

# 云南禄丰古猿生活时期的古气候初步研究

陈万勇 林玉芬 于浅黎

(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所)

**关键词** 腊玛与西瓦古猿;古气候

## 内 容 提 要

本文通过对云南禄丰古猿化石地点的沉积物进行综合分析,提出古猿生活时期的气候变迁。即石灰坝组一段为干燥而凉爽气候;二段为温暖较湿润的气候;三段为湿热的南亚热带—热带气候;四段为古猿生活时期,已转变成干湿相间的南亚热带—热带季风气候。庙山坡组(五段),初期气候一度变得相当干燥而炎热,到后期又逐渐为干温气候。

## 前 言

关于腊玛与西瓦古猿生活时期的气候问题,多数学者是通过与古猿相伴生的哺乳动物来推测当时气候特征,或者用印度比哈尔等地西瓦立克层的孢粉组合,推测西瓦里克古猿生活时期的气候。本文试对世界著名的禄丰古猿化石产地的沉积物进行差热分析、X射线衍射分析、电子显微镜、扫描电镜、重矿物、酸碱度、有机质和水生动物等综合分析,并结合孢粉分析结果,用综合的方法来探讨禄丰古猿生活时期的气候变迁问题。

## 一、古猿生活时期气候因素

### (一) 沉积物中粘土矿物组合特征

粘土沉积是地表分布最广泛的一种沉积类型,粘土矿物在形成和风化过程中,常常受气候因素的影响。粘土矿物随生物—气候带不同,分布的纬度也不同(中国科学院南京土壤研究所,1978)。例如以水云母、蒙脱石为主的地带,现今分布在我国新疆和内蒙高原西部的漠境和半漠境土壤中,反应出这些地区现今在干燥而寒冷的气候条件下形成的粘土矿物组合特征。以高岭石—水云母为主的地带,分布在我国长江以南的丘陵地区,以发育于第四纪红色粘土中居多。反映出这些地区现今气候比较温暖而湿润。以高岭石为主的地带,分布在我国华南丘陵地区赤红壤中。这类土壤都以结晶良好的高岭石为主,还有少量水云母和蛭石,反映出这些地区现今气候相当湿热,这样才有利于高岭石矿物的形成。现把古猿化石产地沉积物中粘土矿物组合特征,按沉积相划分出以下几个组合:

## 1. 高岭石—水云母—极少量蒙脱石组合

本组合粘土矿物分布于石灰坝组四段D剖面下部,属浅湖相—湖沼化初期(D<sub>7</sub>—D<sub>4</sub>)。矿物组合以高岭石和水云母矿物为主,在沉积过程中有少量的蒙脱石出现。从D<sub>7</sub>号样品差热曲线中可以看到(图1),有两个水云母矿物明显的吸热谷值。在高岭石类矿物中有少量多水高岭石。从D<sub>5</sub>样品差热曲线中可以看出水云母矿物的吸热谷和不明显的蒙脱石吸热谷,还有多水高岭石和高岭石放热峰。这一组粘土矿物特征反映出是在气候比较潮湿炎热的条件下形成的。少量蒙脱石的出现,说明可能有时略显干燥。在D<sub>4</sub>样品差热曲线中,有明显的水云母矿物吸热谷和高岭石矿物的放热峰(陈万勇等;1977)。

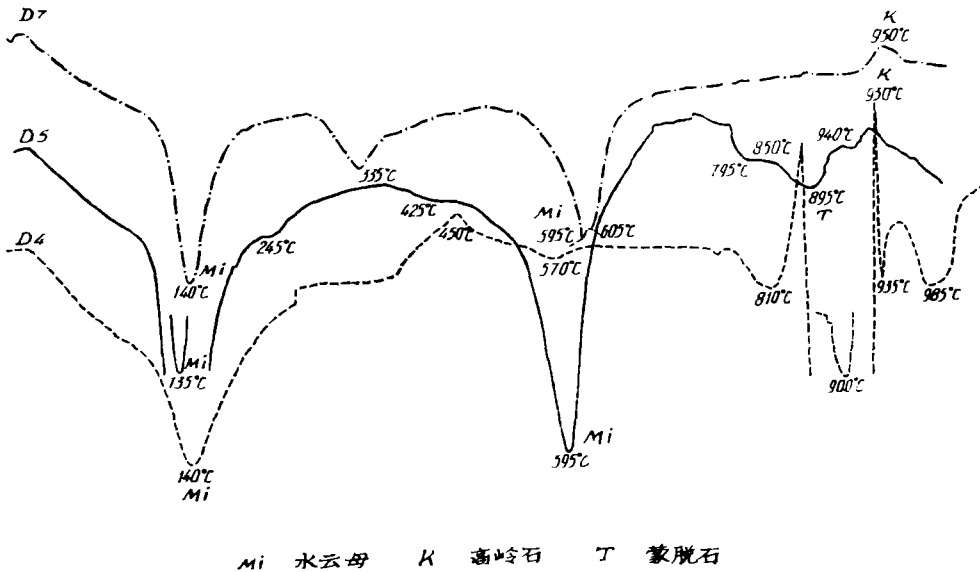


图1 D<sub>7</sub>、D<sub>5</sub>、D<sub>4</sub> 差热曲线图

The curve of differential thermal analysis of D<sub>7</sub>, D<sub>5</sub> and D<sub>4</sub>.

从X射线衍射图中(图2),可以看出D<sub>7</sub>样品有高岭石衍射峰。也可能有多水高岭石矿物峰值和极少量蒙脱石矿物衍射峰。多水高岭石矿物的出现,反映出气候相当炎热。在D<sub>5-1</sub>样品衍射曲线中有高岭石矿物衍射峰值,其中有多水高岭石矿物的衍射峰值,还有水云母矿物的衍射峰。在D<sub>5-2</sub>样品衍射峰值中(图2)有高岭石和水云母矿物衍射峰值、也发现白云石衍射峰值。

## 2. 高岭石—水云母—蒙脱石矿物组合

这一类粘土矿物组合主要分布在石灰坝组中上部、湖泊—沼泽相的后期(D<sub>3</sub>—D<sub>2</sub>) (图3)。在D<sub>2-1</sub>样品差热曲线中出现水云母和蒙脱石矿物的吸热谷,还有不明显的高岭石矿物放热峰。在D<sub>2-2</sub>样品的差热曲线中,分别出现不太明显的水云母和蒙脱石矿物吸热谷。从电镜照片观察D<sub>2-1</sub>样品(图版I—1),可以看到鳞片状水云母矿物和少量埃洛石管状晶体。在D<sub>2-2</sub>样品的电镜照片中出现了蒙脱石化的水云母及鳞片状水云母矿物

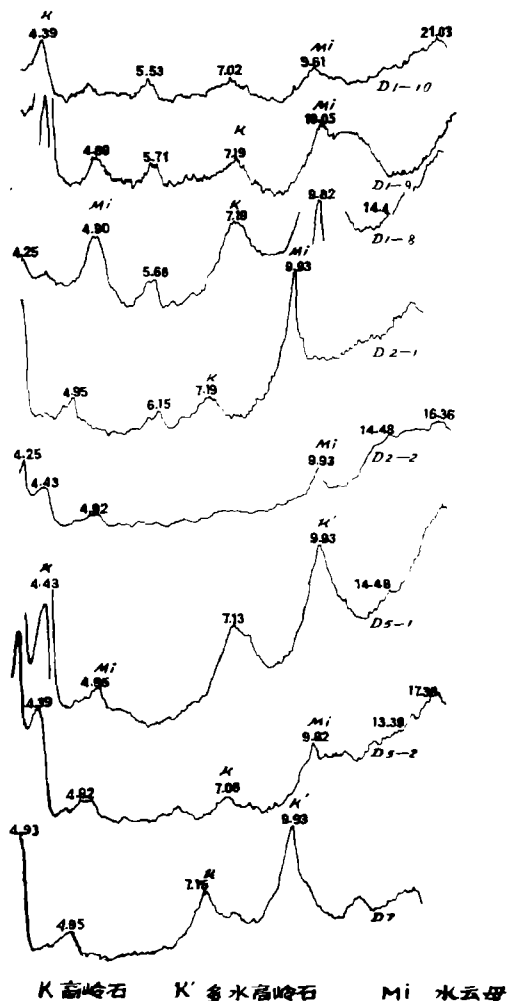


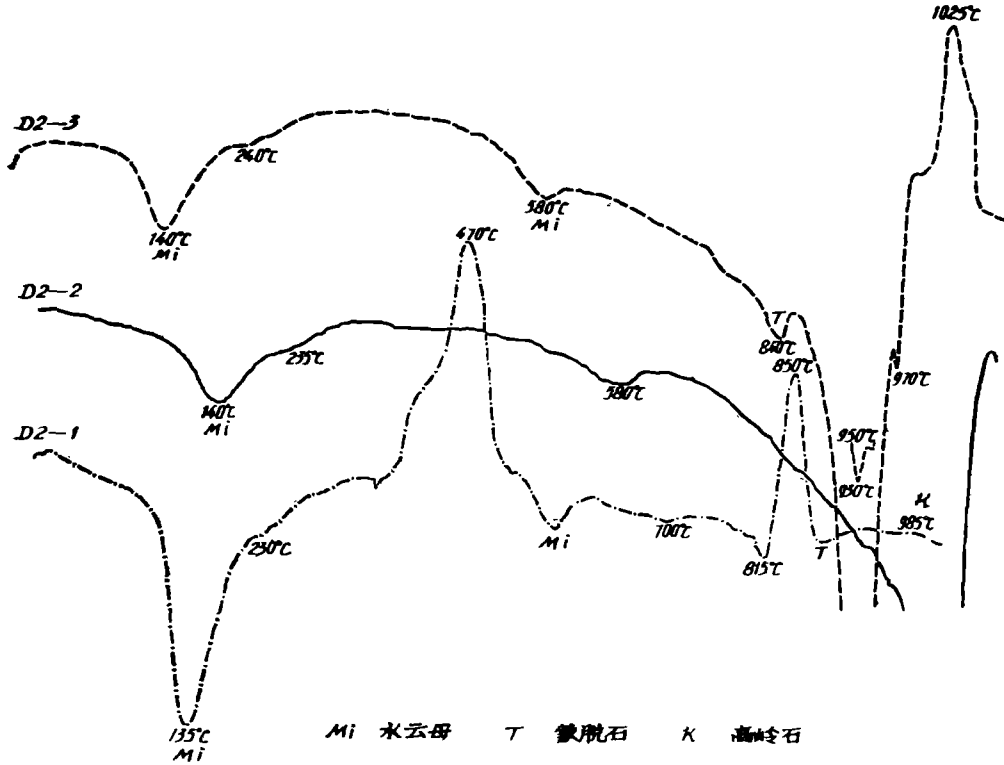
图 2 禄丰含古猿化石地点 X 射线衍射图

The X-ray diffraction of the *Ramapithecus*-bearing sediments in Luteng

(图版 I—2)。在 X 射线衍射图(图 2)中,  $D_{2-1}$  样品衍射曲线中有高岭石的衍射峰值和水云母矿物的衍射峰值。在  $D_{2-1}$  样品的衍射曲线中有水云母矿物的衍射峰。

### 3. 蒙脱石—水云母—高岭石矿物组合

这一组合粘土矿物主要分布在庙山坡组(五段)、D剖面的风化侵蚀面之上河流相沉积物中。从差热分析曲线图(图 4)中,可以看出  $D_{1-1}$  样品出现了明显的水云母矿物的吸热谷和蒙脱石的吸热谷反应,也出现了高岭石矿物的放热峰值。在  $D_{1-9}$  样品的差热曲线图中出现了明显的水云母矿物吸热谷和较明显的蒙脱石矿物吸热谷反应。在  $D_{1-8}$  样品的粘土矿物差热曲线图中明显地出现了水云母吸热谷和高岭石矿物放热峰值,以及不明显的蒙脱石矿物吸热谷。在  $D_{1-4}$  样品的差热曲线图中,出现水云母矿物的吸热谷、也有极不明显的蒙脱石矿物吸热谷和高岭石矿物的放热峰值。

图 3  $D_{2-1}$ 、 $D_{2-2}$ 、 $D_{2-3}$  差热曲线图

The curve of differential thermal analysis of  $D_{2-1}$ ,  $D_{2-2}$  and  $D_{2-3}$ .

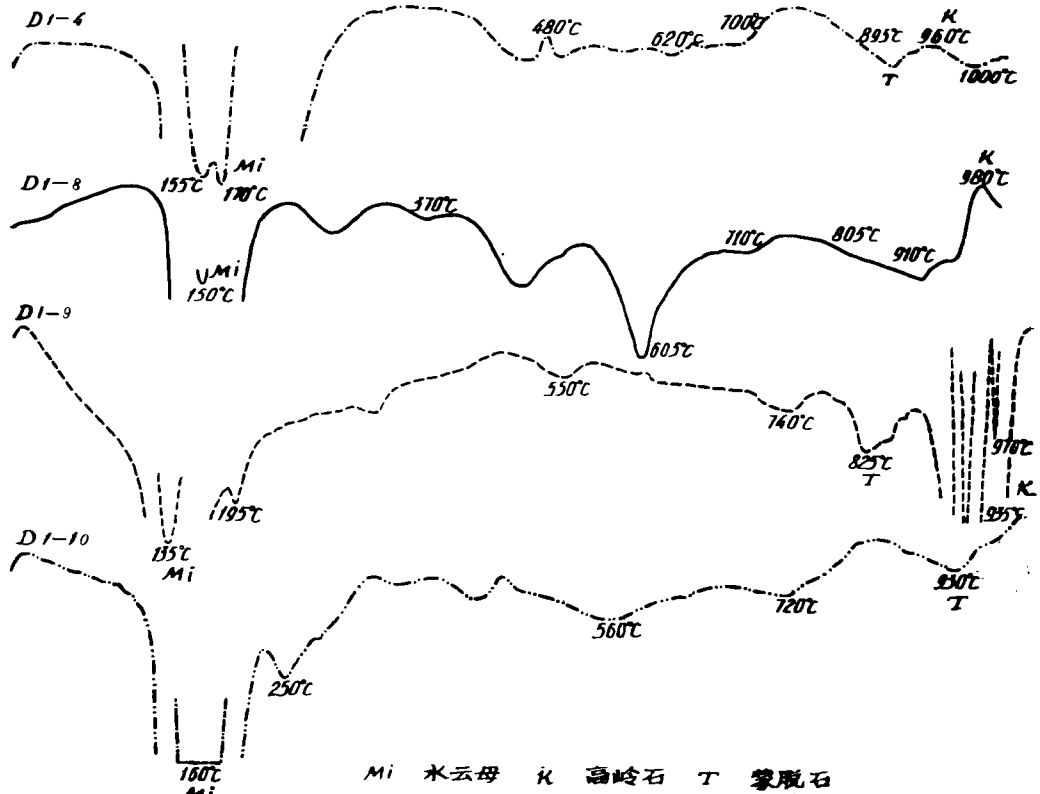
从X射线衍射图(图2)中,可以看到样品 $D_{1-10}$ 衍射曲线图中出现了高岭石矿物的衍射峰,也出现水云母矿物的衍射峰。在 $D_{1-3}$ 样品的衍射曲线中出现了高岭石矿物衍射峰和水云母矿物的衍射峰。

从电镜中观察, $D_{1-10}$ 样品的电镜照片中(图版I-3)出现不规则的鳞片状水云母矿物,粒状石英微晶和极少量的针状埃洛石。 $D_{1-3}$ 样品的电镜照片(图版I-4)中,可以看到半浑圆状的等轴鳞片状水云母矿物和极少量的针状埃洛石矿物。

## (二) 重矿物组合特征

重矿物组合分析与研究,不仅能反映当时气候特征,而且对研究沉积物来源也具有重要意义。因此,对禄丰古猿化石产地,从下至上采集了17块砂岩、砂砾岩样品,进行重矿物分析,现将其结果概述如下:

在石灰坝组一段山麓相的冲积扇沉积物中共采集3块样品,东山1号,东山2号,东山3-4号。经分析,其重矿物组合如下:稳定和极稳定矿物为磁铁矿、锆石、金红石、锐钛矿、白钛矿、褐铁矿、电气石;较稳定矿物为磷灰石、石榴石、绿帘石、黄铁矿等。不稳定矿物只有极少量的角闪石。从重矿物组成的成分来看,多为变质岩中矿物,反映物来自

图4 D<sub>1-10</sub>、D<sub>1-9</sub>、D<sub>1-8</sub>、D<sub>1-4</sub> 差热曲线图

The curve of differential thermal analysis of D<sub>1-10</sub>, D<sub>1-9</sub>, D<sub>1-8</sub> and D<sub>1-4</sub>

附近山上,前震旦系昆阳群变质岩风化的产物。在矿物组合中较稳定和不稳定矿物含量较多,反映当时气候比较温凉、干燥、化学风化作用和水解作用不够强烈,使矿物成熟度低。

在石灰坝组四段,浅湖—湖滨沼泽相沉积物中共采集15块样品,经分析其重矿物组合如下:稳定和极稳定矿物为磁铁矿、锆石、电气石、金红石、锐钛矿、白钛矿等。较稳定矿物为石榴石、绿帘石。不稳定矿物角闪石在个别样品中最高可达5%,反映当时气候有所变化,水解作用和风化作用有减弱的趋势,致使不稳定矿物角闪石得以保存下来。

庙山坡组(第五段),属风化侵蚀面之上的河流相沉积环境。在这一岩相中采集了3个样品进行分析,其重矿物组合如下:稳定和极稳定矿物成分为锆石、锐钛矿、磁铁矿、褐铁矿、金红石、白钛矿、电气石等;较稳定矿物为磷灰石、石榴石、绿帘石等;不稳定矿物角闪石,在庙山坡组(五段)的下部极少量出现,而在庙山坡组五段的上部则明显增多,其含量可达10%。

### (三) pH 值、有机质和化学分析

湖相沉积物、河流相沉积物、土壤中 pH 值、有机质和碳酸盐中钙、镁离子含量的变

化,可以反映出当时的植被是丰富、还是贫乏;气候是干燥还是湿润。可通过如下数据来分析禄丰古猿生活时期气候特征。

从有机质分析的数据来看,在禄丰古猿化石产地石灰坝组四段,含古猿及大量灵长类化石的沉积物中,有机质含量可达 38.60%、最低为 10.60%、平均为 20.56%。说明这一时期气候湿热,植被相当茂盛。庙山坡组(五段)不含古猿和其他灵长类化石和水生软体动物化石的黄色砂质粘土及黄色细砂岩中,有机质含量普遍低。从  $D_{1-1}$ 、 $D_{1-4}$ 、 $D_{1-8}$ 、 $D_{1-9}$ 、 $D_{1-10}$ 、 $D_{1-11}$  六个样品的有机质平均含量只有 0.20%、最高含量为 0.34%,说明这一时期气候相当干燥、植物在缺少水的条件下很难生长,故而沉积物中有机质含量贫乏。

从湖相沉积物的酸碱度来分析,在禄丰古猿化石产地石灰坝组四段中, pH 值平均为 7.58。这一特征相当于现代热带和南亚热带的湖泊沉积物中的 pH 值。如越南河内西湖为 7.4—8;我国的洞庭湖为 7—7.5,为中—弱碱性湖泊(施成熙等,1982)。

从化学分析数据中,可以看出石灰坝组四段的沉积物中  $CaO$  和  $Mg^{++}$ 、 $Ca^{++}$  含量都比较高,反映当时有明显的季节性气候变化,在干燥季节时蒸发量大、故而形成  $Ca^{++}$  和  $Mg^{++}$  离子的沉积。

#### (四) 水生动物生活环境特征

禄丰古猿化石产地,含古猿和其他灵长类化石的石灰坝组四段,湖泊—湖滨沼泽相沉积物中发现大量的水生动物化石。其中有以鲤科为主的鱼类化石,这种鲤科鱼类与元江鲤相似<sup>1)</sup>。现生种元江鲤分布在我国云南南部元江中、下游和越南红河流域。软体动物有拟钉螺、印度扁卷螺、田螺、短沟蜷、蛛蚌等化石。其中拟钉螺现生种分布在我国南方及印度一些淡水浅湖中。印度扁卷螺现生种分布在印度一些淡水浅湖中。

## 二、关于古气候变迁的初步探讨

随着青藏高原的抬升和横断山脉不断隆起,禄丰一带的气候环境发生了变化。现依据对沉积环境和孢子花粉组合的研究,将禄丰古猿生活时期及其前后的气候变迁,自下而上划分为五个阶段,进行讨论。

### 第一阶段(石灰坝组一段):

本阶段沉积物是由禄丰盆地石灰坝东山脚下,灰色砂砾岩夹灰色粘土组成,代表冲积扇沉积环境。从沉积物中重矿物组合特征来看,无论较稳定矿物和不稳定矿物的种类和数量比其他石灰坝组各段都多。反映当时气候比较温凉而干燥、水解和风化作用不够强烈。因此,能在沉积物中保存磷灰石、绿帘石、石榴石、黄铁矿和角闪石等矿物。从土壤 pH 值来看,东 1—1 为 7.06,呈中性—弱碱性,反映出半干旱、半潮湿地区土壤特征。有机质含量不高(有机质为 0.5%)、说明地表植被覆盖率低,植被稀疏、气候比较干燥而温凉。

1) 中国科学院南京地理所湖泊室高礼存鉴定。

沉积物中孢粉组合,木本植物少,而以草本植物为主,也反映了干燥偏温凉气候,这与其他项目分析结果相符合。

### 第二阶段(石灰坝组二段)

本阶段沉积物由红色粘土夹砾石组成,代表泥石流沉积环境。沉积物中 pH 值为 4.88—6.52,是中—弱酸性特征,同我国长江中、下游地区的土壤酸碱度相似,反映出是在较温暖而湿润气候条件形成的土壤特征。沉积物中有机质含量,一般为 0.15—0.5%,可能因当时本地处于剧烈上升区,风化侵蚀强烈,有机质被雨水淋失,不易被保存在土壤中。从本段沉积物中孢粉组合特征来看,木本植物花粉含量占 31%,比第一阶段在数量和种类上都有大幅度的增多。在孢粉组合中出现栲属、蕨类植物和水龙骨科植物,代表温暖而湿润的气候环境中植被特征。综上所述,可以看出几种分析结果是相当一致的。因此,可以认为本阶段气候温暖而湿润。

### 第三阶段(石灰坝组三段):

从本段沉积物中的粘土矿物组合来看,以高岭石—水云母矿物为主,很可能有极少量的蒙脱石矿物。在高岭石类矿物中有一些可能为多水高岭石矿物,它们都代表炎热潮湿气候条件下形成的粘土矿物。现今这类粘土矿物多分布在我国海南岛和广东南部地区土壤中。从土壤 pH 值来看,这一段湖相沉积物中多为 6.7—7.5 左右,偏于弱酸—弱碱性。具有亚热带—热带湖泊沉积物的酸碱度特征。从沉积物中有机质含量来看,最高可达 24%,也反映出这一时期气候相当湿热而植被茂盛。上述分析结果同本段沉积物中孢粉分析结果相一致。从孢粉组合特征来看,木本植物占优势,而且出现比较喜湿热的大戟科植物、乌口树、山矾、三白草、杻椌属等植物。综上所述,可以认为本段具有潮湿炎热的南亚热带—热带气候特征(孙湘君等,1980)。

### 第四阶段(石灰坝组四段)

从沉积物中粘土矿物组合来看,为高岭石—水云母—蒙脱石矿物组合。从本阶段沉积物中出现蒙脱石、白云石和大量的方解石,反映气候有所变化,说明出现了潮湿与干燥季节性交替变化的特征。从蒙脱石矿物的吸热谷和衍射峰值来看,越向四段上部越明显,说明这一时期不仅出现了雨季与干季,而且有向干旱变化的趋势。沉积物中砂岩、砂质粘土、灰白色泥质灰岩与褐煤层多次互层出现,也是季节性气候变化在沉积物特征上的反映。从重矿物组合来看,主要是稳定和极稳定矿物组合;而较稳定和不稳定矿物极少出现,反映气候比较湿热,使易风化和水解的矿物被风化而流失。从酸碱性特征来看,同南亚热带—热带气候条件下,湖泊中 pH 值相似。从有机质含量来看,这一时期含量普遍高,向上部含量有所减少,反映气候由湿热逐渐向干、湿季交替变化的趋势。从水生动物印度扁卷螺现生种,分布在印度一些淡水湖中,从同禄丰鲤化石相类似的元江鲤分布在我国云南南部和越南北部等情况来看,都说明禄丰古猿生活时期的气候,可能与南亚地区相似,为湿热的南亚热带—热带的季风气候。从这一阶段沉积物中发现了丰富的灵长类化石,其中长臂猿现生种,多分布在我国海南岛,西双版纳和东南亚山地森林中,代表南亚热带—热带的

气候环境(李文漪,1978)。

从沉积物中孢粉组合来看,以木本植物为主,又有南亚热带—热带植物成分,如山矾、大戟科、金毛狗属、黄杞、杪椌、翅子树等(姜汉侨,1980),也反映当时气候相当湿热。

综上所述,可以认为第四阶段禄丰古猿生活时期气候特点,与现今中印半岛的气候相似,为干季与湿季周期性变化的南亚热带—热带季风气候。这种气候的变迁可能与当时青藏高原不断抬升,喜马拉雅山和横断山不断隆起有关。

### 第五阶段(庙山坡组):

从沉积物中粘土矿物组合特征来看,为蒙脱石—水云母—高岭石矿物组合。在第五阶段下部几个样品中都含有高岭石矿物,有的为多水高岭石。粘土矿物组合中蒙脱石矿物的吸热谷和衍射峰又比第四阶段有增强的趋势。因此,可以认为是干热气候条件下形成的粘土矿物组合。从重矿物组合来看,除稳定和极稳定矿物外,还出现较多的不稳定矿物角闪石。说明气候变得更干燥、温度也较第四阶段偏低,风化和水解作用也较第四阶段减弱。从重矿物组合特征中反映出庙山坡组(五段)的初期气候比较干热,使不稳定矿物角闪石被风化而流失,该阶段后期气候变为干燥而凉爽,使不稳定矿物角闪石比较多地保存下来。从 pH 值变化来看,第五阶段初期在 7.8—8.2 之间,其碱性程度有明显的增强。这一特征同我国西北地区甘肃、陕西等地的干旱气候条件下土壤中 pH 值相似,说明在第五阶段初期,气候一度变得干燥而炎热,植被稀少。在第五阶段的后期,pH 值为 5.82—6.5,其酸性程度有明显的增强,反映出温带针叶林地区土壤中 pH 值的特征,说明气候有向温湿方向变化的趋势。从有机质含量变化来看,比第四阶段含古猿化石沉积物中的有大幅度下降,第五阶段最高含量为 0.34%,平均含量只有 0.20%,其有机质含量低于四阶段一百倍,反映当时气候相当干燥而使植被贫乏。因此,在本阶段沉积物中目前采集的哺乳动物化石种类较少,水生动物化石更为稀少。再从本段孢粉组合来看,是以草本植物为主,木本植物不多。特别是这一阶段的晚期样品 D<sub>1-1</sub> 样品中,出现较多的松和少量云杉花粉,这些孢粉组合特征同其他方面分析结果相符合,也证明第五阶段早期气候相当干热,晚期逐渐变为干温转湿润气候。

综上所述,可以认为这一时期随着青藏高原隆起,地壳迅速上升,使原来的湖泊—沼泽完全消失。禄丰古猿化石产地石灰坝组四段与庙山坡组(五段)之间有一个沉积间断时期,形成了明显风化侵蚀面。在庙山坡组(五段)时期,气候变干燥、地下水位下降、森林面积缩小、草地面积扩大、对腊玛古猿等灵长类生存十分不利。

## 三、几点初步认识

### (一) 禄丰古猿生活时期气候与喜马拉雅山中段吉隆盆地中新世晚期三趾马动物群生活时期气候的对比

吉隆盆地气候变化的规律,在盆地底部为温暖而湿润的亚热带气候环境,中部为干、湿相间的气候,上部为干旱炎热的气候。禄丰盆地古猿生活时期,从下而上也出现类似



吉隆盆地的气候变化规律。但两者差异之处是禄丰盆地当时海拔高度比西藏吉隆盆地低,而且又受东南与西南季风的影响,气候较吉隆盆地更为湿热,为南亚热带—热带气候。

## (二) “地中海中新世末的突变事件”对禄丰盆地中新世末期气候的影响

根据深海钻孔资料证实,沉积岩中石膏,岩盐与其他矿物的蒸发岩互层的深海相沉积层中的化石,可确定地中海蒸发岩的时代为中新世末期,距今约 700—500 万年<sup>1)</sup>。说明地中海在中新世末期曾一度蒸发干涸,这是地质上的非常事件,使地中海的古地理环境出现一片涸芜的沙漠。这一事件发生的时间,可能与禄丰古猿化石产地气候变得相当干旱时期相同。由于当时喜马拉雅山和横断山隆起的高度不大,还阻挡不了来自西部地中海干热气候的影响。因此,位于横断山东部的禄丰盆地的气候,也变得相当干热,森林退缩。这一变化了的生态环境,很不利于古猿的生存。

本文由陈培绘图,电镜观察由张文定完成,软体动物化石由地科院李运通鉴定、X 射线衍射分析、差热分析由科学院地质所李家驹、吴美清完成,重矿物由河北区测队实验室完成。化学分析由地震地质所陈淑海完成。特此致谢。

(1984 年 9 月 21 日收稿)

## 参 考 文 献

- 中国科学院南京土壤研究所,1978。中国土壤。科学出版社。285—290。  
李文漪等,1978。云南中部晚第三纪和早第四纪的孢粉组合及其在古地理学上的意义。地理学报, **33** (2): 142—155。  
孙湘君等,1980。根据孢粉推论禄丰腊玛古猿生活时期的自然环境。古脊椎动物与古人类, **18**: 247—255。  
姜汉桥,1980。云南植被分布的特点及其地带规律性。云南植物研究, **2**(1): 22—31。  
施成熙等,1982。江苏湖泊志。江苏科学技术出版社。35—36,39—44。  
陈万勇等,1977。西藏吉隆盆地上新世沉积相、粘土矿物特征及古气候。古脊椎动物与古人类, **15**: 261—270。

1) 许靖华教授: 沉积学讲座,成都矿产所出版。

## ON THE PALEOCLIMATE DURING THE PERIOD OF *RAMAPITHECUS* IN LUFENG COUNTY, YUNNAN PROVINCE

Chen Wanyong Lin Yufen Yu Qianli,

(*Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Academia Sinica*)

**Key words** *Ramapithecus* and *Sivapithecus*; Paleoclimate

### Summary

This paper deals with the reconstruction of the late Miocene paleoclimate by means of sedimentary analyses of the stratum containing *Ramapithecus* fossils. The analyses include: differential thermal analysis, X-ray diffraction, heavy mineral content, pH value, organic substances, spore-pollens and identification of aquatic plant macro-fossils.

The paleoclimate of the late Miocene gradually changed along with the uplifting of the highlands of Qinghai-Xizang (Tibet) and the Hengduan mountains. The geological section containing *Ramapithecus* fossils can be divided into five different depositional stages, from bottom to top:

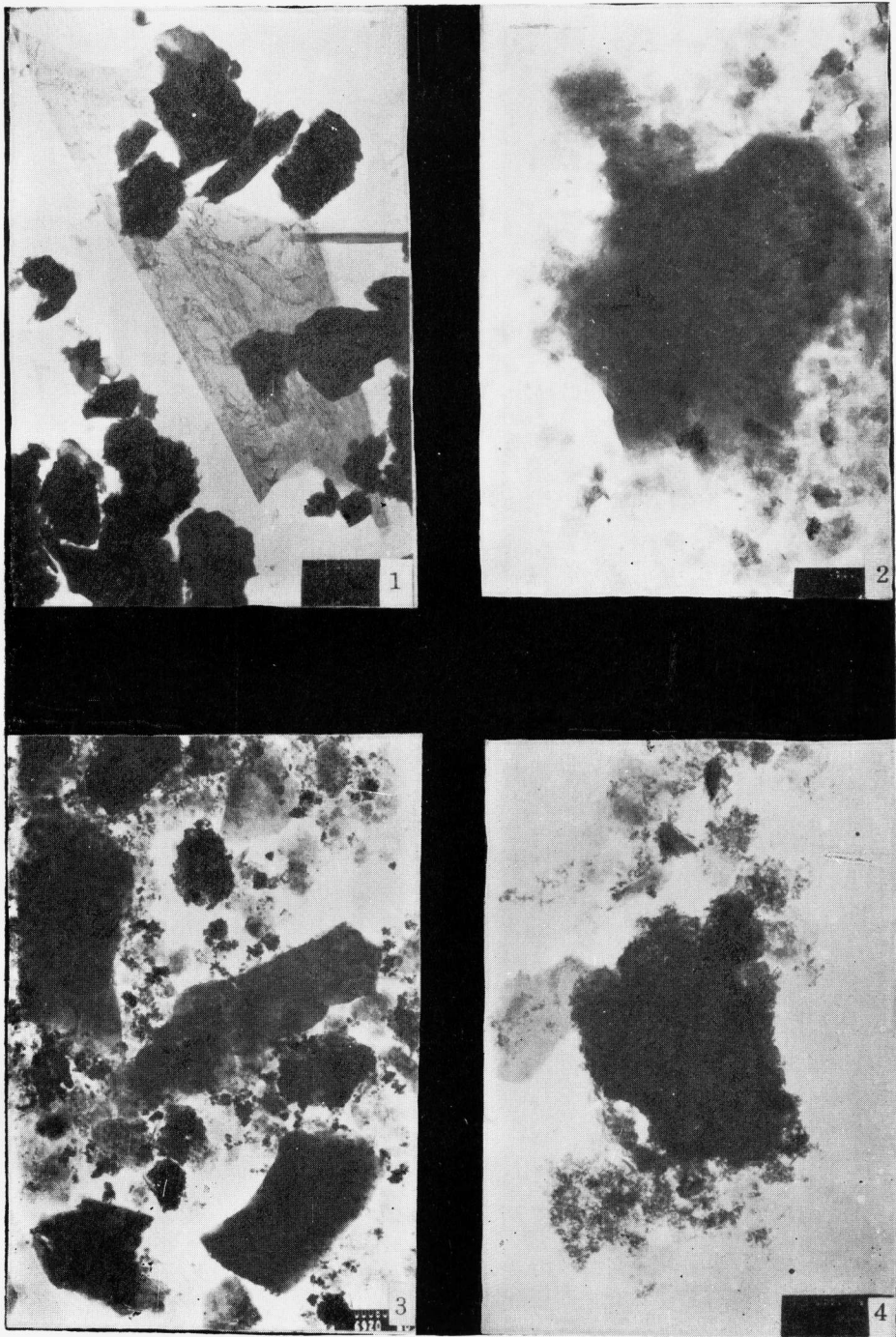
The first stage—(the First Member of Shihuiba Formation) The climate in this stage is drier and cooler than in the second one.

The second stage—(the Second Member of Shihuiba Formation) The climate is characterized by a warm and wet period.

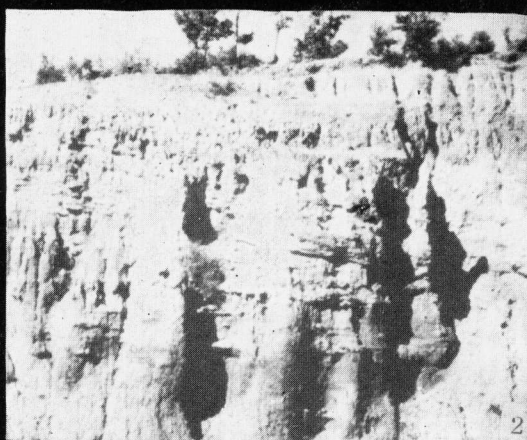
The third stage—includes the early deposits of deep lacustrine and lacustrine-swamp environments in the basin. It indicates a hot, wet climatic character, typical of the South Asian tropical zone.

The fourth stage—represents the later lacustrine-swamp deposits of the middle and upper parts of the basin. The climate during this stage is different from that of the first—It indicates a climate that alternates between wet and dry and hot and wet. It demonstrates the periodic return of wet and dry conditions, and is similar to that of the Sino-India tropical monsoon climate of South Asia. This climatic change is probably related to the uplifting of the Qinghai-Xizang (Tibet) plateau and the orogeny which produced the Himalayas and the Hengduan mountains.

The fifth stage includes the deposits of shallow lakes or rivers above the erosional surface in the geological section bearing *Ramapithecus* fossils. Here, substantial climatic change is indicated. Following the uplifting of the Qinghai-Xizang (Tibet) plateau, the Lufeng lacustrine-swamp environment faded away, and a very dry climate is suggested. Finally one witnesses the return of a rather warm and wet sub-tropical climate.



1.电镜照片(81-53-286)×8000,鳞片状水云母矿物,管状为多水高岭石(埃洛石); 2.电镜照片(81-54-291)×17,000,模糊状的蒙脱石化水云母及鳞片状水云母; 3.电镜照片(81-57-269)×8000,鳞片状水云母、针状多水高岭石(埃洛石); 4.电镜照片(81-58-287)×13,000,半浑圆的等轴鳞片状水云母、针状多水高岭石(埃洛石)



1. 古猿化石产地A剖面下部红色粘土含砾层中带稜角的砾石突出层面； 2. 古猿化石产地C剖面中红色粘土含砾石的砾径变小,含砾石量也明显减少;3.古猿化石产地D剖面炭质粘土、灰白色粘土与灰白色泥质灰岩互层,形成水平层理,被后期构造运动挤压形成的褶曲现象;4.由灰白色粘土、灰白色泥质灰岩和炭质粘土组成的细层理;5.完好的楔羚头骨被埋藏 (王哲夫 摄)