

河流袭夺加剧珠穆朗玛峰近期隆升

韩续, 戴紧根*, 王成善

中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083

* 联系人, E-mail: djgtibet@163.com

River capture accelerated recent uplift of Chomolungma

Xu Han, Jingen Dai* & Chengshan Wang

School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

* Corresponding author, E-mail: djgtibet@163.com

doi: [10.1360/TB-2024-1332](https://doi.org/10.1360/TB-2024-1332)

喜马拉雅山脉的珠穆朗玛峰是世界最高峰, 它的形成机制一直是全球科学家关注的热点问题. 珠穆朗玛峰的海拔显著高于其他山峰, 与世界第二高峰乔戈里峰之间的高度差接近250 m, 而乔戈里峰与第三高峰干城章嘉峰及第四高峰洛子峰之间的高度差却仅为几十米. 同时, 基于GPS数据获得的珠穆朗玛峰短期岩石隆升速率^[1]与基于低温热年代学数据获得的长期岩石隆升速率^[2]存在差异. 这些特征表明, 珠峰的近期隆升可能受到了某种潜在机制的影响.

考虑到珠峰所在的科西河(Kosi River)流域具有独特的形态特征, 这一机制很可能与珠峰周围的河流有关. 科西河的主要支流为阿润河(Arun River), 其上游河段位于青藏高原, 呈东西走向; 而下游河段呈南北走向切穿喜马拉雅山脉, 形成了深深的峡谷(图1(a)). 阿润河的河道剖面呈上凸形状, 对汇水面积积分值(χ 值)的分布特征也显示其下游分水岭正向东两侧扩张(图1(b)). 这些特征表明河流正处于不稳定状态, 这一不稳定状态极有可能是河流袭夺导致的. 但是阿润河在玉日峡谷处突然弯折, 切过了抗侵蚀能力更强的片麻岩穹窿, 这一特征又是先成河的特点. 关于阿润河是先成河^[3]还是袭夺形成的河流^[4]的争论已经持续了近百年.

河流袭夺是指一条河流通过溯源侵蚀切过分水岭, 抢夺另一条河流上游段的过程. 通常依据河流形态及地质证据来识别河流袭夺过程. 分水岭两侧的 χ 值差异可以指示分水岭的稳定性, 进而判断流域盆地是否经历过河流袭夺等动态重组过程. 分水岭之上的风口有时也可以指示袭夺前古河道的位置. 但是这些标志无法准确约束袭夺时间. 沉积盆地的物源变化为河流重组过程提供了间接证据, 进而可以通过地层

沉积时代约束河流袭夺时间. 河流的快速下切也可以指示河流袭夺事件, 并且提供了直接的时间约束, 但是很难区分河流的快速下切是河流袭夺导致的还是构造或气候过程控制的. 识别河流袭夺过程, 确定袭夺时间仍是一项具有挑战的工作.

为了厘清科西河的流域演化过程, 我们结合水力侵蚀模型与非线性反演方法, 重建了科西河的河流袭夺过程. 模型中通过改变上游面积来模拟袭夺过程. 袭夺前, 阿润河只包含袭夺点下游部分, 而科西河的其他支流与现今形态一致, 河网整体处于稳定状态. 袭夺发生后, 阿润河加入了上游部分, 其平面展布形态现今完整流域一致, 阿润河因上游面积增加而开始下切, 其他支流仍保持稳态. 考虑到水力侵蚀模型中的各项参数在自然条件下变化较大, 该模拟使用了邻域算法进行反演以获得最佳模拟参数. 最佳模拟结果很好地拟合了现今的河道剖面, 表明袭夺事件发生在距今约89千年前. 最佳面积指数(m)为0.43, 最佳坡度指数(n)为0.97, 二者比值为0.44, 与前人在喜马拉雅地区获得的比值基本一致^[5,6]. 同时, 接近于1的坡度指数说明河流下切速率与坡度大致呈线性关系. 目前已有研究通过宇宙成因核素获得的侵蚀速率来约束坡度指数, 认为在阿润河及其他构造活跃地区的坡度指数大于1^[7,8], 与该研究的结果存在差异. 这主要是由于前人使用的宇宙核素方法对河流侵蚀和山坡侵蚀都很敏感, 同时还基于稳态地貌假设, 而该研究考虑到了河流袭夺后处于非稳态的动态过程. 袭夺发生后, 袭夺点下游的河流因上游流域面积与流量增加而开始快速下切, 袭夺点附近的下切速率可达 10 mm a^{-1} , 向下游逐渐降低至约 1 mm a^{-1} (图2(a)). 模型

引用格式: 韩续, 戴紧根, 王成善. 河流袭夺加剧珠穆朗玛峰近期隆升. 科学通报, 2025, 70: 1686–1689

Han X, Dai J, Wang C. River capture accelerated recent uplift of Chomolungma (in Chinese). Chin Sci Bull, 2025, 70: 1686–1689, doi: [10.1360/TB-2024-1332](https://doi.org/10.1360/TB-2024-1332)

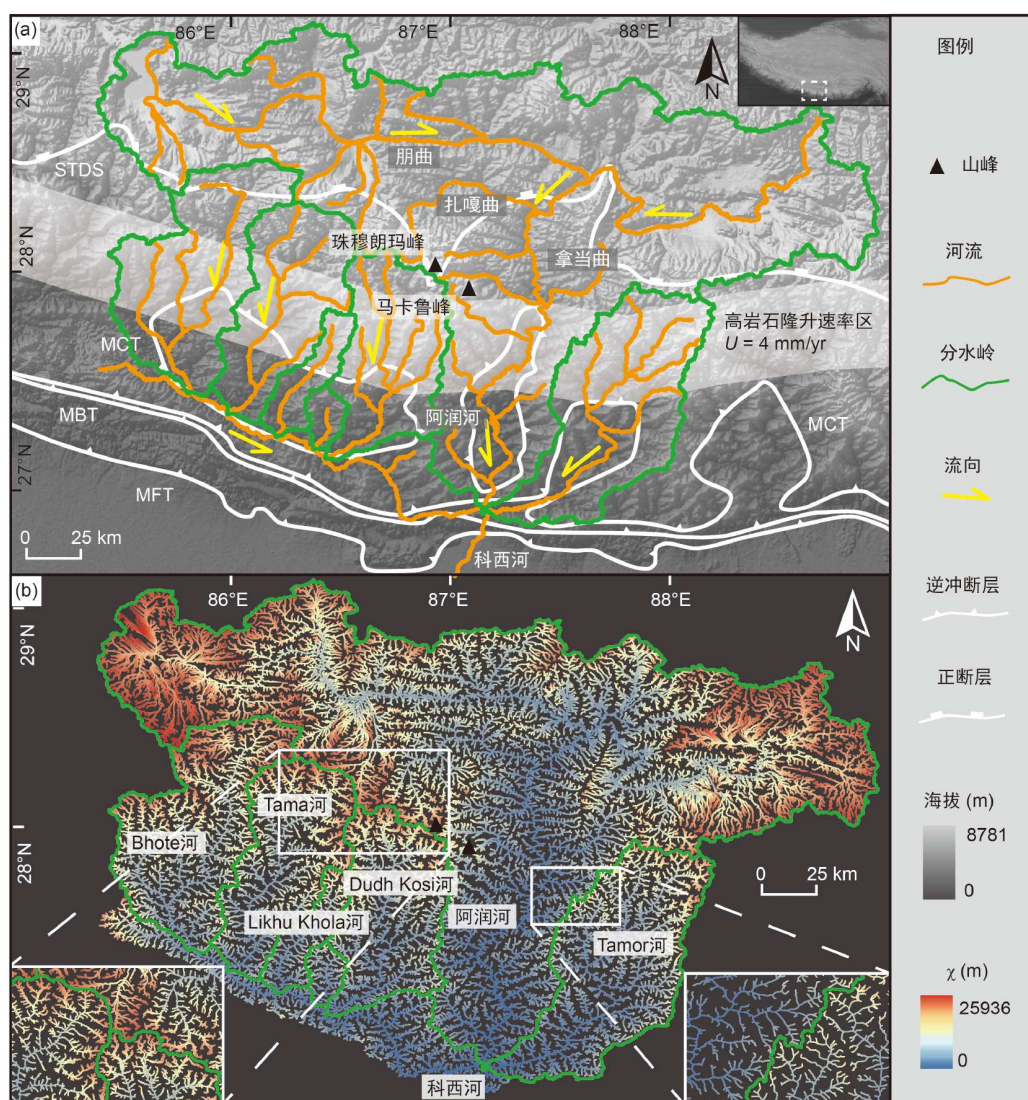


图 1 (网络版彩色)珠穆朗玛峰地区地貌特征图。(a) 科西河河网分布, 可以看到南北向河流切过喜马拉雅山脉形成了极高的地形, 在35 km的距离内海拔从8481 m降低到1140 m; (b) 科西河流域 χ 值图, 大多数支流间的分水岭两侧 χ 值基本一致, 而阿润河下游与其他支流间的分水岭两侧 χ 值差异较大

Figure 1 (Color online) Geomorphological characteristics of the Chomolungma region. (a) The drainage network of the Kosi River. Local relief is high where the north-south trending river cuts through the Himalaya and elevation varies from 8481 m to 1140 m over a distance of only 35 km. (b) The χ map for the Kosi River catchment. Most of the divides between the catchments of tributaries are relatively stable. In contrast, in the Arun River and the tributaries to the east and west, χ varies considerably

预测的河流下切速率与前人在阿润河下游基于阶地定年获得的下切速率相一致^[9]。

河流袭夺导致的河道下切不仅降低了河道的高程, 还导致周围区域的岩石因均衡反弹而隆起。考虑到喜马拉雅地区的有效弹性厚度为10~30 km^[10,11], 河流袭夺引发的均衡反弹可使珠穆朗玛峰的隆升速率增加0.2~0.5 mm a⁻¹(图2(b))。由均衡反弹带来的额外岩石隆升速率占现今基于GPS获得的珠峰隆升速率的约10%~50%。河流下切降低了河道附近的海

拔, 但是周围区域因均衡反弹影响而整体抬升。同时河流的支流需要一定的时间来响应河流袭夺带来的加速下切, 使得侵蚀速率小于岩石隆升速率, 从而导致地表隆升。该研究通过计算袭夺发生以来的河流下切总量来估算由此带来的均衡反弹量。河流袭夺造成的均衡反弹为珠穆朗玛峰带来了15~50 m的额外高度, 这可以部分解释珠穆朗玛峰相对于乔戈里峰的异常高度差。

尽管构造活动仍然是控制珠峰高度的主要因素, 但该研

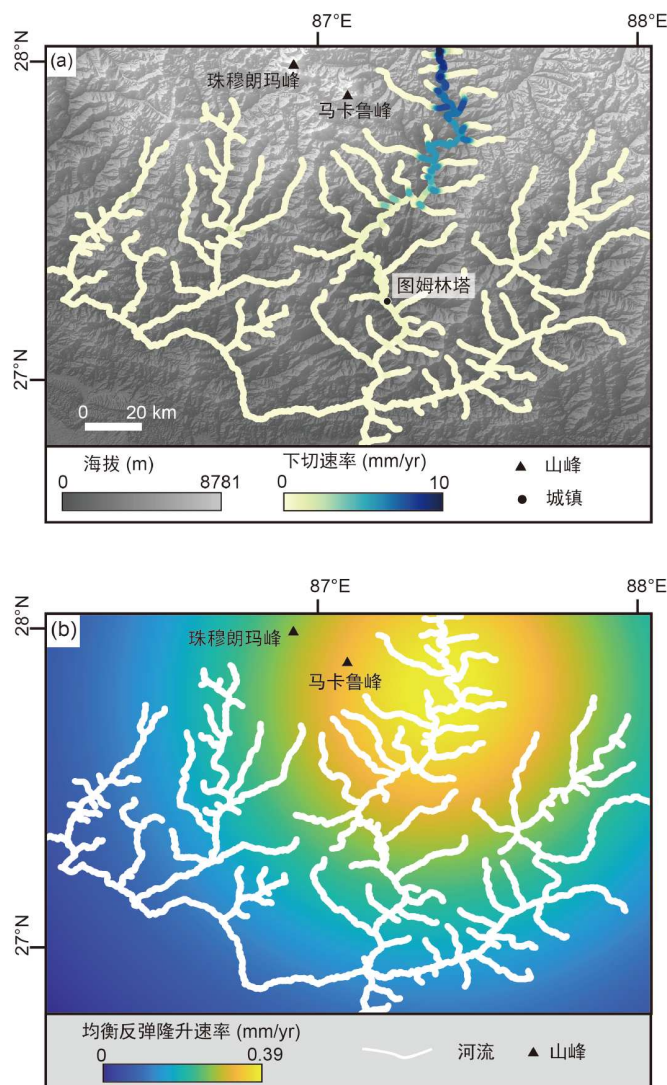


图 2 (网络版彩色) 袭夺发生后的河流下切与均衡反弹. (a) 科西河现今下切速率分布图; (b) 均衡反弹诱发的隆升速率分布图
Figure 2 (Color online) River incision and isostatic rebound after the river capture event. (a) Distribution of current incision rates of the Kosi River; (b) distribution of uplift rates induced by isostatic rebound

究揭示了河流袭夺导致山峰隆升的新机制. 河流袭夺在喜马拉雅造山带及其他造山带中普遍存在, 考虑其对山峰隆升的

贡献, 有助于研究人员更全面地理解造山带的演变与高峰形成过程. 上述相关研究成果发表在 *Nature Geoscience*^[12].

推荐阅读文献

- 1 Wang L, Barbot S. Three-dimensional kinematics of the India–Eurasia collision. *Commun Earth Environ*, 2023, 4: 164
- 2 Herman F, Copeland P, Avouac J P, et al. Exhumation, crustal deformation, and thermal structure of the Nepal Himalaya derived from the inversion of thermochronological and thermobarometric data and modeling of the topography. *J Geophys Res Solid Earth*, 2010, 115: B06407
- 3 Wager L R. The Arun River drainage pattern and the rise of the Himalaya. *Geograph J*, 1937, 89: 239–250
- 4 Heron A M. Geological results of the Mount Qomolangma expedition, 1921. *Geograph J*, 1922, 59: 418–431
- 5 Kirby E, Whipple K. Quantifying differential rock-uplift rates via stream profile analysis. *Geology*, 2001, 29: 415–418
- 6 Hodges K V, Wobus C, Ruhl K, et al. Quaternary deformation, river steepening, and heavy precipitation at the front of the Higher Himalayan ranges. *Earth Planet Sci Lett*, 2004, 220: 379–389

- 7 Adams B A, Whipple K X, Forte A M, et al. Climate controls on erosion in tectonically active landscapes. [Sci Adv](#), 2020, 6: eaaz3166
- 8 Olen S M, Bookhagen B, Hoffmann B, et al. Understanding erosion rates in the Himalayan orogen: a case study from the Arun Valley. [JGR Earth Surf](#), 2015, 120: 2080–2102
- 9 Lavé J, Avouac J P. Fluvial incision and tectonic uplift across the Himalayas of central Nepal. [J Geophys Res](#), 2001, 106: 26561–26591
- 10 Hammer P, Berthet T, Hetényi G, et al. Flexure of the India plate underneath the Bhutan Himalaya. [Geophys Res Lett](#), 2013, 40: 4225–4230
- 11 Hetényi G, Cattin R, Vergne J, et al. The effective elastic thickness of the India Plate from receiver function imaging, gravity anomalies and thermomechanical modelling. [Geophys J Intl](#), 2006, 167: 1106–1118
- 12 Han X, Dai J G, Smith A G G, et al. Recent uplift of Chomolungma enhanced by river drainage piracy. [Nat Geosci](#), 2024, 17: 1031–1037