

曹晓娟,姜伏伟,陈友智,等.武陵山地区红色岩溶景观形成地质条件与演化模式研究[J].中国岩溶,2020,39(6):945-951.
DOI:10.11932/karst20200614

武陵山地区红色岩溶景观形成地质条件 与演化模式研究

曹晓娟^{1,2},姜伏伟³,陈友智³,董颖²,杨宏斌²

(1. 中国地质大学(北京),北京 100083; 2. 中国地质环境监测院,北京 100081; 3. 贵州理工学院,贵阳 550003)

摘要:武陵山地区出露着层层叠叠,形似宫殿、堡垒,且与沟壑相嵌、具有较强观赏和开发利用价值的一类红色岩溶地貌景观。通过野外调查和资料分析,掌握此红色岩溶景观的分布范围,分析其发育的区域地质背景、地层岩性、地质构造及溶蚀作用等主要影响因素,以进一步解析其形成过程。结果表明:武陵山地区红色岩溶景观的形成经历了沉积成岩、抬升剥蚀、上下溶蚀成景三个主要演化阶段。

关键词:武陵山;红色岩溶景观;地质条件;演化模式

中图分类号:P931.5 文献标识码:A

文章编号:1001-4810(2020)06-0945-07 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引言

武陵山地区的湖南省古丈县—桑植县、贵州省松桃县—印江县、重庆市酉阳县以及湖北省恩施市来凤县—宣恩县等地都出露着层层叠叠,形似宫殿、堡垒,且与沟壑相嵌的红色屋檐式岩溶地貌,其受到各级政府和社会的广泛关注,古丈县红色岩溶景观现已纳入国家保护地体系,并成功获批世界地质公园,湖南省永顺县龙溪镇红色岩溶景观已纳入不二门国家森林公园进行保护,酉阳县红色岩溶景观已于2012年获批为国家地质公园。尽管如此,其保护与科学利用程度仍较低,依然有部分地质遗迹尚处于保护地之外,如湖南省龙山县茨岩塘镇、贵州省松桃县等。红色岩溶景观是珍贵的、有重要科学价值和观赏价值的地貌景观类地质遗迹,可展示出其特殊罕见的氧化沉积环境,是中国南方岩溶演化故事的重要组成部分;其溶蚀形成姿态各异的造型石和壮观的红色景观具有很高观赏性和较强吸引力。

目前,已有文献资料将这类地质景观命名为“红

石林”^[1-3]。根据国家技术监督总局颁布的《岩溶地质术语》(GB12329-90)国家标准4.1.6中对石林(stone forest)的定义为:由土壤水溶蚀产生的溶蚀裂隙、溶痕、溶沟,并经雨水改造而成的,由密集林立的高达20~50 m的锥柱状、锥状、塔状岩体组合成的景观。但武陵山地区地貌景观在形态上与典型石林存在较大差异。本文着重讨论景观的成因,对地貌的命名另文讨论,为便于研究,暂称为红色岩溶景观。此类景观遗迹的开发利用程度较低,研究尚处于起步阶段,文献报道较少。吴亮君等^[4]对湘西地质公园内古丈红石林的特征和成因进行了分析,认为其形成经历了沉积—抬升—剥蚀三个阶段,具有土上和上下溶蚀特征,其晴红雨黑特征可能为表面藻类所造成;周正茂等^[5]通过分析酉阳红色岩溶景观,认为其形成经过了沉积成岩、叠加改造、表张溶蚀和改造定型四个阶段,并认为酉阳红色岩溶景观在15万年前初具规模,提出西水河式红石林成因模式。而其他地方的景观特征与成因研究未见文献报道。本文基于区域地质遗迹调查成果,

基金项目:中国地质调查局项目《全国地质遗迹立典调查与评价》(DD20190074);贵州省自然科学基金项目(黔科合基础[2020]1Z030)

第一作者简介:曹晓娟(1981—),女,教授级高级工程师,从事第四纪地质研究工作。E-mail:caoxj1981@163.com。

收稿日期:2019-03-28

综合分析红色岩溶景观的演化模式,以期为下一步地质遗迹保护管理与科学利用提供借鉴。

1 研究区地质概况

武陵山地区毗邻扬子陆块与华南陆块过渡区的雪峰隆起^[6]。在新元古代时期,洋陆俯冲形成雪峰山的雏形,并在晚新元古代发生裂解^[7]。在早古生代早中奥陶世时期,造山作用停滞,岳阳—安化—怀仁—宜州一带为江南深水沉积,向北西依次过渡为斜坡相、浅海陆棚相、碳酸盐岩台地相(仅出现于大湾期)^[8]和滨岸相^[9]。加里东期雪峰造山过程表现为幕次递进变形,其影响范围向西推进到修水—沅陵—麻阳—三都一线,紧邻研究区。晚三叠纪末造山运动则表现为连续递进变形。印支期构造事件影响范围的西界推进至慈利—保靖—三都断裂,武陵山地区受其影响。而燕山期板内活动的范围向西扩展至华蓥山断裂^[10],研究区也受到波及。白垩纪的伸展事件使得武陵山地区发育沅麻断陷盆地^[11]。古近纪中晚期区域北东—北北东向挤压以及古近纪末—新近纪初北西向挤压等构造事件也影响到了研究区。

雪峰山西侧连续递进变形自南东向北西构造变形强度逐渐减弱,依次形成冲断—断弯—断展—滑脱几种不同的构造形态^[10]。其中,武陵山地区吉首、古丈、张家界发育断弯褶皱^[12],慈利—保靖断层之间发育隔槽式褶皱^[13],鄂西南来凤—宣恩、湘西北桑植发育复背斜、复向斜构造^[14]。研究区断弯褶皱和箱状褶皱的核部,复背斜、复向斜平缓的核部或翼部产状较小的区域是景观形成的有利区域。此外,印支期和燕山期的连续递进变形也促使区内断层、节理、裂缝发育,增强了水流的溶蚀作用,易形成差异风化和岩层崩塌。

2 红色岩溶景观的分布与特征

武陵山地区红色岩溶景观成景于奥陶纪大湾组、牯牛潭组和十字铺组紫红色瘤状泥质灰岩地层中。根据区域地质资料,成景地层主要分布于湖南省吉首、古丈、张家界、永顺、桑植、龙山等区域^[10],湖北省来凤—宣恩一带^[13],重庆渝东南酉阳—秀山一带^[14],及贵州省沿河、印江、石阡、松桃等区域^[15](图1)。

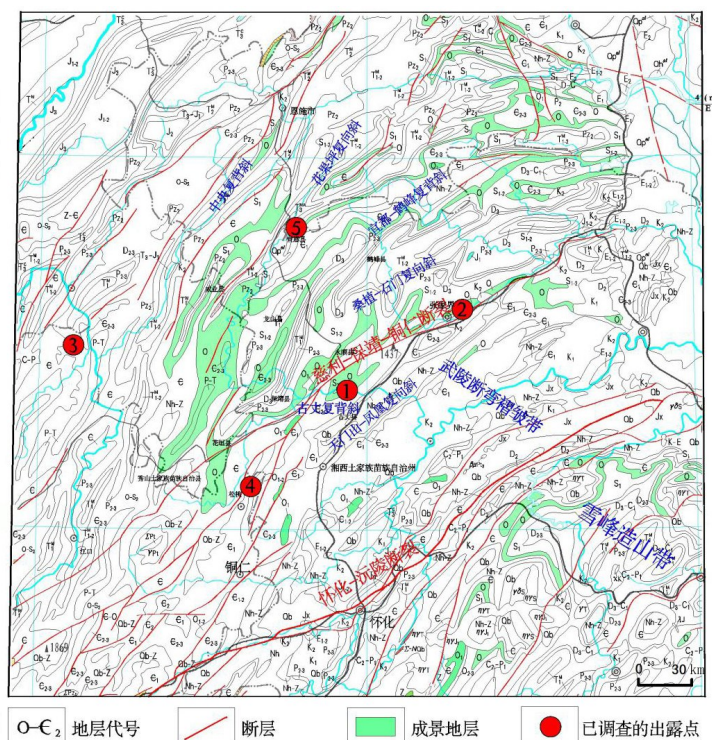


图1 区域地质图
Fig. 1 Regional geological map

红色岩溶景观集中发育于酉水河流域的谷坡地带,初步调查发现在湖南省古丈、龙山、永顺一带

人工剥露的景观集中分布面积约为20 km²,贵州省松桃、印江、沿河地区剥露出的红色岩溶景观面积

约为 1 km²,重庆市酉阳—秀山一带红色岩溶景观分布面积较小,不足 1 km²,其他地区受工作程度影响,发现较少,其具体分布情况有待于进一步详细调查。

红色岩溶景观主色调为红色或紫红色,垂向上具红色灰白色互层特征(图 2a);地层产状平缓,岩层理构造清晰,单层厚度小且矿物成分具有差异性,

其形态上多呈现整体的叠层状或屋檐状的堡垒(图 2b),并与沟壑相嵌,局部地区存在孤立石柱,石柱高一般在 10 m 以内(图 3a),少数在 20~50 m,直径在 1~5 m,受网格状陡立节理控制,表面发育有溶痕、溶沟等(图 3b)。其景观形态类型多样,发育有箱形(图 4a)、塔形(图 4b)、船形、锥形、穿洞形、蘑菇形、柱状形、屋檐形。



图 2 红色岩溶景观

Fig. 2 Red karst landscape

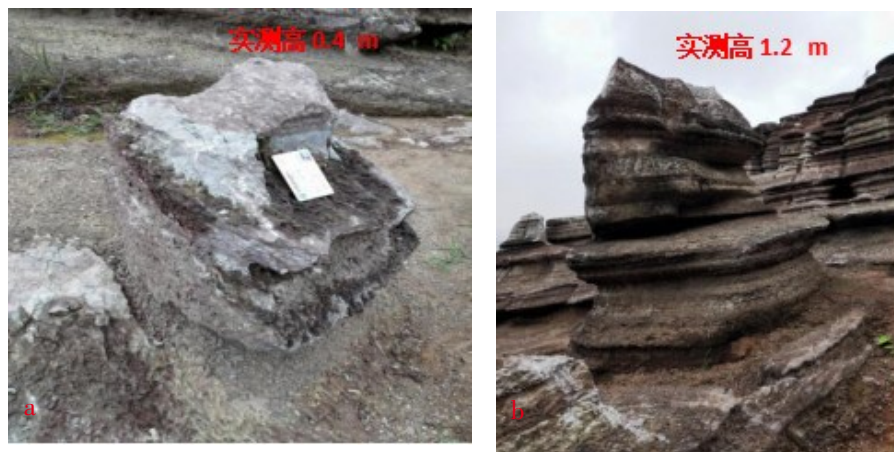


图 3 孤立石柱

Fig. 3 Isolated stone pillars

3 红色岩溶景观的形成条件

奥陶纪地层的岩石组合是岩溶地貌景观形成的母体,岩石被构造应力切块、造缝,经土壤水、地下径流水、地表渗水的联合营力雕刻溶蚀成型。其岩石颜色和地层产状及不同岩性互层状叠置方式决定了地貌景观的形态与格架,碳酸盐岩的纯度决定了溶蚀速度,灰岩—泥灰岩—钙质泥岩构成的互层结构

决定了堡垒、石柱所具有的屋(塔)檐式地貌。

3.1 地层及沉积环境

红色岩溶景观的成景地层形成于浅海环境。早奥陶世末,郁南运动使得中上扬子地块西南部康滇古陆范围扩大,同时受地块北部的川西古陆和川陕古陆的影响,大湾—牯牛潭期碳酸盐岩沉积范围萎缩,仅出现在以武汉—松滋—保靖—剑河为中心,宽

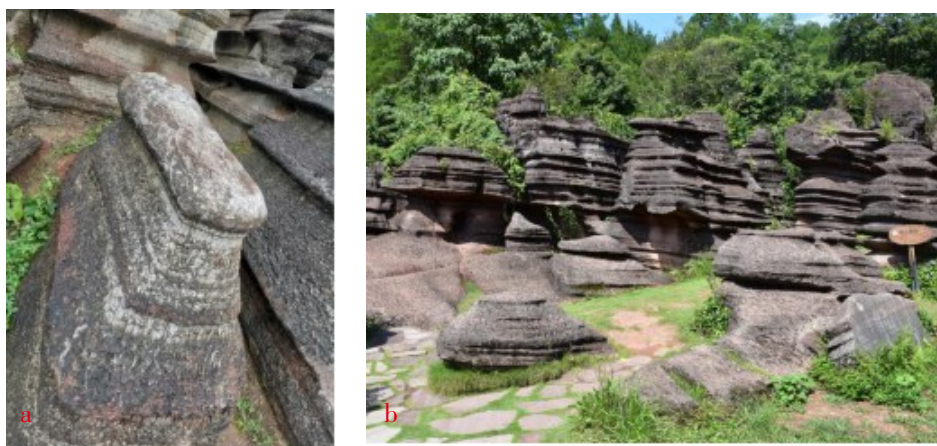


图4 不同形态的岩溶景观

Fig. 4 Karst landscape with different forms

100~300 km的弧形相带上^[9],东起张家界—吉首、西至沿河—石阡一线,沉积了大湾组、牯牛潭组和十字铺组碳酸盐岩。依据岩层层面可见龟裂纹、泥质灰岩层内富含铁的氧化物和瘤状灰岩内产有腕足、棘皮、三叶虫和介形虫等浅海相生物化石组合,可判断其形成于浅海氧化环境。另外,成景岩石多发育水平层理、生物潜穴及水平一波状藻纹层,则说明沉积时的水动力较弱,为浅海陆棚沉积环境。

3.2 岩性

3.2.1 红色碳酸盐岩

红色碳酸盐岩成岩于扬子海域湘西北浅海,属台地—台地边缘浅滩相。沉积物中的陆源碎屑主要来源于康滇古岛,提供了岩石及矿物成分中的铁、锰质物源。

自奥陶纪大湾期开始,扬子陆块内部的气候湿热,氧化环境促使铁、锰物质氧化,形成红色的 Fe_2O_3 、 MnO 等氧化物,这为岩石染色的同时也奠定了成景色彩。

3.2.2 互层状地层结构(岩石差异性)

灰岩—泥灰岩—钙质泥岩构成的互层状地层柱子结构和不同岩石溶蚀速率的差异性,决定了在坡面和陡立裂缝断面上岩层呈现凸凹有序的屋(塔)檐式形态。灰白色碳酸盐岩,成分纯、易溶蚀,呈白色凹陷槽;深红、暗红色泥质灰岩、钙质泥岩可溶物质少,溶蚀速率慢,呈现为屋(塔)檐式凸脊。这说明岩石互层结构与岩性差异性形成屋(塔)檐式景观的主要因素。

3.2.3 地层产状平缓(水平到低倾角)

湖南省古丈县红石林镇、重庆市酉阳县麻旺镇白竹村、酉酬镇江西湾村、贵州省松桃县盘石乡等地,形成红色岩溶景观的岩层倾角一般小于 10° 。而在贵州省凯里市旁海镇具备红色碳酸盐岩及互层岩层结构条件,因其地层倾角相对较陡立,介于 $30^\circ\sim 40^\circ$ 之间,则未形成红色岩溶景观。这说明平缓的岩层产状也是红色岩溶景观形成的重要条件之一(图2b)。

3.3 构造情况

3.3.1 地壳抬升

红色岩溶景观的母体是早—中奥陶世地层,沉积成岩时代距今4.7~4.85亿年,目前成景地层裸露地表或近地表,被较薄的土壤层覆盖,这说明红色岩溶景观发育在构造运动引起的地壳抬升区。在湖南省古丈红色岩溶景观区,保留着四级夷平面,海拔高度分别为900~1 000 m、700~800 m、500~600 m和300~400 m,这些夷平面的存在表明该地区地壳至少发生过四次间歇性的抬升过程,并使成景母体地层抬升到地表或近地表,这为景观的形成提供了有水溶蚀作用发生的环境条件。

3.3.2 节理裂隙

在湖南省古丈红色岩溶景观区主要发育三组陡立节理裂隙(走向 30° 、 80° 和 320°)(图5a)、贵州省松桃红色岩溶景观区发育两组陡立节理裂隙(走向 80° 和 170°)(图5b)。构造应力切块、造缝,为土壤水、流水(地下水或地表渗水)提供了下渗通道,沿着节理

裂隙渗入的水溶蚀地层内部可溶岩石,在漫长地质历史过程中,形成沟壑与岩壁上的凹槽和凸脊,造就

了红色岩溶景观丰富、多姿的造形与美景,最常见沟壑、石柱等地质遗迹。

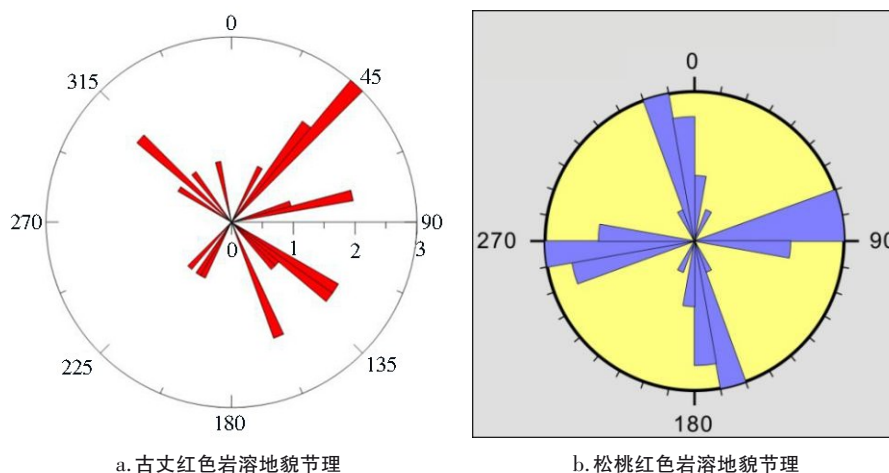


图 5 节理玫瑰花图

Fig. 5 Rose diagram of joints

3.4 溶蚀作用

在地表由于物理风化作用的参与,纯碳酸盐岩因结构致密,矿物组成单一,抗物理风化能力较强,呈现脊状凸起;而泥质灰岩因成分不均一,不同矿物对温度、湿度的反应或效应有差异,易遭受物理风

化,常呈现凹陷槽状。但红色岩溶景观却恰恰相反,泥灰岩呈现脊状凸起,而纯灰岩呈现凹陷槽状。这说明红色岩溶景观不是在岩层出露地表后经物理风化形成,而是在土下溶蚀的。红色岩溶景观表面溶蚀痕迹(图 6a)、溶蚀穿洞(图 6b)等现象明显,这佐证了这类地质遗迹形成的溶蚀作用。

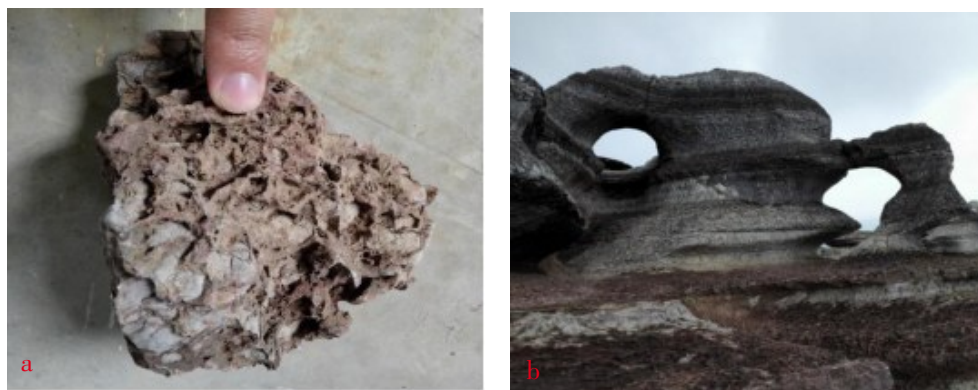


图 6 溶蚀现象

Fig. 6 Dissolution phenomenon

3.5 土层覆盖

红色岩溶景观形成于地表之下,覆盖土层提供了相对恒定的温度条件。已发现的红色岩溶景观,如古丈、松桃等,均是揭开上覆土壤后才呈现出来的,揭开后的红色岩溶景观暴露地表,承受地表温差变化后,出现严重的物理风化现象。其岩石露出地表 5 a 左右,上、下及侧旁脱落的碎屑物厚度达 1.0~

3.0 cm,平均一侧脱落速度为 0.2~0.6 cm·a⁻¹,这说明土壤之下是单一的溶解、溶蚀作用,地表的温度变化是造成剥落的主要因素,物理风化对地质遗迹的破坏力极强。

4 演化模式

依据前述武陵山地区红色岩溶景观形成的地质

背景条件,结合区域地质构造发展演化,认为武陵山地区红色岩溶景观形成过程经历了三个主要阶段(图7)。

4.1 红色母岩沉积成岩阶段

4.7~4.85亿年期间, CaCO_3 、 MgCO_3 等微溶于水的碳酸盐及陆源碎屑物沉积于扬子海域湘西北浅海。在以内源沉积为主环境下,沉积形成灰白色碳酸盐岩层;在有陆源细碎屑加入环境下,沉积形成含铁锰化合物的泥质碳酸盐岩(图7a)。沉积环境的交替变换,形成了纯灰岩与泥灰岩互层的沉积充填序列。在温暖湿润条件下,陆源细碎屑中的铁锰化合物颗粒氧化形成 Fe_2O_3 、 MnO 等红色氧化物,成就了红色的泥质碳酸盐岩(图7b)。

4.2 整体抬升剥蚀阶段

红色母岩沉积之后,随着扬子海域的发展演化,盆地继续接受新的上覆地层沉积(图7c)。加里东构造运动之后,研究区域内地壳逐渐被整体抬升,在构造应力作用下,岩层内发育2~3组陡立断裂及节理、裂隙构造,抬升作用导致上覆新地层遭受冲刷侵蚀,直至夷平剥蚀殆尽,其风化残留物成为表层土体,并覆盖在成景母岩之上(图7d)。在后续区域构造叠加作用下,成景母岩层有隆起与下凹的差异性变动,并导致部分岩层产状变陡,被强烈风化剥蚀,仅有岩层保持近水平产状的地区保留下来,成为被土壤覆盖的红色岩溶景观区。

4.3 差异溶蚀成景阶段

4.3.1 溶蚀条件

差异溶蚀需具备两个基本条件:岩性差异、溶蚀水及溶蚀面。母岩中纯碳酸盐岩与泥质碳酸盐岩呈现互层为差异溶蚀发育提供了岩性条件。溶蚀水为pH小于7的酸性水,其主要补给来源于大气降水,酸性是由于空气和土壤中的 CO_2 溶于水并发生水解生成 H^+ 所致。根据上述条件,差异溶蚀主要发生于岩土界面(母岩边界)或节理裂隙面。

4.3.2 成景过程

当成景母岩浅埋于土体下方时,降雨入渗及地下径流水沿着坡面及节理、裂隙面对母岩进行溶蚀。泥质碳酸盐岩中泥质成分可溶性较差,阻隔了侵蚀水与碳酸盐岩的反应,因此泥质碳酸盐岩溶蚀速率较慢。而纯碳酸盐岩中大部分物质为可溶物,其溶

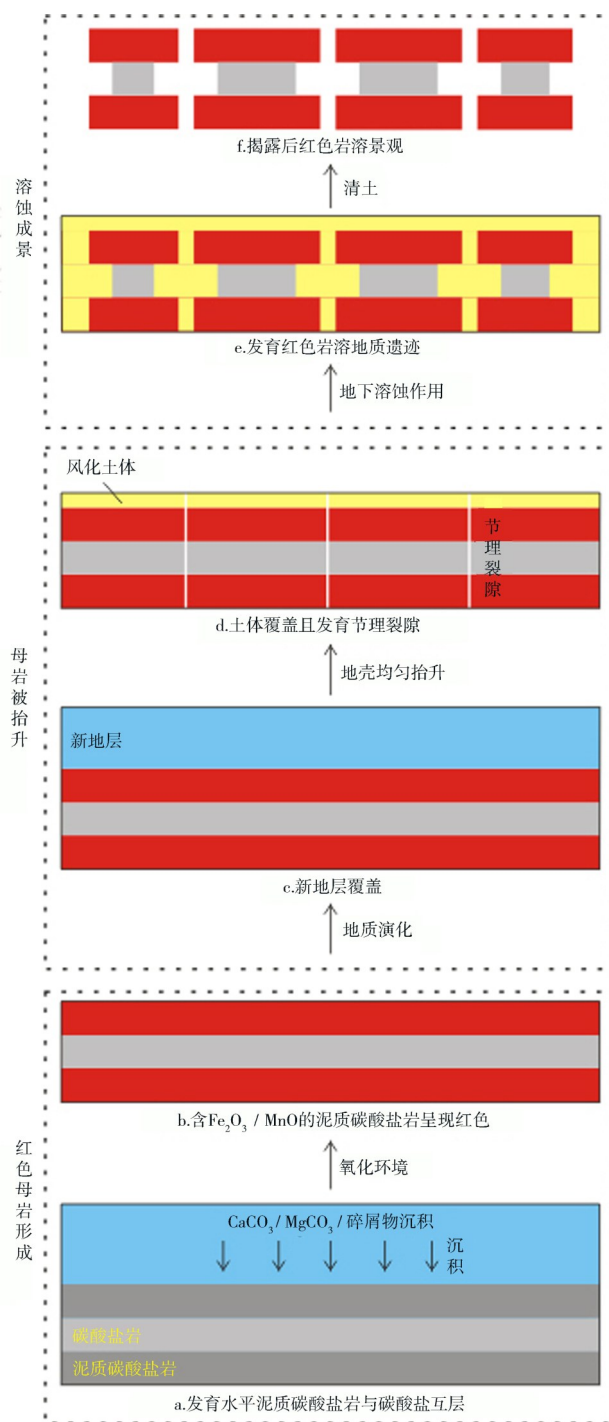


图7 武陵山地区红色岩溶地质遗迹演化模式示意图

Fig. 7 Schematic diagram of developmental mode of red karst geoheritage in the Wulingshan area

蚀速率较快。这种不同岩石溶蚀快慢的差异性,使泥质碳酸盐岩层凸出成脊,纯碳酸盐岩层凹陷成槽。如此差异溶蚀使层层叠叠的灰岩与泥灰岩互层,在陡立节理、裂隙面上形成屋(塔)檐式造形,造就了浅埋型红色岩溶景观(图7e)。当清理掉坡面表土及沟壑中的土壤后,红色岩溶景观显露无遗(图7f)。

5 结 论

(1)武陵山地区红色岩溶景观发育于奥陶系大湾组、牯牛潭组和十字铺组紫红色瘤状泥质灰岩地层中,岩石颜色和地层产状及灰岩—泥灰岩互层结构决定了其红色岩溶地貌景观的形态与格架;

(2)形成其红色岩溶景观的基本条件有:红色泥灰岩与灰白色灰岩的互层及倾角平缓的岩层,地壳整体抬升及陡立节理、裂隙,土壤水、地下径流水及地表渗水的溶蚀作用和红土层的覆盖;

(3)武陵山地区红色岩溶景观形成过程经历了红色母岩沉积成岩、地壳整体抬升剥蚀、差异溶蚀成景三个主要阶段。

参考文献

- [1] 陈建平, 马文瀚. 湖南古丈红石林地质遗迹形成条件及发育过程初探[J]. 地质灾害与环境保护, 2006, 17(3): 83-86.
- [2] 王榛琪. 古丈县红石林成因及地学价值分析[J]. 国土资源导刊, 2014, 10: 100-103.
- [3] 朱怡欢, 刘江龙, 吴湘滨, 等. 湖南古丈红石林地质旅游资源发育特征分析[J]. 旅游纵览, 2017(10): 51-52.
- [4] 吴亮君, 陈伟海, 容悦冰, 等. 湘西地质公园红色碳酸盐岩石林发育特征与研究价值[J]. 中国岩溶, 2020, 39(2): 251-258.
- [5] 周正茂, 李松, 罗顺清, 重庆市酉阳红石林地质遗迹成因模式研究[J]. 中国锰业, 2020, 38(3): 51-58.
- [6] 陈国达. 武陵源峰林地貌形成的大地构造条件[J]. 大地构造与成矿, 1993, 17(2): 103-112.
- [7] 李奇维. 扬子板块新元古代基性脉岩成因及地质意义[D]. 武汉: 中国地质大学, 2018.
- [8] 冯增昭. 中国南方寒武纪和奥陶纪岩相古地理[M]. 北京: 地质出版社, 2001.
- [9] 赵俊. 中上扬子地区中奥陶世岩相古地理研究[D]. 荆州: 长江大学, 2014.
- [10] 金宠. 雪峰陆内构造系统逆冲推滑体系[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
- [11] 张进, 马宗晋, 杨健, 等. 雪峰山西麓中生代盆地属性及构造意义[J]. 地质学报, 2010, 84(5): 631-650.
- [12] 柏道远, 钟响, 贾朋远, 等. 雪峰造山带北段地质构造特征: 以慈利—安化走廊剖面为例[J]. 地质力学学报, 2015, 21(3): 399-414.
- [13] 杨坤光, 李学刚, 戴传固, 等. 黔东南隔槽式褶皱成因分析[J]. 地质前缘, 2012, 19(5): 53-60.
- [14] 张旭亮, 何登发. 桑植—石门复向斜的形成与演化[J]. 地质科学, 2018, 53(1): 269-288.
- [15] 湖南省地质矿产局. 湖南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1988.

Geological conditions and evolution model of red karst landscape in the Wulingshan area, China

CAO Xiaojuan^{1,2}, JIANG Fuwei³, CHEN Youzhi³, DONG Ying², YANG Hongbin²

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. China Geological Environment Monitoring Institute, Beijing 100081, China; 3. Guizhou Institute of Technology, Guiyang, Guizhou 550003, China)

Abstract The Wulingshan area hosts a kind of red karst landscape with layers of fortresses and gullies embedded in a shape of palaces, which is of great value for viewing, development utilization and scientific research. Currently, there are few surveys and research reports on this type of landscape. To fill this gap, through field investigations and data analysis, this work delineated the distribution of the landscape, and analyzed the main influencing factors of its development, such as the regional geological background, stratum lithology, geological structure and dissolution, as well as its formation process. The results show that the generation of red karst landscape experienced three stages, sedimentary diagenesis, uplift and erosion, and under-soil dissolution into the landscape.

Key words Wulingshan area, red karst landscape, geological conditions, evolution model

(编辑 黄晨晖)