

文章编号:1001-4810(2010)02-0196-09

# 乌江下游岩溶地貌形态特征初探 ——以重庆武隆及其邻近地区为例

夏凯生<sup>1</sup>, 袁道先<sup>1,2</sup>, 谢世友<sup>1</sup>, 楚玉春<sup>1</sup>

(1. 西南大学地理科学学院、西南大学三峡库区教育部重点实验室, 重庆 400715;  
2. 中国地质科学院岩溶地质研究所、国土资源部岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541004)

**摘要:**乌江下游为典型的亚热带岩溶中山峡谷地貌, 主要以大型的岩溶峡谷、天生桥和大的天坑以及大型溶洞、地下河及丰富多彩的次生沉积物为特征。本文主要分析了乌江下游的岩溶个体形态特征及层状地貌面的岩溶形态组合特征, 探讨了乌江下游岩溶地貌的演化过程, 认为: (1) 乌江下游地区的层状地貌分为两级夷平面、一级溶蚀面、五级水平溶洞和三级阶地; (2) 不同地区岩溶形态特征有明显差异: 在鄂西期地面上, 地面完整性较好, 以低矮的峰丛和平坝、大的浅洼地相组合。山原期地面, 不同地区岩溶形态组合特征有所差别: 在水系裂点以下地区, 主要以峰丛—峡谷组合为主; 河流裂点以上的上游地区, 地面保存相对完整, 为锥状峰丛、深洼地景观。盆地期溶蚀面以峰丛—槽谷、谷地为主。(3) 乌江下游岩溶地貌的形成, 经历了鄂西期、山原期、盆地期和峡谷期地貌演化阶段, 并形成鄂西期、山原期岩溶夷平面、盆地期溶蚀面和深切峡谷。

**关键词:**层状地貌; 峡谷岩溶; 地貌特征; 乌江下游

**中图分类号:**P931.5      **文献标识码:**A

乌江是长江上游的主要支流之一, 发源于乌蒙山区, 思南以下至涪陵为下游, 其流域岩溶峡谷地貌十分发育。对于乌江上游贵州高原岩溶地貌的演化, 杨明德<sup>[1]</sup>、熊康宁<sup>[2]</sup>等已经做了大量的工作, 取得了很多成果。但是对乌江下游岩溶地貌的演化研究, 前人工作<sup>[3,4]</sup>多集中在贵州境内; 随着武隆被列入世界地质遗产, 对乌江下游武隆地区的岩溶地貌演化性质、演化过程等做了许多工作<sup>[5~7]</sup>, 但是研究比较粗略。本文试图根据野外考察的第一手资料对武隆及邻近地区岩溶地貌特征、发育演化作一些探讨。

## 1 地质基础

研究区主要位于乌江下游重庆武隆及其邻近地

区, 构造上属扬子地台之川东南褶皱带。中三叠世末期的印支运动, 使本区上升为陆地, 结束了海相沉积的历史。侏罗纪末的燕山运动使本区已有沉积(寒武系至侏罗系)形成东北 20°~40°雁列式褶皱及断裂, 奠定了本区的地质构造基本格局。新生代以来的喜马拉雅运动, 以地壳的间歇性抬升为主, 形成多级剥蚀面及深切的峡谷, 并造就了典型岩溶峡谷系统。

本区出露地层包括了古生代—中生代的寒武系、奥陶系、志留系、二叠系、三叠系、侏罗系碳酸盐岩和碎屑岩地层(图1), 碳酸盐岩总厚度近 2 000 m, 为岩溶地貌发育提供了良好的物质条件。但是在古生代和中生代, 振荡运动强烈, 沉积环境不稳定, 碳酸盐类岩多和页岩、砂岩互层, 砂岩、页岩往往构成局部隔水层, 而砂岩区的来水构成外源水, 对岩溶地貌的发育

基金项目: 国家自然科学基金(40672165)、国家“十一五”科技支撑计划课题(2006BAC01A16)、重庆市自然科学基金重点项目(CSTC2009BA0002)、国家林业局948项目(2009-4-20)、中美合作项目“中国环境健康工程”

第一作者简介: 夏凯生(1968-), 男, 西南大学地理科学学院在读博士研究生, 研究方向: 岩溶环境与地质生态, E-mail: xiakaish@163.com.

通讯作者: 袁道先(1936-), 研究员, 中国科学院院士, 主要从事水文地质、工程地质、岩溶学的研究。

收稿日期: 2009-10-31

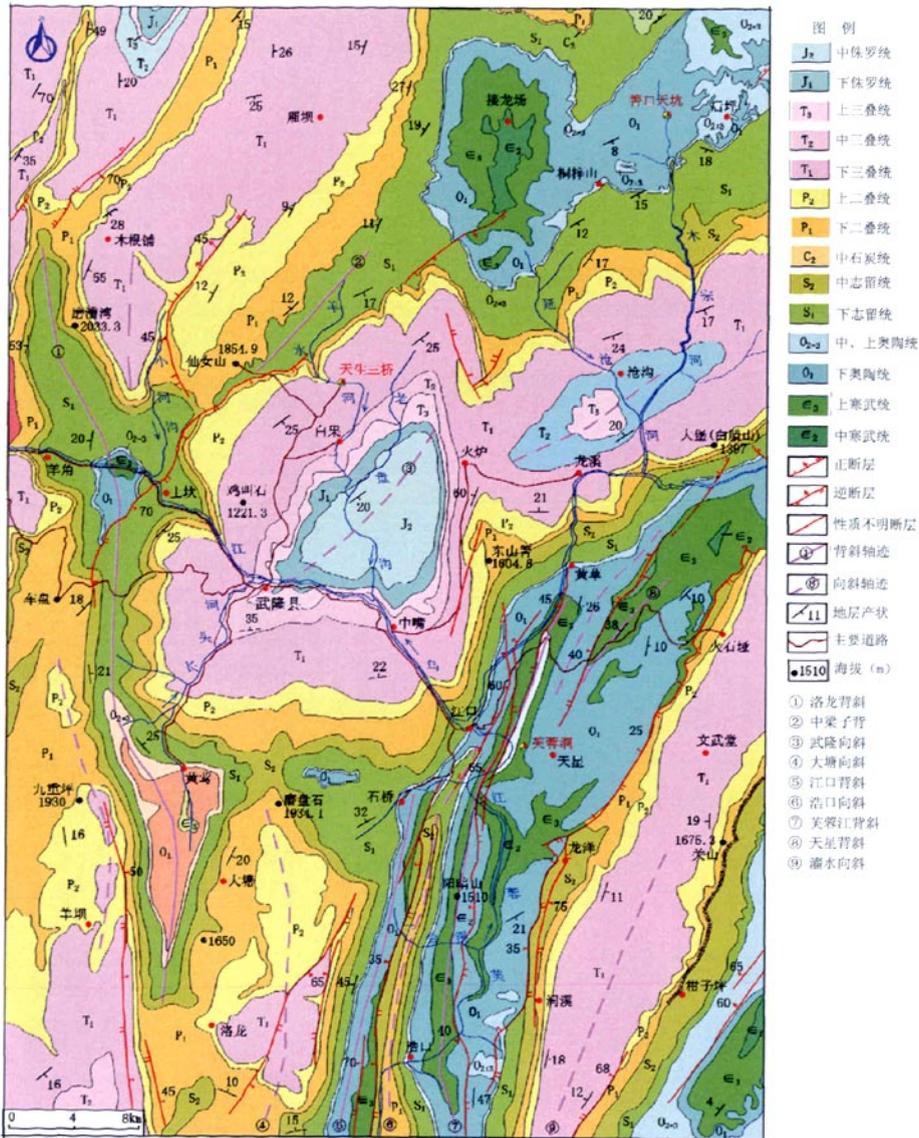


图1 研究区地质图(重庆武隆部分)

Fig.1 Geology map of the study area(Wulong County,Chongqing)

演化影响很大。这种沉积岩层垂直向上的间断性和受到构造运动影响形成的平面上的条带状,控制了岩溶的发育和分布,并使岩溶地貌的发育演化更加复杂。

### 2 岩溶地貌形态类型及其分布特点

本区碳酸盐岩岩性、岩相变化大,地块切割深,地表水及地下水丰富,地表、地下岩溶地貌发育。据观察,本区岩溶形态大概有40多种。其形态组合有如下

特点:①地表宏观溶蚀形态以岩溶峡谷、峰丛一洼地为主;大溶蚀形态以天生桥、天坑为主;微观形态以小的溶盘和宽浅溶痕为主。②地表堆积形态以红壤土、黄色石灰土为主。③地下不论是溶蚀形态还是堆积形态都十分发育,尤其是大型溶洞、地下河及次生碳酸盐沉积物特别发育。这些特征反映了在新构造运动强烈抬升背景下,亚热带湿热季风条件下岩溶峡谷地貌特征。

#### 2.1 地表宏观岩溶形态

万方数据

### 2.1.1 峰丛洼地、谷地

峰丛洼地、谷地主要分布在地势相对平缓的岩溶台面上,主要岩性为二叠系、三叠系碳酸盐,峰顶高程为500~2 000 m,层状地貌明显,可以分为500~800 m,1 200~1 500 m,1 700~2 000 m三级剥夷面,各级剥夷面的峰顶大致齐平,峰丛基座相连,溶峰呈浑圆状、圆锥状,展布方向与构造线一致,相对高差为50~200 m;峰丛间为大小不等、形态多样的溶蚀洼地,大洼地中往往套生小的洼地和波状残丘,形态为长条槽谷形、椭圆形、多边形等;峰丛间的谷地主要由串珠状洼地组成,分布在较低海拔的岩溶台面上。洼地中漏斗、落水洞星罗棋布,底部覆盖有第四系黄色砂粘土,厚度因地而异,一般小于10 m;高岩溶台面上地表水体不太发育,低岩溶台面地表水体和地下暗河及伏流均较为发育。

### 2.1.2 岩溶峡谷

岩溶峡谷主要分布于武隆乌江干流及一、二级支流下游汇口段,其中箱形谷在一、二级支流的裂点附近及伏流(包括天生桥)上、下端最为常见。如乌江与芙蓉江汇合的江口镇一带,两江深切石灰岩地块,形成著名的乌江峡谷和芙蓉江峡谷,如乌江峡谷,峡谷长为15 km,山顶标高为800~1 500 m,相对高差为600~1 000 m,峡宽80~120 m,构造上为狭长背斜,河谷紧束,山势陡峭,悬崖绝壁,岸坡岩溶发育微弱(照片1)。



照片1 秀丽的美蓉江峡谷(资料来源:旅游直通车网站)

Photo. 1 Beautiful Furongjiang Gorges

## 2.2 主要岩溶个体形态

### 2.2.1 天生桥

本区天生桥十分发育,尤其以武隆天生三桥最为著名。天生三桥位于乌江北岸羊水河中游羊水河峡谷地区,在羊水河发育过程中,因溶蚀塌陷、地壳上升和流水侵蚀,洞顶多易崩塌,残留洞顶部分就构成了天龙桥、青龙桥(照片2)、黑龙桥三桥。三桥之间分布着青龙天坑和神鹰天坑,规模宏大,形态壮丽。与国内、万方数据

外已知的天生桥对比(表1)可知,本区的天生桥分布集中、规模宏伟,实属世界罕见。陈伟海<sup>[5]</sup>认为天生三桥的形成是在新构造运动背景下,乌江对本区地下水系的袭夺造成的。本区峡谷形态如此典型,已经引起了国际地学界的注意,C. A. Hill<sup>[10]</sup>以此为例认为科罗拉多大峡谷可能经历相似的过程,这对我国考虑长江三峡的演化机理提供了一个新的思路。



照片2 天生三桥之青龙桥

(资料来源:内部资料——世界自然遗产文本,中华人民共和国建设部)

Photo. 2 Qinlong Natural Bridge—one of the Three Natural Bridges

表1 武隆天生三桥与国内外的著名天生桥对比

Tab. 1 Comparison of the Three Natural Bridges in Wulong to the famous natural bridges at home and abroad

天生桥名称	桥高/m	桥厚/m	桥宽/m	平均拱高/m	平均跨度/m
重庆武隆天龙桥	235	150	147	96	34
重庆武隆青龙桥	281	168	124	103	31
重庆武隆黑龙桥	223	107	193	116	28
广西乐业仙人桥	145	78	19	67	177
贵州织金天生桥	128	35	55	93	85
贵州水城天生桥	136	15	35	121	55
云南中甸天生桥	70	—	10	—	200
法国Bous del Biel天生桥	100	30	—	70	60
美国亚利桑那州天生桥	67	—	27	—	—

据文献[9]。

### 2.2.2 天坑

本区天坑十分典型,分布在洼地、干谷、丘坡、丘顶等部位,如青龙天坑、神鹰天坑、中石院天坑、下石院天坑和箐口天坑等。中石院天坑位于重庆武隆仙女山镇明星村,发育在二叠统飞仙关组 and 嘉陵江组单

黔东南灰岩地层中,为目前世界上已知的口部面积最大的岩溶天坑之一,为塌陷型大型天坑(表2,照片3)。

表2 武隆部分天坑特征

Tab.2 Feature of some tiangkeng in the Wulong Country

天坑名称	口部规模		最大深度/m	容积/Mm <sup>3</sup>	形态特征
	直径/m	面积/m <sup>2</sup>			
箐口	220~250	40 754	295.3	9.21	近圆形
石王洞	140~170	25 896	252.5	5.13	近矩形
青龙	398~522	193 795	275.7	31.67	十字形
神鹰	260~300	51 226	284.7	9.73	心状

据文献[9]。



照片3 箐口天坑

(资料来源:内部资料——世界自然遗产文本,中华人民共和国建设部)

Photo.3 Qingkou Tiankun

### 2.3 岩溶洞穴

各种岩溶洞穴主要集中呈层状分布于现代河谷两岸、岩溶台面上的洼地(谷地)底部及岗状分水岭地带的风口两侧山坡,洞口高程常常与剥夷面、阶地面相当。野外调查发现:本区有5层溶洞,分别与山原期和盆地期两级剥夷面和三级阶地面相当,海拔1 700 m以上的地区大的水平溶洞极少,研究区没有发现与鄂西期地面相对应的溶洞。第五层洞穴如丰都鸡石尖附近的袁家洞,洞体宏大,洞口海拔1 200 m,与山原期夷平面相当。第四层洞穴如武隆芙蓉洞(照片4),其洞口高程为480 m,高出芙蓉江面280 m,与盆地期溶蚀面相当;第三层洞穴如武隆仓屋基溶洞洞口高程310 m,高出乌江江面148 m,可以和第三级阶地面相当;第二层洞穴如武隆大岩洞洞口高程为270 m,高出乌江江面50 m,可以与第二级阶地面相当;第一层如武隆中咀坝溶洞洞口高程为185 m,高程乌江江面10 m,可以与第一层阶地面对应。

本区水平洞穴基本上为廊道与管道组合式化石洞穴。Atkinson. T. C.<sup>[11]</sup>认为这种洞穴组成形式很好地反映了一个岩溶地区新构造运动的发生方式。以

著名的芙蓉洞为例,洞口高程为480 m,全长为2 392 m,宽高多在30~50 m,所在地层为中寒武统白云质灰岩和白云岩,洞穴发育明显受到地层走向和北东、北西向节理的控制。更令人感兴趣的是,其次生化学沉积十分丰富,朱学稳<sup>[12]</sup>认为:其洞穴次生化学沉积物在已有科学分类和命名的类型和形态中几乎样样齐全,现阶段的池水沉积和形态多样发育完美的非重力水沉积类,更是芙蓉洞的独有特色,是研究第四纪环境演化的绝佳场所。



照片4 芙蓉洞非重力水沉积的鹿角状卷曲石

(资料来源:内部资料——世界自然遗产文本,中华人民共和国建设部)

Photo.4 The antler-shaped non-gravitational deposited helictite in Furong Cave

### 2.4 乌江下游不同地貌面的岩溶形态组合特征

我们考察发现,不同地貌面上不仅仅岩溶形态的个体特征有所不同,而且岩溶形态组合特征也有很大的差异(表3)。

鄂西期地面为本地区最高级地貌面,分布于海拔1 700~2 000 m的远离现代河谷的分水岭地区,以仙女山(图2,照片5)为例,该级地面以常态地貌为主,地面比较完整,其岩溶形态组合特征为:低矮的峰丛和平坝、大的多边形、浅碟形洼地相组合,峰丛形态浑圆,峰与峰之间的疏离程度很高,峰座基本相连,峰注高差一般在50~100 m,岩溶洼地多沿构造线呈串珠状分布,形态为长条槽谷形、椭圆形、多边形等,大洼地中往往套生小的洼地,显示出岩溶发育多期的特点,这些特点除仙女山之外,歇马台、白马山、灯草坝等地(图3)也存在这样的特征。在仙女山洼地底部有落水洞和较大的漏斗(天坑)发育。而微形态主要是宽

表3 不同地貌面上的岩溶形态组合特征

Tab. 3 Karst feature complex on different stratified relief surfaces

地貌面名称	海拔高度/m	地表溶蚀形态			地表沉积形态	地下溶蚀形态	地下沉积形态
		宏观形态	大形态	微观形态			
鄂西期地面	1 700~2 000	峰丛(疏离程度高)	多边形、圆形、椭圆形洼地、大的漏斗、天坑等	宽浅小溶痕,形态不明显	红粘土	大部分为短小的水平溶洞,数量少,地下河较少,岩溶泉以表层泉为主	洞穴次生沉积物不丰富
干流及主要支流裂点以下	1 200~1 500	峰丛(疏离度较高)、峡谷	小的多边形洼地(形态不完整)、大的天生桥、大的天坑、较大的漏斗	较为宽浅溶痕,深度在0.5~2 cm,宽度5 cm左右	沉积形态不太发育	较大的水平溶洞、大的伏流、多种成因的岩溶泉和瀑布	次生沉积物不太丰富
山原期地面		峰丛(疏离程度较高)	岩溶台地、多边形洼地、较小的天坑(漏斗)		红粘土	较大的水平溶洞、表层泉,地下河较少	
盆地期溶蚀面	500~800	峰丛(疏离程度低)	三角形、半圆形洼地、谷地,较小的漏斗	较为尖深溶痕,深度>2 cm,宽度5 cm以下,形态明显	黄色石灰土	大型溶洞、大的地下河、伏流、天窗等	次生沉积物十分丰富

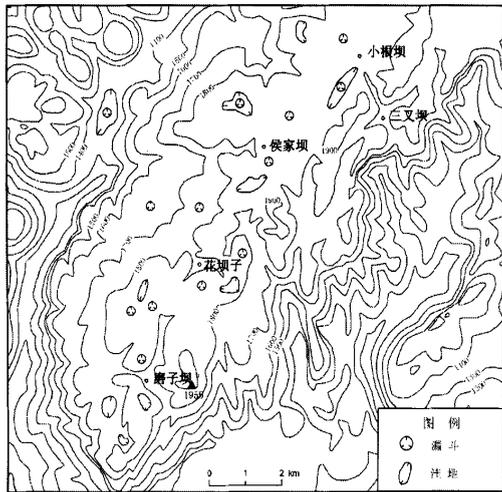


图2 仙女山地形图

Fig. 2 Topographic map of the Xiannü Mountain

浅的溶痕,深度一般小于0.5 cm,形态不明显。岩溶洞穴少见,而且规模很小,次生化学沉积物也很少。相应的岩溶沉积物为溶蚀残余红粘土。显然,峰丛、洼地和溶蚀残余红粘土等岩溶形态在现代暖温带山地气候条件下是不可能发育的,因此它们为古老的岩溶形态;从岩溶地貌发育阶段来说,为岩溶地貌发育老年期的产物。

山原期地面在本区分布很广,主要分布于海拔1 200~1 500 m的低一级台面上,后期受新构造运动影响较大,不同地区岩溶形态组合特征有所差别。在



照片5 鄂西期夷平面—仙女山 (残丘—洼地,峰与峰之间疏离度很高)

Photo. 5 Exi planation surface—the Xiannü Mountain (residual hill and depression, with large distance between the peaks)

水系裂点以下地区,山原期地面主要是峰顶面,因溯源侵蚀强烈,地面被现代水系切割侵蚀而支离破碎。以武隆天生三桥地区为例,其岩溶形态组合特征为:以峰丛—峡谷组合为主,峡谷底部高层在900m左右,洼地基本上被破坏;发育有巨大的天生桥、天坑,洞外钙华也十分发育,溶痕较鄂西期地面发育,表现在深度加深,一般在0.5~2 cm,而且形态比较明显;地下河和地表河相互转化,大的水平溶洞及洞内流水小形态、次生的碳酸钙沉积较为发育,洞内外对应发育有棕红色粘土。从岩溶地貌发育阶段说,明显为岩溶地貌发育的壮年期。

而在河流裂点以上的上游地区,山原期地面保存相对完整,主要保存在朱家顶、凤凰、核桃湾、杨柳池、车盘、车厂梁子、大坪、东山、秦家坝、鸡石尖等坪坝、山间盆地(图3),其中车盘、杨柳池被确定为古夷平面<sup>[8]</sup>。我们对鸡石尖及附近地区考察发现:其岩溶形态组合特征主要表现为岩溶高丘地貌,峰丛与洼地、谷地之间的相对高差可达100 m~150 m 以上,峰与峰之间疏离程度变小,洼地深切,洼地形态各异,多呈长条形,局部为多边形,沿构造线呈串珠状展布,规模不一,一般面积在几千到几万平方米;这些大溶丘上

也常叠置小溶丘,大洼地往往套生小洼地,小洼地中又有深陷的漏斗,反映了本区岩溶现象多期性发育的特点。大形态如干谷、盲谷、落水洞普遍发育但与天生三桥地区相比明显变小,溶痕与鄂西期地面相比较为发育,地表水几乎都转为地下水,洞穴及洞内流水小形态及次生沉积物较为发育,洞外沉积物以红粘土为主。地面呈现锥状岩溶地貌景观。虽然裂点上下岩溶形态有很的不同,但是从总体发育阶段来说,基本上都具有壮年期岩溶地貌的特点。

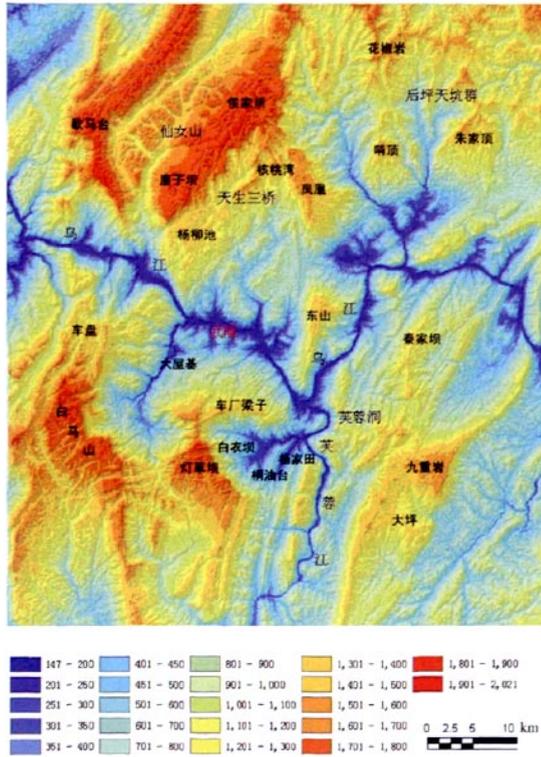


图3 研究区(重庆武隆部分)地势图(高程单位:m)

Fig. 3 Chorography map of the study area(Wulong County,Chongqing)

盆地期溶蚀面常呈宽谷状穿插在上一级夷平面的残丘间,分布在乌江及其支流河流裂点以上地区,海拔500~800 m,像涪陵焦石坝、罗云坝、山窝,武隆大屋基、白衣坝、杨家田等地,岩溶形态组合以峰丛—槽谷、谷地为主,比高为200 m,峰与峰之间疏离程度极小,基座紧密相连,洼地主要分布在峰的山腰部位,面积比较小,一般在1 000 m<sup>2</sup>左右,形态上多以条带状为主;谷地面积比较大,达到数平方千米,是主要的农业区;漏斗、落水洞主要分布在谷地边缘和洼地的底部,规模较小;但小形态如溶痕十分发育,不仅分布较广,而且比较尖深,一般深度在2 cm 以上;明流暗

流交替出现,水平溶洞及洞内小流水形态及次生碳酸盐沉积物十分发育;洞内沉积物以黄色粘土为主,洞外沉积物以黄色石灰土为主。从岩溶地貌发育阶段来说,体现了岩溶地貌发育的青年期特征。

### 3 层状地貌的分布及年代探讨

层状地貌在地貌演化和新构造运动研究中具有重要意义,本文结合前人的研究成果和作者野外考察的结果对乌江下游峡谷地区的层状地貌进行了探讨,

认为:本区的层状地貌可以分为高分水岭的夷平面,谷坡的溶蚀面和谷地阶地面三个层次。

### 3.1 夷平面分布与年代

#### 3.1.1 鄂西期夷平面

分布在远离河谷的高分水岭地区,海拔高度为1 700~2 000 m,主要有仙女山、猫鼻梁等地溶蚀残丘和溶蚀洼地为代表,岩溶台面特征明显,地面比较完整。该级地面在鄂、渝、贵跨流域广泛分布,是三峡地区最古老地面的残留部分,在三峡地区称为鄂西期,在贵州称为大娄山期,其共同特点是构成区域性最高山顶夷平面。

对本地区的地貌发育演化,前人进行了很多的研究,如叶良辅和谢家荣<sup>[13]</sup>根据对湖北西部、贵州中部及其它一些地区的地貌考察,提出地文期的划分意见。他们认为,我国南方地区的地貌轮廓奠定于白垩纪末,此后又经历了几个阶段,他们把湖北西部地区划分为鄂西期(白垩纪末—渐新世)、山原期(中新世—更新世)、三峡期(第四纪)三个地文期。以后沈玉昌<sup>[14]</sup>、李愿军<sup>[15]</sup>、李吉均<sup>[16]</sup>、谢世友<sup>[17]</sup>也对三峡地区夷平面进行研究。本文结合前人资料对本区夷平面的发育及演化简单进行探讨。

白垩纪末燕山运动形成了川东南拗褶带,在古近纪本区处于相对稳定阶段,总体趋向于被剥蚀夷平的发展态势中,直到喜马拉雅运动B幕该级夷平面解体;王东<sup>[18]</sup>通过对川东南拗褶带侏罗系砂岩的磷灰石裂变径迹T-t热史模拟也表明:本地区在距今65~20 Ma为一剥蚀夷平过程。因此,该级夷平面形成时代约从古近纪开始(65.0 Ma),完成于喜马拉雅运动第B幕的新近纪初,时间大约为距今20 Ma。

#### 3.1.2 山原期夷平面

在三峡地区本级夷平面称为山原期,在乌江上游贵州高原称为山盆期,分布在海拔1 200~1 500 m,为区域内乌江与长江及乌江内各水系的分水岭,分布很广。很明显,本级夷平面是在高夷平面解体后发育的。新近纪初喜山运动B幕发生,本地区因此次运动而抬升,形成新的褶皱和断裂,到中中新世中期,本次运动趋于平静,本地区进入长时间的剥蚀夷平阶段,并准平原化<sup>[19]</sup>。

据研究,当时中国南方为温暖湿润环境,广泛发育有红色风化壳,而红色风化壳被认为是夷平作用最后的产物,我们在丰都县的海拔1 200~1 300 m的鸡石尖发现了铁质风化壳,其下为红色粘土层,表明其发育的湿热环境;同时发现广泛分布砂岩、安山岩等磨圆度很好的河流砾石,明显为外来成分,说明本级地面当时是连续的,其塑造是在湿热气候条件下强烈

的溶蚀作用和流水的侵蚀作用下形成的。对于本期夷平面发育的年代,黄万波<sup>[20]</sup>根据对川东地区山原期地面溶洞的灵长类化石的分析,认为山原期夷平面形成于上新世,因此,本级夷平面的形成应该为喜山运动B~C幕之间的平静期,形成年代应为上新世。

#### 3.1.3 盆地期溶蚀面

本级溶蚀面在三峡地区广泛分布在海拔在800~1 200 m地区,谢世友<sup>[17]</sup>认为为一二级剥蚀面,进入四川盆地海拔降为500~800 m左右,为本区条形背斜的山顶面。

我们在涪陵区焦石镇观音洞和罗云乡观音洞发现了胶结坚硬的河流砾石,磨圆度很好,粒径为5~10 cm,为当地三叠系嘉陵江组灰岩和外来的砂岩砾石,其分布海拔在550 m左右。同时,在武隆大坑洞、汽坑洞于480 m左右岩溶形态均从垂直管道进入水平廊道发展时期,说明当时为低地环境,而且有一段较长时间的构造稳定时期与本级溶蚀面对应。

黄万波<sup>[21]</sup>认为长江三峡地区本级溶蚀面形成时期,气候暖湿,主要是短小的河流流注于洼地丘陵之间,地势地平,没有形成统一的水系。这说明本级溶蚀面发育时长江水系没有形成,乌江尚为短小的地方性河流,溶蚀面主要是流水侵蚀作用和温暖湿润气候条件下的溶蚀作用形成的。

本级溶蚀面发育时间无疑应在山原期夷平面经喜山运动C幕后山原期夷平面解体的基础上开始发育的,年代下限为上新世,其年代上限因为本地区研究较为薄弱,无法提供准确的年代,但是在三峡地区该期的溶蚀面上发现了巫山庙宇镇猿人化石,黄万波<sup>[21]</sup>认为巫山猿人应生活在有山、有平坝且水源充足的湿热低地环境,因此,巫山猿人的发育年代可以作为本级地面的形成年代。其年代依磁性地层、电子自旋共振、氨基酸年代测定的综合分析,为早更新世,相应年龄值为2.58~1.80 Ma B. P.<sup>[22]</sup>。据此推测,本级剥蚀面形成的时代为上新世至早更新世。

本地区之所以没有形成统一的夷平面,其原因我们认为是发育时间短暂,因为一级夷平面的形成需要上千万年的时间<sup>[23]</sup>,同时后期又受到新构造运动影响中断了发育所致。之后乌江和长江一样进入深切峡谷发育的时期(峡谷期)。

### 3.2 阶地面及年代

阶地是河流发育过程的产物,构造阶地反映了地壳间歇性抬升情况,同一水系发育的阶地和层状溶洞可以对比。乌江及其主干支流两岸常发育河流阶地,并与岩溶台面或层状岩溶洞穴相对应,本区阶地可以分为三级:

$T_3$ : 主要见于白马镇田湾一带, 分布高程约 380 m, 距现代河床 210 m, 但剥蚀十分严重, 已残缺不全, 仅见零星的砾石及粉砂层堆积物。与之对应的水平溶洞特别发育, 如仓屋基溶洞等。

$T_2$ : 主要位于老白马镇新建公路岔路口一带, 高程约 240 m 左右, 距现代河床约 70 m, 可见零星的含砂砾石层、砂质层成层堆积, 但阶地结构不明显。第二层溶洞不甚发育, 主要有大岩洞、大洞口等。

$T_1$ : 本级阶地较发育, 凡宽谷地带均有发育, 在武隆、土坎、羊角及白马等地多见, 位于海拔 180~210 m 之间, 高出平水面 10~30 m。武隆巷口中咀坝 I 级阶地代表性较强, 阶面及阶坡上部为第四纪冲、洪积物, 由下至上依次为硅铁质固结的砾石层、粗砂层、粘土层及细粉砂与粘土互层, 地表发育有棕红或棕黄色亚粘土, 具明显的二元结构; 阶坡下部为中三叠统巴东组泥质白云岩, 为典型的基座阶地, 砾石层距现代江面 10 m 左右, 前人<sup>[6]</sup>采用石英电子自旋共振测年获下部砂砾岩胶结物形成年龄为 2.88 万年, 为全新世的产物。相应发育的水平溶洞比较发育, 主要有中嘴坝溶洞、凉水沟溶洞等。

总的来说, 本区研究程度远远不够,  $T_3$ 、 $T_2$  因为没有合适的测年材料, 我们没有办法知道其确切的形成年代, 需要进一步探讨。

#### 4 岩溶地貌的发育演化探讨

燕山运动后, 形成川东南弧形构造带, 构成本区现代地貌景观的骨架。古近纪初, 地壳经过长时间的稳定, 地面经过长期的剥蚀夷平作用, 在 20Ma B. P. 古近纪末形成鄂西期夷平面, 地表为和缓起伏的低矮峰丛、浅洼地地貌, 体现出岩溶地貌老年期的特点。随后喜山运动 B 幕开始, 地壳强烈抬升, 古近纪鄂西期夷平面解体, 到新近纪时本区地壳稳定了较长时间, 发育了山原期夷平面, 此时, 气候较为温暖湿润, 岩溶作用强烈, 发育了红色风化壳, 这是夷平作用进入晚期的标志, 同时在鸡石尖山顶发现的砾石层表明当时已经形成了较大的河流, 有较强的搬运能力, 说明了流水侵蚀作用在本期夷平面形成中所起的重要作用。新近纪准平原的形成年代当是上新世晚期, 其岩溶地貌表现为高大的峰丛、深陷的洼地、众多的波立谷及普遍存在的溶洞等, 为岩溶壮年期地貌景观。上新世晚期至第四纪早期, 喜马拉雅运动 C 幕造成本区山地强烈隆升, 山原期夷平面解体, 随后有一个较短的构造稳定期, 在暖湿气候条件下, 岩溶作用十分强烈, 形成新的落水洞、漏斗、洼地等, 同时, 我们在焦石坝观音洞发现的外源的河流砾石层及现代地面上发育有比较大的地表河和众多的地下河的事实说明, 河流侧

蚀作用是本级剥蚀面形成的主要因素; 但是由于时间比较短暂, 因此该时期本区未形成宽缓的夷平面, 仅形成一级剥蚀面, 本级剥蚀面地貌表现为以岩溶峰丛—谷地为主, 典型的峰丛洼地形态组合比较少见, 其形成年代早于 2 Ma。

第四纪以来, 新构造运动更为强烈, 地壳急剧抬升, 本地区河流迅速下切, 乌江干流及其支流形成雄伟壮观的乌江峡谷、芙蓉江峡谷等峡谷, 称之为乌江期。其间出现三次时间不等的短暂停顿, 河流宽谷地带形成三级阶地与之对应, 在地下则引起地下水方向的多次改变, 形成了三层洞穴, 并最终形成了地表的天生桥和地下形态复杂的洞穴系统。

#### 5 结论

根据上述分析和讨论, 得出如下结论:

(1) 乌江下游地区的层状地貌为两级夷平面、一级溶蚀面、五级水平溶洞和三级阶地。

(2) 本地区岩溶地貌十分发育, 具有独特的亚热带岩溶中山峡谷特点, 以丘峰洼地(谷地)、大型漏斗(天坑)、岩溶峡谷、天生桥等为代表的地表岩溶和以大型溶洞和丰富的洞穴次生化学沉积为代表的地下岩溶最为普遍, 独具特色。

(3) 不同地区岩溶形态不同; 在远离现代排水基面的鄂西期地面上, 地面完整性较好, 以低矮的峰丛和平坝、大的浅洼地相组合, 体现出岩溶地貌发育老年期的特征。山原期地面后期受新构造运动影响较大, 不同地区岩溶形态组合特征有所差别; 在水系裂点以下地区, 地面被现代水系切割侵蚀而支离破碎, 以峰丛—峡谷组合为主, 为岩溶地貌发育的壮年期特征; 河流裂点以上的上游地区, 山原期地面保存相对完整, 为锥状峰丛、深洼地景观, 具有典型的岩溶地貌发育壮年期晚期阶段的特点。盆地期溶蚀面以峰丛—槽谷、谷地为主, 体现了岩溶地貌发育的青年期特征。

(4) 乌江下游岩溶地貌的形成, 经历了鄂西期、山原期、溶蚀面和峡谷期地貌演化阶段, 并形成鄂西期、山原期岩溶夷平面、盆地期溶蚀面和深切峡谷。

(5) 因为缺乏有效的测年材料, 对本区新构造运动的性质、抬升幅度没法进行进一步讨论, 下一步工作应该充分利用本区丰富的洞穴资源, 利用新的测年手段, 洞内和洞外沉积物进行对比来进一步探讨本区地貌演化的过程。

**致谢:** 本文在写作过程中, 覃嘉铭副研究员提出许多宝贵的意见, 硕士研究生王巨在做图方面提供了帮助, 在此表示感谢。

## 参考文献

- [1] 杨明德. 贵州高原喀斯特地貌结构及其规律. 喀斯特地貌与洞穴[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 22-29.
- [2] 熊康宁. 新构造运动对贵州锥状喀斯特发育的影响[J]. 贵州地质, 1996, 13(2): 181-187.
- [3] 刘振中, 俞序君, 俞锦标. 乌江流域喀斯特地貌的初步研究[J]. 南京大学学报(地理学), 1963, 2(1): 12-23.
- [4] 王炳生, 熊广政, 郑长苏. 乌江下游喀斯特地貌[C]//全国喀斯特研究会议论文选集[M]. 北京: 科学出版社, 1962: 85-87.
- [5] 陈伟海, 朱德浩, 朱学稳. 重庆武隆天生三桥喀斯特系统特征与演化[J]. 中国岩溶, 2006, 25(增刊): 99-106.
- [6] 朱学稳. 武隆后坪侵蚀型天坑的发现及其科学与旅游价值[J]. 中国岩溶, 2006, 25(增刊): 93-98, 94-100.
- [7] 朱学稳, 陈伟海, Erin L Ynch. 武隆喀斯特及其地壳抬升性质解读[J]. 中国岩溶, 2007, 26(2): 119-125.
- [8] 唐玉, 邓富银, 李再会. 乌江流域武隆至涪陵段新构造运动[J]. 重庆交通学院学报, 2005, 25(2): 90-94.
- [9] 陈伟海, 朱德浩, 黄保健, 等. 重庆武隆岩溶地质公园地质遗迹特征、形成与评价[M]. 北京: 地质出版社, 2004: 42, 69.
- [10] C. A. Hill, N. Eberz, R. H. Buecher. A Karst Connection model for Grand Canyon, Arizona[J]. USA. Geomorphology, 2008, 95: 316-334.
- [11] Atkinson, T. C., Rowe, P. J.. Applications of dating to denudation chronology and landscape evolution. [C]// Ivanovich. M., Harmon. R. S., eds. Uranium-series disequilibrium: Applications to Earth, Marine and Environmental Sciences [M]. 2nd ed, New York, Oxford University Press, 1992: 669-703.
- [12] 朱学稳. 芙蓉洞的次生化学沉积物[J]. 中国岩溶, 1994, 13(4): 357-368.
- [13] 叶良辅, 谢家荣. 扬子江流域巫山以下之地质构造与地文发育史[J]. 地质汇报, 1925, 第7号: 69-90.
- [14] 沈玉昌. 长江上游河谷地貌[M]. 北京: 科学出版社, 1965: 97-146.
- [15] 李愿军, 丁美英. 长江三峡地区构造地貌研究[J]. 水电能源科学, 1995, 3(1): 52-55.
- [16] JijunLi, ShiyuXie, MingshengKuang. Geomorph evolution of the Yangtze Gorges and the time of their formation. Geomorph evolution of the Yangtze Gorges and the time of their formation[J]. Geomorphology, 2001, 41(2): 125-135.
- [17] 谢世友, 袁道先, 王建力. 长江三峡地区夷平面分布特征及其形成年代[J]. 中国岩溶, 2006, 25(1): 40-45.
- [18] 王东, 王国芝, 刘树根. 川东南地区燕山期以来的隆升剥蚀历史研究[J]. 地质学报, 2009, 29(1): 5-9.
- [19] 李祥银. 中国新构造运动概论[M]. 北京: 地震出版社, 1977: 19-57.
- [20] 黄万波. 三峡地区喀斯特洞穴及动物群[J]. 地理研究, 1986, 5(4): 78-101.
- [21] 黄万波. 巫山猿人遗址[M]. 北京: 海洋出版社. 1991: 92-96, 156-157.
- [22] 陈铁梅, 杨全. 巫山县龙骨坡地层的电子自旋共振测年[J]. 人类学学报, 2000, 19(1): 17-20.
- [23] Young A, Saunders L. Rates of surface processes and denudation[C]//In: Hillslope Process. Boston, Allen &/ Unwin Inc. 1986: 3-27.

## Preliminary study on morphology features of karst in the lower reaches of Wujiang River — A case in Wulong, Chongqing and the surrounding area

XIA Kai-sheng<sup>1</sup>, YUAN Dao-xian<sup>1,2</sup>, XIE Shi-you<sup>1</sup>, CHU Yu-chun<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir (Ministry of Education), School of Geographical Sciences, Southwest China University, Chongqing 400715, China;

2. Institute of Karst Geology, CAGS, Karst Dynamics Laboratory, M L R, Guilin, Guangxi 541004, China)

**Abstract:** The geomorphology is typical subtropical karst middle mountain and gorge with characteristics of large scale karst gorge, natural bridge, tiankang, cave and underground river as well as colorful second deposits at the lower reaches of the Wujiang River. The karst individual feature and feature complex on stratified relief plane are analyzed and the evolution of the karst morphology at the lower reaches of the Wujiang River is studied in the paper. It is believed that 1) the stratified relief plane can be divided into 2 grade planation surfaces, 1 grade corrosion surface, 5 grade horizon karst caves and 3 grade terraces; 2) there are obvious different karst feature among different period of planation surfaces, such as the surface is integrated with lower peak-cluster and karst basin and depression on the Exi Surface, but the karst feature changes in different areas on the Shanyuan Surface, which is dominated by peak-cluster and gorge above the knick point and cone karst peak-cluster and deep depression landscape with relatively integrated surface below the knick point; yet on the Pendi Surface, the morphology is dominated by peak-cluster and uvala as well as valley; 3) the karst morphology once experienced 3 periods of evolution as the Exi period, Shanyuan period and Pendi period as well Xiagu period, which leading to the formation of the Exi and Shanyuan karst planation surfaces and the Pendi corrosion surface as well as the Xiagu gorge.

**Key words:** stratified landform; karst gorge; geomorphic features; the lower reaches of Wujiang River