

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

论造山运动的时间特征

张传恒 王自强 贾维民

(中国地质大学,北京)



造山运动是指会聚板块边缘岩石圈构造加厚形成山带的过程,对其时间特征的认识历来存有争议。造山带变形构造研究表明,逆冲断裂是控制造山带发展、演化的主要变形机制,逆冲断裂扩展的方向性、序次性和长期性使笔者确信,造山运动是一个延续可达几十百万年的长期、分阶段的发展过程。造山运动发展阶段性主要表现为逆冲断裂带的转换和变形速率的变化。角度不整合形成机制和空间转换规律分析进一步证实了上述认识。“长期性”和“阶段性”是造山运动时间特征的两个不可分割的侧面。前陆盆地是研究造山运动的关键地区之一。

关键词 造山运动 时间特征 推覆构造 角度不整合

造山带是地质学家认识地壳结构、研究地球演变历史和发育规律的天然实验室,对于它的形成机制和发展过程一直是地学研究的中心议题之一。在19世纪中后期,地学界就开始用“造山运动”(orogeny)一词概括造山带的形成机制,意指通过构造作用形成山脉的过程。Boue(1874)首次明确地指出,造山运动就是指山脉内部变形构造的形成过程,而后,Gilbert(1890),De Lapparent(1893),Haug(1907),Stille(1919)都对“造山运动”的内涵做了界定,尽管他们的表述不一,但都认为造山运动主要是指形成造山带内构造变动(褶皱、断裂等)的过程。最近,一些学者以板块理论为基础重新定义了“造山运动”,表述为“造山运动是一个用以表征会聚板块边缘所有地质过程的集合名词”^[1],虽然此概念考虑了岩浆作用和变质作用,但由于板块的会聚主要通过岩石圈的俯冲和碰撞来实现,因此,变形构造的形成仍是造山运动的本质所在。所以,对造山运动时间特征的讨论必须以造山带内变形构造发育规律为基础。

1 命题的提出与历史回顾

自19世纪初,随着生物地层学的建立能够确定造山带的形成时间后,对造山运动的时间特征的认识就有了分歧。最早的争议以莱伊尔与博蒙(Elie de Beaumont)之间的论战为代表,争论的焦点是如何认识确定造山运动时间的证据,到本世纪早期形成了观点对立的两个学派,一是科伯-施蒂勒学派,他们认为造山运动是一种在全球各地同时、突发性的幕式事件,角度不整合是造山运动这种突发性事件最可信的标志;另一个是魏格纳-阿尔冈德学派,他们认为造山运动可能是一个长期的发展过程。50年代,野外资料的积累和微体古生物学的发展开始支持造山运动常常可持续几个“世”或几个“纪”的认识^[2]。50年代以后,板块构造理论的诞生改

变了地球科学的一些基本理论,但对造山运动的时间特征仍有不同的认识,即使在今天的造山带研究中,一些学者也总是自觉不自觉地将板块的对接、碰撞与某次突发性的(造山)运动联系起来。进入80年代,这个古老的命题又有了新的发展,Vail和Haq等根据层序地层学的研究成果建立起来了全球海平面变化曲线,认为不整合面具有全球等时性^[3,4],杜隆佩(R. Trumphy)也强调造山运动是一种突变事件。另一方面,许靖华、Sengor、李继亮等则强调造山运动的长期性和非全球等时性,不整合的瞬间性若存在的话也是一种局部的现象^[1,5]。

以上论战的基础主要是对角度不整合时间证据的理解,而基本没有考虑造山运动的直接产物——变形构造,没有充分考虑角度不整合的多成因性。以下主要通过讨论造山带变形构造的形成过程和角度不整合的形成机制来探讨造山运动的时间特征。

2 造山带内的变形构造是长期变形过程的产物

2.1 逆冲断裂是控制造山带发育的主要变形机制

地质界对于哪种变形机制控制造山带发育的认识经历了一个由表及里的过程。本世纪40年代以前,人们将造山带中所有的收缩、加厚作用都归因于褶皱,褶皱作用被广泛地用来替代造山运动^[1]，“褶皱幕”思想的提出和褶皱世代等同于造山运动期次的观点都主要源于这种认识。40年代中期,人们开始认识到由褶皱以外的其它变形构造引起的造山带的缩短、加厚可能远大于褶皱作用的结果^[6]。60年代中期以来,随着以人工地震技术为代表的地球物理研究方法在造山带研究中的广泛使用,造山带的深部构造被揭示出来,发现所有的造山带,无论是美洲的阿巴拉契亚、落基山造山带,还是欧洲的阿尔卑斯、亚洲的喜马拉雅造山带,无论是中国东部的秦岭—大别山、还是中国西部的天山造山带,它们构造格架都是受逆冲断裂控制,低角度的逆冲断裂作用被认为是造山带缩短、加厚的主要机制这一认识得到了证实^[7-10]。

变形机制研究表明,褶皱的发育明显受断裂构造的控制。在脆性变形条件下,大量发育的是断弯褶皱,它的形态和位态明显受断层的控制,而且根据断层对断弯褶皱的几何控制关系,已经建立起了断层与褶皱之间的几何定量关系^[11]。在韧-脆性或韧性变形条件下,褶皱的发育实质上是吸收、转化逆冲断裂位移的一种构造形式。从80年代开始,国内外的一些学者在不同的造山带对韧-脆性或韧性变形条件下逆冲席内部褶皱构造的发育规律进行了深入的研究,如Gibson & Gray对阿巴拉契亚南部的Pulaski逆冲席的研究^[9]、Gray & Willman对澳洲东南部Tasman造山带的研究^[12]、Lickorish对加拿大西部落基山地区Porcupine Creek复背斜的研究^[13]、Aller & Bastida对伊比利亚造山带Mondonedo推覆体的研究^[14]和最近笔者等对我国西南天山造山带的研究^[10],发现时代不同、地点不一的造山带,其逆冲推覆体内部褶皱、面理的形态和位态在垂直于主逆冲断裂的方向上呈规律性的变化,自下而上存在非共轴简单剪切、过渡变形和纯剪三个变形域,图1所示是各个变形域内发育的褶皱、面理及其它伴生构造的基本特征。褶皱轴面产状、翼间角和构造面理的位态在垂向上呈渐变过渡关系,揭示这种垂向分带性是递进变形的产物,而不是构造叠加的结果^[12-14]。

以上分析表明,逆冲断裂作用是控制造山带发育的最主要构造机制,褶皱构造的发育主要受逆冲断裂控制。

2.2 逆冲断裂的扩展具有方向性和序次性

造山带内的逆冲断裂不是同时活动的,而是沿着一定方向按照一定的序列渐次扩展的。Butler在总结了北美落基山、阿巴拉契亚、欧洲特提斯和Moine等构造带发育变形构造基础

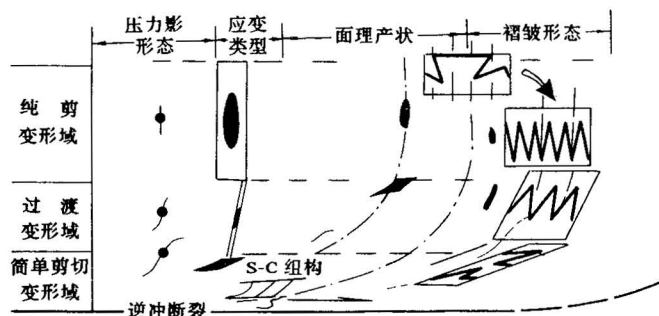


图 1 逆冲推覆体内部褶皱及其它伴生构造发育规律

Fig. 1 Development pattern of the folds and other associated structures within an individual nappe

显示推覆体内部变形构造的发育在垂直于底板断裂的方向上具有分带性,下部非共轴简单剪切变形域以发育 A-型褶皱、前翼褶皱和等斜褶皱为特征;中部过渡变形域以发育斜歪褶皱、倒转褶皱为特征,轴面与逆冲断层夹角为 30° — 60° ;上部纯剪变形域以发育对称尖棱褶皱和箱状褶皱为特征。Showing the features of three deformation regimes developed within an individual nappe: the lower non-coaxial simple shear regime characterized by the development of A-folds, forelimb folds and isoclinal folds with axial surface nearly parallel to the main floor thrust, the middle transition regime by forming oblique folds and overturned folds with an angle of 30° — 60° between the axial surface and main floor thrust and the upper pure shear regime by forming box folds and chevron folds.

上,提出逆冲断裂系的扩展有两种基本形式,一是背驮式,它的特点是逆冲断裂系向前陆地区递次扩展,断裂系内部逆冲断裂的相对时间顺序是上老下新;一是上叠式,它的特点是逆冲断裂系向造山带腹地地方递次扩展,断裂系内部逆冲断裂的相对时间顺序是上新下老^[15]。尽管实际上造山带逆冲断裂系的扩展序列远比上述两个端员形式复杂,但是可以肯定的是一个造山带内的逆冲断裂肯定不是同时扩展的。最近进行的一系列逆冲构造的砂箱实验也证实逆冲断层的扩展确实存在着方向性和序次性^[16]。

既然逆冲断裂系的扩展是有先后顺序的,那么由逆冲断裂的启动和移位控制的褶皱等其它变形构造也是渐次形成的,同一造山带内不同推覆体内相同世代的褶皱等其它变形构造并不一定能够进行等时对比,所以,不可能以褶皱世代为基础建立起一个适应整个山带的变形序列。相应地,褶皱构造的叠加,特别

是共轴叠加更不能简单地推论出多期造山的存在。以下通过两个实例对此作进一步说明:

山西大同鹅毛口褶冲带是板内造山的经典实例(图 2),其构造格架由上部构造层次的鹅毛口三角带和下部构造层次的七峰山—白洞断展褶皱带控制,主逆冲断裂以背驮式逆冲序列自东向西扩展,首先由于主底板断层 F_1 及分支断层 F_2 发育,使鹅毛口推覆体楔入石炭系中,并在移位过程中形成了 F_3 断裂和推覆体内部第一世代变形构造,随之启动 F_4 和 F_5 断裂以违序逆冲方式扩展,错断了底板断裂 F_1 ,并在三角带内形成第二世代的变形构造,而在这同时七峰山—白洞断展褶皱带中却只发育第一世代的变形构造,显然鹅毛口推覆体内的第一世代变形构造与七峰山—白洞断展褶皱带内的第一世代的变形构造是不等时的,更不能仅根据鹅毛口推覆体内发育叠加构造推论鹅毛口褶冲带存在两期造山。

另一个实例为加拿大西部豪猪湾复背斜带,代表中、深层次的构造变形^[14]。图 3 表示了复背斜带变形构造的形成过程,从图中可以看出,首先 F_1 沿 Chancellor 群和 Gog 群接触面处扩展,拆离面之上的 Chancellor 群,因剪切、缩短而形成第一世代的等斜平卧褶皱及轴面劈理,此时的 Gog 群并没有形成透入性的变形构造(图 3a);而后较深层次的断裂 F_2 在 Gog 群的底部扩展,由此而在 Gog 群中形成第一世代的变形构造,在 Chancellor 群中形成第二世代的变形构造(图 3b),叠加改造了第一世代的平卧褶皱;最后,更深层次的 F_3 在 Miette 群底部发育,在

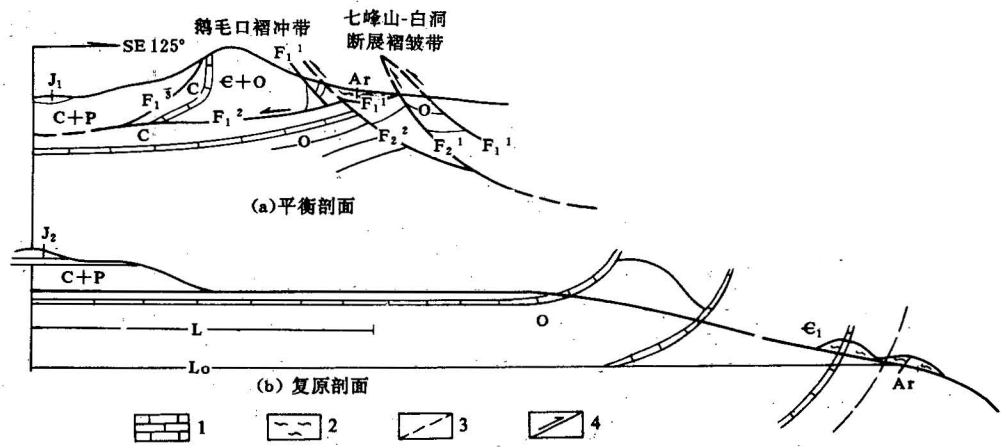


图 2 山西北部大同鹅毛口褶皱冲带的平衡剖面及复原剖面
Fig. 2 Balanced and restored geologic cross-section through the Emaokou
fold-thrust belt in Datong, Shanxi province
1—灰岩; 2—桑干群; 3—不整合; 4—逆冲断层
1—Limestone; 2—Sanggan Group; 3—unconformity; 4—thrust

Miette 群中形成第一世代变形构造, Gog 群中形成第二世代变形构造(图 3c)。表 1 列出了变形构造的世代和形成的相对时间序列, 证实不同推覆体同一世代的变形构造并不是同时形成的, 褶皱叠加不代表多期造山。

表 1 加拿大西部豪猪湾复背斜带变形构造的发育序列
Table 1 Development sequence of the deformational structures within
the Porcupine Creek Anticlinorium, West Canada

	Chancellor 群	Gog 群	Miette 群
逆冲断裂 F ₁	D ₁	×	×
逆冲断裂 F ₂	D ₂	D ₁	×
逆冲断裂 F ₃	+	D ₂	D ₁

注: ×—无变形构造发育; +—有影响但无新一世代构造形成; D—表示变形世代

2.3 逆冲断裂系的扩展是一个长期的过程

逆冲构造有方向、有序次地的扩展控制着造山带内变形构造的形成, 这个扩展过程是在一个持续可达几十百万年甚至上亿年这样一个相当长的时期内完成的。

瑞士西北部的阿尔卑斯前陆盆地是一个典型由海相复理石前陆盆地渐变为陆相磨拉石前陆盆地的实例, 它记录着造山过程后半段的演变历史。边缘逆冲断裂渐次向北扩展使山带增生, 并控制着前陆盆地的迁移和盆内沉积物的发育, 基于这种有机的成因联系并结合断层切层关系, 精确地确定出 Prealps 和 Ultrahelvetic 推覆系在 38Ma 以前就开始启动, Sub-Helevetic

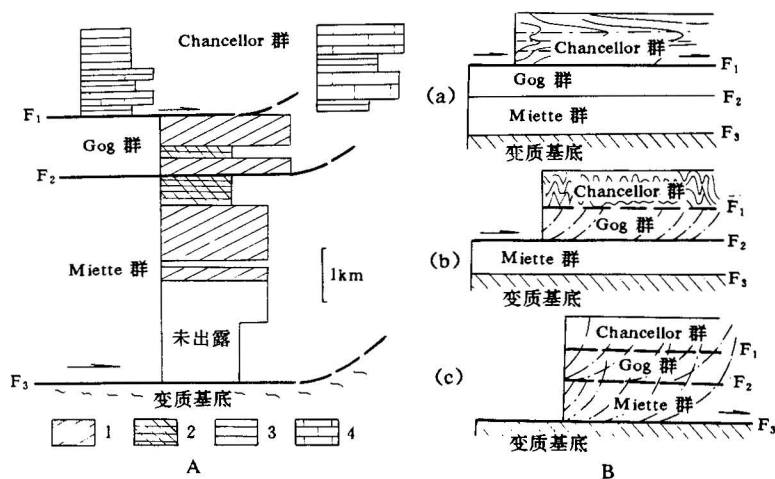


图3 加拿大西南部豪猪湾复背斜带的变形构造发育过程(据 Lickorish, 1993 编绘)

(A) 地层层序和主拆离断裂的发育层位; (B) 图示变形构造形成过程的模式剖面

Fig. 3 the stratigraphic sequence and the development course of the structures in the Porcupine Creek Anticlinorium, West Canada (after Lickorish, 1993)

(A) Stratigraphic sequence and Stratigraphic location of the main detachment surface;

(B) model cross-section showing the development process of the structures

1—砂岩; 2—板岩; 3—泥岩; 4—灰岩

1—sandstone; 2—slate; 3—mudstone; 4—limestone

双重构造形成于 36—33Ma 期间、Subalpine 逆冲叠瓦构造带形成于 33—14Ma 期间, 侏罗山逆冲拆离构造带则形成于 8—2.5Ma 期间(图 4)^[17], 表明阿尔卑斯造山后期逆冲构造的发育持续了近 40Ma, 显然整个阿尔卑斯造山运动持续的时间肯定大于 40Ma。这个实例还说明造山运动的阶段性主要应表现为主活动逆冲构造带的转换和移位速率的变化, 而不是变形长时期的停顿与短期活跃相交替。

其它一些造山带的研究成果也得出与此相同的结论, 如北美西部 Sevier 逆冲系是在 90—54Ma 期间内持续扩展形成的^[18], 活动期约 45Ma。

3 角度不整合的形成机制和空间分布

在造山带内与造山运动有关的角度不整合主要有两类: 一是在前陆盆地内与逆冲断裂带的扩展密切共生的不整合; 一是上叠盆地沉积与其造山带之间的角度不整合, 后者一般标志着造山运动的结束, 大区域的对比只能确定造山运动结束的时代, 而不能确定造山作用发生、发展的时代, 因此这类不整合无助于讨论造山运动。前陆盆地是造山过程的产物, 因此在这里形成的不整合能够反映造山作用的特点, 科伯-施蒂勒学派的造山作用全球等时性和幕式性的观点也主要依据这类角度不整合的对比。

前陆盆地内角度不整合的发育主要受逆冲断裂向前陆地区的扩展速率和侵蚀速率控制, 只有当逆冲速率远小于侵蚀速率或反向逆冲时, 盆地向造山带腹地迁移, 才形成角度不整合^[19](图 5), 且不整合一般只发育于盆地边缘, 向盆地内部依次渐变为组内同构造不整合、假

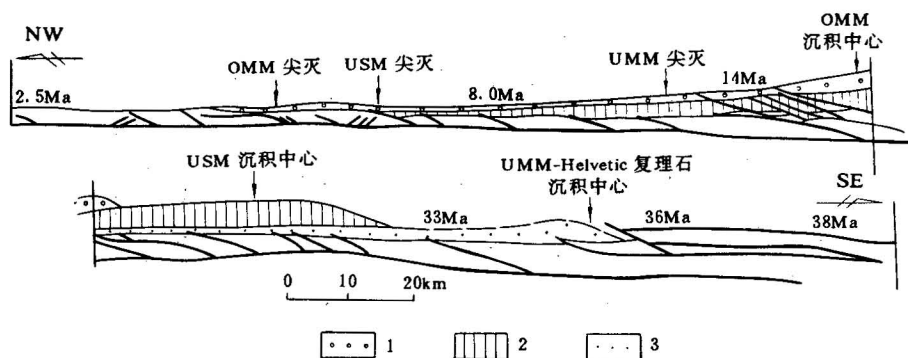


图4 横切瑞士西部北阿尔卑斯前陆盆地构造复原剖面

(图中数字代表所指逆冲断裂活动的时期,说明逆冲断裂系的形成是一个长期的过程)

Fig. 4 Restored regional geologic cross-section through the Alps foreland basin

(the thrust system developed in a long-term period lasting many million years)

1—上部海相磨拉石;2—下部陆相磨拉石;3—下部海相磨拉石和 Helvetic 复理石

1—Upper marine molasse; 2—lower non-marine molasse; 3—lower marine molasse and Helvetic flysch

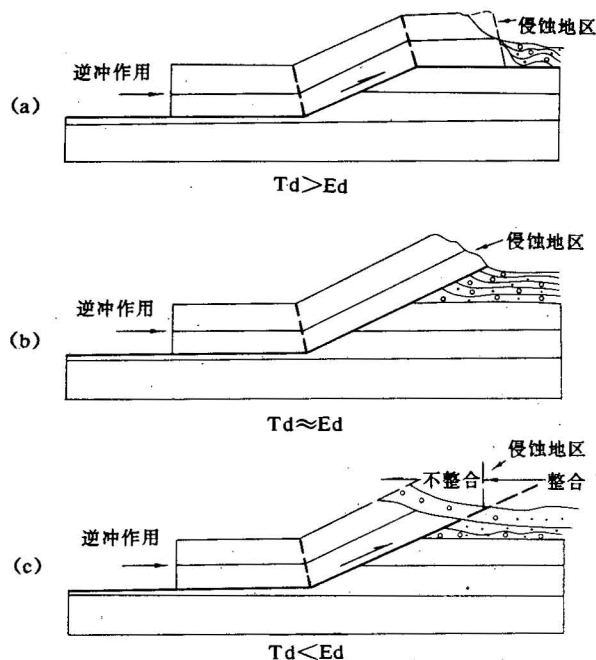


图5 逆冲速率和侵蚀速率控制前陆盆地边缘的地层接触关系

Fig. 5 Thrust displacement rate and erosion rate control the types of stratigraphic contact on the edges of foreland basin

Td—逆冲速率;Ed—侵蚀速率;a—当Td大于Ed时,形成同构造推铲构造;b—当Td约等于Ed时,地层整合接触;c—当Td小于Ed时,盆缘形成不整合

Td—Thrust displacement rate;Ed—erosion rate;a—synorogenic push-listric structure form if $T_d > E_d$;

b—conformity forms if $T_d \approx E_d$; c—unconformity forms if $T_d < E_d$.

整合(沉积相系转换面)和整合,图 6 所示为横切西班牙 Ebro 盆地 Andorra—Alloza 地区的地

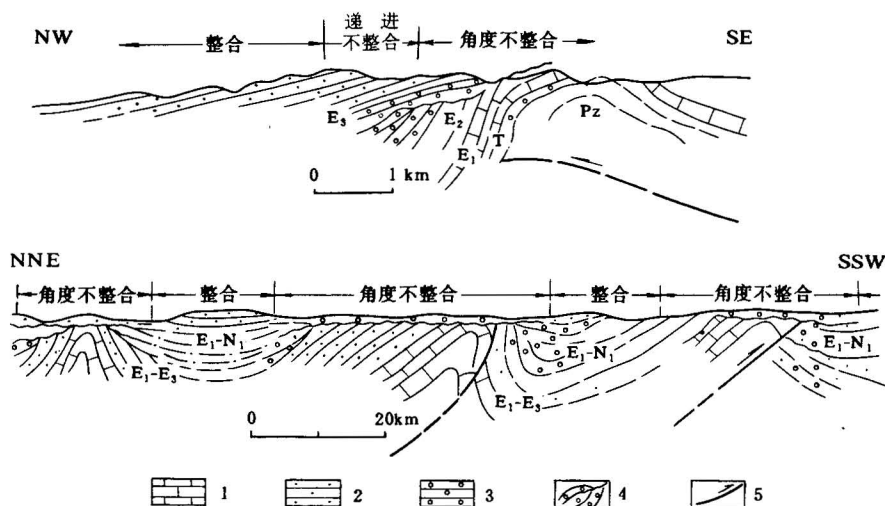


图 6 西班牙 Ebro 盆地 Andorra—Alloza 地区的地质剖面图

(说明角度不整合在横向上转变为整合)

Fig. 6 Geological cross-section through the Andorra—Alloza area, Ebro foreland basin
(showing an angular unconformity changing to conformity)

1—灰岩; 2—砂岩; 3—砾岩; 4—递进不整合; 5—逆冲断裂

1—Limestone; 2—sandstone; 3—conglomerate; 4—progressive unconformity; 5—thrust

质剖面,从中可以看出地层接触关系横向上的转换细节^[20]。从一个盆地发育的全过程来看,每个角度不整合的形成总是和相邻造山带的逆冲扩展相联系,图 7 所示的横切思茅前陆盆地南段的地质构造剖面是一个典型的例证,从中可以看出,昌宁—孟连古特提斯造山带东缘逆冲断裂系分别在早三叠世、早白垩世和老第三纪早期三次以背驮序列向东有限的扩展使盆地向东迁移,并使逆冲断裂所至地区的已有盆地岩系变形,与这个地区以后的上超岩系呈角度不整合接触,而逆冲断裂未达地区则不形成角度不整合。显然,角度不整合只是一个与造山运动过程中的一次有限空间内的逆冲推覆有关的局部现象,不代表整个造山运动,在一个盆地内都不能等时对比,更谈不上全球对比了。

综上对造山带内变形构造的形成过程和角度不整合的形成机制两个方面分析,可以看出造山运动是一个长期的发展过程,这个过程是一个以逆冲推覆构造渐次性、方向性的扩展为核心的应变积累过程。另从板块构造理论本身来看,从被动大陆边缘转化成活动大陆边缘开始,就在毕鸟夫带不断地形成变形构造,这些变形构造都有可能保存在后来的造山带内,如许多造山带中发现的混杂堆积,这些变形构造无疑也是造山作用的产物,因此,从这个意义上讲,造山运动从活动陆缘开始形成便开始了,一直延续到陆—陆碰撞、壳—幔拆离直至这种应力场被另外一种新的构造应力场所取代,这显然是一个漫长的过程。

强调造山运动的长期性这个侧面,并不是否认造山运动的阶段性,只是强调造山运动的阶

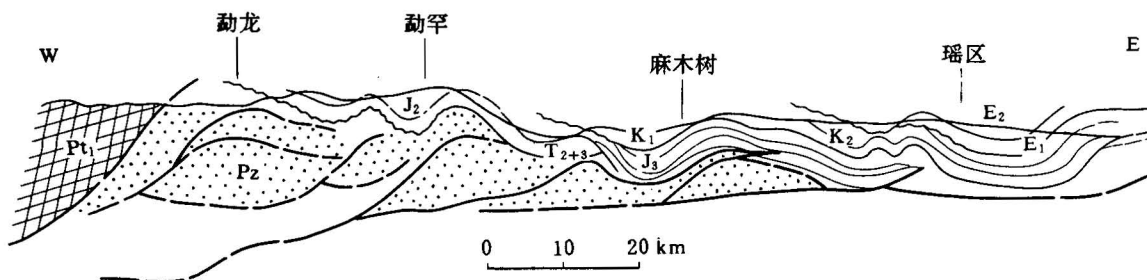


图7 滇西思茅盆地南部景洪—勐腊地区的地质剖面图

(说明角度不整合与逆冲构造密切相关)

Fig. 7 Geologic cross-section through the Jinghong—Mengla area in the Simao basin, West Yunnan
(showing the close genetic link between angular unconformity and thrusting)

段性不是体现为造山带变形作用长时间的停顿和短期激化相交替,而是体现为主活动带的移位和运动速率的变化,且这种移位和变化主要受会聚板块的性质和运动特点所控制。

认识造山运动的长期性有利于深入地开展造山带的研究,有利于把沉积作用和构造变动这两个地质作用的主要因素紧密地结合起来,从原因和结果两个侧面来认识造山带的发展和演化。当然,造山运动是一个复杂的过程,它的时间特征又是一个很大的命题,这样一篇短文不可能涉及其全部内涵,作者只是想根据现代造山带研究的一些成果来重新反思这个古老的话题,以期能对正在进行造山带研究的同行们有一点帮助。

在成文过程中,中国地质大学大地构造研究室的同事们与作者进行过广泛的讨论,提出了许多宝贵意见,并给作者以真挚的鼓励和帮助;张凤英女士清绘了全部图件。在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 森格 A M C. 板块构造学和造山运动. 丁晓等译. 上海:复旦大学出版社,1992.
- 2 Krejci-Graf K. Über die Phasen der Gebirgsbildung. Geol Rundsch, 1950, 38:112—114.
- 3 Vail P R, Mitchum R M, Thompson S. Global cycles and relative changes of sea level. In: C E Payton(Editor), Seismic Stratigraphy—Applications to Hydrocarbon Exploration. Mem. Am. As-soc. Pet. Geol., 1977, 26:183—189.
- 4 Haq B U, Hardenbol J, and Vail P R. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. Science, 1987, 235:1156—1167.
- 5 李继亮. 造山带岩石圈构造演化的时空问题. 中国科学院地质研究所岩石圈构造演化开放研究实验室年报. 1989—1990, 北京:中国科学技术出版社, 1991. 167—172 页.
- 6 Longwell C R. The mechanics of orogeny, Am. J. Sci., 1945, 234—A:417—447.
- 7 Bally A W, Gordy P L, Stewart G A. Structure, seismic data and orogenic evolution of the southern Canadian Rockies. Bull. Can. Petrol. Geol. 1966, 14:337—381.
- 8 Boyer S E, Elliott D. Thrust systems. Bull. Am. Ass. Petrol. Geol. 1982, 66:1196—1230.
- 9 Gibson R G, Gray D R. Ductile-to-brittle transition in shear during thrust sheet emplacement, Southern Appalachian thrust belt. J. Struct. Geol., 1985, 7:513—525.
- 10 刘本培,王自强,张传恒等. 西南天山的构造格局与演化. 武汉:中国地质大学出版社, 1996. 1—148 页.
- 11 Suppe J. Geometry and kinematics of fault-bend folding. American Journal of Science, 1983, 283:684—721.
- 12 Gray D R, Willman C E. Thrust-related strain gradients and thrusting mechanisms in a chevron-folded sequence, southeastern Australia. J. Struct. Geol., 1991, 13:691—710.

- 13 Lickorish W H. Structural evolution of the Porcupine Creek Anticlinorium, Western Main Ranges, Rocky Mountains, British Columbia. *J. Struct. Geol.*, 1993, 15:477—489.
- 14 Aller J, Bastida F. Anatomy of the Mondonedo nappe basal shearzone (NW Spain). *J. Struct. Geol.*, 1993, 15:1405—1419.
- 15 Butler R W H. Thrust sequences. *J. Geol. Soc.*, Lond., 1989, 144:619—634.
- 16 Liu H, McClay K R, Powell D. Physical models of thrust wedges. In: *Thrust Tectonics* (edited by McClay, K. R.), Chapman & Hill, 1992, 71—81.
- 17 Homewood P, Allen P A, Williams G D. Dynamics of the Molasse basin of western Switzerland. In: *Foreland Basins* (edited by Homewood, P & Allen, P A), *Spec. Publ. int. Ass. Sediment*, 1986, 8:199—217.
- 18 Decelles P G, Mitra G. History of the Sevier orogenic wedge in terms of critical taper models, northeast Utah and southwest Wyoming. 1995, 107(4):454—462.
- 19 De Paor D G. Temporal maps of advancing and retreating thrust fronts: examples from the Spanish Pyrenees. In: *Structural Geology of Fold and Thrust Belts* (edited by Mitra, S & Fisher, W), The Johns Hopkins Univ. Press, 1992, 45—52.
- 20 Anadon P. Syntectonic intraformational unconformities in alluvial fan deposits, eastern Ebro basin margins (NE Spain). *Spec. Publ. int. Ass. Sediment*, 1986, 8:259—271.

ON TIMING OF OROGENY

Zhang Chuanheng, Wang Ziqiang and Jia Weimin

(*China University of Geosciences, Beijing*)

Abstract

Orogeny refers to the process of the lithospheric thickening on the convergent plate margins and formation of mountain belts. Its timing has long been disputed. Study of the deformation structures of the orogen indicates that thrusting is the main deformation mechanism for controlling the development and evolution of an orogen. The oriented, sequential and long-continued propagation of thrusting convinces the authors that orogeny is a process of long-continued and stage-by-stage development that may continue for up to a few dozens of million years. The stage-by-stage development of orogeny is mainly marked by the transformation of the main thrust zone and change of the deformation rate. The above idea have been further supported by the formation mechanism of unconformity and an analysis of its transformation in space. Foreland basins are the key areas for the study of orogeny.

Key words: orogeny, timing feature, nappe-structure, angular unconformity

作者简介

张传恒, 1962年生。1982年毕业于中国地质大学(武汉)地质系, 1986年在中国地质大学(北京)获硕士学位, 并留校任教至今, 现主要从事造山带及前陆盆地构造地质学及沉积地质学的研究。通讯处: 北京学院路29号中国地质大学大地构造室, 邮政编码: 100083。