

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

陆内俯冲及滑脱构造

——以我国几个山链的地壳变形研究为例

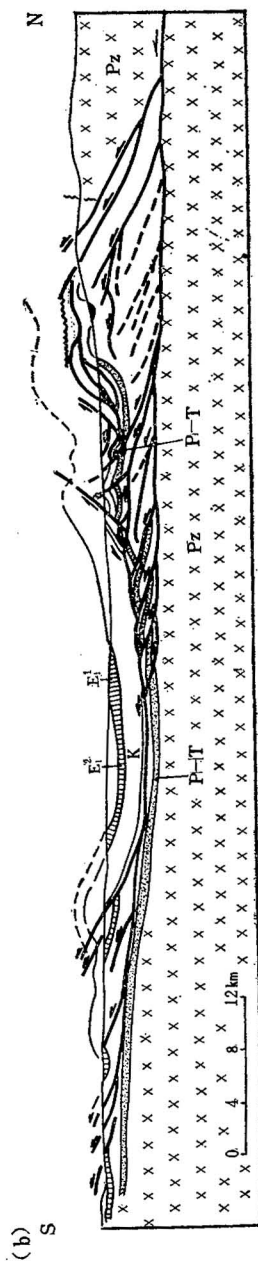
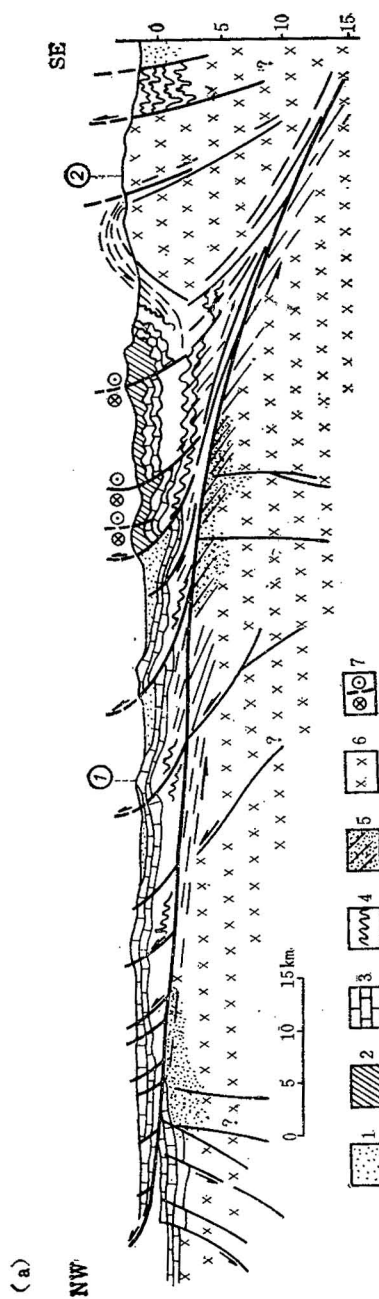
许志琴

(中国地质科学院地质研究所)

板块之间碰撞以后, 板块运动并未中止, 根据地壳变形及地球物理研究表明, 在许多山链中板块运动是以一种新的陆内俯冲方式进行的^[1]。这种陆内俯冲作用可以发生在板块缝合线两侧宽数百千米以上的板块聚合带内, 也可以发生在远离缝合线的板内聚合带

中, 由于陆内俯冲作用而形成的大规模滑脱构造它们是位于岩石圈板块底部或地壳与上地幔之间, 也可以位于地壳内部。陆内俯冲的结果常导致地壳的缩短、

本文1985年5月收到, 9月改回, 王毅编辑。



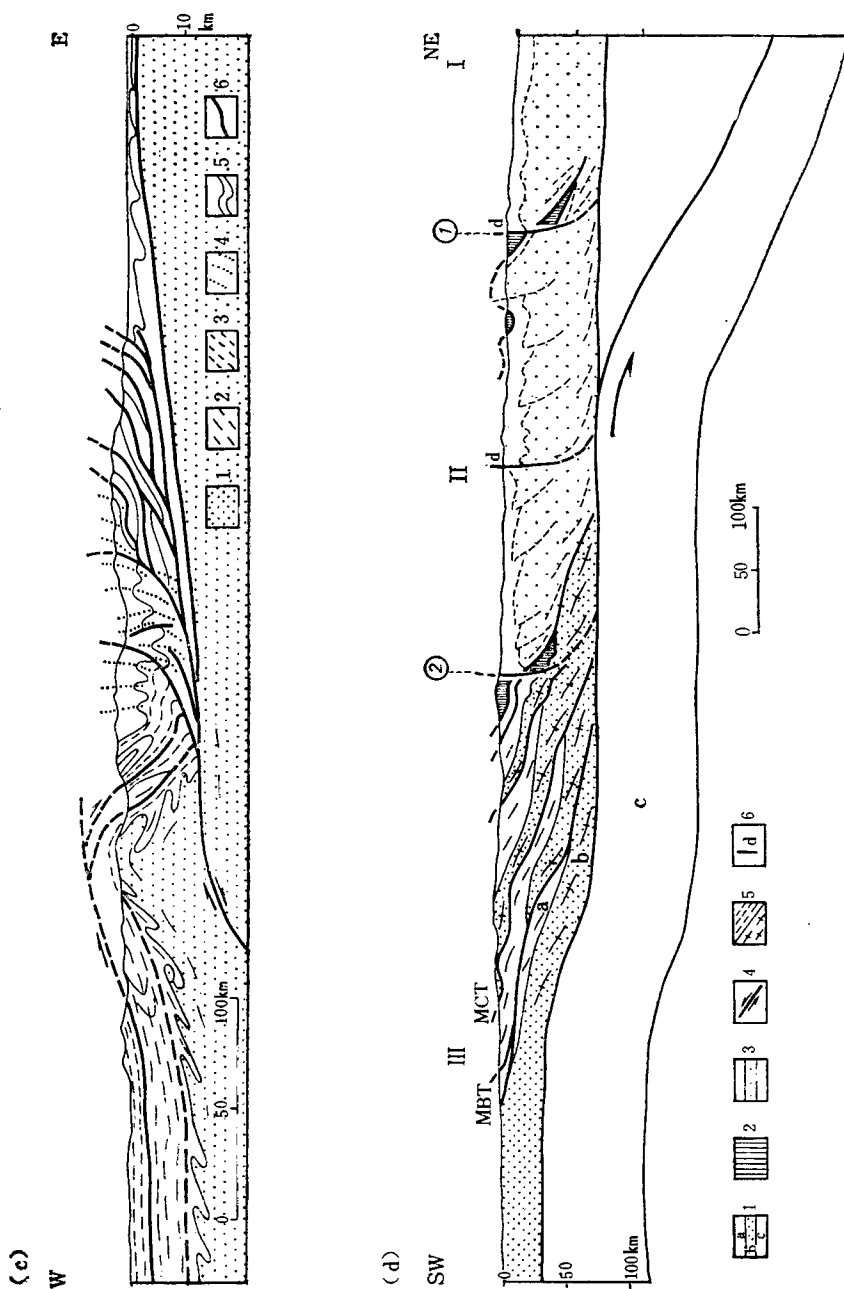


图 1 国外一些山链中的滑脱构造剖面

a) 阿尔卑斯外带构造剖面 (据法属ECORS计划): ①—侏罗山; ②—贝勒多内地块; 1—第三系; 2—白垩系; 3—上侏罗统; 4—三叠-侏罗系; 5—石炭-二叠系; 6—华力西基底; 7—左行平移断层; b) 比利牛斯带构造剖面 (据G. D. Williams, 1985): 北部马拉德塔华力西花岗岩向西南推覆于中生代之上, 南部为基底与盖层之间的滑脱; P₂—古生代, P₁-T₂—三叠系, K—白垩系, E₁—古新世早期, E₂—古新世中期; c) 加拿大东南部科迪勒拉地区构造剖面 (据 M. Mattauer, 1983): 西部苏斯瓦浦杂岩向东推覆于中生代之上, 东部为基底及盖层间的滑脱; 1—苏斯瓦浦杂岩; 2—侏罗系的叶理; 3—侏罗系的劈理; 4—白垩系的劈理; 5—层理; 6—拉伸线理; d) 中喜马拉雅切剖面 (据M. Mattauer, 1983): MCT—主中逆冲断层; MBT—主边逆冲断层; I: 浅北构造带; II: 深南构造带; III: 印度大陆; ①安多缝合带; ②雅鲁藏布缝合带; 1—印度大陆岩石圈 (a—沉积层; b—前寒武纪基底和阿尔卑斯片麻岩; c—地壳); 2—逆冲洋壳及地壳; 3—硅铝壳; 4—主要逆断层; 5—逆冲及叶理; 6—主要走滑断层。本图表示了壳内滑脱构造, 由陆内俯冲所致。

加厚,大规模的变形迁移以及塑造山链。例如喜马拉雅山链主要就是由于陆内俯冲作用形成的。

一、滑脱构造及大规模陆内俯冲的提出

滑脱构造的提出由来已久(O. Ampfere, 1906)。近十年来国外地质学家在研究山脉变形中发现了许多地壳内或盖层与基底之间的大规模滑脱构造,如阿尔卑斯外带^[2]、比利牛斯南带^[3]、中欧华力西山链^{[4][5]}、科迪勒拉山链^[6]及阿巴拉契亚山链^[7]等(图1)。与此同时,运用地球物理方法研究岩石圈内部构造的宏伟计划(如美国的“COCORP”计划、法国的“ECORS”计划、德国的“KTB”计划)已揭示了岩石圈内部的一系列低速层及壳幔过渡层的存在,推测它们为大型水平滑移层,反映了岩石圈内部构造具有大规模水平位移及叠覆的特性。随即,“滑脱或分离构造假说”及“岩石圈薄皮构造理论”应运而生。滑脱构造受到愈来愈多地质及地球物理学家的重视,并被认为是具有全球性质的一种岩石圈内部构造(B. C. Burchfiel, 1979)^[8]。

实际上,我国地质学家张文佑先生在1977年也曾强调了“层间滑动断裂”^[9],认为地球内部各构造层圈之间存在深浅不同的层间滑动,并指出层间滑动断裂的运动是岩石圈层状块体相对运动的基本方式之一。马杏垣先生等(1980)不仅通过河南嵩山地区实践证实了滑动构造在古老岩系中存在^[10],并且特别强调了在伸展及重力作用下形成的滑覆构造及岩石圈内多层次滑脱构造,并阐述了我国东部盆地内存在的多层次滑脱^{[11][12]},无疑具有十分重要的意义。

大规模陆内俯冲作用及地壳加积作用是M. Mattauer (1975, 1980, 1983)根据喜马拉雅兴都库什地壳变形研究所提出的假设^{[13][14]}。这一假设的主要基础是:

1. 印度洋的磁异常解释显示了在40—50Ma印度及亚洲板块碰撞后,印度板块仍以4—5cm/a的速度向北推移(P. Molnar & P. Tapponnier, 1975),自37Ma以来,喜马拉雅的地壳聚合量平均达1500km,地壳的加厚达70km又远远不能满足大陆岩石圈的大规模消失;

2. 印度板块北缘的地壳变形以大规模向南推覆逆冲为特征,并且变形作用随时间向南迁移,形成600—1000km宽的强烈变形带。

因而推测可以通过大陆岩石圈消失于地幔中及大规模走滑断层(恰曼断层及九十度东海岭断层),即

类似大洋的平移-俯冲体系的演化来解释碰撞后的大规模的板块聚合。这种聚合促使地壳增厚及地壳加积构造带的形成(图1d)。喜马拉雅地壳加积构造模式目前已为中法喜马拉雅深地震剖面资料所证实。

运用地质及地球物理资料对山链构造作出成功解释的另一个实例是中欧莱茵华力西构造带(K. Weber和P. Giese, 1982)(图2)。造山带的缩短是从早泥盆世开始,并在一个拉伸及减薄地壳基础上演化的,沉积岩盖层与基底拆离,并发生水平位移及地壳叠瓦,形成自北西往南东推覆的纳布构造。K. Weber认为地壳缩短的传动机制是A型俯冲(Ampferer-Subduction)。这种认识与通过中欧华力西的莱茵华力西带(Rhenohercynian zone)及萨克森林带(Saxothuringian zone)的地震剖面及大地电磁剖面的解释十分吻合,高导、低速及低阻层的分布表明了下地壳及上地幔物质在地壳中形成不连续的上冲岩片。

二、陆内俯冲作用的构造变形组合形式

陆内俯冲作用是通过以下两种构造组合形式表现出来的(图3):

1. 由深部物性界面(岩石圈底部、壳幔间及壳层内)附近的近水平(或缓倾斜)的韧性滑脱剪切带,以及上部相伴随的韧性推覆剪切带和表部逆冲断层组成的铲形构造变形组合形式;

2. 板块侧缘的深部塑性平移剪切带及表部走向滑动断层组成的构造变形组合;

韧性剪切带^[15]是地壳深部塑性变形的一种重要形式,按产状可分为韧性推覆剪切带、韧性平移剪切带、韧性滑脱剪切带、韧性正剪切带以及韧性逆剪切带^[16],它们是各种类型的脆性断层在地壳深部的再现。韧性滑脱及推覆剪切带具有以下共同特征^[17]:

1. 在剪切带主界面附近发育“a”型及箭鞘褶皱,远离主界面发育“b”型褶皱;

2. 在剪切带主界面附近发育水平或缓倾斜的流劈理或叶理,远离主界面渐变陡倾;

3. 劈理(叶理)面上发育穿透性垂直山链方向的拉伸线理,其代表剪切运动的矢量;

4. 组成剪切带岩石的矿物具强烈塑性流变及剪切应变,常发育成糜棱岩带,伴随高压变质带或高温高压变质带及后期剪切热产生的花岗岩。

5. 是简单剪切机制或简单剪切叠加的变形机制的产物;

“滑脱”与“推覆”不同之处在于前者是发生在

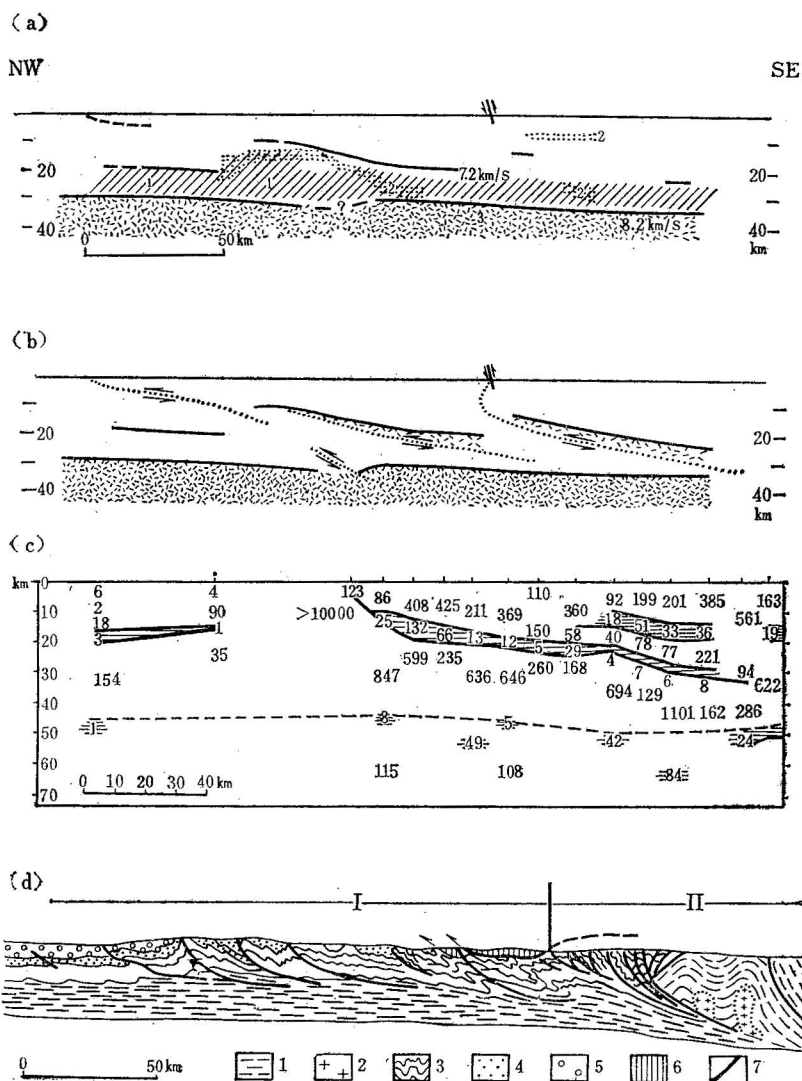


图 2 中欧莱茵华力西-萨霍色林带地壳解释剖面

(a)、(b)、(c)为地球物理剖面，(d)为地质剖面。(a)表示 V （波速）/ d （深度）函数及高导层位置的简化反射的地震剖面（P. Giese, 1983）；1—低速层；2—高导层；3—上地幔。b）下地壳与上地幔物质不连续上冲岩片（花纹）的构造解释（P. Giese, 1983）。c）在地壳及上地幔中电阻率分布（H. Joedicke et al, 1983）的大地电磁剖面；横线条为低阻层的位置，图中数字代表电阻率，单位： $\Omega \cdot \text{cm}$ d）通过莱茵华力西-萨霍色林带的横剖面及推测的内部构造（K. Weber and H. J. Behr, 1983）；I—莱茵华力西带；II—萨霍色林带；1—前泥盆结晶基底；2—前泥盆花岗岩；3—泥盆系复理石沉积；4—下石炭统火山岩；5—上石炭统磨拉石沉积；6—Giessen硬砂岩纳布；7—逆冲断层或逆掩断层

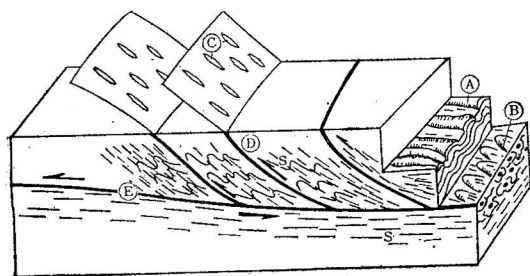


图 3 陆内俯冲的构造变形组合形式

A—“a”型褶皱；B—箭鞘褶皱；C—拉伸线理；D—韧性推覆剪切带；E—韧性滑脱剪切带；S—劈理或叶理；箭头指运动方向

不同物性界面之间,特别是强性层与柔性层之间。

“平移”剪切带则是以垂直劈理(叶理)面及面上的水平拉伸线理为特征的。

在大陆山链中,由于山脉的隆起剥蚀,我们可观察到地壳不同深处存在的韧性剪切带,但位于很深部位(岩石圈底部及壳幔间)的韧性滑脱剪切带,我们只能通过地球物理资料及上部构造组合来推测。

三、滑脱机制

我们已熟悉了在弯曲褶皱中发生在强性层(如灰岩、石英岩)及柔性层(泥质岩)间的层间沿移作用,柔性层作为润滑剂的滑脱层,提供了物质相对沿移的条件,并呈现了在强性层内发育破劈理及柔性层中发育流劈理的折射劈理构造特征。

地球物理资料表明,在许多山链的地壳内存在低速层,它具有含水、疏松、密度小、低地震波速、低阻高导及粘度小的物性特征,而这些部位的物质由于处在 $T/T_m > 0.6-0.65$ (T 为温度, T_m 为熔点)的下地壳($>10-20\text{km}$)中,又具瞬时-稳态蠕变特征,因此边界应力超过临界应力时,便可以借助于低速层发生沿移。

在山链(及裂谷区)下部的下地壳及上地幔之间还存在局部熔融层,称为异常地幔。在异常地幔中地震纵波速为 $7.2-7.8\text{km/s}$,密度为 $3.1-3.3\text{g/cm}^3$ (均低于上地幔),温度大约为 $1000-1200^\circ\text{C}$,热流值高,因此熔融层也为壳幔间沿移提供了有利条件。

岩石圈板块底部的情况又如何呢?

J. 梅格什曾通过1965年拉特岛滑脱大地震后发生的应力与位移扩散,间接地测量了岩石圈板块底部剪切应力大小(仅几巴)。在岩石圈板块上可能作用有两类应力:①底部剪切应力(σ_b),其大小与板块面积(S)呈正比;②板块边缘应力(σ_e),大小与板块周长(l)呈正比。 σ_b 与 σ_e 的关系为: $\sigma_b = (4h/l)\sigma_e$ 。假设一个大板块周长 $l = 10000\text{km}$,深度 $h = 100\text{km}$,

则 $\sigma_b < \frac{1}{25}\sigma_e$,所以可以认为岩石圈板块与下部地幔是脱离的,板块运动主要由边缘应力而定,而底部剪切应力可以忽略不计,这种上、下脱离无疑有助于大规模滑脱作用的进行^[18]。

至于“滑脱”与“推覆”,的成因联系已为J. Malavieille(1984)的陆内俯冲模拟实验所证实:随岩石圈之间力偶作用的进行,岩石圈底部发生滑脱,而其上部产生了一系列与俯冲方向相反的推覆构造(图4)。

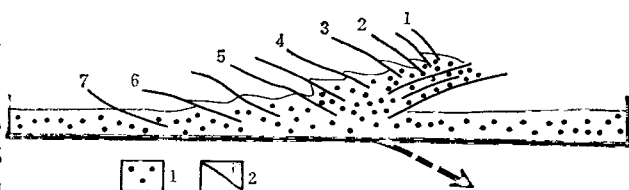


图4 陆内俯冲模拟实验示意图

(据J. Malavieille, 1984)

1—模拟材料(代表岩石圈),箭头示俯冲方向;
2—逆冲断层及其编号

因此,成层岩石圈之间内部相对沿移的可能性给我们提供了这样的思路:即大陆碰撞可以产生超出大陆岩石圈“可变形度”的极限应力,这种变形的研究已不能使用经典板块的旋转极理论,而应该运用连续介质力学的分析方法,这也就是一种新板块构造学即将萌生的理论基础。

四、我国几个山链的研究实例

几年来(1982—1985年),笔者与有关同志运用微观-宏观构造分析法在喜马拉雅山链、秦岭山链及北京西山进行了构造变形的研究,证实了大规模滑脱及相伴生的推覆构造在这些山链形成中起的重要作用。

(一) 喜马拉雅山链的推覆构造^[19,20]

作为一个尚未遭受强烈剥蚀的年轻山脉,人们无法证实壳幔滑脱或地壳深层滑脱的假设,但山链中发育的韧性推覆剪切带为这种假设提供了构造变形组合的依据。

在雅鲁藏布江以南的喜马拉雅山链中,自北往南存在三种类型的韧性推覆剪切带:幔内型(雅鲁藏布江蛇绿岩带内部)、壳幔型(蛇绿岩带与印度板块北缘间)及壳内型(康马-定日,尼泊尔及锡伐利克北缘)(图5),它们分别是在洋(新特提斯洋)内仰冲(100Ma)、洋陆仰冲(80Ma)、大陆碰撞及陆内俯冲(40Ma至今)阶段形成的。在印度板块与亚洲板块碰撞以后的板块岩石圈变形表现为以下主要特征:

1. 新的韧性推覆构造形成

继壳幔型韧性推覆剪切带形成后,随大陆碰撞及地壳进一步聚合,相继往南形成了康马-定日、尼泊尔及锡伐利克北缘的逆冲构造,前二条表现为韧性剪切带特征:近水平流劈理、“a”型褶皱、平卧褶皱及近

1) 许志琴, 1985, 喜马拉雅山链的韧性推覆剪切带及动力学分析. 地质科技通报, 第21期。

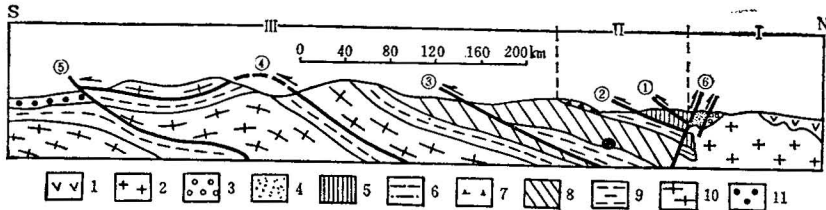


图 5 喜马拉雅山链构造示意图

I—拉萨板块；II—雅鲁藏布江缝合带；III—印度板块北缘；①—雅鲁藏布江“幔内型”韧性推覆剪切带；②—雅鲁藏布江“壳幔型”韧性推覆剪切带；③—康马-定日韧性推覆剪切带；④—尼泊尔“壳内型”韧性推覆剪切带；⑤—主边界逆冲断层；⑥—雅鲁藏布江逆冲断层。

1—中生代火山岩；2—冈底斯花岗岩；3—始新世砾岩；4—日喀则群（K₂）复理石沉积；5—蛇绿岩；6—三叠系一下侏罗统复理石沉积；7—混杂堆积；8—古生代—中生代浅海相沉积；9—早古生代片岩；10—前寒武纪片麻岩；11—中新世锡伐利克磨拉石沉积

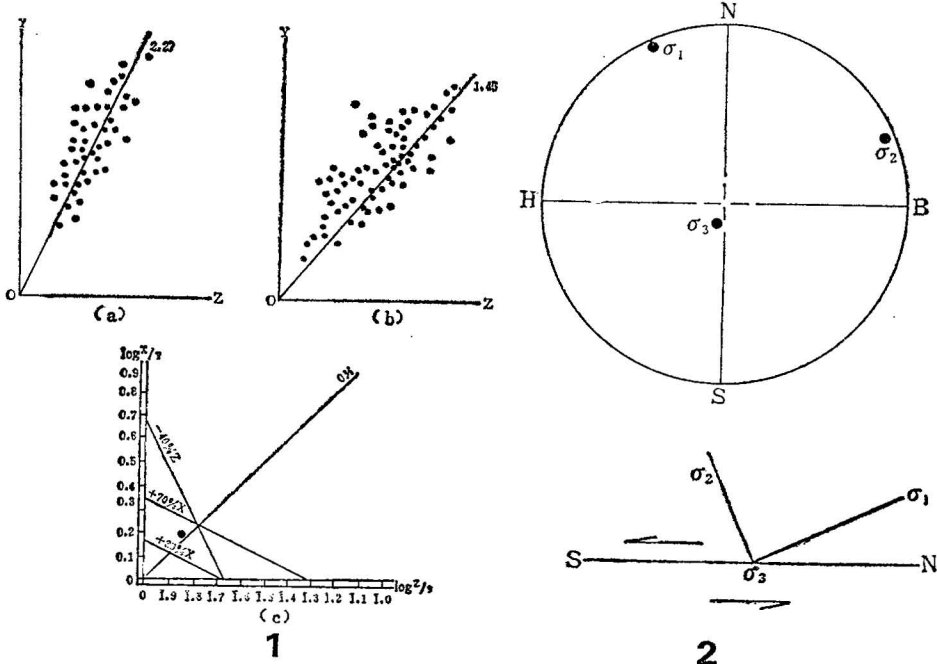


图 6 康马-定日韧性推覆剪切带的应变分析

1. 马拉山花岗岩变形石英有限应变分析：a) b) 为弗林图解，c) 为伍德图解。2. 据康马二叠系大理岩中方解石电算结果获得的应力场判断剪切方向： σ_1 = 主压应力轴， σ_2 = 中间应力轴， σ_3 = 主张应力轴，H—上面，B—下面，箭头示剪切方向

南北向垂直山链的拉伸线理发育在剪切带主界面附近。康马-定日带中的马拉山花岗岩变形石英有限应变分析表明了简单剪切机制的效应 ($K = 1.3$)，旋转应变及方解石组构获得的应力场 (图6) 指示自北往南的剪切。

尼泊尔韧性推覆剪切带使前寒武纪深变质片麻岩推覆于早古生代片岩之上，推覆距离达100km，大量旋转应变指示了同样自北往南的剪切。同构造 (与推覆同时) 的变质作用所形成的蓝晶石带及矽线石带代

表了中压中温的热动力条件 (蓝晶石带： $6 \times 10^2 \text{ Pa} < p < 9 \times 10^2 \text{ Pa}$ ， $550^\circ\text{C} < t < 650^\circ\text{C}$ ；矽线石带： $3.5 \times 10^2 \text{ Pa} < p < 5 \times 10^2 \text{ Pa}$ ， $510^\circ\text{C} < t < 720^\circ\text{C}$)^[21]。

2. 叠加变形产生

地壳聚合产生的南北向收缩应变，叠加在早期形成的纳布构造上，明显的特征为直立的第二期流理 S_2 切割了 S_{0-1} ，第二期的东西向细褶皱纹理 (L_2) 切割了南北向拉伸线理。与此同时，雅鲁藏布江附近在纳布构造后沉积的日喀则群 (复理石沉积，K₂) 中

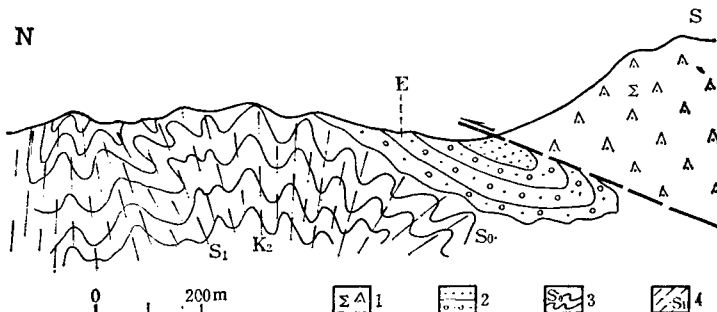


图7 雅鲁藏布江韧性推覆剪切带附近 K_2 —E中的收缩应变

1—二辉橄榄岩 (J_3 — K_1); 2—红色砂砾岩 (E); 3—日喀则群复理石沉积 (K_2) 中的层理 (S_0) 及褶皱; 4—劈理 (S_1)

产生强烈扇形陡立劈理, 始新世红色磨拉石层也出现直立或倒转褶皱, 并伴随不同倾向的冲断层 (图7)。叠加变形自北往南迁移并渐弱, 尼泊尔推覆构造也发生轻微的重褶。

3. 40Ma以后的花岗岩侵入作用

韧性剪切带中矿物变形的微构造及超微构造分析表明, 剪切带的演化经历了冷变形—热变形—构造重结晶阶段, 推测了剪切滑移的剪切热可能导致地壳局部熔融以及花岗岩浆的形成, 如拉纳岗日花岗岩带 (40Ma以来)、尼泊尔花岗岩带 (20Ma以来) 以及在雅鲁藏布江缝合带北侧的冈底斯带也存在新的花岗岩侵入。

4. 平移走滑断层 (如雅鲁藏布江右行平移、恰曼左行平移、90度东海岭右行平移) 的作用

在以上山链中出现的逆冲—平移构造形式, 由于深地震剖面的揭示, 而使表层构造与深部构造联系起来: 20—30km深的低速带 (5.6km/s) 及 60—80km深的壳幔过渡层的存在, 莫霍界面不连续、北倾、叠瓦式的排列, 可以推测壳幔滑脱与上部推覆构造相连以及岩石圈内部的叠覆性质, 并且估算了地壳上部缩短了 300km以上^[40]。

(二) 南秦岭印支山链中的大滑脱构造¹⁾

位于中朝板块与扬子板块之间的东秦岭山链是由两个山链合并而成的特殊山链。北部加里东—早华力西山链是以大规模自北往南推覆构造及叠加变形为特征, 南部印支山链中存在大规模深层滑脱构造, 两山链之间以大规模左行平移剪切带 (丹凤断层) 相接, 并于中泥盆世碰撞。

南秦岭的滑脱构造发生在晚震旦世至三叠纪 (近 2×10^4 m 的浅海碳酸盐岩沉积为主) 地层与早震旦世变质火山岩系 (耀岭河群及两郧群) 之间, 大致位于 15—20km 以下, 往东已追索到湖北两郧地区, 估计可能延到大别山南部 (据红安群中出现兰闪石的信息), 南至大巴山断层, 北部被丹凤断层所隔, 这是一条长大于 300km、宽大于 500km、深不见底的大型韧性滑

脱剪切带 (图8)。

滑脱构造表现为以下主要特征:

1) 在早震旦世变质火山岩系滑脱层中发育大量的“a”型平卧褶皱, 伴随近水平的流劈理, 并出现 S_2 切 S_0-1 , 流劈理面上的拉伸线理方向自北往南从 NE 50° —NNE 10° 变化 (图版 I-A)。后期叠加较弱的收缩应变;

2. 滑脱层以上的晚震旦世至三叠纪地层由平卧褶皱一同斜褶皱一直立褶皱变化, 劈理面自下而上也由近水平—倾斜一直立渐变, 形成向北凹的铲形构造 (图版 I-C);

3. 旋转应变研究表明滑脱方向由北东往南西再往南 (图版 I-B);

4. 滑脱构造伴随高压变质作用, 在火山岩系滑脱层中出现兰闪石类—多硅白云母矿物组合;

滑脱构造造成南秦岭大于 100km 的地壳缩短 (从丹凤断裂至大巴断裂 300km 范围), 滑脱作用的时代据多硅白云母及钠闪石的 $Ar^{39}-Ar^{40}$ 法测定约 210—230 Ma (H. Maluski, 1985)。驱动力是由于扬子板块与中朝板块之间的陆内俯冲作用所牵动的扬子板块北缘地壳内盖层及基底间的滑移, 与此同时或稍晚, 大规模走滑断层活动或重新活动 (如丹凤左行断层及大巴山右行断层) 及印支期花岗岩的产生。

(三) 北京西山的韧性滑脱剪切带²⁾

在北京西山中、上元古界以及古生代地层普遍出现区域变质现象曾引起人们的关注, 研究表明它与一条深层的韧性滑脱剪切带有关。滑脱界面发生在上元古界青白口统柔性层 (下马岭组千枚岩与上下强性层 (灰岩) 之间, 剪切带宽约 1km。明显的 NW 280° —

1) 许志琴、卢一伦、汤耀庆、M. Mattauer, Ph. Matte, J. Malavieille, 1985, 秦岭造山带的构造。

2) 许志琴、王方国、符振京, 1985, 北京西山的韧性滑脱剪切带。中国地质科学院院刊, 待刊。

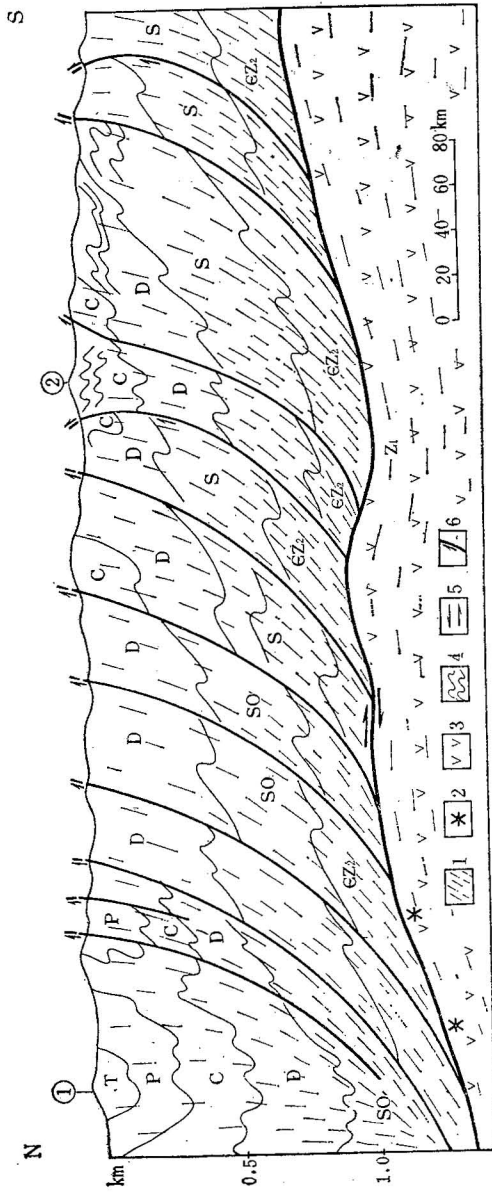


图 8 南秦岭印支山链中滑脱构造剖面

①—镇安西口；②—南羊山
1—劈理，2—高压蓝闪石类矿物，3—火山岩系，4—褶皱形态，5—剪切运动方向，6—逆冲断层，箭头示运动方向。Z₁—下震旦统，E₂—上震旦统至寒武系，SO—奥陶志留系，S—志留系，D—泥盆系，C—石炭系，P—二叠系，T—三叠系

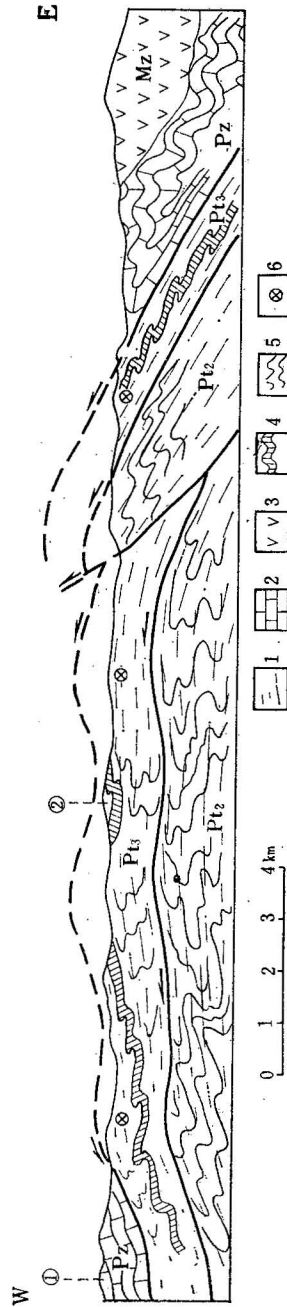


图 9 北京西山深部滑脱构造剖面

①—庄户台，②—霞云岭
1—劈理，2—灰岩，3—火山岩，4—滑脱层中所夹的片状灰岩，5—褶皱，6—硬绿泥石，Pt₃—中元古代，Pt₂—上元古代，P₂—古生代，M₂—中生代

310°方向的拉伸线理垂直于西山山脉的走向, 普遍出现在剪切带中心部位的流劈理面及层间滑移面上, 大型“a”型褶皱及“b”型褶皱十分发育(图版I-D, E), 并在滑脱层以下的中元古界雾迷山组钙质岩石中发现特殊的“a”型褶皱及箭鞘褶皱(图版I-F)。在滑脱层中还发育硬绿泥石中压矿物, 呈面状分布, 为滑脱作用的直接产物。在远离滑脱层的地层中, 褶皱与伴随之劈理也渐变陡倾及直立, 劈理也由流劈理一折射劈理一破劈理变化。在上部还伴生韧-脆性逆冲断层(图9)。

石英组构及旋转应变指示滑脱方向自南东—北西, 石英有限应变分析计算弗林指数 $K=1$ 。这一滑脱作用可能发生在燕山早期, 北北东向西山复式倾伏背斜是后期近东西向叠加收缩应变的结果。

上述山链中地壳变形研究实例表明滑脱构造是这些地区岩石圈变形的重要形式, 陆内俯冲是板块碰撞后的运动方式(北京西山的深层滑脱成因还有待探讨)。喜马拉雅山链虽未见深部的滑脱构造, 但古地磁、深地震剖面及地壳上部的构造组合推测它的存在; 秦岭及北京西山由于山脉强烈隆起致使深层滑脱构造出露, 但还需地球物理资料予以补充, 并计算地壳的聚合量。

今后在我国开展陆内型及碰撞型山链的地壳变形的研究, 并结合地球物理资料, 将使我们获得对岩石圈构造的新认识。

参考文献

- [1] Mattauer, M., 1981, La formation des chaînes de montagnes. Science édition française de scientifique américain, N. 46, pp. 40-56.
- [2] Mattauer, M., et Tapponnier, P., 1978, Tectonique des plaques et tectonique intracontinentale dans les Alpes francoitaliennes, C. R. Acad. Sc. paris, t. 287, Serie D-899.
- [3] Graham, D. W., 1985, Thrust tectonics in the south central pyrenees. Journal of structural geology, Vol. 7, No. 1, pp. 11-17.
- [4] Giese, P., Jöckel, H., Prodehl, C., and Weber, K., 1983, The crustal structure of the Hercynian mountain system—A model for crustal thickening by stacking. Intracontinental fold belts, edited by Martin, H. and Eder, F. W., Springer verlag berlin heidelberg New York Tokyo.
- [5] Weber, K. and Behr, H. J., 1983, Geodynamic Interpretation of the Mid-European Variscides Intracontinental fold belts edited by Martin and Eder, F. W., Springer verlag berlin heidelberg New York Tokyo.
- [6] Mattauer, M., et al., 1983, Alpine model for the internal metamorphic zones of the North American Cordillera. Geology, V. 11p. 11-15.
- [7] Cook, F. A., & Brown, L. P., 1980, The southern Appalachians and the growth of continent. Scientific American, Vo. 243, No4.
- [8] Burachfiel, B. C., 1979, Structural geology of the Earth's exterior. Proc. Natl. Acad. Sci., U. S. A., V. 76, No9.
- [9] 张文佑等, 1977, 中国断裂构造体系的发展, 地质科学(3), 第197—209页。
- [10] 马杏垣、索书田、游振东、刘如琦, 1980, 崑山构造变形。地质出版社。
- [11] 马杏垣、索书田, 1984, 论滑覆及岩石圈内多层次滑脱构造。地质学报, 第3期, 第205—213页。
- [12] 陈焕疆、殷跃南, 1983, 要重视开拓逆掩断层带的油气领域。石油实验地质, 第5卷, 第2期。
- [13] Mattauer, M., 1975, Sur le mécanisme de formation de la schistosité dans l'Himalaya. Earth and planetary Science Letters, 28, pp. 144-154.
- [14] Mattauer, M., 1983, Subduction de lithosphère continentale, décollement croûte-manteau et chevauchements d'échelle crustale dans la chaîne de collision himalayenne. Comptes rendus de l'Académie des Sciences. Serie II.
- [15] Ramsay, J. G., 1980, Shear zones geometry: a review. Journal of structural geology, Vol. 2, N. 1/2, pp. 836101.
- [16] 许志琴, 1984, 地壳变形及显微构造。地质出版社。
- [17] Malavieille, J., 1982, Etude tectonique et micro-tectonique de la déformation ductile dans de grands chevauchement crustaux: exemple des Alpes Franco-italiennes et de la Corse. (Thèse) U. S. T. L.
- [18] 马科斯, 怀斯著, 马瑾、王宝生、李建国译, 1984, 地球的应力。科学出版社。
- [19] 许志琴, 1984, 阿尔卑斯旋回中喜马拉雅山链及阿尔卑斯山链的变形特征。中国地质科学院院报, 第九号。
- [20] Brunel, M., 1983, Etude pétro-structurale des chevauchements ductiles en Himalaya (Népal oriental et Himalaya du Nord-ouest). (Thèse) Université de Paris VII.

图 版 说 明

A、B、C 为南秦岭滑脱构造中的微构造现象：

- A. 滑脱层（Z₁跃岭河组火山岩系）中叶理（S）及拉伸线理L₁(N40°)（湖北郧县谭湾北）
- B. 滑脱层中旋转应变指示剪切 方向从NE至SW，（湖北郧县谭湾北）；

C. 滑脱层上（Z₂灯影灰岩）的平卧褶皱

D、E、F 为北京西山滑脱构造中的微构造现象：

- D. 滑脱层（Pt₃千枚岩）中平卧褶皱及第二期 水平滑劈理S₂切割早期层理及流劈理S₀₋₁(弯曲白色石英脉)；
- E. 滑脱层下（Pt₂灰岩）中平卧褶皱及流劈理S₁；
- F. 滑脱层下（Pt₂灰岩）中小型筒鞘褶皱，L₁为 拉伸线理（NW290°）

