕山地区区域地质背景和地壳表层结构的基础上,确定了中生代构造形变平衡剖面计算的准则和主要滑脱层,对区内 3 条主要构造剖面进行了平衡计算,并运用各种尺度的多种应变测量数据对计算结果进行了有效核查,得出燕山造山带印支期 SN 方向缩短率为 27.9%,燕山期缩短率为 10.9%,较为准确地描述了燕山造山带中生代构造形变的面貌。

关键词 燕山地区 中生代 平衡剖面

目前,平衡地质剖面技术已是地质研究工作中的一项重要方法,剖面平衡与否成为检测地质构造解释是否正确合理的标准方法。这种方法在造山带构造研究中的运用,对于准确建立构造几何模式,合理解释成因机制,定量地研究形变等均有重要意义。本文应用平衡剖面技术,对燕山地区 3 条剖面进行了平衡计算,在剖析该区影响平衡计算诸因素基础上,计算了造山带主变形期——印支期的压缩量,并对比计算了燕山期造山带压缩量,在此基础上提出了印支期造山带模式并讨论了其形成机制。

1 平衡剖面原理

平衡剖面是指可以把剖面上的变形构造通过几何原理进行恢复的剖面,是一种可信度较高的剖面。它的基本原理是物质不灭(守恒)定律。在构造形变上物质守恒可视为变形前后岩层体积守恒(或变形前后体积变化很小)。因此,体积守恒是编制平衡剖面时应遵循的总原则。如构造变形主要是平面应变,此时三维空间的体积守恒就能转化为与构造运动方向一致的剖面上的面积守恒。如变形前后岩层厚度保持不变,面积守恒就表现为长度守恒,若各地层间没有不连续面,恢复后的原始长度在同一剖面中应当一致。

自 Dahl Strom(1969)系统地提出平衡方法,并成功地应用于阿巴拉契亚山前的 Alberta 油田以来,该方法受到普遍重视和广泛应用。在造山带的构造研究中已有许多地质学家采用这种方法, Hosseck(1979)曾将其用于估算造山带地壳的压缩量, Woodward 等(1986)还在他们编制的南阿巴拉契亚剖面中利用了应变资料,以减少剖面平衡过程中的误差。在以往的造山带平衡剖面研究中,很少有讨论多期构造运动对造山带地壳缩短作用,本文拟对燕山地区印支期与燕山期变形分别讨论。

2 燕山地区区域构造格架

平衡地质剖面的建立有赖于对区域地质构造演化、构造变形特征的深刻认识。燕山地区位于华北板块的北部,地壳组成具有明显的二分性,基底为太古宙—早元古代中深变质岩系,地壳表层为中上元古界巨厚的碎屑岩—碳酸盐岩系及古生界、中生界和新生界等。就地层厚度而言,中上元古界(最大可达 10km 左右)和中生界(最大可达 4.3km)是组成该区地壳表层的主要地层,为显生宙各期构造运动变形的载体。燕山地区地壳演化经历了长期复杂的历史,中生代早期的印支运动是该区地质演化的重要转折时期和构造变形发生的主要时期,奠定了燕山造山带的主体格架,表现为平泉—宽城以西的 EW 向褶皱断裂带和以东的 NE 方向褶皱断裂带,在 SN 方向上表现为 3 大构造变形带即:南部以马兰峪复背斜为主干的褶皱带;中部以鹰手营子复向斜为主干的褶皱逆冲构造带和北部强烈的断裂褶皱带。中生代中晚期的燕山运动,是该区构造变形方式、方向发生转换的时期,为区域岩浆活动、断裂活动强烈时期,形成了多条 NE—NNE 方向的构造岩浆岩带,此时也是中生代主要的陆内盆地形成发展时期。

3 剖面的选择与计算

3.1 剖面选择与计算原则

剖面的平衡方法要求剖面线平行于构造运移方向,因此在选择剖面时我们遵循:(1)垂直于主要构造带方向;(2)垂直于主体褶皱方向;(3)垂直于主要逆冲断层的走向等原则。考虑到印支期和燕山期构造变形叠加作用,为了较准确有效反映两期变形客观面貌,在剖面位置的选择时,就注意到尽量采用没有受后期构造改造或受后期构造影响较小的剖面,在不可避免后期改造的情况下,采用了不整合界面上、下地层产状恢复改造前期构造的方法,进行古构造恢复,在此基础上进行剖面平衡。

本次计算采用面积守恒原则,对两条主干剖面进行平衡,对燕山期构造剖面采用线长平衡原则。

地层厚度使用得准确合理与否直接影响到平衡剖面的制做。根据作者对该区地壳表层结构的研究,中生代初期它是一个复杂不均一体,对这种地区 N. B. 伍德华特等曾在怀俄明区域剖面平衡中使用非层饼状地层的恢复方法,用剖面中个别点地层厚度估算全剖面地层整体厚度。为提高剖面地层厚度准确性,作者采用了表壳结构估算中各地层段的数据,建立了较为真实的楔形模型。

对于滑脱层的确定,作者除依赖通常由地表构造鉴别的方法外,还依据构造变形相分析,地层能干性差异等多因素,确定本区主要有长城系与太古界界面,串岭沟组、杨庄组及寒武系底部等 4 个滑脱层。滑脱层深度由剖面中各点地层厚度求得,在区域上各滑脱层为一、三维曲面。图 1 是长城系与太古界界面滑脱层的区域三维形态图,同样,其它各滑脱层均可做出类似图件。

3.2 计算结果

为较全面地反映燕山造山带不同区段印支期、燕山期构造面貌,依上述原则,作者在燕山东西两段各选取了一条主干剖面,在燕山期构造发育地段选取了一条剖面,分别进行剖面平衡,并运用数值计算方法求出了恢复剖面地层长度 l_0 ,缩短量 Δl ,缩短率 e 。蓟县—兴隆—潘家

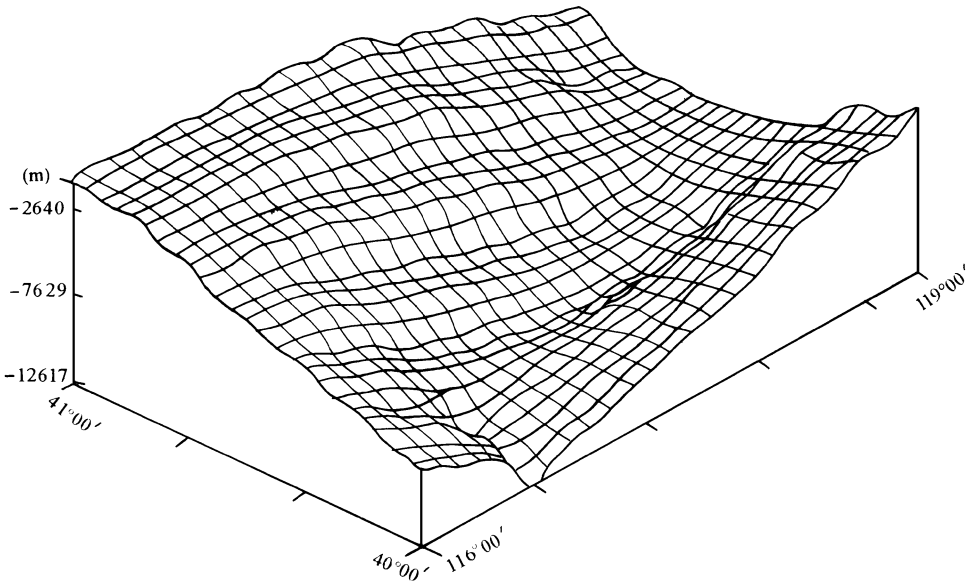


图 1 长城系与太古界界面滑脱层 3 维形态图

Fig. 1 Three-dimensional shape of detachment plane between Changchengian and Archean

店—承德市剖面 (图 2) 为 SN 方向, 横穿燕山腹地, 较全面反映了印支期南北 3 大变形幕的构造格架。剖面长 (l) 93km, 恢复后地层长度 (l_0) 129km, 剖面缩短量 (Δl) 36km, 缩短率 (e) 27.9%。下官屯—下板城剖面 (图 3) 为燕山东段印支期变形代表性剖面, 较好地反映了印支期北部和中部两个变形带的构造特征。剖面长 (l) 105km, 恢复后地层长度 (l_0) 仍为 122.5km, 缩短量 (Δl) 17.5km, 缩短率 (e) 14.28%。

承德市—孙杖子剖面 (图 4) 选取了中侏罗统进行线长平衡, 剖面明显展示了燕山期强烈断裂活动的特征, 剖面长 (l) 83.1km, 恢复后地层长 (l_0) 93.3km, 缩短量 (Δl) 10.23km, 缩短率 (e) 10.9%。

以上 3 条剖面的计算结果充分显示出印支期构造变形西强东弱, 印支期构造形变较燕山期构造形变在燕山造山带中占有更为重要的地位。

地壳收缩变形势必产生 3 维尺寸协调变化, 在剖面面积守恒的假设条件下, 可以用平衡剖面计算结果估算地壳表层垂直增厚量 (Δh), $\Delta h = h_0 - h$ (h_0 为变形前地壳表层厚度, h 为变形后厚度)。依据面积守恒有 $hl = h_0l_0$, 则: $h = h_0l_0/l$, $\Delta h = \Delta l h_0/l_0$ 。对于自长城系底到二叠系顶的印支期地壳表层, 我们曾计算出其 $h_0 = 6.69\text{km}$, 则燕山西段剖面 $\Delta h = 36 \times 6.69/93 = 2.589\text{km}$; 东段剖面 $\Delta h = 17.5 \times 6.69/105 = 1.115\text{km}$ 。

4 讨论

平衡剖面技术在造山带中的运用, 是在多种假设下进行的, 有必要用多种尺度应变测量数据核查其可靠性。为此, 作者进行了以下几种应力测量: ① 在显微镜下, 用 Fry 法和长短轴法对

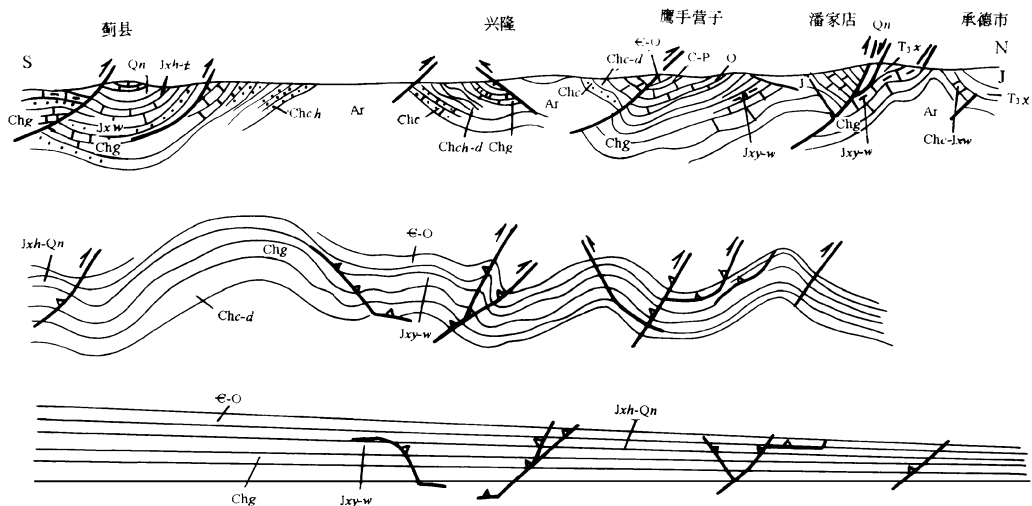


图 2 蓟县—兴隆—承德市平衡地质剖面

Fig. 2 Jixian- Xinglong- Chengde balanced section

J. 侏罗系; T_{3x}. 上三叠统杏石口组; C- P. 石炭—二叠系; O. 奥陶系; ∈ - O. 寒武—奥陶系; Qn. 青白口系; Jxh - t. 蓟县系洪水庄组—铁岭组; Jxw. 蓟县系雾迷山组; Jxy - w. 蓟县系—杨庄组—雾迷山组; Jxy. 蓟县系杨庄组; Chc - Jxw. 长城系常州沟组—蓟县系雾迷山组; Chg. 长城系高于庄组; Chch - d. 长城系串岭沟组—大红峪组; Chc - d. 长城系常州沟组—大红峪组; Chch. 长城系串岭沟组; Chc. 长城系常州沟组; Ar. 太古界

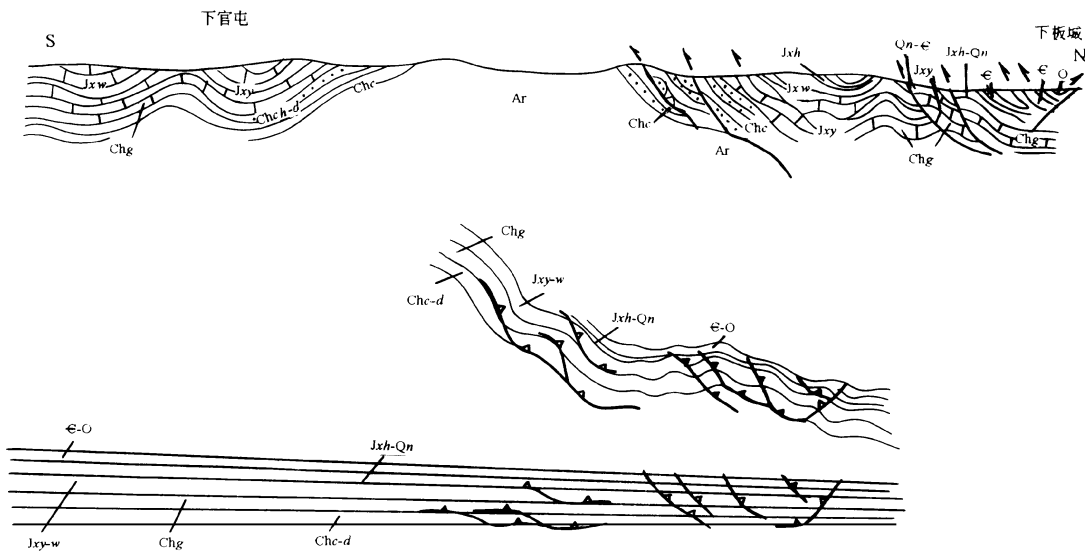


图 3 下官屯—下板城平衡地质剖面

Fig. 3 The balanced section from Xiaguantun to Xiabancheng

O. 奥陶系; ∈. 寒武系; ∈ - O. 寒武—奥陶系; Qn - ∈. 青白口—寒武系; Jxh - Qn. 蓟县系洪水庄组—青白口系; Jxh. 蓟县系洪水庄组; Jxw. 蓟县系雾迷山组; Jxy. 蓟县系杨庄组; Jxy - w. 蓟县系杨庄—雾迷山组; Chg. 长城系高于庄组; Chch - d. 长城系串岭沟组—大红峪组; Chc - d. 长城系常州沟组—大红峪组; Chc. 长城系常州沟组; Ar. 太古界

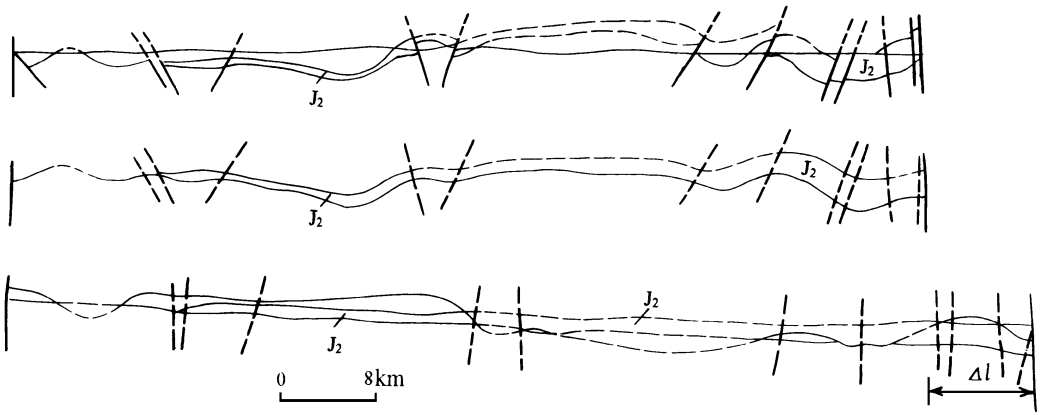


图 4 承德市—孙杖子中侏罗统平衡地质剖面

Fig. 4 The balanced section from Chengde to Sunzhangzi

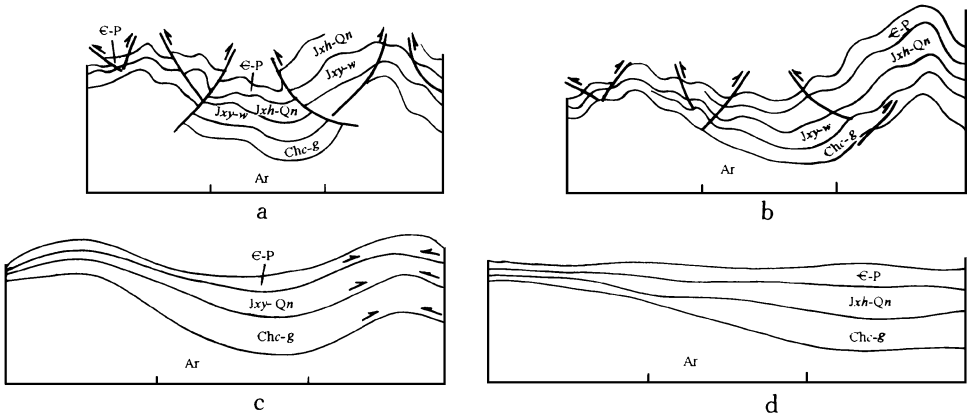


图 5 燕山地区印支期构造演化剖面模式图 (图注同图 2)

Fig. 5 Profil model of the tectonic evolution during Indosinian in the Yanshan Area

- a. 强烈褶皱和推覆构造形成阶段; b. 次级褶皱和逆冲断裂形成阶段; c. 大型褶皱和主滑脱层形成阶段;
d. 初始应力积累阶段

变形鲕粒进行测量,结果分别为 $R_s = 1.4 - 1.7, x/lz = 1.45 - 1.7$ ②对野外露头挤压透镜体和尖棱褶皱进行应变测量,测得应变值 X 分别为 0.341和 0.56③对区域性褶皱几何要素进行系统计算,20余个褶皱的收缩率 $X = 27.5 - 35.8\%$ 。总之,随着测量区域的扩大,应变值由大到小,最终接近造山带的收缩率,反映出造山带平衡剖面计算结果是准确的和客观的。

通过燕山地区平衡剖面研究,我们认为该区印支期构造变形在 SN 向挤压体制下经历了 4 个阶段,如图 5 所示。这 4 个阶段的持续发展形成了燕山造山带的主体格架。

参 考 文 献

- 1 N. B. 伍德华特等著,贾维民等译,平衡地质剖面。武汉:中国地质大学出版社,1991
- 2 宋鸿林,平衡剖面及其地质意义。地质科技情报,1985,4(1)
- 3 崔盛芹,论中国滨太平洋带的印支运动。地质学报,1983,57(1)
- 4 杨农,陈正乐等,冀北燕山地区印支期构造特征研究。北京:地质出版社,1996
- 5 陈正乐,杨农,燕山地区印支期构造应力场计算分析。地质力学学报,1996,2(1)

A STUDY ON THE BALANCED SECTION OF YANSHAN AREA

Yang Nong Chen Zhengle Xu Shunshan

(*Institute of Geomechanics, CAGS*)

Abstract Based on the detailed study of the regional geological setting as well as the supracrustal structure in the Yanshan area, we have shown what should be followed in calculating the balanced section of the Mesozoic deformation and determined the main decollement surfaces. Three main balanced sections have been constructed. The results are checked by various data of strain measurements. As a result, we have a shortening of 27.9% of the Yanshan orogen during the Indosinian and 10.9% during the Yanshan Movement of the giving a more accurate description of the Mesozoic deformational features of the area.

Key words the Yanshan area, Mesozoic, balanced section

第 一 作 者 简 介

杨农,男,34岁,副研究员,硕士。1984年毕业于中国地质大学(武汉),主要从事区域地质及构造地质研究。通讯地址:北京市海淀区民族学院南路11号地质力学研究所。邮政编码:100081