

祁连山东南缘基于 RGMAP 的数字化地貌研究

顾延生^{1,2}, 张旺生¹, 朱云海¹, 樊光明¹, 高山¹

(1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074; 2. 武汉大学人文科学学院, 湖北武汉 430072)

摘要: 在 RGMAP 平台下, 以数字高程模型 DEM 为基础, 结合野外路线调查、图切构造地貌剖面, 较系统地研究了青藏高原东北缘祁连山东南麓(达坂山—拉脊山)地区典型层状地貌分布发育特征, 初步识别出了调查区的两级夷平面(一级夷平面海拔 3 000 m、二级夷平面 4 000 m 左右)、多级山足剥蚀面(1~11 级)及主要入海水系如黄河及其支流, 如湟水河、大通河发育的河流阶地系列, 其中湟水河发育 7 级河流阶地, 黄河 5 级河流阶地, 黄河干流于盐锅峡段贯通之前, 湟水河一度为黄河上游源头。结合野外调查和室内分析, 本文详细描述了各级层状地貌分布特征、沉积学、形成时代及其与新构造运动的关联, 说明典型层状地貌的发育是青藏高原晚新生代以来间歇性构造抬升的结果。

关键词: 数字高程模型; 典型层状地貌; 夷平面; 剥蚀面; 阶地。

中图分类号: P931 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2003)04-0395-06

作者简介: 顾延生(1970-), 男, 讲师, 主要从事地貌第四纪地质与环境研究。

E-mail: ysgu@cug.edu.cn

0 引言

随着 RS、GIS、GPS 技术与地学的结合, 利用数字高程模型(DEM)和陆地卫星 TM 图像进行地貌学研究已成为当前数字地貌研究的主要方向^[1~3], 由中国地质调查局开发的数字填图系统(RGMAP)正是将现代信息技术与野外区域地质调查结合的产物, 实现了多元数据的整合技术^[4], 充分地将 DEM 和 TM 图像与野外调查结合起来, 改变了传统的地质调查思维与工作方式, 为地貌学调查研究带来了新的生机, 这不仅实现了调查空间的可视化, 而且使野外调查、数据采集与室内模拟分析相结合, 大大提高了调查的效率和精度。本文利用了 RGMAP 多元数据整合技术, 将调查区 1:25 万数字高程模型(DEM)和野外调查路线进行了综合分析, 描述了调查区典型区段的构造—地貌剖面, 进行了夷平面、剥蚀面、阶地的数字地貌特征分析, 不仅揭示了 DEM 在数字地貌方面的巨大优势, 而且为研究青藏高原东北缘构造抬升、地貌演化及沉积物响应等提

供了新的证据, 对于研究青藏高原的抬升及其对周边环境的影响具有重要的意义。

1 研究区地质地理概况

调查区位于青藏高原与黄土高原交接地带, 为环境变化敏感梯度带, 主体属于祁连山造山带东南段、古特提斯构造域北侧, 以其复杂的构造、地层、地貌现象为中外学者瞩目。研究区主要范围南起化隆地块, 中部为中祁连中间隆起带, 北抵北祁连弧后盆地。区内现代地势由东南—北西走向的大坂山、拉脊山及两山脉间的大通河、湟水河、黄河谷地、民和、兰州盆地组成, 区内水系属黄河水系, 其主要流水系大通河、湟水河、庄浪河共同构成了研究区黄河水系。研究区不同海拔、地貌单元发育不同的气候和植被分带, 河谷区主要分布农业植被; 黄土高原区发育稀疏草原景观; 拉脊山、达坂山发育高山、亚高山灌丛、草甸和次生阔叶混交林; 高山、亚高山草甸区为天然牧场。

调查区最老地层为新太古界—古元古界化隆岩群(Ar₃Pt₁H), 为一套深灰色角闪斜长片麻岩、石英片岩、黑云母斜长片麻岩、混合岩、石英岩等; 其余依

收稿日期: 2003-04-18

基金项目: 中国地质调查局“青海 1:25 万民和县幅数字填图项目”(No. 200213000016); “数字填图过程、多元数据整合及成果表达方式研究”(No. 基[2003]009-02)。

次为古元界东岔沟岩组(Pt_1d)灰色、浅灰绿色云母石英片岩夹石英岩、大理岩;中元古界克素尔组(Jxk)灰色、深灰色白云质灰岩;下古生界寒武系灰绿色中基性火山岩;下古生界奥陶系阴沟群和大梁组($O_{1y}-O_{2d}$)灰绿色火山岩、灰绿色千枚岩、板岩;中生代下侏罗统炭洞沟组—下白垩统河口群(J_1t-K_1H)紫红、灰紫色碎屑岩;新生代古近系西宁群(EN_1X)棕红色、浅黄棕色砂岩、砂质泥岩夹石膏层;新近系贵德群(NG)红色、黄棕色泥岩夹砂岩、砾岩、泥灰岩;第四系主要为 QP_{1-3}^{col} 风成黄土。

2 调查区层状地貌的划分依据及特征

调查区位于青藏高原东北边缘,其抬升过程一定程度上响应了青藏高原的隆升历史,由达坂山—拉脊山至黄河谷地发育了一系列典型的层状地貌,主要有夷平面、剥蚀面和河流阶地,反映了区域阶段性隆升过程(图 1,2)。

2.1 夷平面系列

夷平面是地貌长期发育的最终地形,受海平面控制,是跨流域的,所以夷平面是研究青藏高原隆升的最直接的证据,因而多年来经久不衰^[5~7],前人研究认为青藏高原有三期隆升,两次夷平,且存在着两级夷平面即山顶面和主夷平面,刘勇等最近对青藏高原东北缘美武高原数字地貌研究揭示了夷平面的地貌参数体系,通过本次野外初步调查及室内模型分析表明区内发育了两级夷平面(3 000 m,4 000 m)(图 1),这与李吉均等^[7,8]研究的祁连山东段两级夷平面(3 000 m,4 000 m)结论较吻合。

依据海拔高度将夷平面自低向高划分为一级夷平面 P_I (3 000~3 500 m)、二级夷平面 P_{II} (4 000~4 400 m),其中一级夷平面 P_I 是最低一级、最广泛

和最年轻的,称之为主夷平面,在区内可连续跟踪,分布高程 3 000~3 500 m 左右,分布面积约 2 000 km^2 ,形态宽敞平坦,高度比较稳定,总体呈西南侧高,北东侧低,地面坡面较小,一般为 0.1%~0.5%左右,汇水浅槽谷平均值 1%左右,由于后期新构造运动,夷平面变形分布高程达 3 500 m,该夷平面地貌上呈平坦的台原,切过所有不同抗蚀能力的地层和构造,其上有红色风化壳残积层发育,局部低洼地带后期流水堆积的含砂土砂砾石层,一级夷平面于化隆县附近保存较完整,其中化隆县城北侧夷平面上的新近系贵德群红层被抬升至 3 500 m 左右,表明主夷平面自形成以后经过了较强烈的抬升,红层变形强烈。

二级夷平面(P_{II}),有人称之为山顶面或古夷平面,为上一级地貌循环的遗迹,保留面积较大,约 3 000 km^2 ,分布高程为 4 000 m 左右,与一级夷平面呈逐渐过渡关系,由于后期构造影响及改造作用,于 4 000 m 与 3 000 m 之间还存在着一级次级夷平面,其上覆盖有上新统贵德群红层,推测该面为主夷平面变形所致。主要是喜马拉雅运动造成二级夷平面(山顶面),呈零星片段、不连续山顶突岩,此后发育的主夷平面与山顶面的相对高差约 500~1 000 m。

调查区的两级夷平面呈逐渐过渡状态,遭后期水系侵蚀切割变形强烈,而位于青藏高原东北缘的甘南高原由于水系的微弱切割使两级夷平面同时存在且截然分开。通过与祁连山东段、甘南美武高原、青藏高原地区主夷平面对比分析表明本区的一级夷平面(主夷平面)形成时代为 22~3.6 Ma^[7~9],该夷平面形成时期,喜马拉雅山中央断层活动形成大规模推覆构造^[7,8],古近纪夷平面(二级夷平面)解体,经长期剥蚀夷平,形成主夷平面;二级夷平面(山顶面)形成于古近纪 35~25 Ma 左右。

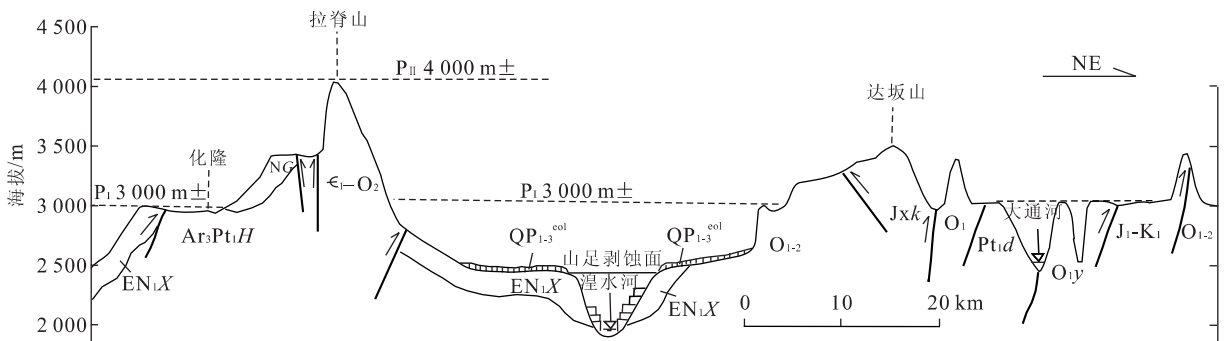


图 1 南祁连拉脊山—中祁连达坂山构造地貌

Fig. 1 Tectonic and geomorphological section from Lajishan to Dabanshan

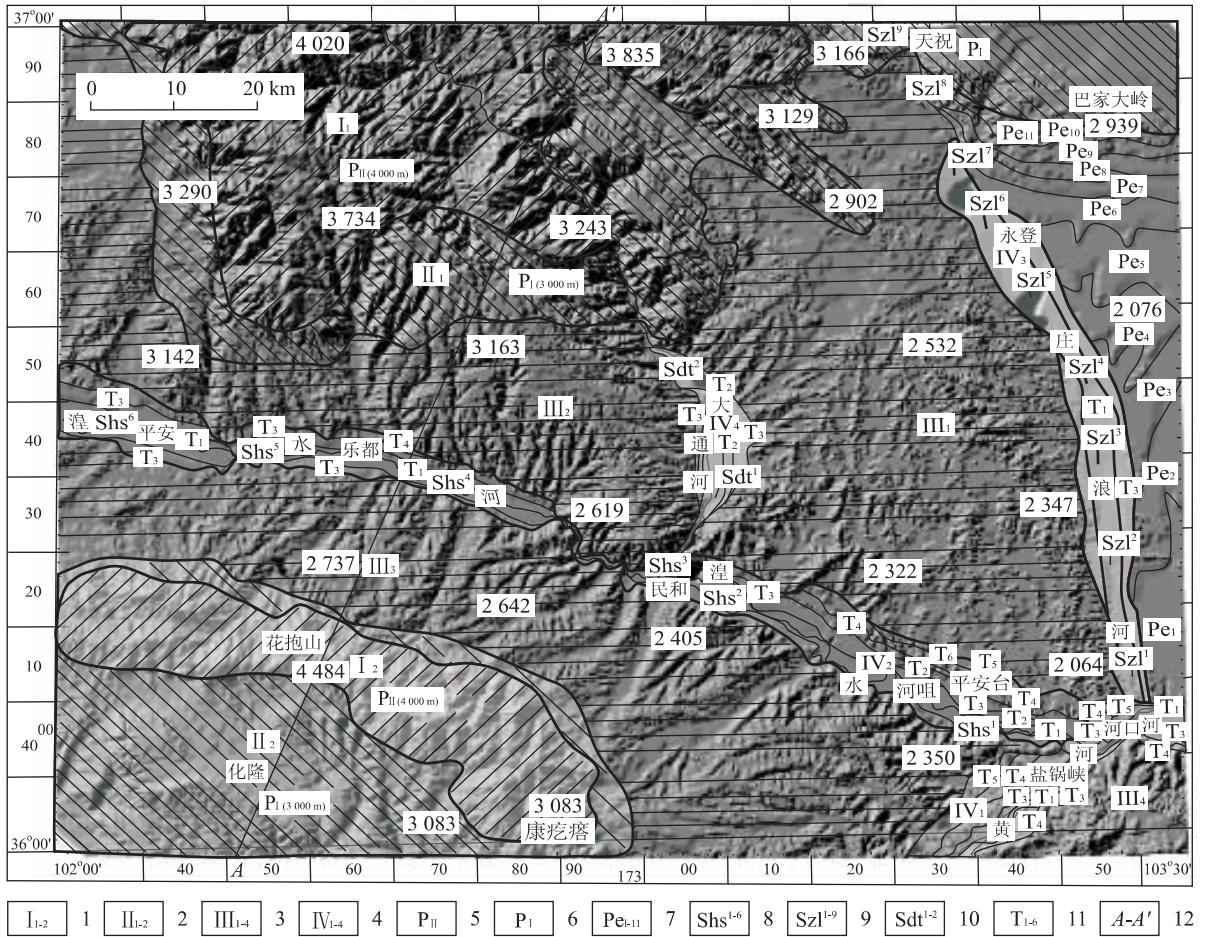


图 2 祁连山东南缘基于 DEM 分析地貌

Fig. 2 Geomorphological map of southeastern margin of Qilian Mountain based on DEM

1. 古夷平面区; 2. 主夷平面区; 3. 山足剥蚀面区; 4. 黄河及其支流阶地; 5. 二级夷平面; 6. 一级夷平面; 7. 一至十一级剥蚀面; 8. 湟水河床一至六级裂点; 9. 庄浪河床一至九级裂点; 10. 大通河床一至二级裂点; 11. 一至六级河流阶地; 12. 图切构造地貌剖面

2.2 山足剥蚀面系列

山足剥蚀面又称为山麓面或山麓侵蚀平原等,有人认为是夷平面的一部分,一般从山脚向下方倾斜,一直均夷至当地的侵蚀基准面(如内陆的湖泊、较大型河流),是山麓带的一个组成部分,形成后由于构造抬升于地貌上呈一宽谷状台原,调查区山足剥蚀面极为发育,为黄土高原主体部分,分布很广,一直延伸至祁连山山麓,分布高程自西向东递减,介于 1 900~2 600 m 之间,分布面积约 6 000 km²,保存较好,于湟水河南岸、拉脊山北侧剥蚀面与二级夷平面之间以陡坡方式相接,高差达 600~700 m,表明剥蚀面仍处于活化阶段,构造抬升与侵蚀作用很强烈(图 1)。剥蚀面上一般可见一级厚度不均一的山前洪冲积相含砂土砂砾石层,该洪积层上覆盖厚度不等的黄土,一般为几十米,最厚可达 200 m(图 3),调查区东侧庄浪河以东地区山足剥蚀面保

存完整,由低向高共发育了 11 级剥蚀面(Pe₁₋₁₁),据笔者对兰州红古区一级、二级剥蚀面 ESR 和古地磁研究表明,一级剥蚀面形成时代约 1.81 Ma(ESR),二级剥蚀面形成年代为 1.9 Ma(古地磁)^[10],这表明本区自主夷平面形成以后(3.6 Ma)又经历了至少 11 个阶段的间歇性构造抬升,使剥蚀面于山前呈阶梯状分布,其上分布的黄土厚度较小,一般为几十米,局部黄土侵蚀殆尽,为基岩出露。

2.3 阶地系列

调查区水系极为发育,其中祁连山东南段水系分维值最高^[11],反映了新生代以来构造隆升速率的大小。其中湟水河、黄河、大通河、庄浪河阶地尤为发育,以湟水河河流阶地最为发育,保存完整,发育 T₀至 T₆ 共 7 级阶地(图 3)。T₀—T₃ 阶地基本保持了原始台面形状,T₄—T₆ 阶地面由于后期侵蚀作用而形成了一系列山地、丘陵地貌,区内 7 级阶地之间均

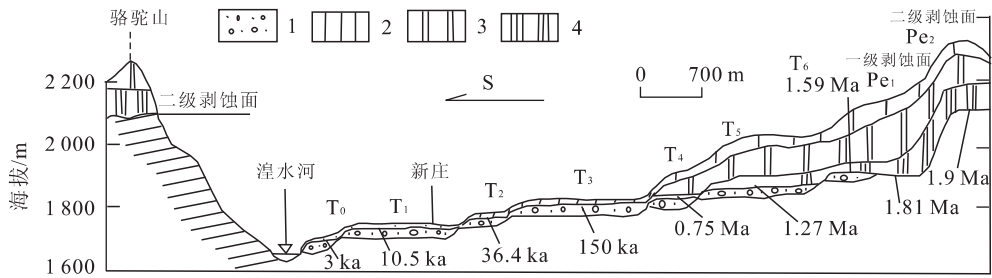


图 3 湟水河兰州红古段河流阶地

Fig. 3 Terraces of Huangshui River at Honggu County of Lanzhou

1. 砂砾石层; 2. 马兰组黄土; 3. 离石组黄土; 4. 午城组黄土

为侵蚀接触关系, T_2 — T_6 阶地为基座阶地, T_0 — T_1 阶地为堆积阶地. 各阶地主要特征如下^[10].

T_0 (现代高河漫滩阶地): 位于现代湟水河床之上, 由现代高河漫滩相形成的准阶地, 高出现代河水面 3~4 m, 若逢特大洪水, 有可能被淹没, 其上堆积物具二元结构, 厚约 3 m, 形成时代为 3 ka (^{14}C); T_1 (一级阶地): 位于 T_0 之上, 河拔高程 20~25 m, 阶地面宽约 1~2 km, 其上堆积物具二元结构, 厚约 6 m, 形成时代为 10.5 ka (^{14}C); T_2 (二级阶地): 位于 T_0 、 T_1 之上, 河拔高程 60~65 m, 阶地面宽约 0.5~0.6 km, 其上堆积物具二元结构, 上部分布风成黄土 (马兰组黄土), 灰黄色, 厚约 5~10 m, 形成时代 36.4 ka (^{14}C); T_3 (三级阶地): 位于 T_0 、 T_1 、 T_2 之上, 河拔高程 90~110 m, 阶地面宽 0.5~2.3 km, 其上堆积物具三分性, 上部分布风成黄土 (马兰组黄土), 浅黄色, 厚 25~35 m, 形成时代为 150 ka (TL); T_4 (四级阶地): 位于 T_3 之上, 河拔高程 140~150 m, 阶地面宽约 0.15~0.2 km, 其上堆积物具二元结构和四分性, 上部分布风成离石组和马兰组黄土, 厚约 90~100 m, 形成时代为 0.75 Ma (TL); T_5 (五级阶地) 位于 T_4 之上, 河拔高程 170~180 m, 阶地面宽约 0.3~0.8 km, 上部分布风成午城组、离石组和马兰组黄土, 厚约 130 m, 形成时代为 1.27 Ma (ESR); T_6 (六级阶地): 为本区最高一级阶地, 河拔高程 210~220 m, 阶地面宽 0.2~0.6 km, 上部分布风成午城组、离石组和马兰组黄土, 厚约 200 m, 形成时代为 1.59 Ma (ESR).

另外, 调查区黄河于盐锅峡—八盘峡段共发育了 5 级阶地 (T_{1-5}), 其中 T_{1-3} 阶地保存较好, T_{4-5} 阶地较破碎, 不太发育 (图 2), 其中一级支流庄浪河只发育 T_{1-3} 阶地, 相反另一级支流湟水河却发育 T_{0-6} 共 7 级阶地, 表明 150 ka 左右, 黄河干流于刘

家峡—盐锅峡贯通之前, 湟水河应为黄河兰州段的上游源头水系. 同时湟水河床发育的 6 级裂点与河流阶地发育级数具对应性 (图 2).

3 地貌演化与新构造运动的关联

随着大陆对撞雅鲁藏布江缝合线形成 (40 Ma 左右)^[7], 调查区长期处于夷平, 于 35~25 Ma 间形成二级夷平面 (山顶面), 对应的相关沉积物为发育于化隆盆地、民和盆地和兰州盆地西端的西宁群 EN_1X 的棕红色泥岩夹石膏层; 大约于 22 Ma 由于板内俯冲发生强烈的造山运动, 但均为后期长期的相对平静的夷平作用所抵消, 直至 3.6 Ma 左右, 该时期为主夷平面发育阶段, 对应的相关沉积物为上统贵德群 NG 棕黄色、土黄色泥岩夹砂岩、砾岩, 以化隆盆地新近系土黄色泥岩最为发育, 该湖相沉积一直持续到 1.1 Ma^[12]; 自 3.6 Ma 以后青藏运动使主夷平面解体, 祁连山地区不断阶段式上升, 其间发生的青藏运动 A 幕 (3.6 Ma)、B 幕 (2.6 Ma) 和 C 幕 (1.7 Ma) 使测区内山足剥蚀面充分发育, 11 个阶梯状剥蚀面系列记录了 3.6~1.8 Ma 间的数十次隆升历史. 而湟水河流域发育的 7 级河流阶地反映了 1.6~0 Ma 间山地阶段性强烈隆升及湟水河水系不断向南扩张的趋势, 与昆仑—黄河运动 (1.2、0.8、0.6 Ma) 和共和运动 (0.15 Ma)^[7,8,13] 均有着直接的关联. 表现为祁连山东南缘与青藏高原整体上具有时空一致性, 同时内部也存在着区域差异性, 如剥蚀面发育的级次与年代、湟水河河流阶地的形成年代与黄河兰州段仍有差异, 值得进一步深入探讨.

致谢: 野外调查和室内数字模拟方面得到中国地质调查局发展研究中心李超岭高级工程师、区调处于庆文研究员的大力支持和帮助, 在此一并致谢.

参考文献:

- [1] 阎国年, 钱亚东, 陈钟明. 基于栅格数字高程模型提取特征地貌技术研究[J]. 地理学报, 1998, 53(6): 562—569.
Lü G N, QIAN Y D, CHEN Z M. Automated extraction of the characteristics of topography from grid digital data [J]. Acta Geographica Sinica, 1998, 53(6): 562—569.
- [2] 王义祥, 刘勇, 潘保田. 夷平面数字地形模型的生成、显示与分析初探——以美武高原为例[J]. 遥感技术与应用, 1999, 14(1): 59—64.
WANG Y X, LIU Y, PAN B T. A preliminary approach on the generation, display and analysis of digital terra in model of planation surface—taking Meiwu plateau as an example [J]. Remote Sensing Technology and Application, 1999, 14(1): 59—64.
- [3] 王东锐, 杨景春. 四维地貌模型研究[J]. 地理学与国土研究, 2001, 17(2): 20—23.
WANG D R, YANG J C. Study on the four-dimension geomorphic model [J]. Geography and Territorial Research, 2001, 17(2): 20—23.
- [4] 李超岭, 张克信. 基于GIS技术的区域性多源地学空间信息集成若干问题探讨[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(5): 545—550.
LI C L, ZHANG K X. Study on regional multi-source geological spatial information system based on technique of GIS [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(5): 545—550.
- [5] 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.
CUI Z J, LI D W, WU Y Q, et al. On planation surfaces [J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 43(17): 1794—1804.
- [6] 李吉均, 方小敏, 马海洲, 等. 晚新生代黄河上游地貌演化与青藏高原隆起[J]. 中国科学(D辑), 1996, 26(4): 316—322.
LI J J, FANG X M, MA H Z, et al. Geomorphologic evolution of upper reach of the Yellow River and Late Cenozoic uplift of Qinghai-Xizang plateau [J]. Science in China (Series D), 1996, 26(4): 316—322.
- [7] 李吉均. 青藏高原的地貌演化与亚洲季风[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19(1): 1—11.
LI J J. Study on the geomorphological evolution of the Qinghai-Xizang (Tibet) plateau and Asian monsoon [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1999, 19(1): 1—11.
- [8] 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, 21(5): 381—391.
LI J J, FANG X M, PAN B T, et al. Late Cenozoic intensive uplift of Qinghai-Xizang plateau and its impact on environments in surrounding area [J]. Quaternary Sciences, 2001, 21(5): 381—391.
- [9] 李炳元, 潘保田. 青藏高原古地理环境研究[J]. 地理研究, 2002, 21(1): 61—68.
LI B Y, PAN B T. Progress in paleogeographic study of the Qinghai-Tibetan plateau [J]. Geographical Research, 2002, 21(1): 61—68.
- [10] 顾延生, 李长安, 谢远云, 等. 兰州—民和盆地第四纪地层学研究[J]. 中国区域地质, 2001, 20(4): 384—391.
GU Y S, LI C A, XIE Y Y, et al. Quaternary stratigraphy and palaeoenvironment of the Lanzhou-Minhe basin [J]. Regional Geology of China, 2001, 20(4): 384—391.
- [11] 于庆文, 李长安. 青藏高原东北缘新生代隆升—沉积—气候演化及其耦合[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2001. 74.
YU Q W, LI C A. Cenozoic uplift, sediments, evolution of climate in northeastern margin of Qinghai-Xizang plateau [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2001. 74.
- [12] 潘保田, 李吉均, 曹继秀, 等. 化隆盆地地貌演化与黄河发育研究[J]. 山地研究, 1996, 14(3): 153—158.
PAN B T, LI J J, CAO J X, et al. Study on the geomorphologic evolution and development of the Yellow River in Hualong basin [J]. Mountain Research, 1996, 14(3): 153—158.
- [13] 崔之久, 伍永秋, 刘耕年, 等. 关于“昆仑—黄河运动”[J]. 中国科学(D辑), 1998, 28(1): 53—59.
CUI Z J, WU Y Q, LIU G N, et al. On Kunlun-Huanghe movement [J]. Science in China (Series D), 1998, 28(1): 53—59.

Preliminary Digital Geomorphologic Research on Southeastern Margin of Qilian Mountains Based on RGMAP

GU Yan-sheng^{1,2}, ZHANG Wang-sheng¹,

ZHU Yun-hai¹, FAN Guang-ming¹, GAO Shan¹

(1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. School of Humanity, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: The typical stratified landforms in the southeastern margin of the Qilian Mountains have been recognized and studied in detail on the basis of digital elevation model, field survey and tectonic-geomorphologic section as well as the indoor study with the support of the operation system of regional digital geological survey and field mapping (RGMAP). There are two stages of planation surfaces (P_I 3 000 m, P_{II} 4 000 m), eleven stages of pediments (Pe_{I-11}) and seven terraces (T_0-T_6) of the Huangshui River. Five terraces are developed in the Yellow River from the Yanguoxia to Bapanxia. Before the Yellow River mainstream passed through the Yanguoxia about 0.15 Ma, the Huangshui River used to be its upper reach. Combined with field survey and analyses indoors, every stages of stratified landforms (planation surfaces, pediments and terraces) are recognized, showing detailed features of distribution, sedimentary and formation ages and relation with neo-tectonic movements. This demonstrates that development of typical stratified landforms resulted from phased uplift of the Qinghai-Xizang plateau in Late Cenozoic.

Key words: digital elevation model; typical stratified landform; planation surface; pediment; terrace.