

文章编号 :1001-4810(2002)03-0165-08

中国云南石林岩溶形态类型与特征^{*}

李玉辉

(云南师范大学地理系,云南 昆明 650092)

摘 要 基于云南石林县的石林分布特点与研究现状,按照岩溶形态组合研究其环境的思路,对 400km² 的石林形态组合进行了研究,提出了石林形态的系统类型。石林组合形态可分为四个层次,石柱表面溶蚀形态 30 种以上,分割石柱体的溶蚀沟形态 3 种,石柱形态 6 种,其中的 4 种可称之为石林,石林地貌组合有 7 种。云南石林形态系统反映了石林多样性,其内含的信息(岩溶地质信息、区域环境信息和人类活动信息)值得深入研究,以深化石林地质遗迹景观的整体性认识。

关键词 云南石林;溶痕形态;中国

中图分类号 P931.5 **文献标识码** A

溶痕(karren karst)是广泛分布的溶蚀形态,因“保护着与过去气候有关的信息”而受到关注,但争议较多^[1],作为溶痕复合形态的云南石林有同样的情形^[2]。石林产出地点的情形不一,地形、地层岩性、地质构造、水文地质条件、生态环境状况等均有不同,各个地点的石林形态既有相似性,也有差异性。如何认识石林的分布,解释其内涵,既关系到石林的科学意义,也关系到对其整体保护开发与生态恢复建设。目前的研究,因其方法和研究范围不同,得到认识也不同^[3~19]。石林最显著的特征之一是其形态系统,但石林形态的系统分类和描述未见报道,本文对此进行探讨。

1 研究地点概况、研究思路和方法

1.1 研究地点概况

云南石林位于云南东部岩溶高原(滇东岩溶高原),分布于昆明市石林县^{*}境内,地理位置是北纬 24°30′~25°03′,东经 103°10′~104°40′之间,面积 400km²,海拔高度在 1600~1950m 之间,个别山峰海拔超过 2200m,地势东北高西南低,东高西低,自东向

西是岩溶山地向路南盆地过渡的缓倾斜岩溶坡地,石林成团或成簇分布于 1720~2000m 的缓坡地带。发源于缓坡地带北部山地的巴江,自北东端向南西经石林岩溶区进入路南盆地,在构造岩溶瀑布大叠水处汇入珠江上游南盘江。

研究地气候属亚热带高原干湿季风气候,但石林发育的地质历史气候经历了复杂变化^[16]。石林岩溶发育地层主要是下二叠统碳酸盐岩,其下是石炭系、泥盆系的碳酸盐岩和碎屑岩系,其上是上二叠统峨眉山组玄武岩和老第三系路南群的含白云岩和石膏的碎屑岩系。地层走向近南北向,向西倾斜,岩层倾角在几度至 10 度之间,二叠系、石炭系和泥盆系的岩层中有多组高角度节理,石林分布区的南北两端分别有北东-南西向的维则断裂与九乡石亚口断裂^[14]。

1.2 研究思路和方法

国际岩溶对比计划(IGCP-299)提出的依岩溶形态组合研究环境信息^[20],构成本研究基础。石林的形态组合包括:石柱(牙)形态、石柱表面溶蚀形态、分割石柱的溶蚀沟谷,以及石林与其它岩溶地形(溶蚀洼地、溶蚀盆地、溶蚀丘陵、溶蚀谷地、溶蚀坡地等)的组合。西方岩溶学者提出过各种溶痕系统方

^{*} 基金项目:云南省自然科学基金资助(99D0004R);石林研究基金资助(No.00010);云南省自然科学基金重点项目(2002-5-4)

作者简介:李玉辉(1957-),男,瑶族,博士,教授,从事岩溶地质与环境研究。

收稿日期:2002-06-05

^{*} 原为路南彝族自治县,1998 年改为石林县。

案^[1 21~27] ,并把石林归为复合溶痕形态。本文以文献^[26]的溶痕系统为基础,参照其他学者的溶痕分类,进行调查,提出石林岩溶形态类型,并简述其特征。

2 研究结果

2.1 石柱表面的溶蚀形态

2.1.1 溶蚀形态类型

根据地层岩石、岩石表面坡度、裂隙构造、覆盖物、水动力和植被等特点,石柱表面溶蚀形态有如下类型:

(1) 裸露岩面:溶蚀波纹(solution ripples)、雨蚀纹沟(rillenkarren)、溶蚀细沟(rinnenkarren)、复合溶沟(regenrinnen karren)、墙状溶沟(wandkarren)、溶蚀笛管(solution funnels)、刃脊状溶痕(blade or acrete- karren)、尖峰溶痕(spitzkarren)、雨蚀坑(rain pits)、溶盘(kamenitza or solution basin)、差异溶蚀斑块(selecting solution patches)或不规则溶蚀斑块(irregular solution patches)。

(2) 覆盖岩面(碎屑土层、植被、岩石、水面下):土蚀风化壳和均匀溶蚀面(subsoil weathering crust and undifferentiated rounded surfaces),溶蚀蜂窝(solution honey-bomb pits)、溶盘(边缘无溶蚀细沟)与溶坑(solution pits)、水平溶蚀凹穴(槽)(solution recesses)或溶蚀边槽(notches)、脚跟状溶痕(trittkarren , stepped karren)、生物根茎状溶痕(root karren)、溶蚀井或圆形溶槽(solution well , shaft , cylindrical solution well)、洞(孔)穴风化(cavernous weathering)和溶蚀穿洞(bedding caverns)、钟状或半钟状溶痕(bell or semi-bell karren)、溶蚀贝纹(solution scallops)、圆润状溶蚀沟(rundkarren or rounded karren)、楔状溶沟(cutters)、层间溶痕和层间溶蚀孔(洞)(bedding karrens)、颈状溶痕(neck karren)、沼泽溶痕(swampy karren)、顶蚀溶痕(deckenkarren)。

(3) 构造控制的溶痕:节理溶沟或劈理溶沟(klufitkarren or cleftkarren)、裂隙溶沟(grikes)和溶蚀廊道(solution corridors)。

(4) 残余型溶痕(remnants of karren):上述各种溶痕的残余形态,存在于发育和保存条件完全变化了的残余石柱上,以溶蚀细沟、溶蚀笛管、溶蚀贝纹、溶蚀井和溶蚀边槽的残余为多。

2.1.2 溶蚀形态特征

(1) 溶蚀波纹:见于阴湿环境的微晶、细晶灰岩表面,波长 1cm 左右,波高小于 1cm,波形不对称,岩石表面潮湿,似有面状水流,波纹表面有薄层生物钙化。 万方数据

(2) 雨蚀纹沟:分单体和复合体。单体规模是深 0.5~1cm,宽 1~4cm,长可超过 50cm;横切面多为半圆形,也有不规则的“V”型;组合形态有梳状、羽毛状、鱼鳍状,在倾角较小的平坦岩石表面上,可呈岛状或放射状组合。

(3) 溶蚀细沟:有直线型、曲线型,细沟脊部多呈尖棱状,细沟横剖面多呈“U”型,宽在 5cm 下,沟深在几毫米至 10 多厘米不等,长度变化大,几厘米到大于 100cm;在倾角较小的岩面,长度短,但深度稍大。

(4) 圆润状溶沟:在侵蚀揭露的岩石或萌生林与草灌植被中裸露的岩石的两侧多见,沟脊与沟底均较圆滑,沟谷形态浅“U”型,宽度大于 1cm,深度也大于 1cm,长度从几厘米到超过 10cm,下部宽度和深度变大。

(5) 复合溶沟:为雨蚀纹沟和溶蚀细沟、圆润状溶沟的改造型。雨蚀纹沟受微生物或藻类、地衣作用,宽度和深度变大,植被和薄层覆盖物会使溶蚀细沟的脊和槽变得圆润,地表水和雨水会使圆润的脊和槽变得尖锐。

(6) 墙状溶沟:陡峻或直立岩石表面的平行排列的溶蚀细沟或溶蚀笛管。各溶沟的长度变化大,一般可达直立岩墙的中下部,但往下溶沟变窄,并逐渐消失,如果进入土层或其它覆盖物,情况则相反。

(7) 溶蚀笛管:乃古石林石柱或石墙上部表现典型,似圆锥形管状,顶部直径几厘米至大于 20cm,往下变小,长度大于 30cm。常与溶蚀井分布在一起。

(8) 溶蚀井(照片 8,照片见文末,下同):石柱上的纵向圆柱形溶蚀形态,状如水井,直径可超过 5m,有学者称其为桶状溶痕^[16]。井壁上有纵向溶蚀沟纹、溶蚀细沟,也有多个高度的横向溶蚀凹槽和溶蚀贝纹,这反映了顶部下泻水流与地下水位变化的共同作用。有的学者依此认为石林是表层岩溶^[11]过程的产物。

(9) 溶蚀边槽:凹槽高几厘米至几十厘米,凹进深度可达 50cm 以上,长度可达几米。一些石柱上可发育有几个不同高度的溶蚀边槽,并与其它溶痕共存。

(10) 沼泽溶痕:分布于季节性或常年积水洼地边缘的岩石,溶沟间隔较大,沟槽竖立,沟脊平整或圆滑,似横向“U”形。

(11) 溶蚀贝纹:石柱的内凹弧形面,有规模小、大之分。前者是不规则的扇贝状表面,贝纹沟宽可达 2cm,贝纹脊高度小于 1cm,具有平滑圆润的内贝脊突和零星的小突起;后者是格状化的不规则扇贝表面文饰,皱波宽可达 5cm 以上,常有尖锐的内波脊突,高度

可超过1cm,其倾斜方向与水动力方向一致,为迎水面,

(12)脚跟状溶痕:出现于倾斜岩面,倾角在10度至30多度不等,为有开口溶坑或小溶盘,沿倾斜岩面呈串珠排列,并有溶蚀细沟连接,平面呈破口的不规则圆形和脚后跟状,直径几厘米至几十厘米,底部形态较平坦或圆盆状,深度从几毫米到几十厘米不等。部分脚跟状溶痕可转变成溶蚀笛管或小溶蚀井(槽)。

(13)溶盘或溶蚀小盆:出现于平缓的岩石表面,直径在几毫米至几十厘米不等,多数在几厘米,深度约为直径的1/2左右。顺岩石表面倾斜方向往往有开口,底部也可能有“漏斗”,与溶蚀笛管或小溶蚀井相通。在长期裸露的平坦岩石表面的溶盘周围可见溶蚀纹沟或溶蚀细沟;在阔叶森林中的溶盘,四周没有溶蚀细纹沟。

(14)雨蚀坑和溶蚀坑:前者是由裸露岩石面上的雨蚀作用形成,分布均匀,规模较一致,形状多为圆形,直径在近几毫米到2cm左右,深度小于直径;后者见于阔叶林中,呈圆柱体型,直径在几厘米内,深度大于直径,似小竖井,成群分布,与阔叶树叶片雨滴的滴蚀相关。

(15)溶蚀蜂窝:直径小于1cm的半球形深坑,密集成团分布,是近地面的土壤与微生物作用于岩石之结果。

(16)生物根状溶痕:为宽度和深度均在1cm以下的游离交叉型溶沟,出现于长有藤本和木本植物的裸露岩面,与植物的根茎作用有关。

(17)楔状槽沟:为近地表岩石顶部的“V”型槽,内填土壤等,平行排列,延伸超过20cm,到底部出现细小裂隙。

(18)洞(孔)穴风化和溶蚀穿洞:揭露的土下溶蚀形态,洞(孔)穴的直径几厘米到几十厘米不等,长度变化大,方向不一,既有单一洞穴,也有相互交叉的溶蚀洞穴,表面光滑。

(19)钟状或半钟状溶痕(照片9):出现于高大石柱或石墙下部,形状如倒扣的半球或圆形屋顶,半径10cm或大于100cm,顶部有溶蚀细沟或管状溶槽。

(20)层间溶痕和层间溶蚀孔穴:沿岩层面发育,形态差异较大,溶痕宽度在几厘米至10cm不等,层间溶蚀孔(穴)的直径也在几厘米和超过10cm,上下层面的溶沟与石脊可呈交错状。层间溶痕使上下层面间出现空隙,上部岩层积聚的水体下滴或冲蚀,使下部岩层的溶沟和石脊特别发育,出现滴冲刷型溶沟(decantation fluting)。顶部岩层消失后,下部岩层的沟

与脊可转变为剑状或尖峰状溶痕。

(21)尖峰状、剑状、刃脊状溶痕:石林的典型形态。前者顶部是小尖锥,其下有3~5个管状溶槽,尖锥为这些管状溶槽交汇的组合形态,以乃古石林景区为最典型,剑状溶痕是石柱上部状如刺刀或剑的溶蚀形态(照片2),大石林景区为代表,刃脊状溶痕是状如刀刃的石牙或石墙。

(22)土蚀风化壳和均匀溶蚀面:土下石牙表面的常见溶蚀形态。刚露出地表时,表面有白色粘土化或粉沙状壳,地表侵蚀使其平整光滑,在化学成分有差异的岩石表面会出现角砾状纹饰。

(23)颈状溶痕:石柱或石牙与土壤(A₀层)的接触处出现的横向内凹现象,上下石柱(牙)直径稍有变化,上部稍大,下部变细,差值在几厘米至10多厘米不等,常见于森林或草灌丛中的裸露石柱(牙),颈状溶痕下有腐殖质丰富的土层。

(24)顶蚀溶痕:存在于溶洞顶面、水平裂隙面和大型溶蚀凹槽内的悬空面,为直径在1~2cm的圆碟形,深1cm左右,较均匀分布。

(25)差异溶蚀斑块:出现于白云质灰岩的石柱,斑块颜色主要是黑白两色,黑色斑块多为白云石,浅色斑块多为方解石,大小在几厘米或超过10cm。另外,含有硅质结核、铁质结核、化石的岩体,也会产生差异溶蚀,留下差异溶蚀斑块。

2.2 石柱间的溶沟类型及特征

主要有节理溶沟、劈理溶沟(kluftkarren or cleftkarren)、裂隙溶沟(grikes)和溶蚀廊道(solution corridors)。

节理溶沟与劈理溶沟的规模相近,宽度与深度都在几厘米左右,长度不到100cm。裂隙溶沟的宽度小于100cm,长度几米至几十米,深度也在几米至大于10m。溶蚀廊道或溶蚀裂谷规模大,深度超过10m,长度可以超过1km。这些构造裂隙溶蚀沟的展布具有明显的方向性。在大石林,沿320°和50°两组高角度的共轭裂隙,形成了交叉分布的溶蚀廊道,受其控制,形成了北西向和北东向排列的石柱矩阵,石林公园北部的尖峰溶痕城堡和不规则多边形石林溶丘(照片7)也与大规模的溶蚀廊道发育有关。

2.3 石柱形态

有如下几类:

(1)柱状石柱(stalk-pillars)(照片4):分布于溶丘(或突岩)顶部、溶丘斜坡和溶蚀洼地中,柱体上下直径基本等大,高度从几米到20m不等,柱体上的溶痕呈残余形式,溶痕的尖锐特征钝化。

(2)塔状石柱(tower-like pillars)(照片5):分布在

起伏和缓的高原面、溶丘、岭脊上的上细下粗呈成层叠置状的石柱,像塔,高度可超过 20m。在中层和薄层状灰岩、白云质灰岩地层多见。石柱上有多达 10 层的层间溶痕和溶蚀穿洞,还可有墙状溶沟、溶蚀凹槽、溶蚀贝纹等。

(3) 蘑菇状石柱 (mushroom-like pillars) (照片 3): 分布于溶丘顶部或洼地、盆地边坡,形态独特,上粗下细,高度在几米至 10 多米,柱体的溶痕不完整,多为残余形态。此类石柱保留较少,多是单个出现。

(4) 锥状石柱(牙) (cone-shaped pillars, stone teeth): 典型的土下形态,顶尖下圆或刃脊状,高度在几米至 10 多米不等,表面较光滑,部分锥状体有细而密的溶蚀蜂窝、溶蚀穿洞(孔)或洞(孔)穴风化。主要出露于各种冲沟、劣地和溶蚀沉陷地,以及其它石柱类型附近的地面下。

(5) 尖峰、剑状-刃脊状石柱 (sword or blade-like pillars): 有两种类型,一是以大石林景区为代表;二是以乃古石林为代表。前者高度在几米到 40 多米不等,柱体分割,顶部为剑状-刃脊溶痕,往下分别有溶蚀贝纹、溶蚀井、溶蚀穿孔(洞)、溶蚀凹槽、生物根状溶痕,以及层间溶痕,石柱间的溶蚀廊道的宽度几十厘米至几米。后者的高度在 10m 至 30m 不等,上部 1~3m 内是大量的尖峰溶痕、溶蚀笛管和裂隙溶痕,中下部基本相连或仅有窄而深的裂隙溶沟或溶蚀井等,表面布满了黑白相间的不规则溶蚀斑块。

(6) 废弃石城 (ruinform karren rock city): 为孤立型大石柱,基部直径和高度比值在 5 以上,高度可达 20m,顶部平缓,可有溶盘、溶蚀纹沟和细沟,也见溶蚀穿孔(洞)、溶蚀井等,大型溶痕多呈残余形态。

上述各种石柱成群集中分布,则成为石林,主要有剑状石林、尖峰溶痕城堡、塔状石林、柱状石林。锥状石牙(柱)成片分布者,称之为石牙原野。

2.4 石林地貌组合

石林地貌组合是指各类石林与其它岩溶地貌(溶丘、岩溶高原面、溶蚀洼地、溶蚀盆地、溶蚀谷、岩溶坡地等)的组合,主要有石林溶丘、石林洼地、石林槽(谷)地、石林岭脊、石林坡地、石林盆地和尖峰溶痕城堡等。

(1) 剑状石林洼地 (pinnacle karst depression or Shilin karst depression): 剑状石林与溶蚀洼地的组合(照片 1、2),剑状石柱既可密集于洼地中心,也可零星见于洼地中心,但前者往洼地边坡,石柱减少,石柱高度变矮,后者往坡地石柱增多。石林洼地中心常见

地下暗河天窗或落水洞、漏斗等。

(2) 尖峰溶痕城堡 (spitzkarren rock city): 为突兀于高原面或开阔溶蚀低地的数个尖峰溶痕石城(墙),远观整体像城市住宅楼或古城堡,或像沿坡拾级而上的古城(照片 6),乃古石林为代表,长度和宽度不一的溶蚀廊道分割出多个尖峰溶痕城堡,自南而北逐级升高,在 1840~1900m 海拔出现 4 个层次的尖峰溶痕石城,其下是巴江河源头段的地下暗河网络。

(3) 石林谷地 (Shilin karst valley or Shilin karst trough): 剑状石林、柱状石林等与长条形的构造溶蚀谷或断续分布的暗河天窗地段的组合,石柱高度和石柱的分离程度向槽(谷)中心递增。

(4) 石林岭脊 (Shilin karst ridge): 柱状石林、塔状石林等分布于高原面和长条形垄岗上。塔状、蘑菇状石柱(照片 3、照片 5)常见,也有剑状石柱。

(5) 石林坡地 (Shilin karst slope): 剑状、柱状石林分布于溶蚀坡地内。

(6) 石林溶丘 (Shilin karst hills): 石林与溶丘(岩丘)的组合(照片 7),溶丘呈不规则多边形分布于高原面或大溶蚀盆地中。

(7) 石林盆地 (Shilin karst basin): 柱状石林或尖峰溶痕城堡或废弃石城散布于溶蚀盆地。几米至十多米高的石柱稀疏分布,柱体表面是溶痕残余。

2.5 石林地貌组合的空间变化

石林地貌组合在空间上具有一定的分布规律(图 1)。在公园北部,主要有石林岩丘、石林坡地和石林盆地、尖峰溶痕城堡;中南部(大石林景区至清水塘),则主要有石林洼地、石林谷地;南部(文笔山至大箐坡)一带则主要是石林岭脊、石林坡地、石林槽谷、部分石林洼地。与地层、地下暗河系统一起考虑,石林分布规律特征更为鲜明:九蟠山以西,是石林岭脊、石林坡地、石林洼地、石林盆地,并过渡为路南盆地,自东向西的地层变化是倒石头组、栖霞组、茅口组到老第三系的路南群,管道地下水动力系统发育,并与巴江河直接联系;九蟠山以东主要是石林溶丘和石牙原野、溶蚀洼地或溶蚀湖盆密集区,地层依次是倒石头组、石炭系和泥盆系,以汇流型的浅表层水动力系统为特点。

在九蟠山东南部(所各邑-豆黑-蓑衣山一带),石林溶丘、溶蚀湖盆转变为峰丛洼地,地层主要是石炭系、泥盆系,水动力系统是散流型浅表层水。从岩溶高

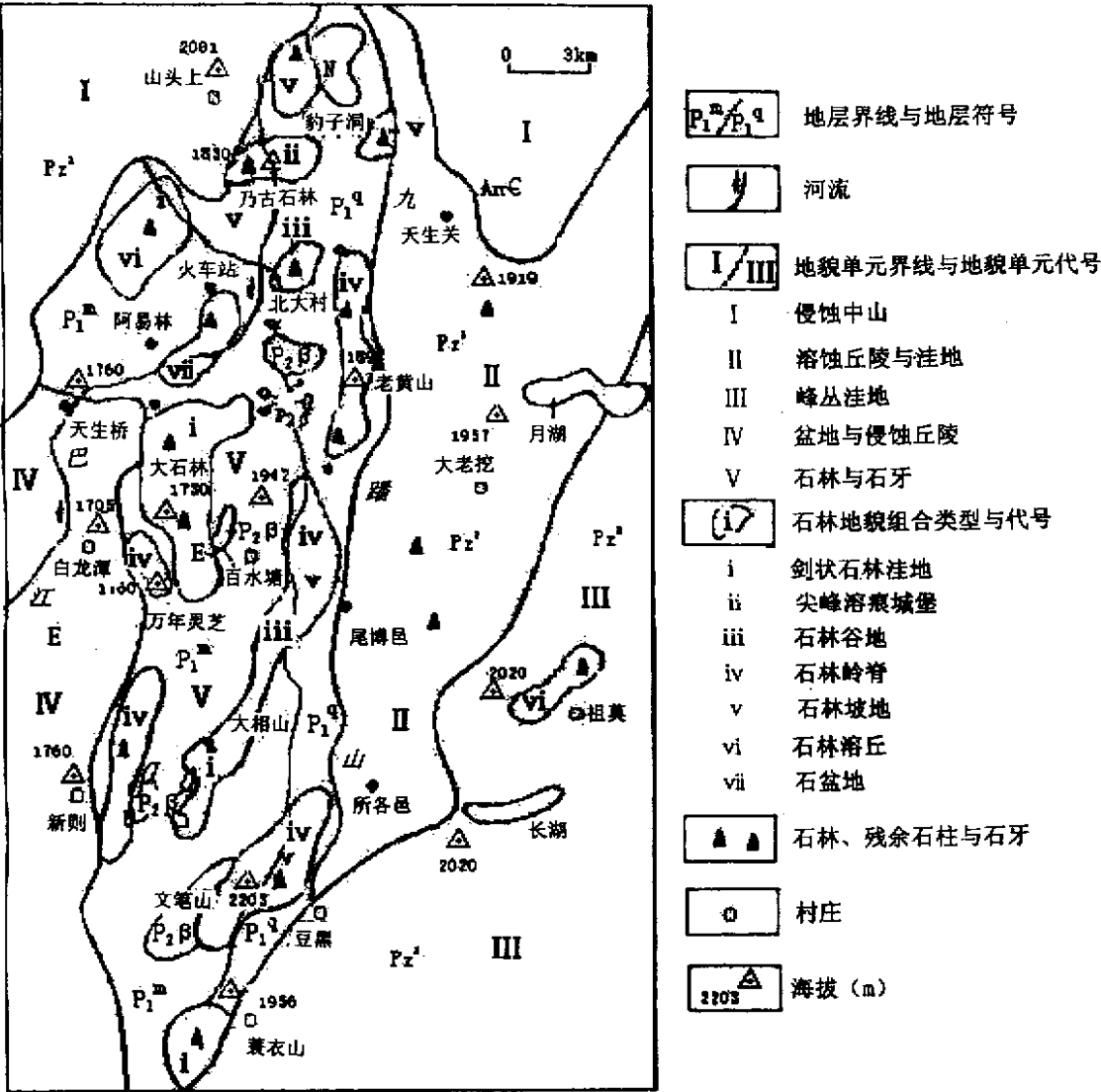


图 1 石林公园区域地貌结构与石林组合地貌分布示意图

Fig.1 Regional geomorphologic structure and composed pinnacle karsts in Shilin geo-park

原面经岩溶坡地到溶蚀湖或洼地,有石林岭脊、石林坡地、石林谷地、石林洼地的变化。

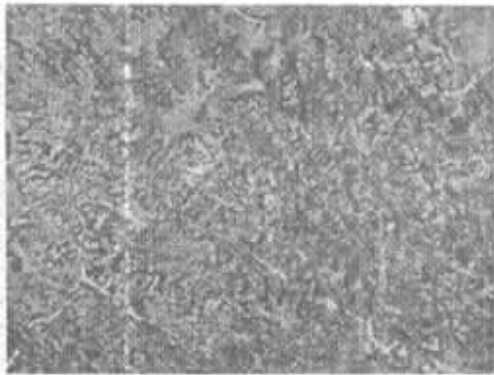
3 小结与讨论

(1) 石林是典型的岩溶形态组合类型,可分为四个层次:表面的溶蚀形态有 30 种以上,分割石柱体溶蚀沟有 3 种,石柱形态主要有 6 种,按石柱密集程度,有 4 种可称之为石林,结合石林分布的地形特征,分出 7 种石林地貌类型组合。

(2) 丰富而复杂的石林各层次溶蚀形态是石林

美学观赏价值的直接源泉,也是石林不同演化阶段的科学信息的载体。石林研究认识的差异可能源于石林形态组合认识程度的差异。

(3) 石林形态的多层次与复杂性反映了石林多样性,这是岩溶地质多样性与环境多样性的结果,既有岩性、构造和水文地质动力的作用,也有气候与生物土壤环境变化和人类活动的影响。从这个意义上说,云南石林价值丰富和不可替代,除了缺少海滨(岸)和冰川地区的溶痕,热带和温带地区的主要溶痕类型均在研究区出现。石林形态的系统研究是深入研究石林发育规律及其环境变化的基础。



照片1



照片2



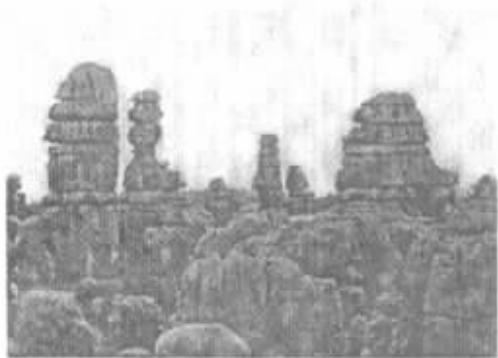
照片3



照片4



照片5



照片6



照片7



照片8



照片9

照片说明：

- 照片 1 航空照片(1 3000 原照片缩小) 剑状石林洼地(pinnacle karst depression or Shilin karst depression) :剑状石林分布于溶蚀洼地 ,内有暗河天窗 ,沿两组裂隙发育的节理溶痕、溶蚀廊道等。
- 照片 2 剑状石林(照片 1 的局部) acrete-pinnacle stone forest) :分布于洼地中的密集剑状石柱 ,柱体上有各种溶痕 :剑状刃脊状溶痕、溶蚀井壁、溶蚀槽沟、溶蚀贝纹。
- 照片 3 蘑菇状石柱(mushroom-shape pillars) :分布于溶蚀丘陵 ,石柱上有颈状溶痕 ,高大石柱低矮有后期揭露的土下石牙 ,以及层间溶痕。
- 照片 4 柱状石林(stake-like stone forest) :分布于高原面或大溶蚀洼地边缘的台地 ,柱体间的裂隙溶沟、石柱上的溶蚀细沟残余、溶蚀贝纹残余、锥状石牙与土下溶蚀面等。
- 照片 5 塔状石林(pagoda-shaped stone forest) :分布于溶蚀高原面 ,柱体上有层间溶痕、墙状溶痕 ,后期侵蚀出露的低矮石牙上有溶蚀细沟 ,以及小井状溶痕。
- 照片 6 尖峰溶痕城堡(spitzkarren ruiniform rock city) 突兀于高原面或溶蚀洼地 ,其下有暗河 ;基部相连 ;顶部为尖峰溶痕分割 ,石柱或墙体上有井状溶痕、下部有水平状溶蚀边槽。
- 照片 7 石林溶丘(Stone forest hills) :分布于开阔的溶蚀盆地 ,规则排列 ,溶丘上的残余石柱 ,石柱上的各种溶痕残余 ,溶丘坡面是后期揭露沿裂隙发育的土下石牙。
- 照片 8 剑状石柱上的溶蚀井(solution well) ,溶蚀井受后期改造 ,上有溶蚀贝纹残余、溶蚀细沟和横向溶蚀边槽等。
- 照片 9 钟状溶痕(bell or semi-bell karren)和溶蚀笛管(solution funnels)。

参考文献

[1] Fornós A. Joan-J Ginés(eds). Karren Landforms[A]. OVRICH 1996 : 163-192 225-242.

[2] 彭建. 中国石林发育研究进展[J]. 中国岩溶 ,2002 ,21(1) 67-72.

[3] 马希融. 云南石林地形学之初步观察[J]. 理科论丛 ,1939 (1).

[4] 卢耀如 赵成梁 刘福灿. 初论喀斯特的作用过程及其类型[A] 见 :第一届全国水文地质工程地质学术会议论文选编 ,喀斯特问题专集.[C]. 北京 :中国工业出版社 ,1966 :1-28.

[5] 杰显义. 云南东部地区喀斯特层组类型、古喀斯特及石林石林形成条件的初步探讨[A]. 见 :第一届全国水文地质工程地质学术会议论文选编 ,喀斯特问题专集.[C]. 北京 :中国工业出版社 , 1966 29-38.

[6] 中国科学院地质研究所岩溶研究组. 中国岩溶研究[M]. 北京 , 科学出版社 ,1979 :1-2 5 ,112-123.

[7] 任美镔. 中国岩溶发育规律的若干问题[J]. 南京大学学报(自然科学版),1979 4 95-104.

[8] 张寿越. 路南石林发育及其演进[J]. 中国岩溶 ,1984 ,3(2) :78-87.

[9] Yu Jinbiao , Wang Xueyu and Wang Zhonghan. Lunan stone forest , Yunnan Province -Its morphological characteristics and Paleo-graphical environments[J]. Kexue Tong Bao , Feb. 1985 219-223.

[10] 王雪瑜. 路南石林石英砂表面微形态的分析[A]. 见 :在喀斯特地貌与洞穴[C]. 北京 :科学出版社 ,1985 87-95.

[11] Chen zhiping , Song Linhua and Sweeting M. M. The Pinnacle Karst of the stone forest , Lunan , Yunnan , China : an example of a sub-jacent Kars[A].(Eds :Paterson K. & Sweeting M. M). New directions in Karst :Proceedings of Anglo-French karst Symposium[C]. Norwich , Geo Books Regency house , 1986 591-596.

[12] 袁道先. 中国岩溶学[M]. 北京 :地质出版社 ,1993.

[13] 袁道先. A global perspective of Lunan stone fores[A]. 宋林华等主编. 见 :石林 ,自然遗产中的珍宝[C]. 北京 :中国环境科学出版社 ,1997 68-70.

[14] 石林研究组. 中国路南石林岩溶研究[M]. 昆明 :云南科技出版社 ,1997.

[15] 刘星. 云南石林地区钙化的 RSR 测年及其地质意义[J]. 中国岩溶 ,1998 ,16(1) 9-13.

[16] 李玉辉 梁永宁 耿弘. 滇中路南石林的发育年代研究[J]. 中国区域地质 ,1998 20(1) 44-51.

[17] 李玉辉 杨一光 梁永宁 ,等. 云南石林岩溶发育的古环境研究[J]. 中国岩溶 桂林 2001 20(2) 91-95.

[18] Franci Gabrovsek Martin Knez Janja Kogovsec et al(eds). South China Kars[M]. ZRC SAZU , 1998 ,11-133.

[19] 章程 谢运球 姜光辉 ,等. 云南石林裂隙渗透张量特征[J]. 中国岩溶 2001 20(2) 97-100.

[20] 袁道先. 现代岩溶学和全球变化研究[J]. 地学前缘 ,1997 4(1-2) :17-24.

[21] Bogli A. . Kalklosung und Karrenbildung[J]. Z. Geomorph. Supp/bd. 1960 2 ,4-21.

[22] Sweeting , M. M. Karst landform[M]. MACMILLAN , 1972 233-306.

[23] Perna G. & Ugo Sauro. Atlante delle microforme di dissoluzione carsica superficiale del Trentino e del Veneto[M]. Trento : Museo Tridentino. 1978.

[24] Jennnings J. N. Karst Geomorphology[M]. Oxford , New York , BASILBlackwell ,1985.

[25] William B. W. Geomorphology and Hydrology of karst Terrains[M]. New York , Oxford University Press. 1988.

[26] Ford D. & Williams P. Karst Geomorphology and Hydrology [M]. London , UNIWIN HYMAN. 1989.

[27] Tadej Slabe. Rock relief of pillars in the Lunan Stone Fores[A]. In : Eds : Franci Gabrovsek et al. South China Karst [C]. ZRC SAZU , 1998 :11-67.

MORPHOLOGICAL TYPES AND THEIR FEATURES OF SHILIN KARST IN YUNNAN , CHINA

LI Yu-hui

(Department of Geography , Yunnan Normal University , Kunming , Yunnan 650092 , China)

Abstract : Based on the distribution of Shilin karst (Pinnacle karst) and progresses of Shilin karst research in Shilin county , Yunnan province , a systematical study on the forms of Shilin karst , about 400 km² in area , is made under principles of karst forms complexes . A typological classification of Shilin karst there is proposed and features of main forms are summarized . Four levels of Shilin karst forms are divided . There are more than 30 kinds of rock relief on pillar , 3 kinds of solution grooves which separating pillars , and 6 kinds of Pillars . The morphological system of Shilin karst in Yunnan reflects the diversity of Shilin karsts and contains rich information on karst geology , regional environmental change and human activity , that is worth to be studied so as to deepening the view to the integrity of Shilin karst as a geological vestige scenery .

Key words : Shilin karst in Yunnan ; Karst karrens ; China

《岩土工程学报》征稿、征订启事

《岩土工程学报》是关于土力学和岩石力学理论和实践的学术性科技期刊 ,创刊于 1979 年 ,由我国水利、土木、力学、建筑、水电和振动 6 个全国性学会联合主办 ,主编沈珠江院士。主要刊登岩土工程领域中的新理论、新技术、新方法、新仪器和新材料等 ,报道重大的岩土工程实录、先进的岩土工程科研成果和岩土工程相关的信息动态。主要栏目有黄文熙讲座、论文、短文、工程实录、展望 21 世纪岩土力学、焦点论坛和学术讨论等。

《岩土工程学报》是我国建筑和水利两个学科的中文核心期刊 ,分别于 1999 年和 2001 年获“ 自然科学基金基础性、高科技学术期刊经费 ”资助 ,先后被美国工程索引 Page One(Ei Page One) Current Awareness Service、中国学术期刊文摘、中国科学引文数据库、中国科技论文与引文数据库、中国期刊网等 10 家国内外评价与检索系统收录 ,并获得科协、水利部和江苏省优秀期刊荣誉称号。

《岩土工程学报》适合于土木建筑、水利电力、交通运输、矿山冶金、工程地质领域中从事岩土工程专业的科研、设计、施工和监理人员和大专院校师生。

《岩土工程学报》为国内外公开发行人 ,双月刊 ,大 16 开本 ,双栏排版 ,120 页 ,单月 30 日出版 ,每期定价 10 元 ,全年定价 60 元。国际标准刊号 ISSN1000—4548 ,国内统一刊号 CN32 — 1124/TU ,国内发行代号 28—62 ,国外发行代号 BM520 广告许可证号 江苏省工商行政管理局许可证 3200004020630。

热烈欢迎广大读者投稿、订阅和广告惠顾。本刊联系方式 :

编辑部地址 :南京市虎踞关 34 号(210024)

电话 025—5829553 ,5829556

E—mail :ge@njhri.edu.cn

传真 025—5829555

Web Site :http://www.cgejournal.com