第 58 卷 第 1 期 2025 年 (总 239 期)



**引文格式:**杨涛,张晶,辛存林,等.湖南湘西古夷平面发育及古环境演化研究[J].西北地质,2025,58(1):245-256. DOI: 10.12401/j.nwg.2024031

**Citation:** YANG Tao, ZHANG Jing, XIN Cunlin, et al. Sedimentary Characteristics and Paleoenvironment Evolution of Paleoplanation in Xiangxi Hunan[J]. Northwestern Geology, 2025, 58(1): 245–256. DOI: 10.12401/j.nwg.2024031

# 湖南湘西古夷平面发育及古环境演化研究

杨涛1,张晶2,\*,辛存林3,吴亮君2

(1. 喀什大学生命与地理科学学院,新疆 喀什 844000; 2. 中国地质科学院岩溶地质研究所,广西 桂林 541004;3. 西北师范大学地理与环境科学学院,甘肃 兰州 730000)

**摘** 要:湖南湘西地区断裂和褶皱构造较发育,经历了多次构造运动的改造、大面积断块抬升与 大规模的剥蚀夷平作用,发育形成了两级夷平面,十分有利于夷平面演化的研究。笔者在对湘 西地区若干岩溶红色风化壳剖面进行了广泛野外调查的基础上,选取了湘西州两个典型剖面进 行了古风化壳粒度、磁化率和孢粉的综合研究,从地貌学、表生地球化学和土壤学、孢粉学的角 度探讨湘西地区岩溶风化壳的形成时代与夷平面演化的关系。研究结果表明:研究区内夷平面 发育时期应该在中更新世至中新世阶段,在进入古近纪后,总体上长期处于相对稳定状态;贾坝 剖面沉积环境相对于洛塔剖面略微干燥或凉润,夷平作用较发育,沉积时期虽有明显的气候波 动变化,但两个剖面沉积环境整体湿润,期间伴随的干燥波动幅度较小。

关键词: 夷平面; 孢粉; 粒度; 磁化率; 湘西

中图分类号: P532; P69 文献标志码: A

文章编号:1009-6248(2025)01-0245-12

### Sedimentary Characteristics and Paleoenvironment Evolution of Paleoplanation in Xiangxi Hunan

YANG Tao<sup>1</sup>, ZHANG Jing<sup>2, \*</sup>, XIN Cunlin<sup>3</sup>, WU Liangjun<sup>2</sup>

School of Life and Geographic Sciences of Kashi University, Kashi 844000, Xinjiang, China;
 Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin 541004, Guangxi, China;
 School of Geography and Environmental Sciences of Northwest Normal University, Lanzhou 730000, Gansu, China)

**Abstract:** The Xiangxi fault and fold structures in Hunan Province are well-developed, which have undergone multiple tectonic movements, large-scale fault block uplift, and large-scale erosion and leveling, forming two levels of planation planes, which is very conducive to the study of planation plane evolution. On the basis of extensive field investigations on several karst red weathering crust profiles in the western Hunan region, the author selected two typical profiles in Xiangxi Prefecture to conduct a comprehensive study on the particle size,

收稿日期: 2023-03-15; 修回日期: 2023-12-20; 责任编辑: 贾晓丹

基金项目:国家自然科学面上基金项目"甘肃窑街侏罗纪裸子植物重要类群的微细构造与古环境演变"(41972020),中国地质科学院岩溶地质研究所基本科研费专项(2020004),喀什地区科技计划项目"塔里木盆地腹足类化石时空分布特征及演化研究"(KS2022104)联合资助。

作者简介:杨涛(1991-),男,硕士,讲师,研究方向为地质环境。E-mail: 270153522@qq.com。

<sup>\*</sup>通讯作者:张晶(1986-),男,硕士研究生,工程师,主要研究方向为岩溶景观与洞穴。E-mail:zhangj\_@mail.cgs.gov.cn。

magnetic susceptibility, and spore pollen of ancient weathering crust. From the perspectives of geomorphology, epigeochemistry, soil science, and spore pollen, this study explores the relationship between the formation age of karst weathering crust in the western Hunan region and the evolution of the planation plane. The research results indicate that the development period of the planation plane in the study area should be from the Middle Pleistocene to the Middle Miocene, and after entering the Paleogene, it is generally in a relatively stable state for a long time; The sedimentary environment of the Jiaba section is slightly dry or cool and moist compared to the Luota section, with more developed planation. Although there were significant climate fluctuations during the sedimentation period, the overall sedimentary environment of the two sections was moist, and the accompanying dry fluctuations were relatively small.

Keywords: planation surface; pollen; grain size; magnetic susceptibility; Xiangxi

夷平面是一个极其有效的恢复古地貌、重建古气 候的重要工具,尤其是对中生代以来的地貌演化有重 要的指示作用。近年来,国际上就风化壳这一载体进 行了全方位研究,为解决夷平面研究中出现的各种问 题做了多种试探,以解决夷平面和风化壳的性质、年 代和环境问题。在夷平面的内容、分布和研究方法上 均取得了一定进展(Beckwith et al., 1986; Cande et al., 1995; Crock- ford et al., 1998; Brooks et al., 2011)。随着 对夷平面的深入研究,该领域对欧洲、美洲、新西兰 等地一些地貌构造演化、沉积特征、侵蚀演化历史和 新生代地貌研究中做出了重要贡献(Coltorti et al., 2000; Crook et al., 2002; Ajith et al., 2009; Jiao et al., 2021)。Carador 等(1996)也通过对南非的非洲面的分 析研究,验证了非洲夷平面为多旋回构造演化的说法。 国内对华北、青藏高原及华南的夷平面都有较为详细 的研究,部分学者(李吉均等,1998,2001;李德文等, 2000;潘保田, 2002)在对湘桂滇黔藏等地区的夷平面 相继进行了研究之后,一致认为地貌最终发育产物的 夷平面,可作为青藏高原演化的重要地质档案。

但目前关于夷平面的研究重点,主要集中在用来 研究新构造运动的间歇性、继承性和新生性,即只是 以夷平面作为手段,来研究新构造运动的各项活动特 征(张珂等,1995;崔之久等,1996)。而在夷平面形成 年代及环境上,利用古植物孢粉方面的研究较少。基 于此,本研究在申报湘西世界地质公园野外长时间考 察的基础上,选取湘西西北部洛塔台地、召市盆地两 处典型古风化壳剖面,通过孢粉、粒度、磁化率的研 究重建该地区的古地貌环境,恢复古夷平面的形成时 期、发育过程及古环境,开发及外延湘西古夷平面的 地质遗迹科学价值,进而为中国岩溶风化壳形成环境 提供重要依据。

# 1 研究区概况

研究区位于云贵高原东侧的武陵山区,气候上处 于中亚热带季风湿润气候区,大地构造上位于扬子准 地台与华南准地台交界的边缘区(图1)。区内断裂和 褶皱构造较发育,不同地质构造运动期均在区内留下 强度各异的构造形迹,区域内的地质构造主要为EW 向和 NE 向构造带,其次为 NNE 向和 NW 向构造。不 同期次的断裂构造相互牵制、干扰、穿插、叠加,构成 了现有的构造格局,在漫长的地史演化过程中,经历 了多次构造运动的改造、大面积断块抬升与大规模的 剥蚀夷平作用,这里发育形成了洛塔期(洛塔剖面)和 召市期(贾坝剖面)两级夷平面(剥夷面),为中国西南



Ⅰ.武陵地块; Ⅱ.雪峰地块; Ⅲ.幕阜-九岭地块; FHD.板块缝合带; CAF.常德-安仁转换断层; EQF.鄂湘黔岩石圈断裂

图1 研究区大地构造图 Fig. 1 Tectonic map of the study area 岩溶地貌的典型集中展示区,十分有利于夷平面演化的研究。

2 样品采集及分析测试方法

## 2.1 孢粉样品采集与测试

洛塔剖面(LT)位于湘西自治州龙山县洛塔乡,海拔923 m,总厚约5 m(图 2),取样段自上而下为150~500 cm处,进行连续取样,采样间距为50 cm,共计7个样品;贾坝剖面(JB)位于湘西自治州龙山县贾坝乡谷地东侧,海拔663 m,总厚约6.5 m(图 3),取样段为50~350 cm处,取样顺序由上到下,采样间距为100 cm,共取3个样品,剖面位置及采样点见图4。

为增强实验的可靠性,在选取采样剖面后采用平移法,在同一海拔高度处额外选取了LT-Y1、LT-Y2、LT-Y3、JB-Y1等4处验证剖面,其中LT-Y1、LT-Y2、LT-Y3等3个剖面共采集验证样品3个,样长均为100 cm,JB-Y1剖面采集验证样品1个,样长100 cm。本研究中化石孢粉的分离采用超声波发生器过滤法处理,样品在南京地质古生物研究所浸解处理后,使用Zeiss Scope A1 生物荧光显微镜检查鉴定。

### 2.2 粒度、磁化率样品采集与测试

为确保采集到新鲜样品以及采样层序的顺序性、 系统性和完整性,样品采集工作全部在开挖的深槽中 进行。LT 剖面取样段为150~500 cm 处,根据地层沉 积差异,取样顺序由上到下,在150~440 cm 以10 cm 为间隔,共采集样品29个;在440~500 cm 以60 cm 为采样间隔,共采集样品1个;共计在该剖面采集30 个样品。JB 剖面取样段为50~350 cm 处,采样间距 20 cm,共取15个样品。粒度测定采用了较为彻底的 前处理方法,激光粒度仪检测;磁化率使用该公司 MS2型磁化率仪测量,为了确保本次测量的精度,按 要求分别对高、低频磁化率的平均值,全部测试在兰州 大学西部环境教育部重点实验室完成。

# 3 孢粉特征分析

通过对两个剖面的样品进行孢粉分析,发现其中 8件样品见中等丰度且组合一致的孢粉,3件样品未 见任何孢粉化石(表1,图5)。

LT 剖面风化程度好,当时的植物孢粉保存于其中,见中等丰度且组合一致的孢粉,孢粉浓度相对较高,但类型不丰富。主要成分为分布于亚洲大陆热带、亚热带山地的新生代水龙骨属(Polypodium)和松属(Pinus),和少量存在于晚白垩世,至第三纪中新世及第四纪种的冷杉属(Abies)、罗汉松属(Podcarpus)、藜属(Chenopodium),能明显指示古近纪前地层的孢粉



图2 LT 剖面地层性质柱状图 Fig. 2 LT Profile Stratigraphic Property Histogram



图3 JB 剖面地层性质柱状图 Fig. 3 JB Profile stratigraphic property histogram



图4 洛塔-贾坝(召市)地层剖面 Fig. 4 Stratigraphic profile of Luota Jiaba (Zhaoshi)

### 化石未发现。

JB 剖面样品中总体上孢粉浓度低,类型也较少。 JB-1、JB-Y1 样品中主要成分为新生代常见的水龙骨 属(Polypodium)和松属(Pinus),少量见有禾本科(Gramineae)、枥属(Carpinipites)。JB-2、JB-3 号样品因采 样位置风化程度底,本身所含孢粉很少。能明显指示

2025 年

采样点号	属种名称	孢粉含量	采样点号	属种名称	孢粉含量
LT-1	水龙骨属Polypodium	>100粒	JB-Y1	水龙骨属Polypodium	18粒
	松属Pinus	35粒		松属 Pinus	14粒
	冷杉属Abies	4粒		栃属 Carpinipites	1粒
	罗汉松属Podcarpus	2粒		禾本科Gramineae	1粒
LT-2	水龙骨属Polypodium	64粒	LT-Y2	水龙骨属Polypodium	>100粒
	松属Pinus	8粒		松属 Pinus	7粒
	藜属 Chenopodium	1粒		罗汉松属 Podcarpus	1粒
LT-Y1	水龙骨属Polypodium	11粒	JB-1	水龙骨属Polypodium	7粒
	松属Pinus	26粒		松属 Pinus	21粒
	冷杉属Abies	1粒		禾本科Gramineae	1粒
LT-3	水龙骨属Polypodium	36粒	LT-4	水龙骨属Polypodium	1粒
	松属Pinus	2粒		罗汉松属 Podcarpus	1粒
LT-7	水龙骨属Polypodium	37粒	LT-5	松属Pinus	2粒
	松属 Pinus	2粒			

表 1 孢粉含量数据统计基本分析表

 Cab. 1
 Basic analysis table for spore and pollen content data statistics



图5 洛塔、贾坝剖面孢粉化石照片 Fig. 5 Spore and pollen fossil photos of Luota and Jiaba sections

古近纪前地层的孢粉化石也未发现,其中枥属(Carpinipites)和禾本科(Gramineae)均为新近纪—第四纪。

# 4 粒度、磁化率指标分析

#### 4.1 粒度特征

对LT 剖面粒度组成特征分析发现(图 6、图 7), 整个剖面粒径以粉砂为主,粘粒次之,含量 99.5%。通 过观察不同粒级的垂直变化曲线,可以发现砂物质在 垂直方向上自底部向上呈现先减少后增加的趋势,与 细砂含量的变化相一致,这表明LT 剖面的砂物质含 量受到细砂含量的控制。粉砂和粘粒含量的变化趋 势相反,粘粒含量自底部向上总体呈现先增加后减少 的趋势。并且不同沉积地层在垂直方向上的粒度含 量随深度变化而变化明显,同一粒级在同一地层的不 同深度呈现出显著差异且存在多次波动。进一步对 LT 剖面粒度参数分析发现, 从粒度参数 Mz、Md 值上 来看, LT 剖面 SC/D 值表现出了峰值较大、分选较差 的旋回曲线特征,反映出该区冬季风活动较弱,生物 化学过程活跃,对沉积物的分解和风化有积极的影响, 从而营造了相对温和潮湿的环境,使土壤形成速度加 快; SC/D谷值段反映的情况正好相反。而从剖面各





0.000

砂质砾岩

粉砂岩



沉积相位粒度特征来看,参数旋回曲线在垂直方向上 与各层位沉积旋回对应较好,但同时在同一地层,也 存在多次差异波动。

500 L

JB 剖面粒度组成特征分析结果显示(图 8、图 9), 整个剖面以粉砂为主,粘粒次之,两者含量占比 93%; 砂仅为 6.61%。进一步对砂物质分析发现,整个剖面 中细砂是砂粒组成的主体,几乎不含极粗砂和粗砂, 含量为 6.52%。参数分析发现,剖面各个参数变化范 围相对较小,物质组成以细颗粒占主体,分选性极好, 频率曲线基本呈现对称性分布。

#### 4.2 磁化率特征

由图 10 可知, LT 剖面的质量磁化率各高度逐级 变化特点明显, 在垂直方向上呈现一种减小-增大- 稳定减小波动的模式, 500~275 cm 段质量磁化率整 体数值较大,最大值已接近 26.3×10<sup>-8</sup> m<sup>3</sup>/kg。在 500~ 375 m 段有波动减小趋势, 375~275 m 段波动较大, 但出现最大值。反映出此阶段沉积环境夏季风活动 较强,气候温湿,化学风化和成壤作用都较强,沉积 物中磁性矿物数量增多。另外,剖面的质量磁化率 变化与粒度组分、参数变化三者之间存在着相对应 的关系。

黏土

由图 11 可知, JB 剖面质量磁化率相比 LT 剖面整 体明显偏低,最大值也不超过 15.4×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/kg。但垂直方 向上仍整体成增加趋势,在 225~175 cm 处出现最大 峰值,175~125 cm 处出现最大谷值,可以反映出此阶 段沉积环境夏季风活动较弱,气候干燥凉润,化学风



图8 JB 剖面沉积物不同粒级垂直变化













Fig. 10 Distribution characteristics of magnetic susceptibility in LT profile and its relationship with particle size



图11 JB 剖面磁化率分布特征及其与粒度的关系

Fig. 11 Magnetic susceptibility distribution characteristics of JB profile and its relationship with particle size

化和成壤作用受到不同程度限制,沉积物中磁性矿物数 量相对较少。剖面的质量磁化率变化与粒度组分、参 数变化三者之间存在着明显的正相关变化趋势(图11)。

# 5 讨论

### 5.1 夷平面形成年代探讨

夷平面研究中解决关于其形成时代、性质、环境 及其大区域对比问题较为困难。但尽管大陆各部分 距离遥远,甚至处于不同的板块和构造体系中,它们 都不同程度地对较大尺度和范围的造山运动做出了 响应,同时这些地区之间也存在着持久的稳定侵蚀期, 并且这一过程也是一致的。所以从植物化石微细构 造研究的角度出发,尤其是利用化石孢粉组合的特征, 可以恢复研究区的古植被并划分其孢粉植物群(何翠 玲等, 1996; 王伟铭, 2009; 黄文, 2014), 对研究区的地 层时代进行确定和佐证。周尚哲等(2008)研究表明 南岭夷平面的形成时间则在 22 Ma BP,即渐新世末— 中新世初。Jiao 等(2021)的热年代学结果也显示出新 世早期至中期是形成现代长江上游的重要时期。崔 之久等(2001)测定川滇藏石灰岩夷平面上的风化壳 开始形成的时间为 18~8 Ma BP。谢世友等(2006) 研究认为长江三峡地区现代河谷之上存在两级夷平 面,高夷平面完成于古近纪末;低夷平面完成于上新 世末。而湘西洛塔期夷平面形成时间应该介于谢世 友所描述的长江三峡地区的高夷平面和低夷平面之 间;剥夷面分布高度海拔为800~1200m,形成年代 为3.4~1.8 Ma BP, 其剥夷面的形成时代和召市期夷

平面相当。

### 5.2 夷平面形成环境及古气候演化分析

LT 剖面地层沉积记录显示, 剖面在沉积时期整 阶段处于温湿环境下,阶段内表现出现3次小幅度波 动,分别为 500~375 cm 的气候明显回暖期且稳定降 低期、375~275 cm的气候湿润且波动期和 280~ 150 cm 的气候相对平稳湿润期。JB 剖面地层沉积记 录显示,剖面在沉积时期整阶段环境较为干冷,但 也有回暖的趋势,也存在3次较为明显的气候波动阶 段,分别为350~230 cm的气候稳定凉润(干燥)期、 250~175 cm 的气候相对温湿期、175~50 cm 的气候 波动回暖期。本次研究的孢粉资料也证实,湘西洛塔 地区的孢粉特征也是以具气囊的松柏类为主,蕨类中 有大量水生的水龙骨孢粉。而贾坝地区主要成分也 为新生代常见的水龙骨属和松属,其中枥属(Carpinipites)和禾本科主要常见于第四纪。通过对 LT 剖面和 JB剖面地层沉积特征运用粒度和磁化率两个气候代 用指标进行系统分析,虽LT 剖面和 JB 剖面在沉积过 程中均出现多次波动旋回,但剖面粒度和磁化率记录 显示两个剖面沉积环境整体湿润,期间伴随的干燥波 动幅度较小。综合对比两个剖面沉积环境发现,对比 分析LT 剖面和JB 剖面的粒度和磁化率特征,再同对 比不同地区新生代以来的气候特征,结合孢粉、粒度 和磁化率特征所反映的沉积环境(童国榜等, 1998; 迟 振卿等,1999;罗清等,2003;罗清,2011;倪志云等, 2011; 郝秀东等, 2011; 石胜强, 2012; 程鑫, 2012; 张文 丽, 2015; 王大宁等, 2016; 孙立新等, 2017; 郑丽波等, 2018), 可初步推断, 虽 LT 剖面和 JB 剖面在沉积过程

中均出现多次波动旋回,但两个剖面沉积环境整体湿 润,期间伴随的干燥波动幅度较小。因此,可认为湖 南湘西洛塔期古夷平面沉积时期气候为湿度较大的 温暖性气候环境。而召市期古夷平面沉积时期气候 为湿度较小的凉润性气候环境。

### 5.3 夷平面发育演化过程

从全球范围看,古近纪是发育夷平面或形成准平 原的有利时期(冯金良等,2005;谢世友等,2006;金书 晨等, 2020; 熊建国等, 2020; 马振华等, 2021)。若依 此推断,"燕山运动"导致湘西地壳抬升和上白垩统 以下地层发生强烈褶皱。在此之后,湘西地区经历了 长时间的构造稳定期,侵蚀作用占据主导,夷平趋势 稳定发展(靳立多等, 1988)。在古近纪末甚至可延伸 至中新世早期,该地区地貌稳定为整体起伏不大的形 态,被称为大娄山期(鄂西期)地貌。根据前人资料和 本次孢粉分析及现有地貌特征推断,湘西地区在白垩 纪末的燕山运动Ⅱ幕整体上升。王平等(2013)根据 沉积间断和地层缺失的关系,将川东-湘鄂西弧形带 构造变形的时间限定在晚侏罗世至晚白垩世之间。 田云涛等(2011)做的磷灰石 U-Th-He 年龄结果也显 示了新生代开始该区地壳稳定,然后开始缓慢形成一 级夷平面(或称为高夷平面),该古夷平面最早可能形 成于渐新世,由于后期(大娄山期)的构造运动的破坏, 在湘西地区不太发育(李德文等, 2004; 周尚哲等, 2013)。渐新世至中新世发生了喜马拉雅运动之后, 湘西地区又一次抬升(吴根耀, 2001; 李前裕, 2007), 破坏第一期夷平面(大娄山期夷平面或高夷平面);自 中新世(23 Ma)以后该区处于侵蚀、剥蚀、溶蚀作用 期,形成了较低一级夷平面(或称为低夷平面),在洛 塔台地比较发育,该古夷平面最早可能形成于中新世, 属于洛塔期(山盆期)。更新世以来,湘西地区地壳再 一次上升,河流下切(黄光明等,2017;樊云龙等,2022; 韩建恩等, 2023); 自早更新世中期以来, 该区地壳稳 定,形成了更低一级夷平面(或称为剥夷面),该古夷平面 (剥夷面)最早可能形成于早更新世中期,属于召市期 (乌江期)。

# 6 结论

(1)通过对比不同学者的研究结果及综合湘西地 区古风化壳孢粉资料,湘西地区的夷平面应该是新近 纪湿热气候环境下的产物,其地貌形态、古岩溶和风 化壳等特征与其他地区夷平面的形成环境相似。可 初步推测洛塔剖面古风化壳可能为新近纪早期开始 形成,其代表的洛塔期夷平面最早应该形成于中新世, 最晚形成于上新世; 贾坝剖面古风化壳可能形成于第 四纪早期;其代表的召市期夷平面最早应该形成于早 更新世,最晚形成于中更新世。

(2)结合古风化壳粒度、磁化率和孢粉的综合研 究推断, 贾坝剖面沉积环境相对于洛塔剖面略微干燥 或凉润; 沉积时期虽有明显的气候波动变化, 但两个 剖面沉积环境整体湿润, 期间伴随的干燥波动幅度 较小。

(3)研究区在进入古近纪后,总体上长期处于相 对稳定状态,在侵蚀基准的控制及河流溯源侵蚀的作 用下,此前形成的各种褶皱构造、山系等有逐渐被剥 蚀、夷平的趋势。相对来说,大娄山期不太发育,而洛 塔期(山盆期)和召市期(乌江期)夷平作用较发育。

# 参考文献(References):

- 程鑫. 青藏高原中部主要构造单元晚古生代至早中生代古地磁研究 [D]. 西安: 西北大学, 2012.
- CHENG Xin. Paleomagnetic Study of the Main Structural Units in the Central Qinghai Tibet Plateau from Late Paleozoic to Early Mesozoic [D]. Xi 'an: Northwest University, 2012.
- 迟振卿, 闵隆瑞. 平顶村剖面古气候变化记录[J]. 地质力学学报, 1999(4): 68-74.
- CHI Zhenqing, MIN Longrui. Records of Paleoclimate Change in Pingding Village Profile[J]. Journal of Geomechanics, 1999(4): 68–74.
- 崔之久,高全洲,刘耕年,等.夷平面、古岩溶与青藏高原隆升 [J].中国科学(D辑),1996,26(4):378-385.
- CUI Zhijiu, GAO Quanzhou, LIU Gengnian, et al. Planation, Paleokarst and Uplift of the Qinghai Tibet Plateau[J]. Chinese Science (Series D), 1996, 26(4): 378–385.
- 崔之久,李德文,冯金良,等.覆盖型岩溶、风化壳与岩溶(双 层)夷平面[J].中国科学(D辑),2001,31(6):510-519.
- CUI Zhijiu, LI Dewen, FENG Jinliang, et al. Covered karst, weathered crust and karst (double layer) planation plane[J]. Chinese Science (D Series), 2001, 31(6): 510–519.
- 樊云龙,王懿萱,罗光杰,等.晚更新世以来贵州清水江阶地发育及地貌意义[J].地理科学,2022,42(9):1676-1684.
- FAN Yunlong, WANG Yixuan, LUO Guangjie, et al. The development and geomorphological significance of the Qingshui River terraces in Guizhou since the Late Pleistocene[J]. Geographic

Science, 2022, 42(9): 1676-1684.

- 冯金良, 崔之久, 朱立平, 等. 夷平面研究评述[J]. 山地学报, 2005(1): 1-13.
- FENG Jinliang, CUI Zhijiu, ZHU Liping, et al. Review of planation plane research[J]. Journal of Mountainous Science, 2005(1): 1-13.
- 韩建恩, 邵兆刚, 裴军令, 等. 青藏高原定结盆地中更新世孢粉 记录及其环境意义[J]. 地质论评, 2023, 69(1): 24-32.
- HAN Jianen, SHAO Zhaogang, PEI Junling, et al. Middle Pleistocene spore pollen records and their environmental significance in the Dingjie Basin of the Qinghai Tibet Plateau[J]. Geological Review, 2023, 69(1): 24–32.
- 郝秀东,欧阳绪红,谢世友,等.重庆金佛山国家自然保护区现 代植被表土孢粉的初步研究[J].古生物学报,2011,50(2): 230-239.
- HAO Xiudong, OUYANG Xuhong, XIE Shiyou, et al. Preliminary study on modern vegetation surface soil spores and pollen in Jinfoshan National Nature Reserve, Chongqing[J]. Journal of Paleontology, 2011, 50(2): 230–239.
- 何翠玲,杨伟平. 孢粉氧化及氧化后稳定性讨论[J]. 微体古生物学报, 1996, 13(1): 103-106.
- HE Cuiling, YANG Weiping. Discussion on sporopollen oxidation and stability after oxidation[J]. Journal of Micropaleontology, 1996, 13(1): 103-106.
- 黄光明,李长安,赵举兴.福建三明万寿岩地区中更新世晚期以 来地壳多期隆升特征及地质意义[J].地质与勘探,2017, 53(6):1181-1187.
- HUANG Guangming, LI Chang'an, ZHAO Juxing. Characteristics and geological significance of multiple crustal uplifts since the late Middle Pleistocene in the Wanshouyan area of Sanming, Fujian[J]. Geology and Exploration, 2017, 53(6): 1181–1187.
- 黄文. 中国孢粉学研究进展[J]. 科技视界, 2014(01): 143-144.
- HUANG Wen. Research Progress in Chinese Palynology[J]. Science and Technology Perspectives, 2014(01): 143-144.
- 金书晨,李永化,魏东岚,等.辽东半岛夷平面发育特征初步探 究[J].古地理学报,2020,22(4):715-726.
- JIN Shuchen, LI Yonghua, WEI Donglan, et al. Preliminary exploration of the development characteristics of planation planes in the Liaodong Peninsula[J]. Journal of Paleogeography, 2020, 22(4): 715–726.
- 靳立多,吕中源,林玉石,等.湘西洛塔岩溶发育史[J].中国岩溶,1988(1):20-29.
- JIN Liduo, LV Zhongyuan, LIN Yushi, et al. History of Karst Development in Luota, Western Hunan[J]. Karst China, 1988(1): 20-29.

李德文,崔之久,刘耕年.湘桂黔滇藏一线覆盖型岩溶地貌特征

与岩溶(双层)夷平面[J]. 山地学报, 2000(04): 289-295+ 385-386.

- LI Dewen, CUI Zhijiu, LIU Gengnian. Characteristics of karst landforms and karst (double-layer) planation surfaces along the Hunan-Guangxi-Guizhou-Yunnan-Tibet line[J]. Journal of Mountain Science, 2000(04): 289–295+385-386.
- 李德文,崔之久.岩溶夷平面演化与青藏高原隆升[J].第四纪 研究,2004,24(1):58-63.
- LI Dewen, CUI Zhijiu. Evolution of Karst Planation Plane and Uplift of the Qinghai Tibet Plateau[J]. Quaternary Research, 2004, 24(1): 58-63.
- 李吉均,方小敏,潘保田,等.新生代晚期青藏高原强烈隆起及 其对周边环境的影响[J].第四纪研究,2001(05):381-391.
- LI Jijun, FANG Xiaomin, PAN Baotian, et al. Strong Uplift of the Qinghai-Tibet Plateau in the Late Cenozoic and Its Impact on the Surrounding Environment[J]. Quaternary Research, 2001 (05): 381–391.
- 李吉均,方小敏.青藏高原隆起与环境变化研究[J].科学通报, 1998(15):1569-1574.
- LI Jijun, FANG Xiaomin. Study on the Uplift of the Qinghai-Tibet Plateau and Environmental Changes[J]. Chinese Science Bulletin, 1998(15): 1569–1574.
- 李前裕,郑范,刘传联.渐新世/中新世分界的地层学事件[J].海 洋地质与第四纪地质,2007(5):57-64.
- LI Qianyu, ZHENG Fan, LIU Chuanlian. Stratigraphic events at the Oligocene/Miocene boundary[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2007(5): 57–64.
- 罗清, 易朝路. 湘江下游更新世沉积环境的初步研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2003, 37(4): 576.
- LUO Qing, YI Chaolu. Preliminary Study on the Pleistocene Sedimentary Environment in the Lower Xiangjiang River[J]. Journal of Central China Normal University (Natural Science Edition), 2003, 37(4); 576.
- 罗清. 洞庭湖及湘江下游第四纪环境的研究 [D]. 武汉: 华中师 范大学, 2011.
- LUO Qing. Research on the Quaternary Environment of Dongting Lake and the Lower Xiangjiang River [D]. Wuhan: Central China Normal University, 2011.
- 马振华,彭廷江,李小苗,等.陇中盆地及周边地区主夷平面演 化与高原隆升[J].冰川冻土,2021,43(3):827-840.
- MA Zhenhua, PENG Tingjiang, LI Xiaomiao, et al. The evolution of the main planation plane and the uplift of the plateau in the Longzhong Basin and surrounding areas[J]. Glacier permafrost, 2021, 43(3): 827–840.
- 倪志云,杨桂芳,张绪教,等.张家界地区风化壳的性质与夷平 面形成环境[J].现代地质,2011,25(4):789-795.
- NI Zhiyun, YANG Guifang, ZHANG Xujiao, et al. The properties of

weathered crust and the formation environment of planation planes in the Zhangjiajie area[J]. Modern Geology, 2011, 25(4): 789–795.

- 潘保田,高红山,李吉均.关于夷平面的科学问题—兼论青藏高 原夷平面[J].地理科学,2002,22(5):520-526.
- PAN Baotian, GAO Hongshan, LI Jijun. Scientific issues related to planation levels - also on planation levels in the Qinghai Tibet Plateau[J]. Geographic Science, 2002, 22(5): 520–526.
- 石胜强.晚更新世晚期以来滇西北高原和川西山地的孢粉记录 及古气候意义 [D].重庆:西南大学,2012.
- SHI Shengqiang. Palynological Records and Paleoclimatic Significance of the Northwest Yunnan Plateau and the Western Sichuan Mountains Since the Late Pleistocene [D]. Chongqing: Southwest University, 2012.
- 孙立新,张云,张天福,等.鄂尔多斯北部侏罗纪延安组、直罗 组孢粉化石及其古气候意义[J].地学前缘,2017,24(1):32-51.
- SUN Lixin, ZHANG Yun, ZHANG Tianfu, et al. Palynological fossils from the Jurassic Yan'an and Zhiluo formations in northern Ordos and their paleoclimatic significance[J]. Geoscience Frontiers, 2017, 24(1): 32–51.
- 田云涛,朱传庆,徐明,等.晚白垩世以来川东北地区的剥蚀历 史——多类低温热年代学数据综合剖面的制约[J].地球 物理学报,2011,54(3):807-816.
- TIAN Yuntao, ZHU Chuanqing, XU Ming, et al. The Erosion History of Northeast Sichuan Since the Late Cretaceous: Constraints from Multiple Types of Low Temperature Thermochronological Data Comprehensive Sections[J]. Journal of Geophysics, 2011, 54(3): 807–816.
- 童国榜,羊向东,王苏民,等.第四纪气候事件的孢粉记录[J]. 海洋地质与第四纪地质,1998(3):14-18+20-23.
- TONG Guobang, YANG Xiangdong, WANG Sumin, et al. Palynological records of Quaternary climate events[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1998(3): 14–18+20–23.
- 王大宁, 王旭日, 季强. 冀北—辽西地区侏罗—白垩纪之交期的 孢粉植物群演替与古气候变化[J]. 地球学报, 2016, 37(4): 449-459.
- WANG Daning, WANG Xuri, JI Qiang. The succession of pollen flora and paleoclimate change during the Jurassic Cretaceous transition period in the northern Hebei western Liaoning region[J]. Journal of Earth Sciences, 2016, 37(4): 449–459.
- 王平, 刘少峰, 郑洪波, 等. 扬子北缘晚造山阶段弧形构造特征 与盆地演化[J]. 古地理学报, 2013, 15(06): 819-838.
- WANG Ping, LIU Shaofeng, ZHENG Hongbo, et al. Late-orogenic arcuate fold-thrust belts in northern Yangtze area: Structural characteristics and basin evolution[J]. Journal of Palaeogeo-

graphy, 2013, 15(06): 819-838.

- 王伟铭. 中国孢粉学的研究进展与展望[J]. 古生物学报, 2009, 48(3): 338-342.
- WANG Weiming. Research progress and prospects of palynology in China[J]. Journal of Paleontology, 2009, 48(3): 338–342.
- 吴根耀,马力,许效松,等.喜马拉雅运动:对川滇交界区古地理 重建的制约和楚雄盆地的改造[J].古地理学报,2001(2): 3-10.
- WU Genyao, MA Li, XU Xiaosong, et al. The Himalayan Movement: Constraints on the Reconstruction of Paleogeography in the Sichuan Yunnan Border Region and the Transformation of the Chuxiong Basin[J]. Journal of Paleogeography, 2001(2): 3–10.
- 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(1):40-45.
- XIE Shiyou, YUAN Daoxian, WANG Jianli, et al. Distribution characteristics and formation age of planation planes in the Three Gorges region of the Yangtze River[J]. Karst China, 2006(1): 40-45.
- 熊建国,李有利,张培震.夷平面研究新进展[J].地球科学进展, 2020,35(4):378-388.
- XIONG Jianguo, LI Youli, ZHANG Peizhen. New progress in the study of planation planes[J]. Progress in Earth Science, 2020, 35(4): 378–388.
- 张珂,黄玉昆.粤北地区夷平面的初步研究[J].热带地理,1995, 15(4);295-305.
- ZHANG Ke, HUANG Yukun. Preliminary study on planation levels in northern Guangdong[J]. Tropical Geography, 1995, 15(4): 295-305.
- 张文丽. 粒度和磁化率反映的中晚全新世以来玛曲高原的沙漠 化演化 [D]. 兰州: 西北师范大学, 2015.
- ZHANG Wenli. Grain size and magnetic susceptibility reflect the desertification evolution of the Maqu Plateau since the Middle and Late Holocene [D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2015.
- 郑丽波,戴雪荣,张欢,等.中国东部四明山古夷平面遗迹特征 与演化[J].地质学刊,2018,42(04):543-551.
- ZHENG Libo, DAI Xuerong, ZHANG Huan, et al. Characteristics and Evolution of the Paleoplanation Site of the Siming Mountains in Eastern China[J]. Journal of Geology, 2018, 42(04): 543-551.
- 周尚哲,刘继鹏,郗增福,等.南岭最高夷平面初步研究[J].冰 川冻土,2008,30(6):938-945.
- ZHOU Shangzhe, LIU Jipeng, XI Zengfu, et al. Preliminary study on the highest planation surface in the Nanling Mountain[J]. Glacial Frozen Soil, 2008, 30(6): 938–945.

- 周尚哲,朱丽东,李淑珍,等.南岭夷平面风化壳发育时间问题 探讨—以粤北大布镇剖面为例[J].山地学报,2013,31(1): 1-8.
- ZHOU Shangzhe, ZHU Lidong, LI Shuzhen, et al. Discussion on the development time of weathered crust on the planation surface of the Nanling Mountain taking the Dabuzhen section in northern Guangdong as an example[J]. Journal of Mountainous Regions, 2013, 31(1): 1–8.
- Ajith G Nair, D S Suresh Babu, K T Damodaran, et al. Weathering of ilmenite from Chavara deposit and its comparison with Manavalakurichi placer ilmenite, southwestern India[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2009, 34(2): 115–122.
- Beckwith P R, Ellis J B, Revitt D M. Heavy metal and magnetic relationships for urban source sediments[J]. Physics Earth Planet. Int., 1986, 42: 67–75.
- Brooks B. Ellwood, Jonathan H. Tomkin, Ahmed El Hassani. et al. A climate-driven model and development of a floating point time scale for the entire Middle Devonian Givetian Stage: A test using magnetostratigraphy susceptibility as a climate proxy[J].
  Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2011, 304: 85–95.
- Cande S C, Kent D V. Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Creteceous and Cenozoic[J]. Geophy Res, 1995, 100: 6093–6095.

- Carador I, Vale C, Catarino F. Accumulation of Zn, b, Cu, Cr and Ni in sediments beteen roots of the Tagus estuary salts marshes, Portugal[J]. Esturns, Coast and Shelf Science, 1996, 42: 393–403.
- Coltorti M, Pieruccini P A. Late Lower Pliocene planation surface acoss the Italian Peninsula: A key tool in neotectonicstudies[J]. Journal of Geodynamics, 2000, 29(3–5): 323–328.
- Crockford R H, Fleming P M. Environmental magnetism as a stream sediment tracer: an interpretation of the methodology and some case studies[J]. Australian Journal of Soil Research, 1998, 36(1): 167
- Crook N P, Hoon S R, Taylor K G. et al. Electron spin resonance as a high sensitivity technique for environmental magnetism: determination of contamination in carbonate sediments[J]. Geophysical Journal International, 2002, 149(2): 328–337.
- Jiao R, Fox M, Yang R. Late Cenozoic erosion pattern of the eastern margin of the Sichuan Basin: Implications for the drainage evolution of the Yangtze River[J]. Geomorphology, 2021: 108025.
- Jiao R, Yang R, Yuan X. Incision History of the Three Gorges, Yangtze River Constrained From Inversion of River Profiles and Low-Temperature Thermochronological Data[J]. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 2021, 126(3): 2020JF005767.