

中国喀斯特地貌的演化模式

卢 耀 如

(地质矿产部水文地质工程地质研究所)

提 要

中国喀斯特地貌的发育与岩性密切相关,并受许多因素的影响与控制。特别是新生代的两个构造事件和更新世的五次气候变换,都影响了喀斯特的发育。在计算典型喀斯特地区的上升、沉降、溶蚀与沉积等速率的基础上,本文重点探讨了喀斯特地貌演化的八个模式。

具有多种类型的喀斯特地貌景观,在中国分布广泛。据统计,裸露与半裸露的各种碳酸盐岩层组约占我国总面积的四分之一(其中碳酸盐岩占主要比例的纯层组与夹层组,约为一百二十万平方公里)*,加上埋藏的碳酸盐岩则共占全国面积70%以上**。多数地区碳酸盐岩的累计厚度在 $2-3 \times 10^3\text{m}$,个别厚的可达 $1.9 \times 10^3\text{m}$ 。如此广泛分布且厚度较大的碳酸盐岩层组,为我国喀斯特地貌的发育提供了充分的物质基础。

一、影响喀斯特地貌景观发育的重要条件

喀斯特地貌景观的发育,首先与岩性及层组类型有关。典型的喀斯特地貌,多发育于纯层组和夹层组两类型的碳酸盐岩分布区;反之,互层组和间层组两类型地区的地貌景观,却常与非碳酸盐岩岩层地区相似。此外,地质构造、气候、水文系统以及生物作用等对喀斯特地貌发育,也有明显的影响;其中尤以地质构造与气候条件为最主要[1-3]。

侏罗纪开始的燕山运动,曾广泛地影响到我国地貌景观的发育,其中也包括喀斯特地貌的发育。燕山运动奠定了中国地貌发育的格架,新生代的地貌演变是在此基础上继承发展的。新生代有两个主要构造事件:一个是印度板块与欧亚次大陆的相撞,引起喜马拉雅山的强烈上升和青藏高原的隆起;另一个是太平洋板块俯冲,形成亚洲东部一系列岛弧与边缘海盆的张开[4]。这两事件,都密切地影响了中国大陆构造条件与喀斯特的发育。在早期的东西向、南北向及北东向的构造基础上,形成新的区域性上升与沉降;其结果是,改变了许多地区碳酸盐岩的裸露与埋藏的状况,并提供了喀斯特发育的构造基础。作为世界屋脊的喜马拉雅山自上新世以来快速上升,估算其平均的上升速率为 0.98mm/a ;目前一些精密测量的结果,表明珠穆朗玛峰的上升速率仍然达到 $3.2-12.7\text{mm/a}$ [5]。

新构造上升对我国其他一些地区也都有明显影响。综合分析洞穴沉积及地表第四系地层

本文1986年3月20日收到,8月7日收到修改稿。

* 碳酸盐岩层组包括纯层组、夹层组、间层组和互层组,后者以非碳酸盐岩为主或占较多比例

** 根据新编《中国古地理图集》(中国地质科学院地质研究所编草图)圈定累加统计得出。

的年代测定结果^[6-9]以及河谷阶地与洞穴发育情况,可概略地估算一些典型喀斯特地区的上升速率,列于表 1。

众所周知,不同的气候带与气候区具有不同的降雨量、降雨强度、水温与气温等,而同一气候带(区)内,在不同地貌单元,又有气候上的差异。这些气候要素密切地影响到地表径流、二氧化碳和其他侵蚀性酸类的形成条件,进而控制喀斯特作用的性质与强度,水流侵蚀、机械风化和生物作用等。通常情况下,在炎热多雨的热带与亚热带气候条件下,其喀斯特化强度要比温带及寒冷地区强烈得多。在湿热气候条件下的溶蚀速率,也要比温和与寒冷气候条件下大十多倍至百多倍^[3,10-12]。

表 1 中国某些地区的上升速率*
Upwarping rates of several regions in China

地 区		北京周口店	广西桂林	贵州猫跳河	贵州乌江渡
喀斯特(地貌)类型		低山河谷	峰林谷地	溶丘谷地	中山峡谷
上 升 率 mm/a	全 新 世	0.5	1.5	1.0	3.0
	晚 更 新 世	0.03	0.05	0.33	0.8
	中 更 新 世	0.02	0.05-0.07	0.1-0.5	0.33
	早 更 新 世	0.02	0.038	0.08	0.05

*1. 以阶地、峰顶面、剥蚀面等海拔高差及相应形成条件与年代测定资料,作为分析与计算的基础;2.北京周口店地区参考了[6]—[9]等文献的洞穴沉积物年代数据;3.广西桂林地区参考了中国社会科学院考古所及北京大学一些洞穴沉积物的年代测定结果;4.贵州猫跳河地区采集洞穴钙华进行铀系法分析(赵树森同志协助进行分析),取得的年代数据作为计算的依据。

我国南方一些典型喀斯特地区构造上升率和溶蚀速率,对比分析于图 1。其中,溶蚀速率只是反映近代喀斯特作用的参数,其数值大小与径流量、水中矿化度等指标有关^[2,13]。一个地区内,由于岩性、构造及微气候条件的差异,同时期的溶蚀速度也是不尽相同的。图 1 中上升率标列了全新世上升率($L\mu = Q_4$)和第四纪以来的平均上升率($L\mu = Q$)。虽然这些数值很有限,而且只是一些概略的数值,但对比一些地区的构造上升率与溶蚀速率,已可说明两类参数间具有一定的内在关系。显然,广西桂林地区于第四纪时期中平均上升率低于云贵高原和鄂西山地,其近代的溶蚀速率却是相反的情况,具有较高值。

根据洞穴沉积物的孢粉与矿物分析和年代测定结果,并参考有关的资料^[6-9,12-14],可以综合分析出在第四纪中,已知有五次主要的变化,气候由湿热或温暖变为寒冷或冰期,并且明显地影响到喀斯特发育。现将这些综合分析的部分成果,概括表示于表 2。表中相应划分的气候变化期及其年限是概略的,随着今后更多的试验成果与年代数据的积累,可作进一步划分。

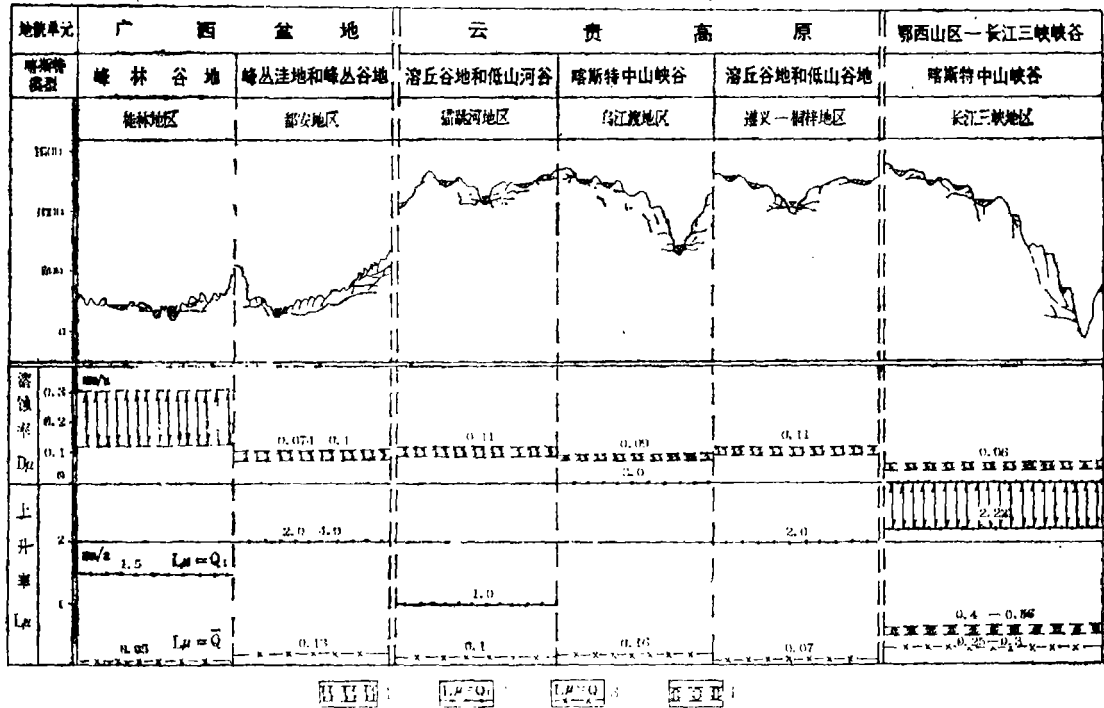


图 1 中国南方一些典型喀斯特地区构造上升率与溶蚀率分析图
Analysis of dissolution rates and structural upward rates
in some typical karst regions of South China

1. 计算的现代溶蚀速率值范围; 2. 全新世及近代上升率 (根据地貌分析及一些年代测定结果计算); 3. 第四纪平均上升率 (地貌分析为主); 4. 全新世及近代上升率 (根据地貌分析年代测定成果及水准测量资料计算)。

根据上述结果, 可将受构造与气候等因素综合影响的上升速率, 用下列方程式表达, 以进行有关计算。

$$\Delta H = H_s - (H + H_M) \quad (1)$$

ΔH ——地形的海拔高差年变化值 (mm);

H_s ——年构造上升的实际高度值 (mm);

H ——年地表岩面平均溶蚀削低的高度 (mm);

H_M ——年机械侵蚀对地表岩面削低的高度 (mm);

$$H_c = H_{c_1} + H_{c_2} \quad (2)$$

H_1 ——年地表径流对岩石溶蚀削低的高度 (mm);

H_2 ——年地下径流于消入地下前对岩面溶蚀削低的高度 (mm);

$$\sum_{i=1}^n \Delta H_i = \sum_{i=1}^n (H_i - H_{i-1}) = \sum_{i=1}^n [L_{\mu_i} - (D_{\mu_i} + M_{\mu_i})] \Delta t_i \quad (3)$$

ΔH_i ——于*i*间隔时间内, 实际上升高度 (+) 或沉降深度 (-) (mm);

L_{μ_i} ——于*i*间隔时间平均上升速率 (mm/a);

D_{μ_i} ——于*i*间隔时间平均溶蚀速率 (mm/a);

$$M\mu = (Q_s \cdot \rho_s \cdot \gamma_w / A \cdot \bar{\gamma}_r) \times 1000 \quad (4)$$

$M\mu$ ——年机械侵蚀率 mm/a; Q_s ——年地表径流量 m^3/a ;

ρ_s ——固体径流系数; γ_w ——水容重 (t/mm^3);

A ——计算点以上控制的面积 m^2 ; $\bar{\gamma}_r$ ——岩石平均容重 (t/m^3)

表 2 中国一些典型洞穴钙华沉积物与气候变化对比表

A comparison between speleothems in some
typical caves and climatic changes in China

地质年代	距今 10^3a	第四纪气候变化	已知洞穴钙华沉积 主要时期距今 10^3a	一些洞穴中发掘 的古人类化石		社会性质
全 新 世 Q_4	7-8	冰 后 期	5—6	近代人	新石器	奴隶社会
	10-12					
晚更新世 Q_3	60-70±	第 5 寒冷 (或冰川) 时期	11-16 (转温暖) 23-25, 30-36, 40-50 (温暖)	智 人	旧石器 时 代	原始社会
	110±	第 4 温暖—炎热间冰 期	100—110			
	150±	第 4 寒冷 (或冰川) 时期				
中更新世 Q_2	200±	第 3 温暖—炎热间 冰期	170—190	猿 人		
	400±	第 3 寒冰 (或冰川) 时期	210-230, 240-260, 300-330 (具温暖)			
	500-600±	第 2 温热间冰期	400-500			
	730±	第 2 寒冷或冰川时期				
早更新世 Q_1	1420 (?)	具有第 1 温热间冰期				
	1800 (?)	具有第 1 寒冷 (或冰 川) 时期				

二、喀斯特地貌的发育与演化模式

在中国广阔的领域内,地质构造与气候这两个条件的复杂变化,呈现出了多种的地貌发育过程与机理,在喀斯特地貌景观中,除了多层性、多面性与多期性等普遍的特征之外,要强调的是镶嵌的结构,也就是正态与负态的喀斯特地貌呈相间排列,构成组合地貌。例如:溶丘、溶峰与洼地、谷地,断块山地与断陷盆地,上升的山地与沉降的平原和盆地等,无论其分布与发育过程,都是共同相关的。这种关系,也都受到上述两个主要构造事件的控制。

从青藏高原至新疆,呈现出东西向的构造隆起山脉与大的沉降盆地相间出现,这些大构造是由于板块相撞,由南而北带来巨大地应力的影响而发育的。后期,其次生的应力导致了早

期的断块山地与块状山体被剪切、挤压与拉张, 形成镶嵌结构, 并且呈现出由西到东的次一级地貌单元的交互相间的结构, 至于中国东部, 其结构主要受太平洋板块的俯冲影响, 首先具有由东至西的地应力, 在正态山脉与负态的平原和盆地之间, 无论在大陆或在海洋中, 由东至西的地质与地貌结构的正负态的交互变换, 也占重要的地位。

根据上述, 可将中国喀斯特地区地貌发育的多系列演化归纳出许多的模式。但在本文中, 只重点探讨其中主要的八种模式。

(一) 强烈上升演化模式

在青藏高原及新疆的许多山脉中, 于4000—5500m海拔高程处, 仍可见有早期发育的溶蚀峰林或石林残留着。这些现象, 是在早期处于较低位置及湿热或温暖气候条件下而发育的[15-16], 由于后期强烈上升, 遭受侵蚀与剝蚀而成残余(或蚀余)峰林与石林。从天山北麓发现有更新世古菱齿象化石和青藏高原一些孢粉及上新统地层中三趾马化石的发现[17], 都表明在第四纪初期或第三纪时期, 青藏高原还是处于较低的高程(图2中的I、I'阶段), 气候也较湿热。由于印度板块与欧亚大陆的相撞, 并沿着由南而北所产生的强烈压应力, 造成了老构造带如唐古拉山、巴颜喀拉山和昆仑山等山脉的继续上升隆起, 这是作为青藏高原隆起的初期(图2中的II阶段)。而后, 喜马拉雅山强烈上升, 其上升速率由低于1mm/a, 而增大至50mm/a左右[5, 18, 19], 这是作为主要的上升时期。伴随着青藏高原的隆起, 次一级的构造(块体上升与沉降), 就多产生于II、IV阶段。青藏高原喀斯特发育与演化情况, 用图2予以概略地分析与图解。

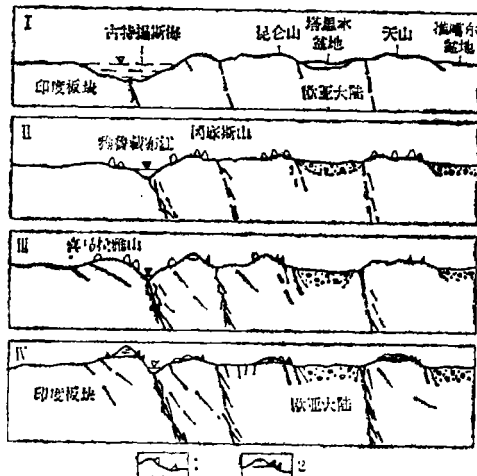


图2 青藏高原喀斯特发育演化分析图
An analysis of the evolution in Qinghai-Xizang Plateau

1. 发育着的峰林或石林
2. 经受冰蚀或剝蚀后的残余峰林与石林

(二) 连续隆起演化模式

云贵高原是连续隆起而形成的, 那里溶蚀现象占重要位置。在近代, 除了深切河谷外, 在高原面上侵蚀速率与溶蚀速率是相近似的, 其侵蚀指数 $P_g = H_c/H_m \approx 1$ (符号同(1)式), 即在高原面上近代机械侵蚀高度与化学溶蚀高度的值相近。因此, 高原面上仍较多保留或继承发育着溶丘洼地、溶丘谷地等喀斯特景观。云贵高原面的高程在1000—2000m, 伴随着高原的隆起, 也产生气候条件的变化。近代, 由深切的沟谷至最高一级的高原面, 仍明显地呈现出立体性的气候变化。除了滇西一带高山之外, 云贵高原虽然经受连续隆起的影响, 但上升速率比青藏高原低, 所以大部分地区的气候条件, 还都是有利于喀斯特发育, 目前仍具有较大的溶蚀速率(图1)。

(三) 差异隆起演化模式

由于不同的上升隆起速率, 喀斯特地貌景观的发育经常带来差异性演化。例如, 在长江

三峡地区, 由于黄陵穹窿上升的结果, 其东西翼的上升速率是不同的。西翼喀斯特景观的演化是趋向于由溶蚀类型转变为侵蚀类型; 但是在东翼, 则主要表现为重叠溶蚀作用过程, 而且还有沉降平原与上升山地间的过渡特征。对比两翼有关喀斯特现象与作用过程, 可概括地表示于图 3 中。

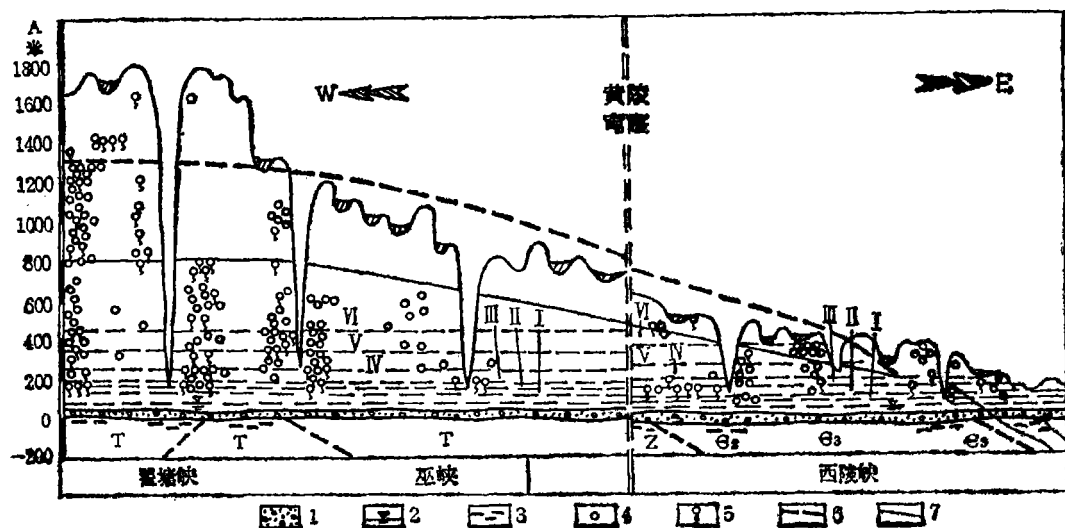


图 3 长江三峡地区喀斯特现象与地貌发育分析图

An analysis about karst phenomena and geomorphological development in San Xia (Three Gorges) of Changjiang (Yangtze) River

I—VI 第四纪中发育的阶地;

1. 砂卵石; 2. 长江河水位; 3. 河床下发育的洞穴; 4. 两岸洞穴的投影; 5. 两岸大喀斯特泉与地下暗河的投影; 6. 西鄂期 (晚白垩世至老第三纪) 强烈喀斯特化带下限; 7. 山原期 (新第三纪) 强烈喀斯特化带下限; (注: 图中洞穴、暗河等情况, 参考了四川省和湖北省地矿局有关水文地质区测资料)

这地区在一定的程度上伴随着隆起上升及相应的河谷下切, 也产生有河谷与山顶面的微气候变化, 但总的气候状况, 也还是适于喀斯特的发育。目前两翼的气候条件的差异性不大。长江三峡地区的一些阶地高程, 参照四川、湖北地矿局的新资料, 可对比于表 3; 显然各阶地间的高差于东西翼是明显地不同, 表明了新构造运动的差异性, 在三峡出口南津关一带, 只见有三级较明显的阶地。

(四) 缓慢隆起演化模式

在缓慢隆起或往复上升与沉降地区, 具有较小的上升速率, 其喀斯特地貌景观的演化就主要取决于气候条件。例如, 在华南盆地长期属于热带与亚热带气候条件, 具有较大的溶蚀速率 (见表 1 和图 1)。因此, 在第四纪中不同的时期, 于广西广东等地, 喀斯特地貌与主要的溶蚀现象, 多是重叠而强烈地发育, 所以形成了典型的峰林谷地、孤峰坡地和峰林平原等被称为“热带喀斯特”的地貌景观。

但是, 对于华北、东北等地区, 长期处于温寒及稍寒冷气候条件下, 或者在华东及华南

碳酸盐岩分布较少的地带,剥蚀、侵蚀以及其他地质作用对地貌的形成起着重要的作用,也是导致地貌景观发生演化的主要因素。因而,在这些地带就主要发育了溶蚀-侵蚀及溶蚀-剥蚀喀斯特地貌类型^[20,21]。

表 3 长江三峡阶地对比表
A comparison of terraces in San Xia (Three Gorges)
of Changjiang (Yangtze) River

位 置		奉节 (瞿塘峡入口一带)	巫山 (近于巫峡进口地带)	南津关 (西陵峡口附近)
阶地 高程 (m)	I	60	67	
	II	95	101	55
	III	125	124	65
	IV	190	192	110
	V	245	270	
	VI	335	362	

(五) 广阔沉降演化模式

早期形成的裸露喀斯特地貌景观,产生广泛与迅速的沉降,而转变其裸露状态,演化为埋伏状况,使早期的地表山地与河谷成为埋伏于地下的古潜山型,并为后期第三系或第四系所覆盖;但是覆盖的厚度不一,由几十米至几千米,这是由当地构造运动性质及沉降速度而决定。此类的演化模式,尚可分出一些重要的亚型;沉降速率的不同,可反映出沉降性质及喀斯特地貌发育方面的差异变化。现将一些研究成果并参考有关文献资料^[22,23],综合于表 4 中,用以对比一些地区的沉积速率,并作为探讨有关地貌景观演化条件的依据。

表 4 中国某些典型地区的沉积速率对比表
Several depositional rates in the typical regions of China

地 区	昆 明 盆 地	华 北 平 原	塔 里 木 盆 地
地貌特征	断陷盆地	沉降平原	内陆盆地
碳酸盐岩上盖层最大厚度	约1000米	大于2400m	大于10000m
第四纪中沉积速率 mm/a	0.11—0.28 0.017 (平均)	0.19—0.207	0.02—1.5
第三纪中沉积速率 mm/a	0.11 (N)	0.02—0.038	0.14—0.098
喀斯特地貌演化模式	狭窄沉降演化模式	广阔沉降演化模式	

注:参考了地质、石油有关部门的地层资料及一些古地磁成果进行沉积速率计算

强烈隆起的青藏高原可作为中国地貌景观的第一个阶面,伴随着快速的沉降,形成了塔里木等大盆地,那里的气候条件也由温暖或湿热,而转变为内陆干旱。太行山和山西高原居于中等高程,属于地貌演化的第二个阶面,而且毗连着具有中等沉降速率的华北平原,那里第四纪时的气候条件明显地具有几个时期由温暖或炎热至寒冷或冰期,以及潮湿至半干旱的变化。图 4 反映上升隆起的太行山作为断块山地与沉降的华北平原之间,喀斯特分异演化的关系。

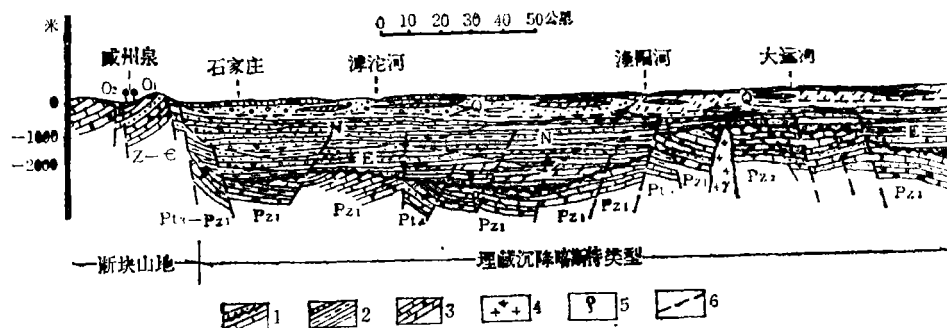


图 4 太行山山地(具裸露喀斯特)至华北平原(具埋伏古喀斯特)的一个示意剖面

A profile from Taihang mountain lands with bare karst
to North China Plain with buried paleo-karst

1. 华北加里东期古喀斯特面 (O_2-C), 2. 碎屑岩 (砂页岩、砾岩), 3. 碳酸盐岩, 4. 火成岩,
5. 岩溶泉, 6. 地层界限

(六) 狭窄沉降演化模式

在大规模隆起的高原中, 由于次一级构造应力的作用结果, 在一些地带具有与断裂密切相关的狭窄条带的沉降这类演化模式, 也有两个重要亚型: 其一, 为形成于青藏高原中的盆地, 那里随着高原的上升使气候条件由湿热变为干冷的内陆条件, 并多数形成盐湖于其中; 另一种是断陷盆地, 形成于云贵高原, 目前一些盆地仍集聚了地表与地下喀斯特径流, 而成为淡水湖泊。例如云南昆明盆地是在次一级构造应力作用下形成的, 与上述模式中盆地相比较, 盆地中第四系和第三系盖层的总厚度相对要薄(表 4), 面积也小得多。昆明盆地面积只有 825km^2 , 其中滇池湖水面积约为 340km^2 。此类盆地分布成阶梯状, 与南斯拉夫狭那尔地区相似[24, 25]。

滇东断陷盆地的一种演化情况, 概略地表示于图 5。

(七) 剝蚀裸露演化模式

碳酸盐岩地层早期曾为非碳酸盐岩地层所覆盖, 由于后期构造运动上升的结果, 使上覆的盖层遭受了侵蚀, 而逐渐地或快速地减少其厚度, 并导致埋伏的碳酸盐岩地层裸露于地表。此类演化结果是, 相应地引起新的喀斯特现象与地貌景观的发育, 或者促使微弱的喀斯特作用转而加剧地进行, 或者导致已停滞的古喀斯特现象得以复活, 并发育新的现象与景观。

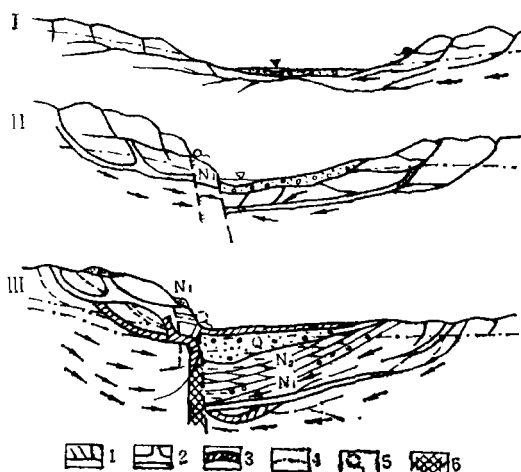


图 5 滇东断陷盆地的一种演化模式

An evolution model of fault basins in
East Yunnan

I、新第三纪以前, II、新第三纪时, III、第四纪时;
1. 新第三纪 (N_1) 以前发育的洞穴系统, 2. N_1 以后发育的地下暗河系统, 3. N_2 以后发育的地下暗河系统, 4. 旱季地下水位, 5. 地下暗河中洪水季节半孤立管道流, 6. 断陷盆地边缘喀斯特富水带

(八) 海洋环境演化模式

根据海水面的变化,此模式可分为三种亚型:A、构造上升海退型,由海滩及海台地隆起而降低海面,使原先埋伏于海底的碳酸盐岩转变其喀斯特现象与地貌的演化,而成为暴露于海面以上的状况;B、构造沉降海进型,由于海岸带的沉降与海水的入侵,使喀斯特地貌演化与发育由陆地条件转变为海洋环境的演化模式;C、冰期海面变化型,由于冰期气候变迁,使海面多次升降变化,引起海岸带产生喀斯特地貌的演化密切受到海面升降的影响。

最后强调一点,喀斯特现象及有关景观的发育,受许多自然条件的影响与控制,特别是构造与气候两者最为重要。探索喀斯特地貌发育过程及其演化模式,有助于深入研究喀斯特发育规律与有关条件。特别是不同地貌景观所具有的水文-水文地质条件有差异性,而这些条件又在喀斯特作用过程中促使其喀斯特景观的分异。当然,喀斯特地貌的不同演化模式,可产生不同的喀斯特现象与景观的组合特征及有关环境条件。但是,这些模式的演化又是相互密切关联的,并共同受到全球性地质构造与气候条件的总体变化规律所控制。

谨以此文纪念我国伟大的地学家和旅行家徐霞客诞辰四百周年。

参 考 文 献

- (1) 卢耀如:中国南方喀斯特发育基本规律的初步研究,地质学报,45(1),1965年。
- (2) 卢耀如、赵成梁、刘福灿:初论喀斯特的作用过程及其类型,第一届全国水文地质工程地质学术会议论文选编,中国工业出版社,1966年。
- (3) 卢耀如、杰显义、张上林、赵成梁、刘福灿:中国岩溶(喀斯特)发育规律及其若干水文地质工程地质条件,地质学报,第一期,1973年。
- (4) Li Chunyu Wang Quan Liu Xueya Tang Yaoqing, Explanatory Notes to the Tectonic Map of Asia Cartographic Publishing House, 1982.
- (5) 中国科学院青藏高原综合科学考察队:青藏高原地质构造,科学出版社,1982年。
- (6) 钱方等:周口店猿人洞堆积物磁性地层的研究,科学通报,24期,1979年。
- (7) 郭士伦等:裂变径迹法测定北京猿人时代,同上。
- (8) 裴静娴:热发光年龄测定在“北京人”遗址文化层中的应用,中国第四纪研究,5(1),1980年。
- (9) 赵树森、刘明林:洞穴堆积物铀系测定数据报道,科学通报,16期,1984年。
- (10) 中国科学院地质研究所岩溶研究组:中国岩溶研究,科学出版社,1979年。
- (11) 任美镔、刘振中:岩溶学概论,商务印书馆,1983年。
- (12) 卢耀如:中国岩溶(喀斯特)及其若干水文地质特征,国际交流地质学术论文集6——为二十七届国际地质大会撰写,地质出版社,1985年。
- (13) Corbel J. Erosion en terrain calcaire Annals de Geol., 1959.
- (14) 林钧枢等:广西武鸣盆地岩溶发育的古地理因素分析,地理学报,37(2),1982年。
- (15) 中国科学院西藏科学考察队:珠穆朗玛峰地区科学考察报告(1966—1968),科学出版

社, 1974年。

- (16) 崔之久: 古岩溶与青藏高原抬升, 青藏高原隆起时代、幅度和形式问题, 科学出版社, 1984年。
- (17) 中国科学院青藏高原综合科学考察队: 西藏古生物, (第一分册), 科学出版社, 1980年。
- (18) 地质矿产部青藏高原地质文集编委会: 青藏高原地质文集(1), 地质出版社, 1982年。
- (19) 地质矿产部青藏高原地质文集编委会: 青藏高原地质文集(15), 岩石、构造地质, 地质出版社, 1984年。
- (20) 第二届岩溶学术会议论文选集编辑组: 中国地质学会第二届岩溶学术会议论文选集, 科学出版社, 1982年。
- (21) 中国地质学会岩溶地质专业委员会编: 中国北方岩溶和岩溶水, 地质出版社, 1982年。
- (22) 徐世浙: 古地磁学概论, 地震出版社, 1982年。
- (23) 罗建宁等: 滇池湖盆第四系沉积相古地磁和孢粉的初步研究, 中国地质科学院院报, 第6号, 地质出版社, 1983年。
- (24) Herak M. & Stringfield V.T., Karst—Important Karst Regions of The Northern Hemisphere Amsterdam Elsevier 1972.
- (25) Petar T. Milanovic, Hidrogeologiza Karsta I Metode Istrazivanja Trebinje, 1979.
- (26) Song Linghua, Progress of Karst Hydrology in China Progress in Physical Geography Vol.5, No.4, 1981.

贵州省建立普定喀斯特综合试验研究站

贵州省科学技术委员会采纳了国内喀斯特专家的建议, 决定建立普定喀斯特综合试验研究站。并于1986年10月18日至23日, 就该站“七五”期间开展普定喀斯特水资源与小流域综合治理模式研究邀请有关单位的喀斯特专家举行了论证会。会议确认近期的研究重点应是通过水文地质条件、裂隙流与管道流的关系, 以研究喀斯特含水介质的结构类型。通过水文、水化学、降水等的长期观测和现场模拟试验, 建立水资源模式和水质模式, 研究喀斯特地区的降水、地表水和地下水相互转化关系。通过地形、气象、植被、水土保持等研究, 摸索出喀斯特山区综合治理的有效途径。

贵州省普定喀斯特综合试验研究站是面向国内外学者开放的试验研究场所。目前, 该站聘请水资源计算和评价、喀斯特水文、水化学、生态环境等方面的八位专家从事基础理论和基础应用方面的专题研究。

• 宋林华 •

MODELS OF KARST GEOMORPHOLOGICAL EVOLUTIONS IN CHINA

Lu Yaoru

(Institute of Hydrogeology and Engineering Geology,
Ministry of Geology and Mineral Resources)

Abstract

There are four kinds of bare and semi-bare carbonate beds in China, which occupy about one-fourth of the total area of China. As to the buried carbonate layers, their distributing areas are vaster. According to statistics, areas of the four kinds of bare and buried beds are over 70 percent in the whole territory of China. The accumulated thickness of carbonate beds in many regions reaches $2-3 \times 10^3$ metres, and the largest thickness is about 1.9×10^3 metres.

The development of karst geomorphological landscapes is closely related to the lithological characters and controlled by many natural conditions, particularly the two structural events in Cenozoic era, which are: one, the strongest up lifting of the Himalayas and upwarping of the Qinghai-Xizang plateau, which were led by the collision between the Indian plate and the Eurasian Continent, the other one is the formations of a series of island arcs in the eastern part of Asia and opening of the marginal sea basins, made by the subducting of the Pacific plate. Besides, the five times of climatic changes in pleistocene always jointed together with the above-mentioned two structural events to influence and to control the karst development. Many rates related to the lifting, descending, dissolution and deposition in typical karst regions have been calculated to discuss the karst geomorphological evolutions.

The polyphyletic evolutions in karst regions may be summarized into many models, but this paper introduced only some important ones. 1. The strong lifting evolution model: by the collision between the Indian plate and Eurasian Continent, which lifted the Himalayas strongly with unequal upwarped rates from lower than 1mm/a to about 50mm/a and is accompanied with the upwarping of Qinghai-Xizang plateau. It may be a typical example. 2. Continuous upwarping evolution model: The Yunnan-Guizhou plateau formed by continuous upwarping is an important region to study this evolution model. 3. Differential upwarping evolution model: for example in Three Gorges region of Changjiang River, where, resulted by from the upwarped Huangling Dome there, the lifting rates are different in its west and east limbs. 4. Slowly upwarping evolution model: for example in Guangxi and Guangdong, there are overlapped the strong development of the corrosion phenomena and landscapes in different stages of Quaternary. 5. wide descending evolution model: the bare karst landscapes formed in the early stage had descended widely to turn into duried condition. Fig. 6 can be used to express narrow settling evolution model in east Yunnan. The other two are denuded-exposed evolution model and marine environmental evolution model.