

“中国南方喀斯特”的世界自然遗产价值对比分析

熊康宁¹, 肖时珍¹, 刘子琦², 陈品冬¹

(1. 贵州师范大学中国南方喀斯特研究院, 贵阳 550001; 2. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715)

[摘要] 从地质地貌特征与演化历史方面, 结合世界遗产第 viii 条评价标准, 将“中国南方喀斯特”第一批三个遗产地置于全球视角进行对比研究, 揭示其全球显著价值: 云南石林形成演化历史最复杂, 石柱的形态最丰富, 代表一种独特的石林形成演化机制; 荔波锥状喀斯特锥峰单体最典型, 地貌组合形态最丰富, 代表典型的锥状喀斯特地貌特征, 反映出大陆热带—亚热带锥状喀斯特的地质演化模式与过程; 武隆峡谷喀斯特完整地展示了整个峡谷喀斯特发育演化系统, 例证了正在进行的新构造运动背景下峡谷喀斯特系统的演化过程。因此, 第一批遗产地代表中国南方喀斯特地区自古生代以来长期、多期演化历史; 代表地球热带—亚热带典型的锥状、石林和峡谷喀斯特地貌特征、形成演化机制及正在进行的地质过程; 代表地球三大喀斯特片区之最大片区的独特的自然地理特征。

[关键词] 世界遗产; 对比研究; 中国南方喀斯特

[中图分类号] P5 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2008)04-0017-12

1 前言

喀斯特是世界最卓越的景观之一, 主要由碳酸盐岩上发育的特殊地形及相关的生态系统组成^[1]。中国是世界喀斯特发育最典型的国家之一, 碳酸盐岩出露面积达 $1.25 \times 10^6 \text{ km}^2$, 是世界喀斯特比例最高的国家^[2]。“中国南方喀斯特”发育条件优越, 喀斯特面积占整个中国喀斯特面积的 55%, 成为中国乃至全球热带—亚热带喀斯特发育最典型的地区, 主要分布在以贵州高原为中心的贵州、云南、广西以及重庆、四川、湖南、湖北和广东部分地区。

“中国南方喀斯特”地区独特的地貌、生态系统、生物多样性、自然美景和演化进程, 具有显著的全球价值和意义。“中国南方喀斯特”是中国政府向联合国教科文组织世界遗产委员会提出的分批次申报的世界自然遗产项目。第一批提名地包括云南石林喀斯特、贵州荔波喀斯特和重庆武隆喀斯特(见

图 1), 2007 年 6 月在第 31 届世界遗产大会上审议通过。遗产地总面积 $146\ 016 \text{ hm}^2$, 其中核心区 $47\ 588 \text{ hm}^2$, 缓冲区 $98\ 428 \text{ hm}^2$ 。

“中国南方喀斯特”第一批世界自然遗产地出露的碳酸盐岩发育于不同地质年代, 经过几百万年的喀斯特作用, 塑造了显著的石林喀斯特、锥状喀斯特和峡谷喀斯特, 是世界上同类喀斯特的模式地, 形成了特殊而又美丽的地貌景观, 满足世界遗产的第 vii 和 viii 条评价标准, 即“具有超乎寻常的自然现象或非同寻常的自然美和美学价值”; “反映地球演化历史主要阶段的杰出范例, 包括生命的记录, 重要的、正在进行的地貌演化, 重要的地貌形态或自然地理特征”。遗产地还例证了大陆型热带—亚热带喀斯特森林生态系统发育与演化过程, 有潜力满足第 ix 条标准, 即“反映陆地、淡水、海岸、海洋生态系统和动植物群落正在进行的重要的生态和生物演化过程的杰出范例”。

[收稿日期] 2008-03-05

[基金项目] 《中国南方喀斯特》(云贵渝) 申报世界自然遗产, 国家建设部与贵州省建设厅、云南省建设厅和重庆市园林局委托项目 [建城景(2005)115/黔建景函[2005]111 号]

[作者简介] 熊康宁(1958-), 男, 重庆市人, 贵州师范大学教授, 主要从事喀斯特与洞穴、资源与环境及石漠化生态恢复等方面的研究, E-mail: xiongkn@163.com

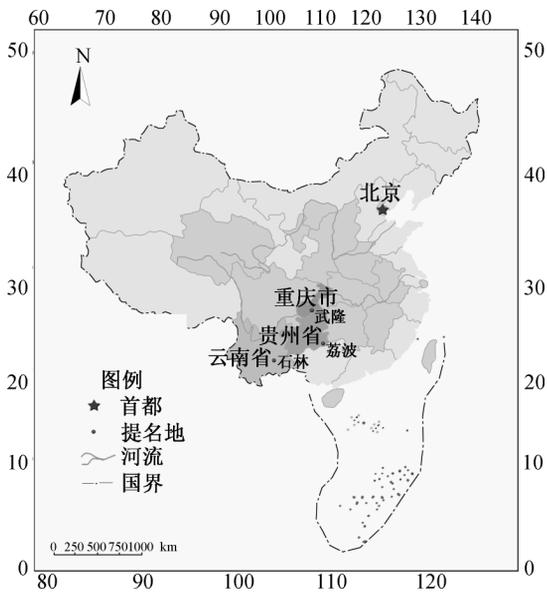


图1 “中国南方喀斯特”第一批世界自然遗产提名地在中国的位置图

Fig. 1 Location of the south China karst world heritage sites (phase 1) in China

“中国南方喀斯特”第一批遗产地的三种喀斯特地貌类型,在国内外的其他喀斯特地区均有不同面积分布。结合世界遗产第 VIII 条评价标准,按系统论思想,从地理学的角度,通过国际合作与交流、实地调查与测量、文献与资料收集等手段,将喀斯特地质地貌与世界自然遗产价值相结合、定性与定量相结合、面上调查与典型样区研究相结合,运用地理比较法以及综合分析法,将第一批三个世界自然遗产地与国内外相似地点进行对比分析,探索世界遗产第 VIII 条评价标准下“中国南方喀斯特”遗产地的世界自然遗产价值。

2 全球视角下的“中国南方喀斯特”

中国碳酸盐岩分布广泛,主要集中在三个大的区域,即南方以贵州为中心的“南方喀斯特”,北方以山西为中心的“北方喀斯特”和青藏高原地区的“高山高原喀斯特”。“北方喀斯特”位于半干旱温带地区,大部分地区仅仅有早寒武世晚期—中奥陶世(5.2 亿年~4.6 亿年)为碳酸盐岩沉积,且沉积厚度难以与南方相比;并且仅在华北地台的边缘地区有较厚的元古代的碳酸盐岩沉积,是带状分布,分布面积也难以与南方的扬子地台相比。北方碳酸盐岩还经常被其他岩石覆盖,如山西碳酸盐岩常被掩埋在黄土之下,不利于喀斯特发育。因此,北方喀斯

特主要发育一些规则小山、干谷、被黄土覆盖的石灰岩碎石、微小的溶痕、洞穴沉积物和不发育的较小的洞穴系统以及较大的泉点;“高山高原喀斯特”位于高山寒冷地区,气温低,缺乏喀斯特充分发育的水热条件,地表终年冻结或季节性冻结,喀斯特作用也受到很大抑制,主要发育一些石林、孤峰、石芽、穿洞、小型溶洞、天生桥、残余峰林^[3];而“中国南方喀斯特”地处热带—亚热带季风气候区,可溶岩面积出露大,受喜马拉雅构造抬升运动影响,岩石被切割程度大,非常利于喀斯特发育。因此,南方是中国喀斯特发育最为完美的地区,锥状、塔状、石林、峡谷喀斯特极其发育,洞穴系统也很发达,有些地区森林生态系统也保存得很好。因此,无论是喀斯特面积、地貌的发育程度、地貌类型的多样性,还是生态类型、生物多样性、景观价值等方面,“北方喀斯特”和“高山高原喀斯特”都远不能与遗产地所位于的“南方喀斯特”地区相比。

世界喀斯特地貌主要分布于东南亚、地中海沿岸、东欧、中东、美国东南部、加勒比海地区等,分为热带—亚热带季风型喀斯特、地中海型喀斯特、欧型(温带型)喀斯特和干燥型喀斯特^[4],各种类型的喀斯特地貌由于受影响的主要因素不一样而表现出不同特征。热带、亚热带季风区高温、多雨,植被长势好,溶蚀作用十分旺盛,形成发育十分强烈的喀斯特地貌。这不仅表现在地表喀斯特上,地下喀斯特也是如此。具体表现在如下几个方面:峰林发育得最好、漏陷地貌和谷坡发育、石芽和溶沟十分显著,石芽高大、洞穴发达;地中海型喀斯特即以南斯拉夫和意大利交界一带的喀斯特高原为代表,其气候的主要特征是夏季干热,冬季冷湿,水热条件不如热带,故喀斯特地貌不如热带典型。但地表及地下喀斯特仍相当发育,尤其以负地形为主。地表多见落水洞,溶蚀洼地,坡立谷,干谷与盲谷等,但缺乏发育完美的峰林;温带湿润气候区雨量及热量条件均较上述二带差,故喀斯特作用不强烈,地貌不明显,地表喀斯特以干谷为主,石芽、溶沟,落水洞及溶蚀谷地不发育。地下喀斯特以溶孔、溶隙和小型溶洞为主,缺乏大型溶洞;干燥地带气候干旱少雨,故喀斯特作用不强烈,地貌不明显。中国南方喀斯特地区属于发育十分完美的热带—亚热带季风型喀斯特,在世界喀斯特分布区中,十分引人注目,不仅裸露喀斯特面积最大,而且喀斯特地貌的多样性和典型性、生物生态特征等都是其他地区无可比拟的。因此,“中国

南方喀斯特”是地球大陆热带—亚热带喀斯特最具代表性的地区,反映了地球陆地一种独特的自然地理特征。

3 “中国南方喀斯特”遗产地的全球对比分析

3.1 与世界遗产地对比分析

至2006年底,全球总共有162处自然遗产、644处文化遗产和24处文化与自然双遗产,其中以喀斯特地貌和洞穴为主的或与喀斯特有关的世界遗产地共有47处,其中喀斯特及洞穴世界遗产名录共10处;以其他原因提名但包括喀斯特及洞穴的世界遗产名录共28处;含有喀斯特及洞穴的世界文化遗产名录共9处。

在10处以洞穴和喀斯特地貌进入自然遗产名录的地点(见表1)中,美国的卡尔斯巴德洞穴国家公园、猛犸洞国家公园、匈牙利和斯洛伐克交界处的奥格泰莱克岩洞和斯洛伐克喀斯特、斯洛文尼亚什科茨杨溶洞等皆是以洞穴为主要内容的世界遗产

地,以洞穴、地下暗河以及洞穴生物多样性为主要特征,与“中国南方喀斯特”第一批世界自然遗产地(石林喀斯特、锥状喀斯特和峡谷喀斯特)没有直接可比性;菲律宾的普林塞萨暗河国家公园与马来西亚的古纳穆鲁也是以洞穴和地下暗河为主要特征,但有一定面积的石林分布,可以与云南石林作对比分析;克罗地亚的普里特维察湖群国家公园主要以河流流经石灰岩、白垩所形成的钙华、湖泊等为特征,与“中国南方喀斯特”的正地貌特征差别较大,也没有直接可比性;古巴的德赛巴卡—格兰玛国家公园与卡博克鲁兹海洋阶地系统反映的是加勒比海地区构造抬升运动、全球气候变化和海平面波动共同作用下形成并保留下来的海岸阶地,喀斯特特征主要包括洞穴、谷地和落水洞,与“中国南方喀斯特”第一批世界自然遗产地没有直接可比性;越南的下龙湾和丰芽—格邦雨林国家公园具有热带—亚热带峰林喀斯特特征,与荔波锥状喀斯特具有一定可比性。

表1 主要以洞穴和喀斯特特征列入名录的世界遗产地

Table 1 World heritage sites inscribed specifically for their cave and karst features

世界遗产地	国家	年份	主要特征 / 列入理由	满足标准
普林塞萨暗河国家公园	菲律宾	1999	壮观的喀斯特景观、地下暗河和洞穴,巴拉望生物地理省最重要的森林,包括从高山到海洋的完整生态系统	vii, x
古纳穆鲁	马来西亚	2000	295 km 长已探洞穴,非常壮观而且成为蝙蝠与金丝燕栖息地,包括世界上最大的洞厅—沙捞越洞厅,洞穴堆积物及壮观的霏石和方解石针柱,150 万年的洞穴沉积系列,巨大的喀斯特垮塌漏斗和侧向均夷作用;喀斯特、蝙蝠、剑状石林、森林与洞穴生物多样性	vii, viii, ix, x
德赛巴卡—格兰玛国家公园与卡博克鲁兹海洋阶地系统	古巴	1999	抬升海洋阶地和正在发育的喀斯特洞穴、峡谷和落水洞,包括台阶状阶地与悬崖及其上发育的生态系统	vii, viii
卡尔斯巴德洞窟国家公园	美国	1995	80 多个洞穴,巨大的洞穴和丰富、多样和美丽的矿物形态,特别是 Lechu-guilla 洞(灰岩洞穴构成的大部分类型都有发现,包括长的通道和大型洞室、竖井、石笋、钟乳、石膏“花”和“针”,硫酸喀斯特化的极好实例,丰富的小型动物)	vii, viii
猛犸洞国家公园	美国	1981	世界最大的喀斯特洞穴系统、连续发育的洞穴形成物(一亿年前至今),大型穹顶深坑和丰的穴居动物	vii, viii, x
普里特维察湖群国家公园	克罗地亚	1979/2000	壮观的钙华坝和湖泊系统,完美的森林	vii, viii, ix
奥格泰莱克岩洞和斯洛伐克喀斯特	匈牙利/斯洛伐克	1995/2000	712 个洞穴,集中而多样化的洞穴类型,洞穴堆积物及一系列典型的温带喀斯特特征(包括文石及泉华建造和一个充满冰的深洞)	viii
什科茨杨溶洞	斯洛文尼亚	1986	由崩塌漏斗、地下河、瀑布等组成的石灰岩洞穴系统,喀斯特水文地质的教科书,正进行的地质作用	vii, viii
下龙湾	越南	1994/2000	由1600多座小岛组成,为宽阔而知名的海侵塔状喀斯特,世界上最重要的峰丛和峰林喀斯特区之一	vii, viii
丰芽—格邦雨林国家公园	越南	2003	东南亚最好和最显著的复杂喀斯特洞穴系统,展示了众多地球历史的证据	viii

据史密斯(2004)补充修改

在 28 处以其他理由列入、但具有重要的洞穴和喀斯特特征的世界遗产地(见表 2)中,有些为高山喀斯特,如法国/西班牙的佩迪山、印度尼西亚的洛伦茨国家公园等,有些为海洋或海岛环境下形成的喀斯特景观,如澳大利亚鲨鱼湾、豪勋爵群岛所罗门群岛景观、英国的亨德森岛、所罗门群岛的东伦内尔等,有的为钙华景观,如中国的黄龙和九寨沟、土耳其赫拉波利斯和斯帕穆克卡莱,且都只是以美学标准列为世界遗产的,有些为石英砂岩上发育的假喀斯特,虽然地貌形态与“中国南方喀斯特”有些相似,如澳大利亚的帕奴鲁鲁的蜂窝状锥峰和塔峰与荔波锥状喀斯特有些相似、中国的武陵源和云南石林有些类似、委内瑞拉的卡奈玛国家公园等,但是地貌发育的物质基础与“中国南方喀斯特”有显著区别,地质过程也与“中国南方喀斯特”区别甚大,如张家界石英砂岩峰林地貌是产状平缓的岩层在地壳

水平上升的影响下,流水沿构造破裂面的节理侵蚀及重力崩塌作用下而形成,无可比性;有些只是发育在喀斯特地区,但主要是以生物多样性价值列入,如泰国的通艾—卡卡恩河野生动植物公园、俄罗斯的西高加索、澳大利亚大兰山、澳大利亚哺乳动物化石地等,在地球历史与地貌特征方面与“中国南方喀斯特”没有可比性;还有一些只包含一些小的喀斯特区域,如新西兰的特威庞纳姆、俄罗斯的贝加尔湖、墨西哥的锡安卡恩、中国云南的三江并流保护区等,也不具备可比性;但加拿大的纳汉尼国家公园包括一个巨大的峡谷和一些洞穴、美国的大峡谷也包括峡谷、南斯拉夫的杜米托尔国家公园也包括一处峡谷,可以与“中国南方喀斯特”的武隆峡谷喀斯特进行对比研究;马达加斯加的钦基贝玛拉哈包括剑状喀斯特,可以与“中国南方喀斯特”的云南石林喀斯特进行对比研究。

表 2 具有重要的洞穴和喀斯特特征的世界遗产地(以其他理由列入)

Table 2 World heritages inscribed for other reasons but with significant cave and karst features

世界遗产地	国家	年份	主要特征 / 列入理由	满足标准
鲨鱼湾	澳大利亚	1991	位于喀斯特地区,海湾内有着不同的盐度分区,极好展示活着的叠层石沉积在里维雷斯雷(Riversleigh)(渐新世—中新世)和那若库特(Naracoorte)地区(世)的脊椎动物化石,那若库特地区有着显著的现代生物多样性	vii, viii, ix, x
澳大利亚哺乳动物化石地	澳大利亚	1994		viii, ix
塔斯马尼亚野生地区	澳大利亚	1982	众多的石灰岩和白云岩喀斯特地区,显著的地质和生物多样性	iii, iv, vi, vii, viii, ix, x
大兰山	澳大利亚	2000	包括耶呢兰(Jenolan)洞和一些小的喀斯特特点	ix, x
豪勋爵群岛	澳大利亚	1982	发育于风成砂屑灰岩和珊瑚礁灰岩的小的喀斯特区域	vii, x
帕奴鲁鲁	澳大利亚	2003	石英砂岩喀斯特景观,清楚显示砂岩中锥状喀斯特的发育过程	vii, viii
皮林国家公园	保加利亚	1983	石灰岩景观,包括湖泊、瀑布、洞穴等,其中一些由冰川作用形成	vii, viii, ix
加拿大落基山脉公园	加拿大	1984	卡斯嘎德(Castleguard)洞及其他一些洞穴	vii, viii
纳汉尼国家公园	加拿大	1978	壮观的喀斯特地貌,包括一个巨大的峡谷和一些洞穴	vii, viii
云南三江并流保护区	中国	2003	5千万年来伴随着印度板块和欧亚板块碰撞的地质历史,特提斯洋的闭合,喜马拉雅脉和青藏高原的抬升	vii, viii, ix, x
武陵源	中国	1992	石英砂岩上发育的类似于石林的地貌景观,特别巨大的洞穴和两个天生桥,其中一个高达 357 m	vii
黄龙	中国	1992	以宽阔而壮观的钙华池沉积景观著称,包括许多其他喀斯特特征	vii
九寨沟	中国	1992	主要为白云岩和钙华区	vii
亚历山大德洪堡国家公园	古巴	2001	大的岛屿高原,是已知的最具生物多样性的岛屿之一,既有石灰岩喀斯特,也有假喀斯特	vii, viii
佩迪山	法国/西班牙	1997/1999	与湖泊、隘谷、瀑布、冰斗和峡谷相伴的高山喀斯特	iii, iv, v, vii, viii
洛伦茨国家公园	印度尼西亚	1999	公园的大部分为高山喀斯特,有着壮观的地貌,遗憾的是最好的喀斯特只是邻近而未包括在公园范围内	viii, ix, x
钦基贝玛拉哈	马达加斯加	1990	难以进入的剑状喀斯特,至今调查程度低	vii, x
锡安卡恩	墨西哥	1987	位于育卡坦半岛巨大喀斯特陷落井的边缘,只有一小部分喀斯特包括在遗产区内	vii, x

世界遗产地	国家	年份	主要特征 / 列入理由	满足标准
特威庞纳姆	新西兰	1990	含有一些小的喀斯特区域,包括位于艾璐的奥如拉洞穴	vii、viii、ix、x
贝加尔湖	俄罗斯	1996	世界上最老和最深的湖泊,分水岭部分位于喀斯特区	vii、viii、ix、x
西高加索	俄罗斯	1999	北部区域为喀斯特,有着既深又宽的洞穴,一些洞穴含重要尼安德特人遗址,有很高考古价值但主要以生物多样性列入	ix、x
东伦内尔	所罗门群岛	1998	巨大且多样化的抬升珊瑚环礁	ix
通艾—卡卡恩河野生动植物公园	泰国	1991	西部喀斯特区域的多种保护地之一,从多项标准看,具有显著生物多样性价值	vii、ix、x
赫拉波利斯和斯帕穆克卡莱	土耳其	1988	壮观的钙华阶地、瀑布、湖泊等	iii、iv、vii
亨德森岛	英国	1988	相对未受扰动的抬升环礁	vii、x
大峡谷	美国	1979	世界上最壮观的峡谷,在红色崖壁的灰岩层中有遍布的洞穴,洞穴内有大量考古方面的遗迹	vii、viii、ix、x
卡奈玛国家公园	委内瑞拉	1994	世界上石英砂岩喀斯特的最杰出范例	vii、viii、ix、x
杜米托尔国家公园	南斯拉夫	1980/2005	跨越许多地层层位的巨厚灰岩地层,冰川湖,洞穴和塔拉峡谷为主要地貌景观	vii、viii、x

据史密斯(2004)补充修改

9处包含洞穴和喀斯特特征的世界文化遗产地(见表3)中,除了古巴的维纳勒斯河谷平坦山谷底部有锥形山丘喀斯特景观,可以与荔波锥状喀斯特

做简单对比之外,其余8处都没有强调其喀斯特自然特征和价值,与“中国南方喀斯特”第一批世界自然遗产地也没有可比性。

表3 包含洞穴和喀斯特特征的世界文化遗产地

Table 3 The cultural world heritage sites containing cave and karst features

世界遗产地	国家	年份	主要特征 / 列入理由	满足标准
周口店	中国	1987	位于古喀斯特的北京人发掘遗址	iii、vi
维纳勒斯河谷	古巴	1999	平坦山谷底部有着锥形山丘喀斯特景观,至今仍然保存着传统的农作技术,尤其是烤烟,有丰富的地下生物多样性	iv
韦兹莱峡谷岩洞群	法国	1979	约147个探明和重要的史前遗址,包括著名的拉斯括克斯和许多其他绘画洞穴	i、vi
琅勃拉邦城镇	老挝	1995	建于有着多样地貌的喀斯特地区,一些洞穴建有重要的庙宇	ii、iv、v
奇琴伊察前西班牙城市	墨西哥	1988	位于一个曾是主要献祭仪式点的巨大喀斯特陷落井周围	i、ii、iii
斯泰克方丹、斯瓦特克润斯、克罗姆德拉伊和郊区	南非	1999	一组含有最早猿人遗迹的喀斯特地点	iii、vi
阿尔塔米拉洞窟	西班牙	1985	最著名和丰富的洞穴艺术收藏地之一	i、iii
阿塔普尔卡早期人类洞穴遗址	西班牙	2000	包括欧洲人类最早期和最丰富的证据	iii、v
厄兰岛南部的农业景观	瑞典	2000	瑞典唯一广阔的石灰岩地区,一个有着各种地表喀斯特特征的区域	iv、v

据史密斯(2004)补充修改

3.2 石林喀斯特与相似地点对比分析

石林喀斯特地貌在国内外都有分布。从纬度来

看,在中国,石林喀斯特主要分布在北纬 25° ~ 26° 以南(部分达到北纬 28° ,甚至 31°)的热带、亚热带

地区^[5],如云南石林、罗平、弥勒、个旧,贵州兴义、修文、贞丰,四川兴文,湖南龙山,湖北巴东,浙江淳安,福建永安,海南三亚等地也有分布,呈现出大小不同、类型多样、分布不均、形态各异、各具特色的石林地貌景观,反映出典型的热带、亚热带剑状喀斯特特征。此外,在马达加斯加、印尼、马来西亚的沙捞越穆鲁(Gunung Mulu)丘陵、巴布亚新几内亚的凯靖德山(Mt. Kaijende)、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。主要选取与云南石林相似、具有代表性的喀斯特区域进行对比研究:湖南龙山洛塔、湖南花垣小排吾、四川兴文、浙江淳安、福建林隐、贵州泥凼、法国的蒙彼利埃(Montpelier - le - Vieux)、澳大利亚的南榜(Nambung)与奇丽阁(Chillagoe)、巴布亚新几内亚的凯靖德山(Mt. Kaijende)、菲律宾的巴拉望(Assegai karst of Palawan)、马达加斯加的贝玛拉哈(Tsingy de Bemaraha)以及马来西亚的穆鲁(Gunung Mulu)等。

3.2.1 地质背景

云南石林喀斯特是在特殊的地质背景下发育形成的,厚层、块状、倾角很小、质地很纯的碳酸盐岩为其发育提供物质基础,主要发育在总厚度达 365 m 的早二叠世栖霞茅口组灰岩,岩层的倾角都小于 5°,不溶物质含量低于 5% 且绝大部分为纯灰岩^[6]。地壳运动尤其是新生代喜马拉雅运动抬升使岩层节理十分发育,为其进一步发育演化提供动力;加之其两次被覆盖两次出露的复杂演化历史,而且未受到第四纪冰期的刨蚀,为石林保存至今提供庇护。总之,云南石林的形成功有着十分独特的地质背景,正是在这些条件的共同作用下才得以演化到今天如此壮丽的景观。与云南石林相比,虽然欧洲和美洲北部也有坚硬、块状、质纯的石炭系或志留系的石灰岩分布,也曾经发育了壮观的石林,但这些区域遭受大陆末次冰期(12 000 年以前)的刨蚀,壮观的石林未能幸存下来,只留下一些规模较小、石柱较矮的石林景观,如法国蒙彼利埃石林,最高的石柱也只有 12 m^[7];在中美洲和美国西部以及澳大利亚,很多碳酸盐岩是多孔的且具有渗透性,只经历了十分微弱的抬升作用,此外,中美洲石灰岩没有云南石林那么纯,也不能形成像云南石林一样尖锐的刀刃状石林^[8];菲律宾的普林塞萨暗河世界遗产地主要是以伴随着地下暗河和洞穴的喀斯特景观而出名,该产地内巴拉望石林也颇壮观,但是此处石林是发育

在第三系石灰岩上,灰岩相对年轻,发育演化历史也不长;澳大利亚南榜地区的石灰岩比较软,气候相对比较干旱,石灰岩柱与黄色沙地联系在一起,因此发育的石林与云南石林也有很大差别;国内的一些石林虽然与云南石林有着相似的地质背景,都拥有厚层块状灰岩,发育的历史也比较长,重庆万盛石林甚至还发育在奥陶系地层上,比云南石林发育地层古老得多,且也受到新生代喜马拉雅运动抬升的影响,但是,它们都没有经历云南石林独特的两次被覆盖两次出露的复杂演化过程;且云南石林位于和缓起伏的高原面上,而中国其他几处石林都位于山区,不利于石林的发育与保存,所以石林发育面积也远远比不上云南石林。

3.2.2 地貌演化

云南石林的形成功经历了漫长的历史与复杂的过程^[9,10],反映出热带—亚热带季风气候条件下,受喜马拉雅构造抬升运动的影响,在高原面上正在进行的石林喀斯特的地质过程与地貌演化,而其他相似地区石林地貌的形成功相对简单。就目前已经列为世界遗产的几处石林喀斯特地而言,菲律宾的普林塞萨暗河巴拉望石林的形成功只受到地表雨水溶蚀作用,相对云南地表溶蚀和土下溶蚀作用简单得多,更没有经历两次被覆盖两次出露的复杂演化历史;马达加斯加的贝玛拉哈发育石林的灰岩主要为侏罗系至中新统,现在呈现于眼前的石林地貌主要是在上新世至更新世、在雨水溶蚀作用下发育而成的^[11],所以马达加斯加的贝玛拉哈石林的发育与演化历史比云南石林要年轻得多、简单得多;马来西亚的沙捞越穆鲁石林的形成功也只有几百年的历史^[12],远远比不上云南石林的近 2.5 亿年的演化时期,且穆鲁地处赤道季风气候区,位于亚热带原始林区,年均降水量达 5 500 mm,雨水溶蚀作用非常强烈,也成为穆鲁石林发育的主要影响因素,没有经历像云南石林一样的土下溶蚀作用过程及两次被覆盖两次出露的复杂演化历史;就非遗产地来比较,巴布亚新几内亚的凯靖德山的演化历史也没有云南石林漫长,而且也只是单纯受到雨水对灰岩的溶蚀作用,没有经历被覆盖然后逐渐出露的发育过程,因此,凯靖德山的发育过程也没有云南石林复杂;澳大利亚的南榜石林虽然也经历了三个阶段的演化过程(出露——被沙覆盖——再出露),但是整个过程持续的时间不长,是 6 000 年前被覆盖然后几百年前再次出露的;澳大利亚的奇丽阁、法国的蒙彼利埃,

也没有经历像云南石林一样复杂的演化历史,而且成因也很简单。也正因为云南石林喀斯特经历了这样复杂的四期地貌演化,使分别形成于早二叠世、晚白垩世—古新世、始新世—渐新世、中新世—现今四个时期石林都得以保存在云南高原面上,成为地球热带—亚热带喀斯特演化不同阶段的证据记录,而其他石林由于演化历史简单,保存下来的石林也相对简单,反映的地球历史阶段也与云南石林不同,保存的记录也没有云南石林那么长。

3.2.3 石林形态特征

从石林石柱高度来看,云南石林的高度多从几 m 至 40 余 m,相对而言,比国内石林以及国外的部分石林地貌高,但却比不上巴布亚新几内亚的凯靖德山,那里的石柱高度有些超过 100 m 甚至达 150 m,从茂密的森林中穿透出来,可能是世界上最高的石林^[12];马来西亚的沙捞越穆鲁石林的部分石柱的高度也超过云南石林,达 45 m 以上,也是从热带雨林中伸出来。但从石林喀斯特石柱形态来看,云南石林由形态丰富的石柱成群分布而成,石柱形态主要包括剑状、柱状、塔状、蘑菇状、锥状、不规则状等,几乎囊括了所有的剑状喀斯特石柱形态。而国内外的一些其他石林喀斯特地貌的石柱形态虽然在某些个别形态上比云南石林更典型,如巴布亚新几内亚的凯靖德山、马来西亚的沙捞越穆鲁石林的剑状形态,但是它们只有剑状而没有其他形态,石柱形态相对云南石林单调;澳大利亚的奇丽阁为一些塔状峰体,只是在峰体顶部发育较密集的溶痕,剑状形态不突出;其他石林有些以剑状为主,有些以塔状为主,有的 2~3 种形态,但都逊色于云南石林。

3.3 锥状喀斯特与相似地点对比分析

锥状喀斯特主要分布在热带—亚热带喀斯特地区,包括贵州、广西、云南和湖南南部、广东北部等地,越南、老挝、爪哇、菲律宾、沙捞越、新几内亚、古巴、波多黎各、牙买加和墨西哥也有所见。主要选取以下与荔波锥状喀斯特相似、具有代表性的喀斯特区域进行对比研究:中国的桂林、泰国的 Phangnga Bay、瓜哇的千山(Gunung Sewu)、巴西的布尼托(Bonito)、波多黎各的 Arecibo—Manati、巴布亚新几内亚的大瑞山(Darai Hills)、牙买加的峰丛洼地(Cockpit Country)、越南的下龙湾(Ha Long Bay)和丰芽—格邦(Phong Nha—Ke Bang)以及古巴西部的热带喀斯特区的维纳斯谷地(Vinales Valley)等。

3.3.1 地质背景

荔波锥状喀斯特是在独特的地质背景下发育而

成的,发育在贵州高原向广西低地过度的斜坡地带、古老坚硬致密的块状碳酸盐岩、新构造运动的强烈影响等,为锥状喀斯特的发育提供有利而独特的条件。中国桂林由于受到强度不同的构造抬升运动影响,桂林西部地区构造运动相对稳定,发育了塔状喀斯特,桂林东部地区构造抬升运动较强烈,也有锥状喀斯特分布,然而桂林地区最著名、最典型的还是与荔波锥状喀斯特相差较大的塔状喀斯特;印度尼西亚爪哇岛的千山、美洲的牙买加和波多黎各也有类似于峰林地貌发育,但由于其石灰岩相对“年轻”,分别发育在中新统礁灰岩、侏罗系至第三系碳酸盐岩上,所形成的峰林的锥峰缺少陡崖,峰顶浑圆;巴布亚新几内亚的大瑞山是在中早期中新统的灰岩上发育的^[11,14],其发育历史相对较短,发育的锥状喀斯特也比荔波年轻;同时,其他类似地区的地貌除了广西桂林和巴西的布尼托之外,基本发育在海岛环境,如越南下龙湾海上峰林,以反映地球发育历史和自然美而进入遗产名录,该处地层为石炭系至二叠系灰岩,最先也发育了壮观的锥状喀斯特,但由于很大一部分被海水淹没,受到海水侵蚀,原来的锥状喀斯特斜坡崩塌,逐渐演化成塔状,形成了与荔波锥状喀斯特不一样的热带海侵环境峰林地貌景观;与越南下龙湾类似的还有泰国的 Phang Nga Bay,陡峭的石灰岩锥峰从平静的海面上高高耸立出来,高度多为 100 m 以上,锥峰底部多数受到海水的剥蚀,锥峰边坡垮塌,从而形成与荔波锥状喀斯特不一样的景观。

3.3.2 地貌发育演化与地质过程

荔波锥状喀斯特与其他相似喀斯特都反映出不同的地质过程。荔波锥状喀斯特反映的是热带—亚热带大陆高原斜坡地带地块抬升环境下正在进行的锥状喀斯特发育与演化过程,既包括峰丛喀斯特向峰林喀斯特逐渐过渡的正向演化系列模式(茂兰自然保护区片区),也展现了由于构造抬升运动影响而导致锥状喀斯特地貌由峰林喀斯特向峰丛喀斯特逐渐过渡回春发育过程(大小七孔片区);桂林塔状喀斯特反映的是热带大陆平原地区地块抬升速度很慢并相对云贵高原稳定的环境下,塔状喀斯特的发育与演化以及锥状喀斯特向塔状喀斯特逐渐演化的过程;而越南的下龙湾和泰国的 Phang Nga Bay 反映的是,热带锥状喀斯特在地壳抬升和海水入侵加大对锥峰的侧蚀作用而导致锥状喀斯特逐渐向塔状喀斯特演化并且大部分已经演化为塔峰的地质过程;

古巴西部的热带喀斯特区的维纳斯谷地主要是反映热带岛屿形成过程中,受到地下暗河的侵蚀作用,高原面逐渐瓦解成为塔状喀斯特的地质演化过程;巴布亚新几内亚的大瑞山反映的是热带海岛环境中早期中新统以来锥状喀斯特的演化过程;波多黎各喀斯特反映出热带海岛环境下峰林残丘的演化过程;巴西的布尼托反映米兰达河流及其支流对布尼托表层的侵蚀与溶蚀作用而导致孤峰形成的过程。

3.3.3 锥峰单体形态

荔波锥状喀斯特单个锥峰相对高度为 50 ~ 250 m,峰体平均坡度为 45° ~ 47°,为标准的锥状喀斯特锥峰形态。而中国桂林塔峰斜坡更为陡峭,有些峰体坡度达 90°,塔峰之间基座分开,呈单个孤立石峰,散布在平坦的冲积平原上,这主要与桂林地区可溶岩和非可溶岩相间分布导致外源水对喀斯特地区的作用比较强烈有关;印度尼西亚爪哇岛的千山形成的锥峰为峰顶十分和缓的半圆形喀斯特山丘,大小几乎一致,高 30 ~ 60 m 左右^[15],直径 200 m,展布面积 1 000 km²;牙买加的峰丛洼地也是发育类似的锥状喀斯特,但锥峰高度相对荔波较低,而且多呈浑圆状,锥峰坡度多在 30°左右^[16],锥峰形态没有荔波典型;菲律宾的锥状喀斯特与牙买加的峰丛洼地较为相似,锥峰峰体浑圆、分布均匀,高度 30 ~ 50 m,还因锥峰呈浑圆状远远看去就像巧克力群、而且秋天锥峰草坡的颜色会变成棕黄色而被人们形象地称为“巧克力喀斯特”;位于古巴西部的热带喀斯特区的维纳斯谷地,主要是因为保留有延续若干世纪的种植烟草的农业传统而成为世界文化遗产地,也发育峰丛谷地和一些孤峰平原,和“中国南方喀斯特”遗产地有一定的可比性,但其灰岩石峰的峰顶呈圆丘状,而石峰边坡比较陡峭,锥形不明显,平原上的石峰高度较低,石峰高度与直径之比远低于中国南方;越南的下龙湾和泰国的 Phang Nga Bay,锥状山峰基部已经受到海水的侵蚀,峰丛逐步演化为峰林,锥峰两坡也逐渐变得更为陡峭,坡度增大,因此,锥峰也逐渐向塔峰演化,以塔状喀斯特为主,锥峰单体形态也与荔波锥状喀斯特典型的锥峰有显著区别;波多黎各的喀斯特以塔峰为主,而且塔峰不高,多在 25 m 以下^[17],多为一些残丘,与荔波锥状喀斯特差别较大;巴布亚新几内亚的大瑞山锥峰边坡坡度不大;巴西的布尼托也由浑圆的、高度不到 100 m 的残丘组成^[18],类似于加勒比海热带孤峰,残丘基部多见崩塌物等。可见,荔波锥状喀斯特

的锥峰单体十分独特和典型,明显区别于其他地区类似地貌。

3.3.4 地貌组合形态

考虑影响喀斯特地貌发育的正负地形,将锥峰(正地形)与一些负地形联系在一起进行研究,提出了锥状喀斯特的锥峰与负地形的组合形态^[19,20]:峰丛洼地、峰丛谷地、峰丛峡谷;峰林洼地、峰林谷地;峰林溶原、峰林盆地和峰林台地。荔波锥状喀斯特组合形态包括峰丛喀斯特与负地形的所有组合形态以及峰林喀斯特与负地形组合形态的大部分:峰丛洼地、峰丛谷地、峰丛峡谷、峰林洼地(坡立谷)和峰林谷地,而且都非常典型。而中国桂林主要以峰林喀斯特系列为主,所以峰林喀斯特组合形态比较齐全,而峰丛喀斯特组合形态仅表现为峰丛洼地;越南的下龙湾和泰国的 Phang Nga Bay 也是以峰林喀斯特系列为主,峰林谷地、峰林洼地、塔状孤峰和残丘比较多,峰丛喀斯特系列地貌组合类型很少;瓜哇的千山、牙买加的峰丛洼地等以峰丛为主,但组合形态以峰丛洼地分布的面积最大,而峰丛喀斯特系列的其他组合形态很少,组合形态相对荔波锥状喀斯特组合形态单一得多;巴布亚新几内亚的大瑞山也是以峰丛洼地为主,且洼地较少、尺度较大,没有坡立谷;古巴的维纳斯谷地主要以峰林谷地为主,也有一些漏斗分布,但缺乏峰丛喀斯特系列组合形态;巴西的布尼托以峰林溶原居多;波多黎各的喀斯特也只是表现为一些峰林谷地,峰丛洼地和残丘。

3.4 峡谷喀斯特与相似地点对比分析

喀斯特峡谷在全球广泛分布。大型峡谷如世界著名的中国长江金沙江段的虎跳峡、三峡和美国的科罗拉多大峡谷,中、小型喀斯特峡谷更是不胜枚举。主要选取中国的舞阳河峡谷、马岭河峡谷、中国台湾的太鲁阁峡谷、英国的车达峡谷(Cheddar Gorge)、美国的大峡谷(Grand Canyon)、加拿大的纳汉尼国家公园峡谷(Nahanni)以及南斯拉夫的杜米托尔国家公园(Durmitor National Park)中所包含的峡谷与武隆峡谷喀斯特进行对比分析。

3.4.1 峡谷喀斯特系统

在武隆峡谷喀斯特系统内的天生三桥喀斯特系统^[21],其核心段长约 2.1 km,由天龙桥、青龙桥和黑龙桥三座天生桥,青龙天坑和神鹰天坑两个天坑以及神鹰峡谷等要素组成,构成“三桥、二坑、一峡谷”的峡谷喀斯特体系,完整的记录峡谷喀斯特演化阶段,是研究峡谷喀斯特形成、发育、演化的良好

场所。此外,系统内还包括伏流、洞穴等其他要素,共同构成峡谷喀斯特系统完整性。峡谷与天坑组合构成了宏大的天生桥群,成为峡谷喀斯特演化阶段的证据,峡谷与其下伏流具有特殊组合,是研究喀斯特峡谷成因机制的良好场所,十分重要。而其他地区的峡谷,体系相对单一,如中国贵州的舞阳河峡谷、马岭河峡谷、英国的车达峡谷、美国的大峡谷以及加拿大纳汉尼国家公园内的峡谷等,基本上为单一的峡谷景观。

3.4.2 峡谷成因

武隆峡谷喀斯特系统内峡谷成因复杂,既有地壳抬升导致河流下切形成峡谷,也有地下暗河洞顶坍塌形成峡谷,侵蚀、溶蚀及崩塌成因峡谷均有发育,是峡谷喀斯特演化的模式地^[22]。而其他峡谷的成因多数是由河流切割而成:英国车达峡谷是冰期过后,大量融化的雪水溶蚀和冲蚀而成;加拿大的纳汉尼峡谷是溶沟被逐渐侵蚀、溶蚀而成;中国台湾的太鲁阁峡谷是在台湾岛的形成过程中,台湾立雾溪及其支流不断下切而成;中国马岭河峡谷是由于受到新构造运动影响,云贵高原逐渐抬升,河流不断下切而成;美国的大峡谷是长期被科罗拉多河的侵蚀而成;南斯拉夫的杜米托尔国家公园也是河流切割——Tara 河的强烈侵蚀切割而成。

3.4.3 峡谷形态

武隆峡谷喀斯特系统内峡谷众多,形态多样,有典型的 V 型峡谷、箱型峡谷、地缝式峡谷及由它们组合形成的双循环峡谷。长达 31 km 的芙蓉江峡谷段,包括了长为 5.8 km 的朱子溪峡谷段,水流平缓,为典型的箱型峡谷;长约 4.4 km 的百汉河段,为 V 型峡谷。在剩余的峡谷段内,箱型谷与 V 型谷交替分布;位于白果乡和核桃乡境内的羊水河峡谷,自神鹰峡至白果河伏流出口的后半段为典型的嶂谷;而龙水峡峡谷又呈现出不一样的景观,龙水峡两侧山峰高程为 675 ~ 800 m,谷底高程为 540 ~ 580 m,绝壁高 80 ~ 120 m,平均切割深度达 200 m,而谷底宽度为 1.3 ~ 15 m 不等,多数为 2 ~ 5 m,深宽比接近 20:1,为典型的地缝式“一线天”型峡谷。其他地区的峡谷形态相对单一。

3.4.4 天生桥

就系统内的天生桥单要素来比较,在世界已有的 38 处与喀斯特有关的自然遗产地中,没有一处具有较为重要的喀斯特天生桥。从世界范围看,除法国、美国和澳大利亚有较大的喀斯特天生桥外,其他

地点出现不多。比较大的喀斯特天生桥有:被誉为欧洲最大天生桥——法国 Bous del Biel 天生桥;被认为是世界上最大的石灰岩天生桥——美国亚利桑那州 Tonto 天生桥;美国弗吉尼亚州横跨 Cedar 溪的天生桥;澳大利亚新南威尔士州 Jenolan 处的 Arch Cave 天生桥,桥长 140 m,最大跨度 50 m,最大高度高出其下 Harry 河 20 m。美国还有一些规模较小的天生桥,如犹他州的 Landscape 天生桥,桥的跨度约 90 m;肯塔基州的 Mantle Rock 桥,拱孔高 10 m,跨度 47 m。中国近年来所报导的天生桥数量较多,但遗产地内三座天生桥也是具有相当规模的。

4 结语

在世界遗产 47 处以喀斯特地貌和洞穴为主的或与喀斯特有关的名录中,可以与云南石林喀斯特进行对比研究的有马达加斯加的钦基贝玛拉哈、马来西亚的古纳穆鲁与菲律宾的普林塞萨暗河国家公园;可以与荔波锥状喀斯特进行对比研究的有越南的下龙湾、丰芽-格邦雨林国家公园和古巴的维纳勒斯河谷;可以与武隆峡谷喀斯特进行对比研究的有加拿大的纳汉尼国家公园、美国的大峡谷和南斯拉夫的杜米托尔国家公园。

中国的石林,除福建石林外,其余几处与云南石林有着比较相似的成因,但演化过程没有云南石林复杂,发育面积也远远小于云南石林,石柱高度没有云南石林高、石柱形态也没有云南石林多样,相比之下,云南石林能更好地诠释石林地貌的发育特征和演化历程。国外几处石林,澳大利亚的南榜和奇丽阁、法国的蒙彼利埃,虽然从形态上看多少与云南石林有些相似,但是它们有着截然不同的地质背景、气候类型、地貌成因与地质过程,因此发育的石林形态也远远没有云南石林典型。其余几处,包括马来西亚的沙捞越穆鲁、马达加斯加的贝玛拉哈、巴布亚新几内亚的凯靖德山、菲律宾的巴拉望石林不仅都比云南石林年轻,而且都只是受到雨水溶蚀作用而形成。云南石林不是最古老的石林,不是最高的石林,但云南石林的演化历史最为复杂,记录了地球演化历史主要阶段的证据,并因此而形成最为丰富多样的石林形态,不但代表了典型的热带—亚热带地区喀斯特地貌中之石林地貌类型,而且还拥有石林次一级地貌的丰富性。

荔波喀斯特复杂的地质历史铸就了锥状喀斯特地表地貌的多样性与锥峰单体的典型性,展现了与

世界其他类似地区不一样的特征,并以从高原喀斯特到低地喀斯特的逐渐过渡而构成的完整形态谱系而兀立于世,成为世界上最为多样的喀斯特地质系统之一。荔波锥状喀斯特锥峰单体最典型、锥峰与负地貌的组合形态最丰富、锥状喀斯特演化系列最复杂。贵州荔波喀斯特地貌发育演化代表了地球湿润热带—亚热带锥状喀斯特演化的基本规律与模式,反映了锥状喀斯特发育的岩性、构造、气候、水动力等复杂地质—气候环境变化遗迹的全部过程。

武隆峡谷喀斯特虽然并不是最长、最深、最壮观的喀斯特峡谷,但是武隆峡谷喀斯特完整地展示了整个峡谷喀斯特发育演化系统,包括地下河、崩塌漏斗(天坑)、天生桥、洞穴与峡谷等诸多要素,完整地体现了峡谷喀斯特的演化过程,也反映出自古近纪至今整个峡谷喀斯特系统的演化历史,很好地反映当地新构造运动特点。对这些峡谷的深入研究,对深入认识新构造运动性质以及喀斯特作用过程,具有重要意义。

“中国南方喀斯特”第一批世界自然遗产地是反映地球热带—亚热带喀斯特演化历史主要阶段的杰出范例,包括化石、重要的、正在进行的地球热带—亚热带典型的锥状喀斯特、石林喀斯特和峡谷喀斯特地貌演化以及重要的地球热带—亚热带典型的锥状、石林和峡谷喀斯特地貌形态,反映出全球三大喀斯特片区之最大片区独特的自然地理特征,充分满足世界遗产第 viii 条评价标准。

代表地球上中国南方地区自古生代以来长期、多期演化历史:“中国南方喀斯特”第一批世界自然遗产地记录了从古生代以来中国南方地区的地球演化历史,包括陆地抬升、海转化为陆、山脉的形成与发育、过去气候变迁等;同时,记录了地球演化过程中中国南方地区发生的多期重大历史事件,包括三叠纪末期以后的印支运动、燕山运动、喜马拉雅运动等。不同时期不同运动对第一批遗产地造成不同的影响。同时三个遗产地也对这些运动作出相应反映,地区差异性隆升,碳酸盐岩地层褶皱断裂,以不同的地貌类型与地质过程见证地球的演化历史,增强对地球发育进程的理解,同时为研究地球的未来、现在与未来提供理想的场所。

代表地球热带—亚热带典型锥状喀斯特、石林喀斯特和峡谷喀斯特地貌形成演化机制与正在进行的地质过程:“中国南方喀斯特”第一批世界自然遗产地展现了扬子地块西南缘、中国第二级阶梯云贵

高原向广西低地过渡地带高原面、斜坡地带喀斯特地貌大系统演化与地质过程,具有很强的系统性。该大系统又由一些子系统组成:起伏和缓的高原面上的石林喀斯特地貌系统、斜坡地带锥状喀斯特地貌系统以及峡谷喀斯特地貌系统。这些喀斯特地貌系统相互联系,以不同的空间位置、不同的发育阶段、不同的类型、不同的序列例证其地质历史演化过程,共同演绎着热带—亚热带喀斯特地貌演化过程与地质进程。第一批遗产地都经历了十分复杂的地貌演化过程:石林喀斯特在成因机理方面与热带岛屿的剑状喀斯特明显有别,其石柱的发育主要是裂隙与土下溶蚀的共同作用的结果,经历了玄武岩、红尘的覆盖并再次出露继续演化的复杂过程;锥状喀斯特系统的形成则同时展现锥状喀斯特正向演化,以及逆向回春两种演化模式,在老年喀斯特地貌基础上发育的新一轮地貌形态;武隆遗产地的峡谷喀斯特系统则是第四纪以来新构造抬升的客观表现,不仅演示着正在进行的地球内外力地质作用,而且反映了不同地质条件下喀斯特发育、演化的过程,对研究现代区域水文网及长江三峡的形成提供了宝贵的地貌证据。该清晰、完整、正在进行的地质过程为人们提供解释地球表层的溶蚀过程及速度、印度板块和欧亚板块的挤压速度、喜马拉雅山的抬升过程等。

代表地球热带—亚热带典型的锥状、石林和峡谷喀斯特特征:“中国南方喀斯特”地区地质背景独特、地质演化历史复杂,发育了多种多样的喀斯特地貌类型及其组合。“中国南方喀斯特”第一批遗产地保存和展示了丰富多样的地表和地下喀斯特地貌形态,包括热带—亚热带主要的三种地貌类型:锥状喀斯特、石林喀斯特和峡谷喀斯特。除此之外,遗产地内还包括很多与之伴生的喀斯特地貌形态:洞穴、瀑布、伏流等。通过与相似地貌进行比较还发现,遗产地所包括的地貌不仅具有多样性,每种地貌类型各自还具有自身独特性和典型性,充分反映上述地质过程的结果,而其他遗产地,多只是包含一种独特典型的地貌类型。因此,遗产地是地球热带—亚热带典型锥状、石林和峡谷喀斯特地貌的典型代表。

代表地球三大喀斯特片区之最大片区的独特的自然地理特征:“中国南方喀斯特”第一批遗产地位于世界上面积最大的连片喀斯特区域内,水平距离约为 800 km,地形高差近 2 000 m,跨越从云贵高原到长江河谷的多种地貌部位。在这一区域内,连续

分布的石灰岩、白云岩在地质构造抬升和地表地下水溶蚀的共同作用下,发育了极为多样的喀斯特地形地貌。又在热带—亚热带气候条件下,形成了与喀斯特地貌相适应的植被类型和生态系统。遗产地综合展示了这个喀斯特区域的地形、地貌、气候、水文、植被、生态等方面的环境特征,整体反映了其自然面貌,因而反映出全球三大喀斯特片区之最大片区独特的自然地理特征。

参考文献

- [1] Ford D C, Williams P W. Karst Geomorphology and Hydrology [M]. London: Unwin Hyman, 1989
- [2] 袁道先,刘再华,林玉石,等. 中国岩溶动力系统[M]. 北京:地质出版社, 2002
- [3] 朱学稳. 地下河洞穴发育的系统演化[J]. 云南地理环境研究, 1994, 6(2): 7-16
- [4] 景才瑞,刘昌茂. 论长江以南地区岩溶地貌特征[J]. 华中师院学报, 1978, 2: 47-61
- [5] 彭建. 中国石林发育研究进展[J]. 中国岩溶, 2002, 21(1): 67-72
- [6] 张寿越. 路南石林发育及其演进[J]. 中国岩溶, 1984, 3(2): 78-88
- [7] Trimmel H. Karst forms comparable to stone forest within the Mediterranean basin[A]. A Treasure of Natural Heritage [C]. Beijing: China Environmental Science Press, 1997
- [8] James J. A comparison of the stone forest of lunan with pinnacle karst of the world[A]. A Treasure of Natural Heritage [C]. Beijing: China Environmental Science Press, 1997
- [9] 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
- [10] 李玉辉,梁永宁,耿弘. 滇中路南石林发育年代研究[J]. 中国区域地质, 1998, 17(1): 44-51
- [11] 林均枢. 路南石林形成过程与环境变化[J]. 中国岩溶, 1997, 16(4): 346-350
- [12] Ford D C, Salomon J N and Williams P W. The Lunan stone forest as a potential world heritage site [A]. A Treasure of Natural Heritage [C]. Beijing: China Environmental Science Press, 1997
- [13] Williams P W. Morphometric analysis of polygonal karst in New Guinea[J]. Karst Geomorphology, 1972, 83: 761-796
- [14] Yuan Daoxian and Liu Zaihua. Global karst correlation[A]. Beijing: Science Press, 1998: 1-32, 167-171, 179-189, 239-257
- [15] Waltham A C. The pinnacle karst of Gunung Api, Mulu, Sarawak [J]. Cave Science. 1995, 22: 123-126
- [16] Sweeting M M. Cone and tower karst of south China[J]. Geography Review, 1989, 3(2): 2-6
- [17] Day M J. Morphology and distribution of residual limestone hills (mogotes) in the karst of northern Puerto Rico[J]. Geological Society of American Bulletin, 1978, 89: 426-432
- [18] Kholer H C, Auler A, Cattanio M B. The subtropical karst of Bonito, western Brazil [C]. Global Karst Correlation [A]. Beijing: Science Press, 1998: 257-267
- [19] Xiong Kangning. Morphometry and evolution of fenglin karst in Shuicheng area, western Guizhou, China [J]. Z. Geomorph., 1992, 36(2): 227-248
- [20] 熊康宁. 关于锥状喀斯特与塔状喀斯特的水动力成因研究——以黔中地区为例[J]. 中国岩溶, 1994, 13(3): 237-246
- [21] 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
- [22] 陈伟海,朱德浩,朱学稳,等. 奉节天坑地缝岩溶景观及世界自然遗产价值研究[M]. 北京:地质出版社, 2003

Comparative Analysis on World Natural Heritage Value of South China Karst

Xiong Kangning¹, Xiao Shizhen¹, Liu Ziqi², Chen Pindong¹

(1. Institute of South China Karst, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China;

2. School of Geography Science, Southwest University of China, Chongqing 400715, China)

[Abstract] Karst constitutes one of the greatest landscape styles of the world and China is one of the places where its finest expressions can be seen. From the point of view of karst features and evolutionary histories, and by comparative analysis on the three sites with worldwide similar karst areas under the eighth criterion of world heritage, the outstanding universal value is uncovered: Shilin stone forest in Yunnan is the most complicated in the evo-

lution history richest in the forms, which represents a unique evolvement mechanism of stone forest development; which possesses not only the most typical karst cones, but also the most complex assemblages of the cone karst. Li-bo cone karst represents typical factors of cone karst landforms reflects geological evolvement models and processes in the tropical-subtropical continent; Wulong gorge karst shows integrally development and evolution system of the gorge karst, records evolutionary forms of different phases of gorge karst, such as karst gorges, underground rivers, natural bridges, collapse dolines, caves and so on, and illustrates on-going evolution process on the neotectonic movement. As a result, south China karst (Phase 1) world heritage sites represent a long-term, multi-phased evolution history in south China since Paleozoic; the landform features of tropical-subtropical typical cone karst, stone forest karst and gorge karst; the development and evolution mechanism and on-going geological process of tropical-subtropical cone karst, stone forest karst and gorge karst landforms; and unique physical geography characters of the largest in the three vast karst areas in the world.

[**Key words**] world heritage; comparative analysis; south China karst

(上接 16 页)

Basic Principles for Design and Construction of Underground Water – sealed Hydrocarbon – storage Rock Caverns

Wang Mengshu¹, Yang Huijun²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. Scientific Research Institute, China Railway Tunnel Group Co., Ltd., Luoyang, He'nan 471009, China)

[**Abstract**] Due to the need to store large amounts of hydrocarbons in China, it is of great necessity to build more hydrocarbon – storage caverns in China. It is one of the best choices to store hydrocarbons in underground water – sealed hydrocarbon – storage rock caverns. The sealing principle, types and advantages of underground water-sealed hydrocarbon – storage rock caverns are presented in the paper and the location selection, design and construction of hydrocarbon – storage caverns are described in detail. The aim of the paper is to summarize the major features and planning, design and construction principles and standards of underground water – sealed hydrocarbon – storage rock caverns. It is stated that the complete technology for the design and construction of underground water – sealed hydrocarbon – storage rock caverns has not yet be formed in China and no guiding specifications are available in China. Therefore, it is of great practical significance to study on the key technologies for the design and construction of underground water – sealed hydrocarbon – storage rock caverns.

[**Key words**] underground water – sealed hydrocarbon – storage cavern; rock cavern; design and construction