

文章编号:1001-4810(2011)02-0138-07

云南石林石柱表面水平凹槽特征及其环境意义

李才库^{1,2}, 陈余萍³, 徐贵生⁴, 鞠大伟¹, 李艳美⁵

(1. 云南师范大学旅游与地理科学学院, 云南 昆明 650092; 2. 云南地质工程第二勘察院, 云南 昆明 650218;

3. 云南师范大学附属中学, 云南 昆明 650106; 4. 宜春学院高安校区, 江西 宜春 330800;

5. 楚雄师范学院, 云南 楚雄 67500)

摘要:以云南石林5 m以上石柱侧面的水平凹槽遗迹为研究对象,测量不同地形部位和不同海拔上的石柱高度、宽度,石柱地面高程、经纬度,石柱上土蚀凹槽层数、各层凹槽距地面的高度。统计表明:石柱上的水平凹槽遗迹有土蚀和水蚀作用形成的两种,水蚀凹槽长度平均1.77 m,长于土蚀凹槽(1.33 m);水蚀凹槽深度平均0.45 m,比土蚀凹槽(0.40 m)深;水蚀凹槽宽度平均0.25 m,小于土蚀凹槽(1.13 m)。调查点不同地形部位(溶蚀洼地底部、洼地斜坡、溶丘顶部)的石柱高度分别是14.00 m、12.3 m和11.30 m,平均高度12.53 m;不同地形部位石柱上的土蚀凹槽层数分别是5.0层、4.9层和4.7层,平均4.95层;石柱上第一至第三层土蚀凹槽距离地面的高度分别是2.00 m、4.09 m和6.20 m。经检验:土蚀凹槽的长、宽、深随海拔高度增加而减小,水蚀凹槽特征(长、宽、深)与海拔高度无相关性,两凹槽宽度有显著差异;不同地形部位石柱高度、凹槽层数及层高差异不显著,说明在石林发育演化过程中没有强烈的褶皱运动和差异性掀斜性升降活动,整体处于相对一致的构造环境中,岩溶作用均匀。

关键词:土蚀凹槽;水蚀凹槽;地形部位;海拔高度;云南石林

中图分类号:P931.5

文献标识码:A

岩溶动力系统记录着全球环境变化过程^[1]。云南石林岩溶是全球同类岩溶的模式,从最早的石林溶蚀形态特征研究(马希容,1937),到成功申报国家地质公园、世界地质公园和加入世界自然遗产地名录,人们对石林的形成过程已有较为系统的认识^[2-11],其要点可以表述为:处于盆地边缘分水岭地带的产状平缓的巨厚纯质碳酸盐岩地层,被两组高角度节理分割成棋盘状块体;干旱、湿润交替的古热带气候,富含生物成因CO₂的渗流水沿节理裂隙网进行溶蚀,将掩埋于土层之下的岩石块体切割成长方体或菱块状;地壳持续抬升,缓慢下降的地下水不断展宽、加深裂隙,上覆土层被侵蚀或被冲刷到岩石裂隙之中,并为地下水流所带走,埋藏在土下的岩柱暴露于大气,受到地表和地下的“双重剥蚀”作用,发育形成现在的岩

柱林立、溶沟纵横的石林景观。

石林是石柱与石柱表面各种溶蚀遗迹的集合体^[12]。石柱表面的各种溶蚀形态是气-岩、雨-岩、生物-岩、水-岩、土-岩等多相界面的溶蚀结果,形态类型多达30种以上^[13]。在众多溶蚀形态类型中,地面(或潜水面)与石柱交界面溶蚀留下凹槽痕迹^[3],土蚀凹槽和水蚀凹槽对应于土-岩界面和水-岩界面的岩溶作用,并与形成过程中地面、水面变化相联系,具有复原古地面、古水面,反应区域地壳间歇抬升的潜在意义。但这类研究报道鲜见。笔者通过云南石林地区地形剖面的石柱高度、土蚀凹槽层数及距地面高度测量,分析石林发育过程的地壳运动与环境变化特征,以丰富石林发育研究内涵。

基金项目:国家自然科学基金项目“喀斯特退化地质生态系统保护地的景观恢复机理研究”(40762004)

第一作者简介:李才库(1983—),男,硕士研究生,主要从事地质遗迹保护与地质公园管理研究。

收稿日期:2011-02-24

1 研究区概况

云南石林位于云南东部岩溶高原(滇东岩溶高原),属亚热带高原干湿季风气候,分布于昆明市石林县境内(图 1),地理位置北纬 24°30′~25°03′,东经 103°10′~104°40′。自东向西岩溶山地向路南盆地过渡,是南盘江上游与其支流巴江的分水岭,地势起伏和缓。

形成石林(石芽)的地层为泥盆系、石炭系、下二叠统栖霞组、茅口组碳酸盐岩,但闻名中外的路南石林岩溶景观主要发育于栖霞组和茅口组灰岩、白云质灰岩中^[2]。

石林公园范围内,地形由北、东、南向中西部缓倾斜,多数海拔 1 700~1 950 m,仅个别山峰海拔超过 2 200 m。石林分布面积超过 400 km²,呈条带状分布,北起乃古石林北,南至蓑衣山,东西宽约 10 km,南部和北部为发育于栖霞组白云岩地层的石林(黑色石林),中部是茅口组灰岩地层石林(灰白色石林)。石林成团、成簇分布于 1 720~2 000 m 的缓坡地带,任何地形的任何部位都有石林产出,但石柱多集中于洼地和斜坡,且分布密集,其它部位石柱较少且分布稀疏。闻名中外的大、小石林发育于公园中部的洼地和斜坡上。

本文调查了 11 个剖面上的石柱和石柱土蚀凹槽,分别位于石林公园的北部、西部和中部(图 1),集中于大小石林—李子园箐石林片区、清水塘石林片区和乃古石林片区,涵盖岩溶洼地、岩溶斜坡及岩溶高原面。洼地底部常有落水洞、溶蚀裂隙通道连接地下暗河。

2 研究方法

调查剖面涵盖岩溶洼地、岩溶斜坡、高原面,穿过

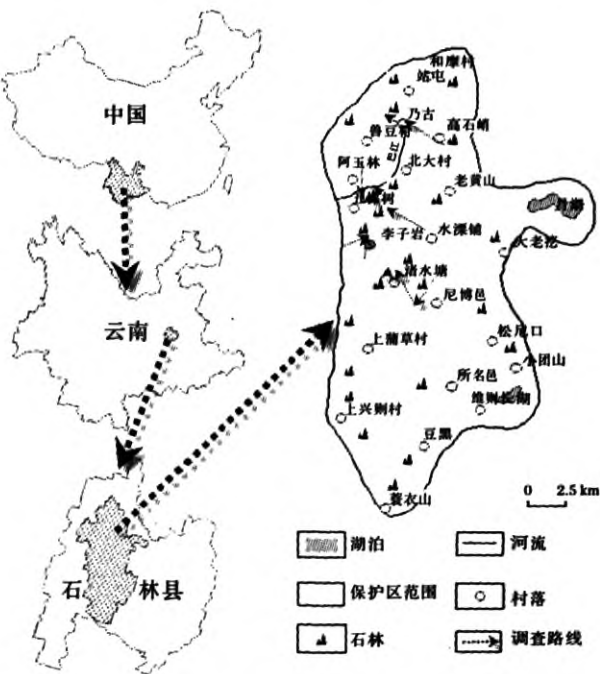


图 1 云南石林公园位置示意
Fig. 1 Location of the Shilin Park in Yunnan

一个或多个完整地貌地形单元(表 1)。沿地形剖面对高度大于 5 m^[2]、水平凹槽清晰可辨、凹槽层数明确的石柱进行调查。调查内容分别是石柱高度、石柱凹槽层数、各层凹槽距地面高度(凹槽高度指凹槽内凹最深处距地面的距离)、石柱地面高程及经纬度、石柱所处的地形部位、大石林洼地第一层水平凹槽规模(长、宽、深)。统计 11 个剖面的所有石柱高度、凹槽层数、层高,并分别计算其所在地形部位(洼地底部、洼地斜坡、高原)的特征数值,用 SPSS 软件进行多因素交叉重复分析检验,定量比较不同地形部位水平凹槽遗迹的空间变化规律。

表 1 石柱水平凹槽调查剖面特征

Tab. 1 The features of the section for surveying horizontal grooves on pillars

剖面号	地点	走向	剖面长度/m	石柱个数	地层岩性	地形地貌
1	四方塘至石林湖	WN30°	982	5	茅口组灰岩	洼地、岩溶湖
2	步哨山后至剑峰池	WN11°	6 044	7	茅口组灰岩	洼地、斜坡、天窗
3	万年灵芝景至李子箐	EN25°	3 020	12	茅口组灰岩	洼地、岭脊、岩溶湖
4	落马槽至李子箐	N	2 649	9	茅口组灰岩	槽谷、岭脊、洼地
5	小石林至剑峰池	WN20°	2 675	9	茅口组灰岩	斜坡、洼地
6	高石头至倒石头	SW15°	784	3	茅口组灰岩	溶蚀残丘、洼地
7	倒石头至仙女湖	NW5°	601	3	茅口组灰岩	洼地、岭脊、斜坡
8	蚂蝗塘	E	30	2	茅口组灰岩	洼地
9	高石哨至乃古	WN20°	3 576	7	栖霞组白云岩	高原面、盆地、天窗
10	乃古	WN15°	589	3	栖霞组白云岩	盆地、暗河露头
11	火车站至石林镇	NW20°	2 571	7	栖霞组白云岩	岩丘、巴江宽谷

3 结果与分析

3.1 石林石柱高度特征

石林由高度 ≥ 5 m 的石柱组成^[2],调查得到的石柱高度平均为 12.53 m(表 2)。石柱高度与地形部位有关,不同地貌部位间的石柱高度具有溶蚀洼地底部 $>$ 洼地斜坡 $>$ 溶丘顶部(高原面),但彼此间差异不显著($P \geq 0.170$)。这一方面说明石柱高度与海拔、地形部位有一定的相关性,但也同时说明石林发育过程中没有经历大的构造作用,地面侵蚀没有很大的地形、地区差异。

表 2 石柱高度及分布

Tab. 2 Height and distribution of the pillar

地形部位 (海拔/m)	石柱个数	平均高度 /m	标准差	显著水平 (P)
洼地底部(1 848~1 720)	19	14.00	4.979	0.170
洼地斜坡(1 857~1 737)	24	12.30	3.939	
高原面(1 896~1 771)	17	11.30	4.044	

3.2 石柱水平凹槽层数特征

高度大于 5 m 的石柱具有多层水平凹槽(表 3),平均 4.95 层,最多层数达 10 层,最少的只有一层。石柱水平凹槽层数洼地底部(5.0 层) $>$ 洼地斜坡(4.9 层) $>$ 溶丘顶部(高原面)(4.7 层),但不同地

表 3 石柱水平凹槽层数

Tab. 3 Statistic table of the layer number of horizontal grooves

地形部位 (海拔/m)	石柱个数	平均层数	标准差	显著性水平 (P)
洼地底部(1 848~1 720)	19	5.0	3.110	0.467
洼地斜坡(1 857~1 737)	24	4.9	2.422	
高原面(1 896~1 771)	17	4.7	1.740	

表 4 石柱第一至三层土蚀凹槽距地面高度的地形分布

Tab. 4 The heights of first to third layer grooves dissolved by soil moisture to the ground at different topography sites

地形	石柱个数			平均高度/m			标准差			显著性水平(P)		
	一层	二层	三层	一层	二层	三层	一层	二层	三层	一层	二层	三层
洼地底部	19	15	14	1.97	3.89	6.11	1.733	2.148	3.749	0.888	0.663	0.700
洼地斜坡	24	24	21	1.91	3.95	5.80	1.317	1.910	2.500			
高原面	17	17	14	2.13	4.43	6.68	1.286	1.700	2.891			

形的石柱上水平凹槽数差异不显著($P=0.467$)。

土蚀凹槽是地壳间歇抬升、地面侵蚀下降的直接证据。石柱凹槽平均层数洼地底部大于斜坡和高原面,结合石柱高度(表 2)说明凹槽层数与地形部位和石柱高度有一定关系。较高的石柱保留了更多层数的凹槽遗迹,野外调查发现高度超过 20 m 的石柱凹槽可达 10 层。不同地形部位凹槽层数统计无显著差异,说明在石林发育过程中,地壳属于间歇性、阶段性持续抬升,没有发生强烈的褶皱运动和差异性掀斜性升降。

3.3 石柱第一至第三层土蚀凹槽距地面高度

石柱有多层凹槽(可达 10 层),但石柱顶部凹槽由于出露地面早,雨蚀改造强烈,多数已模糊不清,石柱底部凹槽轮廓清晰,因此统计凹槽距离地面高度时仅选用第一至第三层高度数据进行统计。

石柱第一至第三层土蚀凹槽距地面高度平均分别约 2.00 m、4.09 m、6.20 m(表 4),每两层之间相距约 2 m。不同地形部位的石柱第一至第三层土蚀凹槽距地面距离差异不显著($P=0.888$ 、0.663、0.700),三层平均高度大小的顺序是高原面(4.44 m) $>$ 洼地底部(3.99 m) $>$ 洼地斜坡(3.89 m)。

凹槽是在地壳长期稳定、土面停留时间长、溶蚀充分的条件下形成的;两凹槽之间的凸出部分是在地壳抬升过程中地面快速侵蚀下降,土面停留时间短形成的。土面的稳定与快速侵蚀下降相间出现,这种条件在石林发育过程中非常重要。如果土壤长期保持稳定,石林会在溶蚀优势深度处形成穿洞,最终导致石柱倒塌;如果土壤长期保持快速侵蚀下降,石柱间土壤侵蚀殆尽,石林会因缺乏土下溶蚀对节理裂隙的拓宽加深而停止“生长”。统计显示,不同地形部位凹槽层层高无显著差异,说明石林发育过程整个地区地面侵蚀下降是均匀的,每次地面快速侵蚀下降幅度约 2 m,反映了石林发育过程中岩溶作用的均匀性。

3.4 水平凹槽成因类型和特征

高度 $\geq 5\text{ m}$ 的石柱水平凹槽的动力过程有土蚀作用(土蚀凹槽,照片 1)和水蚀作用(水蚀凹槽,照片 2)(图 2)。土蚀凹槽是地面长期稳定,石柱与地表土壤接触处通过土蚀作用形成^[13-15],一般发育深度是在现代土面下 40 cm 附近^[16],属与地面平行的内凹溶蚀面(图 2a),与土壤线基本重合。土壤侵蚀后,内凹溶蚀面

裸露,经雨水溶蚀改造,残余遗留在岩石上。这种内凹溶蚀面代表古土壤线的位置。土蚀凹槽与垂向溶槽(井状溶槽)的交汇处,形成半钟状溶痕^[13](照片 3);越靠近溶蚀洼地中心的石笋,凹槽规模越大,有时与管状通道相连,形成与小型水平溶洞相加的半钟状溶痕(照片 4)。

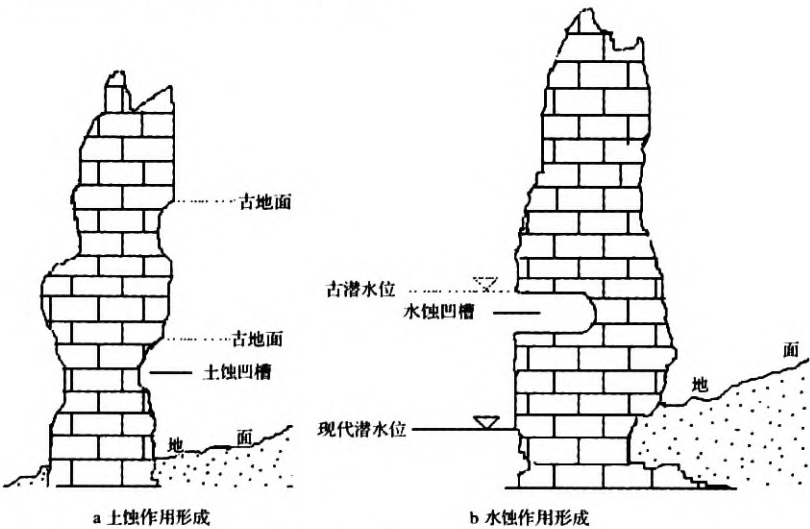


图 2 石柱上的两种水平凹槽遗迹示意图

Fig. 2 Sketch map of two genetic types of horizontal erosion groove's relic on the pillar

水蚀凹槽是潜水、暗河、地表河流、湖等水体侧向溶蚀碳酸盐岩形成的内凹体,沿水平方向展布,横截面呈横 U 形(图 2b、照片 2),是水体对石柱的溶蚀结果。水蚀凹槽代表了古水位线。水蚀凹槽成因差异也反映在形态规模上(表 5)。大石林景区溶蚀洼地



照片 1 两层土蚀凹槽(摄于步哨山后)
Photo 1 Soil moisture dissolved grooves with two layers (taken in the rear of Bushaoshan)



照片 2 水蚀凹槽(摄于阿玉林龙潭)
Photo 2 Water eroded groove (taken at Ayulin Longtan)

剖面测量结果表明,水蚀凹槽长度平均 1.77 m,大于土蚀凹槽(1.33 m),但差异不显著($P=0.178$);水蚀凹槽平均深度 0.45 m,比土蚀凹槽深,但差异也不显著($P=0.634$);水蚀凹槽高(0.25 m)明显地小于土蚀凹槽高度(1.13 m),差异水平极显著($P=0.00$)。



照片 3 半钟状溶痕,发育于垂直溶槽与
土蚀凹槽交界处(摄于大石林)

Photo 3 Half bell-shaped karren developed at the juncture of
horizontal groove and soil moisture dissolved groove
(taken at Dashilin)



照片 4 半钟状溶痕,发育于垂直溶槽、水平洞穴
和土蚀凹槽三者交界处(摄于大石林)

Photo 4 Half bell-shaped karren developed at the juncture of
vertical groove, cueva and water eroded groove
(taken at Dashilin)

表 5 水蚀凹槽和土蚀凹槽特征比较

Tab. 5 Comparison of features between the water eroded
groove and soil moisture dissolved one

特征	成因	凹槽 个数	均值 /m	标准差	T 检验 (Sig. 2-tailed)
凹槽长	水蚀	28	1.77	1.242 6	0
	土蚀	19	1.33	0.746 4	
凹槽高(宽)	水蚀	28	0.25	0.183 7	
	土蚀	19	1.13	0.589 8	
凹槽深	水蚀	28	0.45	0.201 8	0.634
	土蚀	19	0.40	0.419 3	

石柱水蚀凹槽高度变化较土蚀水平凹槽更为规则,尤其是在宽度和深度上。

结合石林地区溶蚀试片法测得的土下溶蚀率(约 32.7 mm/ka)^[2,17-18]和水化学法测得的综合溶蚀率(约 44 mm/ka)^[19],形成石柱底部土蚀凹槽(平均深度 0.40 m)和水蚀凹槽(平均深度 0.45 m)分别需要 12 000 和 10 000 年,二者时间相当,这是否表明石林地区地面或水面间歇性升降的时间间隔超过 1 万年,还需找到可以定年的数据资料予以对比论证。

3.5 石柱水平凹槽与海拔、地形的关系

大石林洼地完整地形剖面上石柱第一层水平凹槽的特征(长、宽、深)统计显示:石柱水平凹槽的长、宽、深表现出一定的关系(图 3)。海拔降低,石柱土蚀凹槽长度、宽度和深度都增加,海拔间的差异显著($P < 0.05$),溶蚀洼地底部石柱土蚀凹槽平均长度为 2.24 m,洼地边坡为 0.86~1.39 m,而溶蚀洼地顶部石柱的土蚀凹槽长度为 0.85 m;石柱土蚀凹槽的宽度在溶蚀洼地底部(1.88 m)和洼地上部石柱土蚀凹槽宽度(0.65 m)相差 3 倍;石柱土蚀凹槽的深度在洼地底部为 0.84 m 和洼地上部为 0.14 m,两者相差近 6 倍。体现了洼地不同部位水动力条件对土蚀凹槽规模有很大影响。

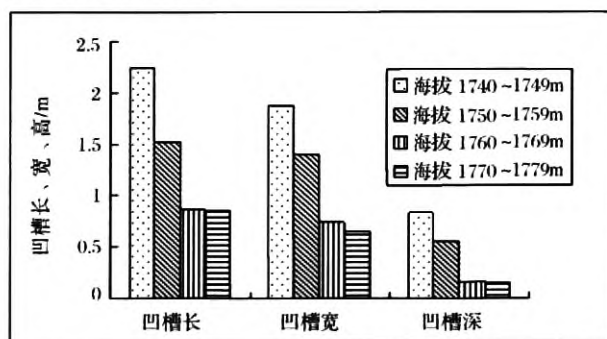


图 3 土蚀凹槽特征海拔分布

Fig. 3 The features of soil moisture dissolved
grooves at different elevations

石柱水蚀凹槽的长度、宽度和深度与海拔的关系不甚密切,各个海拔高度段的长度、宽度和深度间差异不显著($P > 0.2$)。水蚀凹槽与土蚀凹槽特征的差异(表 5)及其与海拔、地形的关系,表明二者成因、发育规模、形成过程有根本性的差异。

溶蚀洼地底部石柱土蚀凹槽宽度(高度)大,表明随土壤向下流失,石柱与土壤接触界面持续的发生土蚀作用,石柱底部凹槽不断下移。

石柱多层土蚀凹槽和水蚀凹槽以及石柱第一层土蚀凹槽宽度(高度)可达 1.88 m,表明水位或土壤

层的持续间歇性下降或流失,并向溶蚀洼地底部汇聚,如果洼地底部有落水洞或竖井,地表水或土壤经溶蚀洼地流入地下暗河。石林石柱发育的同时也是水土流失的形成过程。这同蔡炳贵等(2005)研究乃古石林洞穴沉积物(石笋)切片记录的结果一致^[20]。这个过程在新构造运动晚期巴江流域发生地貌回春运动更为显著^[21],石林石柱第一层土蚀水平凹槽宽度(高度)平均为1.13 m,这种土蚀作用下移形成的溶蚀特征是现代水土流失活动较强烈的记载。石林地区稀疏杂草地水土流失约0.05~0.1 cm/a^[20],在坡耕地为0.66 cm/a,那么在植被全部砍伐退化为稀疏草地后要形成离地面高1.13 m的土蚀凹槽需要1 130~2 260 a,而在土地利用类型转化为坡耕地后则只需要170 a,这与石林地区植被大量砍伐和耕荒时代基本一致^[22]。因此,石柱底部的土蚀凹槽特征与土下石牙一样能揭示环境变化(水土流失)过程。

4 讨论与结论

云南石林分布于高原面、溶蚀洼地、溶蚀槽谷、山岭脊等不同地形部位^[2],组成石林的石柱高度与地形分布有一定关系^[23]。本文对石柱高度和凹槽特征的研究结果表明,石柱高度尽管与海拔高度和地形部位有一定的相关性,但高原面、斜坡和溶蚀洼地底部(溶蚀谷地)上的石柱高度没有显著差异(显著性水平 $P>0.11$)。石柱表面的土蚀凹槽特征(水平凹槽层数、石柱第一至第三层距地面高度)在地形、海拔高度间差异不显著(显著性水平 $P=0.467$ 和 0.888 、 0.663 、 0.700)。这印证了石林地区石林发育演化过程没有强烈的褶皱运动和差异性掀斜性升降,自喜马拉雅构造旋回晚期(更新世)以来,石林所在地区相对于东西两侧断块,保持着持续稳定隆升^[24]。这表明自石林地区海西运动晚期以来持续隆升过程中碳酸盐岩地层被近垂直的节理裂隙切割成方格状块体,奠定了形成石林的构造基础^[3-4,25]。持续隆升过程中地表水、地下水和土壤沿节理裂隙侵蚀、溶蚀,使石柱高度增加而形成石林^[3,5,26]。多层土蚀凹槽表明这个过程是间歇性、阶段性的,整个地区基本一致,没有明显的差异,即石林地区整体处于相对一致的构造环境,岩溶作用均匀,由此造成石柱高度和石柱水平溶蚀特征也基本一致。

用石林地区溶蚀试片法测得的土下溶蚀率和水化学法测得的综合溶蚀率计算结果表明,形成石柱底部土蚀凹槽(平均深度0.40 m)和水蚀凹槽(平均深度0.45 m)分别需要12 000 a和10 000 a。这是否表

明石林地区地面或水面间歇性升降的时间间隔超过1万年,还需找到可以定年的数据资料予以对比论证。

致谢:本论文得到导师李玉辉教授的指导和帮助,石林公园管理局为野外调查提供便利,这里一并表示感谢。

参考文献

- [1] 袁道先. 岩溶动力学的理论探索与实践[J]. 地球学报, 2008, 29(3): 355-365.
- [2] 石林研究组. 中国路南石林喀斯特研究[M]. 昆明: 云南科技出版社, 1997, 20-23.
- [3] 袁道先. 中国岩溶学[M]. 北京: 地质出版社, 1994, 65-67.
- [4] 林钧枢. 路南石林形成过程与环境变化[J]. 中国岩溶, 1997, 16(4): 346-350.
- [5] 张寿越. 路南石林发育及其演进[J]. 中国岩溶, 1984, 3(2): 78-87.
- [6] 杰显义. 云南东部地区喀斯特层组类型、古喀斯特及石林形成条件的初步探讨[C]//第一届全国水文地质工程地质学术会议论文选编(喀斯特问题专辑). 北京: 中国工业出版社, 1966.
- [7] 俞锦标等. 路南石林形成时代及古地理环境的初步分析[J]. 南京大学学报, 1983, (2): 362-371.
- [8] 赵景波. 细粒松散沉积地层中垂直循环带岩溶划分[J]. 中国岩溶, 1999, 18(2): 116-121.
- [9] 何师意, 宋林华, 唐涛. 岩溶土壤中 CO_2 浓度、水化学观测及其与岩溶作用关系[J]. 中国岩溶, 1997, 16(4): 319-323.
- [10] 章程, 谢运球, 姜光辉. 云南路南石林裂隙渗透张量特征[J]. 中国岩溶, 2001, 20(2): 97-100.
- [11] 张捷. 福建永安石林地貌的现代生物喀斯特侵蚀营力[J]. 山地研究, 1994, 12(3): 136-140.
- [12] 李玉辉. 地质公园研究[M]. 北京: 商务印书馆, 2004, 167.
- [13] 李玉辉. 中国云南石林岩溶形态类型与特征[J]. 中国岩溶, 2002, 21(3): 165-172.
- [14] 彭建. 喀斯特流域演变路南石林发育研究[L]. 中国岩溶, 2002, 20-21.
- [15] 王在高, 杨明德, 梁虹, 等. 路南石林形态计量特征[J]. 山地学报, 2002, 20(5): 519-526.
- [16] 梁福源, 宋林华, 王富昌, 等. 路南石林地区土壤空气中二氧化碳浓度分布规律与土下溶蚀形态研[J]. 中国岩溶, 2000, 19(2): 181-187.
- [17] 刘宏, 吴文青. 路南石林现代喀斯特溶蚀速率研究[L]. 云南地理环境研究, 1998, 24(3): 213-219.
- [18] 谢运球, 何师意. 路南石林非可溶性盖层下的岩溶动力系统特征[J]. 吉林大学学报, 2003, 25(1): 59-62.
- [19] 李玉辉, 梁永宁, 任坚等. 滇中路南石林的发育年代[J]. 中国区域地质, 1998, 17(1): 45-51.
- [20] 蔡炳贵, 刘东生. 云南石林地区土壤侵蚀的石笋记录与现代观测[L]. 第四纪研究, 2005, 25(2): 171-175.
- [21] 彭建, 杨明德, 梁虹. 基于GIS的路南巴江喀斯特流域地貌演化定量研究[J]. 中国岩溶, 2002, 21(2): 90-94.
- [22] 李玉辉, 冯正清, 俞筱桢, 等. 云南石林公园植被重大变化与意

- 义[J]. 中国岩溶, 2005.
- [23] 王在高, 杨明德, 梁虹, 等. 路南石林形态计量特征[J]. 山地学报, 2002, 20(5): 519—526.
- [24] 云南省地质局水文地质工程地质队. 中华人民共和国区域水文地质普查报告(1:20 万), 宜良幅 G-48XXVI, 1977.
- [25] 彭建. 中国石林发育研究进展[J]. 中国岩溶, 2002, 21(1): 0067—06.
- [26] Derek Ford & Paul Williams. Karst geomorphology and hydrology [M]. the Academic Division of Unwin Hyman Ltd, Britain, 1989, 375—396.

The dissolved horizontal groove on stone pillar in Yunnan Stone Forest and its environmental sense

LI Cai-ku^{1,2}, CHEN Yu-ping³, XU Gui-sheng⁴, JU Da-wei¹, LI Yan-mei⁵

(1. Department of Tourism & Geography Sciences, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650092, China;

2. Yunnan Geological Engineering the Second Investigation Institute, Kunming, Yunnan 650218, China;

3. High School Affiliated to Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650106, China;

4. Gaoan Campus of Yichun University, Yichun, Jiangxi 330800, China; 5. Chuxiong Normal University, Chuxiong, Yunnan 675000, China)

Abstract: The study focuses on the dissolved horizontal groove around the stone pillars higher than 5 m in Yunnan Stone Forest. The height, width, elevation, latitude and longitude of the stone pillars at different topography sites and different elevation are measured. Further on, the number of layers of the soil moisture dissolved groove and the height of each layer to ground surface are metered. The statistics shows that the grooves are divided into two kinds, water eroded and soil moisture dissolved grooves, according their formation. The length of water eroded grooves are longer, about 1.77 m in average, but the soil moisture dissolved ones are shorter, about 1.33 m in average. The depth of water eroded grooves are deeper, about 0.45 m in average, than the soil moisture dissolved ones (about 0.40 m in average). The average width of water eroded grooves is about 0.25 m, and that of soil moisture dissolved is wider, about 1.13 m. The average height of the stone pillar is 12.53 m with the height of the stone pillars being 14.0 m at the bottom of the depression, 12.3 m on the slope and 11.3 m on the hill-top dividedly. There are 4.95 layers of groove in average totally, but 5.0 layers at the bottom of the depression, 4.9 layers on the slope and 4.7 layers on the hill top dividedly. The height of the one to three levels' grooves to the ground is 2.00 m, 4.09 m and 6.20 m dividedly. Upon inspection, there is significant difference in width between the two different genetic types of grooves. The length, width and depth of soil moisture dissolved groove decrease with elevation, but that of water eroded groove have nothing to do with elevation. There are no obvious differences in the height, number of layers and altitude in the grooves at different topography sites, proving that there was neither strong folding movement nor tilting uplift-falling movement but consistent geologic structure conditions during the formation of the stone forest that leading to uniform karstification.

Key words: soil moisture dissolved groove; water eroded groove; topography sites; altitude; Yunnan Stone Forest