

# 论东秦岭剪切造山带

## ——以武当山韧性推覆构造为例

方向池

(云南公路规划勘察设计院, 昆明 650011)

蔡学林

(成都理工学院)

**【摘要】** 依据推覆构造形成的力学机制, 将推覆构造分为逆冲推覆构造、滑覆构造和韧性推覆构造三大类型。通过对武当山地区的综合研究, 提出武当山地区为一韧性推覆构造, 其几何样式为一个巨型的“AB”型褶皱。并证实武当山地区为剪切变形区, 其变形机制为简单剪切机制。文章还提出整个东秦岭造山带为剪切型造山带。

**关键词** 推覆构造, 韧性推覆构造, 几何样式, 简单剪切机制, 剪切造山带, 武当山, 东秦岭

**中图分类号** P542.3

推覆构造是地壳中, 特别是大陆地壳中广泛发育的重要构造。经过几年来的研究表明, 推覆构造在挤压、拉伸和剪切三种构造体制中都能形成, 它们都具有同等重要的意义。第一, 在地壳的挤压体制(或收缩体制)下, 形成逆冲推覆构造, 其推覆体可分为两类, 即褶皱推覆体和逆冲(或冲断)推覆体两类。第二, 在地壳的伸展体制(或拉伸体制)下, 形成滑覆构造。滑覆体也可分为两类, 一是在拉伸作用中沿大型低倾角正断层运移的外来系统, 称之为拉伸滑覆体; 二是重力构造形成过程中沿滑动面运移的外来系统, 称为重力滑覆体。滑覆体的形成机制为重力滑动和重力扩展。另一种情况是, 滑覆是推覆演化的结果。第三, 在地壳的剪切体制下, 形成韧性推覆构造。其形成的推覆体归为韧性推覆体和韧性滑覆体两类。韧性推覆体是在挤压剪切作用下形成的, 而韧性滑覆体是在拉伸剪切作用下形成的。韧性推覆构造一般发育于变质岩地区。关于推覆构造和推覆体的分类见表 1。武当山地区的推覆构造, 就是在挤压剪切作用下形成的, 是典型的韧性推覆构造。

根据地质和地球物理研究, 武当山地区是一巨型褶皱-逆冲推覆构造, 是秦岭大型深层滑脱构造的一部分。本文主要以东秦岭南翼的武当山地区为例, 解剖剪切机制下形成推覆构造的几何样式和形成机制。

1993-03-22 收稿

国家自然科学基金资助项目

表 1 推覆构造的分类

Table 1 Classification of nappe tectonics

推覆构造	推覆体	滑覆体	构造体制
逆冲推覆构造	褶皱推覆体	重力滑覆体	挤压
	逆冲推覆体		
滑覆构造(拉伸推覆构造)		拉伸滑覆体	拉伸
		重力滑覆体	
韧性推覆构造	韧性推覆体	韧性滑覆体	剪切或挤压剪切或拉伸剪切

## 1 武当山东段韧性推覆构造的几何样式

武当山韧性推覆构造由武当山推覆体、青峰韧性推覆剪切带(主滑面)和下伏岩系组成。

该地区的下伏岩系,主要由晚元古界的震旦系和古生界的碳酸盐岩类和碎屑岩类组成。其构造线的方向以东西向为主,褶皱主要为倒转褶皱。断层主要为逆冲性质,同时靠近主滑面附近形成一系列的小型逆冲推覆体或褶皱推覆体,以及不同层位的岩石断片形成的飞来峰或构造窗。

### 1.1 青峰韧性推覆剪切带(主滑面)的几何形态和地质特征

青峰韧性推覆剪切带地表形迹显著,卫星照片上清晰可见。剪切带自房县到玛瑙观呈近东西向延伸,玛瑙观至盛康为北东向延伸。断层面总体向北倾,倾角 $3^{\circ}\sim 70^{\circ}$ ,一般 $10^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 。断裂带宽 $50\sim 200\text{m}$ ,最宽可达 $500\text{m}$ 以上。

在地貌上,断裂北侧为剥蚀低山地形,河谷开阔;南侧为侵蚀中山地形,河谷深切,瀑布与重力堆积发育,是近期强烈上升地区。沿断裂带,断层三角面发育。

在断裂带两侧,地层分布及其变质程度、岩浆活动、矿产分布、构造特征、地球物理特征等都不相同(鄂西北地质矿产调查所,1988)。

沿青峰韧性推覆剪切带发育了一系列飞来峰和构造窗,如谷城县观音坪、白水峪、官坊等地,而且“窗中有峰,峰中有窗”。

通过区域的重力异常、磁异常、地震测深等得出以下两点结论。一是青峰断裂是一条向北倾的铲状断裂,向北延伸时,倾角变缓至水平,延伸到浙川后,与深部的浙川断裂相连。二是武当山地区上下构造层存在较大的差异,上构造层明显受秦岭造山带的影响,以北西向构造为主,而下构造层为稳定块体的特征,其构造线为北东向。

沿青峰断裂带韧性推覆变形特征显著。从房县县城至榔口,分布糜棱岩,由断裂带中心向两侧糜棱岩经初糜棱岩到糜棱岩化岩石。由榔口至谷城县白水峪分布超糜棱岩和糜棱岩,以断裂带中心向两侧,由超糜棱岩,经糜棱岩到初糜棱岩。

沿断裂带发育大中小型的鞘褶皱、“A”型褶皱、拉伸线理,带内劈理化、片理化发育,且与推覆剪切带平行。沿带发育塑性流动褶皱、小型挤压透镜体等(图 1)。在断裂带内,发育大量的各种显微变形构造,如光性异常、核幔结构、变形纹、变形双晶、压力影、S-C 构造、各种旋转构造、云母鱼等。以上宏观和微观构造都说明青峰断裂为一韧性推覆剪切带,是在武当山韧性推

覆构造形成过程中形成的。

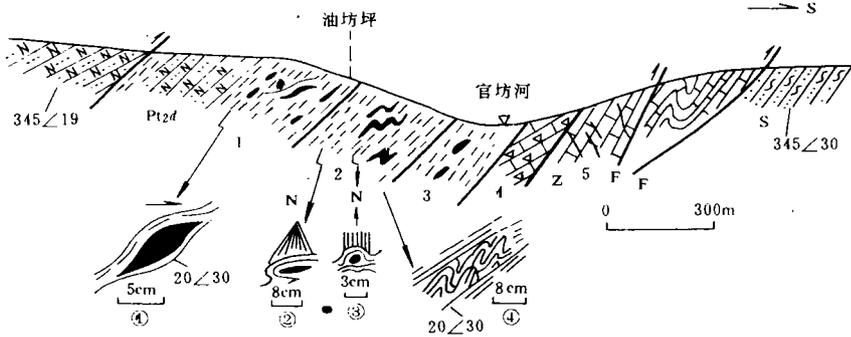


图 1 官坊青峰剪切带内部结构剖面图

Fig. 1 Structural cross section of Qinfeng shear in Guanfang

Pt<sub>2d</sub>. 武当群挡鱼河组云母石英片岩; Z. 震旦系灰岩; S. 志留系变碎屑岩。

1. 透透镜体化带; 2. 流变揉皱带; 3. 糜棱岩带; 4. 强烈破碎带; 5. 劈理化带。

① 石英透透镜体; ② 鞘褶皱; ③ 石英棒; ④ 揉皱。F 断裂

## 1.2 武当山东段推覆体的几何样式和变形特征

武当山东段韧性推覆体是指青峰韧性推覆剪切带之上强烈变形的构造岩席。它主要由中元古界的武当群及东端少量跃岭河群的中浅变质岩构成。推覆体内部的断裂构造和褶皱构造都十分复杂。

一个地区的几何样式,是地质历史上历次强烈变形综合的结果,但它主要反映了最后一次强烈变形的特征。通过对武当山地区资料的全面分析及其点、线、面结合的综合研究,作者认为武当山东段是在武当山褶皱推覆体的基础之上,由具双重推覆构造而进一步推覆过程中发育起来的一个巨型“AB”型褶皱(图 2)。

武当山推覆体的主体是由一个大型倒转褶皱组成的褶皱推覆体。该大型倒转褶皱主体构造线以北西向为主,东西两端呈北东向,均为线状倒转褶皱。

所谓双重推覆构造或双重逆冲构造是由顶板逆冲断层与底板逆冲断层及夹于其中的一套次级叠瓦式逆冲断层和断片组合而成(图 3)。

武当山东段就是由武当山剪节带(顶板逆冲断层)与青峰韧性推覆剪切带(底板逆冲断层)及夹于其间的武当山韧性推覆体组成的双重推覆构造。沿青峰剪切带北侧和武当山剪切带,其岩性主要为武当群挡鱼河组的正变质岩系,它们都具有韧性变形的特征。武当山剪切带在宏观及微观上都具有与青峰韧性推覆剪切带类似的特征。

韧性推覆剪切带中的褶皱,其大部分与拉伸线理同时形成。若褶皱轴与拉伸线理平行,称为“A”型褶皱;如果褶皱轴与拉伸线理斜交,则称为“AB”型褶皱。武当山东段推覆体就是一个巨型 AB 型褶皱,轴迹为北东 15°左右。

a. 在武当山东段,武当群挡鱼河组分布在 AB 型褶皱前缘,呈弧形分布;其北部为武当群杨坪组,也大致呈弧形舌状分布。在 AB 型褶皱的前缘青峰、榔口、中堰以及官坊等地区,岩层的统计产状( $S_1$ )为  $345.8^\circ \angle 34.5^\circ$ ,  $351.9^\circ \angle 32.8^\circ$ 。东侧紫金、红山地区,武当群的统计产状( $S_0, S_1$ )为  $289.4^\circ \angle 9.8^\circ$ ,  $299.7^\circ \angle 24.8^\circ$ 。西侧大川—土城—房县一带武当群的统计产状为

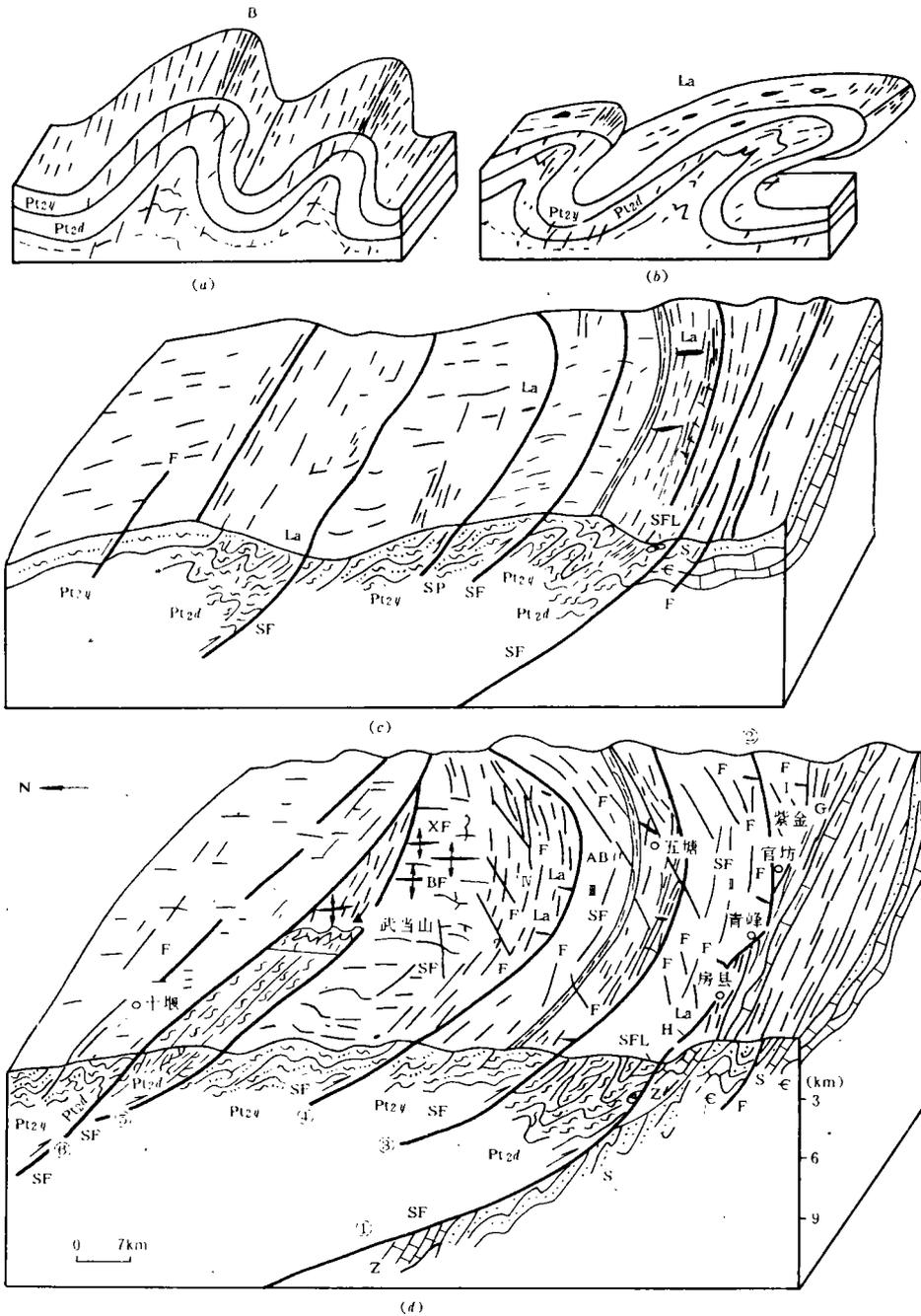


图2 武当山东段推覆构造形成模式图

Fig. 2 Three-dimensional model of nappe tectonics in Wudang Mountains (eastern section)

a. 推覆前示意图; b. 推覆初期示意图; c. 推覆构造晚期示意图; d. 推覆构造立体图。S. 志留系; €. 寒武系; Z. 震旦系; Pt<sub>2y</sub>. 武当群杨坪组; Pt<sub>2d</sub>. 武当群挡鱼河组。①主滑面; ②紫金剪切带; ③土城—沙河弧形剪切带; ④大川—盐池河弧形剪切带; ⑤武当山剪切带; ⑥十堰断裂。I. 紫金断片; II. 青峰—红庙断片; III. 中堰断片; IV. 武当山—西河断片。SF. 剪切带; F. 断裂; La 拉伸线理; SFL. 鞘褶皱; H. 飞来峰; G. 构造窗; B. “B”型褶皱; “AB”. 武当山东段巨型褶皱; BF. 背斜; XF. 向斜

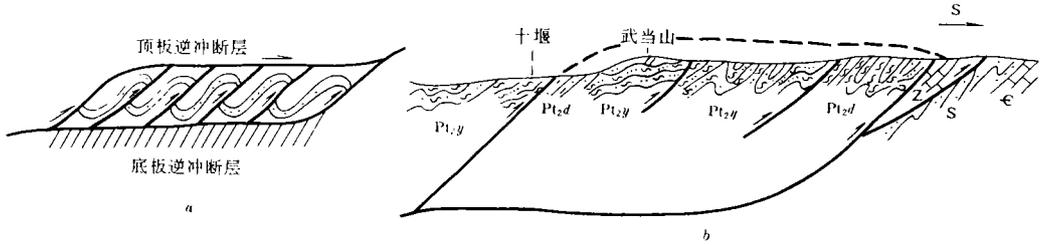


图 3 双重逆冲构造

Fig. 3 Duplex thrust structure

a. 双重逆冲构造模式; b. 武当山东段双重推覆构造

53.7°∠20.3°。武当山镇—六里坪一带的岩层(S<sub>1</sub>)是倾向北西或北东;推覆体中部的产状(S<sub>0</sub>或S<sub>1</sub>)比较混乱,但仍以北东、北西倾向为主。

b. 五塘倒转背斜和五谷庙向斜的轴部都是向南凸出的弧形弯曲。在其东侧有与之配套的走向北东并向北西倒转的褶皱及走向北东、倾向北西的逆冲断层发育。在武当山东段巨型 AB 型褶皱形成过程中,由于侧向压力的作用,在它的北部武当山中部水竹园地区形成北东 10°~15°走向开阔褶皱。

c. 该 AB 型褶皱的总体方向为北东 15°左右。通过全区近 100 个拉伸线理统计,产状为 16.7°∠25.3°(图 4)。在 AB 型褶皱西侧的大川剪切带中,拉伸线理产状为 359.1°∠8.9°(图 4),具右旋性质;东侧的紫金剪切带拉伸线理的产状为 25.8°∠18.7°(图 4),具左旋性质。

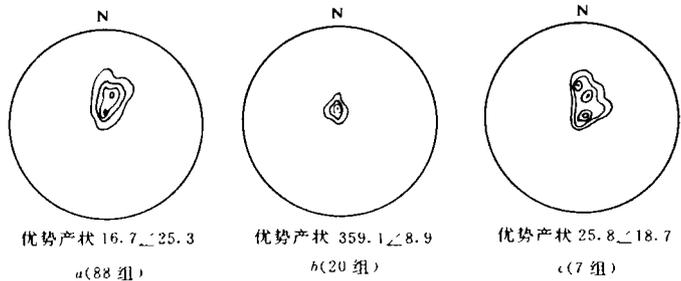


图 4 拉伸线理统计产状图

Fig. 4 The statistics preferred orientation of stretch-line

d. 武当山东段巨型 AB 型褶皱的形成过程中,有与之相应的大川—盐池河剪切带、土城—沙河剪切带、五塘剪切带和紫金剪切带的形成。

综上所述,武当山东段的几何样式,实际上是一个由北向南凸出呈舌状、地层总体向北倾、倒转翼被青峰剪切带剪掉的巨型 AB 型褶皱,其轴迹沿北东 15°左右延伸。

## 2 韧性推覆构造的变形机制

韧性推覆构造变形机制的研究,主要包括对韧性推覆体和韧性推覆剪切带两部分变形机制的分析研究。文中根据该地区的宏观与微观构造特征、应变测量和三维分析、岩组分析、磁性组构和多硅白云母 *b*<sub>0</sub> 值等分析了韧性推覆构造的变形机制。

## 2.1 非共轴的证据和剪切变形的宏观与微观标志

在武当山东段,发育一系列大中小非共轴的构造和区域性的拉伸线理。区域上发育了大小不同规模、不同方向的剪切带,剪切带中发育了大中小型的A型、AB型褶皱和鞘褶皱。在宏观与微观构造中都发育有S型的叶理、黄铁矿和石英,以及其它较硬矿物形成的不对称压力影、石英鱼、云母鱼等。区域上各剪切带中发育了变形纹、毕母纹、核幔构造等。以上都说明了整个武当山东段处于韧性变形区,变形作用主要是非共轴的,而且整个研究区的旋转方向是一致的。

研究区内的区域性拉伸线理和一系列大中小型贯穿性线理区域延伸和明显的旋转标志的存在,表明该地区曾发生过大规模的剪切变形作用。许多研究结果表明,在强烈和非共轴变形的情况下,拉伸线理大致平行于剪切方向,因此武当山地区的拉伸线理和与之平行的线性构造代表了向南进行的大规模剪切作用有关的构造迁移方向。以上说明,该地区的变形机制为剪切机制。

## 2.2 应变测量和三维分析

我们采用 Fry 法和 Panozzo 法(R. Panozzo, 1987)对变形石英等变形矿物进行了应变测量和三维分析。通过 Fry 法得到了三维应变椭球(图 5)及有关参数(表 2),将所有三维应变的参数作出 Flinn 图解和 Hossack 图解(图 6)。从所得图解和各参数看, Flinn 参数  $K$  值在 1.00 左

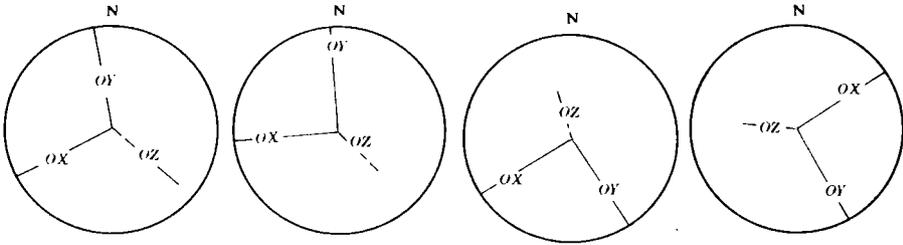


图 5 三维应变分析结果图

Fig. 5 Sketch of three-dimensional strain

右变化,表示平面应变的特征,而且应变强度和剪应变强度都在 0.5 左右,说明剪切应变明显。从 Flinn 图解和 Hossack 图解中可知,所有点皆分布于  $K=1$  和  $U=0$  的直线上及附近,所以整体看平面应变性质为简单剪切。各点的位置都处于剪切带,说明变形机制为剪切变形。各测点的应变特征与它所处的构造位置及后期叠加变形有关,所以,各点的应变特征有不一致性或一定的偏差。

采用 Panozzo 法,得到平均应变量为 0.5 左右,得到的岩石三维应变状况

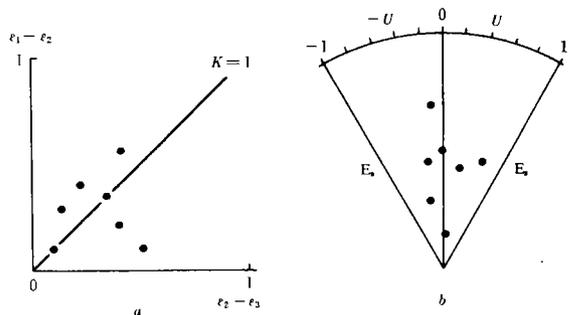


图 6 Flinn 图解(a)和 Hossack 图解(b)

Fig. 6 The Flinn diagram and the Hossack diagram

与 Fry 法基本一致。从以上分析可知,主滑面和推覆体内的剪切带的岩石变形机制主要为简单剪切,也就是说主要发生韧性剪切变形。

表 2 构造岩应变测量结果统计表  
Table 2 Strain measurements of tectonite

应变特征 \ 点号	D3	D6	D20	D21	D33	D41	D66
Flinn 参数 $K$ 值	1.89	0.52	0.22	1.06	1.4	2.37	1.04
应变强度 $E_s$	0.46	0.43	0.46	0.14	0.69	0.29	0.5
剪应变强度 $\tau_0$	0.53	0.5	0.54	0.57	0.79	0.33	0.58
有限应变变量 $\bar{\epsilon}_1 - \bar{\epsilon}_2$	0.41	0.21	0.11	0.11	0.56	0.28	0.36
有限应变变量 $\bar{\epsilon}_2 - \bar{\epsilon}_3$	0.22	0.4	0.5	0.1	0.4	0.12	0.35

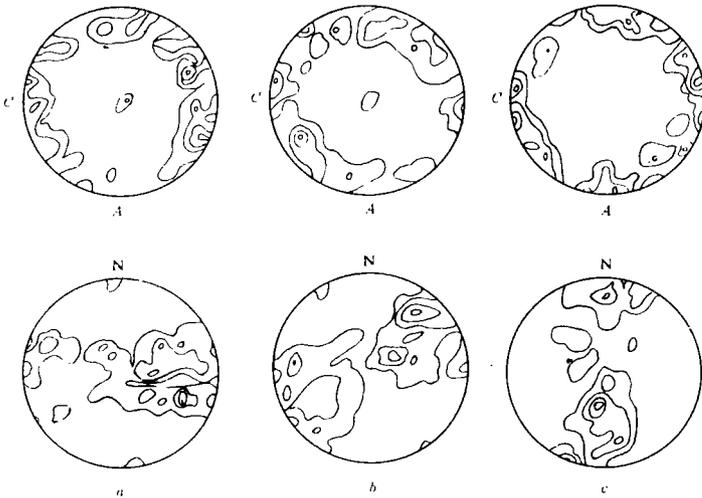


图 7 石英光轴方位图

Fig. 7 Preferred orientation of  $C$  axes of quartz

上为 AC 组构图,下为水平相组构图。单斜对称,主应力方位  
近于南北向,右旋剪切

### 2.3 组构图的解释

构造岩中矿物的优选方位型式是应力作用下的岩石变形,尤其是塑性变形的结果。从推覆体内和主滑面采集制作了 25 块定向薄片,由此作出 25 个石英光轴方位图以及两个云母组构图,对其组构分析可知,它们都是大圆环带叠加有极密的小圆环带,都为单斜对称型式(图 7),这说明都是简单剪切变形为主。证明整个武当山地区变形具有剪切性质,即说明了武当山地区存在塑性变形产物——巨型 AB 型褶皱完全是可能的。

### 2.4 磁组构的解释

作者对青峰推覆韧性剪

切带进行了磁性组构研究,通过测试计算得到了每个样品的主磁化率值  $K_1, K_2, K_3$ (表 3),其单位为  $10^{-6} \text{CGSM}/\text{cm}^3$ 。

从表中可看出,在青峰韧性推覆剪切带不同地段,由于不同的原岩类型决定了其所含磁性矿物量的不同,它们磁化率绝对值最大差异达 5 个数量级。然而,它们的轴比率却表现出惊人的相似,表中多数样品  $E > 1, 0 < R < 0.5, 0 < T < 1$ , AMS 椭球体为压扁型椭球体,面理发育占优势,这基本与野外所观测到的糜棱岩变形特征一致。

图 8 表示将磁性组构参数投影到 Flinn 图解中的结果,从图中可知,磁各向异性都落在  $K_m = 1$  附近,仅个别落在  $0 < K < 1$ ,而靠近  $K_m = 1$  的区域。这表明这些糜棱岩主要显示平面应变

特征,是在简单剪切作用下的产物。

表 3 糜棱岩磁性组构要素测定及计算结果

Table 3 Measurement and calculation of magnetic factors of the mylonites

样号	地点	$K_{max}$	$K_{int}$	$K_{min}$	$F$	$L$	$P$	$E$	$T$	$R$
1-1	红山	2352.21	2273.22	1994.37	1.1398	1.0347	1.1794	1.1015	0.5867	0.2207
1-2	红山	2504.78	2369.54	2124.11	1.1155	1.0571	1.1792	1.0553	0.3289	0.4881
1-3	红山	2098.72	1951.55	1720.10	1.1346	1.0754	1.2201	1.0549	0.1688	0.3887
2-1	青峰	2.42	0.81	0.4	2.0250	2.9877	8.0500	0.6779	-0.2091	0.7970
2-2	青峰	5.52	4.73	1.58	2.9937	1.1670	3.4937	2.5652	0.7530	0.2005
3-1	官坊	20.97	16.53	9.68	1.7076	1.2686	2.1663	1.3461	0.3845	0.3933
3-2	官坊	17.74	13.71	12.9	1.0628	1.2939	1.3752	0.8214	-0.8177	0.8327
4-1	峡峪	9.85	8.55	1.97	4.3401	1.1521	5.0000	3.7673	0.8241	0.1650
4-2	峡峪	2.76	0.79	0.39	2.0256	3.4937	7.0769	0.5798	-0.2785	0.8321
5-1	官坊	11.89	10.9	7.43	1.4670	1.0908	1.6003	1.3445	0.6304	0.2220

## 2.5 高压低温变质作用

意大利学者 Sassi 等(1976)发现随变质压力的增大,云母的  $b_0$  值加大,之后,Sassi 用  $b_0 = 0.900nm$  和  $0.904nm$  作为划分低、中、高压三个相系的变质白云母的界线。笔者搜集整理了武当山地区的数百个多硅白云母的  $b_0$  值。其  $b_0$  值绝大多数大于  $0.9040nm$ ,说明武当山地区位于一条广泛的高压变质带。而邻区没有发现对应的高温低压变质带,可以认为本区的高压低温变质作用,与武当山地区双重韧性推覆剪切作用有关。这也从另一个侧面证实了前述武当山东段的几何样式——巨型 AB 型褶皱和武当山韧性推覆构造存在的合理性。

H. 赫冈(1982)通过实验在简单剪切状况下获得了褶皱轴近于平行最大拉长方向的褶皱的发育情况。武当山地区的巨型 AB 型褶皱,其轴向与剪切方向一致。从所观察到的宏观构造特征、应变与组构分析、磁组构等都证明了武当山地区的构造变形机制为简单剪切机制。

从前面的研究可知,东秦岭南翼的武当山地区为一韧性推覆构造,多种方法和手段所得结

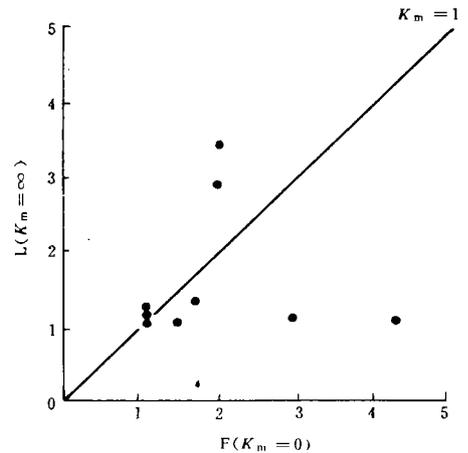


图 8 磁性组构 Flinn 图

Fig. 8 The Flinn diagram of the magnetic fabric

果证明该地区为剪切变形区,并且由数个强应变带和弱应变域组成。在东秦岭造山带核部已识别出三套巨型的韧性剪切系统(钟增球、索书田,1990),即秦岭杂岩内部弱应变域中保留的元古代水平韧性剪切系统,北缘(如军马河—马蹄湾)韧性推覆剪切系统和内部的网结状(如蛇尾、寨根韧性剪切带)走滑型韧性剪切系统。许志琴等(1986,1988)从东秦岭划分出了一系列韧性剪切带、韧性推覆剪切带和韧性构造变形带,且认为东秦岭造山带的一系列构造变形机制都是剪切变形的结果。通过对武当山地区的地质填图、研究分析和构造解析,以及索书田等(1989)对东秦岭核部秦岭群的研究,都识别出了从区域尺度到显微超显微尺度的线状强应变带(剪切带)和弱应变域(透镜状断片、夹块)。这些表明,不管是东秦岭造山带南翼的武当山地区,还是整个东秦岭造山带,都是由一系列尺度不同的剪切带和剪切透镜状断片拼贴或堆叠而成的,是剪切造山带的基本特征。所以,作者认为,东秦岭造山带是一典型的剪切造山带。

武当山韧性推覆构造,就是在东秦岭的印支期至燕山早期的剪切造山过程中形成的。它是在挤压剪切的基础上形成的韧性推覆构造。

### 参 考 文 献

- 1 蔡学林等. 武当山推覆构造结构模式. 成都地质学院学报, 1988, 15(4)
- 2 许志琴等. 东秦岭复合山链的形成. 北京: 中国环境科学出版社, 1988
- 3 钟增球、索书田等. 东秦岭造山带核部的韧性剪切系统. 地球科学, 1990, 15(6)
- 4 朱志澄. 逆冲推覆构造. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989
- 5 杨巍然等. 剪切运动在区域构造演化中的作用与意义. 地质科技情报, 1990, 9(4)
- 6 贺绍英等. 岩石的磁化率各向异性. 北京: 地质出版社, 1986
- 7 Hrouda F. Magnetic anisotropy of rocks and its application in geology and geophysics. Geophy Surv, 1988, (5)

## STUDY OF THE EASTERN QINLING SHEAR OROGENIC BELT

### ——Based on the Wudang Mountain nappe

Fang Xiangchi      Cai Xuelin

**Abstract** Nappe tectonics was classified into three types thrust nappe tectonics, slipping tectonics (stretch nappe tectonics) and tenacity nappe tectonics. By comprehensive study, Wudang Mountain tenacity nappe tectonics has been pointed out at the first time. Its geometrical pattern is a giant “AB” type of fold. It was proved by many means, that mechanism of deformation in Wudang Mountains area is simple shear. The whole Eastern Qinling orogenic belt is a shear orogenic belt. The concept, characteristics and important significance of shear orogenic belt have been discussed in the article.

**Key words** nappe tectonics, tenacity nappe tectonics, geometrical pattern, simple shear mechanism, shear orogenic belt, Wudang Mountain, Eastern Qinling