

# 桂林穿山岩溶地质遗迹特征、成因与保护对策

王法骏

桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林

收稿日期: 2026年6月1日; 录用日期: 2026年7月2日; 发布日期: 2026年7月13日

## 摘 要

依托既有地质背景资料,运用无人机倾斜摄影建模技术、遥感解译技术及岩溶微地貌调查相结合的方法,查明桂林穿山的构造特征,系统梳理穿山溶洞地质遗迹类型,阐述典型化学沉积遗迹的岩溶动力学演化机制。研究表明:(1)穿山宏观上的形貌发育受NW向主控断裂和EW向横张断裂共同控制;(2)悬挂石柱遗迹景观是古气候突变和构造抬升共同作用的产物;(3)石盾的发育形态及鹅管-石钟乳的演化受裂隙产状、静水压力和渗流水流态的控制。本文提出建立地质遗迹数字化模型、划定绝对保护区及优化地质理论成果转化等措施保障地质遗迹资源的可持续利用。

## 关键词

桂林穿山, 岩溶微地, 成因机制, 地质遗迹保护, 无人机遥感

# Characteristics, Genesis and Protection Strategies of Karst Geological Heritages in Chuanshan, Guilin

Fajun Wang

College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

Received: June 1, 2026; accepted: July 2, 2026; published: July 13, 2026

## Abstract

Based on existing geological background data, utilizing a combined method of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) oblique photogrammetry modeling, remote sensing interpretation, and karst micro-geomorphological surveys, this study ascertains the structural characteristics of Chuanshan in Guilin, systematically categorizes the types of geological heritages in the Chuanshan caves, and elucidates the karst dynamic evolution mechanisms of typical chemical sedimentary heritages. The research indicates that: (1) the macroscopic morphological development of Chuanshan is jointly controlled

by NW-trending major faults and EW-trending transverse extensional faults; (2) the suspended stone pillar heritage landscape is the product of the combined effects of abrupt paleoclimatic changes and tectonic uplift; (3) the developmental morphology of cave shields and the evolution of soda straw-stalactites are controlled by fracture attitudes, hydrostatic pressure, and seepage flow regimes. To ensure the sustainable utilization of geological heritage resources, this paper proposes measures such as establishing digital models of geological heritages, delineating absolute protection zones, and optimizing the transformation of geological theoretical achievements.

## Keywords

Guilin Chuanshan, Karst Micro-Geomorphology, Genetic Mechanism, Geological Heritage Protection, UAV Remote Sensing

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

桂林是中国南方喀斯特世界遗产地之一，以典型的岩溶地质遗迹景观著称于世。碳酸盐岩是岩溶地质遗迹发育的物质基础，桂林峰林、峰丛洼地组合是全球热带-亚热带大陆岩溶的典型代表[1]。桂林穿山洞穴系统微地貌类型丰富，具有极高的美学价值，也是反演岩溶动力学过程的关键证据。国内外学者对岩溶地质遗迹的特征分类、成因演化研究以及地质遗迹评价、保护与可持续利用进行多尺度研究[2]-[10]。

本文充分利用前人资料，在基础地质调查的同时引入遥感地学、无人机航测等调查方法，阐述桂林穿山地质遗迹的特征与成因类型，深入探讨悬挂石柱成因演化、鹅管向石钟乳转化、石盾等典型遗迹的演化机制。探讨旅游开发中面临的问题，为穿山地质遗迹保护及可持续利用提供对策与建议。

## 2. 桂林穿山地质概况

### 2.1. 位置与交通

穿山位于桂林市七星区穿山公园内，地处漓江东岸，小东江自北向南贯穿公园。交通便利，多条城市主要道路可达(图 1)。



Figure 1. Transportation location of the study area

图 1. 研究区交通位置

2.2. 自然环境概况

2.2.1. 气候与水文

研究区属于亚热带季风气候，年平均气温为 19.3℃，平均年雨量 1900 mm~2000 mm。漓江是区内最大的地表径流与侵蚀基准面，区域水系主要受漓江及其支流控制，全长约 437 km，由北向南贯穿桂林城区。

2.2.2. 地貌

穿山是桂林喀斯特平原上的孤峰之一。山体平面形态呈椭圆状，长轴约 750 m，短轴约 500 m，占地面积约 0.4 km<sup>2</sup>。穿山峰体基座相连，形如笔架，古时称“笔架山”(图 2)。



Figure 2. Distant view of Chuanshan  
图 2. 穿山远景

2.3. 区域构造背景

2.3.1. 地层与岩性

桂林穿山区域出露的地层由老至新依次为泥盆系、石炭系、新近系及第四系[11]-[13](图 3)。岩性以碳酸盐岩为主，其厚度可达 3000 m，分布面积广，纯度高，为岩溶地质遗迹的发育营造物质条件。

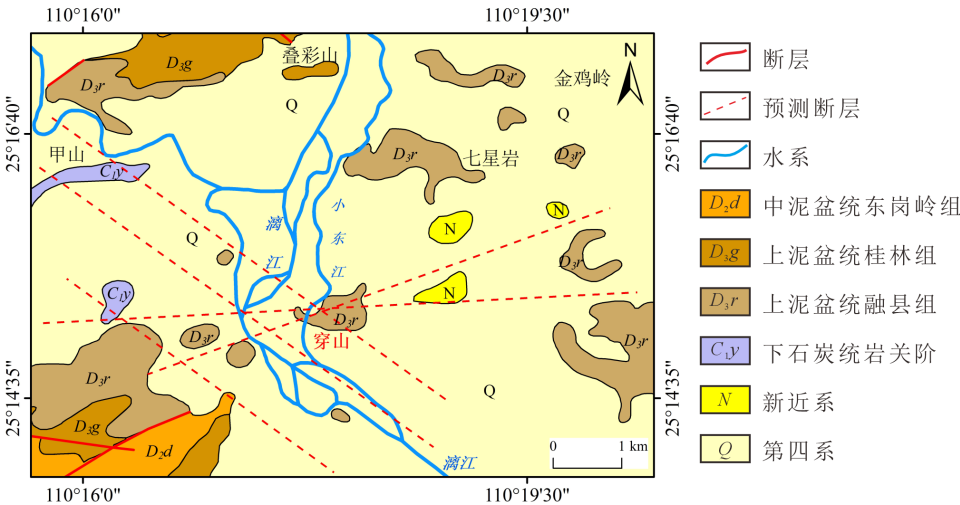


Figure 3. Geological map of the Guilin Chuanshan area  
图 3. 桂林穿山区域地质图

### (1) 泥盆系(D)

东岗岭组(D<sub>2d</sub>): 分布于 SW 一带, 以深灰黑色中厚层灰岩、泥质灰岩为主, 局部夹白云质灰岩, 生物化石丰富。

桂林组(D<sub>3g</sub>): 分布于 NW 叠彩山以及 SW 瓦窑一带, 岩石呈灰黑 - 黑色, 由薄层灰岩、泥灰岩、钙质页岩互层, 水平层理发育。属静水条件下的浅海相沉积。

融县组(D<sub>3r</sub>): 该组岩层在研究区分布广。岩性以浅灰 - 灰白色厚层至块状灰岩、鲕粒灰岩为主, 几乎不含泥质, 节理裂隙丰富。属高能浅滩相沉积。该组地层可溶性极强, 是桂林喀斯特地貌主体地层。

### (2) 石炭系(C)

岩关组(C<sub>1y</sub>): 区域内少量分布, 岩性以深灰色至灰黑色中厚生物碎屑灰岩、泥晶灰岩泥质灰岩为主, 水平层理发育, 与下伏上泥盆统融县组呈整合接触。

### (3) 新近系(N)

区内零星分布, 岩性以紫红色或砖红色泥岩、粉砂质泥岩及薄层泥质粉砂岩为主。属陆相河湖沉积环境, 与下伏岩层呈角度不整合接触。

### (4) 第四系(Q)

区内分布广泛, 主要沿漓江、小东江两岸分布, 具有典型的二元结构特征, 与下伏岩层呈不整合接触, 厚度受地形控制变化极大。

## 2.3.2. 构造

本文研究区地质演化的主要构造格架受到印支期、燕山期以及喜山期新构造运动的强烈叠加与改造, 大量断层贯穿研究区, 走向可分为近 NW 及近 EW 向[14]。穿山处于该构造作用叠加区, 岩体破碎。伴随地层多期次、小幅度的间歇上升, 溶蚀侵蚀横向发展, 岩溶作用十分强烈[15]。这为早期岩溶水的深部运移及后期洞穴系统的形成创造了构造 - 水动力条件。

## 3. 区域遥感解译及 UAV 航测精细化建模

### 3.1. 线性构造宏观遥感解译

本文使用 ArcGIS 软件结合 GDEM V3 30M 卫星影像进行目视交互解译, 提取穿山区域的线性构造格架, 识别出两组起主次控制作用的线性构造:

#### (1) NW 向主控断裂

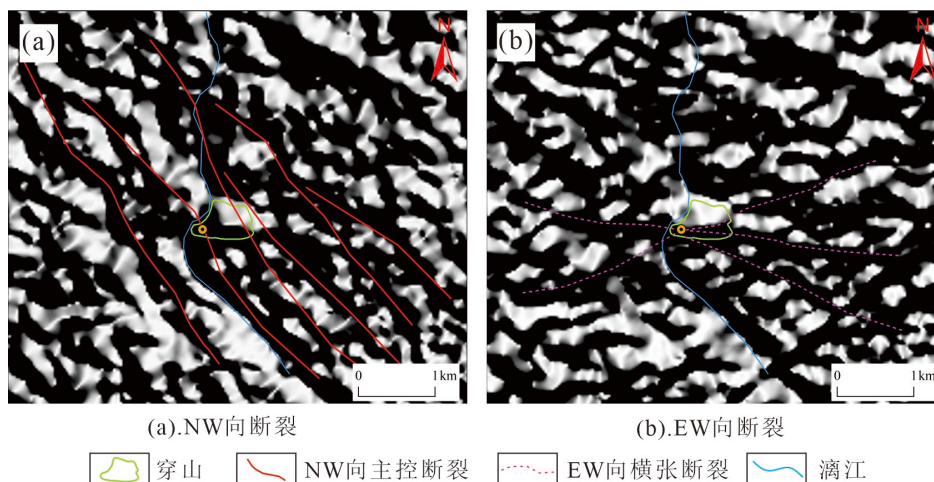
设定光源方位角为 45°, 研究区内显现出一组强烈的 NW-SE 向线性构造影像特征(图 4(a))。穿山山体主体受两条平行的 NW 向构造线夹持, 构成了穿山的骨架。穿山西侧小东江河道流向顺直且与该组构造线平行, 证实了 NW 向构造是该区域的主控构造。

#### (2) EW 向横张裂隙

设定光源方位角为 0°, EW 向次级横张裂隙横切山体, 与 NW 向主控裂隙恰好在月岩发育位置形成正交汇聚(图 4(b))。两组不同方向的构造交会, 为穿山强烈的溶蚀与崩塌营造了构造条件。这种应力集中的构造背景, 揭示了该处月岩形成的构造机理。

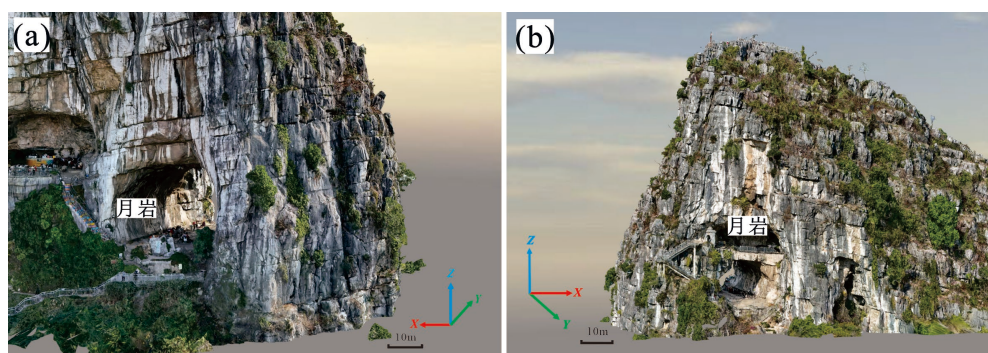
### 3.2. 基于 UAV 的穿山月岩精细特征

本文使用大疆创新公司 DJI Air3 四旋翼无人机对月岩所在的陡崖区域多角度采集航片 217 张, 后期使用 ContextCapture 软件重建三维模型(图 5)。月岩南北对穿形成空腔, 其顶板及侧壁保留有明显的崩塌痕迹, 这与 2.1 节解译出的 NW 向与 EW 向两组正交节理切割方向一致。直观证实了月岩并非简单的溶蚀产物, 其形成先因两组构造交汇导致的岩体破碎加快溶蚀与崩塌作用, 后经侧向剥蚀形成月岩景观。



**Figure 4.** Regional remote sensing structural interpretation map

**图 4.** 区域遥感构造解译图



**Figure 5.** Refined 3D model of Chuanshan Yueyan

**图 5.** 穿山月岩精细化三维模型

## 4. 穿山溶洞地质遗迹特征与分类

穿山洞穴内部的地质遗迹与外界地形地貌都是岩溶地质作用的产物，二者有密切的联系。穿山洞穴内的地质遗迹按其形成时所受的地质营力可以分为剥蚀型和沉积型。

### 4.1. 剥蚀型

剥蚀型遗迹的形成与地下水运动时产生的剥蚀作用密切相关，根据其形态可以分为流痕、窝穴和沟槽。

#### 4.1.1. 流痕

穿山洞穴中流痕主要分布在洞内岩石侧壁和顶板，是由紊流状水不断侵蚀岩石表面而逐渐形成(图 6(a))。流向单一的水流在流经岩石表面时，被粗糙的表面阻碍形成紊流在岩石表面翻滚侵蚀，最终形成群生的波纹状痕迹。这些痕迹在横截面上表现出迎水面延缓背水面陡倾的特点，因此可以指示洞穴发育过程中定向流水方向。

#### 4.1.2. 窝穴

窝穴发育在洞穴四壁的圆形或椭圆形凹坑，由地下水流沿着可溶性岩石的节理面或裂隙面掏蚀形成(图 6(b))。与流痕的成因不同，窝穴是以无定向的水流的涡流作用形成。

穿山洞穴顶端发育一种由多个窝穴在纵向复合而成的大型窝穴(图 6(c))。涡状水流沿着岩石裂隙面向

上侵蚀，同时伴随裂隙下渗产生较强的纵向溶蚀作用的结果。在发育后期，地下水位下降转化为干洞，岩溶水继续从顶端和侧壁下渗，形成石钟乳。

在穿山岩侧壁发育有镶嵌在岩壁上的波状沟痕，这是在潜水面水位稳定时期由湍急的地下河水冲蚀形成。沟槽能够反映古地下河水位的变化。穿山溶洞中“一线不见天”处发育的沟槽-窝穴组合就是受到 NW 向构造裂隙控制发育而成的岩溶景观(图 6(d))。

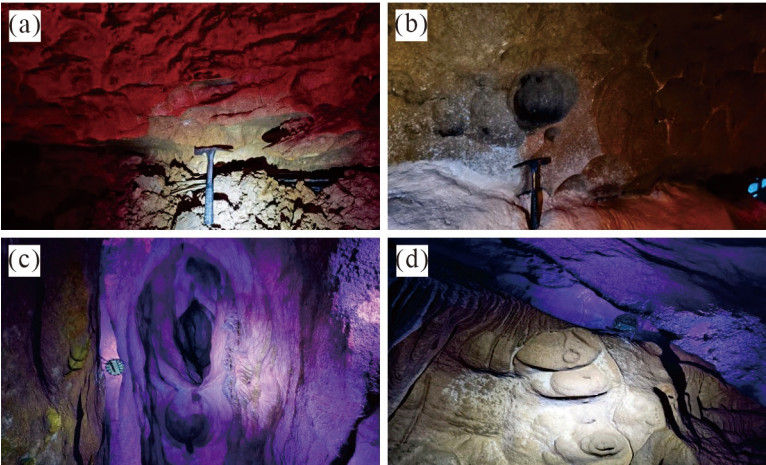


Figure 6. Erosional karst geological heritage  
图 6. 剥蚀型岩溶地质遗迹

4.2. 沉积型

沉积型遗迹按照物质来源和地质作用类型分为生物沉积、机械碎屑沉积和化学沉积等。本文重点论述化学沉积型岩溶地质遗迹。穿山岩洞穴化学沉积型地质遗迹种类众多，依据《地质遗迹调查评价规范》<sup>1</sup>(DZ/T 0303-2025)，按其发育特征、水动力条件及形态结构，将其作以下分类(表 1)：

Table 1. Classification of chemical sedimentary geological relics in Chuanshan cave  
表 1. 穿山岩化学沉积型遗迹分类

| 亚类      | 名称   | 可观测数量 |
|---------|------|-------|
| 滴水沉积型   | 鹅管   | 2617  |
|         | 石钟乳  | 927   |
|         | 石笋   | 106   |
|         | 石柱   | 7     |
|         | 悬挂石柱 | 1     |
| 流水沉积型   | 石帘   | 6     |
|         | 石瀑布  | 3     |
|         | 钙华板  | 17    |
| 非重力水沉积型 | 石盾   | 9     |
|         | 石枝   | 1     |

注：表中数据来自 2026 年 4 月 1 日野外实地调查，观测数量与穿山岩景区开放范围有关。

<sup>1</sup><https://std.cgs.gov.cn/content/98>

#### 4.2.1. 滴水沉积型

##### (1) 鹅管

鹅管是滴水沉积的初期形态。穿山溶洞内的鹅管多分布于洞穴深部潮湿地段，呈中空细长管状(图 7(a))。内径一般为 3 mm，壁厚约 1 mm。鹅管形成于稳定滴水环境，碳酸钙在水滴边缘结晶，包裹水滴向下垂直生长形成鹅管。

##### (2) 石钟乳

石钟乳是碳酸钙自岩溶洞顶向下呈倒锥状生长的一种沉积形态[16](图 7(b))。其横截面呈现出中间为空心管道、周围为碳酸钙沉积的同心圆结构，进一步印证了其于鹅管的连续动力学演化关系。

##### (3) 石笋

洞顶岩溶水滴落至洞底后，碳酸钙自下而上层状堆积形成塔状、棒状或土丘状地质体(图 7(c))。与石钟乳不同，石笋内部无中心通道，呈层状构造。石笋的形态与古滴水的流量有关，水量越小石笋越陡立。

##### (4) 石柱

洞顶垂向生长的石钟乳与洞底向上发育的石笋在空间上最终连结时，形成贯通洞体上下的石柱(图 7(d))。石柱的形成标志着该局部洞段的垂向滴水沉积过程达到了相对成熟的晚期阶段。

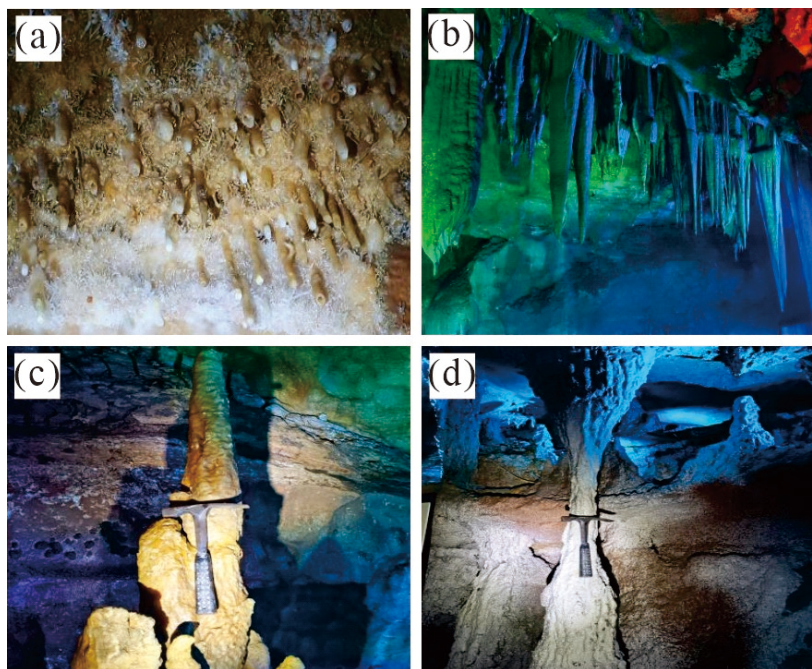


Figure 7. Dripwater-deposited karst geological heritage

图 7. 滴水沉积型岩溶地质遗迹

#### 4.2.2. 流水沉积型

##### (1) 石帘

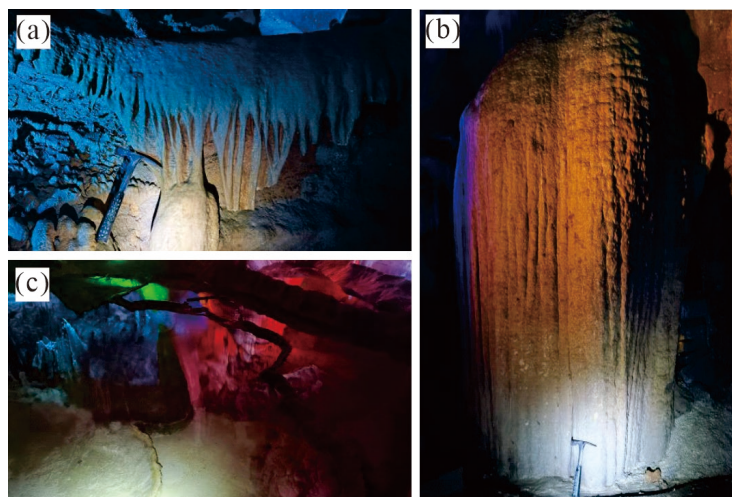
石帘的形成与岩溶水流量增大有关。当岩溶裂隙滴水转变为沿洞顶斜坡或侧壁以线状或均匀的薄膜状渗流时，碳酸钙呈带状或裙摆状沉积，形成形态褶皱的石帘(图 8(a))。

##### (2) 石瀑布

当流量显著增大转变为片状流水，且沿洞内某一陡坎或高陡岩壁大面积连续漫流沉积，则发育为规模宏大的石瀑布(图 8(b))。直观反映了该时期洞穴上覆岩层裂隙网络水交替极其活跃。

### (3) 钙华板

片状流水在洞底平坦地段或浅水洼地中广泛沉积，形成层状钙华板(图 8(c))。穿山溶洞内局部地段可见数层高度不同的钙华板残余，这不仅是流水沉积的产物，更是反演区域古地下河水位标高及地壳间歇性抬升历史的关键地质标志。



**Figure 8.** Flowing water-deposited karst geological heritage  
**图 8.** 流水沉积型岩溶地质遗迹

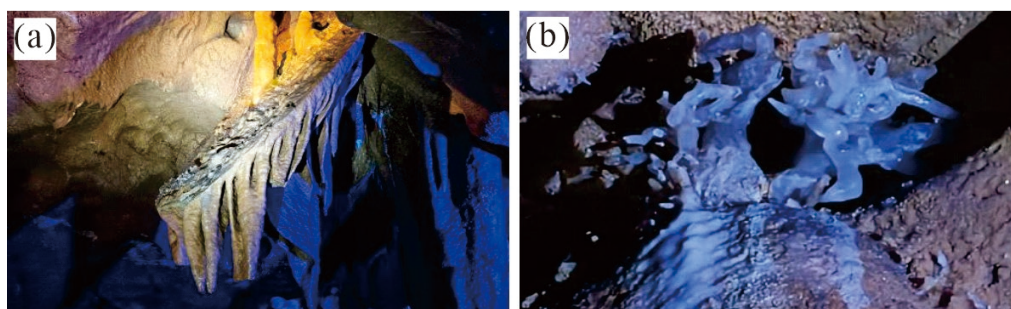
#### 4.2.3. 非重力水沉积型

##### (1) 石盾

石盾由两块平行的钙质板构成，中间的空隙为岩溶水运移的通道(图 9(a))。石盾的发育受毛细作用与静水压力控制，不受重力作用干预。

##### (2) 石枝

石枝又称卷曲石，是由毛细渗透水沉积形成，宏观上呈螺旋状、向上扭曲或水平卷曲的形态(图 9(b))。这反映了石枝发育过程中不受重力的约束，生长方向受静水压力和孔隙结构影响。



**Figure 9.** Non-gravity water-deposited karst geological heritage  
**图 9.** 非重力水沉积型岩溶地质遗迹

## 5. 典型地质遗迹成因机制分析

### 5.1. 悬挂石柱成因演化机制

穿山溶洞发育有一个末端连有残余钙华板但不与洞底相接、形似石钟乳的特殊石柱，长约 1.8 m，自

洞顶下垂，下端距洞底约 1.7 m。在其旁侧发育有更长的石钟乳，周围的洞壁上有明显的钙华板残余，其标高与该特殊石柱的末端基本一致(图 10)。这些残余的钙华板很可能是古洞穴发育时期的局部底板，即为“假底”。

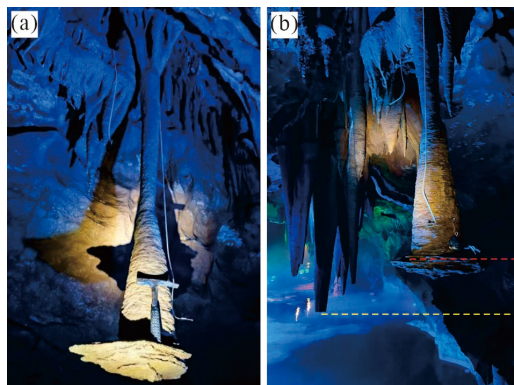


Figure 10. Hanging column

图 10. 悬挂石柱

悬挂石柱的形成，精准记录了穿山溶洞从浅饱水带向渗流带演化的古水文事件。结合其形态特征与底部堆积物关系，其“假底崩塌”的动力学演化过程可划分为以下四个阶段(图 11)：

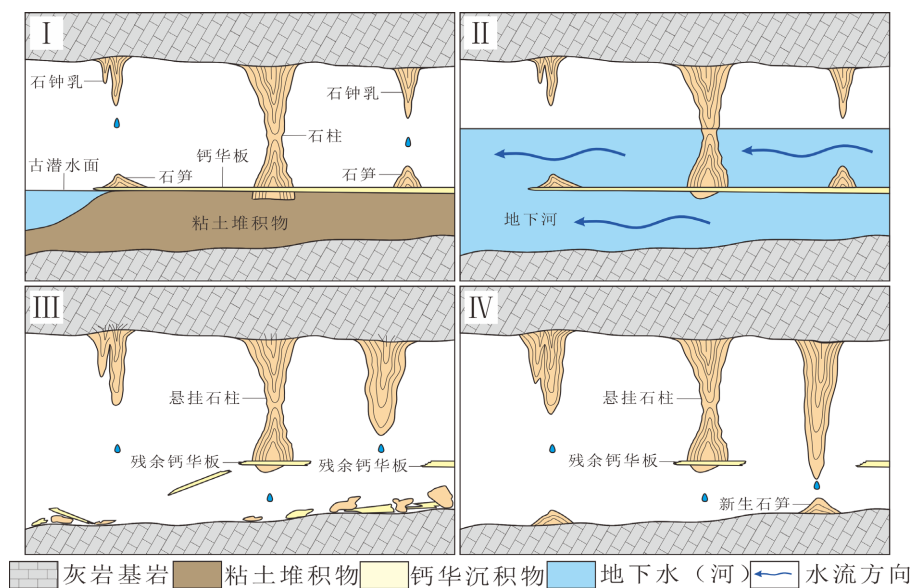


Figure 11. Schematic diagram of hanging column evolution

图 11. 悬挂石柱演化示意图

(I) 静水沉积期。潜水面稳定，由水面横向析出碳酸钙晶体形成早期钙华板。洞顶石钟乳持续垂向生长，与下方钙华板上的沉积物相接形成完整的石柱，而旁侧的石钟乳尚未形成石柱。

(II) 水动力突变期。这一阶段的演化存在两种可能的古环境驱动机制：其一，受古气候极端降水事件影响，潜水面短期内急剧上升，岩溶水转化为湍急的地下河强烈冲蚀并掏空了假下方松散的粘土堆积物；其二，新构造运动地壳间歇性抬升，使穿山溶洞脱离饱水带，潜水面下降导致洞内基底失去了原先地下水的静水顶托力。

(III) 假底崩塌期。早期形成的基底因失去下伏沉积物支撑和地下水顶托,假底因重力失稳发生崩塌。原先连结的石柱下方也断裂悬空,仅留下钙华板断裂的痕迹。

(IV) 干洞期。水位整体下降,洞穴彻底脱离地下河阶段,转为干洞。悬挂石柱旁侧未受崩塌影响的石钟乳,在后期的滴水作用下继续垂向生长,形成了如今长短不一的对比景观。

综上所述,穿山溶洞悬挂石柱的成因并非单一地质营力所致,而是新构造运动和古气候突变共同作用的产物。

## 5.2. 鹅管向石钟乳的结晶动力学演化机制

鹅管与石钟乳在宏观形态上差异显著,但在微观成因上具有连续的动力学演化关系。其演化机制可归结为流体动力学与结晶学特征的转变(图 12):

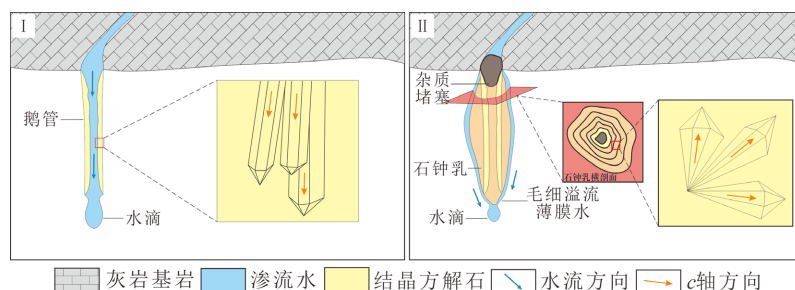


Figure 12. Soda straw-stalactite evolution diagram

图 12. 鹅管 - 石钟乳演化示意图

(I) 鹅管纵向生长期。岩溶水自洞顶裂隙渗出,碳酸钙率先在水滴的气液交界面结晶为方解石。微观上方解石在重力与水流方向的共同引导下, $c$ 轴呈纵向排列。随着水流不断滴出,管道逐渐延长,直径与水滴一致。

(II) 鹅管横向增粗期。当渗流水中携带的粘土等杂质堵塞了鹅管的中心管道时,水流无法继续从末端滴出而被迫从管壁孔隙渗溢,在鹅管外形成薄膜水。这一水动力条件的改变,导致方解石晶体的结晶面转移至侧壁, $c$ 轴生长方向转为横向,形成垂直于管壁向外的放射状结晶。伴随多期次薄膜水的交替沉积,最终形成具同心圈层结构的石钟乳。

## 5.3. 石盾的成因机制与附属物沉积演化

### 5.3.1. 石盾的成因机制

与重力主导的滴水沉积物不同,石盾的生长产状并非垂直向下,其成因受控于非重力渗透水的静水压力。穿山溶洞中石盾的成因可分成两个阶段(图 13):

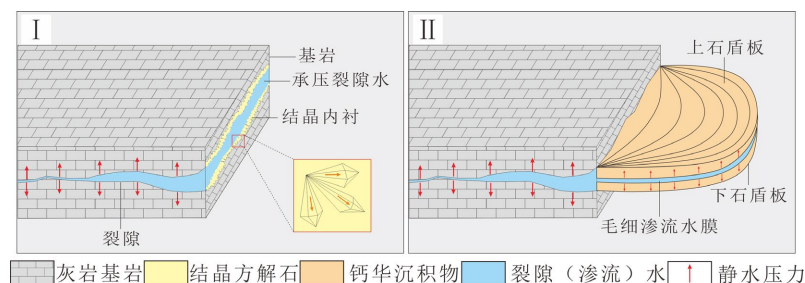


Figure 13. Schematic diagram of stone shield formation

图 13. 石盾成因示意图

(I) 裂隙渗透水结晶初期。当岩溶水赋存于具有承压性质的基岩裂隙中时,受稳定静水压力的水流以缓慢渗透的方式从裂隙面渗出。因渗流至外界时理化条件变化,使碳酸钙在裂隙口两侧开始析出、结晶形成方解石。

(II) 石盾形成期。随着水流持续渗出,在裂隙口结晶的方解石不断加宽延伸形成两块平行的钙质板。由于岩溶水受到稳定的静水压力控制,使方解石晶体的  $c$  轴生长方向保持横向,钙质板产状与裂隙面的产状保持一致。在空间上,这些钙质板就是岩层裂隙面在洞穴空腔中的直接物理延伸。钙质板增厚、老化,发育为成熟石盾。

### 5.3.2. 附生石帘、石钟乳成因分析

当基岩裂隙的供水量增大,超出了石盾两板间微裂隙的毛细输送与蒸发结晶能力时,过剩的岩溶水便会沿盾板的边缘或外侧壁溢流。此时重力作用重新成为控制水流方向的主导,先前的渗流水转化为薄膜状片流在石盾边缘滴落,在石盾的下沿生出下垂的石钟乳或石帘(图 14)。

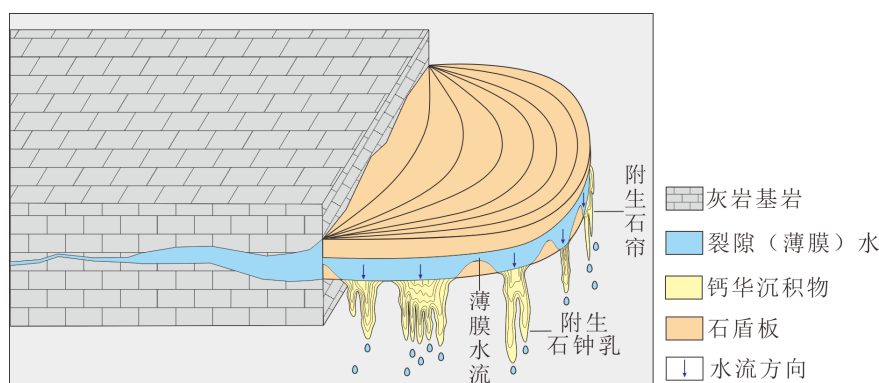


Figure 14. Schematic diagram of genesis of epiphytic stone curtains and stalactites

图 14. 附生石帘、石钟乳成因示意图

### 5.3.3. 连心石盾成因分析

穿山岩溶洞发育有罕见的四连心石盾。是由于初期石盾形成后,内部裂隙并未随结晶完全闭合,承压岩溶水继续寻找边缘薄弱点溢出,继续以环状向外析出碳酸钙,最终在穿山溶洞内发育出极为特殊的“四连心石盾”复合体景观(图 15)。这种主-副盾板多级嵌套的现象,反映了该区域曾长期处于极其稳定的承压水文环境中。



Figure 15. Quadruple composite cave shield

图 15. 四连心石盾

## 6. 地质遗迹评价与保护利用

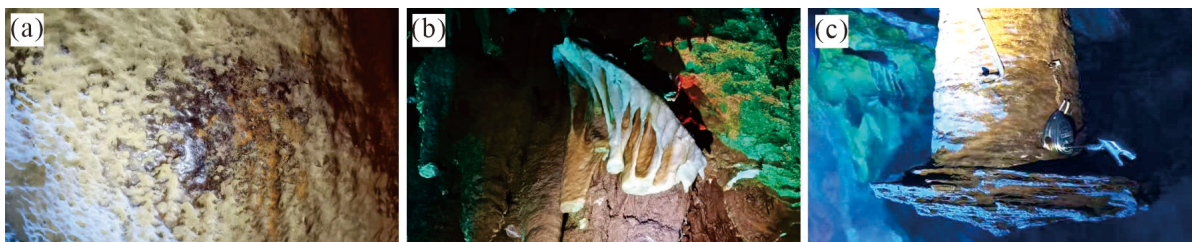
### 6.1. 科学与美学价值评价

桂林穿山丰富的地质遗迹具有极高的科学研究价值和美学观赏价值。月岩穿山而过的宏大空腔与溶洞内精巧的鹅管、石枝形成了强烈的视觉对比。悬挂石柱、四连心石盾等为反演桂林盆地晚更新世的新构造抬升与古气候变迁提供了不可替代的岩溶动力学证据。

### 6.2. 现状问题分析

随着旅游开发的深入，穿山溶洞内部分珍贵的地质遗迹正面临人为活动的直接威胁，其脆弱性日益凸显。

由于早期景区粗放式规划设计，地面上阻碍步道的石笋被人为铲除；大量处于生长阶段的遗迹体被游客直接触摸，手上的油脂和污垢会使这些地质体发育停滞并出现氧化和发黑现象(图 16(a))，甚至被人为折断(图 16(b))。景区开发和运营过程中，为追求景观照明效果直接在遗迹本体上安装照明灯及布设线缆，造成不可逆的损害(图 16(c))。景区使用非冷光源照明，导致靠近光源的岩壁及钙华表面滋生苔藓，其分泌的有机酸会对地质遗迹体造成化学腐蚀。



**Figure 16.** Karst geological heritage damaged by human-induced physical destruction

**图 16.** 被人为损坏的岩溶地质遗迹

### 6.3. 地质旅游利用与可持续发展

为促进桂林地质旅游发展，建立高质量的桂林穿山景区提出以下对策：

(1) 建立穿山地质遗迹数字化模型。引入三维激光扫描技术，对溶洞内脆弱的地质遗迹建立数字模型档案。定期比对点云数据，实现对遗迹变形、风化程度的量化动态监测。

(2) 分区系统保护。将鹅管、石盾密集区以及悬挂石柱列为“绝对保护区”，设置隐蔽式玻璃幕墙或景观围栏进行物理隔离，景观照明替换为感应式冷光源，从源头上切断人为触摸与生物溶蚀的途径。

(3) 地质理论的科普转化。优化景区解说牌设计，摒弃神话传说式讲解强化基础地质科普。可引入 AR 科普动画演示典型地质遗迹成因，使穿山景区向高质量的“地质研学型”旅游目的地转型。

## 7. 结论

本研究通过对桂林穿山开展室内室外相结合的调查方法，查明穿山地区构造应力格局，总结典型岩溶地质遗迹的成因，深入剖析穿山典型地质遗迹的成因演化机制。研究表明，在宏观上穿山的展布受 NW 向、EW 向两组断裂叠加控制，区域内岩体破碎为早期岩溶水的运移、洞穴发育提供了构造地质条件。

微观岩溶动力学层面，岩层裂隙产状与静水压力变化共同控制石盾的发育形态；鹅管-石钟乳的演化机制实质上是鹅管中心管道受阻塞导致渗流水由滴流转变为薄膜溢流，使方解石结晶过程中 *c* 轴发生了横向偏转；此外，残存的悬挂石柱景观是晚更新世古水文条件变化和新构造间歇性抬升的重要证据。

针对当前穿山旅游开发中面临的地质遗迹损伤问题, 本文提出建立岩溶微地貌数字档案、分级分区系统保护、优化地质理论的科普转化等可持续发展对策。总体而言, 桂林穿山地质遗迹记录了丰富的区域地质演化信息。本研究成果为其他类似地质条件的地质遗迹调查与可持续利用提供详实的参考案例。在地质遗迹调查与开发中, 要完善珍稀地质遗迹的保护对策, 提高地质遗迹利用的可持续性。要将基础地质理论融入到文旅产业中, 为地方经济发展、生态文明建设注入活力。

## 参考文献

- [1] 袁道先, 章程. 岩溶动力学的理论探索与实践[J]. 地球学报, 2008(3): 355-365.
- [2] 陈志强, 张远海, 邓亚东. 凤山岩溶国家地质公园溶洞资源特征及保护价值评价[J]. 资源环境与工程, 2025, 39(6): 771-779.
- [3] 贾志远, 弓小平, 王吉润, 等. 新疆特克斯县科桑溶洞地质遗迹特征、成因及评价[J]. 城市地质, 2025, 20(1): 60-69.
- [4] 潘天望, 史文强, 李成展, 等. 云南麻栗坡老山地区岩溶地貌地质遗迹特征及成因分析[J]. 中国岩溶, 2024, 43(6): 1430-1444.
- [5] 江志, 汪梅生. 安徽石台溶洞群国家地质公园溶洞群地质成因简析[J]. 西部资源, 2022(4): 182-184.
- [6] 任娟刚, 洪增林, 唐力, 等. 陕西镇巴三元天坑群岩溶地质遗迹特征及成因[J]. 四川地质学报, 2021, 41(3): 523-528.
- [7] 洪增林, 任娟刚, 张远海. 陕西汉中天坑群岩溶地质遗迹形成探微[J]. 陕西理工大学学报(自然科学版), 2020, 36(3): 81-87.
- [8] 陈武, 肖加飞, 譙文浪, 等. 贵州施秉喀斯特世界自然遗产地地质遗迹类型和特征[J]. 贵州科学, 2020, 38(1): 62-70.
- [9] Bazebizanza Tchiguina, N.C., Samba, P.R.R., Nkodia, H.M.D., Boudzoumou, F., Arfaoui, I., François, C., *et al.* (2026) Inventory of Karstic Cavities of the Schisto-Calcaire Group, Republic of the Congo: Applying a Geoheritage Promotion Approach in the Madingou Region. *International Journal of Geoheritage and Parks*, **14**, 43-59. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2026.02.002>
- [10] Singtuen, V., Nulay, P., Kaweera, A., Charoentitirat, T. and Phajuy, B. (2024) Geoheritage Characterisation of Thap Lao Karst Spring in Chaiyaphum Geopark, Northeastern Thailand for Sustainable Geotourism Development. *Geoheritage*, **16**, Article No. 113. <https://doi.org/10.1007/s12371-024-01021-0>
- [11] 范可, 冯佐海, 王翔, 等. 桂林市岩质崩塌发育特征与影响因素[J]. 自然灾害学报, 2019, 28(2): 169-182.
- [12] 冯佐海, 李晓峰, 刘辉利, 等. 桂林市断裂构造对岩溶塌陷的控制作用[J]. 桂林工学院学报, 2000, 20(4): 344-349.
- [13] 颜李冰清. 桂林市岩溶塌陷发育特征及发展趋势分析[D]: [硕士学位论文]. 桂林: 桂林理工大学, 2022.
- [14] 江思义, 吴福, 刘庆超, 等. 广西桂林市规划中心城区岩溶塌陷时空分布规律及成因分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2020, 31(3): 65-72.
- [15] 吴枝坦. 桂林市地下岩溶发育规律性的初步探讨[J]. 广西地质, 1986(1): 76-84.
- [16] 袁道先, 等. 现代岩溶学[M]. 北京: 科学出版社, 2016: 34.