第 21 卷 第 1 期
2002 年 3 月

中 国 岩 溶
CARSOLOGICA SINICA

Vol. 21 No. 1
Mar. 2002

文章编号:1001－4810(2002)01－0067－06

中国石林发育研究进展①

彭 建
(贵州师范大学资源与环境科学系,贵阳 550001)

摘 要:石林是指石灰岩在长期喀斯特作用下形成的由高 5m 以上的石柱组成的奇特的林状地貌,在我国及世界其它地方均有分布。本文主要从石林发育的条件、过程及模式、年代、古地理环境等几方面阐述了我国学者在中国石林发育研究中所取得的成就和进展。我国石林发育研究具有从单一研究向综合研究、从定性研究到定量研究、从单纯的逻辑推理到借助于现代仪器设备测试分析的发展趋势。但值得指出的是,我国的石林研究绝大部分集中于路南石林,其它地区的石林发育研究尚基本属于空白。因此,要全面认识石林发育的规律,还有待于对这些空白地区进行更加广泛、深入的研究。

关键词:中国;石林发育;研究进展
中图分类号:P931.5 文献标识码:A

0 引 言

石林是指石灰岩在长期喀斯特作用下形成的由高 5m 以上的石柱组成的地貌景观,是一种形态高大的石牙,国外称为针状喀斯特(pinnacle karst)。石柱的上部具由雨水淋溶形成的剑状喀斯特形态,而下部则为土下溶蚀作用形成的形态。在我国,最著名的石林当数位于滇东的路南石林,其形态之多变、石柱之高大、分布之广泛等都居我国之最,在国内外享有很高的声誉。就分布而言,除了路南外,在其邻近的师宗、罗平、弥勒、个旧,以及贵州兴义、修文、贞丰,四川兴文,湖北巴东,浙江淳安,福建永安,海南三亚等地也有分布,但均远远不及路南石林发育得完好。从纬度来看,在我国已发现的此类表层喀斯特,主要分布在北纬 25°～26°以南(部分达到北纬 28°,以至 31°)的热带、亚热带地区。此外,在马达加斯加、印尼、马来西亚的沙劳越穆鲁(Mulu)丘陵、巴布亚新几内亚的凯正德(Kaijend)山、巴西东部、澳大利亚东北部等地也有石林分布,它们的形态也很高大壮观。

石林分布区往往因其秀丽独特的地貌景观,而吸引了大量游客前往观光旅游,同时,其成因和发育演化也引起了喀斯特学者们的浓厚兴趣,但对石林成因的解释也不尽相同。在我国,除了少数学者对个别石林(永安鳞隐石林)进行过科学考察外,几乎所有关于石林的研究都集中于路南石林。因此,可以说路南石林的研究现状和进展代表了我国石林的研究现状和进展。

1 石林形成条件

关于石林发育的条件,马希融最早从岩性、地质构造、气候等角度进行了比较全面的讨论,认为石林是地表溶蚀的结果[1]。后来,杰显义认为石林的发育除了需要具备厚层或巨厚层灰岩、岩层产状水平或缓倾(倾角一般小于 10°)等条件外,还需处于包气带的水动力条件和处于分水岭的地貌部位等条件的配合方能发育[2]。这主要是由于厚层灰岩节理少且质地坚硬,有助于石林的高大化发育,但厚层并非石林发育

① 基金项目:石林研究中心资助项目(200007)
作者简介:彭建(1975－),男,贵州师范大学资源与环境科学系自然地理专业 99 级硕士研究生,主要从事喀斯特地貌研究。Email:pengjian-75@chinaren.com
万方数据
收稿日期:2001－09－29

的必备条件，在石林地区的阿考依发现有发育在中层灰岩上的石林。同时，产状和缓的岩层不但因其近垂直的节理而有助于石柱在溶蚀作用下的相互分离，而且也有利于增强石柱的稳定性。石林无疑是由喀斯特水沿节理垂直向下溶蚀而成，因此它必定是发育在包气带中。任美锷也认为近水平的厚层灰岩、分布在盆地边缘接近分水岭地带的地貌部位以及古热带的气候条件有利于路南石林的发育，并强调了古热带气候所起的作用[5]。俞锦标对此持相同观点，并在岩性对石林发育的影响方面做了进一步的研究工作。他分析了路南石林地区的化学成分、组构及成岩作用，探讨了不同结构的碳酸盐岩和石林类型空间分布间的规律。俞锦标先生发现在巨厚且产状平缓的亮晶生物碎屑(砾屑、团屑)灰岩分布区，发育的石林最为高大、挺拔；而在生物碎屑泥晶灰岩分布区，由于泥晶相对不易溶解，发育的石林也相对低矮；在硅质碳酸盐岩分布区，石林发育最差。他通过石林地区的沉积物、化石、粘土矿物和石英颗粒表面微形态分析认为，石林形成时期是一个干湿交替的热带气候，明显的干季促进机械风化和钙板的集聚，而雨季时高强度的降水，使地表形成暴流，生成洪积相山麓堆积和石林顶部冲刷沟、蜂窝状溶穴等形态[3]。林钧枢也认为，除了路南石林地区棋盘式的节理和裂隙为其发育提供了极为有利的条件外，古热带的气候条件和地势条件更是必不可少，甚至成为决定性的因素[4]。20 世纪 80 年代初，张寿越在考察路南石林后发现，有一半甚至 2/3 以上的石柱是埋在土中，即便裸露的石柱表面也有大量的以前曾被土壤覆盖后经剥蚀才露于地表的溶窝。因此，他更强调土下溶蚀的重要性。他认为，路南石林是在土壤的覆盖或半覆盖的条件下溶蚀而成，后来才经土壤剥蚀而出露地表，湖南龙山洛塔石林和云南个旧黄茅山采矿场也属这种情况[5]。袁道先等认为，路南石林及其附近的灵芝林等石林之所以发育得十分完好，是由于该处在气候、岩性、岩层产状、地质地貌等条件等方面有着独特的组合。第一，路南一带的地层为早二叠世碳酸盐岩，质纯层厚，易于形成粗大的岩柱；岩层产状平缓为石林形成的另一重要条件，路南石林的岩层倾角多小于 5°，受力后垂直裂隙发育且组成棋盘格式节理网，既有利于水的下渗和渗流带水的溶蚀作用，又有利于较高大石林的形成和保存；第三，从地貌条件看，汇水面积较大的碟形洼地较之平缓的斜坡和剥蚀面更有利于石林的高大石柱的发育；第四，岩柱的形成和土壤下的溶蚀作用密切相关，岩柱上的水平边槽、穿透的小孔洞和浑圆的波痕状岩壁，均是土壤覆盖条件下富含 CO_2 的渗流水溶蚀作用的结果[21]。赵景波研究过细粒松散沉积地层中垂直循环带的岩溶划分，它把包气带划分为三个亚带，即上部的非饱和循环强溶蚀带，受降水量的影响，其厚度变化在 1～10 m 间；中部的过饱和循环沉淀带；下部的不稳定循环溶蚀—沉淀带[6]，说明在土下深达 10 余米的地方，有可能发育石林。这为张寿越的石林形成于土下、剥露于地表的观点提供了一定的依据。

一些学者在论及石林发育的条件时，明确指出了处于分水岭地貌部位或夷平面的重要性。事实上，不论是分水岭还是夷平面，它们都具有一个共同的特征——分布有厚层的红色风化壳，风化壳上发育的酸性土为石林发育提供了极为有利的条件。但是，处于分水岭或夷平面的地貌部位并非石林发育的必备条件，因为有的石林(如贵州兴义的泥凼石林)并不是发育在这种条件下。一个有趣的现象是，虽然兴义泥凼石林发育在贵州高原往南的斜坡地带上，但其发育最典型的地段是在地形相对平坦的垭口和洼地或盆地底部，这里的土层较厚，在石柱的表面也广泛发育有类似于路南石林的土蚀溶窝。这种情况在贵州贞丰石林、天星桥石林、四川兴文石林普遍存在。因此，与其说石林发育的地貌条件是处于分水岭或夷平面地区，还不如说是有厚层土壤及其土下侵蚀的存在更准确一些。研究表明，土下溶蚀强度一般为气蚀的几倍，随着深度的增加，溶蚀强度逐渐增加，达到一定深度(约土下 40～60 cm)后，又逐渐开始减小[7,19]。因此，在理论上，似乎存在一个石林增长发育的最佳土层厚度，这个厚度受土壤 CO_2 含量、土壤结构、降水量等条件的影响。

对于土壤在石林发育中的重要作用，国外一些著名学者也予以了高度的重视。加拿大学者 D. C. Ford 认为在厚层的酸性土的覆盖下，石牙在强烈的溶蚀作用下，可以发育为高大的石林，路南石林尤为典型[8]。法国学者 J. N. Salomon 研究了表层沉积物和路南石林发育间的关系，强调了松散的碎屑盖层在石林发育中的重要作用，认为石林是先在渗流带中经土下溶蚀形成石牙及表土被剥蚀和石牙出露后，充填于溶沟间的土壤的进步剥蚀使石牙变得更加高大，这和我国学者张寿越的观点相似。同时，他还探讨了石林发育和其它地貌(峰林、峰丛等)的联系，认为石林主要发育在分水岭部位。

关于石林发育的地貌营力，除了上述提到的岩

万方数据

性、构造、地貌、气候、土下溶蚀、双重剥蚀等外，有的学者还提出了生物营力的作用，强调了石林的生物成因。如张捷等认为，“在暖湿气候条件下，藻类钻孔发育的速率也相当可观，因此石林地区地表现代侵蚀营力绝非仅仅来源于大气 CO_2 和降水，而应该包括其表面多种石生植物、微生物的侵蚀作用……同时，从生物溶蚀营力的分布性质而言，在灰岩裂隙及灰岩体的基部，由于潮湿而导致了更茂盛的藻类等生物的生长并产生相应的较强侵蚀作用，这种性质无疑是有助于柱状灰岩体的形成”[9]。

2 石林的发育过程及模式

许德祥考察了福建永安鳞隐石林，根据石林和邻近呈层状分布的喀斯特洞穴间的空间分布关系，认为鳞隐石林是由于地区性的构造抬升引起侵蚀基准面下降，导致地表径流通过开放式的垂直节理快速下泻，正是这种强烈下渗的水体不断地下切，拓宽垂直节理，使节理间的岩块逐渐孤立、缩束、拔高、耸立，最后相互分离而形成挺拔的石柱。在此基础上，他把石林的形成过程归纳为四个阶段：(1)胚胎期，喀斯特水主要沿地表流动，下渗为次，并沿坡面溶蚀出较为矮小、形态各异的溶沟石牙；(2) 青年期，地下洞穴系统基本形成，地表至地下的垂直通道已通畅，地表水流变成以垂直运动为主，水流的下切侵蚀快于侧向侵蚀，石牙逐渐拔高成为石林，有较丰沛的地表水供应是石林形成的条件；(3) 壮年期，由于某种原因(地表或地下河流袭夺等)，促使石林发育的丰沛地表水突然中断，流水的下切侵蚀不再进行，石林停止升高，地表水的运动又恢复到以水平为主，同时部分石林的根基因受到冲刷而使其稳定性降低，但受降水侵蚀的石林可以保存相当长的时间；(4) 衰亡期，石林经过长期的溶蚀、冲刷、淘蚀或遭遇地震破坏，广泛发生倒塌，高度降低，出现大片的空地，只有少量石柱尚挺立。同时，他认为，根据目前的情况判断，鳞隐石林的发育处于青年期[10]。

除了鳞隐石林外，其余学者关于石林的发育过程几乎都是针对路南石林而言。匈牙利学者 L. Jakucs 认为，路南地区的石林是在贫瘠的土壤、稀疏的植被和大量的降雨下，灰岩遭溶蚀而成，它们在外形上和温带的溶沟相似，仅仅是规模不同[11]。俞锦标等认为，石林是在古热带湿、热交替的气候条件下，暴雨沿裂隙表面向下垂直溶蚀、侵蚀而成[3]，但未涉及石林形成的具体过程。随后，张寿越在路南的考察后认为，石林是在石牙的基础上继承发育而来，而石牙在形成过程中的溶蚀作用有两方面，一是裸露在地表的碳酸盐岩受到降水的溶蚀，二是在土壤覆盖下的溶蚀。土壤覆盖或半覆盖下石牙的发育极为重要，因为土壤中富含生物成因的 CO_2，它们溶于下渗的土壤水中时，可大大增强其溶蚀力，进而显著地加快石林的垂向发育，而降水的作用仅仅是改造了石牙的顶部而已[5]。总之，石林是先在渗流带中经土下溶蚀而成，然后再通过表土的剥蚀而出露地表。陈治平等认为路南石林是下伏喀斯特(sub-jacent karst)发育的典例，第三纪的堆积物覆盖在二叠纪的碳酸盐岩上，此时的灰岩虽遭受侵蚀，但不一定已发育出针状石林。但是在整个第三纪和更新世中，渗流水经灰岩的上覆盖层下渗到碳酸盐岩层中。因此，在如此长时间内灰岩没有遭到任何溶蚀发生任何变化的假设是不切实际的，主要的针状地形可能是在老第三纪以后(尤其是更新世)在上覆盖层之下发育而成。当盖层被剥蚀后，石林出露地表，一些现代溶蚀特征(如雨蚀溶痕、溶盆)也开始发育起来，原来光滑的表面逐渐变得粗造不平[22]。袁道先持与陈治平相似的观点，认为路南石林按如下模式发育：近乎水平产出的层厚质纯灰岩，受到地壳应力的作用，产生几组高角度的节理裂隙，以 NW310° 方向的节理最为发育。起初，石灰岩被掩埋在土层之下，富含生物成因 CO_2 的渗流水沿棋盘格式纵横交错的节理裂隙网进行溶蚀，将岩石块体切割成长方体或菱块状，典型石林位于洼地底部，该处汇水条件好，地下水位的上下波动和大量的汇水使得裂隙随地下水位的缓慢下降而不断地被展宽、加深，长方形或菱块状体则不断地被削切增高，岩体内形成小的穿孔洞和边槽。后来，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。于是，原来埋藏在土下的岩柱暴露于大气，顶部受到大气降水的溶蚀、侵蚀，最终便形成现在的岩柱林立、溶沟纵横的石林景观[21]。林钧枢通过对比三亚、西双版纳等地现代石林的发育条件后，发现这些石林都是发育在湿热的热带气候条件下。并认为，路南石林是在低海拔的古热带气候条件下，在石牙的基础上，通过地表和地下的“双重剥蚀”作用下发育而成。由于现代生物气候和外力的质变，从此路南石林的塑造过程结束，石林的土下部分在表土被不断地侵蚀中剥露，使石林地表形体越来越高大与壮观，并伴有表面粗糙化，最终走向瓦解[4]。石林研究组[12]从 1995 年开始，对路南石林进行了较为

万方数据

全面系统地研究，认为石林是地壳持续抬升、地表溶蚀与地下溶蚀、面状溶蚀与线状溶蚀、顶部蚀低与基部加深加宽溶蚀等综合作用的结果，强调地表水体和地下水体的沟通是形成石林的重要因素。他们综合了前人的观点，对路南石林的发育过程进行了探讨，但并未明确指出到底属地表溶蚀而成抑或土下溶蚀所致。章程等认为，质纯层厚的碳酸盐岩高角度裂隙系统和盖层所提供的强侵蚀性裂隙水是（路南）石林形成过程中两个极其重要的因素。富含侵蚀性 CO_2 的水体把这些裂隙系统溶蚀扩大，并最终形成地下管网。这一过程可分两步进行：刚开始时，原生裂隙十分狭小，完全被水充填，水流缓慢，裂隙在溶蚀作用下缓慢拓宽；后来，当宽度增加到一定程度时，水流运动速度明显加快，导致水位下降，裂隙和管道的直径快速扩张，石林发育明显加速[19]。

笔者认为，石林的增长拔高，决定于三种剥蚀速率——裸露石林的剥蚀降低速率（A）、石林土下溶蚀加深速率（C）和表土剥蚀速率（S）的对比和组合。研究表明，C 一般数倍于 A。C 的大小受水体垂向下渗能力的影响，而水体的垂向运动受到流域基面、径流等因素的影响，当基面下降时，地表径流和地下径流间的垂向联系得到加强，从而增强包气带水体的下蚀能力。若 $A < C = S$，石林会不断长高；若 $A < C < S$ 或 $A = C < S$，石林会不断拔高，直至其底部的表土被侵蚀掉，此时 $A = C$，$S = 0$，石林停止长高，并在风化剥蚀作用下走向消亡；若 $A \geqslant C = S$（如当石林的底部接近地区性侵蚀基准面时），石林会停止增高，甚至逐渐变矮。事实上，石柱的土下部分一方面在土下溶蚀的过程中不断加深，另一方面又通过表土的剥蚀出露，从而增加石柱的高度，石林正是在这一过程中得以不断发育和保存。

3 石林的发育年代

近年来，不少学者应用现代测量技术和逻辑推理，围绕石林发育的年代期次和空间尺度进行了大量研究。但研究结果并不统一，有的认为石林的形成年代在老第三纪，有的认为是在晚第三纪，也有的认为是形成于第四纪，多数学者比较于倾向于第四纪。中国科学院地质研究所岩溶研究组根据石林只发育在晚第三纪的石林期剥蚀面上、早第三纪红色河湖相堆积充填在低矮的石牙与溶沟上面、石林期（晚第三纪）的夷平面切平了红色岩系等，认为石林的发育当与该剥蚀面同期[13]。俞锦标等根据石林和路南组和安仁组的接触关系，推断石林的发育应当在老第三纪始新世和渐新世早期[3]。林钧枢以石林发育的古气候和古地质条件为依据，认为石林的发育主要是在晚第三纪，现在的气候条件不利于石林的发育，虽然目前表土的不断剥蚀使其变得高大，但总体来讲，石林的演化正处于消亡的阶段[4]。后来，张寿越应用 Th^{230} 和 U^{234} 测龄法，并根据喀斯特发育规律，认为石林主要发育于早、中更新世晚期，并于晚更新世以来的这一时期内因表土的侵蚀而剥露出地表，并在此基础上，还阐述了石林区域在新生代的岩溶发育史[5]。谭明根据西江流域地表降低速率的测定分析认为，新构造运动以后，西江流域的喀斯特景观趋异发育，第三纪发育的石林不可能残留至今，并根据流域的剥蚀速率及相关的陆地淡水沉积，认为路南石林应形成于第四纪[14]。刘星运用 ESR 测年法，测定了路南石林地区钙华的生成年代，发现在早更新世（315～194 万年），石林地区发生了大规模的水化学溶蚀—运移—沉淀胶结作用，底砾岩的钙质胶结、古河道湖盆的钙华层的形成，反映出本区当时发生了碳酸盐岩的强溶蚀过程，有利于石林的发育；随后，冰期的到来，石林溶蚀生长的速度减慢；冰期之后，由于气候转暖、变湿，及地壳的抬升，石林进入了快速发育时期，奠定了现在石林的格局，并认为中—晚更新世是石林发育的最主要时期[15]。刘宏在石林地区通过溶蚀试片测定进行了现代喀斯特溶蚀速率研究，分析了降水、植被及地貌部位对溶蚀速率的影响，定量研究了石林地区地表面及石柱顶部的溶蚀速率为 10.4 mm/10^3a，土下平均溶蚀速度为 28.7 mm/10^3a，并据此算得在现代自然条件下，路南石林仍在以 18.37～28.7 mm/10^3a 的速度在增长，形成一颗 30m 以上规模的石林约需 163 万年，相当于中更新世的时间尺度[16]。石林研究组根据：(1) 晚二叠世早期的陆相玄武岩与古石牙间的充填、烘烤、接触热变质现象；(2) 始新统—渐新统路南群超覆于古石牙（林）间和洼地；(3) 路南群的沉积韵律及石林形态的空间分布规律；(4) 高原面上风化壳及钙华测年的结果，把路南地区石林的发育史追溯到二叠纪，并把自二叠纪以来的石林发育分为四个期次，即：(1)晚二叠世早期的前玄武岩期石林（牙），被玄武岩覆盖与烘烤，存在于古裂谷槽内；(2) 晚二叠世末期至古新世的前路南古湖期石林，被路南群超覆、充填，存在于岭脊、高原面和盆地内；(3)始新世至渐新世路南古湖期改造石林，石林主要残留于古湖盆

万方数据

外围；(4) 中新世至更新世的高原—巴江期石林，石林主要分布于小型分水岭附近的洼地、谷槽和盆地内，现存的剑状石林即是本期产物[12,18]。

近年来，一些南斯拉夫岩溶学者也到路南石林实地考察，并对路南石林进行较为全面的综合研究。如 Martin Knez 研究了大小石林、乃古石林和老黑菁等地石林发育的岩性特征，并测量了石林地区最近的剥蚀速率；Stanka Sebela 研究了石林发育的构造条件；Tadej Stabe 研究了石林地区不同环境条件下溶蚀速率；其它研究还涉及到石林地区的水文、水化学特征、联通试验及洞穴等[17]。他们的研究工作在一定程度上为全面认识路南石林的发育、演化提供了有益的启示。

4 石林发育的古地理环境

显然，现存石林是漫长历史时期岩溶作用的产物，因而研究石林发育的古地理环境对正确揭示石林发育规律具有重要意义。关于这一问题，俞锦标最先撰文探讨，并将其与石林发育联系起来。他根据与路南石林同期形成的地层、动物群化石性质等特征，发现在石林形成时(老第三纪)一个相当明显的干旱、湿润交替的热带气候，并位于我国华南早第三纪干燥气候带与其南湿润热带的过渡地带[3]。对于老第三纪以后的古地理环境，林均枢认为，在新第三纪，路南地区仍处在低海拔的热带环境，在这种环境下，经“双重剥蚀作用”塑造出石林。而进入第四纪后，由于云南高原发生强烈的掀斜抬升，东亚季风环流逐渐建立和完善，脱离热带环境，步入现在盛行的中亚热带季风气候，石林发育走向消亡[4]。李玉辉等认为路南地区现存的石林最早可追溯到二叠纪，并把石林发育演化的古地理环境分为有利于石林发育的时期和有利于石林保存的时期。其中，有利于石林发育的时期是：古湿热气候海岸边缘的早二叠世晚期、半干旱气候湖盆环境的早第三纪中晚期、低纬低海拔热带潮湿气候的新第三纪早中期及亚热带干湿季风气候的第四纪；有利于石林保存时期是玄武岩覆盖的晚二叠世、行星风系下的副热带干旱半干旱气候为主的中生代至早第三纪早期[20]。

5 结 语

(1) 中国石林发育的科学研究虽才经历了短短的数十年，但正是在这一短短的时间内，我们取得了比以往任何一历史时期都更丰硕的成果和更深刻的认识。石林的研究具有从单一研究向综合研究、从定性研究到定量研究、从单纯的逻辑推理到借助于现代仪器设备测试分析的发展趋势。石林发育的很多问题未取得统一的意见，尚存在重大的分歧和争议。在形成条件上，大多数学者都赞成质纯、层厚、产状平缓的灰岩和古热带的气候条件是石林发育的必备条件，而对生物、地貌部位的作用尚有不同意见；在发育过程及模式上，存在地表溶蚀和土下溶蚀的分歧，近年来的研究似乎更倾向于后者，经过深入研究后，有望建立石林发育的数学模型；在发育年代上，有老第三纪、晚第三纪、第四纪甚至二叠纪之争，石林的发育可能存在多期次，不宜把任何一种发育年代绝对化和一般化，同时，从石林这一地貌景观发育的保存的时空尺度来说，对古石林形成年代的判断应持谨慎的态度。

(2) 石林的研究绝大部分集中于路南石林，很多地区的石林和其它类型的石林发育研究的尚基本属于空白，还有很大的潜力可挖。路南石林的发育在很多方面有其特殊性，它的发育规律不可盲目地一般化，而应以谨慎的态度提取其科学的成分，并结合其它地区石林的对比研究，才能揭示出石林发育的一般性和特殊性。

(3) 石林是地表和地下“双重剥蚀”作用的结果，对石柱的溶蚀降低速率、土壤侵蚀速率和土下溶蚀速率及其组合关系对石林发育的影响应予以足够的注意。现在虽然已经做了部分工作，但还不够。就土下溶蚀而言，溶蚀强度的垂向变化、土层厚度对石林发育的影响等还需作进一步的定量化。

参考文献：

[1] 马希融. 云南石林地形上初步之观察[J]. 理科论丛，1936，1(1).

[2] 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[A]. 见：《第一界全国水文地质工程地质学术会议论文选编》第 2 辑(喀斯特问题专辑)[C]. 北京：中国工业出版社，1966.

[3] 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.

[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] 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.

[7] 何师意，等. 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.

[8] Derek Ford & Paul Williams. Karst geomorphology and hydrology[M]. the Academic Division of Unwin Hyman Ltd，Britain，1989：375－396.

[9] 张捷，等. 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.

[10] 许德祥. 永安鳞隐石林的成因分析[J]. 福建地理，1999，14(1)：

万方数据

9－11.

[11] Jakucs L. Morphogenetics of Karst Regions [M]. Adam, Hilger;Bristol. 1977:109.

[12] 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,1997,68－76.

[13] 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.

[14] 谭明. 喀斯特水文地貌学——理论、方法及应用研究[M]. 贵阳：贵州人民出版社,1993:105－114.

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

[16] 刘宏,吴文青. 路南石林现代喀斯特溶蚀速率研究[J]. 云南地理环境研究，1998,10(Sup.):114－121.

[17] Gabrovsek F, Knezm, Kogovsek J, et al. South China Karst 1 [C]. Zalozba Zrc, 1998.

[18] 李玉辉,等. 滇中路南石林的发育年代[J]. 中国区域地质，1998,17(1)：44－51.

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

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

[21] 袁道先,等. 中国岩溶学[M]. 北京：地质出版社,1994:65－67.

[22] Cheng Zhi Ping. Song Lin Hua and M. M. Sweeting. The Pinnacle Karst of the Stone Forest, Lunan, Yunnan, China: an example of a sub-jacent karst[A]. In: New directions in karst, Anglo-French Karst symposium(1983)[C]. Norwich, Geo Books, 1986:597－607.

THE STATUS QUO ON THE RESEARCH OF THE DEVELOPMENT OF STONE FOREST IN CHINA

PENG Jian

(*Department of Resource and Environment Science*, *Guizhou Normal University*, *Guiyang* 550001, *China*)

Abstract: Stone forest is a kind of unique forest-like landform composed of rock pillars, and distributed not only in China but also in other places of the world. From the aspects of conditions, processes, model, geological age and ancient geographical environment of stone forest development, the achievements in stone forest research made by Chinese researchers were set forth, and their research status was put forward. It is found that the research of stone forest is evolued from monodisciplinary to comprehensive research, from qualitative to quantitative research, and from merely logical deduction to the use of modern experiment. Meanwhile, the present research is mainly in the Lunan Stone Forest located in East of Yunnan province, and little is done in other places of China. Therefore, it is necessary for them to make a complete and deep research in other places in order to scientifically and comprehensively understand the law of the development of stone forest.

Key words: China; Development of stone forest; Status

再 度 启 事

为适应我国信息化建设需要和拓宽作者学术交流渠道,本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》、"中国期刊网"和"万方数据——数字化期刊群"。作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付,如作者不同意将文章编入该数据库,请在来稿时声明,本刊将做适当处理。

《中国岩溶》编辑部

万方数据