

文章编号: 1000-0550(2010)04-0645-14

第四纪洞庭盆地赤山隆起与安乡凹陷 升降运动的沉积记录^①

柏道远^{1,2} 李长安² 周柯军¹ 陈渡平¹ 马铁球¹ 王先辉¹ 彭云益¹ 李纲¹

(1. 湖南省地质调查院 长沙 410011; 2. 中国地质大学(武汉) 地球科学学院 武汉 430074)

摘要 通过地表地质调查和钻井资料,对第四纪洞庭盆地南部赤山隆起及其西侧安乡凹陷的沉积和地貌特征进行研究,进而探讨二者的升降过程。赤山隆起为居于洞庭盆地南部的小型抬升断块,主要受东、西边界正断裂所控制,长约18 km,宽4~5 km。隆起内早更新世汨罗组和中更新世新开铺组、白沙井组组成多级阶地。安乡凹陷内充填200~300 m厚的河流和湖泊相沉积,自下而上依次为早更新世华田组、汨罗组,中更新世洞庭湖组,晚更新世坡头组,全新世湖积、冲积等。地貌与沉积特征表明,早更新世—中更新世中期赤山隆起总体表现出抬升期与稳定期交替的脉动式抬升,而安乡凹陷则表现出缓慢与快速沉降交替的幕式沉降特征;前者构造较稳定期和构造抬升期分别对应于后者缓慢沉降期和快速沉降期。中更新世晚期二者因区域构造反转而整体抬升并遭受剥蚀。晚更新世—全新世安乡凹陷在拗陷背景下接受沉积。上述第四纪早期赤山隆起脉动式抬升与安乡凹陷幕式沉降的对应关系,为洞庭盆地与周边隆起的盆—山耦合过程提供了约束,同时暗示盆地断陷活动可能与地幔上隆导致中地壳物质自凹陷向周边迁移有关。

关键词 第四纪 赤山隆起 安乡凹陷 抬升 沉降 动力机制

第一作者简介 柏道远 男 1967年出生 博士 教授级高级工程师 构造学和第四纪地质学 E-mail: daoyuan-bai@sina.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

江汉—洞庭盆地是中南地区规模最大的第四纪盆地,中部的华容(次级)隆起将其分为北面江汉盆地和南面洞庭盆地两部分。第四纪江汉—洞庭盆地的地质特征与成因长期以来备受研究者关注,其中对南部洞庭盆地第四纪地质的调查由来已久^{②③④⑤},在第四纪沉积^{①,21}、环境特征与演化过程^{③~12}、构造活动特征^{③~22}、湖泊演变趋势^{②3,24}等方面取得大量成果认识。从已有资料来看,前人工作一般是关于第四纪洞庭盆地的整体性与概略性研究,很少涉及其内部不同构造单元的细节特征,因而也未充分揭示出洞庭盆地构造活动与沉积作用的横向差异。此外,受工作程度与认识角度的限制,对有关洞庭盆地第四纪地质问题,尤其是对构造性质与构造活动特征的认识尚存在一定分歧。如在第四纪洞庭盆地的构造属性方面,景存义认为现今洞庭湖盆为断陷作用所致^①;杨达

源认为洞庭湖盆地第四纪为拗陷盆地^⑥;梁杏等^⑨、皮建高等^⑧认为早、中更新世为盆地的断陷阶段,晚更新世以来进入拗陷阶段;刘锁旺等认为江汉—洞庭盆地现今存在非对称扩张^③;薛宏交等认为至少全新世以来江汉—洞庭盆地普遍沉降,并由盆地内北北东向断裂在北东向挤压、南东向拉伸构造应力场作用下发生顺扭正断所致^④。再如在近代洞庭湖演变成因方面,一种观点认为构造沉降是控制近代洞庭湖演变的关键因素^{⑨~21},另一种观点则强调外动力作用,认为泥沙淤积才是控制近代洞庭湖演变的主要因素^⑥。总之,洞庭盆地第四纪地质尚待进一步深入研究。

第四纪洞庭盆地西、南、东三面分别为武陵隆起、雪峰隆起和幕阜山隆起,北与江汉盆地相邻,其间为华容次级隆起;洞庭盆地内部由若干次级构造单元组

① 中国地质调查局地质大调查项目(编号:1212010610706)和国家自然科学基金项目(批准号:40771213)资助。

② 周国棋和刘月朗.洞庭湖及外围地区的第四纪地层与新构造运动.1978

③ 陈发祥.洞庭湖第四纪地质.1981

④ 张国梁等.湖南省洞庭盆地第四纪地质研究报告.1990

⑤ 湖南省地质研究所.洞庭湖区地质构造及湖泊形成演化历史.1998

⑥ 湖南省地质调查院.1:25万常德市幅区域地质调查报告,1:25万岳阳市幅区域地质调查报告.2009

收稿日期:2009-09-28;收修改稿日期:2009-10-10

成(图1)。笔者近年来在该地区进行的1:25万区域地质调查表明,洞庭盆地及周缘地区第四纪构造活动与沉积作用存在较明显的横向分异和空间迁移^⑥。因此,对不同构造单元的第四纪地质特征进行详细解剖,不仅是细化调查区域的现实需要,同时也有助于更全面、更客观地认识洞庭盆地第四纪地质特征及构造活动规律。本文即对盆地南部赤山隆起的沉积和地貌特征以及隆起西侧安乡凹陷的沉积层序进行研

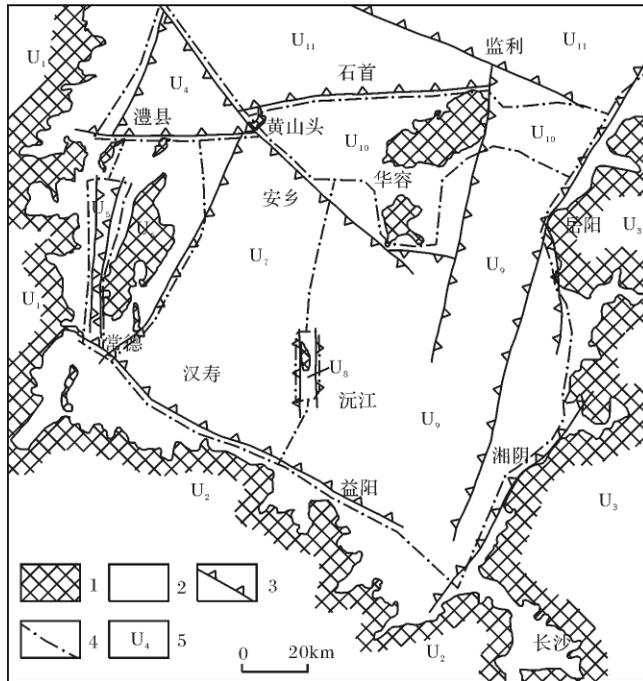


图1 第四纪洞庭盆地构造格局

1. 前第四纪地层出露区; 2. 第四纪地层出露区; 3. 第四纪正断裂, 齿向示下降盘; 4. 构造单元分界线; 5. 构造单元代号。构造单元名称: U_1 - 武陵隆起; U_2 - 雪峰隆起; U_3 - 幕阜山隆起; U_4 - 澧县凹陷; U_5 - 临澧凹陷; U_6 - 太阳山隆起; U_7 - 安乡凹陷; U_8 - 赤山隆起; U_9 - 沅江凹陷; U_{10} - 华容隆起; U_{11} - 江汉盆地

Fig. 1 Map showing tectonic framework of Quaternary Dongting basin

究,进而探讨二者的升降运动特征,以为第四纪洞庭盆地及周缘隆起的盆—山耦合研究提供支撑资料。

1 区域第四纪地层划分

第四纪洞庭盆地及周缘不同地区或不同构造单元地壳沉降或抬升的历史与幅度不同,导致第四纪地层厚度、层序、出露情况等存在显著的横向变化。为此,首先就区域第四纪地层划分情况作简单说明,以便于解读后文中有关赤山隆起和安乡凹陷第四纪地层特征及其环境与构造意义。

第四纪期间洞庭盆地各次级凹陷的构造活动总体为沉降,而周缘隆起区及盆地内部的赤山隆起总体为抬升,这一构造活动差异使凹陷内部和周缘抬升区(包括赤山隆起)的第四纪沉积作用及地层发育状况具显著差异。抬升区第四纪地层主要分布于洞庭盆地周缘丘岗、山地,多有天然或人工第四系露头剖面,并常见前第四纪基岩或基座出露;地层厚度一般不大,各时代沉积常组成基座或镶嵌阶地;成因类型以冲积为主,次为残坡积,局部山麓或沟谷发育洪积。凹陷区第四纪地层主要分布于全新世湖冲积平原及部分盆缘低缓丘岗区,一般无露头剖面 and 基岩出露;不同时代地层自下而上叠置,地层厚度较大。据此,根据研究区地层发育情况,以前人资料^{②③④}为基础,结合本次调查成果,分别建立了洞庭盆地覆盖区(或凹陷区)和露头区(或抬升区)^⑥地层系统,地层划分对比情况如表1所示。顺便指出,表1中地层单位仅涉及分布广泛,沉积厚度相对较大,时代意义明确且能较好反映构造、环境和气候演化的冲、湖积物,未包括残坡积等其它类型(分布于露头区)。

洞庭盆地露头区的白水江组、马王堆组、白沙井组、新开铺组和汨罗组区域上分别对应于一、二、三、

表1 洞庭盆地及周缘第四纪地层划分对比表

Table 1 Subdivision and correlation of the Quaternary strata in Dongting basin and its adjacent areas

时代	露头区(抬升区)			覆盖区(凹陷区)		
	名称	代号	厚度/m	名称	代号	厚度/m
全新世	全新世冲积	Qh^{al}	3~10	冲积、湖积、湖冲积等	Qh^{al} 、 Qh^l 、 Qh^{lal}	5~40
晚更新世	白水江组	Qp_3^{bs}	12	坡头组	Qp_3^p	5~15
中更新世	马王堆组	Qp_2^{mw}	10	洞庭湖组	Qp_2^d	40~100
	白沙井组	Qp_2^b	15~30			
早更新世	新开铺组	Qp_2^x	20~30	汨罗组	Qp_1^m	20~55
	汨罗组	Qp_1^m	20~30	华田组	Qp_1^{ht}	30~80
	缺失?					

注:厚度值指一般沉积厚度,局部厚度可大于或小于表中厚度值。

②③④⑥见前页

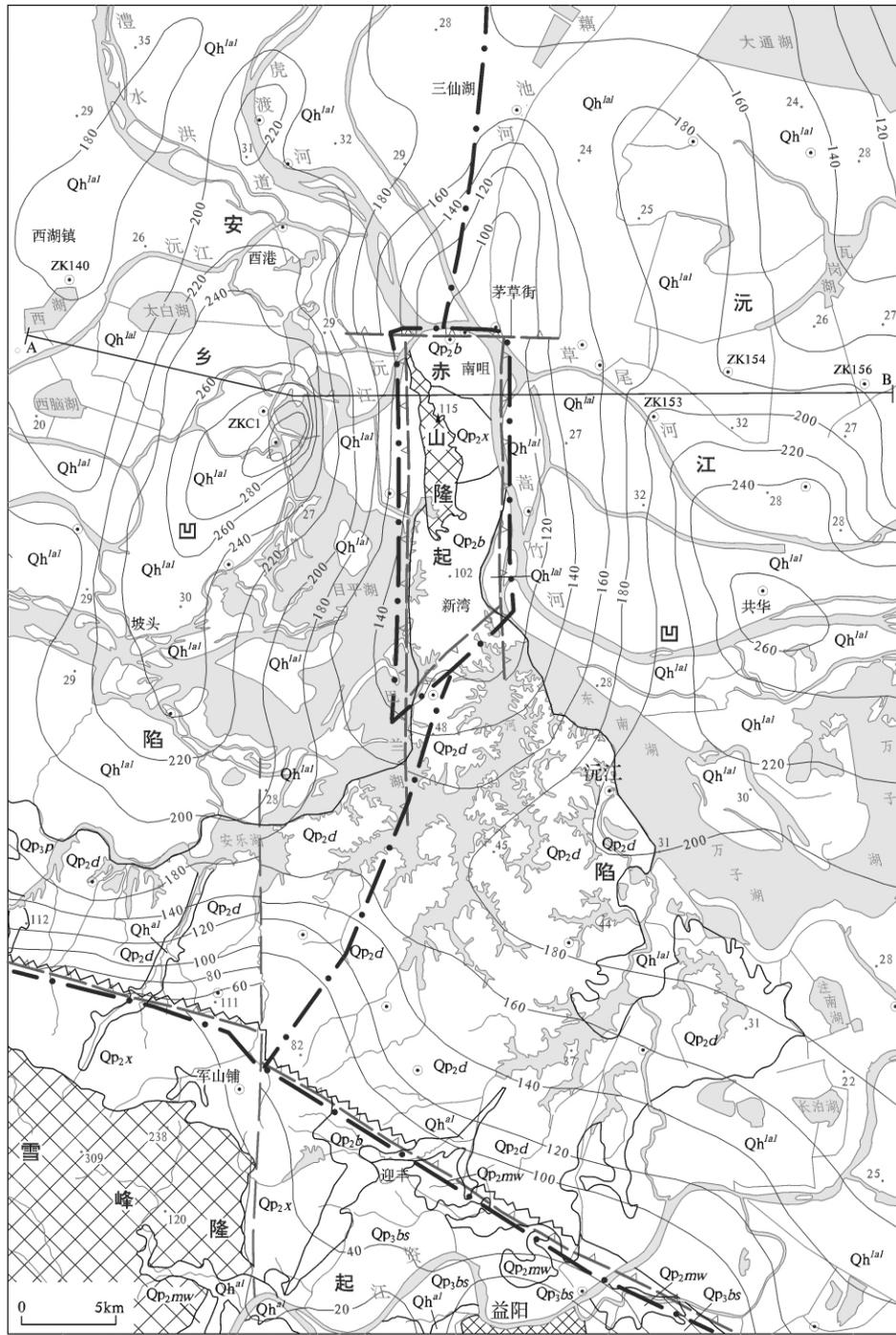


图 2 赤山隆起及周缘综合地质地貌图

1. 前第四纪基岩; 2. 第四纪控盆控凹正断裂, 齿向示下降盘/一般性断裂; 3. 地质体界线; 4. 相变界线; 5. 第四纪构造单元分界; 6. 第四纪沉积等厚线及厚度值; 7. 单线河/双线河; 8. 湖泊水面; 9. 高程点与高程值/山峰与高程; 10. 钻孔位置及钻孔编号; 11. 第四纪地质剖面位置, A—B 对应图 3。Qh^{al}—全新世冲积; Qh^{al}—全新世湖冲积; Qp_{3p}—晚更新世坡头组; Qp_{3bs}—晚更新世白水江组; Qp_{2mw}—中更新世马王堆组; Qp_{2b}—中更新世白沙井组; Qp_{2x}—中更新世新开铺组; Qp_{2d}—中更新世洞庭湖组

Fig. 2 Geological-geomorphologic sketch map of Chishan uplift and its adjacent areas

四和五级阶地(实际上常发育不全), 一般为具二元结构(下部砂砾层, 上部粉砂质粘土、粘土层)的河流

冲积物。其中白沙井组和新开铺组的上部粘土层常具网纹化。

覆盖区各地层单位岩性组成可具明显的横向变化。总体而言,华田组以湖相杂色粘土为主,夹砂砾层、砂层、粉砂层等河流相沉积。粘土颜色有青灰、黄白、黄绿、灰绿、桔黄、棕黄、灰黄、浅黄、绛红等,不同颜色粘土常相间、交错而形成条带状、团块状、晕状等构造。汨罗组主要为一套灰、灰绿、灰黄、土黄色河流相细—粗砂层、含砾砂层,夹灰、灰绿、灰黄、褐黄色漫滩相、湖泊相(含)粉砂质粘土、粘土,局部有少量砂砾石层。该组胶结紧密,多呈半成岩状,以此与下伏华田组 and 上覆洞庭湖组相区别。洞庭湖组以河流相砂砾层为主,砂和粘土层为次,且总体具下粗上细层序结构。坡头组主要为一套土黄、褐黄、灰黄、浅黄色漫滩、湖泊相粘土,其结构致密,多含较多铁锰质结核。全新统多为河湖相粉砂、粘土沉积,少量砂质沉积。

2 赤山隆起地貌与沉积特征

赤山隆起居于洞庭盆地南部(图1) 现今地貌上表现为一立于湖冲积平原之上的丘岗地形(图2) 其西面为安乡凹陷,东面为沅江凹陷。隆起长约18 km,宽4~5 km。具丘岗地貌,高程50~115 m,总体中部高,东、西两侧低。地表主要为中更新世沉积覆盖,中西部有古近纪红层出露。除地势、地貌与周边湖冲积平原殊异外,赤山隆起第四纪沉积层序、沉积充填

结构、底板标高等与两侧凹陷迥然不同(图3)。

赤山隆起南、北段发育中更新世白沙井组,中段分布有新开铺组(图2)。此外,中段尚发育有少量汨罗组(图4) 图2中未能表达出来。以下重点介绍隆起北部第四系特征。

赤山隆起北部自北而南依次发育有白沙井组、新开铺组 and 少量汨罗组。根据钻孔和地表观察所编制的王爷庙—百家沟南北向第四纪地质剖面表明,各组之间呈切割关系,组成镶嵌阶地(图4)。

白沙井组下部为河流相砂砾层,厚23 m左右;上部为漫滩—湖相含粉砂质粘土、粘土,厚40 m左右。其中表层粘土均因湿热化而成为网纹红土。北面张家冲见一人工开挖露头剖面,剖面高7 m以上,均为蠕虫状网纹红土。基质为褐红色,网纹呈白色—浅灰黄色。网纹产状较乱,水平、倾斜、竖直等均有。网纹宽一般1~3 cm,长一般2~8 cm。于其中采送光释光(OSL)测年样,获得 121 ± 12 ka 年龄值(图4),居中更新世末—晚更新世初。结合后述地质演化背景来看,测试结果应较实际年龄偏小。

在ZK150孔剖面中,白沙井组底板高程为-7.55 m,下伏基岩为古近纪红色砂岩。白沙井组总厚47.55 m(受后期剥蚀后的厚度),自下而上可分为5层:1层为砾石层,厚22.67 m;2层为灰紫色含粉砂质粘土,厚11.60 m;3层为黄赤带紫红色粘土,质纯,粘性强,可塑,厚8.79 m;4层为灰白色粉砂质粘土,厚1.49 m;5层为含细砾红土,厚3.00 m。

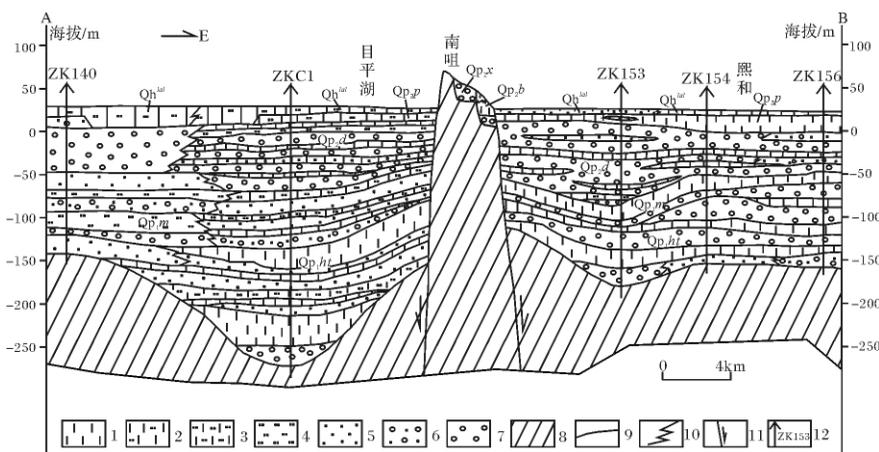


图3 赤山隆起及两侧 EW 向第四纪地质剖面(位置见图2中A—B剖面线)

1. 粘土; 2. 含粉砂粘土; 3. 粉砂质粘土; 4. 粉砂; 5. 砂层; 6. 砂砾层; 7. 砾石层; 8. 前第四纪基岩或基座; 9. 地层单位界线; 10. 相变界线; 11. 凹陷边界正断裂; 12. 钻孔位置及编号。Qh^{al}—全新世湖冲积; Qp_{3p}—晚更新世坡头组; Qp_{2d}—中更新世洞庭湖组; Qp_{1m}—早更新世汨罗组; Qp_{1h}—早更新世华田组

Fig. 3 EW-directed Quaternary geological section across Chishan uplift and its two sides (location is shown with A—B line in Fig. 2)

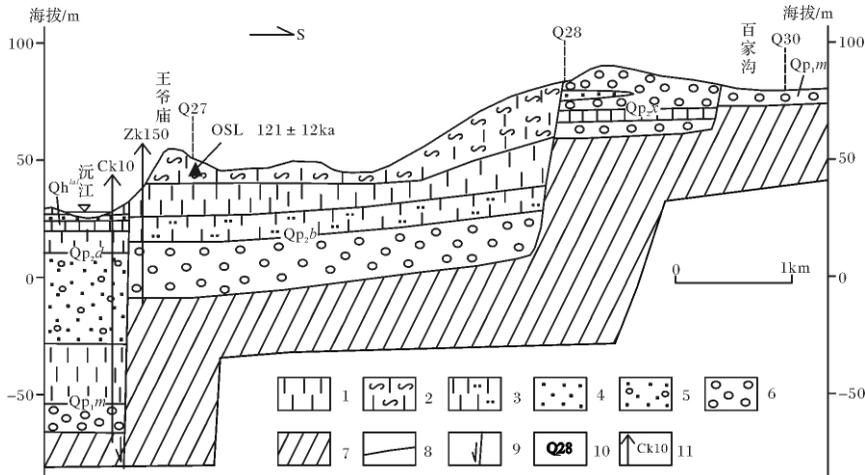


图 4 赤山隆起北段王爷庙—百家沟南北向第四纪地质剖面

- 1. 粘土; 2. 网纹红土; 3. 含粉砂质粘土; 4. 砂层; 5. 含砾砂层; 6. 砾石层或砂砾层; 7. 前第四纪基岩或基座; 8. 地层单位界线;
- 9. 正断裂; 10. 地质观察点号; 11. 钻孔位置及编号。Qh^{all}—全新世湖冲积; Qp_{2b}—中更新世白沙井组; Qp_{2x}—中更新世新开铺组; Qp_{2d}—中更新世洞庭湖组; Qp_{1m}—早更新世汨罗组

Fig. 4 Wangyemiao-Baijiagou Quaternary geological section in Chishan uplift

新开铺组主要为一套河流相砾石层堆积, 夹有含粉砂质粘土、粘土层, 总厚约 30 m, 局部基岩出露点显示基座高程 60 m 左右。英家湾南东约 500 m 公路边 (Q28 观察点) 新开铺组中有一长 80 m 左右的南北向人工开挖露头剖面, 为一套冲积砂、砾石层。剖面南端自下而上可分为 3 层 (图 5): 1 层为灰红色砾石层, 厚 > 1.2 m, 未见底。砾石含量 90% 左右; 基质为紫红色粗砂—细砂, 含量约 10%。砾石下粗上细, 下部一般 3~20 cm, 上部 1~4 cm 为主。砾石成分大部分为脉石英和硅质岩, 约 80%; 少量石英砂岩, 约 20%。磨圆较好, 多呈次圆—圆状。较大的扁平砾石定向较明显, 产状约为 250°∠20°, 可能反映出自 SWW 向 NEE 的水流方向。该层上部夹有厚 10 cm 的砂层。2 层为暗紫红色砾石层, 厚约 2.8 m。砾石成分及特征总体与 1 层相近。砾径一般 1~5 cm, 个别 15 cm。砾石略具定向, 优势产状与 1 层相同, 约为 250°∠20°左右。3 层为紫红色细砾石层, 厚约 1.2 m。砾石含量约 50%, 其余为砂质泥质基质。本层夹有厚 20~30 cm 的砂层, 但延伸不稳定。横向上往南夹网纹红土。

自露头剖面南端往北, 上部砾石层中出现网纹红土夹层, 并见 50 cm 厚的砂层透镜体, 砂层中发育交错层理, 层理产状为 20°∠30°, 反映出自南西往东北的水流方向, 与前述砾石层定向所反映水流方向相近。再往北, 中上部砾石层中所夹砂层逐渐增厚, 变

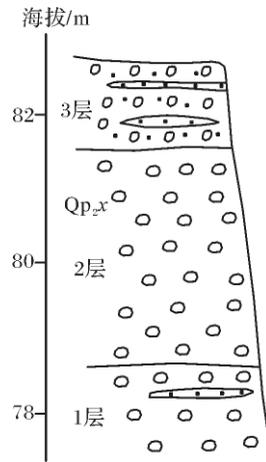


图 5 新开铺组露头剖面层序岩性特征见正文说明

Fig. 5 Sequence of Xinkaiyu Formation on outcrop section

为以砂层为主。至剖面北端, 见白沙井组网纹红土与新开铺组砾石层间切割、覆盖关系 (图 6)。

自 Q28 点向南追索约 800 m 后, 于一向下挖掘形成的水坑见到新开铺组砾石层之下出露黄色粉砂质粘土, 呈块状, 不显层理。

汨罗组分布局限且局部残留, 基座高程 75 m 左右。在肖家老 (Q30 观察点) (图 4) 公路旁侧见汨罗组良好露头剖面, 自下而上分别为基岩基座和第四系堆积 (图 7)。基座面高出公路路面约 4 m, 为紫红色块状泥质粉砂岩, 层面不清, 属古近纪地层。上覆第四纪堆积自下而上可分为 3 层: ①层为灰红色砾石层,

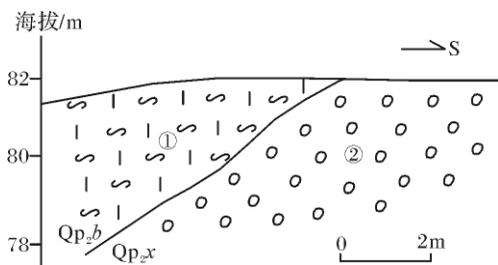


图6 赤山隆起白沙井组与新开铺组间接触关系
①砾石层;②网纹红土。Qp_{2b}-中更新世
白沙井组;Qp_{2x}-中更新世新开铺组

Fig. 6 Contact relationship between Baishajin Formation and Xinkaipu Formation in Chishan uplift

厚约3 m。砾石含量85%~90%，余为砂质基质。砾石成分主要有脉石英(70%左右)，次为硅质岩、砂岩等。多为次圆—圆状，少量次棱角状。分选较好，砾径一般1~3 cm。砂岩砾石弱风化。砾石多为等轴或近等轴状，定向性不明显。此外，1层上部夹有含砾网纹红土。②层为网纹红土，厚2 m左右。该层与1层呈过渡关系。③层为黄褐色泥砾层，属泥、砾混杂堆积，系后期坡积产物。于①层中砂质基质取ESR年龄样，分析结果为1 820 ka，显示为早更新世。

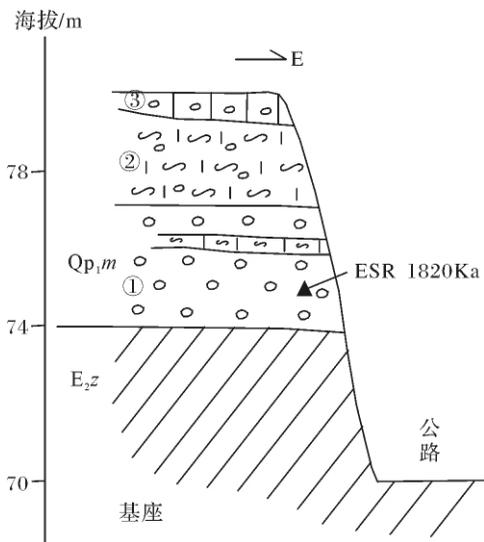


图7 肖家老公路边汨罗组露头剖面
分层岩性详见正文说明。Qp_{1m}-早更新世汨罗组;
E_{2z}-古近纪枣市组

Fig. 7 Outcrop section of Miluo Formation at Xiaojialao

3 安乡凹陷沉积层序与环境

赤山隆起周边凹陷区现为冲湖积平原，第四纪具

幅度不等的构造沉降，形成厚度较大的沉积。其中东、西两侧沉降幅度与沉积物厚度又明显大于南、北两侧(图2)。总体来看，早更新世至中更新世地层在周边凹陷中均有发育，局部可无早更新世早期华田组沉积，如隆起北缘(图4)。受中更新世末抬升事件以及晚更新世末的剥蚀切割事件影响，晚更新世沉积物分布相对局限。隆起东、西两侧的主拗陷带不同时期沉积厚度与岩性组成存在较大差异(图3)，反映出构造活动强度与沉积古地理环境的复杂性。以下主要介绍赤山隆起西侧安乡凹陷沉积层序与环境。

安乡凹陷为第四纪洞庭盆地主凹陷区的西部次级凹陷，总体呈南北向，宽40~55 km(图1)。其西面为太阳山隆起，北面为澧县凹陷和华容隆起，东面为沅江凹陷(北段)和赤山隆起(南段)(图1)。凹陷总体为低平原，河网密布，地表发育全新世湖冲积。澧水、松滋河和虎渡河自北而南、沅江自西向东流经区内，至赤山隆起北侧再向东入东洞庭湖。地表高程一般28~32 m，总体上北西高，南东低。安乡凹陷规模较大，周边构造古地理条件较复杂，加之澧水和沅水(早期可能还包括南部的资江)汇入或流经，导致凹陷内第四纪沉积岩性、岩相变化较大。凹陷东部沉积厚度一般200~300 m，且平湖一带厚度最大(图2)。前人于安乡凹陷内施工了不少钻孔，为全面认识内部第四纪沉积层序与空间变化提供了条件。本次调查于平湖西侧的两护村新施工了穿透第四系的ZKC1孔，进行了详细的剖面编录与大量的样品分析。

根据岩性层序及特征，参考以往洞庭湖地区第四纪地层划分方案与标志，结合本次获得的年龄值，将ZKC1孔第四系自下而上划分为早更新世华田组(Qp_{1ht})、汨罗组(Qp_{1m})，中更新世洞庭湖组(Qp_{2d})，晚更新世坡头组(Qp_{3p})，全新世湖冲积(Qh^{tal})等5个地层单位(图8)。ZKC1孔中电子自旋共振(ESR)测年和光释光(OSL)测年结果总体与地层的先后时序对应(图8)，可大致反映出沉积物形成时代。不过需要说明的是，包括ZKC1孔在内，笔者对洞庭盆地第四纪沉积共采集了54个石英电子自旋共振(ESR)和22个光释光(OSL)年龄样(送中国地质调查局海洋地质实验检测中心分析)，分析结果显示存在程度不一的误差。其中ESR分析样品年龄大多偏大，部分露头剖面自下而上的样品年龄值可出现倒置，估计主要与风化沉积期间受光不够或受热不够有关。OSL样品测试结果尚可，在同一剖面中自下而上

的样品年龄值均具自大至小的正常关系, 只是年龄值往往比野外地质产状显示的时代稍偏小, 可能与样品

采集分析过程中受到曝光有关。因此, 图 8 中所列述的 ESR 和 OSL 年龄值只具概略统计意义, 不作为沉积物的严格定时依据。

上述各地层单位地质时代划分可进一步获得孢粉资料的支持。ZKC1 孔孢粉组合特征(另文介绍)指示自下而上不同层段形成气候环境为^⑥: 华田组下段为暖干—温干, 上段下部为凉干, 上段上部为暖湿间凉干; 汨罗组下部为凉干—较冷干, 上部为暖较湿; 洞庭湖组中部和上部为暖稍湿(下部无样品); 坡头组为温较湿; 全新统为暖稍湿—暖稍干。杨怀仁等^[25]研究认为中国东部早更新世气候演化过程为冷→温暖→冷→温暖, 中更新世为寒冷→湿热, 晚更新世为寒冷→湿热→严寒偏干, 全新世较复杂, 总体为温湿—暖湿。上述孢粉气候信息也一定程度上反映了沉积物形成时代: 华田组上段下部、上部和汨罗组下部、上部形成气候环境与中国东部早更新世冷→温暖→冷→温暖的气候阶段相对应; 洞庭湖组中部和上部对应于中国东部中更新世晚期湿热气候; 坡头组可基本对应于中国东部晚更新世中期湿热气候; 全新统与中国东部温湿—暖湿气候大体吻合。值得指出的是, 华田组下段 ESR 年龄达 3.19 Ma; 而孢粉分析显示阔叶混交的疏林草原植被和森林草原植被, 代表温暖气候, 与中国东部早更新世早期寒冷气候^[25]不一致。因此, 尽管暂将华田组下段时代归为早更新世, 但不排除属上新世的可能。

以下从早至晚分别阐述 ZKC1 钻孔剖面各地层单位岩石组合特征及其沉积环境。

(1) 华田组(Qp₁ht)

据沉积层序和岩性特征, 华田组可分为上、下两段。华田组下段厚 55.27 m, 底部为灰绿—黄绿色粘土、粉砂质粘土(厚 3.68 m)。下部为一套灰—灰黄色砾石层、砂砾层(厚 10.35 m), 夹少量砂层。砾石成分主要为硅质岩、脉石英和石英砂岩等。砾径多在 3~8 cm, 总体下粗上细。中、上部总体为一套杂色粘土(其中下部有含粉砂粘土), 仅局部夹很薄的粉砂层。粘土颜色有黄绿、灰绿、桔黄、灰黄、浅黄、绛红、桃红等, 不同颜色者常相间、交错而形成条带状、团块状、环状、晕状等构造。从上述岩性特征看, 华田组下段沉积环境大致经历了湖相→河流相→湖相的环境演变。

华田组上段厚 78.99 m。由砂—粉砂—(含粉砂

统	组	段	厚度/m	岩性柱	沉积环境	测年结果/ka
全新统 上更新统	未定		8.98		冲、湖积	
	坡头组		9.55		湖泊、漫滩	OSL 68 OSL 85
		上段	10.27		湖泊	OSL 122 OSL 125
	中更新统	洞庭湖组	中段	34.63		河道为中间以漫滩、湖泊
下段			32.90		河道间以洼地湖泊	ESR 623 ESR 693
汨罗组			63.67		河流或三角洲 湖泊 河流	ESR 1410
下更新统	华田组	上段	78.99		湖泊 河流 湖泊 河流	ESR 1650 ESR 1700
		下段	55.27		湖泊 河流 湖泊	ESR 3190
	马底驿组					

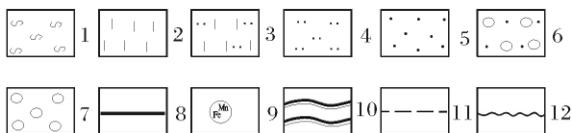


图 8 两护村 ZKC1 孔综合柱状图

- 1. 淤泥; 2. 粘土; 3. 粉砂质粘土; 4. 粉砂; 5. 砂层; 6. 砂砾层;
- 7. 砾石层; 8. 泥炭层; 9. 铁锰结核; 10. 钙质板岩; 11. 平行不整合界线; 12. 角度不整合界线; OSL - 光释光测年; ESR - 石英电子自旋共振测年

Fig. 8 Generalized stratigraphic column of ZKC1 borehole at Liangfucun

⑥见本文首页

质)杂色粘土组成4个下粗上细的韵律,并以上韵律最厚,顶部为厚达20 m的粘土层。其中砂、粉砂具灰黄、灰绿、黄绿色,约占总厚度的35%。杂色粘土及少量含粉砂质粘土为本段主体,颜色有青灰、黄白、黄绿、灰绿、桔黄、棕黄、灰黄、浅黄、绛红等,不同颜色粘土常相间、交错而形成条带状、团块状、晕状等构造。据上述岩性组合与层序特征,结合洞庭盆地区域可能的区域古地理格局,华田组上段总体应属河流与湖泊沉积,可能反映了一种过流性湖泊环境。

(2) 汨罗组(Q_{p1m})

汨罗组厚63.67 m,主要为一套灰、灰绿、灰黄、土黄色细—粗砂层、含砾砂层,夹灰、灰绿、灰黄、褐黄色(含)粉砂质粘土、粘土(图8);下部少量砂砾石层,顶部为厚3.7 m的含粉砂质粘土。本组岩性胶结紧密,多呈假成岩状。据上述岩性组合特征,砂砾层、砂层等为河流或三角洲沉积,而(含粉砂质)粘土则为湖泊沉积,因此总体形成于过流性湖泊环境。

(3) 洞庭湖组(Q_{p2d})

据沉积层序和岩性组合特征,洞庭湖组可分为三段。洞庭湖组下段厚32.90 m,为一套灰、灰褐、黄灰、深灰色砂砾层、砾石层。上部夹少量灰、灰绿色偶含砾的粘土层。该套堆积显然总体为河道沉积,其中所夹含砾粘土层可能为河漫滩或天然堤外侧洼地湖泊沉积。

洞庭湖组中段厚34.63 m,由灰、灰褐、暗灰、灰黑色砾石层、砂砾层、不等粒砂层、砂质粘土、粉砂质粘土、泥炭层等组成。总体上自下而上沉积物粒度增大,下部以粘土夹砂为主,上部以砾夹砂为特征。砾石砾径一般较大,圆度较好,砾石成分以脉石英为主,次为石英岩、硅质岩、变质砂岩等。黑色泥炭层中见有大量保存完好的炭化木。洞庭湖组中段沉积环境依然以河道为主,下部间以漫滩或洼地湖泊。

洞庭湖组上段厚10.27 m,为灰、深灰、暗灰、灰黑色粘土、粉砂质粘土、粉砂层、泥炭层、淤泥层,夹少量砂砾层。总体属漫滩—湖泊沉积。

(4) 坡头组(Q_{p3p})

坡头组厚9.55 m。主体为一套土黄、褐黄、灰黄、浅黄色粘土,下部发育水平层理,上部常具白色斑块。底部为黄色含细砂粉砂,顶部为灰绿、灰色夹黄褐色粘土。本组地层结构致密,多含较多铁锰质结核。从岩性组成及层理构造等来看,应属湖泊—漫滩沉积。

(5) 全新统湖冲积($Q_{h^{lat}}$)

全新统厚8.98 m。主要为粘土,少量粉砂和粉砂质粘土,具深灰、灰褐、灰绿、棕黄、黄褐等颜色。下部发育不清晰水平层理。沉积环境为漫滩和(或)湖泊。

以上ZKC1孔剖面反映的是安乡凹陷中沉降幅度最大的目平湖一带的第四系层序及岩相特征。事实上,安乡凹陷内部第四纪沉积厚度、不同时代岩性组成、构造古地理格局及沉积环境等存在较大的横向变化。如赤山隆起至西脑湖即存在一中间低,东、西两侧高的南北向凹槽(图2,图3)(ZKC1孔即对应凹槽中央位置);在赤山隆起至西脑湖的东西向横剖面上岩性组成存在明显的东、西分异(图3)。华田组下段下部砾石层及上部的一套杂色粘土、含粉砂粘土仅发育于中央凹槽内(图3)。华田组上段在东部为一套由砂—粉砂—(含粉砂质)杂色粘土组成的旋回性堆积,总体属河流与湖泊沉积;在西部隆起地带则为一套河流冲积砂层。汨罗组在东部主要为一套细—粗砂层、含砾砂层,夹(含)粉砂质粘土、粘土,分别形成于河流(或三角洲)和天然堤外侧洼地湖泊环境;在西部为一套砾石层、砂层、粉砂层堆积,基本为一套河流沉积。洞庭湖组在东部以砂砾石层为主,中部夹粘土和砂,顶部为粉砂、(粉砂质)粘土,其沉积环境以河流为主,湖泊为次;在西部基本为一套砂砾层,底部为砂层,形成于河流环境。坡头组在西部因晚更新世末的切割而缺失,东部主要为粘土、含粉砂质粘土,沉积环境为漫滩和(或)洼地湖泊。全新统为粉砂质粘土、含粉砂质粘土,为漫滩和湖泊沉积,由于受河流切割和充填作用影响,东部厚度小而西部厚度大(图3)。

4 赤山隆起和安乡凹陷的升降运动特征及其动力学意义

4.1 赤山隆起断块成因的厘定

如前所述,赤山隆起直观表现为一凸立于低平原上的山地,且因第四系底板显著高于周边凹陷而显示基底隆起特征。一般而言,这类基底隆起可于断裂控制下相对抬升形成,也可因古地貌条件控制即继承古侵蚀残山形成。不过尽管地表缺乏断裂的实体形迹,以下证据仍可表明赤山隆起并非古残山,而是第四纪期间形成的抬升断块。

(1) 赤山隆起内发育早更新世汨罗组、中更新世新开铺组和白沙井组的河流相砂砾层,其组成镶嵌阶地,基座面高程分别约为75 m、60 m和0 m左右(图

4)。而两侧凹陷内对应时代沉积呈上下叠置关系,其中早更新世汨罗组的底面高程为-100 m左右,中更新世洞庭湖组的底面高程为-70 m左右(图2)。显然,沉积体的这种空间关系只能在赤山隆起与两侧凹陷之间为断裂接触,并相对凹陷区抬升的情况下才能形成。换言之,若赤山隆起为继承古残山而形成,则其第四纪期间会与安乡凹陷和沅江凹陷一同升降,如此不可能形成沉积体的这种垂向错位的空间关系。

(2) 在白垩纪—古近纪期间,第四纪赤山隆起为深断陷(沅江凹陷西部)并形成了厚达数千米的红层堆积;西面第四纪安乡凹陷的目平湖一带则为隆起即目平湖凸起^[26,27]并遭受剥蚀。现赤山隆起内红层广泛出露,而目平湖一带第四系之下却为元古代地层(图8),即是上述白垩纪—古近纪构造格局的反映。显然,从地貌的继承性发展及岩石抗风化能力差异来看,如后期侵蚀造成了盆山分异,则相对突出的山岭应位于目平湖一带,而不可能是赤山隆起一带。

(3) 白垩纪—古近纪期间洞庭盆地由若干NNE向的次级隆起与凹陷组成^[26]。若赤山隆起为第四纪之前形成的侵蚀残山,则受先期构造古地理格局控制,其走向应为NNE向,而不大可能为实际展现的南北向。

总之,多种证据表明赤山隆起与周缘凹陷的构造分异并非古残山所致,而是与断裂活动所造成的差异升降有关。结合凹陷区第四纪沉积等厚线的展布特征,主要控制断裂应位于赤山隆起的东、西两侧,呈南北向(图2)。此外,从隆起的平面形态及第四系厚度与底板高程的变化来看,赤山隆起的北面与南面可能还分别发育有延伸规模不大的EW向和NE向正断裂。如南咀镇北面的CK10孔和ZK150孔分别位于茅草街断裂的北盘和南盘,两钻孔南北间距仅400 m左右,但第四系底板高程相差达58 m(图4),中更新世沉积底板高差约20 m,较明确反映出东西向断裂的存在。

4.2 赤山隆起与安乡凹陷的升降运动暨地质演化

如前所述,第四纪期间赤山隆起因边界正断裂控制而相对两侧凹陷抬升。而从地貌与第四纪沉积特征来看,赤山隆起和安乡凹陷(及沅江凹陷)总体上分别表现为抬升与沉降,但具体升降过程及其所控制的沉积/剥蚀过程较为复杂,最突出的表现有两点:(1)赤山隆起不同高程堆积所组成的阶地反映出第四纪早期抬升过程的脉动性,即构造稳定时期形成沉积,而构造抬升时期则造成切割。(2)安乡凹陷早更

新世—中更新世中期沉积物的粒度及沉积环境的旋回性变化,一定程度上反映出断陷沉降速率具有幕式变化特征。林畅松等^[28]的研究表明,中国东部中新代断陷盆地具幕式裂陷特征,幕式裂陷构造沉降速率的变化控制着区域性沉积旋回和层序类型的发育和演化,强烈裂陷沉降幕常发育深湖盆型层序,而初始和晚期裂陷幕以发育浅湖和河流—浅湖型层序为特征。与ZK1孔类似,洞庭盆地大多数地区华田组、汨罗组和洞庭湖组的上部或顶部分别发育有湖相(粉砂质)粘土层,而其上、下常为河流相砂砾层、砂层等粗碎屑沉积^⑥。因此,从断陷盆地的沉降—沉积机理^[28]出发,尽管洞庭盆地第四纪早期沉积的局部旋回性变化可能与河湖的横向迁移有一定关系,但华田组、汨罗组和洞庭湖组的上部(顶部)湖相沉积所显示的区域性沉积旋回,应与幕式断陷活动有关,亦即反映了盆地沉降速率的幕式变化。总体上,这些区域性的相对深水沉积对应于断陷扩张最甚的时期。以下即根据地貌与沉积特征,主要从脉动式抬升和幕式沉降的角度分析阐述赤山隆起与安乡凹陷第四纪升降运动暨地质演化的大致过程。

早更新世早期,赤山隆起因东、西两侧正断裂开始活动而构造抬升,具有剥蚀山地环境而缺乏沉积。安乡凹陷目平湖一带首先构造沉降并形成南北向凹槽,沉积华田组下部砾石层及上部粘土、含粉砂质粘土;尔后安乡凹陷沉降速率加快,断陷作用进一步扩展,形成了华田组上段河流相的砂质与湖泊相的泥质(粘土)沉积,其中顶部的大套泥质沉积对应于沉降速率最大或断陷最强烈时期。

早更新世晚期,赤山隆起首先在构造稳定条件下形成厚度不大的汨罗组河流冲积砾石层,尔后构造抬升遭受剥蚀,造成新开铺组与汨罗组之间的切割接触关系(图4)。安乡凹陷沉降速率较先期减缓,形成汨罗组河流(或三角洲)相的砂层、含砾砂层和洼地湖泊相的(含)粉砂质粘土沉积。另一方面,从沉积物粒度变化(图8)来看,凹陷沉降速率从早至晚总体呈加大趋势,沉积末期沉降最强烈时期。

中更新世早期,赤山隆起构造较稳定,沉积了新开铺组河流冲积砾石层;安乡凹陷沉降速率减缓,沉积了洞庭湖组下段河流相砂砾层。

中更新世早中期(早期末至中期中)赤山隆起构造抬升,遭受切割和剥蚀,造成白沙井组与新开铺组

⑥ 见本文首页

之间的切割相嵌关系(图4)。从二者基座高差来看,抬升幅度达50 m左右。与此同时,安乡凹陷沉降速率加快、水体加深,沉积了洞庭湖组中段下部的粘土夹砂质沉积。

中更新世中期早阶段赤山隆起构造较稳定,于先期侵蚀低地中沉积了白沙井组下部河流相砾石层;安乡凹陷沉降速率减缓,沉积洞庭湖组中段上部的河流相砂、砾石层。中更新世中期晚阶段赤山隆起发生沉降,在漫滩—湖泊环境下形成厚达40 m左右的白沙井组中上部含粉砂质粘土(中部)、粘土(上部);沅江凹陷沉降速率加快导致水体加深,沉积了洞庭湖组上段漫滩—湖泊相粘土层。需要指出的是,赤山隆起与安乡凹陷同时显著沉降,与该时期洞庭盆地整体扩张和湖面上升有关。此外,赤山隆起白沙井组上部(含粉砂质)粘土层与凹陷区内洞庭湖组上部(含粉砂质)粘土层的底面高差很小或不明显(图4),表明洞庭盆地整体沉降期间赤山隆起与安乡凹陷之间相对升降活动较弱。

中更新世晚期,洞庭盆地整体发生构造反转,由先期断陷活动转为挤压抬升^[29,30],赤山隆起与安乡凹陷一道抬升遭受剥蚀,先期漫滩—湖相沉积(含粉砂质)粘土层上部经湿热化变成网纹红土。不过由于沅水等河流的侧向侵蚀,安乡凹陷内的网纹红土大多未保存。

经先期构造抬升,晚更新世—全新世期间赤山隆起均处于剥蚀状态。相对而言,安乡凹陷经历的剥蚀与沉积作用较为复杂。晚更新世,安乡凹陷因构造沉降而沉积了坡头组,主要由湖相或漫滩相粘土组成。晚更新世末区域海平面大幅下降^[31],安乡凹陷总体具陆地环境并遭受切割,造成坡头组因剥蚀而不同程度减薄甚至缺失。全新世区域海平面及相应的侵蚀和沉积基准面上升,同时安乡凹陷稍有沉降,接受了以(含)粉砂质粘土为主的河湖相沉积。顺便说明,上述过程主要是针对赤山隆起西侧而言,往南于安乡凹陷南部边缘地表主要发育洞庭湖组(图2),无晚更新世和全新世沉积(现代河床除外),暗示晚更新世—全新世期间构造沉降微弱或不明显。

综上所述,早更新世—中更新世中期赤山隆起总体表现出抬升期与稳定期交替的脉动式抬升特征,而安乡凹陷则表现出缓慢与快速沉降交替的幕式沉降特征(表2)。赤山隆起的脉动式抬升与安乡凹陷的幕式沉降过程之间显示出明显的对应性,前者构造较稳定和构造抬升期分别对应于后者的缓慢沉降期和

快速沉降期。不过受洞庭盆地整体沉降构造背景的控制,中更新世中期晚阶段安乡凹陷快速沉降时期,赤山隆起也表现为构造沉降而非构造抬升。

表2 早—中更新世赤山隆起与安乡凹陷的升降运动

Table 2 Rise-subsidence of Chishan uplift and Anxiang sag during Early-Middle Pleistocene

时代	升降运动	
	赤山隆起	安乡凹陷(ZKCl孔)
Qp ₂ 晚期	构造抬升	构造抬升
Qp ₂ 中期晚阶段	构造沉降	强烈断陷沉降
Qp ₂ 中期早阶段	构造稳定	沉降速率减缓
Qp ₂ 早中期	构造抬升	沉降速率加快、水体加深
Qp ₂ 早期	构造较稳定	沉降速率减缓
Qp ₁ 晚期	先期构造稳定,	先期沉降较缓,后期加快,
	后期构造抬升	末期沉降最强烈
Qp ₁ 早期	构造抬升	构造沉降,沉降速率总体加快,
		至末期最大

4.3 赤山隆起和安乡凹陷的升降运动对区域盆—山耦合过程的约束

区域上,第四纪早期即早更新世—中更新世中期洞庭盆地各次级凹陷处于断陷沉降之中,而周缘隆起(北面华容隆起除外,其因随江汉—洞庭盆地整体沉降而以沉降为主^[29])及盆地内部的赤山隆起则表现为明显的构造抬升,其不同的运动极性主要由凹陷边界的正断裂所协调^[29,30]。与赤山隆起类似,洞庭盆地周缘隆起也发育由冲积层组成的多级阶地,如位于澧县凹陷西侧的武陵隆起即如此^[30]。由此可以认为,上述第四纪早期赤山隆起的脉动式抬升与安乡凹陷的幕式沉降过程之间的对应性,实际反映出洞庭盆地与周边隆起之间的盆—山耦合过程的特征:洞庭盆地幕式沉降的同时,周缘隆起区脉动式构造抬升;在盆地缓慢沉降时期周缘隆起构造相对稳定,在盆地快速沉降时期周缘隆起构造抬升。

笔者根据多方面证据,分析提出第四纪早期洞庭盆地断陷活动很可能与深部地幔上隆有关^[29,30]:凹陷区深部地幔上隆对地壳加热,使上部中地壳韧性物质(低速层)膨胀而向周边侧向迁移,尔后在冷却收缩条件下物质迁出部位产生虚脱空间,上层地壳因此“塌陷”而产生整体性下拗沉降,下沉块体的侧翼发育断裂而形成控盆控凹正断裂。与之相对应,凹陷区周缘隆起地带因中地壳物质补充而抬升。显然,这一动力模式可以很好地解释前述盆—山耦合过程特征,或盆—山耦合过程为这一动力学模式提供了很好的佐证:凹陷区下部物质向周缘缓慢迁移时沉降缓

慢,相应周缘隆起区因物质补充缓慢而构造相对稳定;凹陷区下部物质向周缘快速迁移时沉降快速,相应周缘隆起区因物质快速补充而构造抬升。

值得指出的是,第四纪洞庭盆地隆—凹构造格局与上述动力机制框架下深部物质运动在横向上的复杂性有关:在涵盖整个洞庭盆地的具有一定极性的规模深部物质运动区域内,存在范围更小的、物质运动方向和运移速率有别的次级区块,从而形成了洞庭盆地与其内部次级构造单元之间的叠加关系。上述赤山隆起与安乡凹陷的升、降对应关系可能即与次级区块的物质运动有关。但考虑到赤山断块尺度较小,除该动力机制外,可能还与区域构造应力场、断裂、不同地块物质组成和形态特征(包括尺度)等构造边界条件有关。相关研究有待今后进一步深入。

5 讨论

5.1 关于中更新世晚期构造抬升

前人认为赤山隆起在中更新世为水下隆起,在晚更新世才抬升露出水面^[3,32]。不过本文研究表明这种认识并不准确。

从上述沉积—构造特征与过程来看,赤山隆起在中更新世中期的沉降与湖泛阶段仍未全部没入水中,还谈不上纯粹的水下隆起。最直观的证据是白沙井组上部漫滩—湖相粘土的顶面高程最大为80 m左右,但前第四纪基岩组成的山岭高程可达115 m。

由于年代学方面的限制,对网纹红土的形成时代曾长期不能形成共识。但近年来的年代地层学研究在网纹红土的形成时代上认识已渐趋统一^[33~36],可以确定中国南方最新一期的网纹红土形成于中更新世的中期^[37]。鉴于此,网纹化(湿热化)事件应在晚更新世之前。最新的研究表明,红土层中网纹的形成主要与极端湿润气候期陆地环境下地下水沿裂隙或根孔的运动和淋滤作用有关^[37,38]。由此可以推断,继中更新世中期沉降与湖泛之后的构造反转抬升开始并主要发生于中更新世晚期,而不是晚更新世才抬升。

5.2 关于白沙井组网纹红土母质成因

前述赤山隆起内白沙井组上部(含粉砂质)粘土层厚达40 m左右。从构造沉降考虑,安乡凹陷内与之对应的洞庭湖组上段细粒堆积原始沉积厚度应在40 m以上。但从掌握的大量钻孔资料来看,赤山隆起周边中更新世洞庭湖上部的(含粉砂质)粘土层现今存留厚度一般在10 m左右,部分地区甚至缺失。

由此推断,凹陷区中更新世晚期抬升剥蚀的沉积物厚度达到30~40 m。如此规模的整体抬升与剥蚀对处于洞庭盆地腹地的该地区而言似乎过大。近年来的研究表明不同地区的网纹红土可以有流水、风成等不同成因^[39],且更多研究揭示风成成因^[40~44]。上述抬升与剥蚀幅度的结论是基于白沙井组上部细粒沉积全为流水(漫滩—湖相)成因进行分析所得,若该套细粒堆积的上部为风尘堆积,则所推算洞庭湖组上段细粒堆积原始沉积厚度值,以及后期抬升剥蚀幅度会小于上述数值而显得更为合理。鉴于此,不排除白沙井组网纹红土部分为风成堆积的可能。此问题有待今后进一步研究。

6 结论

(1) 早更新世—中更新世中期赤山隆起总体表现为抬升期与稳定期交替的脉动式抬升,而安乡凹陷则表现出缓慢与快速沉降交替的幕式沉降特征;前者构造较稳定期和构造抬升期分别对应于后者缓慢沉降期和快速沉降期。

(2) 第四纪早期赤山隆起脉动式抬升与安乡凹陷幕式沉降的对应关系,为区域洞庭盆地与周边隆起的盆—山耦合过程提供了约束,同时暗示盆地断陷活动可能与地幔上隆导致中地壳物质自凹陷向周边迁移有关。

参考文献(References)

- 林承坤. 洞庭湖的演变与治理(上) I 洞庭湖的沉积[J]. 地理学与国土研究, 1985, 1(4): 28-35 [Lin Chengkun. Evolution of the Dongting lake and the way of management: I Sediments of the Dongting lake [J]. Geography and Territorial Research, 1985, 1(4): 28-35]
- 李长安, 张玉芬, 皮建高, 等. 洞庭湖古湖滨砾石层的发现及意义[J]. 第四纪研究, 2006, 26(3): 491-492 [Li Changan, Zhang Yufen, Pi Jiangaog et al. Discovery of the ancient lakefront gravels in Dongting lake and its significance [J]. Quaternary Sciences, 2006, 26(3): 491-492]
- 景存义. 洞庭湖的形成与演变[J]. 南京师院学报: 自然科学版, 1982, (2): 52-60 [Jing Cunyi. Formation and evolution of the Dongting basin [J]. Journal of Nanjing Normal University: Natural Science Edition, 1982, (2): 52-60]
- 蔡述明, 官子和. 跨江南北的古云梦泽说是不能成立的——古云梦泽问题讨论之二[J]. 海洋与湖沼, 1982, 13(2): 129-142 [Cai Shuming, Guan Zhihe. The ungrounded hypothesis of the presence of ancient Yunmeng swamp traversing south and north of river Changjiang on the Jiangnan-Dongting plain: second comments on the ancient Yunmeng swamp [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1982, 13(2): 129-142]

- 5 蔡述明, 宫子和, 孔昭宸, 等. 从岩相特征和孢粉组合探讨洞庭盆地第四纪自然环境的变迁 [J]. 海洋与湖沼, 1984, 15(6): 527-539 [Cai Shuming, Guan Zihe, Kong Zhaochen, *et al.* Natural environment as reflected in sedimentary Dongting basin in Quaternary [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1984, 15(6): 527-539]
- 6 杨达源. 洞庭湖的演变及其整治 [J]. 地理研究, 1986, 5(3): 39-46 [Yang Dayuan. On the evolution of the Dongting Lake during Holocene and the way of management [J]. *Geographical Research*, 1986, 5(3): 39-46]
- 7 张晓阳, 蔡明述, 孙顺才. 全新世以来洞庭湖的演变 [J]. 湖泊科学, 1994, 6(1): 13-21 [Zhang Xiaoyang, Cai Shuming, Sun Shuncai. Evolution of Dongting Lake since Holocene [J]. *Journal of Lake Sciences*, 1994, 6(1): 13-21]
- 8 皮建高, 张国梁, 梁杏, 等. 洞庭盆地第四纪沉积环境演变的初步分析 [J]. 地质科技情报, 2001, 20(2): 6-10 [Pi Jianguo, Zhang Guoliang, Liang Xing, *et al.* Preliminary research on sedimentary environment evolution of Dongting Basin in the Quaternary period [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2001, 20(2): 6-10]
- 9 张人权, 梁杏, 张国梁, 等. 洞庭湖区第四纪气候变化的初步探讨 [J]. 地质科技情报, 2001, 20(2): 1-5 [Zhang Renquan, Liang Xing, Zhang Guoliang, *et al.* A preliminary study of climatic change in Dongting lake area in the Quaternary period [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2001, 20(2): 1-5]
- 10 杜耘, 殷鸿福. 洞庭湖历史时期环境研究 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2003, 28(2): 214-218 [Du Yun, Yin Hongfu. Study on historical environment in Dongting Lake area [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2003, 28(2): 214-218]
- 11 来红州, 莫多闻, 李新坡. 洞庭盆地第四纪红土层及古气候研究 [J]. 沉积学报, 2005, 23(1): 130-137 [Lai Hongzhou, Mo Duowen, Li Xinpo. Research on the Quaternary laterite and paleoclimate in the Dongting Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(1): 130-137]
- 12 林承坤. 洞庭湖的演变与治理(下): II 洞庭湖的演变及治理设想 [J]. 地理学与国土研究, 1986, 2(1): 40-46 [Lin Chengkun. Evolution of the Dongting lake and the way of management: II Evolution of the Dongting lake and proposal about the way of management [J]. *Geography and Territorial Research*, 1986, 2(1): 40-46]
- 13 刘锁旺, 甘家思, 李蓉川, 等. 江汉洞庭盆地的非对称扩张与潜在地震危险性 [J]. 地壳形变与地震, 1994, 14(2): 56-66 [Liu Suowang, Gan Jiasi, Li Rongchuan, *et al.* Asymmetric extension and hidden earthquake risk in Jianghan-Dongting basin(JDB) [J]. *Crustal Deformation and Earthquake*, 1994, 14(2): 56-66]
- 14 薛安交, 耿爱玲, 龚平. 江汉洞庭盆地水系展布特征与新构造运动 [J]. 地壳形变与地震, 1996, 16(4): 58-65 [Xue Hongjiao, Geng Ailin, Gong Ping. Extension characteristics of river system and neotectonic movement in the Jianghan-Dongting basin [J]. *Crustal Deformation and Earthquake*, 1996, 16(4): 58-65]
- 15 董和金. 用地质学的观点探讨洞庭湖的治理 [J]. 湖南地质, 1997, 16(3): 141-146 [Dong Hejin. Probing into regulation of Dongting lake from the point of view of geology [J]. *Hunan Geology*, 1997, 16(3): 141-146]
- 16 李春初. 构造沉降是控制近代洞庭湖演变的关键因素吗? ——评《洞庭湖地质环境系统分析》[J]. 海洋与湖沼, 2000, 31(4): 460-464 [Li Chunchu. Tectonic subsidence in relation to modern Dongting Lake evolution: review on "Dongting Lake geology environmental system analysis" [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2000, 31(4): 460-464]
- 17 姚运生, 罗登贵, 刘锁旺, 等. 江汉洞庭盆地及邻区晚中生—新生代以来的构造变形 [J]. 大地构造与成矿学, 2000, 24(2): 140-145 [Yao Yunsheng, Luo Denggui, Liu Suowang, *et al.* Tectonic deformation of the Jianghan-Dongting basin and its surrounding areas from Late Mesozoic to Cenozoic [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2000, 24(2): 140-145]
- 18 王道经, 黄怀勇. 洞庭湖现代构造与湖盆演变 [J]. 湖南地质, 2000, 19(1): 30-36 [Wang Daojing, Huang Huaiyong. Dongtinghu modern tectonics and its basin evolution [J]. *Hunan Geology*, 2000, 19(1): 30-36]
- 19 梁杏, 张人权, 皮建高, 等. 洞庭盆地第四纪构造活动特征 [J]. 地质科技情报, 2001, 20(2): 11-14 [Liang Xing, Zhang Renquan, Pi Jianguo, *et al.* Characteristics of tectonic movement of Dongting basin in the Quaternary period [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2001, 20(2): 11-14]
- 20 梁杏, 张人权, 皮建高, 等. 构造沉降对近代洞庭湖区演变的贡献 [J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(6): 690-696 [Liang Xing, Zhang Renquan, Pi Jianguo, *et al.* Contributions of tectonic subsidence to the modern Dongting lake area evolution [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2001, 32(6): 690-696]
- 21 苏成, 莫多闻, 王辉. 洞庭湖的形成、演变与洪涝灾害 [J]. 水土保持研究, 2001, 8(2): 52-55, 87 [Su Cheng, Mo Duowen, Wang Hui. Evolution of Lake Dongting and its flood disasters [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2001, 8(2): 52-55, 87]
- 22 来红州, 莫多闻. 构造沉降和泥沙淤积对洞庭湖区防洪的影响 [J]. 地理学报, 2004, 59(4): 574-580 [Lai Hongzhou, Mo Duowen. Influences of the tectonic subsidence and the siltation on flood disaster prevention situation in the region of Dongting Lake [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(4): 574-580]
- 23 张晓阳, 杜耘, 蔡述明. 洞庭湖演变趋势分析 [J]. 长江流域资源与环境, 1995, 4(1): 64-69 [Zhang Xiaoyang, Du Yun, Cai Shuming. An analysis on evolutionary tendency of Dongting Lake [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Valley*, 1995, 4(1): 64-69]
- 24 来红州, 莫多闻, 苏成. 洞庭湖演变趋势探讨 [J]. 地理研究, 2004, 23(1): 78-86 [Lai Hongzhou, Mo Duowen, Su Cheng. Discussion on the evolutionary trend of Dongting Lake [J]. *Geographical Research*, 2004, 23(1): 78-86]
- 25 杨怀仁, 徐馨. 中国东部第四纪自然环境的演变 [J]. 南京大学学报: 自然科学版, 1980, 1(1): 121-144 [Yang Huairan, Xu Xin. Quaternary environmental changes in eastern China [J]. *Journal of Nanjing University: Natural Sciences*, 1980, 1(1): 121-144]
- 26 戴传瑞, 张廷山, 郝华平, 等. 盆山耦合关系的讨论——以洞庭盆地与周边造山带为例 [J]. 沉积学报, 2006, 24(5): 657-665 [Dai Chuanrui, Zhang Tingshan, Zhao Huaping, *et al.* A discussion on basin-mountain coupling: an example from Dongting Basin and its sur-

- rounding mountains [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2006, 24(5): 657-665]
- 27 戴传瑞, 张廷山, 郑华平, 等. 沅江凹陷古近纪层序地层、沉积相特征及演化 [J]. *天然气工业*, 2006, 26(11): 40-43 [Dai Chuanrui, Zhang Tingshan, Zheng Huaping, *et al.* Characteristics and evolution of Paleogene sequence stratification and sedimentary facies in Yuanjiang sag [J]. *Natural Gas Industry*, 2006, 26(11): 40-43]
- 28 林畅松, 张燕梅, 李思田, 等. 中国东部中生代断陷盆地幕式裂陷过程的动力学响应和模拟模型 [J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 2004, 29(5): 583-588 [Lin Changsong, Zhang Yanmei, Li Sitian, *et al.* Episodic rifting dynamic process and quantitative model of Mesozoic-Cenozoic faulted basin in eastern China [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2004, 29(5): 583-588]
- 29 柏道远, 王先辉, 周柯军, 等. 第四纪华容隆起构造活动、成因及动力机制 [J]. *地质科学*, 2010, 45(2): 411-427 [Bai Daoyuan, Wang Xianhui, Zhou Kejun, *et al.* Tectonic activities, genesis and dynamic mechanisms of Quaternary Huarong uplift [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 2010, 45(2): 411-427]
- 30 柏道远, 吴能杰, 周柯军, 等. 第四纪洞庭盆地澧县凹陷构造活动特征及动力学机制探讨 [J]. *地球学报*, 2010, 31(1): 43-55 [Bai Daoyuan, Wu Nengjie, Zhou Kejun, *et al.* Tectonic characteristics and dynamic mechanisms of the Lixian sag of Dongting basin in Quaternary [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2010, 31(1): 43-55]
- 31 杨怀仁, 谢志仁. 中国东部近 20 000 年来的气候波动与海面升降运动 [J]. *海洋与湖沼*, 1984, 15(1): 1-13 [Yang Huairan and Xie Zhiren. Sea-level changes along the east coast of China over the last 20 000 years [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1984, 15(1): 1-13]
- 32 毛际香, 童敏. 洞庭湖地区的地震活动特征 [J]. *华南地震* 2000, 20(3): 64-70 [Mao Jixiang, Tong Min. Characteristics of seismicity in Dongting Lake area [J]. *South China Journal of Seismology*, 2000, 20(3): 64-70]
- 33 蒋复初, 吴锡浩, 肖华国, 等. 九江地区网纹红土的时代 [J]. *地质力学学报*, 1997, 3(4): 27-32 [Jiang Fuchu, Wu Xihao, Xiao Hua-guo, *et al.* Age of the vermiculated red soil in Jiujiang area, central China [J]. *Journal of Geomechanics*, 1997, 3(4): 27-32]
- 34 乔彦松, 郭正堂, 郝青振, 等. 皖南风尘堆积—土壤序列的磁性地层学研究及其古环境意义 [J]. *科学通报*, 2003, 48(13): 1465-1469 [Qiao Yansong, Guo Zhen-tang, Hao Qingzhen, *et al.* Magnetostratigraphy studies on the eolian deposits—soil chronosequence in south Anhui and its paleoenvironmental significance [J]. *Chinese Science Bulletin* 2003 48(13): 1465-1469]
- 35 杨浩, 赵其国, 李小平, 等. 安徽宣城风成沉积——红土系列剖面 ESR 年代学研究 [J]. *土壤学报*, 1996, 33(3): 293-300 [Yang Hao, Zhao Qiguo, Li Xiaoping, *et al.* ESR dating of eolian sediment and red earth series from Xuancheng profile in Anhui province [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1996, 33(3): 293-300]
- 36 赵志中, 乔彦松, 王燕, 等. 成都平原红土堆积的磁性地层学及古环境记录 [J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2007, 37(3): 370-377 [Zhao Zhizhong, Qiaoyansong, Wang Yan, *et al.* Magnetostratigraphy and records of paleoenvironment of the Red Earth Formation in the Chendu Plain [J]. *Science in China: Series D*, 2007, 37(3): 370-377]
- 37 尹秋珍, 郭正堂. 中国南方的网纹红土与东亚季风的异常强盛期 [J]. *科学通报* 2006, 51(2): 186-193 [Yin Qiuzhen, Guo Zhen-tang. Vermicular red earth in south China and abnormal puissant period of East Asia monsoon [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(2): 186-193]
- 38 来红州, 莫多闻, 李新坡. 洞庭盆地红土地层中网纹的成因探讨 [J]. *北京大学学报: 自然科学版* 2005, 41(2): 240-248 [Lai Hongzhou, Mo Duowen, Li Xinpo. Genesis of reticulate clay in the laterite of the Dongting basin [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis* 2005 41(2): 240-248]
- 39 胡雪峰, 朱煜, 沈铭能. 南方网纹红土多元成因的粒度证据 [J]. *科学通报*, 2005, 50(9): 918-925 [Hu Xuefeng, Zhu Yu, Shen Mingneng. Grain-size evidence of multifactor origin of the reticulate red clay in south China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50(9): 918-925]
- 40 胡雪峰, 沈铭能, 方圣琼. 皖南网纹红土的粒度分布特征及古环境意义 [J]. *第四纪研究*, 2004, 24(2): 160-166 [Hu Xuefeng, Shen Mingneng, Fang Shengqiong. Grain-size distribution of the reticulate red clay in southern Anhui province and its paleo-environmental significance [J]. *Quaternary Science* 2004 24(2): 160-166]
- 41 朱宗敏, 杨文强, 林文姣, 等. 安徽宣城第四纪网纹红土的磁组构特征及其意义 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2006, 26(4): 105-110 [Zhu Zongmin, Yang Weiqiang, Lin Weijiao, *et al.* Magnetic fabric characteristics and significance of reticulate red earth in Xuancheng profile, Anhui Province [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2006 26(4): 105-110]
- 42 朱丽东, 周尚哲, 叶玮, 等. 网纹红土稀土元素地球化学特征的初步研究 [J]. *中国沙漠*, 2007, 27(2): 194-200 [Zhu Lidong, Zhou Shangzhe, Ye Wei, *et al.* Preliminary study on geochemical behavior of rare earth element of plinthitic red earth in south China [J]. *Journal of Desert Research* 2007 27(2): 194-200]
- 43 毛龙江, 莫多闻, 杨兢红, 等. 环洞庭湖地区网纹红土中稀土元素的地球化学特征 [J]. *环境化学*, 2008, 27(2): 222-225 [Mao Longjiang, Mo Duowen, Yang Jinghong, *et al.* Rare earth element geochemistry of reticulate red clay around Dongting Lake [J]. *Environmental Chemistry* 2008 27(2): 222-225]
- 44 叶玮, 杨立辉, 朱丽东, 等. 中亚热带网纹红土的稀土元素特征与成因分析 [J]. *地理科学* 2008, 28(1): 40-44 [Ye Wei, Yang Lihui, Zhu Lidong, *et al.* Characteristics and origin of rare earth elements of vermicular red earth in middle sub-tropic zone [J]. *Scientia Geographica Sinica* 2008 28(1): 40-44]

Geological Characteristics and Tectonic-Sedimentary Coupling Relation of the Chishan Uplift and Anxiang Sag of Quaternary Dongting Basin

BAI Dao-yuan^{1,2} LI Chang-an² ZHOU Ke-jun¹ CHEN Du-ping¹
MA Tie-qiu¹ WANG Xian-hui¹ PENG Yun-yi¹ LI Gang¹

(1. Hunan Institute of Geology Survey, Changsha 410011; 2. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074)

Abstract Detailed geologic mapping and borehole data was taken to reveal the sedimentary and geomorphic features and rise-subsidence process of Chishan uplift and Anxiang sag in the south of the Quaternary Dongting basin. The Chishan uplift is a small fault-block with 18km length and 4 ~ 5 km width and was restricted by the eastern and western normal faults. The Anxiang sag is located to the west of the Chishan uplift. There occurred several grades of terraces covered with Early Pleistocene Miluo Formation, Middle Pleistocene Xinkaipu Formation and Baishajin Formation. There occurred 200 ~ 300 m thick fluviatile and lacustrine deposits in the Anxiang sag which were composed of Early Pleistocene Huatian Formation and Miluo Formation, Middle Pleistocene Dongtinghu Formation, Late Pleistocene Potou Formation and Holocene alluvial-lacustrine deposits. Geomorphic and sedimentary characteristics show that Chishan uplift experienced pulsative rises as a whole with rising stage alternating steady stage during Early Pleistocene-middle Middle Pleistocene, while Anxiang sag experienced episodic subsidence with slow alternating rapid subsidence. Steady and rising period of Chishan uplift corresponded with slow and rapid subsiding period of Anxiang sag, respectively. The Chishan uplift and Anxiang sag rose together and suffered from denudation during late Middle Pleistocene. There occurred deposits in the Anxiang sag in depressional tectonic setting during Late Pleistocene and Holocene. The corresponding relation between the pulsative rises of Chishan uplift and the episodic subsidence of Anxiang sag provided a constraint for the basin-range coupling processes of Dongting basin and around uplifts, and suggested that the faulting subsidence of Dongting basin were related with that the ductile matter of the middle crust in sags expanded and moved toward periphery caused by the mantle uplift.

Key words Quaternary; Chishan uplift; Anxiang Sag; rise; subsidence; dynamic mechanisms