

文章编号: 0375-5444 (2000) 02-0200-09

# 中国红土期气候期构造期的耦合

黄镇国, 张伟强

(广州地理研究所, 广州 510070)

**摘要:** 红土发育、气候变化、构造活动之间存在旋回、周期、因果、主次、配置等耦合关系。其中旋回和周期, 以红土发育的阶段性为标志, 突出一个“期”字。通过探讨红土旋回与季风发展期、冰期间冰期、新构造期、构造活动期等的对应关系, 可以将我国第四纪分为 3 个构造-气候(红土)主旋回。

**关键词:** 红土; 气候; 构造

**中图分类号:** P534.6; P467 **文献标识码:** A

## 1 红土- 气候耦合

### 1.1 红土与季风发展期

关于我国季风环流的形成时代, 众说不一: 早第三纪中国已存在古季风<sup>[1]</sup>; 上新世末至第四纪初形成季风环流<sup>[2]</sup>;  $Q_1$  形成古季风,  $Q_2$  形成现代季风<sup>[3]</sup>; 晚第三纪 (2.4 Ma BP) 准季风,  $Q_1^1$  (2.4~1.0 Ma BP) 海洋性季风,  $Q_1^2$  以来的大陆性季风<sup>[4]</sup>; 黄土- 古土壤系列表明第四纪初形成季风<sup>[5]</sup>; 37~2.5 Ma BP 浅薄高原季风, 2.5 Ma 以来的浑厚高原季风<sup>[6]</sup>。

季风环流的特点是: 盛行风向的季节性交替分明, 气团性质的季节性变化明显, 气候的季节性和地域性差异显著。我国季风环流的形成和发展有 4 个方面的标志: 东西向西风环流被打破, 反映季风环流开始形成, 主要原因是青藏高原的隆升及其反馈作用; 夏季风和冬季风环流增强, 尤其是冬季风发展到与夏季风势均力敌, 是季风环流从始现期向稳定期发展的标志; 三大气候区域 (东部湿润、西北干旱、西南部高寒) 的分异, 反映海陆对比增强, 东西向地带性明显, 季风环流稳定形成; 在全球气候变化背景上我国东部气候带的位移, 南北向地带性反映季风气候的确立。从红土发育看, 我国季风环流的发展可分 5 个时期。

早第三纪为无季风期, 表现在下第三系红色岩系东西向横贯全国, 西从准噶尔盆地和河西走廊, 东至江汉盆地和闽粤地区, 反映受行星风系副热带高压带干热气候的控制。

$N_2$  为行星风系与季风环流交替期, 三趾马红土分布到 41°~42°N 的内蒙古商都—化德盆地和辽宁北票<sup>[7]</sup>, 说明已有较强的夏季风, 但红土分布偏北, 也说明冬季风并不强, 未形成真正的季风环流。

收稿日期: 1999-07-10; 修订日期: 1999-11-16

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目 (920235) [Foundation Item: Natural Science Foundation of Guangdong Province, No. 920235]

作者简介: 黄镇国 (1935-), 男, 研究员, 主要从事地貌与第四纪研究。E-mail: zhangwq@gdsti-b2.gis.sti.gd.cn

$Q_1$  为季风始现期, 2.5 Ma 前后, 黄土高原从上新世的红色粘土堆积向黄土堆积转变, 反映冬季风加强- 西部荒漠出现- 黄土风成堆积这一连锁过程。但是,  $Q_1$  是我国的“大成湖期”, 例如黄土下部有三门古湖沉积, 柴达木盆地 2.32~ 1.60 Ma BP 曾出现大淡水湖<sup>[4]</sup>, 这表明夏季风较强, 冬季风仍居于次要地位, 两者未能势均力敌, 这正是季风环流形成初期的特点。

$Q_2$  为季风稳现期, 以红土分布为主要标志的我国东部自然地带的变迁表明<sup>[7]</sup>,  $Q_1^1$  时期亚热带南部地带的北界位于  $36^{\circ} \sim 42^{\circ}N$ , 热带北界位于  $30^{\circ} \sim 32^{\circ}N$ , 地带的纬向性明显; 而  $Q_2^1$  时期, 这两个地带的北界分别南迁到  $33^{\circ} \sim 34^{\circ}N$  和  $25^{\circ} \sim 30^{\circ}N$ , 其中热带北界在中西部向南楔入, 东部则向北突出, 具明显的经向地带性, 表明夏季风与冬季风都很强劲, 呈对峙态势, 稳定地形或季风环流。 $Q_2$  离石黄土中的红化古土壤层最为发育 ( $S_2 \sim S_{15}$ ), 表现出高水平、大幅度、低频率的冷干(黄土)与凉湿(古土壤)的气候波动。我国南方网纹红土广泛发育, 干湿交替的古环境反映冬、夏季风反差增强。泥石流作用的红土砾石层在江南地区也很普遍, 反映水文变率增大, 亦是季风气候的特征。

$Q_3$  季风确定期,  $Q_3^1$  时期以红土为代表的亚热带南部地带的北界位于  $30^{\circ} \sim 33^{\circ}N$ , 与现今红土区的北界 ( $28^{\circ} \sim 31^{\circ}N$ ) 已很接近。热带北界则与现今 ( $24^{\circ} \sim 26^{\circ}N$ ) 一致, 长江以北地区红土发育基本终止。因此,  $Q_2$  前可称古季风,  $Q_3$  后可称现代季风。

## 1.2 红土与气候旋回

我们曾根据众多红土实测的年龄资料, 将我国的红土分为 6 期, 各期历时都是从南向北缩短(图 1), 其中, 第 I、II、III 期南方和北方都很普遍, 第 IV、V、VI 期则偏于南方。各期红土与间冰期或亚间冰期基本对应。 $Q_2^1$  冰期华南和云南南部仍有红土; 长江中下游地区稀少, 见于下蜀土古土壤层、安徽宣城、湖北通城—崇阳盆地、江西德安等地; 北方罕见, 仅有黄土中的古土壤层  $S_2$  和周口店洞穴堆积的第 2、4 层棕红色土。

红土期是多旋回的红土发育阶段。黄土- 古土壤系列有 37 次冷暖旋回, 各阶段内气候旋回的周期不同, 2.5~ 1.5 Ma BP 为 100 ka, 1.5~ 0.8 Ma BP 为 40 ka, 少数 100 ka, 0.8 Ma BP 以来又为 10 ka, 少数 40 ka<sup>[8]</sup>。

我们综合考虑多类红土(地层、黄土、洞穴堆积、阶地、玄武岩等)的年龄分布, 以红土- 非红土的历时作为气候暖- 冷变化周期的单位, 分 3 个地区进行了统计(图 1)。华北地区的平均主周期为 150 ka, 次为 70 ka; 长江中下游地区为 120 ka 和 60 ka, 难分主次; 华南地区从  $Q_1^1$  开始计, 为 100 ka 和 60 ka, 亦难分主次。从  $Q_1$  到  $Q_2$ , 旋回次数和周期长短的变化, 华北地区次数减少(从 7 减为 4), 周期延长; 长江中下游地区次数增多(从 2 增为 7), 周期缩短; 华南地区次数亦增多(从 2 增为 8), 但长、短周期交替。由上述可见, 南北方红土所反映的气候旋回的周期是基本一致的。南方  $Q_2$  以来旋回增多, 周期缩短, 气候冷暖波动频繁, 是因为我国季风的稳现期是  $Q_2$ , 季风环流既已形成, 夏季风使全国增温, 而冬季风的发达和强弱变化, 南方比北方敏感。

若以黄土- 古土壤系列为时间标尺, 中低纬度的红土对气候的旋回变化亦有响应。例如, 安徽宣城剖面(图 1)厚 8.1~ 15.6 m,  $S_0$  为现代黄红壤,  $S_1$  为均质红土,  $S_2 \sim S_7$  为网纹红土, 7 层红土与 7 层棕黄色粉砂粘土构成 7 个沉积- 古土壤旋回, 各层红土的磁化率、全氧化铁含量、有机质含量、有机质  $\delta C$  值都为相对高值, 反映比今暖湿的气候, 构成 7 次气候旋回, 按地层的 ESR 年龄, 7 层古红土可与黄土中的古土壤层  $S_2 \sim S_7$  对比<sup>[9]</sup>。华南雷



图1 红土期、气候期、构造期的对比 (图上数字除注明者外, 均为年龄 ( $\times 10$  ka BP))

Fig. 1 Relationship between the Red Earth evolution, climate change and tectonic movement in China (10 ka BP)

琼地区的玄武岩红土,按玄武岩的年龄,0.85~0.47MaBP有6层红土,可与黄土中的 $S_5 \sim S_8$ 对比;0.47~0.1MaBP有5层红土,可与黄土中的 $S_1 \sim S_4$ 对比<sup>[10]</sup>。我们曾系统划分雷琼地区的火山活动期,其中几期玄武岩红土的层数为: $Q_1^1$ (2.3~0.99MaBP)5层, $Q_1^2$ (0.90~0.76MaBP)3层, $Q_2^1$ (0.73~0.31MaBP)3层, $Q_2^2$ (0.29~0.23MaBP)5层,这16层红土显然是气候旋回变化的记录<sup>[11]</sup>。又如江西星子叶家垄 $Q_2$ 的土状堆积可分12层,构成下三旋回(黄色亚粘土或网纹红土-铁盘层)和上三旋回(网纹红土-黄色亚粘土),下三旋回的底部为B/M极性世界限。红土代表湿热风化期,黄色亚粘土代表干冷的加积(风积)期,6个气候旋回亦可与黄土中的 $S_2 \sim S_7$ 对比<sup>[12]</sup>。

## 2 红土-构造耦合

### 2.1 红土与新构造期的划分

从红土得到启示,我国的新构造期始于3.4MaBP,此前为喜马拉雅期; $Q_1$ 前为新构造I亚期, $Q_2$ 后为新构造II亚期。例如,我国的 $N_2 \sim Q_1$ 河湖相地层开始沉积于更新世初(3.4MaBP),其底部是以三趾马红土为标志的不整合面。红土代表夷平期;不整合面及河湖相沉积反映红土夷平面解体,表明一次普遍的构造运动的开始<sup>[13]</sup>。黄土中古土壤的鼎盛期出现在主要属于 $Q_2$ 的离石黄土,即 $S_2 \sim S_{15}$ ,它们将黄土高原开始抬升期( $Q_1^1$ ,1.67~1.45MaBP)与强烈抬升期( $Q_3^1$ ,0.10MaBP)隔开<sup>[14]</sup>,可视为新构造两个亚期之间的转变。长江三峡及邻区有高程55m、70m、80m、130m、150m、165m阶地,后三者为 $Q_2$ 的红土或网纹红土阶地,反映构造活化期,与 $Q_1$ 的宁静期形成对照<sup>[15]</sup>,标志新构造两个亚期的区分。华南红土阶地的39个年龄数据表明,第二、三、四、五级阶地的时代都集中在 $Q_1$ 晚期至 $Q_2$ ,反映 $Q_1$ 与 $Q_2$ 之交为新构造的转折期。

### 2.2 红土与三大构造事件

就垂向运动而言,我国上新世晚期以来发生过三大构造事件,红土的抬升是其标志之一,两个事件之间为相对宁静期。高于本地区现代红土发育高程上限的红土可称高位红土,埋藏红土可称低位红土。根据青藏高原北、东、南边缘断陷盆地相关沉积的年龄,第一事件发生在4.3~1.4MaBP<sup>[16,17]</sup>。如表1, $N_2$ 红土形成之后,发生了显著的高程抬升,是第一构造事件的标志,例如 $N_2$ 红土的残留高程,藏南4050m,内蒙古商都埋深114m,北京延庆盆地埋深1002m(3.32MaBP),四川理塘3670m,云南元谋1600m,景洪480m,江西庐山1300m,鄱阳湖埋深80m,珠江口埋深170m。

第二事件发生在 $Q_1$ 晚期至 $Q_2$ 初期,表现在 $Q_1$ 红土的位置抬升,例如,藏南3900m,山西榆社1150m,贵州坪地2100m,成都500m,湖北崇阳200m(0.78、0.72MaBP)、大连营城子埋深68m,淮北埋深122m(0.9MaBP)。另据 $Q_1$ 红土的49个年龄数据,较小的为0.85~0.74MaBP; $Q_2$ 红土的75个年龄数据,较大的为0.67~0.64MaBP(图1),可见第二事件发生在 $Q_1$ 与 $Q_2$ 之交(0.9~0.64MaBP)。

第三事件表现在 $Q_2$ 红土的抬升,例如,藏南3950m,陕西眉县850m,四川螺髻山2400m,云南元谋1200m,庐山1200m,黄山660m,大连营城子埋深55m,江苏邳北埋深61m,珠江三角洲埋深60m。第三事件的时代为 $Q_2^2 \sim Q_3^1$ ,因为 $Q_2$ 红土的较小年龄为0.23~0.15MaBP( $Q_2^2$ );华南北海组红色砂砾层结束沉积是0.23MaBP( $Q_2^2$ );华南

第二、三、四级红土阶地的时代为 $Q_2^2 \sim Q_3^1$ ; 珠江三角洲第四系最大年龄为  $45\ 120 \pm 910\ a\ BP$  ( $Q_3^2$ ), 基底为 $Q_2$  红土; 华北平原晚更新世以来最早一次海侵是  $0.11 \sim 0.07\ Ma\ BP$  ( $Q_3^1$ )。

表 1 各期红土的高程 (m)  
Tab. 1 The altitude of the different red earth period (m)

	N <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	现代红土高程上限
青藏高原	沃马 4 050	拉孜 4050	羊八井 4400	索县 4000	喜马拉雅山 南坡 1500
		隆子 4000	聂拉木 3950		
		桑夏 3900			
黄土高原	商都 (114)	榆社 1150	眉县 850		
	临汾 (677)		太白山 840		
华 北	白头山 1500	大连 (68)	大连 (55)		
	延庆 (1002)		安东 (52)		
	天津 (630)				
云贵高原	理塘 3670	坪地 2100	螺髻山 2400	螺髻山 2300	云南 1000
	西昌 2100	宣威 1950	剑川 2100	昆明 1900	贵州 700~ 800
	路南 2000	成都 500	峨眉山 1640	元谋 1100	四川 700
华 中	昆明 1900		普定 1280	龙街 1000	
	元谋 1600		元谋 1200		
	景洪 480		独山 1000		
	庐山 1300	崇阳 200	庐山 1200	德安 50	湖南、广西
	鄱阳湖 (80)	淮北 (122)	天目山 1000		安徽 600~ 700
		洞庭湖 (133)	湘西 900		浙江、湖北
			绥宁 680		500~ 600
			黄山 660		
			长沙 280		
			德安 100		
			邳北 (61)		
			鄱阳湖 (20)		
	戴云山 (980)	湛江组 60~ 80	台湾 2000	桂林 160	福建、广东
	五指山 (900)		北海组 20~ 60	老红砂 20~ 80	广西 700~ 800
华 南	粤北 (800)		珠江三角洲 [60]		台湾 800
	珠江口 (170)		韩江三角洲 [160]		海南 800

注: 括号内数字为地面以下埋深 (m)。

2.3 红土与三大台阶地貌的形成

N<sub>2</sub> 的三趾马红土广布于内蒙古高原、黄土高原、云贵高原及藏南<sup>[7]</sup>, 在我国东南部山地的平坦山顶也残留N<sub>2</sub> 的古红土风华壳, 表明当时全国为低缓的夷平地面, 尚未形成第一和第二台阶的构造地貌, 不是西高东低, 而是东高西低, 例如秦岭是印支期山地, 东南沿海弧形山系是早古生代或燕山期造山带, 上新世时, 青藏高原的高程不过 1 000m 左右。现今三趾马红土及同期红土风华壳的残留高程各地差异甚大, 是N<sub>2</sub> 的夷平地面解体, 发生强烈的升降分异运动所致。

$N_2$  末至  $Q_1$  初为三大台阶开始形成阶段。 $Q_1^2$  红土的分布与  $N_2$  时期有重大差别, 在第三台阶分布较普遍, 表明当时地势相对较低。第二台阶的云贵高原、黄土高原、内蒙古高原甚少  $Q_1$  的红土, 表明当时第一台阶和第二台阶已抬升到相当大的高度, 不利于红土的发育。

$Q_1$  与  $Q_2$  之交是台阶锥型阶段。 $Q_1^1$  红土普遍出现在第二、第三台阶, 表明虽然青藏高原  $Q_2$  强烈隆升, 但第二台阶高度并不大, 与第三台阶尚无显著分异。

$Q_3$  是台阶定型阶段。 $Q_2$  与  $Q_3$  的红土分布有重大差别,  $Q_2$  红土分布较普遍,  $Q_3$  红土则仅见于第三台阶和第二台阶的云贵高原南部, 表明青藏高原加速隆升, 第二台阶亦整体抬升, 第三台阶则相对沉降, 实现了我国大陆地貌由上新世的东高西低向西高东低的转变。

## 2.4 红土与块断构造活动的迁移

如表 1, 青藏高原各期红土的抬升都是最大, 达 3 900~ 4 400 m。中西部黄土高原和云贵高原的红土,  $Q_1$  前变幅大,  $Q_2$  后变幅小。黄土高原  $Q_1$  前的红土高程, 既有 1 150 m, 也有埋深 114~ 677 m; 云贵高原既有 3 670 m 和 1 950~ 2 100 m, 也有 480 m 和 500 m。 $Q_2$  红土的高程, 黄土高原为 850~ 840 m; 云贵高原为 2 100~ 2 400 m 和 1 000~ 1 640 m,  $Q_3$  红土的高程差异也不大, 为 1 900~ 2 300 m 和 1 000~ 1 100 m。上述现象表明, 中西部地区的块断构造活动是  $Q_1$  前强而  $Q_2$  后弱。东部地区各期红土抬升都较显著, 但有地区差异。华北  $N_2$  以来活动趋弱, 红土高程,  $N_2$  达 1 500 m 和埋深 1 002 m;  $Q_1$  为埋深 68 m;  $Q_2$  为埋深 52~ 55 m。华中和华南则是  $Q_2$  后块断活动增强, 例如华中  $Q_2$  的红土高程有 4 个级差: 900~ 1 200 m、660~ 680 m、100~ 280 m 埋深 20~ 60 m; 华南高者 2 000 m, 低者 20~ 60 m, 埋深亦有 60~ 160 m。

以  $Q_1$  与  $Q_2$  之交为界, 中西部地区块断构造活动前强后弱, 东部地区则相反, 为前弱后强, 反映块断构造活动区的向东迁移。其原因在于东亚板块运动的东、西 2 条“锋线”是我国一系列构造活动的力源。 $Q_1$  时期, 印度板块以 8.4 cm/a 速度向北运动<sup>[18]</sup>, 与欧亚板块碰撞的西部“锋线”占主导地位, 故块断构造活动区偏西;  $Q_2$  后印度板块减速为 5.0 cm/a, 而菲律宾板块和太平洋板块向北西运动的速率较大, 分别为 7.3 cm/a 和 10.6 cm/a<sup>[18]</sup>, 菲律宾海板块的吕宋岛弧(北延部分)与欧亚板块在台东纵谷碰撞的东部“锋线”占主导地位, 故块断构造活动区东迁。

## 3 构造- 气候耦合

孙殿卿等认为<sup>[19]</sup>, 新构造运动进程与大冰期气候波动叠加而引起环境的周期变化, 可称构造- 气候旋回。我国晚上新世以来有 3 个主旋回(图 1), 周期为 1.0~ 1.2 Ma。第 III 旋回可再分 3 个亚旋回, 周期为 0.4 Ma。旋回前段为构造宁静期和冰期, 后段为构造活动期和间冰期。红土期(间冰期)与构造活动期相对应。朱照宇等持相反观点<sup>[20]</sup>, 认为构造活化期与气候恶化(变冷)期相对应。我国第四纪有 7 个构造活动期(图 1), 它们与黄土中的 7 个极冷阶段及阶地侵蚀加剧阶段相对应, 因而有 7 个构造- 气候旋回, 平均周期为 0.4 Ma。

我国第四纪自然环境大幅度周期性变化的原因, 一是全球气候变化, 二是青藏高原隆升所引发的季风环流的发展, 后者是关键性事件。全球气候变化有“太阳辐射驱动”和

“全球冰量驱动”两种模式<sup>[21]</sup>。太阳辐射变化受地球轨道三要素周期性变化所控制,例如偏心率变化周期为 100 ka。全球冰量变化亦具周期性,例如 0.8 Ma BP 前为 40 ka,后为 100 ka<sup>[22]</sup>。我国气候变化以全球变化为背景,如前所述,黄土系列所反映的气候变化主周期即有 100 ka 和 40 ka<sup>[8]</sup>。

太阳辐射变化对气候的影响是直接、迅速、短周期的;构造因素的影响则是间接、缓慢、长周期的。构造运动(例如青藏高原隆起)改变地球的质心位置,地球为适应这种不可恢复的改变、达到新的平衡,便会调整运行轨道参数,从而使太阳辐射发生变化,引起气候波动。构造活动的阶段性引发气候波动的周期性。青藏高原的隆升具有节奏性,有 5 个快速隆升时期(图 1),青藏高原目前的高度有 70%~80% 是快速隆升时期的贡献<sup>[23]</sup>。

按上所述,我国第四纪可分 3 个构造-气候主旋回。以红土为标志的温暖期是与构造宁静期相对应的。

第 I 旋回为上新世末至早更新世初(1.4 Ma BP 前)。该旋回前段(2.5 Ma BP 前)为 N<sub>2</sub> 红土夷平面时期,构造相对宁静,青藏高原的高度不足 1 000 m,无季风环流,气候干热。旋回后段为构造活动期,2.5~1.4 Ma BP 青藏高原隆升加强,高度为 2 000 m,升降速率 0.5 mm/a<sup>[24]</sup>,相当于第一构造事件,其中,2.5 Ma BP 和 1.25 Ma BP 高原快速隆升。华北和长江中下游地区红土稀少,旋回不清楚,反映冰期气候。

第 II 旋回为早更新世后期至中更新世初(1.4~0.64 Ma BP)。该旋回前段(0.8 Ma BP 前)青藏高原相对稳定,早更新世高原隆升至 2 000 m,对西风气流的动力作用明显起来,高原南、北两侧的急流强大,季风环流开始出现,红土广泛发育,旋回清楚,北方旋回次数多而周期短,南方则是次数少而周期长。黄土系列所反映的气候周期,1.6 Ma BP 和 0.8 Ma BP 是两条转变界限,发生过 100 ka~40 ka~100 ka 的周期转型<sup>[8]</sup>。该旋回后段为构造活动期,0.8~0.75 Ma BP 青藏高原快速隆升,相当于第二构造事件,红土年龄稀少,反映冰期。

第 III 旋回为中更新世(0.64 Ma BP)以来。中更新世青藏高原隆升至 3 000 m,速率 1.14 mm/a<sup>[24]</sup>,其中,0.45 Ma BP 快速隆升。但是,晚更新世隆升至 4 000 m,速率更大,达 11.8~15.7 mm/a<sup>[24]</sup>,尤其是 0.15~0.10 Ma BP 为快速隆起时期。因此,该旋回以 0.15 Ma BP 为界,后段为构造活动期,相当于第三构造事件,红土仅在南方发育,反映冷期气候。旋回前段为相对稳定期,青藏高原隆升至 3 000 m 后,按数值模拟结果,当高原的高度参数取 3 150 m 时,年均温的分布型式已与现代接近,高原南面显现明显的西南气流,高原东侧气候向北伸展可越 33°N<sup>[4]</sup>,可见中更新世为季风环境的稳现期,因而红土最为发育,而且有多层红土,红土旋回除华北外,长江中下游地区和华南都是次数增多而周期缩短或长短周期交替,气候波动明显。

## 参考文献 (References)

- [1] Peng Hua A discussion on the effect of Qinghai-Tibet Plateau swelling on the climate in China[J]. *Geographical Research*, 1989, 8(3): 85~93 (In Chinese) [彭华 关于青藏高原隆起对中国气候影响的讨论[J]. 地理研究, 1989, 8(3): 85~93]
- [2] Zhou Tingru, Ren Senhou Chinese Physiography · Paleography (Part I) [M]. Beijing: Science Press, 1984 (In Chinese) [周廷儒, 任森厚 中国自然地理·古地理(上册) [M]. 北京: 科学出版社, 1984]
- [3] Zhang Lanshen Recent development in research on environmental change in China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1990, 10(3): 217~225 (In Chinese) [张兰生 我国环境演变研究的进展[J]. 地理科学, 1990, 10(3): 217~225]

- [4] Wang Naiang On forming times of east monsoon[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1994, **14**(1): 81~ 87. (In Chinese) [王乃昂论东亚季风的形成时代[J]. 地理科学, 1994, **14**(1): 81~ 87.]
- [5] An Zhisheng, Xiao Jule, Zhang Jingzhao et al Monsoon and climate fluctuation of the Loess Plateau during the recent 130 ka[A]. In: Liu Dongsheng Quaternary geology in Loess and global change[C]. Beijing: Science Press, 1990 108~ 114 (In Chinese) [安芷生, 肖举乐, 张景昭 等. 季风与最近 13 万年黄土高原的气候历史[M]. 见: 刘东生 主编 黄土第四纪地质·全球变化[C]. 北京: 科学出版社, 1990 108~ 114.]
- [6] Tang Maocang, Liu Xiaodong A new mark for delimitation of quaternary: stable appearance of plateau monsoon and its environmental effect[J]. *Quaternary Sciences*, 1995(1): 82~ 87. (In Chinese) [汤懋苍, 刘晓东 一个新的划分第四纪的标志——高原季风演变的地质环境后果[J]. 第四纪研究, 1995(1): 82~ 87.]
- [7] Huang Zhenguo, Zhang Weiqiang, Chen Junhong The change of natural zones and the evolution of red earth in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1999, **54**(3): 193~ 203 (In Chinese) [黄镇国, 张伟强, 陈俊红 中国红土与自然地带变迁[J]. 地理学报, 1999, **54**(3): 193~ 203.]
- [8] Ding Zhongli, Liu Dongsheng, Liu Xiumin et al 37 climatic cycles over the past 2,500,000 years[J]. *Science Bulletin*, 1989(19): 1494~ 1496 (In Chinese) [丁仲礼, 刘东生, 刘秀铭 等. 250 万年以来的 37 个气候旋回[J]. 科学通报, 1989(19): 1494~ 1496.]
- [9] Zhao Qiguo, Yang Hao A preliminary study of red earth and changes of quaternary environment in South China[J]. *Quaternary Sciences*, 1995(2): 107~ 115 (In Chinese) [赵其国, 杨浩 中国南方红土与第四纪环境变迁的初步研究[J]. 第四纪研究, 1995(2): 107~ 115.]
- [10] Zhu Zhaoyu, Zheng Honghan, Zhang Guomei et al A preliminary study on the age of red earth and weathered mineral in the tropic areas of South China[J]. *Quaternary Sciences*, 1991(1): 18~ 27. (In Chinese) [朱照宇, 郑洪汉, 张国梅 等. 华南热带红土期及风化矿物初步研究[J]. 第四纪研究, 1991(1): 18~ 27.]
- [11] Huang Zhenguo, Cai Fuxiang, Han Zhongyuan et al Quaternary volcano in Leizhou Peninsula and Hainan Island[M]. Beijing: Science Press, 1993 (In Chinese) [黄镇国, 蔡福祥, 韩中元 等. 雷琼第四纪火山[M]. 北京: 科学出版社, 1993.]
- [12] Shi Yafeng, Cui Zhijiu, Li Jijun et al Quaternary Glacier and Environment in the Eastern Part of China[M]. Beijing: Science Press, 1989 (In Chinese) [施雅风, 崔之久, 李吉均 等. 中国东部第四纪冰川与环境问题[M]. 北京: 科学出版社, 1989.]
- [13] Chen Fubin Hengduan event; an important tectonic event of the late cenozoic in eastern Asia[J]. *Mountain Research*, 1992, **4**(4): 195~ 202 (In Chinese) [陈富斌 横断事件: 亚洲东部晚新生代的一次重大构造事件[J]. 山地研究, 1992, **10**(4): 195~ 202.]
- [14] Zhu Zhaoyu, Ding Zhongli The climatic and tectonic evolution in the Loess Plateau of China during the Quaternary[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994 (In Chinese) [朱照宇, 丁仲礼 中国黄土高原第四纪古气候与新构造演化[M]. 北京: 地质出版社, 1994.]
- [15] Feng Xijie The time and process of quaternary crustal movements on the Chinese Continent[J]. *Geological Review*, 1992, **38**(3): 210~ 213 (In Chinese) [冯希杰 中国大陆第四纪地壳运动的过程[J]. 地质论评, 1992, **38**(3): 210~ 213.]
- [16] Min Ruibang The great tectonic and petrographic event during the Quaternary In China[A]. In: Liang Mingsheng, Zhang Jilin. Comparison research of land and sea Quaternary In China[C]. Beijing: Science Press, 1991. 242~ 249 (In Chinese). [闵瑞隆 中国第四纪重大构造- 岩相事件[A]. 见: 梁名胜, 张吉林 主编 中国海陆第四纪对比研究[C]. 北京: 科学出版社, 1991, 242~ 249.]
- [17] Jiang Fuchu, Wu Xihao Fundamental characteristics of stepped landform in China Continent[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1993, **13**(3): 15~ 23 (In Chinese) [蒋复初, 吴锡浩 中国大陆阶梯地貌的基本特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1993, **13**(3): 15~ 23.]
- [18] Wan Tianfeng Tectonic event and stress field of quaternary in China[J]. *Quaternary Sciences*, 1994(1): 48~ 54 (In Chinese) [万天丰 中国第四纪的构造事件与应力场[J]. 第四纪研究, 1994(1): 48~ 54.]
- [19] Sun Dianqing, Wu Xihao A Preliminary Study of Quaternary Tectonic-Climatic Cycles In China[A]. In: Comm ittee of Quaternary Studies of China[C]. *Quaternaria Sinica*, 1986 2~ 9 (In Chinese) [孙殿卿, 吴锡浩 中国第四纪构造- 气候旋回的初步研究[A]. 见: 中国第四纪研究委员会[C]. 中国第四纪研究(第 7 卷). 北京: 科学出版社, 1986 2~ 9.]
- [20] Zhu Zhaoyu, Ding Zhongli, Han Jingtai Activations of neotectonics and drastic changes in climate[J]. *Quaternary Sciences*, 1994(2): 56~ 65 (In Chinese) [朱照宇, 丁仲礼, 汉景泰 新构造活化与气候恶化[J]. 第四纪研究, 1994(2): 56~ 65.]
- [21] Ding Zhongli, Yu Zhiwei Forcing mechanisms of paleomonsoons over east Asia[J]. *Quaternary Sciences*, 1995(2): 63~ 73 (In Chinese) [丁仲礼, 余志伟 第四纪时期东亚季风变化的动力机制[J]. 第四纪研究, 1995(2): 63~ 73.]
- [22] Liu Dongsheng, Ding Zhongli A phased coupling process of monsoonal circulation and continental ice variation over the last 2,500,000 years[J]. *Quaternary Sciences*, 1992(1): 12~ 23 (In Chinese) [刘东生, 丁仲礼 二百五十万年来季风环流与大陆冰量变化



的阶段性耦合过程[J]. 第四纪研究, 1992(1): 12~ 23 ]

[23] Ma Zongjin, Nie Gaozhong, Zhang Peizhen. Influence of tectonic activities on the regional distribution of soils and on paleoclimatic events[J]. *Quaternary Sciences*, 1995(1): 1~ 11. (In Chinese) [马宗晋, 聂高众, 张培震. 地球构造变动对土壤分带格局和古气候事件的影响[J]. 第四纪研究, 1995(1): 1~ 11.]

[24] Li Jijun. Discussion on age, range and patterns of the Qinghai-Tibet Plateau rise[J]. *China Sciences*, 1979, D (6), 508~ 616. (In Chinese) [李吉均. 青藏高原隆起的时代、幅度和形式问题的探讨[J]. 中国科学, 1979, D (6): 508~ 616.]

## Coupling Relationship between the Red Earth Evolution, Climate Change and Tectonic Movement in China

HUANG Zhen-guo, ZHANG Wei-qiang

(Guangzhou Institute of Geography, Guangzhou 510070)

**Abstract:** It is generally considered that the evolution period of red earth is corresponded with the warm period of interglacial but the relationship between climate (red earth) and tectonic movement has not discussed well. The problem is still remained whether the warm period was associated with the relatively stable period or with the active period of tectonic movement. This paper hold the former point of view.

The dating and distribution of red earth during  $N_2$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$  and  $Q_3$  show that the formation and evolution of monsoon circulation can be divided into 5 stages in China. In addition, the relationship between red earth and climate is also presented by the unanimity each other of cycles. Since early Pleistocene there were 10, 9 and 10 cycles of earth-climate in North China, the area of middle-lower reach of Yangtze River and South China, respectively. The average main periodicity is 100~ 120 ka and the secondary is 60~ 70 ka. Taking the climate cycles of loess-paleosol series as a time mark, the multi-layer red earth in south area of China can be contrasted with the intercalated red layers in Loess one by one.

The coupling relationship between red earth and the stages of neotectonics is obvious, for example, the deformed elevation of red earth of several periods of  $N_2$ ,  $Q_1$  and  $Q_2$  indicates three important tectonic events since late Pliocene in China. These events are regarded as the main reason causing the formation of three large steps of China's relief, which is marked by the distribution of red earth. The deformed amplitude of red earth is different in space and time showing the moving of block-fault movement.

Finally, by comparing the corresponding relation between cycles of red earth, uplift stages of Xizang-Qinghai (Tibet) Plateau and development periods of monsoon circulation, three main cycles of tectonics-climate are deduced, namely the first (before 1.4 Ma BP), the second (1.4~ 0.64 Ma BP) and the third (since 0.64 Ma BP). For each cycle, two stages can also be divided, the former is characterized by relatively stable tectonics and warm climate, the latter, the active tectonics and cold climate.

**Key words:** Red earth; Climate; Tectonism