文章编号:1001－4810(2006)增刊－0099－07

重庆武隆天生三桥喀斯特系统特征与演化①

陈伟海[1,2], 朱德浩[2], 朱学稳[2], 黄保健[2]
(1. 中国地质大学,北京 100083;2. 中国地质科学院岩溶地质研究所,广西 桂林 541004)

摘 要:天生三桥喀斯特系统位于武隆县的北部,发育在北西、南东侧均为非可溶岩限制的喀斯特化地块中,具有峡谷、天生桥、天坑、伏流、洞穴、溶蚀洼地等多样的喀斯特景观组合。其地貌格架的形成,经历了大娄山期、山原期和峡谷期地貌演化阶段,并形成大娄山期、山原期喀斯特夷平面和深切峡谷。现代水文—地貌系统的发育演化,主要发生在峡谷期,经历了早期地表河形成、峡谷状伏流生成、天生桥和天坑形成、现代河谷持续深切、乌江对本区地下水系的袭夺这五个阶段。生动地反映出所在地区自第四纪以来,地壳抬升、河流下切、含水层包气带厚度增大,峡谷、天生桥、天坑的形成和水系演变等一系列地质—喀斯特过程。

关键词:喀斯特;峡谷系统;特征;演化;重庆武隆
中图分类号:P931.5 文献标识码:A

0 前 言

武隆县位于重庆市东南缘,长江支流乌江下游峡谷区,喀斯特景观丰富奇特,拥有被誉为"地下艺术宫殿、洞穴科学博物馆"的芙蓉洞、"世界最大的天生桥群"的天生三桥、国内外首次发现的后坪箐口冲蚀型天坑群、原始古朴的芙蓉江喀斯特峡谷等。2002年批准为国家重点风景名胜区;2003年被批准为中国国家地质公园(陈伟海,朱德浩,2004)。2006年初,由芙蓉洞芙蓉江、天生三桥和后坪冲蚀型天坑这三个相对独立的喀斯特系统构成的"武隆喀斯特"遗产提名地,作为"中国南方喀斯特"的一部分,被列为世界自然遗产预备清单。其中,天生三桥喀斯特系统,以峡谷、天生桥、天坑、洞穴、伏流的时间、空间有序分布为特色,它们是在乌江不断深切这一机理的控制下发育与形成的。本文对该喀斯特峡谷系统的特征与发育演化过程作较为详细的论述。

1 地理地质背景

1.1 地形地貌

天生三桥喀斯特峡谷系统位于武隆县北约20km的仙女山镇,地势是西北高,向东南降低,大致的趋势是:仙女山一带海拔1800～2000m;天生桥一带1100～1300m;龙水峡河谷520m;乌江180m。羊水河属乌江的二级支流,发源于仙女山,上游地表水已经从猴子坨流入喀斯特含水层成为伏流,至乌江边排出。在羊水河流经二叠、三叠系灰岩分布的峡谷地段,由于地下水的这种袭夺使之已成为峡谷式干谷,仅有季节性的当地水流和泉水补给,在天生三桥一带沿古河床自西向东流,出黑龙桥后再折向南流,至水井坨穿过白果伏流进入龙水峡,在晏家坝与老盘沟汇合,最后汇入乌江。

天生三桥一带地势相对平缓,喀斯特正地形以起伏不大的峰丘为主,以峰丘洼地、谷地(干谷)组合地貌类型最为常见,见不到典型的峰丛、峰林喀斯特地貌形态。喀斯特负地形十分突出,在和缓的峰丘谷地之下,发育有雄伟壮观的喀斯特峡谷、天生桥、天坑、洞穴等喀斯特形态。洞穴具立体化分布特征,不仅在相对河流侵蚀基准面几十米高程范围内分布,而且在高出现代河床水面200～300m范围内也有大型洞穴分布。

新生代以来的喜山期构造旋回,以地壳的间歇性抬升为主,并具有继承性,形成了多级夷平面。其中,

① 基金项目:重庆武隆喀斯特世界自然遗产申报项目资助
第一作者简介:陈伟海(1965－),男,中国地质科学院岩溶地质研究所副研究员,中国地质大学博士在读。主要从事喀斯特景观与洞穴资源调查研究。E-mail:cave@mail.karst.ac.cn
万方数据
收稿日期:2006－03－10

大娄山期(鄂西期)夷平面为残留的喀斯特剥蚀面(高夷平面),标高1800～2000m左右,相对高差仅100m左右,以猫鼻梁、仙女山为代表,山顶和缓起伏,有高山草甸发育;山原期(盆地期)夷平面标高1200m左右,有十分广阔的分布区域,以天生三桥一带的峰丘为代表。三峡期(峡谷期)是本区地貌形成的重要时期,长江、乌江及支流急剧下切,造成了雄伟的深切峡谷,如乌江峡谷、羊水河峡谷等。

1.2 地质概况

天生三桥喀斯特峡谷系统位于中梁子背斜与武隆向斜的中间地带,地层出露受这两个褶皱控制(图1)。从北西往南东,地层从老到新,依次出露志留系、二叠系、三叠系和侏罗系,是一套总体上为倾向南东,倾角10°～35°的单斜地层。

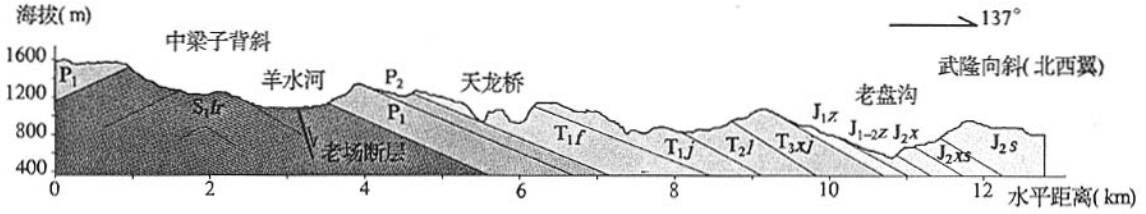

图1 天生三桥地质剖面图

Fig. 1 Geological profile in Sanqiao Natural Bridges area.

单斜山地的西北侧是志留系碎屑岩,东南部为侏罗系红层,在碳酸盐岩的外围构成非喀斯特地貌。中部则是大面积分布的下三叠统碳酸盐岩地层,总厚度近千米,喀斯特地质遗迹主要发育在这一层位中。值得指出的是,这套连续沉积厚度大且质地较纯的碳酸盐岩层,在我国南方喀斯特区占有重要地位,而且以喀斯特化强烈和景观多样化著称。

1.3 水文地质

本区的北部、西北部大河坝、兰家堡等地为喀斯特水流域的补给区,来自下志留统罗惹坪组(S_1lr)砂页岩中的外源水,具有矿化度较低(仅50.02mg/L)、非饱和度(方解石饱和指数SIc为－0.67)较高的特点,对碳酸盐岩具有较强的溶蚀能力,在流入碳酸盐岩强喀斯特化含水层时,往往以伏流、落水洞的形式潜入地下,补给含水层。如羊水河从猴子坨(S_1)呈瀑布状潜入地下;位于天生三桥东北部的下干沟水流从落水孔(S_2)作为伏流进入仙人洞。

地表、地下水经过多次袭夺和径流方向的调整,目前,主要沿下三叠统飞仙关组、嘉陵江组岩层走向,往南西方向径流,从乌江北岸的老龙洞(S_7,标高180m)排出。从猴子坨至老龙洞,水平距离12km,水位落差860m,平均水力坡度72‰,具有十分强劲的水动力条件(图2)。

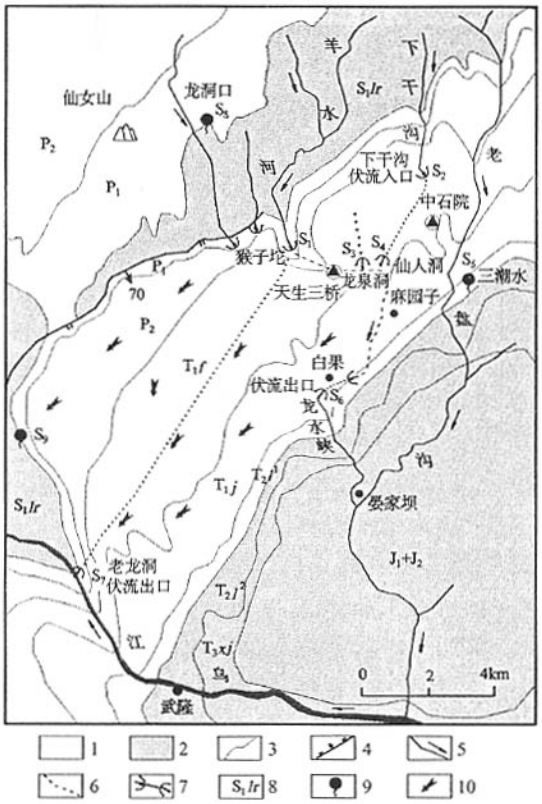

图2 天生三桥区域水文地质图

Fig. 2 Regional hydro-geological map of Sanqiao Natural Bridges area.

1.岩溶含水层;2.非岩溶含水层;3.地层界线;4.正断层;5.常年性河流(沟);6.季节性河流(沟);7.伏流进出口;8.地层代号;9.岩溶泉;10.地下水流向

2 喀斯特峡谷及其它地质遗迹

本区的各类喀斯特现象,主要分布在羊水河穿过下三叠统碳酸盐岩的河段内,由峡谷、伏流、天生桥、天坑、洞穴、溶蚀洼地、喀斯特泉、蚀余石峰等喀斯特现象与要素组成(图3、表1)。羊水峡是区内重要的喀斯特峡谷;天坑有谷中及岸上两类,前者有青龙天坑和神鹰天坑,后者有中石院天坑和下石院天坑。洞穴

万方数据

有仙人洞、龙泉洞、白果伏流洞等。在过去和现今作为袭夺地表水的洞穴有七十二岔洞、双门洞、猴子坨等。天生桥有天龙桥、青龙桥和黑龙桥。泉水有青天泉、神鹰泉、雾泉、三叠泉、一线泉、珍珠泉等。由此可见，本区喀斯特系统以谷地地貌为特色，各类喀斯特现象的构成，既丰富多彩，又独特而典型。

羊水河横切灰岩段的全段河流均为峡谷状，现已成为干谷。最具地质景观价值的峡谷段为猴子坨至龙水峡峡谷段，统称为羊水峡，全长约8km，峡谷深度多在200～400m之间，宽十几米至200m。自上而下分为四段。第一段为龙门峡；第二段为“三桥、两坑、一峡”分布段；第三段为子房沟；第四段为龙水峡，为一地缝式峡谷。

猴子坨伏流入口至天龙桥段，长2km，为箱形峡谷和完全干谷段，又称龙门峡。两岸山峰高耸，海拔为1100～1300m，谷底高程915～1015m，谷深230～400m，宽50～100m。峡谷两侧悬崖峭壁绵延，视觉上颇为壮观。主要地质遗迹有：猴子坨伏流入口（落水洞）及其下游峡谷壁上流入型洞穴，如，七十二岔洞、双门洞等。

天龙桥至龙泉洞峡谷段，长2.1km，为天生桥与天坑相间分布段，由天龙桥、青龙桥和黑龙桥这3座天生桥、青龙和神鹰2个天坑，以及神鹰峡谷组成，简称“三桥、二坑、一峡”。

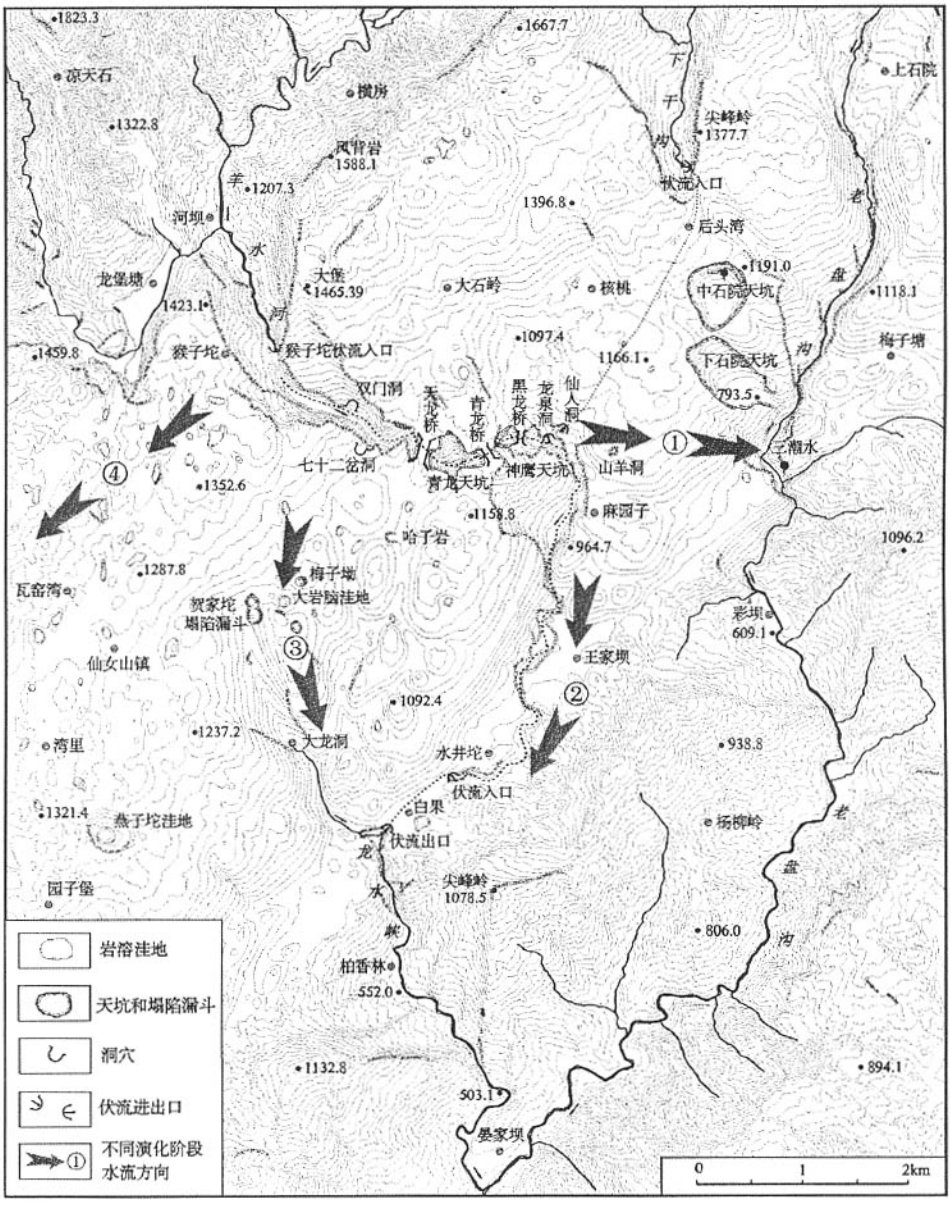

图3　主要地质遗迹与景观分布图

Fig. 3　Distribution of geological relics and landscape in Sanqiao Natural Bridges area.

万方数据

表 1 天生三桥主要喀斯特地质遗迹简表

Tab. 1 the features of geological relics in Sanqiao Natural Bridges area.

类 型	名 称	主 要 特 征
峡谷	乌江峡谷	山顶标高800～1500m，河床标高150～200m。由于乌江在新近纪以来向纵深切割，形成深切峡谷，从而牵动了其支流羊水河峡谷地貌系统的发育演化
	羊水河峡谷	猴子坨至龙水峡段，长约8km，谷深200～400m，宽十几米至200m。自上而下可分为四段。第一段为龙门峡；第二段为“三桥、两坑、一峡”段；第三段为子房沟；第四段为龙水峡地缝式峡谷段
伏流	猴子坨－老龙洞伏 流	羊水河在猴子坨(标高 1039m)全部潜流地下，潜流长度不小于 12km，在乌江右岸边的老龙洞排出，标高为 180m。两者落差 860m，平均水力坡度 72‰
	双门洞伏流	位于猴子坨伏流下游约1km 右岸，为羊水河中前期的伏流入口，属于古伏流。流入的流痕及角石、悬岩等溶蚀现象极为显著，并有砂卵石层堆积。
	下干沟－仙人洞伏 流	地表水从下干沟盲谷落水洞(高程 1110m)流入仙人洞，伏流长约 7km。但是，大部分水流从仙人洞底潜入下部，仅在洪水期有少量水从洞口流出
	白果伏流	为羊水河主河道上的伏流洞穴，长约1km，洞道呈峡谷状，宽多在5m 之内，高60～80m。地表为干谷槽，但不具峡谷形态
天生桥	天龙桥 青龙桥 黑龙桥	自西而东分布于羊水河中段 1.5km 长的峡谷段内。桥高 223－281m、桥厚 107～168、桥宽 124～193m、拱孔高96～116m、跨度28～34m。3 座天生桥规模宏大，在总高度、桥拱高度和桥面厚度等指标上均超过世界上其它天生桥
天坑	青龙天坑 神鹰天坑	分布于3 座天生桥之间，口部直径260～522m、深度约280m、容积9.73M m^3 和31.67M m^3。坑底基本见不到塌陷堆积物，是在羊水河此段河谷尚未脱离河床水流时形成，崩塌物或为后期河床冲积层覆盖，或已被河道水流迁移
	中石院天坑 下石院天坑	相邻分布在天生三桥的北东侧，口部直径 555～1000m、口部面积 27.82 万 m^2 和 31.47 万 m^2、深度 213.7m 和 373m、容积 34.78Mm^3 和 31.47Mm^3
洞穴	七十二岔洞	位于天龙桥上游羊水峡南岸山坡上，洞口标高1169m，主洞长460m，为迷宫型洞穴。洞壁、洞顶流痕较多，是峡谷形成早期羊水河河床上的一个流入型洞穴。洞底及侧壁有大量的卵砾石层，大者直径达 0.5m
	迷魂洞	位于天龙桥南侧，洞底高出羊水河峡谷底约 120m，堆积有洞顶基岩崩塌物。形成天生桥的水流早先曾由该洞流过，后来才由天龙桥桥下洞穴流出。
	龙泉洞	发育于黑龙桥下方，羊水河峡谷绝壁脚下，洞口标高 850m，仅高出谷底 4m，主洞长 528m，为典型的含水层洞穴
	仙人洞	位于黑龙桥下方，长约 7km，为伏流型洞穴。主洞平直，支洞较少。洞腔高大，洞高 6～80m，大多为 25～30m，宽 5～30m
溶蚀洼地	大岩脑洼地 燕子坨洼地	分布于天生三桥－大岩脑一线的东、西两侧。前者平面浑圆，呈碗状，洼地宽度 260m～220m，深 122m。后者平面近圆形，宽度 475m～ 425m，深 127m
塌陷漏斗	哈子岩 贺家坨 梅子坳	在天生三桥南西侧，发育有数个大型塌陷漏斗，口径100～290m、深度50～75m，四周为峭壁环绕，形似天坑，但深度未达到“天坑”定义标准(>100m)。贺家坨斜切了早期的干谷

龙泉洞至白果伏流出口段，长3km。有龙泉洞、仙人洞及多处泉水补给，沟床尚有少量水流，沿河谷时隐时现。河床斜交或顺岩层走向而行，峡谷气势大减。在接近白果伏流入口段，峡谷再次束窄，窄处不足 2m，谷深达百米；白果伏流段，长约 1km，洞道高 60～100m，洞宽窄处不足 3m，堪称地中峡谷。

龙水峡地缝式峡谷段，长1km。两侧山峰高程675～800m，谷底高程 520～580m，切割深度达 200m，谷底宽2～5m，深宽比接近20：1，构成“一线天”景观。这段峡谷的后段由于岩性变化(由碳酸盐岩变为砂页岩)，谷底逐渐展宽，变成一般的峡谷。

万方数据

3 喀斯特峡谷系统形成演化

3.1 区域地貌发育史

对一个地区地貌发育史进行研究和探讨已有一百多年的历史，以 1889 年戴维斯(W. M. Davis)的准平原、侵蚀循环学说影响最大，应用最广，与之有关的夷平面、地文期研究在上世纪中叶曾一度十分普遍。就长江三峡地区而言，早在 1927 年谢家荣、刘季辰就讨论过三峡一带的夷平面问题，提出了鄂西期、山原期和三峡期地貌。以后许多学者都进行过类似的探讨和研究，其中以中国科学院地理研究所 20 世纪 50 年

代末期的工作最为深入(沈玉昌，1965)。但是，此后这类工作基本停止。但在国际上，近几十年来对夷平面的研究有长足进展。就目前的知识水平而言，确凿的夷平面及可信的时代、高度、性质等是判断陆地抬升幅度的证据，所以在青藏高原和三峡地区抬升幅度研究中，许多研究者重新对夷平面灌注极大的热情(催之久，1996，1998，丁锦惠，1987，谢世友，2006)。

天生三桥喀斯特系统的地貌格架是在燕山运动以后形成的。新生代以来的喜山运动为本区地貌发育打开了新的一页，使本区再度抬升，在内外营力复杂的作用下，经历了一系列显著的地貌发育阶段，概括起来有以下三个阶段：

(1)大娄山期：区内最古老的地貌在三峡地区称鄂西期地貌(高夷平面)，其形成时代约从古近纪开始(65.0Ma)，是一历时很长的地表剥蚀夷平时期。经过长期的削高填低的作用，使地表形成和缓起伏的丘陵状地貌。目前这一时期的地面已属残留地面，仅在一些较高的分水岭地带部分有所保存，如仙女山的缓丘顶，海拔高度多在1500m以上(图4)。该夷平面的被抬升与喜山运动有关。

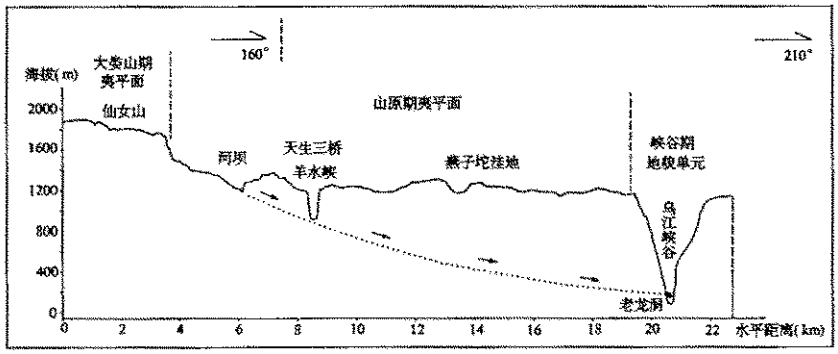

图4　综合地形剖面图

Fig. 4　the comprehensive landform profile of Sanqiao Natural Bridges area.

(2)山原期：是一重要地貌发育时期。从大范围看，自始新世以来，印度板块向北俯冲，导致青藏高原快速隆起和喜马拉雅山的形成。这次构造运动被称为喜山运动，通常被分为三期(或称三幕)。早期的喜山运动(第Ⅰ幕)发生于始新世晚期(32.0Ma)至渐新世中期，不仅形成雄伟的青藏高原雏形，而且破坏了大娄山期在本区形成的剥夷面形态，形成了新的褶皱和断裂。此后一直到上新世末，地壳又一度趋于相对稳定。这一时期，气候较为湿热，活跃的风化作用、流水作用及喀斯特作用，共同塑造现今尚大量保存的山原期地面，以大型盆地、宽谷等形态为代表。这一时期的残留地面主要分布在广阔的分水岭地区，海拔在1200m左右。在喀斯特区常形成浅覆盖喀斯特，其表面的喀斯特景观并不突出，也不典型，但其下的喀斯特发育却十分强烈。山原期地貌的最后完成时间是在上新世晚期，按照现在对第四纪开始时间的认定，此期地貌形成的下限时间在距今2.6Ma左右。

(3)峡谷期：最近一期的喜山运动主要发生在上新世晚期至第四纪早期(2.6Ma)，并持续至今。总的特点是频繁的构造隆升和较为短暂的相对稳定时期的相间出现，以及气候的冷暖交替变化。此期地貌没有形成大娄山期和山原期那样宽缓的夷平地形，而是以河流下切作用为主导。此次运动开始时(更新世早期)，在天生三桥一带的河流两侧形成较宽的谷地。此后贵州发生了一次强烈的构造运动，大大强化了贵州高原自西向东大面积、大幅度的掀斜抬升，武隆地区也经受了与之相应的构造变动。一是将以前形成的大娄山期和山原期地貌抬升到不同的高度，二是乌江水系开始在山原期地面上往下深切。山原期形成的剥夷面由于第四纪以来地壳大幅度的间歇性抬升，从而导致喀斯特地貌表现出向深性和叠加发育的特点。由于地下河袭夺，使地表水和地下水的径流方向与通道不断发生改变，水量重新分配，从而形成了多期发育的伏流、多层洞穴，并最终形成现在的峡谷、天生桥、天坑和复杂的洞穴。

在第四纪期间，虽然古气候有过冷暖交替，但未曾受到第四纪大冰盖的作用，所以新近纪以来(甚至更古老)所形成的喀斯特形态都得以完好保存。地表和地下喀斯特的长期协同作用，加上第四纪时的新构造抬升，使喀斯特地质遗迹的体量更巨大、形态发育得愈加完美。

3.2　喀斯特系统的形成演化

3.2.1　发育条件

喀斯特峡谷的形成，首先需要有利的气候与水文条件，充沛并长年不竭的地面河道径流和侵蚀力；其次是地表深切和地表地下统一排水基准面的长期大幅度下降，为喀斯特峡谷的纵深发展创造强劲的水动力条件。长江三峡是举世闻名的第四纪大幅度抬升区，在这种地貌和地质构造背景下，极易造成地表深切和排水基准面的大幅度下降，地下河为了适应排泄

万方数据

基准面下降而不断下切，形成厚度很大的包气带，促进峡谷的形成。第三，在喀斯特峡谷的形成时期，水流的侵蚀切割速度要与区域排水基准面的下降速度基本保持一致。否则河道水流便会在河床中寻机潜入地下，地表连续性深切峡谷的形成作用将因此受到削弱以致终止，就像羊水河峡谷今日面临的现状一样。

天生三桥喀斯特系统处于巨大的单斜山山坡上，而位于地形高处的是大面积分布的下志留统罗惹坪组砂页岩和二叠系灰岩地层，有页岩、煤系和黄铁矿等夹层存在，来自这些地区的水流（外源水），对天生桥喀斯特峡谷的形成具有重要促进作用。它们一方面提供了充沛且长年不竭的径流；另一方面这样的外源水具有较低的矿化度和较高的非饱和度，对碳酸盐岩具有较强的溶蚀能力，对形成巨大的伏流通道十分有利。同时，在相当长的一段时期内，地下统一排水基面的下降与伏流（河流）的侵蚀下切速度保持协调，从而形成深切峡谷，并造就了天生桥、天坑的巨大高度（深度）。

3.2.2 演化阶段

天生三桥喀斯特水文系统的发育演化与区内新构造运动和地貌发育密切相关。喜山运动第一幕后，本区处于相对稳定阶段，形成山原期夷平面，大致相当于 1100～1300m 的高程面。峡谷期（三峡期）是喀斯特水文地貌系统发育演化的主要阶段。大致经历了以下五个阶段：

第一阶段：早期地表河形成。大约在上新世中晚期，早期地表河发育，其位置与现今的羊水河大致相同，当时河流宽谷（谷底现已被抬升到海拔 1160m 高程以上）的谷坡上已发育有七十二岔洞，现今洞底高程为 1169m，且为流入型洞穴，该洞穴当时应位于河谷之中，洞内现保存的砾石层中的大砾石的直径达0.5m，可见形成洞穴时水量之大。此时，构成天生桥的岩层还处于这一古老河谷谷底之下，在其内发育有全充水的潜水带洞穴。这一古羊水河从南东方向折向东，排往老盘沟，因为在这一时期，东面的老盘沟是天生桥一带的地方性侵蚀基准面，向此方向流动，水力坡度最大。

第二阶段：天生三桥—白果峡谷状伏流形成。随着地壳上升，地下水位下降，羊水河在天生三桥上游潜入地下变为伏流，伏流轨迹大致为龙桥—麻园子—王家坝。伏流出口在王家坝一带，王家坝至白果所在地这一段谷地为古地表河床。在这一阶段中，在现在的天生三桥所在处，原先在地下深处形成的潜流带洞穴的一部分成为伏流通道，并在大量外源水的作用下，不断扩大。天龙桥旁的迷魂洞曾一度作为伏流的主要流路，迷魂洞现今高出天龙桥桥底 120m；在神鹰天坑南侧高程为 938m 的垭口内亦残留有古老伏流的遗迹。在此后相当长的一个时段内，当地排水基准面的下降与河流（伏流）的侵蚀下切速度相协调，形成深切的峡谷状伏流洞穴通道。

第三阶段：天生三桥雏形和天坑形成。龙水峡以下的河段是发育在侏罗系中的地表河，由于溯源侵蚀，其源头延伸至龙水峡所在的喀斯特区，从而在龙水峡处形成控制羊水河伏流的新的排泄基准，龙水峡下游端点的海拔高度约 520m，低于天龙桥 390m。羊水河流域的水流向其汇集，从而引起一系列的地貌响应过程：首先是伏流流出点下移至白果一带；王家坝以下的地表河下切，使原来的谷底成为阶地；其上游的伏流通道大部分发生崩塌；天生三桥一带所受影响相对较小，亦引起伏流的进一步向下深切，局部地段发生顶板崩塌，神鹰天坑和青龙天坑在此阶段形成，与之相应，残留下来的未塌落的伏流通道的顶板便成为今日天生桥的“桥面”。

第四阶段：现代河谷持续深切。中更新世晚期以来，由于地壳持续抬升，乌江峡谷进一步下切，老盘沟也随之加深其河谷，区域地下水位的下降使天生三桥以上的羊水河水流顺应最大的水力坡降方向，形成新的地下潜流。从目前掌握的地貌现象推测，在这一阶段，地下水从天生三桥一带直接沿东南方向，途经哈子岩、大岩脑、贺家坨、大龙洞一带，流向龙水峡（见图3）。这一新的地下水流场，为形成那一带的洼地和大型塌陷漏斗创造了有利条件。而对天生三桥说来，峡谷中的水流的减少，对天生桥形态的保存反而起到有利作用。因为，如果水流过大，就可能大大增加洞穴通道的宽度，宽度过大则可能导致洞顶失稳而发生大规模的崩塌。在这一阶段，峡谷河床水流还把天坑的崩塌物溶蚀和移走，并形成了由冲积层覆盖的平整的河床。所以，现在的峡谷底部并未见有大量的崩塌堆积物。

第五阶段：乌江对本区地下水系的袭夺。晚更新世以来，本区的喀斯特含水层仍在不断发展、变化和调整之中。羊水河上游地表水流入喀斯特含水层的位置不断地向补给区溯源后退，目前已后退到猴子坨伏流入口、下干沟落水孔等处，这种地下水不断溯源侵蚀和地表水流入（地下）点的不断后退的趋势似仍在继续。另外，由于地下水总是追踪水力坡度最大的方向运动，地下径流在平面上存在不断截弯取直的演化趋势，最终导致羊水河上游的地下水再度改道，直接由落水洞进入地下，基本沿着岩层的走向，再向西南方向径流，最后在武隆县城西北方 4km 处的老龙洞直接排入乌江。从下干沟落水孔进入仙人洞的大部分水流，也都从仙人洞底再次潜入地下，进入更深的含水层，仅有少量水流从仙人洞口排出，汇入羊水沟。

从以上的水文—地貌演化历史分析可知，区内地

万方数据

表(地下)水流的方向和迹线,经历了由西往东至老盘沟、由西往东再转向南至白果、由天生三桥向南至龙水峡、由猴子坨向西南至乌江这一系列的演变过程,总的趋势是追寻最大水力坡度的方向,不断截弯取直,最终直接流向乌江(见图3)。可见,正是由于喀斯特地区地下、地表径流的相互转换,导致天生桥这一段地下地形向地表形态的转换,从而最后形成现今的峡谷、天生桥和天坑三位一体的共生共存关系。

以上对于天生三桥喀斯特峡谷系统形成、演变的有关论述,仅仅是初步研究成果。只有深入开展专题研究,进一步加强地貌年代学(如10Be 和裂变径迹法等)研究,提高年龄测定、判定精度,才有可能更好地认识大自然真正的演化发展过程。

4 科学意义和价值

天生三桥喀斯特系统具有峡谷、伏流、洞穴(流出型及流入型)、天生桥、天坑、干谷、悬挂泉等极其多样的景观组合,具有较好系统完整性,是世界喀斯特形态的奇观。现今所保留在地表和地下洞穴中的喀斯特特征,构成一本"无字天书",记录着它那复杂的形成、演化历史。其上游的复杂河谷、消泄上游水流的落水洞、上部宽谷壁和下部峡谷谷壁的洞穴所显示不同时期的水流方向、天生桥底部近似干谷的现状、白果伏流的形成和对地表水系的袭夺、龙水峡地缝式峡谷的形成、喀斯特地下水径流带上大型塌陷漏斗的出现、乌江边伏流出口的出现等,这些演化序列所构成的遗迹,组成了完整的喀斯特水文—地貌系统。它们之间既有很好的空间分布规律,又有时间上的先后生成、发展序列可以追寻,是一部第四纪喀斯特峡谷地貌系统形成演化的教科书和科学研究的天然实验基地。

总之,天生三桥喀斯特系统以峡谷地貌发育、喀斯特含水层包气带厚度的持续增长为特征,它是在地壳的长期持续抬升、河谷的不断深切、排水基准面的随之下降的整体机制引导下发育形成的喀斯特峡谷地貌系统,可作为长江三峡地区第四纪地壳上升以来,地质、地貌,特别是喀斯特发育演化特征的杰出范例。同时,天生三桥喀斯特峡谷系统生动地反映出所在地区自更新世以来的几百万年中,地壳抬升、河流下切、含水层包气带厚度增大,峡谷、天生桥、天坑的形成和水系的演变等一系列地质—喀斯特过程,是研究长江三峡地区更新世以来正在进行的喀斯特过程及其性质的突出例证。

致 谢:武隆县风景名胜区管理局叶成礼、周涛、潘杰提供支持和帮助,在此一并表示热忱的感谢。

参考文献

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,2004:1—125.

崔之久,李德文,伍永秋,等. 关于夷平面[J]. 科学通报,1998,43:1794—1805.

崔之久,高全洲,刘耕年,等. 古岩溶、夷平面与高原隆升[J]. 中国科学(D),1996, 26(4):378—385.

丁锦惠,鄂西高原地文期辩析[J]. 中国岩溶,1987, 6.(3):255—262.

沈玉昌,长江上游河谷地貌[M]. 北京:科学出版社,1965:154—159.

谢世友,袁道先,王建力,等. 长江三峡地区夷平面分布特征及其形成年代[J]. 中国岩溶,2006, 25(1):40—45.

CHARACTERISTICS AND EVOLUTION OF SANQIAO NATURAL BRIDGES KARST SYSTEMS IN WULONG, CHONGQING

CHEN Wei-hai[1,2], ZHU De-hao[2], ZHU Xue-wen[2], HUANG Bao-jian[2]

(1. *China University of Geosciences*, *Beijing* 100083;
2. *Institute of Karst Geology*, *Chinese Academy of Geological Sciences*, *Guilin*, 541004)

Abstract: It is located in the karst terrain of northern Wulong County that Sanqiao Natural Bridges karst systems are limited by non-soluable rocks in northwest and southeast, which constitute various karst landscape such as gorges, natural bridges, tiankeng, subterranean streams, caves, karst depressions and so on. It involved three evolved stages of Dalou Mountain stage, Plateau Mountain stage and Gorge stage to form the geomorphic framework including karst leveling plane and dissected gorges developed in Dalou Mountain stage and Plateau Mountain stage and modern hydro-geomorphic system developed in Gorge stage involving five phases of early surface river development, canyon subterranean stream development, natural bridges and tiankengs development, continuous dissecting of modern river valleys and underground water captured by Wujiang. It refers vividly to a series of geological-karst process including tectonic uplifting, river dissecting, aquifer vadose zone thickness increasing, developing of gorges, natural bridges, tiankengs and rivers.

Key words: Karst; Corge system; Characteristics; Evolution; Wulong of Chongqing

万方数据