

文章编号: 1009-3850(2008)03-0008-07

# 龙门山中段清平飞来峰的构造变形特征及形成机制

韩建辉<sup>1,2</sup>, 王道永<sup>3</sup>, 李忠权<sup>3,4</sup>

(1. 中国石油大学 资源与信息学院, 北京 102249; 2. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 3. 成都理工大学 地球科学学院, 四川 成都 610059; 4. 成都理工大学 地质与油藏国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要: 在野外考察、室内分析的基础上对清平飞来峰的构造特征、形成机制进行了研究。其结果表明清平飞来峰具有明显的叠覆式特征, 共分 5 层。各层峰体特征、成因各具特色, 下部两层为推覆体, 上部三层为滑覆体。推覆体与滑覆体共同构成同一飞来峰, 为龙门山飞来峰中所少见。从而证实了龙门山飞来峰先发育推覆体, 后发育滑覆体的地质景观确实存在。

关键词: 飞来峰; 龙门山; 推覆构造; 重力滑覆

中图分类号: P542

文献标识码: A

## 1 地质背景

龙门山是我国西部一条典型的逆冲推覆构造带, 位于青藏高原的东缘, 北起广元、白水地区, 南达天全、泸定一带, 呈北东-南西向延伸约 500 km, 宽约 30~50 km。

该构造带由多条叠瓦状冲断带构成, 自北西向南东发育汶川-茂汶断裂、北川-映秀断裂、彭灌断裂。横向上又以安县和都江堰为界分为三段。清平飞来峰位于龙门山中段, 于北川-映秀断裂和彭灌断裂之间(图 1)。

龙门山清平飞来峰西南与彭灌飞来峰群遥遥相望, 北东与唐王寨飞来峰相临, 在龙门山飞来峰带中占有重要位置。多年来, 相对于龙门山飞来峰带中的其它大型飞来峰, 清平飞来峰的研究较少。笔者在野外考察、室内分析的基础上对清平飞来峰的构造特征、形成机制进行了研究, 得到了一些新认

识。

## 2 构造特征

### 2.1 展布特征

清平飞来峰面积约 312.4 km<sup>2</sup>, 是龙门山中段一个大型的飞来峰系统, 具有典型的“多层楼”式结构特征, 自下而上可以分为 5 层(图 2)。

龙王庙-白云山飞来峰(I层)为飞来峰体的最底层, 主要分布于研究区南西部的歇马庙-卸军门一带, 地层为震旦系-三叠系。盐井沟-水晶沟飞来峰(II层)分布于盐井沟-清平-水晶沟一带, 整体呈弯月形压盖在 I 层飞来峰之上, 地层全部为寒武系。顶子崖-罗元坪飞来峰(III层)从西到东部均有大面积出露, 整体呈北东向展布。西部压盖于 I、II 层飞来峰之上, 东部则直接覆于三叠系原地系统之上, 西部主要为泥盆系-二叠系, 东部主要是二叠系-三叠系。燕儿岩-金溪沟飞来峰(IV层)为长条形, 呈北

收稿日期: 2008-03-24 改回日期: 2008-06-10

作者简介: 韩建辉(1976—)男, 博士生, 主要从事层序地层学、构造地质学和盆地分析等方面的研究。Tel: 13269601812 E-mail: sl\_hanxia@Yahoo.com.cn

资助项目: 国家自然科学基金(40573002 40773030 40373005); 四川省构造地质重点学科(SZD0408); 四川省杰出青年基金(03ZQ026-046)和四川省应用基础研究项目(05JY029-088-2)联合资助



图 1 龙门山构造带区域构造简图

F<sub>1</sub> 茂汶断裂; F<sub>2</sub> 北川映秀断裂; F<sub>3</sub> 彭灌断裂。PM 彭灌杂岩; BM 宝兴杂岩; XM 雪隆包杂岩; S-G 松潘 甘孜褶皱带; Z 震旦系 (新元古界); P<sub>z1</sub> 下古生界; P<sub>z2</sub> 上古生界; Tr 三叠系 (Tr<sub>1</sub>, Tr<sub>2</sub>, Tr<sub>3</sub> 分别代表下, 中, 上三叠统); J 侏罗系 (J<sub>1</sub>, J<sub>2</sub>, J<sub>3</sub> 分别代表下, 中, 上侏罗统); K 白垩系 (K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> 分别代表下, 上白垩统); E 古新统到始新统; Cz 新生界。1. 断层; 2 飞来峰; 3 中生代花岗岩; 4 变质岩

Fig 1 Simplified tectonic map of the Longmen Mountains tectonic zone in Sichuan

F<sub>1</sub> = Maoxian-Wenchuan fault F<sub>2</sub> = Beichuan-Yingxiu fault  
 F<sub>3</sub> = Pengxian-Guanxian fault PM = Pengxian-Guanxian complex  
 BM = Baoxing complex XM = Xuelongbao complex  
 S-G = Songpan-Garze fold zone Z = Sinian (Neoproterozoic);  
 P<sub>z1</sub> = Lower Palaeozoic P<sub>z2</sub> = Upper Palaeozoic  
 Tr = Triassic Tr<sub>1</sub> = Lower Triassic Tr<sub>2</sub> = Middle Triassic Tr<sub>3</sub> = Upper Triassic  
 J = Jurassic J<sub>1</sub> = Lower Jurassic J<sub>2</sub> = Middle Jurassic J<sub>3</sub> = Upper Jurassic  
 K = Cretaceous K<sub>1</sub> = Lower Cretaceous K<sub>2</sub> = Upper Cretaceous  
 E = Palaeocene - Eocene Cz = Cenozoic  
 1 = fault 2 = klippe 3 = Mesozoic granite 4 = metamorphic rock

东南西分布于高川 擂鼓一带, 地层主要为泥盆系—三叠系。二郎庙飞来峰 (V层) 分布在研究区西北部的三叉沟—二郎庙一带, 整体呈一个长条形, 主要为泥盆系沙窝子组—二叠系阳新统。

### 2.2 分层构造特征

#### 1. 龙王庙 白云山飞来峰 (I 层)

#### (1) 边界断裂 (底滑面) 特征

龙王庙 白云山飞来峰底滑面为王家山 卸军门断层的后缘, 在红岩子一带表现为强烈挤压。该断层倾向南东, 构造显示上盘向南东滑动, 呈“正断层”, 挤压变形强烈。前缘卸军门断层上盘的吴家坪组灰岩变形强烈, 褶皱轴面倾向北西, 背斜的南东翼陡倾或者倒转, 显示由北西向南东的挤压作用。

#### (2) 内部变形特征

图 3 显示了龙王庙 白云山飞来峰内部变形特征, 表现为一系列不对称的倒转褶皱, 背斜与向斜相间排列。其中背斜的北西翼缓南东翼陡乃至倒转, 向斜的北西翼陡乃至倒转, 南东翼缓。二者轴面均倾向北西, 地层呈波浪式涌向南东。显示其由北西向南东的挤压特征。

#### 2 盐井沟 水晶沟飞来峰 (II 层)

盐井沟 水晶沟飞来峰的边界断层为清平断层。该断裂层后缘具有明显的挤压特征, 并且具有多期活动的特点。

该断层在后缘红岩子有较好出露 (图 4), 断面上凹的弧形, 倾向南东。上盘发育有两个紧闭背斜, 背斜的北西翼缓, 南东翼陡。根据调查分析, 该断层至少存在两期活动: 第一期受北西向南东的推挤, 形成逆冲断层和两个紧闭背斜; 第二期, 受到映秀断裂的影响, 逆冲断层的后缘抬升上弯, 抬起部分受到风化剥蚀。

清平前缘断裂下伏的泥盆系—二叠系表现为一个倒转的向斜, 即大河坝向斜。该向斜的南东翼倾向北西, 倾角 43°, 北西翼陡乃至倒转, 轴面倾向北西。向斜狭长, 轴迹走向北东, 与清平断层南的东段平行, 分析该向斜是下伏的 I 层飞来峰地层在清平断层挤压下形成的, 清平断层前缘也表现为挤压特征。

飞来峰的内部构造简单, 为一系列近似单斜的构造。由此, 该层飞来峰前缘、后缘断裂均表现为强烈挤压, 推覆体特征明显。峰体后缘蔡家北沟中的北西 南东向剖面中, 越靠近北西, 变形越强烈, 也显示了 II 层飞来峰后缘变形强且具推覆体的变形特征。

#### 3 顶子崖 罗元坪飞来峰 (III 层)

#### (1) 边界断裂特征

顶子崖 罗元坪飞来峰的边界断裂为岐山庙 黄羊坪断层, 后缘为映秀 北川断裂所截。该飞来峰的西部侧缘, 破裂带宽为 10m 内有碎裂岩, 拖拉褶皱发育。在其上部发育大柏岩次级断裂, 断层宽约

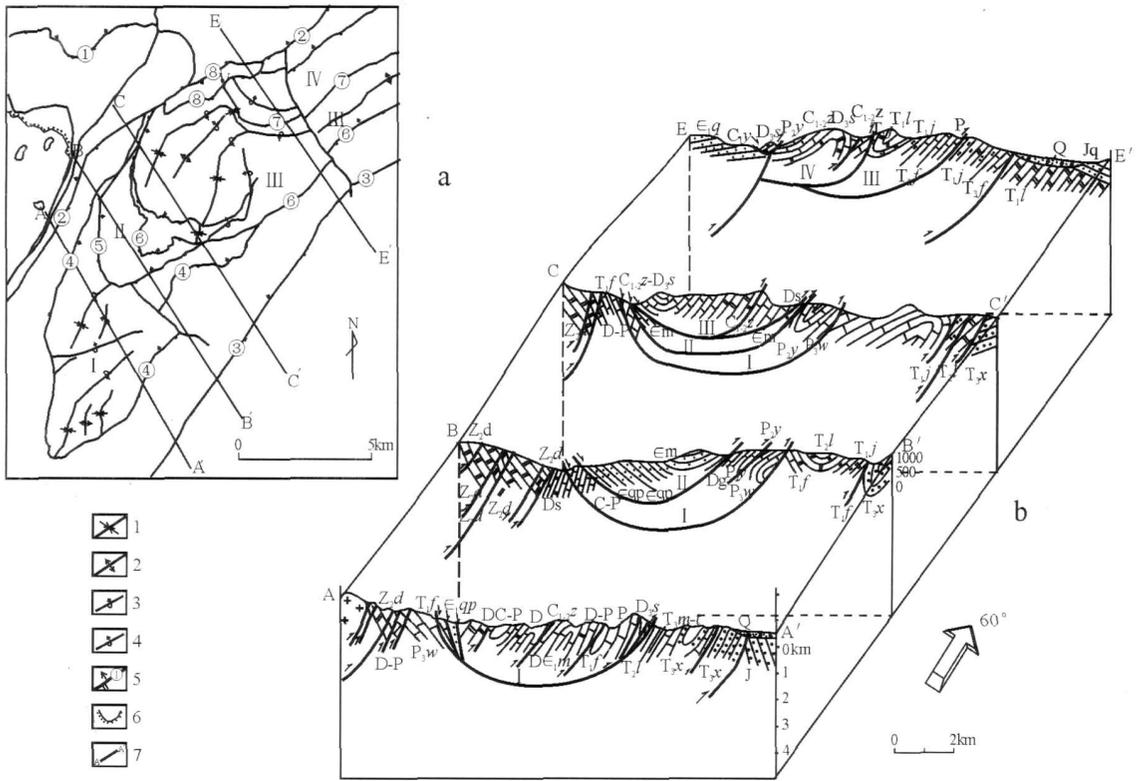


图 2 龙门山清平飞来峰构造块状图 (平面图据 1:5/1:20万有关区调地质图)

1 向斜构造; 2 背斜构造; 3 倒转向斜构造; 4 倒转背斜构造; 5 断裂及编号; 6 角度不整合; 7 剖面线。①. 九顶山断裂带; ②. 映秀-北川断裂带; ③. 彭灌断裂带, 飞来峰边界断裂; ④. 王家山-卸军门断裂; ⑤. 清平断层; ⑥. 岐山庙-黄羊坪断层; ⑦. 高川-茅山子断层; ⑧. 二郎庙断层。I. 龙王庙-白云山飞来峰; II. 盐井沟-水井沟飞来峰; III. 顶子岩-罗元坪飞来峰; IV. 燕儿岩-金溪沟飞来峰; V. 二郎庙飞来峰

Fig 2 Block diagram of the Qingping klippe in central Longmen Mountains

1 = syncline 2 = anticline 3 = overturned syncline 4 = overturned anticline 5 = fault 6 = angular unconformity 7 = section line  
 ① = Jiudingshan fault ② = Yingxiu-Beichuan fault ③ = Pengguan-Guanxian fault ④ = Wangjashan-Yujinmen fault ⑤ = Qingping fault ⑥ = Qishanmiaohuangyangping fault ⑦ = Gaochuan-Maoshanzi fault ⑧ = Erlangmiao fault I = Longwangmiao-Baiyunshan klippe II = Yanjinggou-Shuijinggou klippe III = Dingziyan-Luoyuanping klippe IV = Yan'eryan-Jinxiugou klippe V = Erlangmiao klippe

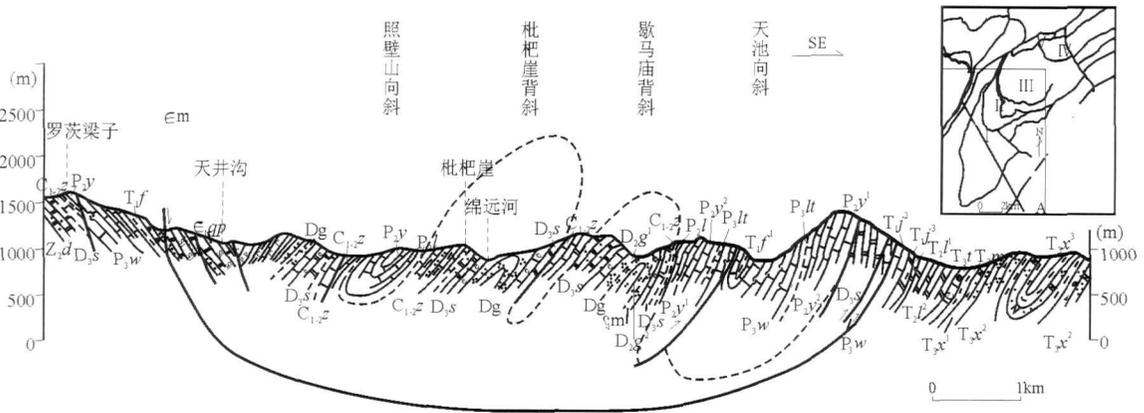


图 3 层 I 飞来峰变形特征

Fig 3 Deformation of the layer I (Longwangmiao-Baiyunshan klippe) of the klippe

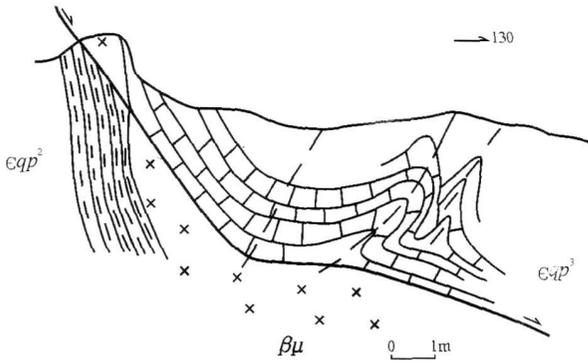


图4 清平断层后缘素描图(红岩子)

Fig 4 Sketch of the back (Hongyanzi) of the Qinping fault

20m同样具有碎裂岩和拖拉褶皱,分析是岩块在运动中侧缘受重力、摩擦等应力不均造成的。断层的东南前缘,走向北东,倾向北西,表现为大范围长距离推覆运动。

(2) 变形特征

顶子崖 罗元坪飞来峰构造总体为一个大型紧闭向斜构造,向斜的轴面倾向北西,被倾向北东的杜家沟平移逆冲断层所截,在该断层的东部仅出露向斜的东翼,到西部分为两支,即甘竹坪向斜和大柏岩向斜,二者在近上层飞来峰处表现为两条北东向同斜褶皱,倾向北西,在远离上层飞来峰的南部,则表现为宽缓向斜。该向斜构造形迹与上覆的燕儿岩 金溪沟飞来峰一致,结合以上变形特征分析其形成初期表现为一系列宽缓褶皱,受后期发育的燕儿岩 金溪沟飞来峰改造而形成现今形貌。除去这种改造,顶子崖 罗元坪飞来峰(III层)显示从前缘向后缘变形减弱。前缘表现为强烈挤压破碎,中后部表现为宽缓褶皱,反映了滑覆变形特征,因此,分析该层飞来峰为滑覆体。

4 燕儿岩—金溪沟飞来峰(IV层)

燕儿岩 金溪沟飞来峰边界为高川 香炉山断层,其后缘被映秀断裂所截,前缘根据下伏II层飞来峰中的紧闭褶皱分析认为是IV层飞来峰挤压造成,为挤压应力状态。

整个飞来峰总体构造为一个走向北东的向斜(图5)。向斜核部地层为下三叠统飞仙关组,核部被走向北东倾向北西的芭蕉坪断层切割,断距北东大南西小,向斜在柏水沟一带向南西仰起。两翼地层为泥盆系观雾山组到二叠系吴家坪组。产状上为一倒转向斜,两翼都倾向北西,南翼较缓,倾角为30°~65°;北西翼陡,倾角为50°~72°。

IV层飞来峰中向斜西南部出露的翘起端为钝圆

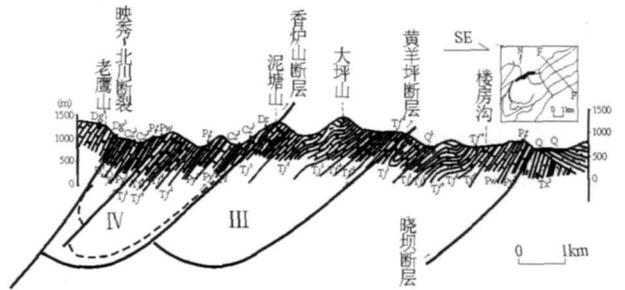


图5 安县顶子崖 罗元坪飞来峰(III)和燕儿岩 金溪沟飞来峰(IV)变形特征

Fig 5 Deformation of the Dingziya Luoyuanping klippe (the layer III) and Yan'eryan Jinxiyou klippe (the layer IV) in Anxian

状,笔者分析IV层飞来峰的主体向斜的原始状态应该是类似II层飞来峰主体向斜的宽缓向斜,因此才会有如此宽圆的翘起端。结合该层飞来峰中大面积发育的破灰岩,我们认为IV层飞来峰为滑覆成因,初始状态类似III层飞来峰,前缘挤压,中后部为宽缓褶皱的滑覆体变形序列,后来经映秀 北川断裂改造为同斜褶皱。

5 二郎庙飞来峰(V层)

二郎庙飞来峰的边界断裂二郎庙 五郎庙断层,其前缘显示挤压特征。二郎庙西南干河子支流交汇处露头显示下伏灰岩与上覆泥灰岩溶为一体,界限呈波状,根据构造角砾及片理判断,层面倾向北西。其间发育断层角砾岩,钙质胶结,角砾直径大的约20m,小为1m,一般为2~3m。次棱角状,挤压强烈(图6)。

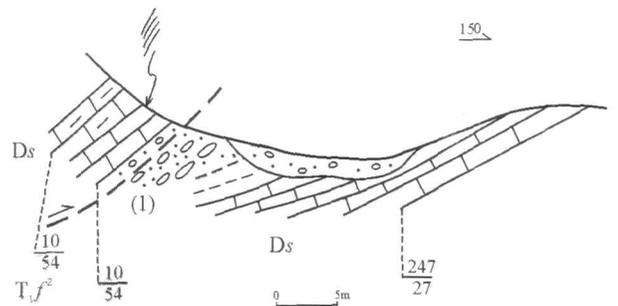


图6 二郎庙东二郎庙断层素描图

Fig 6 Sketch of the Erlangmiao fault

断层后缘未见到直接露头,根据断层线与地形的关系判断该断层倾向南东,断层附近见破灰岩,显示拉伸特征。

飞来峰岩层整体产状比较统一,倾向北西,倾角为48°~54°,从野外调查看,该飞来峰发育破灰岩,

整体松散,尤其北西部更为明显。其前缘有转弯子西部,发育有局部的沙窝子组内部同斜背斜,背斜南东翼倒转,倾向北西,倾角为46°,北西翼同倾向,倾角为48°,显示挤压特征。

### 2.3 小结

飞来峰就其变形样式可分为滑褶式(指其内部保存有较完整的褶皱构造形态的飞来峰)、滑块式(其内部地层呈直立或单斜形式,或呈断块、断片形式存在)和叠覆式(指经数次滑覆或者推覆作用所

形成的多个飞来峰在垂向上叠合在一起所形成的飞来峰复合体)3种<sup>[1,2]</sup>。就其成因类型可分为推覆和滑覆两种,前人对龙门山推覆体与滑覆体对比进行了深入探讨<sup>[3-6]</sup>,确立了龙门山飞来峰的多种成因类型并存的特征。

笔者对清平飞来峰各层峰体构造特征进行了总结如表1。

从地层序列看,I层出露最老地层为Zd,II层出露的最老地层为Є<sup>Q3</sup>,二者构成一个下老上新的

表1 清平飞来峰各层峰体对比  
Table 2 Correlation of individual layers of the Qingping klippe

	I层	II层	III层	IV层	V层
地层	Zd-Tf	Є <sup>Q3</sup> -m	Dg-Tf	Dg-Tf	Ds-Py
滑动面特征	勺形	勺形	勺形,后部被上覆峰体压盖	勺形,后部被断层所截	勺形
前缘	挤压	挤压	挤压	挤压	挤压
中部	一系列轴面倾向北西的倒转褶皱,显示北西向南东挤压	单斜为主	宽缓褶皱,部分受上覆飞来峰改造为倒转褶皱	宽缓褶皱,受断层影响改造为倒转褶皱	单斜为主
后缘	挤压	挤压	被上覆峰体压盖	被断层所截	拉张
褶皱组合	挤压型褶皱		从后缘到前缘表现为宽缓→倒转紧闭褶皱		
变形强度	强	强	强	较强	弱
特征现象			破灰岩	破灰岩	破灰岩
变形样式	滑褶式	滑块式	滑块式	滑块式	滑块式
成因类型	推覆体	推覆体	滑覆体	滑覆体	滑覆体

叠置关系;III、IV、V3层具有下新上老,层层叠置的特点。从另一侧面显示出后三者属滑覆体。

对比各飞来峰内部向斜构造的变形特征,I层最为复杂,既有北东向的向斜,也有北北东向的。而且被后期断层平错和改造现象普遍存在。虽然II层和IV层飞来峰的两个主导向斜都是倒转向斜,但对比南西翘起端,III层飞来峰中的向斜翘起端呈尖锥状,而IV层飞来峰中的向斜翘起端为钝圆状,显示III层比IV层变形更为强烈。总体来看,III、IV、V3层飞来峰由下向上,变形强度依次减弱,这是由于早就位的峰体反复受后就位的上覆峰体的改造、叠加变形所致。

## 3 清平飞来峰的演化

### 3.1 根带

结合龙门山飞来峰带的根带,以及研究区的古地理特征,笔者认为清平飞来峰的根带在映秀-北川断裂以西的后龙门山推覆带的彭灌杂岩之上,其依据如下:

(1)现今彭灌杂岩之上覆盖有多个小型飞来峰,地层以震旦系灯影组和观音岩组为主。与清平飞来峰歇马庙中震旦系具有一定对应性。

(2)据笔者研究,形成I、II层飞来峰推覆体来自映秀断裂北西,后来由于彭灌杂岩的隆起,以及受映秀断裂活动的影响,使得目前飞来峰体与母体分离。

(3)III、IV、V层滑来峰所具有的变形特征、叠覆式飞来峰典型的三层楼式结构和不同结构层间倒置的层序关系,表明它们应是十分典型的滑覆体。野外调查发现V层滑来峰直接盖在北川映秀断裂之上,表明飞来峰的根带应当位于北川映秀断裂带北侧的彭灌杂岩之上。

### 3.2 形成时间

#### 1. 推覆体(I、II层)形成时期

根据区域地质研究,本区印支期为主要推覆构造活动期。本区东北的江油重华堰一百胜一带,可见侏罗系与下伏三叠系间为一明显的角度不整合接触,许多侏罗系直接盖在推覆断裂之上。在安县

过川40井和江油过永平1井的地震剖面上,侏罗系与下伏上三叠统须家河组间为区域性的角度不整合接触<sup>[7]</sup>。不整合面之下P—T表现为强烈推覆构造。可见,本区主要推覆期在须家河组沉积结束之后,侏罗系沉积开始之前的印支晚期。不整合面以上的J—K变形弱,未见明显的推覆构造痕迹显示。根据以上分析,我们认为形成I、II层推来峰的推覆体形成于印支期。

## 2 滑覆体(III、IV、V层)形成时间

根据前述的研究,III、IV、V层滑来峰具有统一的形成机制。根据研究区东部各个边界断裂均与小坝断裂走向一致等特征,可以认为小坝断裂与III、IV、V层滑来峰是同期次活动,属相同构造应力场作用的产物。据调查,小坝断裂形成于J/T角度不整合之后。表现为小坝断层上冲,切割侏罗纪地层,并使之发生掀斜。在该断层取ESR测年显示断层形成于1.47Ma的早更新世。据此分析,清平飞来峰的滑覆体可能形成于喜马拉雅期的早更新世。

## 3.3 演化阶段

根据以上论述,我们总结出清平飞来峰的演化,可以分为印支期推覆阶段,燕山期的全面隆升以及重力势孕育阶段,喜马拉雅期的滑覆、推覆。在此期间,推覆与滑覆密切相关,滑覆体很多都是早期的推覆体,与根带脱离形成的。推覆作用又为滑覆提供了触发因素。

### 1. 推覆阶段

印支期为本区的一个重要的推覆造山期,形成I、II层推来峰的推覆在这一时期形成。推覆方向由北西向南东扩展。

### 2. 全面隆升和重力势孕育阶段。

燕山期是龙门山主要的隆升阶段,主要表为脉动式隆升。由于后龙门山的大幅度抬升以及映秀断裂的活动,造成了形成I、II层推来峰的推覆体后缘上拱,推覆体前部底滑面呈凹面向上的弧形。而推覆体后缘隆起的部分遭受剥蚀或者被映秀断裂切割,与母体分离形成飞来峰。

同时,不断隆升的岩层重力势不断增加,加之岩层内部分软弱层,为重力滑覆提供了必备的条件。

### 3. 滑覆阶段

喜马拉雅期,推覆构造进一步发育。由于燕山期的重力势孕育,加之该时期逐渐增强的推覆作用作为触发因素,滑覆大面积发育。可见,龙门山推覆与滑覆关系密切,二者不可完全割裂开来。

其时,映秀断裂很可能已经切割了I、II层推来峰后缘,到喜马拉雅期,在滑覆过程中它仍然持续活动,切割了III、IV层滑来峰后缘。在此之后,第三次滑覆开始发育,形成了V层滑来峰,直接盖在映秀断裂之上。

III、IV、V层滑来峰中,早期形成的III层滑来峰经过构造反复叠加,相对复杂,变形强烈。而最后形成的V层滑来峰构造简单,基本以单斜为主,变形相对较弱。

## 4 结 论

根据变形特征分析,I层和II层飞来峰属于推覆成因,III~V层飞来峰属滑覆形成。这种推覆体与滑覆体同时出现在同一飞来峰中,为龙门山仅见,并且印证了龙门山飞来峰先推覆后滑覆的新认识。

清平飞来峰I、II层推来峰的推覆体形成于印支期,燕山期后龙门山构造带的隆升,以及映秀断裂的活动造成了上述推覆体后缘上拱遭受剥蚀或者被映秀断裂切割,与母体分离形成推来峰;III、IV、V层飞来峰的滑覆形成于喜马拉雅期的早更新世。与之相对应,清平飞来峰的演化可以分为早期推覆阶段(印支期),全面隆升以及重力势孕育阶段(燕山期)和滑覆阶段(喜马拉雅期)。

推覆与滑覆密切相关,滑覆体很多都是早期的推覆体,与根带脱离形成的。推覆作用又为滑覆提供了触发因素。

结合龙门山飞来峰带的根带讨论,以及研究区古地理研究,笔者认为清平飞来峰的根带为映秀北川断裂带以西的彭灌杂岩的之上。

## 参考文献:

- [1] 马杏垣. 重力作用与构造运动[M]. 北京:地震出版社, 1989
- [2] 朱志澄. 逆冲推覆构造[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1989
- [3] 吴山, 林茂炳. 龙门山唐王寨滑覆构造分析[J]. 成都地质学院学报, 1991, 18(1): 56—64
- [4] 韩建辉. 论龙门山飞来峰群[J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 26(1): 55—59
- [5] 林茂炳, 苟宗海, 吴山, 等. 龙门山地质考察指南[M]. 成都:成都科技大学出版社, 1997
- [6] 林茂炳, 苟宗海. 龙门山中段地质[M]. 成都:成都科技大学出版社, 1996
- [7] 王金琪. 安县构造运动[J]. 石油与天然气地质, 1990, 11(3): 223—234

## Structural deformation and genetic mechanism of the Qingping klippe in central Longmen Mountains

HAN Jian-hui<sup>2</sup>, WANG Dao-yong<sup>3</sup>, LI Zhong-quan<sup>4</sup>

(1. College of Geo-resources and Information, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Exploration, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan; 4. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu 610059, Sichuan, China)

**Abstract:** The structural deformation and genetic mechanism of the Qingping klippe in central Longmen Mountains are examined based on the field observation and indoor analysis. The Qingping klippe as an overlapping klippe may fall into five layers, each of which is variable in genesis and character. The lower two layers consist of thrust nappes, and the upper three layers are made up of gliding nappes. This phenomenon that both the thrust nappes and gliding nappes appear in the same klippe has not been found yet in other klippe of the Longmen Mountains, and illustrates the view that the development of the thrust nappes are earlier than that of the gliding nappes in the Longmen Mountains.

**Key words:** klippe; Longmen Mountains; nappe structure; gravity gliding