第69卷 第4期　　地 质 学 报　　Vol.69, No.4
1995年11月　　ACTA GEOLOGICA SINICA　　Nov., 1995

滇西无量山北缘弧形推覆构造

李述靖　单业华
(中国地质大学(北京)地质矿产系)

滇西无量山北缘弧形推覆构造是一个具有多重叠置结构的复杂推覆系统。原地系统为侏罗系和白垩系组成的北西西向弧形褶皱带。外来系统主要是上三叠统。总体上自南向北推覆，上盘向北北东方向推移距离在10km以上。形成深度约5—10km，形成环境不超过绿片岩相。大体生成于渐新世时期，约40—20Ma之间。

关键词　弧形推覆构造　逆掩断层　飞来峰　多重叠置结构　驮载　滇西无量山

无量山北缘弧形推覆构造出露于云南省南涧县境内，西起大字山，东达石硐寺，东西延伸超过30km，波及宽度在10km以上，总体展布呈向北东凸出的缓弧形。浅变质的三叠系相当广泛的多重推掩于侏罗系和白垩系之上，飞来峰、构造窗均有所见，是一个颇具规模的复杂推覆构造系统。该推覆构造出现于滇西兰坪–思茅喜马拉雅期褶皱带(简称兰思褶带)中段西侧，它在中国西南的特提斯–喜马拉雅构造中具有一定典型意义[1,2] 1)。

1986年张峰根等根据1:20万区域地质调查成果曾做过报道[3]。1989—1991年作者等先后三次对其做了进一步调查，取得了一些新的认识。

本次研究，预先对区内陆地卫星多光谱扫描(MSS)资料进行了图像处理，并取得了主题制图仪(TM)图像。从所获影像上看，这一推覆构造的宏观结构特征均有清楚显示。随后，在1:20万地质图件基础上，对推覆构造展布区进行了补充地质填图，获得了较详细的地质构造资料(图1)。通过以上工作基本查明弧形推覆构造主要由四条逆断层和一系列飞来峰群所组成。四条逆断层自南向北依次为回龙山–大地断层(F_1)、和乐–密么断层(F_2)、宝华断层(F_3)和富谷断层(F_4)。飞来峰群主要有回龙山–大地飞来峰群和长虫街–夏家村飞来峰群两组，二者大体以和乐–密么断层为界，分别由不同特征的灰岩构成(图1,2)。

注：本文系国家自然科学基金资助项目(编号：9487002-2)。

1) 本文选题据云南1:20万区域地质调查成果和80年代初全国构造体系编图成果。

本文1993年3月收到，1994年10月改回，王毅编辑。

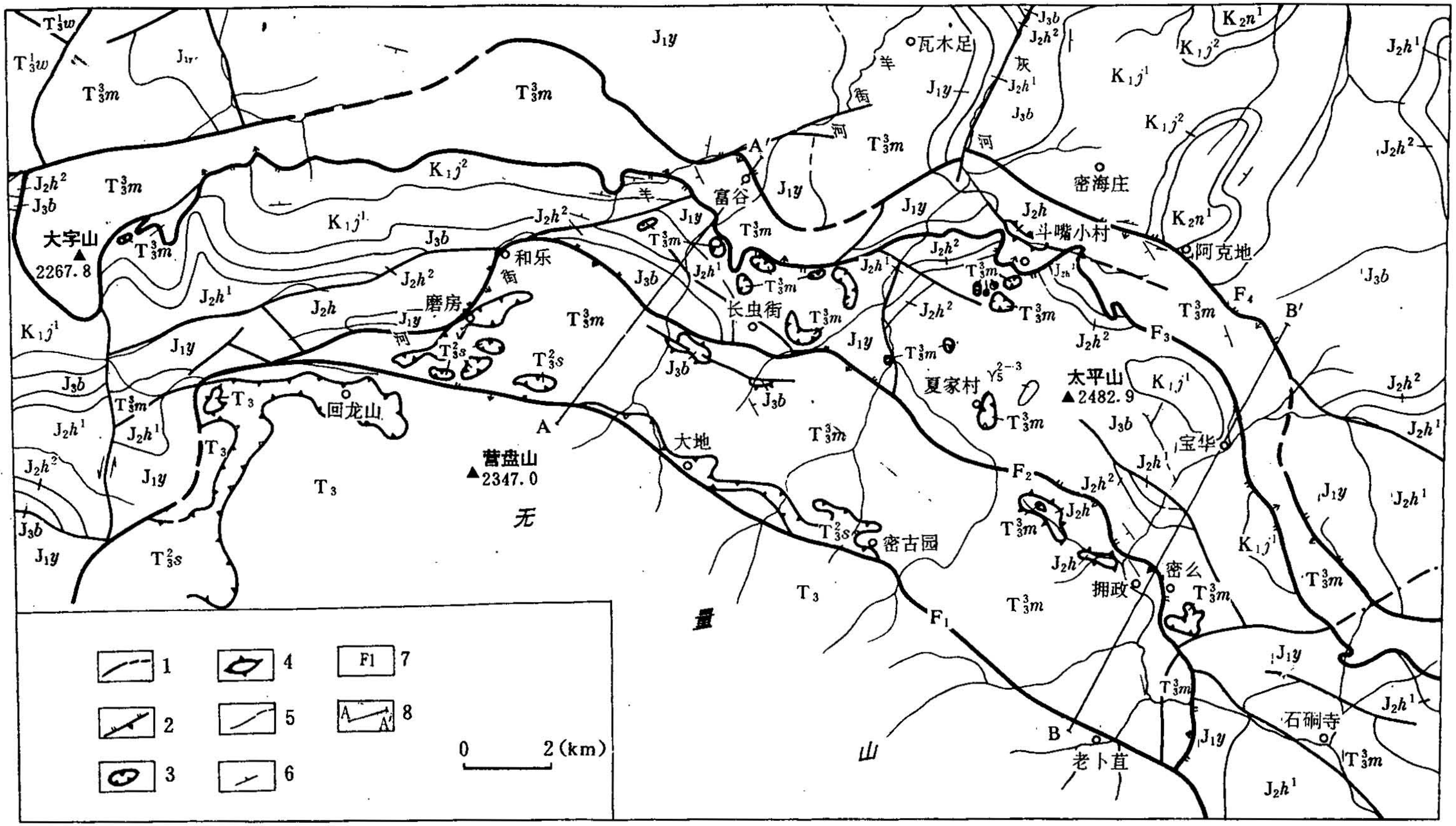


图 1　无量山北缘地质构造图 （据 1∶20 万巍山幅地质图经实测修改补充）

Fig.1　Geological and structural map of the northern Wuliang Mountains (modified after 1: 200000 weishan sheet with some supplements)

K_2n^1　上白垩统南新组下段；K_1j^2　下白垩统景星组上段；K_1j^1　下白垩统景星组下段；J_3b　上侏罗统坝注路组；J_2h^2　中侏罗统花开佐组上段；J_2h^1　中侏罗统花开佐组下段；J_{1y}　下侏罗统漾江组；T_3^3m　上三叠统麦场箐组；T_3^2s　上三叠统三合洞组；T_3^1w　上三叠统歪古村组；T_3　上三叠统浅变质岩；γ_5^{2-3}　燕山期花岗岩；1.断层；2.逆断层；3.飞来峰；4.构造窗；5.地层界线；6.地层产状；7.断层编号；8.剖面位置

K_2n^1　L.Mem.of U.Cretaceous Nanxin Fm.; K_1j^2　U.Mem.of L.Cretaceous Jingxing Fm.; K_1j^1　L.Mem.of L.Cretaceous Jingxing Fm.;
J_3b　U.Jurassic Bazhulu Fm.; J_2h^2　U.Mem.of M.Jurassic Huakaizuo Fm; J_2h^1　L.Mem.of M.Jurassic Huakaizuo Fm.;
J_1y　L.Jurassic Yangjiang Fm.; T_3^3m　U.Triassic Maichugqing Fm.; T_3^2s　U.Triassic Sanhedong Fm.;
T_3^1w　U.Triassic Waigucun Fm.; T_3　U.Triassic Low-grade metamorphic rocks; γ_5^{2-3}　Yanshanian granites;
1.fault; 2.overthrust; 3.klippe; 4.structural window; 5.stratigraphic boundary; 6.strike and dip; 7.fault number; 8.location of section

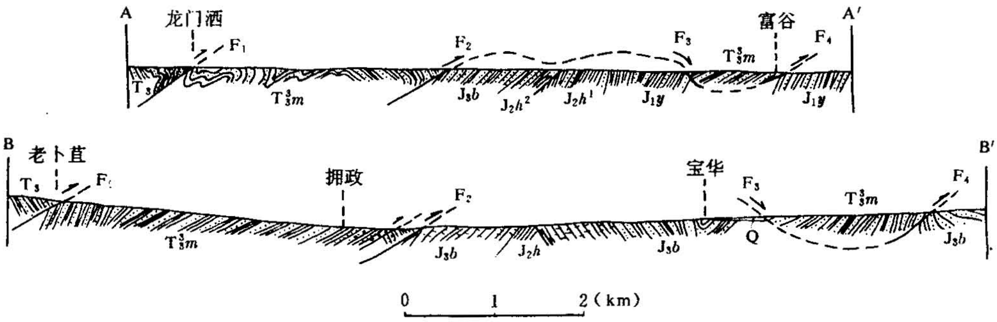


图 2 富谷–龙门洒和宝华–老卜苴构造剖面

Fig.2 Structureal cross sections of Fugu–Longmensa and Baohua–Laopusuo

图例说明见图 1

For the explanation of the legend, see Fig.1

1 主要构造描述

1.1 主要逆断层

回龙山–大地断层(F_1) 断层呈向北凸的弧形展布，总体倾向南，南盘砂板岩系(T_3)逆冲于北侧轻微变质的麦初箐组砂页岩(T_3^3m)之上，而东西两端则直接掩冲于侏罗系之上。该断层在遥感图像上有明显表现，在地貌上是无量山北缘的一个地形阶梯，形成雄伟断崖景观。

和乐–密么断层(F_2) 断层两端均覆没于(F_1)之下，总体呈一向北东凸出的方弧形，断层主要倾向南西。在拥政北公路大桥两侧均可见到南盘麦初箐组灰黑色砂页岩夹砾岩(T_3^3m)冲掩于北盘晚侏罗世坝注路组红色砂、页岩之上。断层南侧还见有几处较大的构造窗，剥露出了下盘的中晚侏罗世杂色岩层。

宝华断层(F_3)和富谷断层(F_4) 这两条断层均为向北东凸的弧形，它们大致呈互相平行展布并相向倾斜。前者在南，倾向北东，后者在北，倾向南西。二者的上盘均是麦初箐组(T_3^3m)灰黑色砂、页岩夹灰岩，下盘则均为侏罗纪和白垩纪红层。宏观上，在红层分布区中形成了一个弧形黑色条带，它实际上是一个弧形外来推覆岩带。二者在西端环绕大字山连为一体就清楚地说明了这一点。在富谷以西公路上，F_3 北盘麦初箐组灰岩(T_3^3m)覆于白垩纪的陡立岩层之上，富谷以东大沟中可清楚看到 F_4 使灰黑色砂、页岩(T_3^3m)掩覆于沟中的侏罗纪红色岩层之上。在 F_3 上盘还出现了构造窗。向东，在阿克地西侧公路丫口路堑壁上见到了 F_4 的人工剖面，南盘麦初箐组以 40° 倾角逆掩于北盘白垩纪砂岩之上，上盘岩层中发育有一组走向北西 290° 倾向南西倾角为 80° 的叠瓦式冲断面，显示了 F_4 左行斜冲的运动方式(图 3)。在其北方，密海庄东公路壁上还见到北盘白垩系中发育有低角度的逆掩断面(南西 190° ＜12°)，同样反映了自南向北的推覆作用(图 4)。

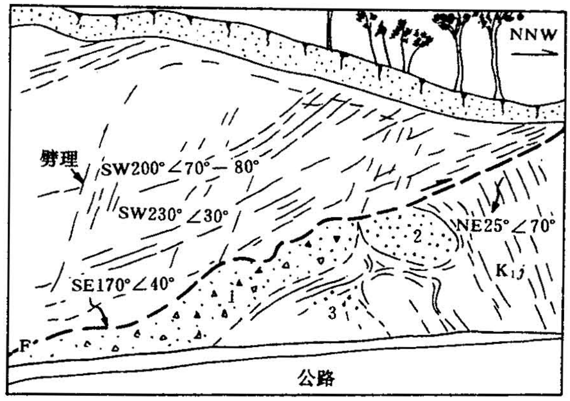


图3 阿克地西公路上 F_4 断层（照片素描）

Fig. 3 F4 fault beside a road west of Akedi sketch based on the photo

1.角砾岩；2.砂岩；3.砂、页岩；F 断层

1.Breccia; 2.Sandstone; 3.Sandstone and shale; F fault

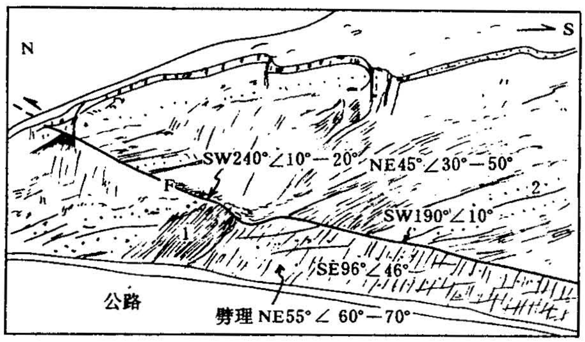


图4 密海庄东公路边白垩系中逆掩断面（照片素描）

Fig.4 Overthrust section within the Cretaceous beside a road east of Mihaizhuang sketch based on the photo

1.页岩；2.砂岩；F 断层

1.Shale; 2.Sandstone; F fault

1.2 两组飞来峰群

回龙山-大地飞来峰群 分布于测区西南部，主要由回龙山、羊街河磨房和大地等七个飞来峰组成。飞来峰由厚层灰白色质纯结晶灰岩或白云质灰岩组成。据1:20万区调资料，在回龙山附近该层中曾采集到*Holobia* sp.，可与西部邻区对比，时代定为 T_3^1—T_3^2。我们据岩性对比，暂将其定为三合洞组（T_3^2S）。前人曾将其与下覆地层视为整合关系，本次调查发现大量事实证明二者为断层接触，灰岩是外来岩块，构成飞来峰构造。飞来峰灰岩产状一般比较平缓，常构成山体顶盖，自无量山南坡远观回龙山飞来峰蔚为壮观。在其西部的构造窗部位，揭露了它与下伏岩层的关系，灰岩与砂、板岩呈断层接触，板岩中有平

卧褶曲发育。羊街河磨房飞来峰的内部结构剖面出露的最好，灰岩中有叠瓦式冲断与褶皱发育，显示了外来岩块向北北西方向的运动(图 5)。该飞来峰西缘在回龙山北公路边小采石场也有清晰表现(图 6)。这一组飞来峰总体呈向北凸的弧形散布，可能来自南方，似乎是驮载在 F_1 和 F_2 两条逆断层上盘的外来岩块。

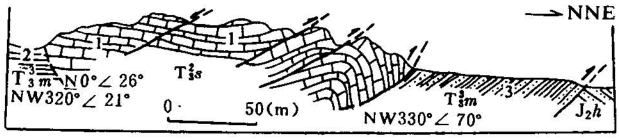


图 5 羊街河磨房飞来峰构造剖面

Fig.5 Structural section of the Mofang klippe in Yangjiehe

1.灰岩；2.页岩；3.砂、页岩；时代符号说明见图 1

1.Limestone; 2.Shale; 3.Somdstone and shale; for explanation of age symbols, see Fig.1

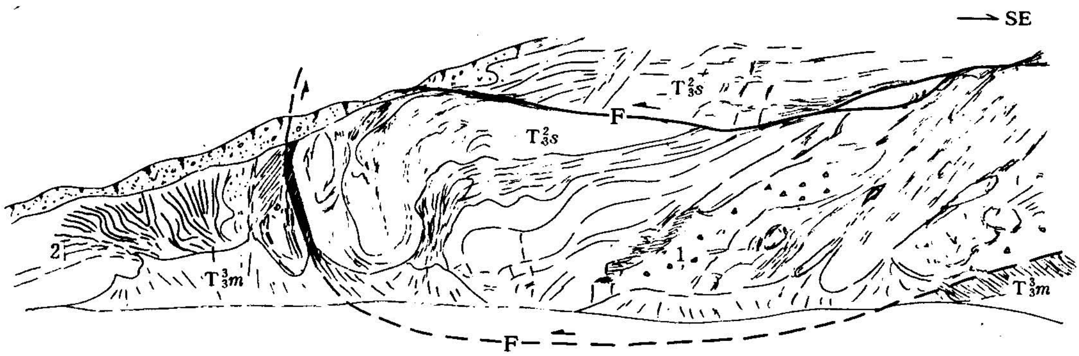


图 6 回龙山北公路边小采石场构造(照片素描)

Fig.6 photo sketch of a small stone quarry beside road north of Huilongshan

1.角砾岩；2.页岩；F 断层；时代图例见图 1

1.Breccia; 2.shale; F fault; (for explanation of age symbols, see Fig.1)

长虫街-夏家村飞来峰群 全部分布于 F_2 与 F_3 两条断层之间的侏罗纪和白垩纪红

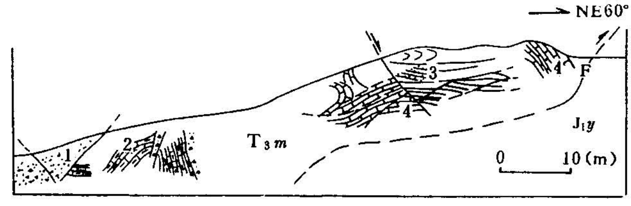


图 7 长虫街北 1km 采石场飞来峰构造剖面

Fig.7 Structural section of a klippe in a stone pit about 1 km north of Changchunjie

1.岩溶角砾岩；2.灰泥岩；3.变泥岩；4.灰岩；时代符号说明见图 1；F 断层

1. Karst brèccia; 2. lime mudstone; 3. metapelite; 4. limestone; (for explanation of age symbols, see Fig. 1; F fault)

层之上。飞来峰亦主要由灰岩组成，其标志岩性为纹层灰岩、泥灰岩、沥清页岩和石灰质

角砾岩,灰岩中产瓣鳃类化石碎片,有时夹较多的灰黑色砂页岩。看来它们可归属于麦初箐组,与 F_2,F_3,F_4 等逆断层上盘的地层相当。在长虫街北采石场岩壁上看到了它们内部结构的剖面,表现出外来岩块相对向北东方向运动的特征(图 7)。密么飞来峰灰岩不大连续,前缘砂页岩发生强烈变形,反映上覆岩块发生过向东推移(图 8)。这组飞来峰群更明显地表现出外来岩系经历复杂变形和远程位移的诸多特征。

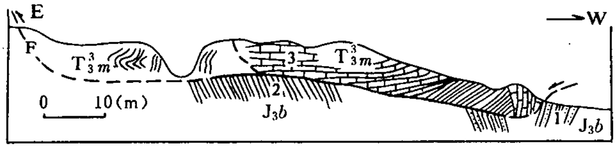


图 8　密么村南飞来峰构造剖面

Fig.8　Sturctural section of a klippe south of Mimo Village

1.砂岩;2.页岩;3.灰岩;F　断层;时代符号说明见图 1

1.Sandstone; 2.shale; 3.lime stone; F (fault; for explanation of age symbols, see Fig.1)

2　部分小构造研究资料

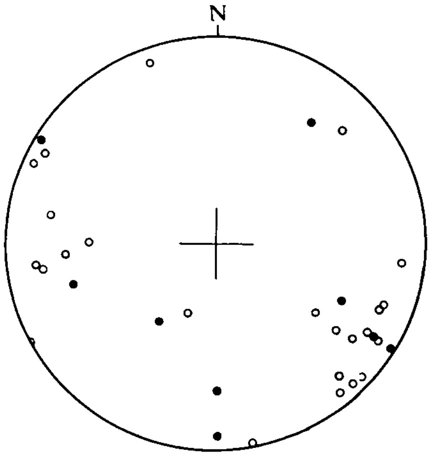
为进一步认识推覆构造的形成机制,于野外、室内还进行了一些小构造研究和相关测试工作。

在长虫街南东方向于 F_2 下盘地层中发育有较多方解石脉,这些脉体沿一组产状平直稳定的节理(南东 107°∠82°)充填,方解石晶体垂直脉壁生长。它们具有等距性,间距一般为 62mm,节理末端往往是逐渐尖灭的,彼此没有联系。因此,这组节理可能属模式Ⅰ型,为水压胀裂产物[4],是伴随 F_2 断层逆冲形成的。据此可知,其最小主应力方向为北西 287°∠8°,近于水平,沿此方向的伸长度大约为 4%(方法见 Onash 和 Odonne 1990)[5-7]。

在拥政公路大桥 F_2 断层上盘麦初箐组中有砾岩层,砾石普遍被压扁拉长,拉伸线理南东 135°∠10°。砾岩中有一组平直等距的细脉,间距为 180mm,脉体产状北西 302°∠87°,这组脉充填的节理也具有模式Ⅰ型特征,说明最小主应力方向为南东 122°∠3°,与拉伸线理接近。在变砾岩 XZ 切面上观察灰岩砾石的轴比可达 12:1,砾石内发育有砾内破裂,沿破裂面亦充填着垂直脉壁生长的纤维状方解石,由此造成的砾石伸长度可达 85%,在压扁砾石两端还发育有纤维状方解石组成的微弱压力影。在 YZ 切面上砾石没有明显拉长,反映出变砾岩的应变状态为 $X>Y=Z$。

以上两地研究结果反映出 F_2 断层附近岩石最大主应力方向为北北东–南南西,大体与逆断层走向垂直,结合逆掩断层产状和其它构造特征,可知断层上盘的运动方向是指向北北东的。

在宝华西南,F_2 断层下盘侏罗纪地层中普遍发育与区域构造线一致的劈理和近于平行的线理,据测量统计得到如下极点投影图形,表明它们的优势走向均为北西向(图 9)。岩层表面擦痕、剪切脉特征和剪切破裂产状与位移特征等各类小构造现象也一致显示了北东–南西向的挤压作用方式和上覆岩层北西–南东向伸展的统一应力场特征。



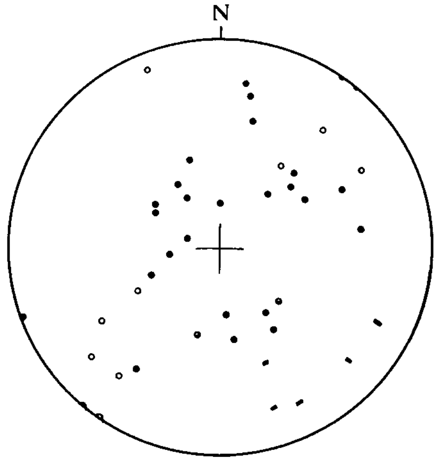


图9 a.线理的下半球等面积投影,小圆点代表拉伸线理和石香肠的b轴,黑点代表矿物线理(包括断层面上的)

b.一些构造要素的下半球等面积投影,黑点为劈理的极点,空心圆为层理的极点,半实圆为顺层劈理的极点,实方框为小褶皱的枢纽

Fig.9 a. Equal-area projection of the lowe hemisphere of lineation (small circles stand for the b axle of streching lineations and boudins; black points stand for mineral lineations) (including the lineations on the fault planes)

b. Equal-area projection of the lower hemi sphere of some structural elements (black points stand for the pole points of cleavages; hollow circles are the pole points of beddings; half solid circles stand for the pole points of bedding cleavages; solid squares are the hinges of some small folds)

我们还进行了一些有限应变测量和分析工作[8-10]测量,对象选择了还原斑。本区还原斑一般产于麦初箐组顶部和漾江组(J_1Y)底部。共测量了六个地点,采用摩尔圆图解法制作了还原斑应变分析的莫尔图(图10)。从图上可以区分出两个应变区,即强应变区($r>3.5$)和弱应变区($r<1.5$)。在强应变区$K>1$,属伸长型,这些测点均分布于F_3南侧;在弱应变区$K<1$,主要属压扁型,测点分布于F_4北侧。由此可见,区域应变强度自北向南趋势是增强的。

此外,对古温度状况也做了一些探索。自弧形构造北侧麦初箐组所夹煤层中采样,测得煤的最大镜质体反射率为5.61%,表明为超无烟煤,估计其经受的最高温度约200—250℃[11]。而采自宝华南侏罗纪泥岩中的两个样品,经测试伊利石结晶度分别为116.7和109.1,反映出岩石经受温度达350℃,已相当于浅变质作用环境。结合回龙山附近三合洞组(T_3S^2)灰岩中白云母$b_0=9.006\times10^{-1}$nm,属中—低压型变质相,麦初箐组板岩中白云母$b_0=8.996\times10^{-1}$nm,属低压型1)的情况看,本区古温度状况及变质程度也显示出自北向南逐步增高增强的趋势。同时说明,推覆构造形成深度约为5—10km,所处环境不超过低绿片岩相。

1) 侯泉林. 滇西无量山地区的构造特征及变形和变质作用探讨. 1991.

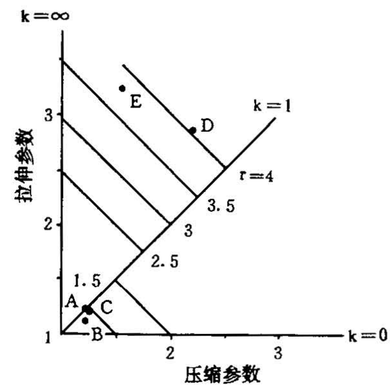


图 10　本区宝华、拥翠等地有限应变测量莫尔图

Fig.10　Mohr's diagram of finite strain measurements in Baohua and Yongcui

A　宝华大平地;B　拥翠瓦木足;C　拥翠新龙基;D　拥翠者别烈;E　拥翠楠棍山

A　Dapingdi of Baohua; B　Wamozu of Yongcui; C　Xinlongji of Yongcui; D　Zhebele of Yongcui; E　Langunshan of Yongcui

3　推覆构造形成机制分析

综合上述资料,可以对无量山北缘弧形推覆构造系统的形成方式做出一些分析。

推覆构造的原地系统为侏罗纪和白垩纪红层,红层褶皱带在区域上总体呈北西向,在推覆构造区内形成向北东凸的弧形,弧顶外侧局部有横向褶皱出现。外来系统由未分的晚三叠世浅变质岩系(T_3)、晚三叠世三合洞组灰岩(T_3^2S)和麦初箐组灰黑色砂页岩夹灰岩(T_3^3m)等三套地层组成。其中麦初箐组广泛推覆于侏罗系和白垩系之上,形成了富谷–宝华弧形推覆岩带和长虫街–夏家村飞来峰群。前述 F_2, F_3, F_4 三条断层实际上是同一个逆掩推覆面(可称 F_0),经侵蚀在地表不同部位出露造成的,长虫街–夏家村飞来峰群的推移底面也是这个推覆断面的一部分。这个推覆断面极其起伏不平滑动面以泥页岩为主,除了在其形成过程中的诸多变形与边界因素外,还可能有叠加变形的影响。未分的晚三叠世浅变质岩系逆冲于上述麦初箐组及侏罗系和白垩系之上,而它们之上又驮载着由三合洞组灰岩组成的回龙山–大地飞来峰群,从而形成了具有多重叠置结构的复杂推覆构造系统[12]。

从图面结构分析:F_1 新于 F_0,也新于三合洞组灰岩飞来峰底部的推覆面(可称 F_s),而 F_s 与 F_0 未见直接交切关系。从羊街河磨房飞来峰和 F_2 断层的剖面关系看(图 5),F_s 不大可能晚于 F_0,F_s 亦未波及侏罗系和白垩系。那么,我们可以推断其成生序次为 $F_s \to F_0 \to F_1$,这也是我们将三合洞组灰岩飞来峰视为驮载构造的原因之一。从 F_1 控制现今地形地貌的情况看,同样说明 F_1 的形成是较晚的。

F_s 推覆构造经历了驮载搬运,形成较早,对其形成机制还知之不多,从羊街河磨房剖面上可以判断其前锋运动方向在那里是朝向北北西的,飞来峰群呈向北凸的弧形展布似乎显示其来自南方。F_0 的运动方式则有大量资料说明它是朝着北北东方向推掩的,并伴

有局部的左行运动。它与原地系统的褶皱构造相协调，共同形成了向北东凸出的弧形构造带，变形与运动方式是统一的，应变强度、形成温度、变质程度也一致显示了自南向北逐渐减弱变低的趋势。从推覆带影响宽度看，F_0 推覆距离至少在 6km 以上，如果考虑到 F_2 断层已经掩覆了约 4km 的红层，F_0 推覆距离当在 10km 以上。F_1 的逆冲推覆似乎继承了 F_0 的方式与方向。

关于推覆构造的起因和形成时间可以做如下推断。弧形推覆构造与其南西侧的澜沧江断裂带的急剧弯转是同步的，澜沧江断裂南侧存在着一个南北向展布的海西-印支期临沧花岗岩岩基。它的存在和向北楔入兰思褶带可能是形成这一弧形推覆构造的直接原因。从而也可以推断，这一过程是在兰思褶带形成过程中及稍晚一些时候发生的。根据区域资料，兰思褶带强烈波及的最新地层为老第三系古、始新统(E_{1-2})。本区附近巍山一带分布着一些喜马拉雅期碱性花岗岩小岩株，这些岩体获得过一组 29—40Ma 年的同位素测年数据[1)]。本次调查中，对澜沧江边萍街渡北岸眼球状片麻岩利用 Ar-Ar 法测得了斜长石坪年龄 39.9±0.5Ma 年，黑云母坪年龄 16.7±0.9Ma 年[2)]。综合起来，可以认为推覆构造大致形成于老第三纪渐新世(E_3)时期(40—20Ma)。

综上所述，对无量山北缘弧形推覆构造的再认识进一步证明了滇西喜马拉雅期推覆构造相当广泛的存在。它的规模以及多重结构和各种构造特征，都进一步显示了滇西特提斯构造带喜马拉雅期变形的复杂多样。有关无量山推覆构造波及范围、回龙山-大地飞来峰群的根部所在、该推覆构造的演化历程、在区域构造中的地位、以及那里的成矿作用、近代活动有待进一步研究和探讨。

野外工作期间何科昭、师开业、覃功炯等同志曾一道工作，本文插图由邢秀起清绘，在此一并致谢。

参 考 文 献

1 中国地质科学院地质力学研究所.中华人民共和国及其毗邻海区构造体系图(1:250万附简要说明书).北京：地图出版社，1983.

2 地质矿产部三江地质编委会地质图编图组.怒江澜沧江金沙江区域地质图(1:100万附说明书).北京：地质出版社，1986.

3 张峰根，姜鸿才.怒江澜沧江金沙江地区第三纪推覆构造.中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊(增刊1号)，北京：地质出版社，1986.102—108 页.

4 Bahat D. Jointing and fracture intersections in Middle Eocene chalks near Beer Shera, Isreal. Tectonophysics, 1987, 138: 299—321.

5 Onash CM. Ability of the Fry method to characterize pressure-solution deformation. Tectonophysics, 1986, 122: 187—193.

6 Onash CM. Microfractures and their role in deformation of a quartz arenite from the central Appalachian foreland. J. Struct. Geol., 1990, 12(7): 883—894.

7 Odonne F. The control of deformation intensity around a fault: natural and experimental examples. J. Struct. Geol., 1990, 12(7): 911—921.

8 Ramsay JG. Folding and fracturing of rocks. McGraw-Hill. New York, 1967.

1) 据1：20万巍山幅区调资料。

2) 中国科学院地质所测定。

9 Ramsay J.G.& Huber M.The techniques of modern structural geology.Volume 1: Strain Analysis, Academic Press, 1983.
10 郑亚东，常志忠主编.岩石有限应变测量及韧性剪切带.北京：地质出版社，1985.
11 曹代勇，王文侠.镜质体反射率各向异性分析技术及其在构造研究中的应用.中国煤田地质，1990，2(1)：1—8.
12 R.G.帕克著.构造地质学基楚.李东旭，卢顺容，温长顺译.北京：地质出版社，1988，73—75页.

ARCUATE NAPPE STRUCTURE ON THE NORTHERN MARGIN OF THE WULIANG MOUNTAINS IN WESTERN YUNNAN

Li Shujin and Shan Yehua

(China University of Geosciences, Beijing)

Abstract

The arcuate nappe structure on the northern margin of the Wuliang Mountains in western Yunnan is a complex nappe system with multiple superimposed structures. The autochthonous system is a WNW–vergent arcuate fold belt formed by Jurassic–Creaceous red beds. The allochthonous system, which is mainly composed of grey–black Sandstone and Shale with impure limestone of the Upper Triassic Maichuqing Formation, was thrust over the autochthonous system through complicated deformation, thus forming the frontal arcuate nappe belt, klippes in the middle, and rear overthrusts. On the back side, the Upper Triassic low–grade metamorphic sandstone and slate system was in turn thrust over it. They also together carry the klippe swarm formed by limestone of the Upper Triassic Shanhedong Formation. Generally, the nappe structure moved from south to north, and the hanging walls of the fault were thrust in a NNE direction for more than 10 km. The nappe structure was formed at depths of about 5–10km, largely in the Oligocene, and the formation environment did not exceed the low greenschist facies.

Key words: arcuate nappe structure, overthrust, klippe, multiple superimposed structure, carry, Wuliang Mountains

作 者 简 介

李述靖，1936 年生，1960 年毕业于北京地质学院普查系地质测量与找矿专业。同年分配到青海区域地质调查队工作，1965 年以后主要在中国地质科学院地质力学研究所工作，长期从事区域地质调查与编图、地质力学、地震地质、遥感地质等方面的研究工作。现任中国地质大学(北京)教授。通讯处：北京市学院路 29 号中国地质大学，邮政编码：100083。