

文章编号: 1008 - 2786 - (2011)5 - 616 - 11

青藏高原西北缘地形抬升速率与地质年代的关系

赵尚民^{1, 2, 3}, 周成虎², 程维明^{2*}, 陈曦¹

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;
3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 基于数字高程模型数据和地质数据, 首先对青藏高原西北缘西昆仑山脉的山脊线和山麓线进行地形剖面及其地面组成物质形成的地质年代分析, 据此获取了从西北到东南的 5 座典型山峰: 昆盖山、慕士塔格山、塔什库祖克山、慕士山和托库孜达坂山的相关数据; 然后以公格尔山为例, 探讨了山峰区域典型地形剖面线的获取方法; 最后对 5 座山峰进行了典型地形剖面获取及其对应山体组成物质形成的地质年代分析, 计算了每座山峰在不同地质年代的组成物质下的地形抬升速率。研究结果表明: 西昆仑山脉从西北到东南的 5 座典型山峰, 地形抬升速率在两端较大, 中间部位则相对较小, 在塔什库祖克山最小, 呈近似“V”形; 从西北部的昆盖山到东南部的托库孜达坂山, 山体组成物质形成的地质年代数量为 3 - 4 - 5 - 4 - 3, 呈现先增多后减少的变化趋势, 呈“Λ”形; 因此, 地形抬升速率与地质年代数量之间呈现负相关的关系。

关键词: 青藏高原; 典型山峰; 地形抬升速率; 地质年代; 地形剖面

中图分类号: P931

文献标识码: A

作为地球上最高、最大和最年轻的高原^[1], 青藏高原在晚新近纪 - 第四纪的隆升不仅加强了亚洲的季风环流, 阻挡了来自印度洋暖湿气流向亚洲内陆的输送, 对亚洲内陆的干旱化过程和我国、亚洲乃至全球的大气环流演变产生重要影响^[2]; 而且是全球新生代变冷、东亚季风兴起、世界大洋化学成分和沉积速率显著变化的重要原因之一^[3-4]。青藏高原在整体隆起过程中其东南西北不同区域构造运动的强度和抬升高度并不相同, 因此整个高原在海拔上并不一致^[5]。其边缘地区作为构造变形带, 不仅是高原形成演化的重要构造地貌单元, 也是探讨青藏高原隆升过程的关键区域^[6]。青藏高原西北边缘的西昆仑山脉地区由于地处偏远, 气候严寒干旱, 交通条件恶劣^[7], 研究资料匮乏, 一直是青藏高原研究程度较低的地区^[8]; 然而, 作为研究青藏高原隆

升历史和中亚地质构造的关键区域之一^[9], 西昆仑山脉地区的研究对认识青藏高原隆升过程、时间和机制, 以及印度 - 欧亚大陆碰撞变形的远程效应等都具有重要意义^[8, 10]。

因此, 本研究以西昆仑山脉为实验区域, 基于航天飞机雷达地形测绘使命 (SRTM) 测量的数字高程模型 (DEM) 数据和 1: 50 万中华人民共和国数字地质图数据, 采用数字地形分析技术, 在对研究区山脊线和山麓线地形剖面、地势特征和组成物质地质年代分析的基础上, 得到西昆仑山脉具有典型意义的山峰; 再在典型地形剖面线获取方法探讨的基础上, 分析典型山峰的横向地形剖面、组成物质地质年代和对应的地形抬升速率。本研究不仅加深了对西昆仑山脉地形抬升特征的理解, 而且对研究青藏高原西北缘隆升过程具有参考价值。

收稿日期 (Received date): 2011 - 03 - 11; 改回日期 (Accepted): 2011 - 08 - 06。

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金 (40871177, 40830529) 资助。[Supported by the Chinese National Natural Science Fund Project (40871177, 40830529).]

作者简介 (Biography): 赵尚民 (1982 -), 男, 汉, 河南洛阳人, 博士生, 主要从事青藏高原地形与地貌研究。[Zhao Shangmin (1982 -), Male, born in Henan Province, Doctor Candidate; Main research field: topographical and geomorphologic research on the Qinghai - Tibet Plateau.] E-mail: zhaosm@lreis.ac.cn

* 通讯作者 (Author for correspondence): E-mail: chengwm@lreis.ac.cn

1 区域概况与主要数据源

1.1 区域概况

青藏高原西北缘主要指西昆仑山脉与塔里木盆地的交界地区,全长约 1 500 km,山峰平均海拔约 6 000 m,其地势如图 1 所示:从塔里木盆地边缘到西昆仑山脉山顶,在水平距离很短范围内,高度迅速抬升;而在山脊和山麓的不同区域,地势也有很大差异。

在图 1 中,蓝线 AA' 和 BB' 分别指青藏高原西北缘西昆仑山脉山脊线与山麓线的地形剖面线位置;各山峰 M1、M2、M3、M4、M5、M6、M7 和 M8 分别为西昆仑山从西北部的昆盖山,沿东南方向经公格尔山、慕士塔格山、塔什库干山、塔什库祖克山、慕士山和四岔雪峰等到达阿尔金山西部的托库孜达坂山;红线 aa'、bb'、cc'、dd' 和 ee' 分别指西昆仑山脉典型山峰地区昆盖山、慕士塔格山、塔什库祖克山、慕士山和托库孜达坂山的横向地形剖面线位置;红线 pp' 指公格尔山地区三条相邻的横向地形剖面线位置,间距约为 5 km。

青藏高原西北缘独特的地势特征是在历史构造运动的基础上,经过新构造运动的决定性影响,并一直受到外营力的不断改造的综合作用下形成的^[11]。在古生代及以前,本地区属于冈瓦纳大陆与劳亚大陆之间的特提斯海的一部分^[12]。随着大陆地壳不

断向南增生,特提斯海逐步向南退缩,到晚古生代的三叠纪,特提斯海退到金沙江缝合带以南地区,本地区开始浮出水面,真正成为陆地^[13]。成为陆地后,海拔很长时间都在 1 000 m 以下。直到渐新世,由于受到印度板块向北汇聚的远程效应,开始脉动式隆升^[14]。但快速抬升之后的长期夷平过程则使研究区形成两级夷平面;到上新世末,经过几千万年的夷平作用,西昆仑山脉地区的海拔约在 1 000 m 左右。与喜马拉雅山区一致,西昆仑山脉地区于上新世末-第四纪初开始强烈隆起;在早更新世-中更新世,出现晚新生代以来最强烈构造运动,山峰超过雪线高度并出现冰川;晚更新世,西昆仑山脉继续强烈上升,由于青藏高原对西风气流的阻挡作用逐渐变大,气候开始变干旱,北翼风成黄土堆积。全新世以来,海拔继续升高,气候趋向强烈的干旱化,湖面下降,冰川规模变小并消融迅速^[15-16]。

在地质构造上,西昆仑山脉南部属昆仑地体,北部属塔里木地体,中间则以西昆仑-阿尔金-祁连缝合带相隔。将西昆仑山脉北部划入塔里木地体,是由于它们在地质历史上是同一块体,具有相同的基底和古生代发展历史,现在的断层是晚近地质时期以后才形成的^[17-18]。在组成物质上,塔里木盆地西南缘及西昆仑山山麓多为第四纪冲积、洪积、风积复合成因堆积物,以黄土等物质为主,这是研究区气候急剧干旱化的重要标志;而山峰地区由于区域地质演变历史复杂,后期又经历了长期的剥蚀等外力

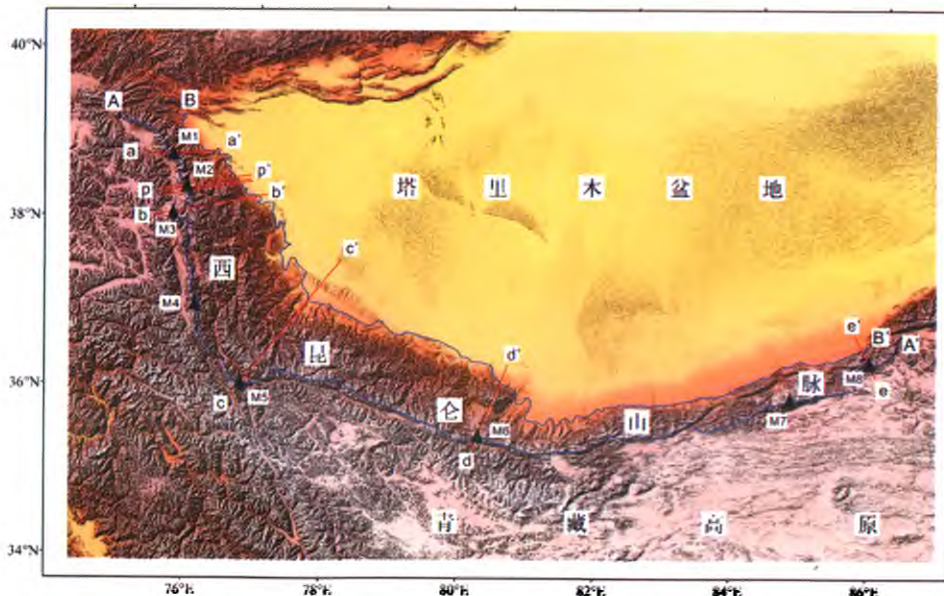


图 1 基于 SRTM3-DEM 的青藏高原西北缘地势图

Fig. 1 Relief map of northwestern edge of Qinghai-Tibet Plateau based on SRTM3-DEM

作用,因此组成物质——岩石的形成从早元古代以来各个时代均有分布。

1.2 主要数据源

在本次研究中,主要数据源为美国太空总署(NASA)和国防部国家测绘局(NIMA)于2000-02联合测量获得的SRTM3-DEM数据和由原中国国家计委和原中国地质矿产部共同立项,原中国地矿部组织实施、中国地质调查局于1997—1999年负责完成的《中华人民共和国1:50万数字地质图数据库》中的地质数据。

1.2.1 SRTM3-DEM数据

在本次研究中,SRTM3-DEM数据是进行数字地形分析的基础数据^[19],主要是通过SRTM3-DEM生成的地势图和地形剖面图进行地形特征和抬升速率分析。

1.2.2 地质数据

地质数据主要利用《中华人民共和国1:50万数字地质图数据库》中的数据,它采用现代地质学、地层学、岩石学等新理论和GIS技术编制而成。数据以岩石地层单位为基本单位,岩石地层单位的年代表示到世(统);岩体按年代加岩性表示。利用地质数据,可以较准确的获得不同地势条件下地面组成物质的形成年代,从而为深入理解地势特征及规律提供参考。

2 研究方法

2.1 青藏高原西北缘典型山峰获取

根据青藏高原西北缘西昆仑山脉的山脊线及山麓线的地形剖面图及地质年代数据,分析其地势特征和组成物质形成年代,并以此为基础,将研究区分为不同的部分,然后确定每一部分的典型山峰。

青藏高原西北缘是一绵延长达1500 km左右的山峰-盆地交界地区,首先利用ArcGIS软件的空间分析功能自动提取山脊线和山麓线,然后对自动提取的结果进行人工修改,从而获得高质量的山脊线和山麓线(图1中蓝线AA'和BB')的地形剖面图(图2)。

对于山脊线地形剖面图(图2(a)),从西北部天山山脉西南的昆盖山山顶到东南部阿尔金山脉东部的托库孜达坂山山顶,除公格尔山和慕士塔格山海拔超出7000 m以外,山峰平均海拔在6000 m左右;在山峰之间的深切河谷海拔多在3000~4000

m间,如叶尔羌河谷、喀拉喀什河谷、盖孜河谷等;山峰和河谷之间坡度很大,经常在水平距离极短范围内海拔迅速下降,形成一个个深切河谷。根据山顶组成物质形成的地质年代,从昆盖山到托库孜达坂山,按照北西-南东方向,依次为晚古生代、早元古代、早古生代、中元古代和晚古生代5个不同的地质历史时期。由此可以看出:不同区域山顶处组成物质形成的时代差别很大。处于不同地质时代的山峰其形成过程中的构造运动应该有较大差异。一般来说,其组成物质形成的地质时代较早的山峰,其形成年代也可能较早。

从青藏高原西北缘山麓线地形剖面图(图2(b))可以看出:从西北部的昆盖山山麓到东南部的托库孜达坂山山麓,海拔经历了下降-小幅上升-再下降-持续快速上升的过程。具体表现在:在昆盖山山麓,海拔2500 m左右;到慕士塔格山山麓海拔下降到2000 m以下;再到塔什库祖克山山麓,海拔达到2000~2500 m,有了小幅升高;然后进入喀拉喀什河谷,海拔降到1500 m;从慕士山山麓开始,海拔持续快速升高,从2000多m升到托库孜达坂山山麓的海拔3000 m以上。在组成物质上,主要为第四纪冲积、洪积、风积等复合成因形成的堆积物。这主要是由于随着青藏高原的快速隆升,西昆仑山北部塔里木盆地气候强烈干旱化,大量风成黄土快速堆积,从而形成了中国面积最大的沙漠——塔克拉玛干沙漠。

在组成物质形成的地质年代基础上综合分析青藏高原西北缘的山脊和山麓处地势特征,认为青藏高原西北缘从昆盖山到托库孜达坂山在地势上可以分为5部分,从每部分选择一个典型山峰为:昆盖山、慕士塔格山、塔什库祖克山、慕士山和托库孜达坂山。典型山峰之间既有一定的间距,而且组成物质处于不同的地质年代,在地形上也具有比较典型的特征。

2.2 以公格尔山为例的典型地形剖面线获取

公格尔山位于75.3°E,38.6°N,海拔>7000 m,处于新疆维吾尔自治区阿克陶县境内,是青藏高原西北缘西昆仑山的第一高峰。在本研究中,以公格尔山为例,介绍山峰区域典型地形剖面线的获取办法。

地形剖面图可以以线代面获取研究区域的地势变化、轮廓形状、坡度陡缓、地表形态及地表切割深度等信息,为使其具有区域地势特征更好的典型代表性,选取典型的地形剖面线非常重要^[20-21]。为了

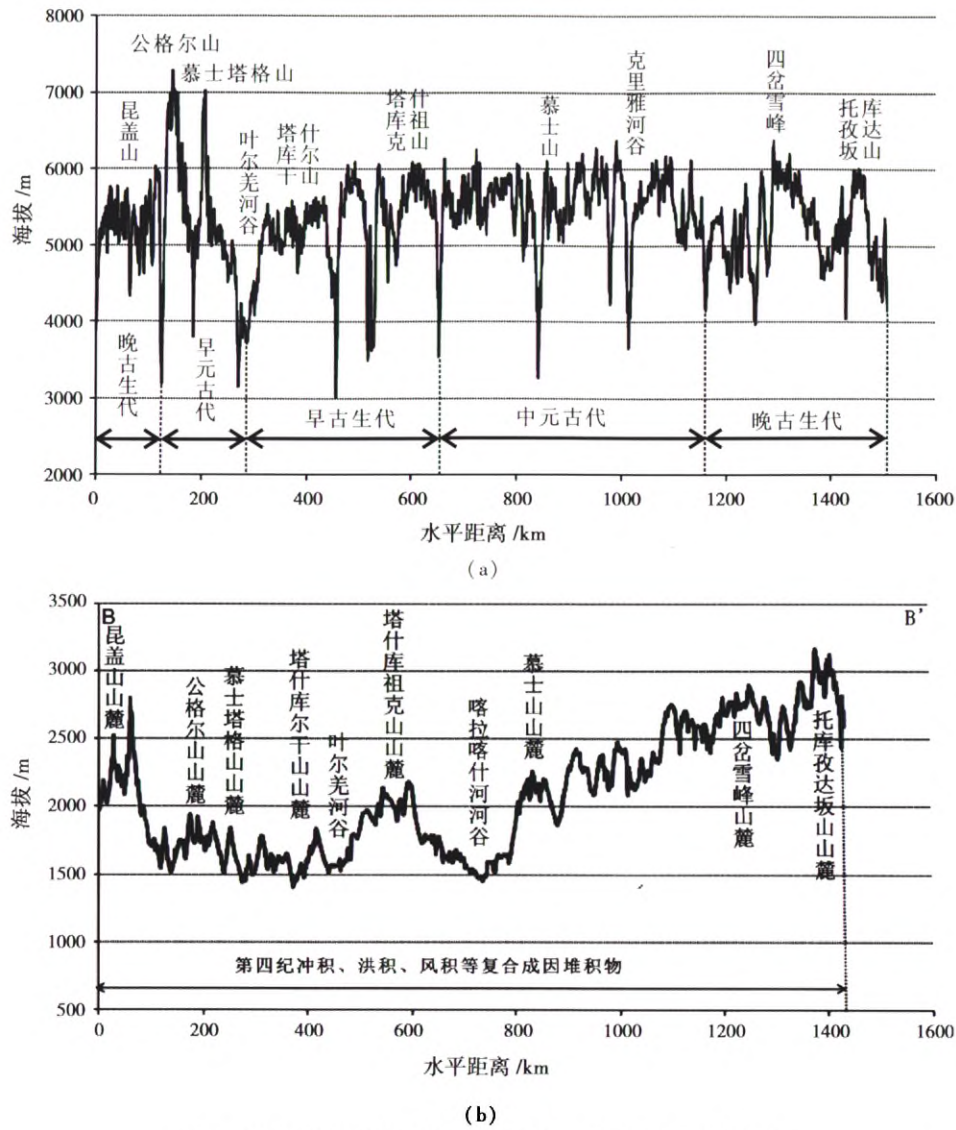


图 2 青藏高原西北缘地形剖面图(a. 山脊线;b. 山麓线)
Fig. 2 Terrain profile map of northwestern edge of Qinghai - Tibet Plateau (a. ridge line; b. piedmont line)

更好地表达所选山峰地区从山顶到塔里木盆地边缘的整体地形变化特征,地形剖面线一般应通过山峰顶端并垂直于山体走向。

因此,本文选取垂直于山体走向,间距约为 5 km 的 3 条地形剖面线作为实验数据,这 3 条剖面线覆盖了整个公格尔山山顶地区,其位置如图 1 中红线 pp' 所示。3 条地形剖面线生成的地形剖面图如图 3 所示。

图 3 中的 3 条地形剖面线 p1, p2, p3 分别为图 1 中公格尔山 pp' 处自北向南的 3 条红线,走向南西-北东,间距约为 5 km。从图 3 可以看出:在地势变化上, p2 变化最剧烈,它最高点海拔最大;其次为 p1,地势变化也较强烈; p3 地势变化程度最小。为了对 3 条地形剖面线进行数字定量分析,统计了每

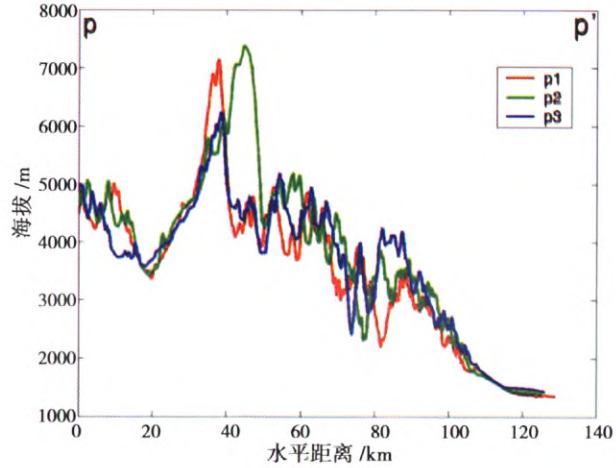


图 3 公格尔山实验区的 3 条地形剖面图
Fig. 3 Profile map formed by three terrain profile lines in Mt. Konggurling

条地形剖面线的最大值、最小值等指标,并计算了平均值、极差和标准差等数量特征,结果如表 1 所示。

表 1 实验区公格尔山 3 条地形剖面线数量特征

Table 1 Numerical statistics characteristics of the three terrain

profiles in Mt. Konggur /m					
地形剖面	最大值	最小值	平均值	极差	标准差
p1	7 144.9	1 334.4	3 477.4	5 810.5	1 320.2
p2	7 382.7	1 388.3	3 801.3	5 994.4	1 450.1
p3	6 230.9	1 424.5	3 614.4	4 806.4	1 173.1

表 1 中最大值代表剖面山脊处海拔;最小值代表山麓或者塔里木盆地的海拔;平均值表示剖面海拔的平均水平;极差是最大值与最小值之差,表示剖面海拔的变化范围,也显示了地势变化的剧烈程度;标准差则反映了地势起伏偏离平均水平的总体程度,在一定程度上反映了地势起伏或地形切割的强烈程度,标准差越大,则地势起伏越强烈。通过这 5 个指标可以对地形剖面线的质量进行定量分析。通过对比这 3 条地形剖面线的指标值大小可知:p2 地形剖面线最大值、极差和标准差三方面均优于 p1 与 p3, p1 质量略次, p3 则质量最差。这与通过观察得到的结论基本一致。

因此,在公格尔山应该选取地形剖面线 p2 进行地势特征分析。本方法为典型剖面线选取提供了量化途径,在一定程度上避免了仅凭观察取舍地形剖面线的主观性和随意性。另外,若要提高所选地形剖面线的精度,可以通过减小选取地形剖面线间的间距大小来实现。

3 典型山峰地形抬升速率与地质年代关系分析

参考公格尔山典型地形剖面线的获取方法,得到青藏高原西北缘 5 座典型山峰的典型地形剖面图;在地形剖面图中加载山体组成物质形成的不同地质历史年代,计算每座山峰不同地质年代山体物质的地形抬升速率,并对不同山峰之间的变化规律进行对比分析。

3.1 昆盖山地形抬升速率与地质年代关系

昆盖山位于昆仑山最西端,呈北西-南东走向,与天山隔玛尔坎苏河相邻;长约 150 km,海拔约 5 600 m,山上冰川广布;其东北部为塔里木盆地,西

南部则为木吉河谷;高山峡谷众多,山两侧分布大量冲积洪积扇。

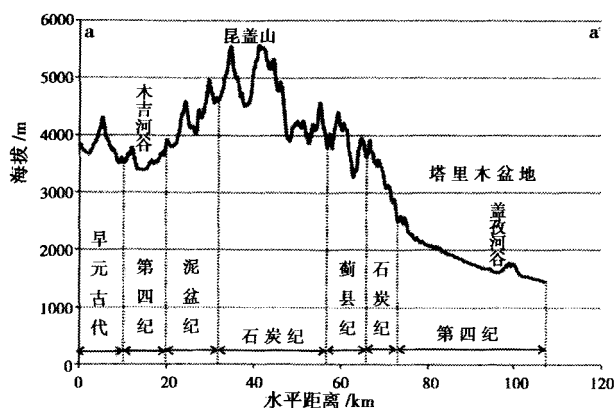


图 4 昆盖山地形剖面图

Fig. 4 Terrain profile map of Mt. Kungai

昆盖山典型地形剖面线位置如图 1 中红线 aa' 所示,为南西-北东向,水平距离约 105 km。在地形剖面线上加载山体组成物质形成的地质年代得到昆盖山地形剖面图(图 4):在昆盖山东缘,从塔里木盆地边缘到昆盖山山顶,山体组成物质主要由石炭纪、蓟县纪和石炭纪 3 个地质年代形成,据此将昆盖山东缘的地形分为 3 段:第 1 段由石炭纪形成的岩石组成,在水平距离约 6 km 范围内海拔从 2 600 m 升高到 3 900 m,抬升高度约 1 300 m;第 2 段由蓟县纪形成的岩石组成,在水平距离约 10 km 范围内海拔从 3 900 m 抬升到约 4 400 m,抬升高度约 500 m;第 3 段由石炭纪形成的岩石组成,在水平距离约 16 km 范围内海拔从 4 400 m 抬升到约 5 600 m,抬升高度约 1 200 m。

3.2 慕士塔格山地形抬升速率与地质年代关系

慕士塔格山位于公格尔山西南部,山体浑圆,状似馒头;主峰海拔 7 546 m,呈穹窿构造,主要由片麻石、石英岩组成。

慕士塔格山典型地形剖面线位置如图 1 中红线 bb' 所示,为南西-北东向,水平距离约 155 km。由此得到慕士塔格山地形剖面图如图 5 所示:在慕士塔格山东缘,从塔里木盆地边缘到慕士塔格山山顶,山体的组成物质自下而上分别由侏罗纪、石炭纪、奥陶纪和早元古代 4 个地质年代组成,因此可将慕士塔格山东缘的地势分为 4 段:第 1 段由侏罗纪形成的岩石组成,在水平距离约 27 km 范围内海拔从约 2 000 m 抬升到约 3 200 m,升高幅度约 1 200 m;第

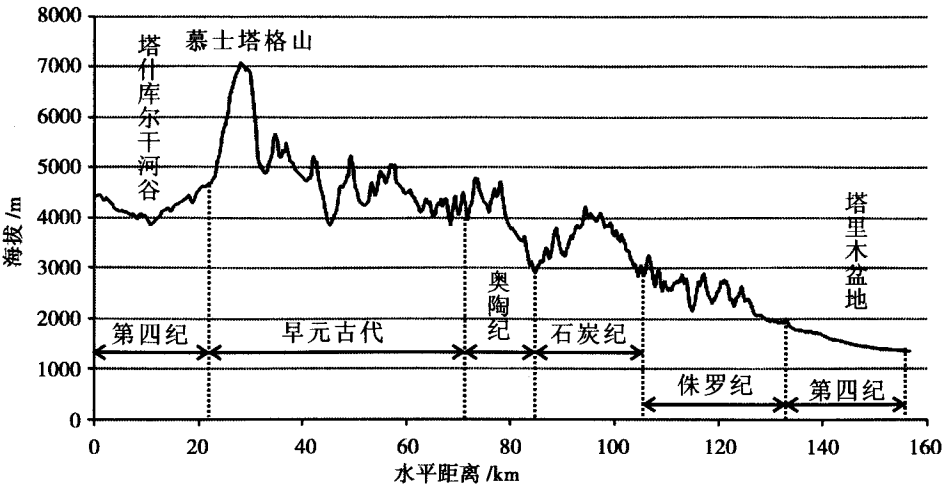


图 5 慕士塔格山地形剖面图
Fig. 5 Terrain profile map of Mt. Mushitage

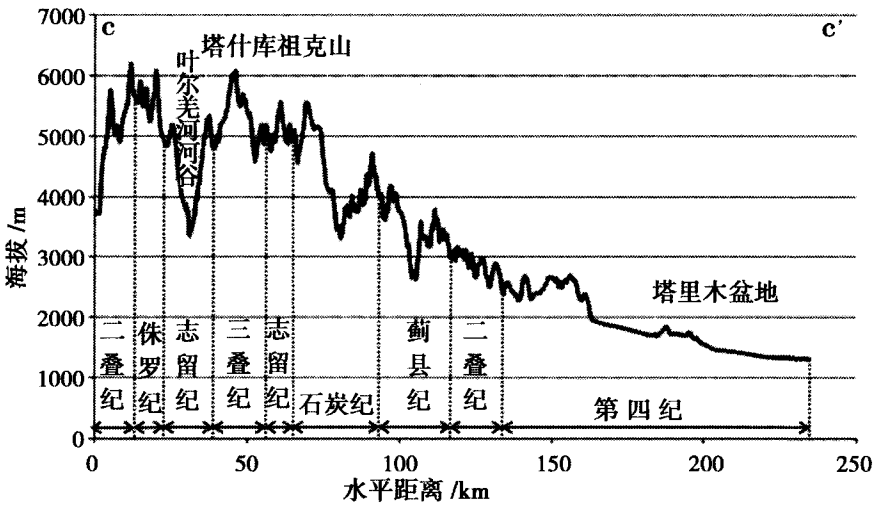


图 6 塔什库祖克山地形剖面图
Fig. 6 Terrain profile map of Mt. Tashikuzuke

2 段由石炭纪形成的岩石组成,在水平距离约 20 km 范围内海拔从约 3 200 m 抬升到约 4 200 m,抬升幅度约 1 000 m;第 3 段由奥陶纪形成的岩石组成,在水平距离约 13 km 范围内海拔从约 4 200 m 抬升到约 4 800 m,抬升幅度约 600 m;第 4 段由早元古代形成的岩石组成,在水平距离约 43 km 范围内海拔从约 4 800 m 到抬升到约 7 100 m,抬升幅度约 2 300 m。

3.3 塔什库祖克山地形抬升速率与地质年代关系

塔什库祖克山位于叶尔羌河东北部,海拔在 6 000 m 以上,从南北走向转变为近北西 - 南东走向;塔什库祖克山位于西昆仑山脉中段,是西昆仑山脉从近南北走向到近东西走向的过渡山脉。

塔什库祖克山典型地形剖面线位置如图 1 中红

线 cc' 所示,为南西 - 北东走向,水平距离约 235 km,由此得到地形剖面图如图 6 所示:在塔什库祖克北缘,从塔里木盆地边缘到塔什库祖克山顶,山体的组成物质共由二叠纪、蓟县纪、石炭纪、志留纪和三叠纪共 5 个地质年代形成,由此将此边缘地势分为 5 段,分别为:第 1 段由二叠纪形成的岩石组成,在水平距离约 16 km 范围内海拔从约 2 400 m 抬升到约 3 100 m,抬升高度约 700 m;第 2 段由蓟县纪形成的岩石组成,在水平距离约 24 km 范围内海拔从约 3 100 m 抬升到约 4 200 m,抬升高度约 1 100 m;第 3 段由石炭纪形成的岩石组成,在水平距离约 26 km 范围内海拔从约 4 200 m 抬升到约 5 600 m,抬升幅度约 1 400 m;第 4 段由志留纪形成

的岩石组成,水平距离约 9 km,形成山峰最高海拔仍为 5 600 m 左右,海拔没有明显抬升;第 5 段由三叠纪形成的岩石组成,在水平距离约 10 km 范围内海拔从约 5 600 m 抬升到约 6 100 m,抬升高度约 500 m。

3.4 慕士山地形抬升速率与地质年代关系

慕士山位于玉龙喀什河东北侧,海拔 6 638 m;从塔里木盆地边缘到慕士山山顶,北坡依次为冲积洪积倾斜平原、干燥剥蚀的低山丘陵带、干燥剥蚀的中山带、干燥半干燥作用高山带、冰缘作用高山带和冰川作用极高山带。

慕士山典型地形剖面线的位置如图 1 中红线 dd' 所示,为南西-北东走向,水平距离约 125 km;其对应的地形剖面图如图 7 所示:从塔里木盆地边

缘到慕士山山顶,由两个明显的山峰组成,形成双层边缘。对于外层边缘,山峰主要由古元古代形成的岩石组成,在水平距离约 18 km 范围内海拔从约 2 500 m 抬升到约 5 300 m,抬升幅度约 2 800 m。对于内层边缘,从山麓到山顶,组成物质形成的地质年代分别为早第三纪、新近纪和蓟县纪,因此将地势分为 3 段:第 1 段由早第三纪形成的岩石组成,在水平距离约 6 km 范围内海拔从 3 000 m 抬升到约 3 500 m,抬升幅度约为 500 m;第 2 段由新近纪形成的岩石组成,在水平距离约 20 km 范围内海拔从约 3 500 m 抬升到约 4 300 m,抬升幅度约为 800 m;第 3 段由蓟县纪形成的物质组成,在水平距离约 12 km 范围内海拔从 4 300 m 抬升到约 6 400 m,抬升幅度约 2 100 m。

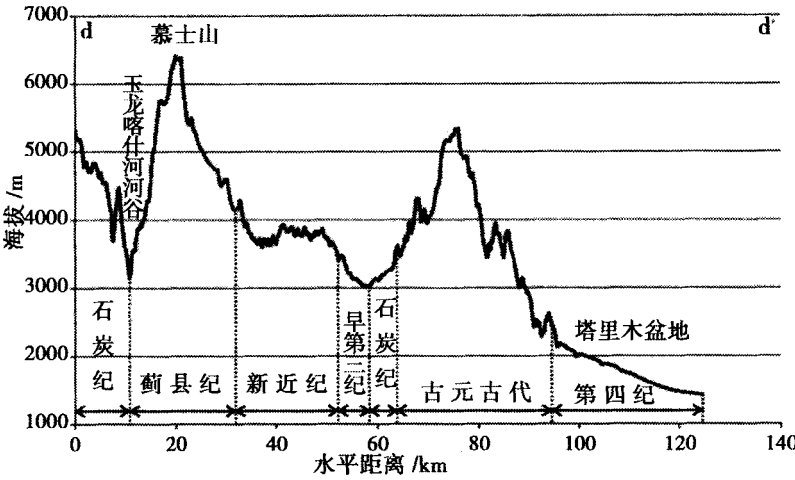


图 7 慕士山地形剖面图

Fig. 7 Terrain profile map of Mt. Mushi

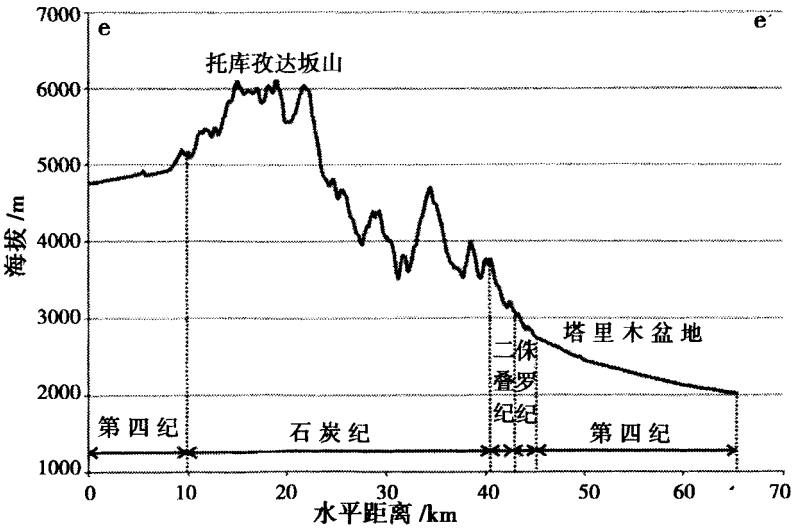


图 8 托库孜达坂山地形剖面图

Fig. 8 Terrain profile map of Mt. Tuokuzidaban

3.5 托库孜达坂山地形抬升速率与地质年代关系

托库孜达坂山意为“九个山口的山”,位于阿尔金山西南部,海拔在6 000 m 以上,是西昆仑山最东端的山脉。

托库孜达坂山典型地形剖面线的位置如图1中红线 ee' 所示,为南东-北西向,水平距离约66 km。从其地形剖面图可以看出:从塔里木盆地边缘到托库孜达坂山山顶,山体组成物质经历了侏罗纪、二叠纪和石炭纪3个地质年代,因此可将托库孜达坂山北缘的地势分为4段:第1段由侏罗纪形成的岩石组成,在水平距离约2 km 范围内海拔从约2 700 m 抬升到约3 000 m,抬升幅度约300 m;第2段由二叠纪形成的岩石组成,在水平距离约3 km 范围内海拔从约3 000 m 抬升到约3 700 m,抬升幅度约700 m;第3段由石炭纪形成的岩石组成,在水平距离约22 km 范围内海拔从约3 700 m 抬升到约6 200 m,抬升幅度约2 500 m。

3.6 不同山峰地形抬升速率与地质年代变化对比

参考山体组成物质形成的地质年代,将青藏高原西北缘5座典型山峰地区从塔里木盆地边缘到各个山顶的地势抬升状况分为对应的几段,并计算了每段的水平距离、起始高度、末端高度和抬升幅度。通过计算每个典型山峰每段的地形抬升速率(在单

位水平距离内的高度抬升量),将这些指标汇总,具体结果如表2所示。

在表2中,地形抬升速率是指在单位水平距离内高度的抬升量,它反映了从塔里木盆地边缘到典型地区山峰的山顶,在垂直于山体走向的方向不同段海拔抬升的快慢程度。对各典型山峰整体的地形抬升速率进行计算,即从塔里木盆地边缘到山峰峰顶,所经整体水平距离内海拔高度的抬升总量,结果如图9所示。

从表2和图9可以看出:

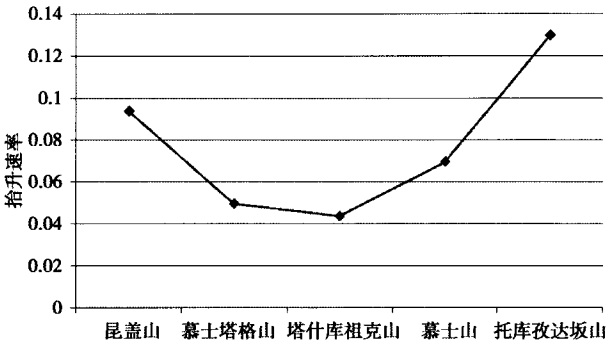


图9 青藏高原西北缘不同典型山峰的地形抬升速率
Fig. 9 Topographic uplift velocity of different typical peaks of northwestern edge in Qinghai-Tibet Plateau

表2 典型山峰不同地质年代地形抬升速率对比

Table 2 Comparison of topographic uplifting velocity in different geological times for typical peaks

山峰	分段代码	水平距离/km	起始高度/m	末端高度/m	抬升幅度/m	地形抬升速率	地质年代
昆盖山	1	6	2 600	3 900	1 300	0.216 7	石炭纪
	2	10	3 900	4 400	500	0.050 0	蓟县纪
	3	16	4 400	5 600	1 200	0.075 0	石炭纪
慕士塔格山	1	27	2 000	3 200	1 200	0.044 4	侏罗纪
	2	20	3 200	4 200	1 000	0.050 0	石炭纪
	3	13	4 200	4 800	600	0.046 2	奥陶纪
	4	43	4 800	7 100	2 300	0.053 5	早元古代
塔什库祖克山	1	16	2 400	3 100	700	0.043 8	二叠纪
	2	24	3 100	4 200	1 100	0.045 8	蓟县纪
	3	26	4 200	5 600	1 400	0.053 8	石炭纪
	4	9	5 600	5 600	0	0.000 0	志留纪
	5	10	5 600	6 100	500	0.050 0	三叠纪
慕士山	外层边缘	18	2 500	5 300	2 800	0.155 6	早元古代
	内层边缘1	6	3 000	3 500	500	0.083 3	早第三纪
	内层边缘2	20	3 500	4 300	800	0.040 0	新近纪
	内层边缘3	12	4 300	6 400	2 100	0.175 0	蓟县纪
托库孜达坂山	1	2	2 700	3 000	300	0.150 0	侏罗纪
	2	3	3 000	3 700	700	0.233 3	二叠纪
	3	22	3 700	6 200	2 500	0.113 6	石炭纪

1. 在青藏高原西北边缘典型山峰地区的地形抬升速率方面,从昆盖山到慕士塔格山、塔什库祖克山持续减小,从塔什库祖克山到慕士山、托库孜达坂山则迅速增大,形成了一个近似“V”型。也就是说,在青藏高原西北缘,从两端到中部,从塔里木盆地边缘到西昆仑山脉山顶地形抬升速率持续减小,在中部最小,即西昆仑山脉从北西走向到东西走向转变处最小。

2. 在山体组成物质形成的地质年代上,昆盖山经历了3个地质年代、慕士塔格山经历4个地质年代、塔什库祖克山则为5个地质年代,组成山体的地质年代逐渐增多,而慕士山经历4个地质年代、托库孜达坂山经历了3个地质年代。因此,从西昆仑山脉的西北部到东南部,山体组成物质形成的地质年代经历了由少到多再减少的过程。这说明,青藏高原西北缘中部山体的形成过程较其两端要复杂,从中部到两端组成山体的地质年代且呈逐渐减少的趋势。

4 结论与讨论

1. 在地表物质形成的地质年代上,青藏高原西北缘从西北部到东南部,经历了晚古生代、早元古代、早古生代、中元古代和晚古生代5个不同的地质时期,由此将其分为5个部分,并选取每个部分的典型山峰分别为:昆盖山、慕士塔格山、塔什库祖克山、慕士山和托库孜达坂山。

2. 在山峰区域地形剖面线位置的选择上,通过山峰顶端海拔最高点且与山峰走向垂直的地形剖面线一般来说最具典型性,这可以通过对垂直于山体走向的一排平行剖面线进行分析获得,而剖面线海拔高度最大值、最小值、平均值、极差和标准差的引入,则使对剖面线的评价从目视观察转为相对量化,这在一定程度上降低了剖面线选择的主观性和难度。另外,通过调整实验剖面线之间间距的大小,可以进而改变获取剖面线的精度。

3. 对青藏高原西北缘具有典型意义的5座山峰的地形抬升速率及其组成物质的地质年代进行分析后认为:从塔里木盆地边缘到山峰山顶,地形抬升速率在两端较大,在中间部位相对较小,在塔什库祖克山最小,呈近似“V”形;从昆盖山到托库孜达坂山,山体组成物质形成的地质年代数量先增多后减少,为3-4-5-4-3,呈“Λ”形。

4. 从5座典型山峰地形抬升速率及其地质年代数量之间的变化可以看出:地形抬升速率与山体组成物质的地质年代数量呈现负相关关系,即随着山体组成物质经历的地质年代数量的增多,从塔里木盆地边缘到山峰山顶,整体地形抬升速率减小。这种变化关系还需要分析更多山峰并揭示其变化机理才可确定,而这无疑为探索青藏高原西北缘隆升过程及其机制提供了一个新的视角,并为此区域科学考察提供了新的内容。

5. 地形剖面分析是研究区域地形变化的重要方法。本研究不仅提供了山峰区域典型地形剖面的获取方法,引入了地形抬升速率的概念,而且在其上加载了地面组成物质的地质年代信息,分析了地形抬升速率与地质年代数量之间的变化关系。除了地质年代,地貌信息、断层信息等均与地形变化有密切关系,在地形剖面图上加载多种信息,并对各种信息进行对比,深入分析从塔里木盆地边缘到西昆仑山山顶之间地形剖面变化的规律,将是了解西昆仑山脉地形隆升变化的一条途径。

6. 青藏高原地形变化复杂,除了垂直方向上的隆升外,还伴随着东西方向上的拉张^[22-23]。因此,对于青藏高原西北缘绵延长达1500 km的西昆仑山脉,不同山峰之间地形隆升及变化均有很大差异;对不同山峰进行分别深入研究,然后探寻整个西昆仑山的地形变化规律,将是了解其地形变化和隆升特征的重要途径。

参考文献 (References)

- [1] Sun Honglie, Liu Dongsheng, Cheng Guodong, et al. Reviews on the research of Qinghai - Tibet Plateau in China [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 1997, 12(4): 283 - 285 [孙鸿烈, 刘东生, 程国栋, 等. 对我国青藏高原研究的评述[J]. 中国科学院院刊, 1997, 12(4): 283 - 285]
- [2] Zhao Hongzhuang, Li Youli, Yang Jingchun, et al. Geomorphic characteristics of northern Tianshan Mountains based on DEM data [J]. Scientia Geographica Sinica, 2009, 29(3): 445 - 449 [赵洪壮, 李有利, 杨景春, 等. 基于DEM数据的北天山地貌形态分析[J]. 地理科学, 2009, 29(3): 445 - 449]
- [3] Xiang Fang, Wang Chengshan. Mass balance: a quantitative method for orogeny reconstruction of Qinghai - Tibet Plateau [J]. Advance in Earth Sciences, 2001, 16(2): 279 - 283 [向芳, 王成善. 质量平衡法——定量恢复新生代青藏高原造山作用[J]. 地球科学进展, 2001, 16(2): 279 - 283]
- [4] Yang Yichou, Li Bingyuan, Yin Zesheng, et al. The feature and evolution of landforms in the Xizang Plateau [J]. Acta Geographica Sinica, 1982, 37(1): 76 - 87 [杨逸畴, 李炳元, 尹泽生, 等.

- 西藏高原地貌的形成和演化[J]. 地理学报, 1982, 37(1): 76-87]
- [5] Ma Qinzong, Li Jijun. Study on differential uplift of the north edge of Tibetan Plateau during the late Cenozoic [J]. Earth Sciences Frontiers, 2003, 10(4): 590-598 [马钦忠, 李吉均. 青藏高原北缘晚新生代的差异性隆起特征[J]. 地学前缘, 2003, 10(4): 590-598]
- [6] Li Dunpeng. Tectonic deformation on northwestern margin of Tibetan Plateau during Pliocene-Pleistocene and uplift of the Tibetan Plateau [D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2008: 1-198 [黎敦朋. 青藏高原西北缘上新世—早更新世构造变形与高原隆升[D]. 北京: 中国地质科学院博士学位论文, 2008: 1-198]
- [7] Zheng Du, Pan Yusheng, Wu Sugong, et al. Comprehensive scientific investigation in Karakoram Mountains-Kunlun Mountains [J]. Journal of Natural Resources, 1988, 3(2): 186-189 [郑度, 潘裕生, 武素功, 等. 喀喇昆仑山——昆仑山地区综合科学考察[J]. 自然资源学报, 1988, 3(2): 186-189]
- [8] Zhao Shangmin, Cheng Weiming, Zhou Chenghu, et al. Analysis on the topographic gradient and geographical meaning of Mt. Konggur, in the northern edge of Qinghai-Tibet Plateau [J]. Journal of Geo-information Sciences, 2009, 11(6): 753-758 [赵尚民, 程维明, 周成虎, 等. 青藏高原北缘公格尔山地区地形梯度的剖析[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(6): 753-758]
- [9] Xiaochi Jin, Jun Wang, Bingwei Chen, et al. Cenozoic depositional sequences in the piedmont of the west Kunlun and their paleogeographic and tectonic implications [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2003, 21(7): 755-765
- [10] Dai Shuang, Fang Xiaomin, Song Chunhui, et al. Early uplift in the northern part of Qinghai-Tibet Plateau [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(7): 673-683 [戴霜, 方小敏, 宋春晖, 等. 青藏高原北部的早期隆升[J]. 科学通报, 2005, 50(7): 673-683]
- [11] The Scientific Expedition Team of CAS to the Qinghai-Xizang Plateau. Geomorphology of Xizang [M]. Beijing: Scientific Press, 1983: 1-29 [中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏地貌[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 1-29]
- [12] Li Jijun. Geomorphologic outline and forming mechanisms of Qinghai-Tibet Plateau [J]. Journal of Mountain Science, 1983, 1(1): 7-15 [李吉均. 青藏高原的地貌轮廓及形成机制[J]. 山地研究(现山地学报), 1983, 1(1): 7-15]
- [13] Gao Hongshan, Pan Baotian, Li Jijun, et al. Environmental change and uplift of Qinghai-Tibet Plateau [J]. Journal of Qingdao University, E&T, 2004, 19(4): 40-47 [高红山, 潘保田, 李吉均, 等. 青藏高原隆升过程与环境变化[J]. 青岛大学学报: 工程技术版, 2004, 19(4): 40-47]
- [14] China Geological Survey. Achievements of geological survey in the region of Altun-Kunlun Mountains [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(1): 68-96 [中国地质调查局. 阿尔金——昆仑山地区区域地质调查成果与进展[J]. 地质通报, 2004, 23(1): 68-96]
- [15] Zheng Du, Zhang Qingsong. An integrated scientific expedition to the Karakorum and west Kunlun Mountains [J]. Journal of Mountain Science, 1988, 6(2): 87-94 [郑度, 张青松. 喀喇昆仑山——西昆仑山综合科学考察[J]. 山地研究(现山地学报), 1988, 6(2): 87-94]
- [16] Zhang Qingsong, Li Bingyuan. A preliminary study of on the uplifting and environmental evolution of the Karakoram and west Kunlun Mountains area since late Cenozoic Era [J]. Journal of Natural Resources, 1989, 4(3): 234-240 [张青松, 李炳元. 喀喇昆仑山——西昆仑山地区晚新生代隆起过程及自然环境变化初探[J]. 自然资源学报, 1989, 4(3): 234-240]
- [17] Sun Honglie, Zheng Du. Formation, evolution and development of Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau [M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1998: 1-348 [孙鸿烈, 郑度. 青藏高原形成演化与发展[M]. 广州: 广东科技出版社, 1998: 1-348]
- [18] Zheng Du, Yao Tandong. Uplift and environmental effect in Qinghai-Tibet Plateau [M]. Beijing: Science Press, 2004: 1-564 [郑度, 姚檀栋. 青藏高原隆升与环境效应[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 1-564]
- [19] Zhao Shangmin, Cheng Weiming, Chai Huixia, et al. Research on the information extraction method of periglacial geomorphology on the Qinghai-Tibet Plateau based on remote sensing and SRTM: a case study of 1: 1,000,000 Lhasa map sheet (H46) [J]. Geographical Research, 2007, 26(6): 1175-1185 [赵尚民, 程维明, 柴慧霞, 等. 基于遥感与SRTM的青藏高原冰缘地貌信息提取方法——以1: 100万标准幅拉萨幅(H46)为例[J]. 地理研究, 2007, 26(6): 1175-1185]
- [20] Zhang Huiping, Yang nong, Zhang Yueqiao, et al. A GIS-based research on morpho structural features of the Minshan tectonic belt [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2004, 16(4): 54-58 [张会平, 杨农, 张岳桥, 等. 基于DEM的岷山构造带构造地貌初步研究[J]. 国土资源遥感, 2004, 16(4): 54-58]
- [21] Gan Shu, He Daming. Analysis on morphological character of longitudinal Range-Gorge region based on Geo-informatic Tupu method [J]. Journal of Yunnan University, 2004, 26(6): 534-540 [甘淑, 何大明. 纵向岭谷区地势曲线图谱及地貌特征分析[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2004, 26(6): 534-540]
- [22] Xiong Xiong, Liu Sunjun, Xu Houze. Crustal E-W extension of Qinghai-Tibet Plateau and its mechanical mechanism [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2003, 28(Special): 150-154 [熊熊, 刘孙君, 许厚泽. 青藏高原地壳东-西向拉张及力学机制[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2003, 28(特刊): 150-154]
- [23] Jiang Weiping, Zhou Xiaohui, Liu Jingnan, et al. Present-day crustal movement and strain rate in the Qinghai-Tibet Plateau from GPS data [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2008, 37(3): 285-292 [姜卫平, 周晓慧, 刘经南, 等. 青藏高原地壳运动与应变的GPS监测研究. 测绘学报, 2008, 37(3): 285-292]

Relationships between Topographic Uplifting Velocity and Geological Times for the Northwestern Edge of Qinghai – Tibet Plateau

ZHAO Shangmin^{1, 2, 3}, ZHOU Chenghu², CHENG Weiming², CHEN Xi¹

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography CAS, Urumchi 830011, China;

2. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 3. Graduate University of CAS, Beijing, 100049, China)


Abstract: Based on digital elevation model and geological data, this paper firstly analyzed the topographic profiles and the geological times of the composite materials of the ridge line and piedmont line of the northwestern edge of the Qinghai – Tibet Plateau – West Kunlun Mountains; Accordingly, the five typical peaks were selected from northwest to southeast: Mt. Kungai, Mt. Mushitage, Mt. Tashikuzuke, Mt. Mushi and Mt. Tuokuzidaban. Taking Mt. Konggur as an experiment area, the acquiring method of typical topographic profile was studied in the peak areas. Finally, the typical topographical profiles of the five typical peaks were acquired, the geological times of the composite materials of corresponding peaks were analyzed, and the topographic uplifting velocity under different geological times was computed for every typical peak. Research results show: from northwest to southeast, the topographical uplifting velocity is small in the middle part and big in two ends, and least in Mt. Tashikuzuke and presents near “V” shape; from northwestern Mt. Kungai to southeastern Mt. Tuokuzidaban, the numbers of the geological times of composite materials are 3 – 4 – 5 – 4 – 3, which present the tendency of increasing firstly and then decreasing and “Λ” shape. Thus, there exists a negative correlation between the topographical uplifting velocity and geological times.

Key words: Qinghai – Tibet Plateau; typical peaks; topographic uplifting velocity; geological times; topographical profile

消息 3:《山地学报》网上审稿操作说明

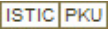
专家审稿有两种方式:邮件审稿和登录系统审稿。

邮件审稿是可以不用输入用户名和密码直接打开自己的邮箱,邮件里有 [打开稿件](#) [填写审稿意见](#) [登录系统](#) [忘记密码](#) [退审](#) 5 个相关连接,点击“填写审稿意见”就可以审稿了。

登陆 <http://www.sdxbl983.com> 系统审稿,点击“待审稿件”就可以了 。如果专家因某种原因不能审,可以点击第二个图标“退审”。

(然子桐)

青藏高原西北缘地形抬升速率与地质年代的关系

作者: [赵尚民](#), [周成虎](#), [程维明](#), [陈曦](#), [ZHAO Shangmin](#), [ZHOU Chenghu](#), [CHENG Weiming](#), [CHEN Xi](#)
作者单位: [赵尚民, ZHAO Shangmin \(中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆乌鲁木齐830011; 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京100101; 中国科学院研究生院, 北京100049\)](#), [周成虎, 程维明, ZHOU Chenghu, CHENG Weiming \(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京, 100101\)](#), [陈曦, CHEN Xi \(中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆乌鲁木齐, 830011\)](#)
刊名: [山地学报](#) 
英文刊名: [Journal of Mountain Science](#)
年, 卷(期): 2011, 29(5)

参考文献(23条)

1. [孙鸿烈; 刘东生; 程国栋](#) 对我国青藏高原研究的评述[期刊论文]-[中国科学院院刊](#) 1997(04)
2. [赵洪壮; 李有利; 杨景春](#) 基于DEM数据的北天山地貌形态分析[期刊论文]-[地理科学](#) 2009(03)
3. [向芳; 王成善](#) 质量平衡法—定量恢复新生代青藏高原造山作用[期刊论文]-[地球科学进展](#) 2001(02)
4. [杨逸畴; 李炳元; 尹泽生](#) 西藏高原地貌的形成和演化[期刊论文]-[地理学报](#) 1982(01)
5. [马钦忠; 李吉均](#) 青藏高原北缘晚新生代的差异性隆起特征[期刊论文]-[地学前缘](#) 2003(04)
6. [黎敦朋](#) 青藏高原西北缘上新世—早更新世构造变形与高原隆升 2008
7. [郑度; 潘裕生; 武素功](#) 喀喇昆仑山—昆仑山地区综合科学考察[期刊论文]-[自然资源学报](#) 1988(02)
8. [赵尚民; 程维明; 周成虎](#) 青藏高原北缘格爾斯山地区地形梯度的剖析[期刊论文]-[地球信息科学](#) 2009(06)
9. [Xiaochi Jin; Jun Wang; Bingwei Chen](#) Cenozoic depositional sequences in the piedmont of the west Kunlun and their paleogeographic and tectonic implications 2003(07)
10. [戴霜; 方小敏; 宋春晖](#) 青藏高原北部的早期隆升[期刊论文]-[科学通报](#) 2005(07)
11. [中国科学院青藏高原综合科学考察队](#) 西藏地貌 1983
12. [李吉均](#) 青藏高原的地貌轮廓及形成机制 1983(01)
13. [高红山; 潘保田; 李吉均](#) 青藏高原隆升过程与环境变化[期刊论文]-[青岛大学学报\(工程技术版\)](#) 2004(04)
14. [中国地质调查局](#) 阿尔金—昆仑山地区区域地质调查成果与进展[期刊论文]-[地质通报](#) 2004(01)
15. [郑度; 张青松](#) 记喀喇昆仑山—西昆仑山综合科学考察 1988(02)
16. [张青松; 李炳元](#) 喀喇昆仑山—西昆仑山地区晚新生代隆起过程及自然环境变化初探 1989(03)
17. [孙鸿烈; 郑度](#) 青藏高原形成演化与发展 1998
18. [郑度; 姚檀栋](#) 青藏高原隆升与环境效应 2004
19. [赵尚民; 程维明; 柴慧霞](#) 基于遥感与SRTM的青藏高原冰缘地貌信息提取方法—以1:100万标准幅拉萨幅(H46)为例[期刊论文]-[地理研究](#) 2007(06)
20. [张会平; 杨农; 张岳桥](#) 基于DEM的岷山构造带构造地貌初步研究[期刊论文]-[国土资源遥感](#) 2004(04)
21. [甘淑; 何大明](#) 纵向岭谷区地势曲线图谱及地貌特征分析[期刊论文]-[云南大学学报\(自然科学版\)](#) 2004(06)
22. [熊熊; 刘孙君; 许厚泽](#) 青藏高原地壳东—西向拉张及力学机制 2003(特刊)
23. [姜卫平; 周晓慧; 刘经南](#) 青藏高原地壳运动与应变的GPS监测研究[期刊论文]-[测绘学报](#) 2008(03)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_sdx201105015.aspx