

夷平面研究评述

冯金良¹, 崔之久², 朱立平¹, 刘耕年²

(1. 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100085; 2. 北京大学环境学院资源与环境地理系, 北京 100871)

摘 要: 全球构造与地球大尺度地形特征之间的关系研究重新成为一个地学研究热点。在国内, 夷平面研究的“回春”是其一个主要的表现形式。但在研究中, 一些基本的理论与问题有待明确、探讨和解决。在夷平面理论的研究中, 地貌演化的历史研究和演化的机制研究仍是最基本的问题。“夷平面”定义的混乱严重阻碍了相关研究的发展。不同气候和构造环境下, 夷平面的形成和演化过程仍需科学地概括和抽象。在研究实践中, 时间和空间尺度的精确解释成为关键的问题。一方面, 不同类型夷平面的地貌特征(海拔高度、地面坡度、相对高度和面积) 仍待明确或半定量、定量表示; 而另一方面, 夷平面的定年仍是一个棘手的问题。在夷平面的确认过程中, 一些地貌学原则和规律应当遵循, 如齐一山顶面地貌学成因的不确定性; 以及同一地貌单元内, 准平原型夷平面的出露具有唯一性等。夷平面的相关堆积是夷平面定年和古地貌重建的基础, 但是我们必须明确相关堆积与夷平面的关系, 如夷平面的原地相关堆积——风化壳的年龄只能够对夷平面的形成时代给予约束, 而不能指示其确切的形成时间。更为困难的是, 在古地貌的重建过程中, 起始时刻某一区域的地貌特征参数仍然无法精确的确定。

关键词: 夷平面; 概念; 地貌特征; 演化模式; 相关堆积; 定年; 古地貌重建

中图分类号: X141, P931

文献标识码: A

在过去的十几年里, 一个地学研究热点悄然兴起, 这就是全球构造与地球大尺度地形特征之间的关系。这种研究的重新恢复或者“回春”涉及整个地学界。但研究的侧重点稍有不同, 地球物理学家关注板块碰撞带的造山机制和大陆的裂解; 地质学家的兴趣在于大尺度地形对沉积盆地沉积物的控制; 地质年代学家意欲了解影响地壳变冷历史的因素, 如造山带强烈的剥蚀; 而地貌学家已认识到不得不去解决地貌的长时间历时演化和近几十年被忽视或无力解决的地形变化速率问题^[1]。

夷平面研究的重新兴起就是在此背景下的一个必然性结果。但我们不得不承认夷平面形成与演化研究所涉及的方面已远远超出地貌学的范畴, 夷平面研究涵盖了地学各个学科。

在国内, 夷平面研究的再一次兴起与青藏高原、云贵高原及周边地区的地貌演化研究有一定的关系。在青藏高原隆升及其环境资源效应的研究中,

其核心就是青藏高原隆升的时代、幅度和过程。而最为关键的是青藏高原在不同时期的高度问题。古高程的确定方法包括: 古植被学方法、古动物学方法、古喀斯特和古土壤学方法、玄武岩中气泡大小分布指示的喷发期大气压力和古高程方法、宇成同位素产生速率随高度的变化等方法。但上述方法在古高程确定上的精确性及方法的普适性方面均存在一定的不确定性^[1- 3]。

近期, 许多学者指出可以应用夷平面的原始高度来研究和确定青藏高原的抬升幅度^[3- 8]。因此, 夷平面发育时的原始高度就成为由此确定高原隆升幅度时的关键问题。而这一问题的解决需要确立 4 个已知条件: 一是确认夷平面的类型, 以海平面作为侵蚀基准的准平原型夷平面最宜应用; 二是求得夷平面的坡降; 三是给出夷平面发育期的海岸线位置; 四是夷平面的相应发育时间。但是, 在有关夷平面地貌发育理论的传播和相关理论发展过程中, 以及

收稿日期(Received date): 2004- 08- 30; 改回日期(Accepted): 2004- 11- 10。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(40471015) 和国家重点基础研究发展规划项目(G1998040800) 资助。[Funded by NS-FC(40471015) and ‘The National Key Project for Basic Research of China (G1998040800)’]

作者简介(Biography): 冯金良(1964-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事地貌与第四纪地质、环境地质方面的研究。[Feng Jinliang (1964-), associate Prof., main interested fields are Geomorphology, Quaternary and Environmental geology] E-mail: fengjl@ipc.ac.cn

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

不同母语和不同学科学者之间的交流过程中,仍有一些困惑尚待释疑。同时,为了实现利用夷平面解决青藏高原的隆升过程和高度,我们必须面对诸多困难和挑战。在此,仅对夷平面的概念、特征、成因、相关沉积、时代及古地貌重建等问题进行评述,不足之处,敬请指正。

1 夷平面的概念及类型

1.1 夷平面概念的歧义性

对于一个学科,基本概念和学术术语的统一和规范是其进一步发展的基础。源于夷平面的困惑之一就是概念和术语的多解性和歧义性,同时也是不同母语学者之间和学科发展中经常出现的问题。

在专业文献中,中文“夷平面”对应英文“Planation surface”、德文“Rumpffläche”。在中文文献中,“夷平面”的同义词尚有“剥夷面”及“均夷面”。

在英文文献中,一部分学者把“Planation surface”的定义为一种特殊的侵蚀面,即:“一种侵蚀成因为主的平坦地面或平原”(a level or nearly level surface shaped and seduced by the action of erosion; a flattish plain resulting from erosion. level erosion surfaces.)^[9-13]。另有大量英文文献作者把夷平面看作侵蚀面的同义词^[14-16]。这一定义导致在不同语言间产生相当大的混乱。原因在于,侵蚀面也许远非是平缓的。实际上,这一问题的出现与西方学者对侵蚀面(而非夷平面)有着不同的理解有关。Sparks^[9]和 Small^[17]均指出:“严格地讲,任何非原始的结构和构造面均是侵蚀面。因此侵蚀面这一术语包括了丘陵、山脉的坡面和海蚀崖。但在实践中,这一术语实质上被应用于完全和非完全侵蚀循环晚期阶段的一种微起伏地形”。

Penck 应用 rumpffläche 纯粹是表示一种地形的起伏,并不意味着其在侵蚀循环中的位置;Czech 和 Boswell 在把德文《地貌分析》(Die Morphologische Analyse)翻译成英文《Morphological Analysis of Land Forms》时用 Peneplane 对应 rumpffläche^[18]。但是,Johnson^[19]早已把 peneplane 用来代替 Davis 的 peneplain。在中文翻译中则同样出现了定义的混乱,在把 Peneplane 理解为 peneplain 同义词的同时,又把 rumpffläche 翻译成夷平面^[20]。

在国内,对夷平面的定义也存在很大的分歧。按其含义可分为如下几种认识:

1. 所持的观点与欧美学者的定义相近或类似,即夷平面包括 Davis 理论的准平原(peneplain)、King 理论的联合麓原(pediplain)、Wayland 的刻蚀平原(Etchplain)和 Gilbert 的山足面(pediment)^[1,2]。

2. 夷平面是地貌侵蚀旋回达到或接近老年期时形成的地貌,即包括准平原(peneplain)和联合麓原(pediplain)^[3,21]。

3. 夷平面的定义与准平原的含义类似^[22]。

4. 把夷平面理解为一个狭义的概念,即夷平面是准平原的抬升或变形后留下的遗迹^[23-28]。

5. 夷平面是准平原、联合麓原和山足面变形和遭侵蚀后残留的夷平面形态^[29]。

6. 夷平面是地貌发展终极产物(准平原和联合麓原)经抬升破坏或埋藏的结果^[30]。

在夷平面定义中,另外一个分歧是夷平面是否包括异地的沉积或堆积面。前苏联和中国部分学者扩大了夷平面这一概念的含义,把有关的沉积或堆积面也包括在夷平面这一概念中^[21,31]。而欧美学者则相反。但是,在实践中困难依然存在,如类似华北平原的沉积面可以排除在夷平面之外,但对一些山间盆地内的堆积如何处理尚无定论。

在本文中,作者把夷平面理解为:以侵蚀成因为主,并有不同程度风化作用参与形成的低起伏的平坦地面,不包括异地成因的沉积面或堆积面,而包括原地形成的残积型风化壳。在此之所以强调风化作用,一是因为风化作用广泛发育于陆地气下过程中;二是夷平面类型中的刻蚀平原与风化过程有着密切的关系。

夷平面是一个总括性的地貌学术语,是一种特殊的侵蚀面。它包括:Davisian 和 Johnson 的准平原(Peneplain, Peneplane),Crickmay 的泛平原(Panplain, Panplane),Penck 的始平原(Prim³rumpf, Primary peneplane)与终平原(Endrumpffläche, end-peneplane),Gilbert 的山足面(pediment),Maxson & Anderson 以及 King 的联合麓原(Pediplain),Wayland 和 B del 的刻蚀平原(Etch plains),热带(或亚热带)稀树平原(Savanna plains),浪蚀平台(the Wave-cut platform),剥露或构造平原(Stripped or structural plains),宽谷(Straths)和冰缘山足面(Periglacial pediments)^[14]。

1.2 夷平面的类型

在此简要介绍几种常用夷平面的类型及确切的定义。以免在翻译和应用中出现不必要的误解。

1.2.1 准平原

1889年戴维斯提出了准平原(Peneplain)这一概念,但真正对这一名词的定义是在其《地理循环》一文中,定义为:一个完全的地貌循环在接近最终的阶段,其特点必然是一个几乎无起伏的平原,它与构造很少联系,而只受接近基面的控制;最终的阶段将是一个无起伏的平原”^[32]。

现今全球各大陆准平原地貌的缺乏,在一定程度上使准平原这一概念成为一种理论推理或演绎出的理想地貌。但是,通过对华北陆块在中奥陶世—早石炭世之间发育的化石准平原的研究,确认准平原在地史时期是发育或存在过的。

1.2.2 泛平原

在上述分类中,泛平原(Panplain, Panplane)一词常见于欧美文献中。泛平原由Crickmay 1933年

提出^[33],其定义为:“在河流下蚀作用停止后,假定夷平作用在侵蚀循环后期阶段成为占优势的角色,由一级干流开始的侧向侵蚀夷平作用持续进行,形成一个由薄层沉积物覆盖的宽泛的洪泛平原。限定增长的洪泛平原逐渐汇合,从而产生一个较准平原更平坦的地形面……;这个平原由洪泛平原构成,并脱胎于其自身不断的生长,因此可称为泛平原……;泛平原化作用与准平原化作用的区别在于前者由低的河流洪泛平原在所有陆地方向侧向侵蚀而成;然而,后者是普遍发生的(图1)。”Ruxton(1968)指出^[34]泛平原一词尚未被广泛应用,无论是Crickmay本人还是后来的研究者均未对泛平原给出一个精确的例证。依Ruxton的观点,新西兰的Maniototo平原可以作为泛平原的一个例子。

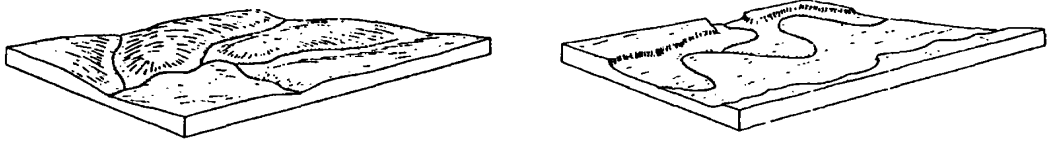


图1 准平原(左)和泛平原(右)的区别图示(William J W *et al.*, 1954^[34])

Fig. 1 Diagrams of Peneplain(left) and panplain(right) (William J W *et al.*, 1954^[34])

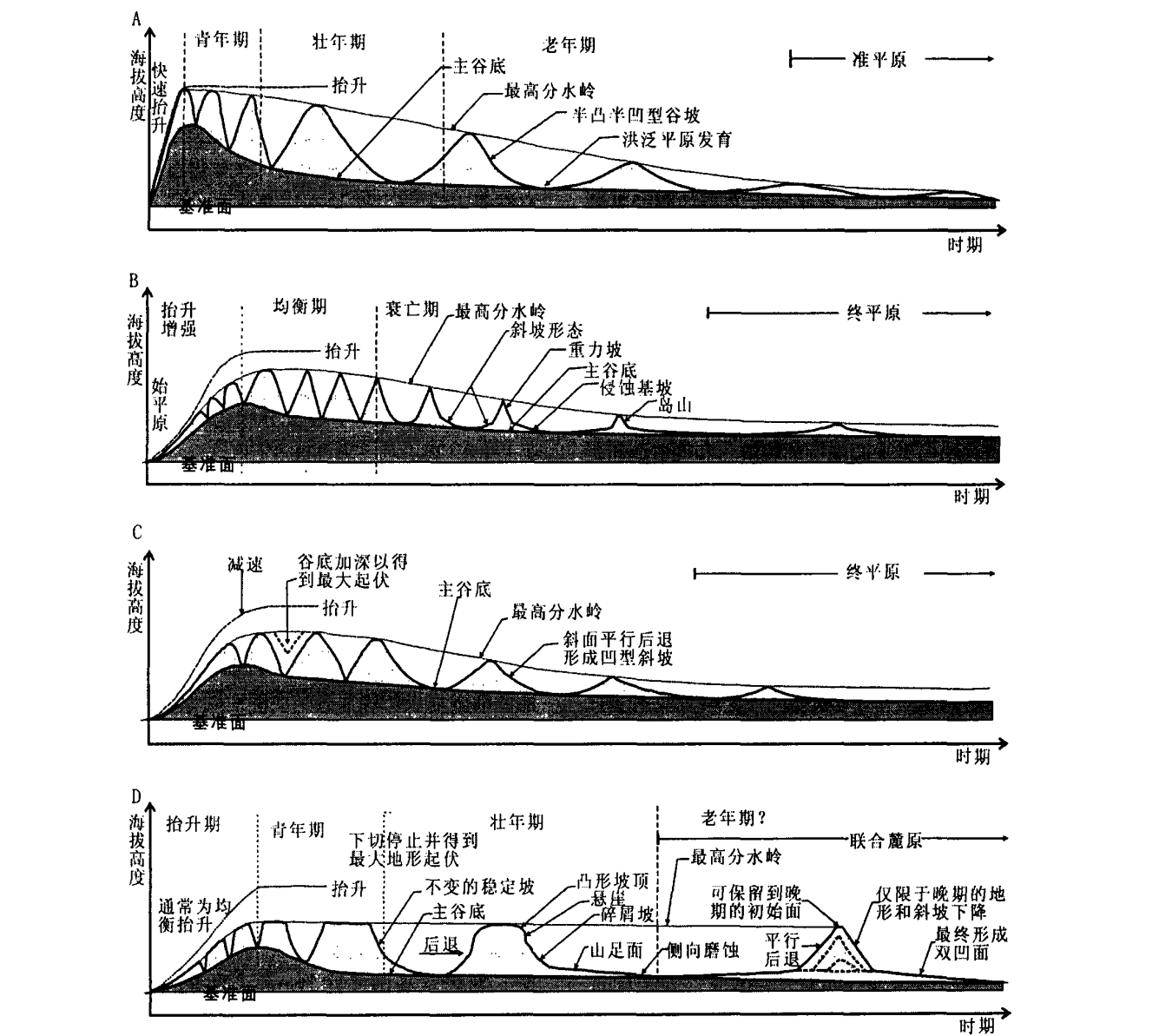
1.2.3 刻蚀平原(Etchplain)

刻蚀平原(Etchplain)是与结晶地盾和古老地块相关联的夷平面的一个类型。其不代表构造上的起伏,而是发育于热带气候条件下,在此环境下有利于易风化岩石的快速化学风化分解。1933年Wayland提出刻蚀平原这一概念,并用于解释乌干达发育很好的侵蚀面^[35]。他认为刻蚀平原是由刻入顶部白垩纪准平原而形成。关于刻蚀平原形成过程,Wayland描述为:“在缺乏显著地形条件下,平缓的坡度和季风气候导致地下水以垂直运动为主,而不是水平运动为主。除了抗化学风化的岩石外,所有岩石风化分解并可达数十英尺深。这一风化岩石及残余风化壳被大量剥蚀。当地形再一次抬升时这一过程重复进行……。”乌干达的这种低平原因此被称为刻蚀平原,其并不指示着构造的稳定和静止,而意味着不稳定的上升——即缓慢不连续抬升过程中间或存在相对快速的垂向抬升。根据刻蚀平原的原始理论,刻蚀平原来源于已经存在的侵蚀平原,而不是源于起伏的地形。作为地壳不规则抬升的响应,深部风化前锋的向下风化蚀低和残余风化壳表层的剥

蚀之间交替进行是刻蚀平原的主要地貌过程^[36]。这一地貌过程被B del(1957)所发展,他的夷平作用的双面理论(Double surfaces of leveling)可被看作是对刻蚀平原概念的进一步精心“加工”^[37]。这一假说强调,大面积区域的地表侵蚀受限于风化地面的改变,在风化壳的不同深度下,基岩表面(风化基面或风化前锋, Basal surface of weathering or weathering front)被化学风化过程所塑造。只有在气候改变或地壳运动干扰情况下,地表侵蚀方影响未改变(风化)的岩石,此时,加速侵蚀引起风化壳(及腐岩)的剥离及风化基面的暴露。Mabbutt(1965)把刻蚀平原看作有广泛基岩暴露的被剥离的地面^[38]。它的平坦程度受先前风化壳剖面的深度控制,而它的形态显示的是先前风化前锋的形态。Thomas(1965)把刻蚀平原进一步分为如下类型(图2)^[39]。

1.2.4 山足面(麓原)及联合麓原

Gilbert 1877年在研究美国西南部 Henry Mountains 地貌时,首次提出了山足面(Pediment)这一概念^[40]。在所有夷平面的类型中,山足面(麓原)和联合麓原(Pediplain)的概念较为明确,并存在较



A. Davisian 模式; B. Von Engeln 对 Penck 模式的解释;
C. Penck 模式更为可信的解释; D. King 模式的一种解释

图 4 假定侵蚀基准固定条件下,地貌景观演化的循环模式及其展示的高度和时间的关系
(Thornes and Brunsden, 1977^[49])

Fig. 4 Cyclic models of landscape evolution showing the relationship between elevation and time. Base level is assumed to be fixed through time
(Thornes and Brunsden, 1977^[49])

2 1 侵蚀基准面及海拔高度

Powell (1875) 提出了基准面这一概念, 即“低于基准面的陆地部分不能被侵蚀”。而 Dutton (1882) 对基准面给出了最准确的定义, 其定义为“所有区域均有趋向于基准面的趋势, 如果时间足够长的话, 每一个区域将逐步逼近并最终明显地达到这一基准”^[14]。Powell 和 Dutton 的开创性工作为 Davis 的准平原学说和其它地貌循环发育理论的建立奠定了基础。

在夷平面理论中, 戴维斯学派准平原的侵蚀基准面是比较明确的, 即为海平面或者是海平面在大陆内的假想延伸面。李吉均 (1999) 指出“……夷平面(理解为准平原型夷平面, 作者注)也是以世界洋面为基面发育起来的, 即使在大陆中心, 夷平面形成的原始高度也不过为海拔数百米……”^[22]。

山足面(Pediment)的侵蚀基准面强调了暂时性基准面, 即内陆湖盆面。

对联合麓原(Pediplain)的侵蚀基准面的性质存

在模糊的认识, 据 King (1968) 本人强调: “联合麓原化作用(Pediplanation) 在一个总的大陆性侵蚀基准面(General continental base level) 下进行, 在此概念中局地的侵蚀基准面(Local base levels) 也是有效的”^[41]。

在目前的研究中, 对夷平面发育期的侵蚀基准面的研究还存在一些问题, 或者说重视不够。研究过程中往往只强调夷平面的形态特征, 而忽视了关键的侵蚀基准面问题。把具有夷平性质的面笼统地称为夷平面, 但并无进一步强调或明确其性质, 如准平原型夷平面或联合麓原型夷平面。在此情况下夷平面的海拔高度的确认或估计就成为一个问题, 而这一问题对利用夷平面进行地貌演化和构造分析的研究是至关重要的。

因准平原的侵蚀基准为海平面, 所以准平原的最低海拔高度应接近于零值, 这一情形可见于准平原形成时的沿海地区。准平原向陆内的海拔高度受限于远离海岸的距离。从理论上讲, 对于一个广大的准平原, 有理由认为在内陆地区其海拔高度可上升至几百米甚至一公里, 或更高^[9]。冯金良和崔之久(2002) 根据侵蚀基准面、古喀斯特发育深度和深部喀斯特三者之间的发育规律, 确定了在华北古陆(中奥陶世——早石炭世) 准平原发育时, 冀中凹陷苏桥潜山地区化石夷平面海拔高度为 300 m 左右^[45]。

山足面则不然, 其侵蚀基准具有局地性质, 所以山足面的理论海拔高度可以为大陆区域任一海拔高度。

因为联合麓原的侵蚀基准面既可以是海平面, 也可以是局地的侵蚀基准面; 所以其海拔高度是一个很大的变数。

2.2 坡降(或坡度)

在夷平面类型中, 山足面在自然界中较为普遍, 同时其地貌特征也较为明确。Twidale (1968)^[46] 指出山足面的坡度变化在 $1^{\circ} \sim 7^{\circ}$ 间; King (1968)^[41] 和 Small (1978)^[17] 认为山足面的坡度变化在 $0.5^{\circ} \sim 7^{\circ}$; 而 Goudie (1985)^[11] 认为山足面的坡度通常 $< 10^{\circ}$; 李钜章(1990)^[29] 则认为坡度在 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。

山足面继续发育及合并构成联合麓原。因而, 联合麓原的海拔高度应较山足面低。从理论上讲, 联合麓原的总体坡降应小于山足面。King 指出非洲大陆联合麓原的坡降为 $0.1\% \sim 0.2\%$ ^[22]。

Martin (1968)^[47] 对化石(埋藏, Buried) 夷平面研究后得出, 密西西比化石夷平面(Buried Mississippian Surface) 的坡降变化在 $2.8415\% \sim 44.138\%$ 间, 而加拿大西部化石夷平面(Buried Western Canadian Landscape) 的坡降为 0.4357% ; B del (1965)^[48] 指出印度 Tamilnad 活动夷平面的坡降为 2% ; 冯金良和崔之久(2002)^[45] 对化石准平原的研究结果表明, 华北陆块在中奥陶世—早石炭世之间发育的化石准平原, 其在鄂尔多斯地区的坡降变化在 $0.375\% \sim 0.520\%$; 扬子古陆在二叠纪期间发育的化石夷平面坡降为 $0.31\% \sim 1.32\%$ 。

基于作者和前人研究结果, 在本文中视坡降(坡度) $\leq 7^{\circ}$ 、连续、大区域分布的平缓侵蚀面为夷平面。并进一步划分为 4 个坡度分级: $\geq 7^{\circ}$ 、 $7^{\circ} \sim 1^{\circ}$ 、 $1^{\circ} \sim 0.1718^{\circ}(3\%)$ 和 $\leq 0.1718^{\circ}(3\%)$ 。

$\leq 0.1718^{\circ}(3\%)$ 可大致代表准平原型夷平面的坡度; $0.1718^{\circ}(3\%) \sim 1^{\circ}$ 可大致代表联合麓原等地貌发育晚期的地面坡度; $1^{\circ} \sim 7^{\circ}$ 代表山足面的坡度; $\geq 7^{\circ}$ 为非夷平面的其他侵蚀面或剥蚀面。

当然, 这种归类存在一定的主观性。但从大尺度空间分析的精度要求和野外验证来看, 这种分类能较准确地表明残留夷平面的空间分布特征。有必要指出, 通过地面坡降是不能独立确定夷平面的类型的, 应结合其侵蚀基准面等特征联合确认。

2.3 相对高度

相对高度主要由夷平面上所残留的蚀余地形所造成。对不同环境和地貌演化理论认识上的差异, 使学者们提出了多个术语, 包括: Davisian 学派的残丘(Monadnock)、King 和 B del 理论的岛山(Inselberg, 穹隆状岛山又称 Bornhards) 等。对蚀余地形的成因目前存在不同的认识。在 Davisian 学派中, 残丘(Monadnock) 是坡面变缓和坡面降低的准平原化作用(Peneplanation) 所塑造。岛山的发育模式主要包括两种假说: 麓原化作用(Pediplanation hypothesis) 和掘蚀假说(Exhumation hypothesis)。前者, King 强调坡面的平行后退的残余成因, 这一过程应该主要存在于干旱及半干旱地区; 后者, 则认为是风化基面被剥蚀出露的结果^[17, 46]。在澳大利亚北方省(Northern Territory) 的长石砂岩构成的 Ayers Rock 岛山的高度可达 348 m, 在我国广东省封开县的著名景观花岗岩大“斑石”(穹隆状岛山) 的相对高度可达 191.3 m。

2.4 夷平面的空间尺度

从夷平面的定义中不难看出, 其内涵的主要部分一是强调了夷平作用过程, 二是强调其形态。但对其空间尺度却很少加以说明, 或言对其定量或半

定量的尺度限制是困难的。李吉均(1999)^[22]认为准平原的地貌边界是跨流域的。

本文认为海、陆可作为地貌的一级单元,准平原型夷平面可以作为二级地貌单元,也就是说准平原型夷平面的尺度应是一个稳定地台或结晶地盾的尺度,如中奥陶世—早石炭世的华北地台、600~170 Ma 的冈瓦纳古陆(Gondwanaland)等。而联合麓原的范围则很难界定,其变化范围可从一个稳定地块尺度到一个造山带尺度。山足面(麓原)的空间尺度会更小。

3 夷平面形成

3.1 夷平面的发育模式

我们必须认识到,现在仍缺乏或不可能存在一个万能的理论模式来解释干旱、半干旱、温湿、热带等气候条件下的地貌发育。而最根本的区别在于坡面的发育过程和发育模式。

在目前已建立的理论模式中,循环模式是概括和抽象夷平面的发育过程的最主要的模式(图4)。这包括 Davis 学派的常态循环模式(Davis normal cycle)、Penck 的模式(Penck's cyclic model)、King 的联合麓原模式(King's pediplain cycle)和 B del 的夷平作用的双面模式(B del's double surfaces of leveling)^[49]。

Davis 学派的准平原及地貌循环理论建立于温湿气候条件下,一般称其为常态地貌发育模式。这一假说认为地貌发育应当依次历经幼年、壮年和老年几个阶段,准平原即是老年期地貌形态。准平原的形成主要是流水侵蚀的结果,地形起伏的变小是通过坡面的同时降低和变缓来实现的——即准平原的形成是通过向下剥蚀来逐步完成的。

Penck W. (1953) 认为当河流下切趋于停顿之后,谷坡将从河边开始发育,而逐渐向坡面上部(Upslope)后退,在后退过程中,其坡度不变,这一过程的循环使地形侵蚀低,并形成具凹面坡(Concave slope)的终平原过程^[18, 42]。

King (1967)^[50]基于干旱区地貌研究,认为联合麓原或坡地发育的最基本模式是崖坡的平行后退(Parallel scarp retreat)。

B del (1957)^[37]、Ollier (1960)^[51]和 Thomas (1966)^[52]提出在热带气候条件下,风化作用在夷平

面形成过程中的起着重要的作用。B del (1957)^[37]并提出了夷平作用的双面理论(Double surfaces of leveling, 图5)。

3.2 夷平面发育的时间

夷平面发育需要一个长期的构造稳定期,更准确地说就是外动力地质作用远强于内动力地质作用过程持续很长时间。彭克早年推测一个准平原的形成大约需要 $1\ 300 \times 10^4\ a$ ^[5]。Chorley *et al.*^[40]认为一个准平原化作用也许需要 10 Ma~50 Ma 来完成。华北陆块中奥陶世—早石炭世的准平原的发育和持续期约 150 Ma^[45]。无论怎样,一个夷平面的形成所需的时间可能主要受制于多个因素的控制:如原始地貌的起伏程度、外动力地质作用与内动力地质作用的强度差异。此外,不同类型夷平面的形成应该需要不同的时间,准平原型夷平面的形成对构造稳定的需求时间应该最长。

地貌演化过程实质上是内、外动力地质作用相互作用的过程。从长期和全球的角度来看,内力地质作用在此过程中起着主导作用,外力作用为辅。但二者是相互联系、密不可分的,同时也是相互斗争和彼消此长。在某一时期的某一陆域,可能出现外动力地质作用占主导角色的时期,如果这一状态持续很长时间,地貌演化就可能达到其终极阶段,即准平原型夷平面的形成。

3.3 夷平面发育的背景条件

概括地讲,内、外动力地质作用的方式和强度是夷平面发育的主要背景条件。这一问题可简化为夷平面发育的气候和大地构造条件。地貌学家基于不同的气候和大地构造背景,提出了不同的夷平面发育模式。对于一个夷平面的形成而言,如果其要求的气候和大地构造条件不具有普遍性,则它形成的机率愈低。在所有类型的夷平面中,准平原地貌形成的机率应该是最底的。作者对华北古陆(中奥陶世末至中石炭世初期间)和扬子古陆(早、晚二叠世期间)的化石夷平面研究表明,华北地块准平原和扬子地块夷平面在发育过程中均处于赤道附近的低纬度地区,热带湿热的气候条件是准平原及地貌晚期夷平面发育的有利环境背景条件。

此外,在夷平面发育期,华北地块和扬子地块均为独立的、游离于古大陆之外的两个中小的稳定地块。夷平面发育初期的构造抬升,无论是加里东抑或是东吴运动均以垂直升降的造陆运动为主^[45]。

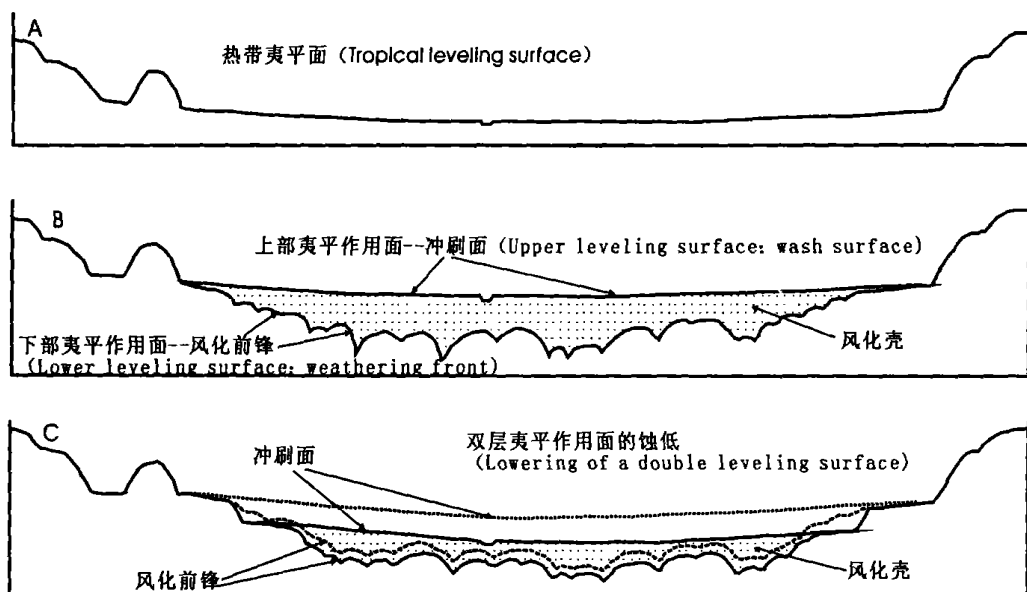


图 5 夷平作用的双面理论(B del, 1957^[37])

Fig. 5 Double surfaces of leveling (B del, 1957^[37])

4 相关堆积

Penck 首先指出, 夷平过程的相关沉积与侵蚀地貌有着同样重要的地貌意义^[42]。夷平面的相关沉积可以分为原地相关堆积和异地相关堆积。

风化壳是气候—构造控制下地表过程中物质形成—迁移的具体表现形式。地貌的形成发展过程及其表现形式又都与风化和风化壳有关。若风化壳作为夷平面相关堆积的一部分, 则可称其为夷平面的原地相关堆积;

基于风化壳与相关地貌面在空间上的密切性, 因而风化壳的特征在一定程度上可代表地貌面的特征, 或者说风化壳可作为地貌面性质的一个替代性指标。

与地貌面共生的原地风化堆积(风化壳)特征主要是指: 物理及结构特征、化学特征、矿物组成、物理—化学性质和岩石磁性等特征。这些特征是母岩在经历风化过程中所遭受的风化营力强度、时间的具体体现。换言之, 不同环境下经过不同时间的风化过程, 风化壳的特征是不同的。从而为我们基于风化壳特征反演过去环境的变化奠定了基础, 也使通过风化壳来研究气候—构造事件称为可能。

风化壳的系列特征指标对应着其形成的特定环境。但由于环境的变迁和构造活动的垂直升降, 造成风化壳与其现今周围环境的不相容; 这种不相容

性一是在空间位置未发生变化条件下环境演变的结果, 二是构造活动导致的空间位置的变化所致, 也可能是二者共同作用所形成^[53, 54]。今后, 应重视对风化壳形成与夷平面发育过程关系问题的研究。

而夷平面的异地相关堆积则是沉积盆地中的堆积物^[55, 56]。此外, 异地相关盆地堆积也可在某种程度上反映夷平面的特征, 但因在空间上二者常常分离, 致使其对夷平面特征的指示仅可能是大尺度的。高精度和小区域基础上二者关系的研究, 目前仍存在一定的困难。因为异地堆积尚不能与夷平面间建立一一对应的关系, 所以基于盆地堆积物的时间序列和沉积总量来恢复夷平面演化过程的四维模型目前尚处于探索阶段。

5 夷平面的定年

夷平面的定年是一个长期存在的棘手问题, 同时也是地貌学家急于渴望解决的关键问题。首先遇到的问题是定义一个夷平面的年龄^[57]。对于一个夷平面, 无论其成因或应用何种模式去解释其发育过程, 对夷平面的不同部分而言, 其形成年代是不同的。也就是说, 夷平面的发育并非是在瞬间完成的, 而是经历了一个相当长的时段。因此, 夷平面的年龄实际上是一个时间区间。此外, 夷平面形成之后的均衡阶段, 其地貌景观是相对稳定的, 但并不意味着不存在变化。暴露于自然环境下的夷平面,

仍可遭受风化、侵蚀和碎屑沉积的覆盖,而这些过程所持续的时间不应叠加在夷平面的年龄之上。也就是说,一个夷平面的年龄应是其原始形成的年代(the time of origin)^[58]。

夷平面的定年方法可分为相对定年(Relative methods of dating)和绝对定年(Absolute methods of dating)。相对方法包括:地质方法(Geologic method)、地层学方法(Stratigraphic method)、地貌学方法(Geomorphic method)和地形学方法(Topographic method);绝对定年包括:物理学方法(Physical methods,如放射性同位素定年)和数值方法(Numerical method,如 Cation ratios dating of rock varnishes)^[58,59]。夷平面的相对定年方法是一个较为可靠的方法。但是,一个近似的和相对的年龄数据往往很难满足地貌学家的“胃口”。此外,这一方法经常受困于定年所需证据的保存、出露乃至识别^[58]。夷平面的绝对年龄数据是地貌学家所渴望的,但夷平面的性质决定了其年龄也许是永远“测不准”的,我们只能得到逼近的年代数据,从而对其形成年代给出合理的约束。此外,绝对定年方法必须面对如下问题:潜在的采样问题,方法应用的假设,实验和测试,数据的解释和应用。尤为关键的是我们必须清楚地了解被测材料与夷平面的关系,如地貌学家期望利用风化壳定年来确定夷平面的年龄,但应该认识到风化壳通常并不能记录夷平面形成过程中所遭受的全部风化历史,而只能反映最后一个时期的风化过程,因为风化壳的双面(表层的侵蚀面和底部的风化前锋)并非是静止的。

6 夷平面的确认与古地貌重建

夷平面解体 and 变形后,夷平面的确认和古地貌的重建将面对大量难以克服的问题。这涉及到残留夷平面的保存状态,不同类型夷平面的区分以及残留夷平面所存在的可能的其他成因解释。

6.1 夷平面的空间组合关系

从上述讨论可知,由山足面型夷平面、联合麓原型夷平面至准平原型夷平面,其侵蚀基准面由局地侵蚀基准逐渐过渡到海平面;同时夷平面的地面坡度和海拔高度逐渐降低,而空间尺度逐渐扩大。基于不同性质夷平面的发育条件和特征,在同一地貌单元内不同期次、不同性质夷平面的空间组合关系是有规律和约束性的。从理论上而言,其组合关系通常应遵循如下原则:

1. 同一地貌单元内,准平原型夷平面的出露具有唯一性,即不可能有两期或多期准平原型夷平面以正常次序出露;如华北地区的北台面和唐县面,从理论上讲,二者不应同是准平原型夷平面。从准平原的发育模式可知,后期准平原的夷平发育过程应该抹去早期准平原的地貌记录。当然,掘露的化石型准平原(Exhumed fossil peneplain)是可以与后期发育的准平原型夷平面共存的。

2. 前一期准平原型夷平面可以与后一期联合麓原共存;但前一期联合麓原型夷平面不应该与后一期准平原型夷平面共存;如南部非洲的冈瓦纳面(Gondwana Surface)和非洲面(African Surface),如果后期的非洲面是联合麓原型夷平面,则冈瓦纳面可以是准平原型夷平面或联合麓原型夷平面。

3. 前一期联合麓原型夷平面可以与后期联合麓原型夷平面共存。

4. 前一期准平原型夷平面或联合麓原型夷平面可以与后期山足面型夷平面共存。同样以华北地区的北台面和唐县面为例,如果把北台面视为准平原型夷平面,则唐县面应是山足面或联合麓原,而不可能是准平原型夷平面。

5. 多期山足面型夷平面可以共存,并构成山麓梯地(Piedmonttreppe, Piedmont bench-lands),如德国中部哈尔茨山(Harz)的山麓梯地。

6.2 风化壳与夷平面

风化壳和夷平面不仅各自成为当前研究的热点问题,而且二者之间的相互依存及相互确认关系也成为一个跨学科的综合研究热点^[2,60]。风化壳的地貌意义在于其可以被看作是夷平面的原地相关堆积。因此,风化壳可以做为一个“媒介”把夷平面与其所处的环境和其被风化、侵蚀过程的时代相互连接起来。夷平面研究的首要问题就是夷平面地貌特征的确认及古地貌的恢复和重建。在此基础上,方有可能把其应用于新构造运动、地貌演化过程及气候——构造地貌相互作用关系等方面的研究。由此不难看出,夷平面性质的确认就成为必须正确解决的关键问题。

风化壳应用于古地面或夷平面识别的理论基础是:1. 风化壳是大陆地表气下地球化学过程的产物;2. 风化壳,尤其是铝土矿型深度发育的风化壳是长期构造稳定下的风化结果;3. 红色风化壳一般代表了一种湿热气候条件。

前人在红色风化壳与古地面、夷平面相互关系的研究中存在不同的认识。这种认识上的差异可视

为一个问题的 3 个方面:一是风化壳的存在对应着古地面,但对这一古地面地貌特征的认识存在程度上的差异;有的学者认为依据红色风化壳仅能判定出古地面或侵蚀面的存在,而进一步确定其地貌发育程度是困难的;有的认为通过风化壳可以在一定条件下确认夷平面的存在。二是在不同类型夷平面上对应的是何种发育程度的风化壳,有的学者认为高度风化的铝土矿型或铁质红土风化壳能作为准平原型夷平面存在的证据之一,有的则认为风化程度较低的红色风化壳或红土性风化壳在一些地区可做为准平原型夷平面是否存在的判据之一。三是夷平面与风化壳在发育时代上的关系,即风化壳是否记录了夷平面形成过程中所遭受的全部风化历史,还是仅能反映最后一个时期的风化过程。

6.3 齐一山顶面与准平原

戴维斯学派认为齐一山顶面(Gipfelflur, Peak plain, Summit plain, Accordance of summit levels)是由上升准平原遭受切割后所残留,并依此可建立因构造而解体的准平原面。最初,上升的准平原模型限制于解释穿过波状高原的不变的峰顶面,但不久就将其延伸到齐一的山顶面^[1]。在尝试用地貌证据去阐明构造演化过程中,齐一山顶面的上升准平原解释是一个重要的暗示或证据。但由此去解释地貌演化或推断构造垂直抬升幅度是存在不确定性的^[25]。原因在于:一是山顶面上能定年的覆盖物的缺失,经常造成一个相对年龄的给出和仅仅依靠海拔高度来演绎他们之间的相互关系^[40];二是抬升的准平原并非齐一山顶面形成的唯一可能。下述原因均有可能是齐一山顶面的成因:

1. 河流正常侵蚀过程(geometric result of equal stream spacing flanked by uniform slopes)。在块状结晶岩体区或高度褶皱化的薄层沉积岩区,河流的切割将不会受制于构造控制;如果谷地被等量分割并下切到同样的深度,而两侧为同一角度的坡面所挟持,齐一山顶面可被解释为一个没有地貌意义的地形特征^[1, 9]。

2. 雪线冻融作用。这一解释最早由 A. Penck 提出, Richter 进行了补充,其核心就是雪线作用。他们观察到低于雪线的坡地被相当程度的植被所覆盖和保护,同时高于其上的被积雪覆盖和保护。但在雪线附近的冻融作用是十分强烈的,因此对山体而言,在此水平面上被蚀低夷平的趋势是可能存在的^[1, 9, 14]。

3. 侵蚀与抗侵蚀力、抬升间的平衡。随山地海

拔高度的增加,侵蚀强度会随之增大;在某一高度,侵蚀与抗侵蚀力之间以及蚀低与抬升间有可能取得一个平衡^[40]。

4. 非准平原化作用形成的夷平面的残留。非准平原化成因夷平面的残留使齐一山顶面的准平原解释存在不确定性。如:海蚀面(Marine erosion surface)、联合麓原(Pediplain)、剥露的构造面(Stripped structural plain)和掘出的化石准平原(Exhumed fossil Peneplain)^[40]。

5. 高海拔局地基准面下形成的夷平面。高海拔局地基准面下形成的夷平面也可能存在齐一山顶面,但其形成是与海平面无联系的,如干旱地区的联合麓原^[40, 61]。

6.4 夷平面的古地貌重建

大尺度地貌演化过程的恢复和重建一直是地学研究者探索的问题,但面临的困难和挑战依然存在。其一是时间序列的建立,其二是地貌演化的初始高程问题。

夷平面的空间特征需要通过三维坐标来表示,而夷平面的演化过程则需要三维坐标和时间历程来表示,可以说,时空概念构成了夷平面的核心。

目前,不同类型夷平面的地貌特征参数尚待建立,同时夷平面大多遭受后期构造解体和变形,这在一定程度上增加了古地貌重建的难度。3S 技术是古地貌重建中一种有效的研究方法和辅助手段,但任何规律性和结论性的认识必须基于对地质构造体系和夷平面演化规律的合理解释^[1]。

异地相关盆地堆积也可在某种程度上反映地貌面的特征,基于盆地堆积物的时间序列和沉积总量来恢复地貌演化过程的三维、四维演化目前尚处于探索阶段^[55, 56, 62]。更为困难的是,我们尚不能确定某一时段地貌演化过程中,起始时刻某一区域的地貌特征参数,也就是说初始值或边界条件的确定仍是困难的。

7 结语

夷平面研究涉及到地貌学的两个基本问题:即地貌演化的历史研究(Historical studies)和地貌演化的机制研究(Functional studies)。基于地貌景观的相关侵蚀和沉积特征,历史研究的目的就是试图推论或演绎出它所经历的一系列历史事件,如构造事件、气候事件及海平面变化等^[40]。为了实现这一目标,有关地球物质现代过程和行为的机制研究是必

须应该开展的,这些可直接观察到的地貌过程是地貌学家合理和正确理解地貌变化和保持的基础。在夷平面研究方法上,我们应该坚持以机制研究为先导,以历史研究为目标的研究策略。在此过程中,坡面发育过程和模式的建立以及地表物质迁移规律的研究尤为重要。

地貌学的理论和技术支撑是多方面的。同时,地貌学的发展依赖于相关学科的发展,如:大地构造学、地质学、沉积学、地球物理学、地质年代学乃至全球变化。相关技术的发展和数据的获得对地貌学发展起到了促进作用,相关技术的支持包括:大尺度地形演化数字模型的建立(GIS技术),基于RS和GPS的高分辨率数字高程数据源的获取(RS和GPS技术),建立在热年代(Thermochronology)技术(譬如裂变径迹分析)基础上的长期剥蚀记录的引出,基于地震地层和钻探岩芯数据的滨外或海域沉积通量和沉积速率的估计等^[1]。作者相信,结合相关学科的发展,地貌学家会逐步解决夷平面研究中所面临的困难和挑战,并最终推动地貌学的发展。

参考文献(References):

- [1] Summerfield M A. Geomorphology and global tectonics [M]. Chichester: John Wiley & Sons, 1999. Preface, 3~ 12.
- [2] Cui Zhijiu, Li Dewen, Wu Yongqiu, et al.. Comment on the Planation surface [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1998, **43** (17): 1794~ 1804. [崔之久, 李德文, 伍永秋, 等. 关于夷平面[J]. 科学通报, 1998, **43**(17): 1794~ 1804].
- [3] Pan Baotian, Li Jijun, Li Bingyuan. Discussion on evidences for surface uplift of the Tibet Plateau [J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 2000, **36**(3): 100~ 110. [潘保田, 李吉均, 李炳元. 青藏高原地面抬升证据讨论[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2000, **36**(3): 100~ 110.]
- [4] Li Jijun, Wen Shixuan, Zhang Qingsong et al.. The discussion about rising age, scale and process of Tibetan Plateau [J]. *Science in Chinese*, 1979, (6): 608~ 616. [李吉均, 文世宣, 张青松等. 青藏高原隆起的时代、幅度和形式的探讨[J]. 中国科学, 1979, (6): 608~ 616.]
- [5] Li Jijun. The three stages of Tibet Plateau rising and the planation surface [A]. In: Geomorphology and Quaternary Commission, Geography Society of China (Ed.). Landform, Environment, Development [C]. Beijing: Environmental Science Publishing House of China, 1995. 1~ 5. [李吉均. 青藏高原隆起的三个阶段及夷平面[A]. 见: 中国地理学会地貌与第四纪地质专业委员会环境—地貌—发展[C]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995. 1~ 5.]
- [6] Cui Zhijiu, Gao Quanzhou, Liu Gengnian et al.. Planation surfaces, palaeokarst and uplift of Xizang (Qinghai-Xizang) Plateau [J]. *Science in China (series D)*, 1996, **39**(4), 391~ 400.
- [7] Cui Zhijiu, Gao Quanzhou, Liu Gengnian, et al.. The initial evolution of planation surfaces and palaeokarst [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1997, **42**(11), 934~ 938.
- [8] Cui, Z. J., Li, D. W., Feng, J. L., et al.. Comments on the planation surface once more [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, **47**(10): 793~ 797.
- [9] Sparks B W. Geomorphology [M]. London: Longman Group Ltd.. 1972. 459~ 470.
- [10] Adams G F. Planation surfaces: Peneplains, pediplains, and Etch-plains [M]. Pennsylvania: Dowden, Hutchinson & Ross, Inc.. 1975. 1~ 13.
- [11] Goudie A, Atkinson B W, Gregory K J, et al.. The Encyclopaedic Dictionary of Physical Geography [M]. Oxford: Basil Blackwell Ltd. 1985. 118~ 121, 165, 325~ 336.
- [12] Clark A N. Longman Dictionary of Geography [M]. Great Britain: Longman Group Limited. 1985. 199, 473.
- [13] Mayhew S, Penny A. The Concise Oxford Dictionary of Geography [M]. Oxford: Oxford University Press, 1992. 77, 176.
- [14] Brown E H. Peneplain, Planation surface [A]. In: Fairbridge R W. The Encyclopedia of geomorphology [C]. New York: Reinhold Book Corporation, 1968. 821~ 823, 856.
- [15] Bates R L, Jackson J A. Dictionary of Geological Terms [M]. New York: Anchor Press/Doubleday., 1985. 170.
- [16] Jackson J A. Glossary of Geology [M]. Fourth Edition. American Geological Institute, Alexandria, Virginia, 1997. 169~ 170, 215~ 216, 491.
- [17] Small R J. The study of landforms [M]. Second Edition. London: Cambridge University Press, 1978. 154~ 327.
- [18] Penck W. Morphological Analysis of Land Forms [M]. London: Macmillan and Co., Limited. 1953. 73~ 129, 420.
- [19] Johnson D W. Plains, planes and peneplanes [J]. *Geograph. Rev.*, 1919, (1): 443~ 447.
- [20] Geller J F. Planation surface-Piedmont bench-lands-Cuesta under new view [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1960, **26**(2): 73~ 86. [盖乐特 J F. 新观点下的夷平面-梯级山地-单斜地[J]. 地理学报, 1960, **26**(2): 73~ 86.]
- [21] Editorial Committee. Geological Dictionary [M]. Beijing: Geological Press, 1983. 61~ 65. [地质词典编辑委员会. 地质词典[M]. 北京: 地质出版社, 1983. 61~ 65.]
- [22] Li Jijun. In memory of Davisian theory of erosion cycle and peneplain: a centennial study in China [J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 1999, **35**(3): 157~ 163. [李吉均. 纪念台维斯侵蚀循环、准平原学说诞生 100 周年[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 1999, **35**(3): 157~ 163.]
- [23] Zhang Baozheng, Chen Qi. Principle of Geology [M]. Beijing: Geological Press, 1983. 85~ 87. [张宝政, 陈琦. 地质学原理[M]. 北京: 地质出版社, 1983. 85~ 87.]
- [24] Xia Bangdong. General Geology [M]. Beijing: Geological Press, 1984. 189~ 190. [夏邦栋. 普通地质学. 北京: 地质出版社, 1984. 189~ 190.]
- [25] Zhang Ke, Huang Yukun. Researches on the planation surfaces in North Guangdong [J]. *Tropical Geography*, 1995, **15**(4): 295~ 304. [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~ 304.]
- [26] He Haosheng, He Kezhao. Deformation of planation surface in west Yunnan and its significance in Quaternary tectonic movement [J]. *Geoscience*, 1993, **7**(1): 31~ 39. [何浩生, 何科昭. 滇西地区夷平面变形及其反映的第四纪构造运动[J]. 现代地质, 1993, **7**(1): 31~ 39.]
- [27] Yang Dayuan. Recognition. Planation surface under new view [A]. In: Symposium—In memory Prof. Yuan Fuli birthed century [C]. Beijing: Seism Press, 1993. 109~ 112. [杨达源. 重新认识“夷平面”[A]. 见: 纪念袁复礼教授诞辰 100 周年学术讨论会论文集[C]. 北京: 地震出版社, 1993. 109~ 112.]
- [28] Li Bingyuan, Pan Baotian, Gao Hongshan. A planation surface and ages of volcanic rocks in Eastern Hoh Xil, Qinghai—Tibetan plateau [J]. *Quaternary Sciences*, 2002, **22**(5): 397~ 405. [李炳元, 潘保田, 高红山. 可可西里东部地区的夷平面与火山年代[J]. 第四纪研究, 2002, **22**(5): 397~ 405.]
- [29] Zuo Dakang (ed.). A dictionary of modern geography [M]. Beijing: Commerce Press, 1990. 187. [左大康. 现代地理学辞典[M]. 北京: 商务印书馆, 1990. 187.]
- [30] Pan Baotian, Gao Hongshan, Li Jijun. On problems of planation surface—A discussion on the planation surface in Qinghai—Xizang Plateau [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, **22**(5): 520~ 526. [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.]
- [31] 麦谢里亚科夫 И. Discussion about multigenesis of planation surfaces [J]. *Geographic Translation*, 1964, (1): 24~ 28. [麦谢里亚科夫 И. 论多成因夷平面[J]. 地理译丛, 1964, (1): 24~ 28.]
- [32] Davis W M. The geographical cycle [J]. *Geogr. J.*, 1898, **14**(A): 481~ 503.
- [33] Crickmay C H. The later stages of the cycle of erosion [J]. *Geol. Mag.*, 1933, **70**(7): 337~ 347.
- [34] Ruxton B P. Pan planation [A]. In: Fairbridge R W. The Encyclopedia of Geomorphology [C]. Pennsylvania: Dowden, Hutchinson & Ross Inc., 1968. 813~ 814.
- [35] Wayland E J. Peneplains and some other erosional platforms [A]. In: Survey Dept. of Mines. Annual Report and Bulletin, Protectorate of Uganda [C]. 1933. Notes: 1. 77~ 79.
- [36] Thomas M F. Etchplain [A]. In: Fairbridge R W. The Encyclopedia of Geomorphology [C]. Pennsylvania: Dowden, Hutchinson & Ross Inc., 1968. 331~ 333.
- [37] B del J. Double surfaces of leveling in the humid tropics [J]. *Zeit. Geomorph.*, 1957, **1**(2): 223~ 225.
- [38] Mabbutt J A. The weathered landsurface of central Australia [J]. *Zeit. Geomorph.*, 1965, **9**: 82~ 114.
- [39] Thomas M F. An approach to some problems of landform analysis in tropical environments [A]. In: Whittow J B, and Wood A D. Essays in Geography [C]. Reading, Austin Miller, 1965. 118~ 144.
- [40] Chorley R J, Schumm S A, Sugden D E. geomorphology [M]. London: Methuen & Co. Ltd, 1984. 3, 17~ 40, 487~ 493.
- [41] King L C. Pediplanation [A]. In: Fairbridge R W. The Encyclopedia of Geomorphology [C]. Pennsylvania: Dowden, Hutchinson & Ross Inc., 1968. 818~ 820.
- [42] Ren Meif e. W. Penck's geomorphological theory and review [J]. *Geography Sinica*, 1964, (2): 70~ 73. [任美铎. 彭克 W. 的地貌学理论及其评价[J]. 地理, 1964, (2): 70~ 73.]
- [43] Harris S A. Primærrump [A]. In: Fairbridge R W. The Encyclopedia of geomorphology [C]. New York: Reinhold Book Corporation, 1968. 890~ 891.
- [44] Bremer H. Two Germanic geomorphologist: A. Penck (1858~ 1945) and W. Penck (1888~ 1923) [J]. *Geographic Translation*, 1984, (2): 1~ 7. [Bremer H. 阿尔布雷希特·彭克 (1858~ 1945) 和瓦希特·彭克 (1888~ 1923) 两位德国地貌学家[J]. 地理译报, 1984, (2): 1~ 7.]
- [45] Feng Jinliang, Cui Zhijiu. The reconstruction of fossil planation surfaces in China [J]. *Chinese Science Bulletin*, **47**(2002) 434~ 440.
- [46] Twidale C R. Inselberg, Pediment [A]. In: Fairbridge R W. The Encyclopedia of Geomorphology [C]. Pennsylvania: Dowden, Hutchinson & Ross Inc., 1968. 556~ 559, 817~ 818.
- [47] Martin R. Paleogeomorphology [A]. In: Fairbridge R W. The Encyclopedia of Geomorphology [C]. Pennsylvania: Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., 1968. 804~ 813.
- [48] B del J. The relief types of the sheetwash zone of Southern India on the Eastern Slope of the Deccan Highlands Toward Madras [J]. *Colloquium Geographicum*, 1965, (8): 25~ 33.
- [49] Thomes J B, Brunsden D. Geomorphology and time [M]. London: Methuen & Co Ltd, 1977. 119~ 123.
- [50] King L C. The Morphology of the Earth [M]. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1967. 139~ 169, 241~ 309.
- [51] Ollier C D. The inselbergs of Uganda [J]. *Zeit. Geomorph.*, 1960, **4**(1): 43~ 52.
- [52] Thomas M F. Some geomorphological implications of deep weathering in the crystalline rocks in Nigeria. Brit [J]. *Geogr. Trans.*, 1966, **40**: 173~ 193.
- [53] Feng Jinliang, Cui Zhijiu. The weathering profiles and its environmental and tectonic significance in the Gongwangshan mountain, Yunnan province [J]. *Geography and Territorial Research*. 2002, **18**(2): 56~ 60. [冯金良, 崔之久. 云南拱王山风化壳的发育特征及其构造和环境意义[J]. 地理学与国土研究. 2002, **18**(2): 56~ 60]
- [54] Feng Jinliang, Cui Zhijiu, Zhang Wei, et al.. Genesis of the layered landform surfaces in Dongchuan, Yunnan Province [J]. *Journal of Mountain Science*. 2004, **22**(2): 165~ 174. [冯金良, 崔之久, 张威, 等. 云南东川地区层状地貌面的成因[J]. 山地学报. 2004, **22**(2): 165~ 174]
- [55] Wang Guozhi, Wang Chengshan, Liu Dengzhong, et al.. Uplift and denudation of the western Yunnan Plateau in Quaternary [J]. *Marine geology & Quaternary Geology*, 1999, **19**(4): 67~ 74. [王国芝, 王成善, 刘登忠, 等. 滇西高原第四纪以来的隆升和剥蚀[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1999, **19**(4): 67~ 74.]
- [56] Wang Guozhi, Wang Chengshan, Zeng Yunfu, et al.. The uplift of the Yunnan Plateau and the sedimentary response of the

- Yinggehai Basin [J]. *ACTA Sedimentologica Sinica*, 2000, **18** (2): 234~ 240. [王国芝,王成善,曾允孚,等. 滇西高原的隆升与莺歌海盆地的沉积相应[J]. 沉积学报, 2000, **18**(2): 234~ 240.]
- [57] Li Rongquan, Gao shanming. Rerecognition for planation surface of Beitai Stage in Shanxi [J]. *Earthquake Research in Shanxi*, 1998, (2): 22~ 25. [李容全,高善明. 对山西北台期夷平面的再认识[J]. 山西地震, 1998, (2): 22~ 25.]
- [58] Watchman A L, Twidale C R. Relative and 'absolute' dating of land surfaces [J]. *Earth Science Reviews*, 2002, **58**: 1~ 49.
- [59] Migo P, Lidmar-Bergström K. Deep weathering through time in central and northwestern Europe: problems of dating and interpretation of geological record [J]. *Catena*, 2002, **49**: 25~ 40.
- [60] Twidale C R. The two-stage concept of landform and landscape development involving etching: origin, development and implications of an idea [J]. *Earth Science Reviews*, 2002, **57**: 37~ 74.
- [61] Wu Xihao, Wang Fubao, An Zhisheng, *et al.*. The uplift stage and elevation of the Tibet Plateau in late Cenozoic [A]. In: Liu Dongsheng, An Zhisheng (eds.) *Loess-Quaternary-Global Change* [C]. Beijing: Science Press in China, 1992. 1~ 13. [吴锡浩,王富葆,安芷生,等. 晚新生代青藏高原隆升的阶段和高度[A]. 见:刘东生,安芷生. 黄土-第四纪地质-全球变化[C]. 北京: 科学出版社, 1992. 1~ 13.]
- [62] Wang Chengshan, Liu Zhifei, Wang Guozhi, *et al.*. Three dimension paleotopographic reconstruction in Cenozoic Tibet Plateau [J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 2000, **27** (1): 1~ 7. 王成善,刘志飞,王国芝,等. 新生代青藏高原三维古地形再造[J]. 成都理工学院学报, 2000, **27**(1): 1~ 7.

Review on the Planation Surface

FENG Jinliang¹, CUI Zhijiu², ZHU Liping¹, LIU Gengnian²

(1. *Institute of Tibetan Plateau Research, CAS, Beijing 100085, China;*

2. *College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)*

Abstract: The relationship between global tectonics and macro-scale morphological features of earth became the hot-spot of geoscientific researches once more. In China, a main response is the rejuvenation of planation surface researches. But, some principal theories and issues should be defined, discussed and resolved in researches. On the theory of planation surface, historical studies and functional studies are still the main issues. Firstly, the confusion of 'planation surface' definition blocked the research's advance. In addition, the formation and evolution models of planation surface under various climate and tectonics still need to be generalized and abstracted. In the field exercises, the time scale and space scale of planation surface are still the key issues. On the one hand, the geomorphological characteristics (e. g. elevation or base level, gradient of surface, relative height and space range) of different planation surfaces need to be defined and presented semi-quantificationally or quantificationally. The dating of planation surface is still an intractable problem. About the recognition of different types of planation surfaces, some geomorphological principles and regulations should be followed, e. g. the genesis uncertainty of gipfelflur, the only alone principle of outcrop of peneplain in one geomorphological unit etc. Though, the related deposition formed the base of dating and paleogeomorphological reconstruction about planation surfaces, the relationship between related deposition and planation surface must be accounted for. For example, the age of the autochthonous related deposition of planation surface, i. e. weathering mantle, only constrained the formation time of planation surface, couldn't indicate its accurate age. Besides, the initiative parameters of geomorphological features still can't conform exactly for reconstruction of paleogeomorphology.

Key words: planation surface; concept; geomorphological features; evolution model; related deposition; land surface dating; paleogeomorphological reconstruction