

文章编号: 1006-6616 (2014) 03-0304-13

基于 ASTER-GDEM 数据的羊卓雍错 地区构造地貌分析

陈麒光, 邵兆刚, 韩建恩, 孟宪刚, 余佳, 王津
(中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

摘要: 基于 ASTER-GDEM 数据, 运用 GIS 空间分析统计技术, 通过对数字地形高程、地表起伏度、地表坡度等地貌参数的统计和条带剖面及面积-高程积分等数字地貌分析, 结合前人的区域地质资料及野外实地调查和验证, 对藏南羊卓雍错地区的构造地貌特征进行了初步分析, 旨在为研究区的盆地地貌格局演化分析提供依据。研究表明, 研究区构造地貌总体为一近东西向盆地, 最高海拔 7515 m, 最低海拔 2581 m, 属于高海拔—极高海拔区域; 流域内以平原和丘陵地貌为主, 平均起伏度为 314 m, 平均坡度 19°, 地势起伏较小, 发育有三级层状地貌; 盆地边缘受断裂的控制, 构造现象发育, 线性影像特征明显。其东、西部分别受桑日—错那断陷带和亚东—露谷断陷带所围限, 具有多期构造活动特征。盆地南北两侧受绒布—哲古断裂和邛多江断裂控制较弱。受构造活动和地表水流综合作用的影响, 盆地内部地貌已进入老龄化阶段。

关键词: ASTER-GDEM; 羊卓雍错; 构造地貌; 流域面积-高程积分

中图分类号: P542

文献标识码: A

0 引言

数字高程模型 (Digital Elevation Model, DEM) 是对地球表面地形地貌的数字化表达和模拟, 基于 DEM 的地形地貌分析实质就是对地形进行数字计算的过程。目前 DEM 理论和相关的分析技术已得到了地学工作者的广泛关注, 国际上已将其作为一种常规的地形地貌研究手段^[1~3]。例如: Fielding^[4]对青藏高原及其周边地区进行了大尺度地貌分析, 认为青藏高原内部的剥蚀夷平和边缘造山带的剥蚀夷平显著不同; Chris Duncan 等^[5]利用 3 弧秒数据在喜马拉雅弧形碰撞带对尼泊尔和不丹境内的局部地形起伏、坡高等进行了分析和对比, 并指出喜马拉雅造山带的地质及地貌在不丹和尼泊尔有很大差异, 反映了其构造活动的差异性; 洪顺英等^[6]基于 SRTM-DEM 数据揭示了阿尔泰山地区构造地貌特征并做了阶梯状地貌的相关讨论; 张会平等^[7]构建了岷山构造带数字高程模型, 初步对岷山构造带, 特别是岷山断裂带构造地貌特征进行了分析, 通过坡度、坡向及地形起伏度和高程统计分析, 得出了岷山地

收稿日期: 2014-05-14

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“青藏高原气候变化湖泊沉积记录研究”(12120113006100)

作者简介: 陈麒光 (1987-), 男, 硕士研究生, 主要从事区域地质与环境研究。E-mail: jj5279@sina.com

区夷平面及山顶面的分布特点。

羊卓雍错地区位于青藏高原南部，北邻雅鲁藏布江构造带，构造活动频繁，断裂发育，盆山构造地貌特征明显，对研究高原内部地貌演化及其对高原隆升响应等方面均具有重要意义。本文对羊卓雍错地区数字高程模型（ASTER-GDEM）进行了详细分析，揭示了羊卓雍错地区的盆地地貌特征，对区域构造活动与高原内部地貌演化的关系进行了探讨，旨在为研究区的盆地地貌格局及其演化提供重要依据。

1 区域地质概况

研究区位于青藏高原南部，羊卓雍错盆地北起雅鲁藏布江南岸的贡嘎县，南至洛扎县境内，地理位置为东经 $89^{\circ}30'$ — $92^{\circ}25'$ ，北纬 28° — $29^{\circ}30'$ 。盆地内部河流水系发育，年降雨量 351 mm，湖泊发育，主要包括羊卓雍错、普莫雍错、沉错、空母错、巴纠错和哲古错等湖泊，盆地地质历史时期曾经为统一的大湖^[8]，并存在有短暂外流期，现今湖泊为统一大湖收缩分解后形成的。

研究区在大地构造位置上属于喜马拉雅造山带中的北喜马拉雅特提斯褶冲构造带，北以雅鲁藏布缝合带与拉萨地体相邻，南以藏南拆离系与高喜马拉雅结晶基底相连^[9]，先后经历了始喜马拉雅印度板块与欧亚大陆俯冲碰撞和新喜马拉雅期伸展变形等地质演化过程，自南向北形成了近东西向的洛扎、绒布—哲古、邛多江等平行于造山带走向的断裂构造（见图 1）。在盆地东西两侧均发育了近南北向的断陷盆地，这些断陷盆地属藏南裂谷带中的桑日—错那断陷带和亚东—露谷断陷带的一部分，发育第四纪不同时期沉积建造和多期断层构造，时至今日仍然存在强烈的构造运动，控制了羊卓雍错盆地的东西向展布^[10~11]。

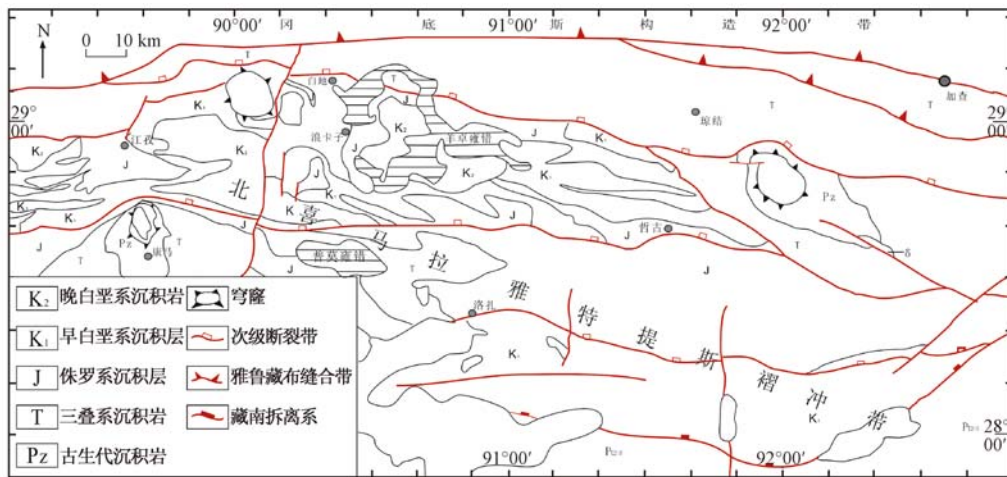


图 1 羊卓雍错地区地质简图（据文献 [8] 略改）

Fig. 1 Geological map in the YamzhoYumco region

2 ASTER-GDEM 数据来源与分析方法

本文中所采用的数据来源于美国航天局（NASA）与日本经济产业省（METI）共同发布的 ASTER-GDEM 数据，该数据是根据 NASA 的新一代对地观测卫星 TERRA 的详尽观测结

果制作完成的^[12~13]。相对于分辨率为 90 m 的 SRTM 数据, ASTER-GDEM 数据水平精度为 30 m, 垂直精度为 20 m, 含有更加真实而丰富的地理信息。鉴于研究区面积 47000 km², 最大高程差为 4934 m, 因此其水平误差范围 0.0000006%, 垂直误差范围 0.4%, 均控制在 1% 以内, 其精度完全满足该地区构造地貌分析的要求。

本文对研究区域的 DEM 数据进行拼接、裁剪、密度分割及彩色晕染等预处理, 在此基础上依据区域地质简图提取 DEM 图中的线性影像构造 (见图 2)。利用 SPASS 软件得出 GIS 统计的最佳分析窗口, 做出研究区的平均高程、最大高程、最小高程、地势起伏度及坡度图, 通过与实际野外现象对比, 获得了该区的构造地貌特征。在盆地内部选择 3 个不同方向, 提取并绘制出条带范围的高程值及地势起伏度剖面。通过 GIS 空间数据分析, 提取了羊卓雍错盆地的流域范围。分别根据面积-高程积分 (Hi)、山前曲折度 (Smf) 和盆地不对称度 (AF) 等对盆地数字地貌指标进行了提取, 并对数字地貌结果所反映的盆地地貌及其演化特征进行了探讨。

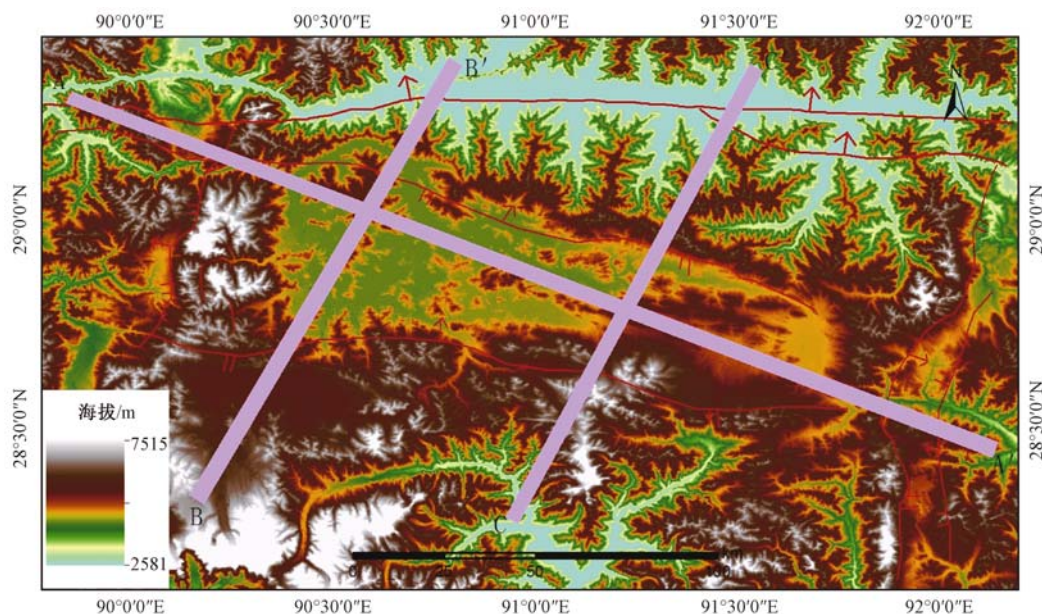


图 2 羊卓雍错地区 DEM 图

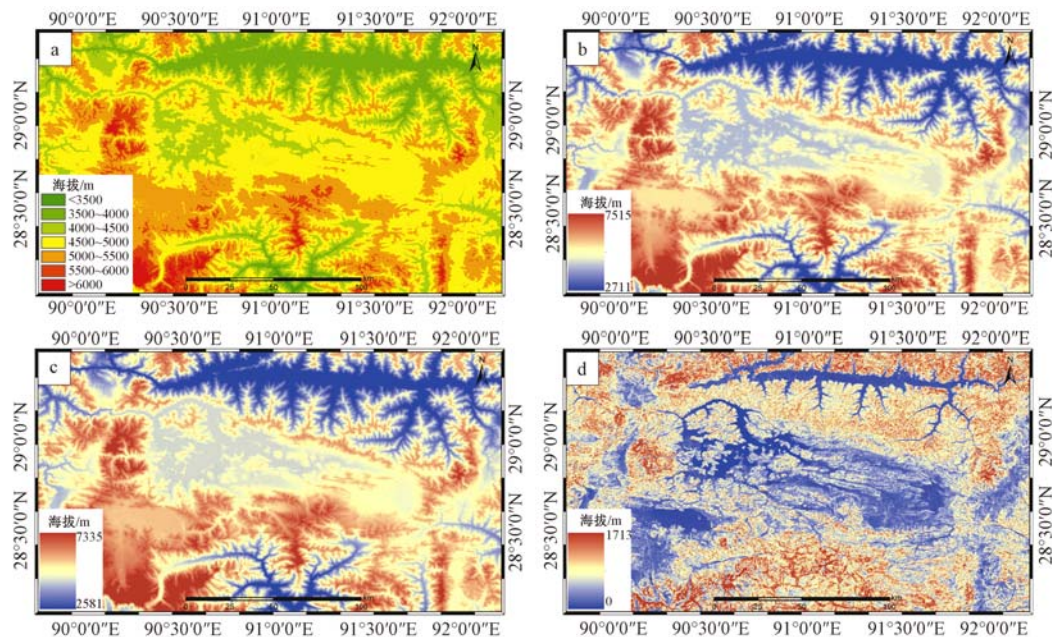
Fig. 2 DEM image of the YamzhoYumco region

3 羊卓雍错地区构造地貌分析

3.1 DEM 高程及地势起伏度分析

以 ASTER-GDEM 数据为基础, 利用 GIS 空间统计分析技术与彩色晕染方法, 对羊卓雍错地区的地貌特征进行分析 (见图 2)。研究区内总体地势分布南高北低, 高程变化范围为 2581 ~ 7515 m, 全区平均海拔为 4775 m; 羊卓雍错流域海拔分布呈现出中间低四周高的近南东东—北西西向带状展布的盆地地貌特征, 与南北两侧山体及区域深大断裂的走向基本一致; 在流域范围内呈南东高、北西低的地势分布, 控制了盆地水流的整体趋势; 盆地南北边缘则呈现出不同的地貌特点: 南缘凹凸不平、高而宽阔, 北缘平直、低而狭窄。

按 500 m 间距对高程进行详细分割, 绘制了羊卓雍错地区平均高程图 (见图 3a)。图中显示羊卓雍错地区高程从盆地周缘向流域内部呈南西—东—北西向的三级阶梯: I 级阶梯高程在 5000 ~ 5500 m 之间, 分布于流域南部的普莫雍错地区及流域四周所围限的甘巴拉山、蒙达岗日等, 占全区面积的 19. 42%; II 级阶梯高程 4500 ~ 5000 m, 对应羊卓雍错水系至周围山麓之间的区域范围, 占全区面积的 28. 42%; III 级阶梯高程在 4000 ~ 4500 m, 对应现今羊卓雍错水系分布地区, 占全区总面积的 37. 19%。高程统计结果 (见表 1) 显示, 整个区域中海拔区域仅占 0. 23%, 主要分布在研究区北部的雅鲁藏布江一带; 全区占 64. 86% 的多数地区为高海拔区域; 极高海拔占有 34. 91%, 其中大于 6000 m 的海拔零星出现在研究区南部的山地, 这样的海拔分布在图 3a 中也有很好的印证, 体现了研究区地貌高程自南向北降低的地貌格局。



a—平均高程图; b—最大高程图; c—最小高程图; d—地势起伏度图

图 3 羊卓雍错地区 4 种高程图

Fig. 3 Four types of DEM maps of the YamzhoYumco region

表 1 羊卓雍错地区高程统计

Table 1 Height statistics of the YamzhoYumco region

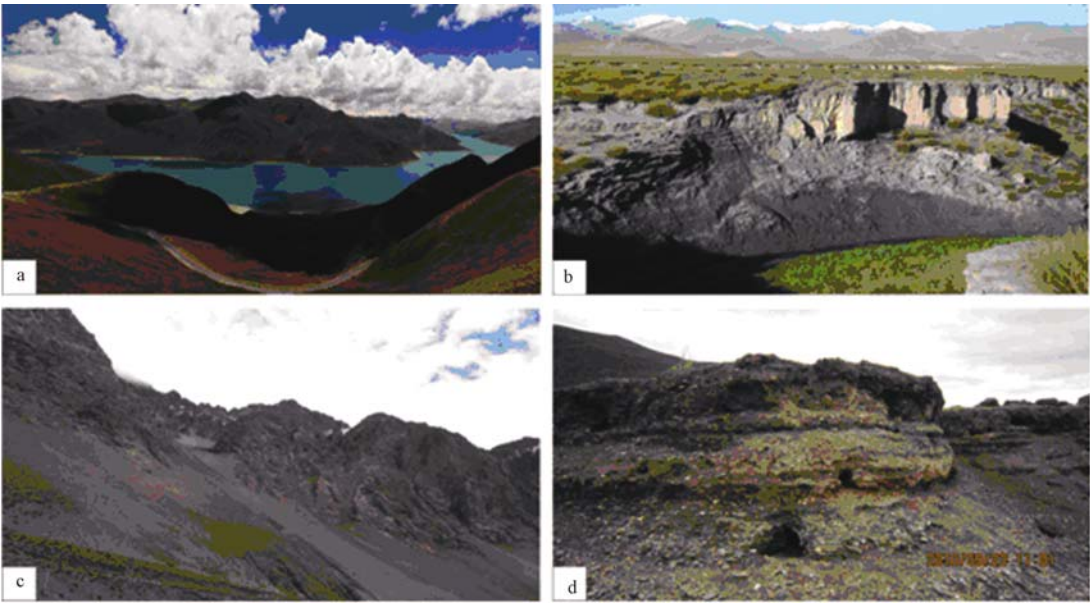
高程/m		百分比/%	累计百分比/%
< 3500 (中海拔)		0. 23	0. 23
3500 ~ 5000 (高海拔)	3500 ~ 4000	8. 25	8. 48
	4000 ~ 4500	19. 42	27. 90
	4500 ~ 5000	37. 19	65. 09
> 5000 (极高海拔)		34. 91	100. 00

在区域地貌研究中, 地势起伏度是反映构造与地表侵蚀相互作用的基本指标^[14]。将 DEM 数据按 30 × 30 象元采样阈值空间窗口^[15], 分别获得了研究区的最大和最小高程图

(见图 3b, 3c), 通过栅格计算, 可以得到区域的地势起伏度示意图 (见图 3d)。地势起伏度结果 (图 3d, 表 2) 显示, 盆地中部较为平坦, 盆地边缘起伏度迅速增大, 最大起伏度为 1713 m, 平均起伏度 314 m。其中平原主要分布在羊卓雍错、普莫雍错、沉错、空母错、巴纠错几大湖泊及其附属水系流经区域, 占全区面积的 2.45%; 丘陵分布在流域内水系之间的绝大多数区域及水系边缘, 占 22.83%; 小起伏山地主要分布在盆地边缘地带以及四周的山区, 占 62.44%。综合图 2 和图 3 来看, 羊卓雍错流域内部地貌与四周山区的沟壑纵横相比具有明显不同的特征: 其内呈现出地貌演化晚期的丘陵-平原地貌特点 (见图 4a, 4b), 与早期统一的古湖泊发育区域对应, 而边缘山地则由于冰川与水流切割作用, 使得地形高程急剧变化 (见图 4c)。

表 2 羊卓雍错地区地势起伏度统计
Table 2 Amplitude statistics of the YamzhoYumco region

起伏度划分/m	平原	丘陵	小起伏山地	中起伏山地	大起伏山地
	0 ~ 30	30 ~ 200	200 ~ 500	500 ~ 1000	1000 ~ 2500
百分比/%	2.45	22.83	62.44	12.10	0.18
累计百分比/%	2.45	25.28	87.72	99.82	100.00



a—盆内丘陵地貌; b—盆内平原地貌及河流侵蚀 V 型谷; c—盆地边缘陡峭山体; d—高位湖相沉积 (海拔 4844 m)

图 4 羊卓雍错地区地貌特征与湖相沉积

Fig. 4 Geomorphologic characteristics of the YamzhoYumco region and it's lake sediments

3.2 地表坡度分析

空间统计分析表明, 研究区最大坡度值可达 81°, 平均坡度约为 19°。坡度小于 5°的低缓坡面积占总面积的 11.67%, 主要位于羊卓雍错、普莫雍错、巴纠错等地和雅鲁藏布江地带; 有 11.25% 的地区为 5°—9°的缓坡, 分布在现今湖泊水系的周围; 大于 9°的陡坡 (75.31%) 中以 9°—21°的低陡坡 (36.44%) 为主, 主要分布在盆山过渡地带; 而陡崖 (>45°) 则分布较少, 不到 2%, 主要集中在盆地边缘山体的山脊山顶及穹窿构造的顶部

(见图 5, 图 6)。由此可见, 羊卓雍错流域内绝大部分地区坡度小于 15° 且纵降比较小, 与古湖泊发育以及内流盆地底部侵蚀微弱, 低缓的湖泊地貌得以保存密切相关。而在流域边缘地带坡度急剧增加到 27° — 39° , 反映了流域边缘强烈的山体抬升构造活动。

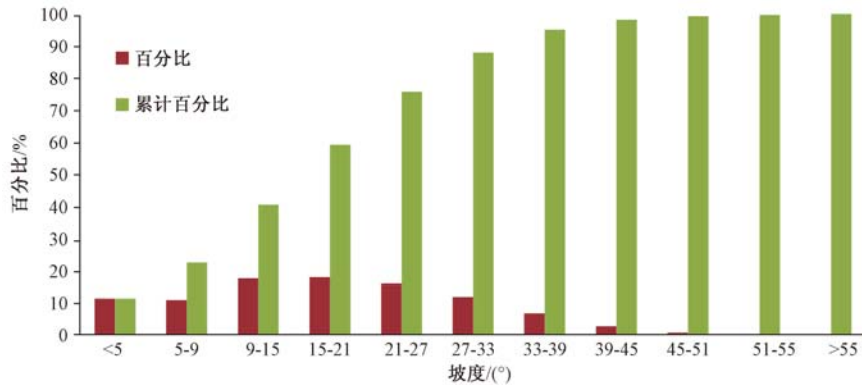
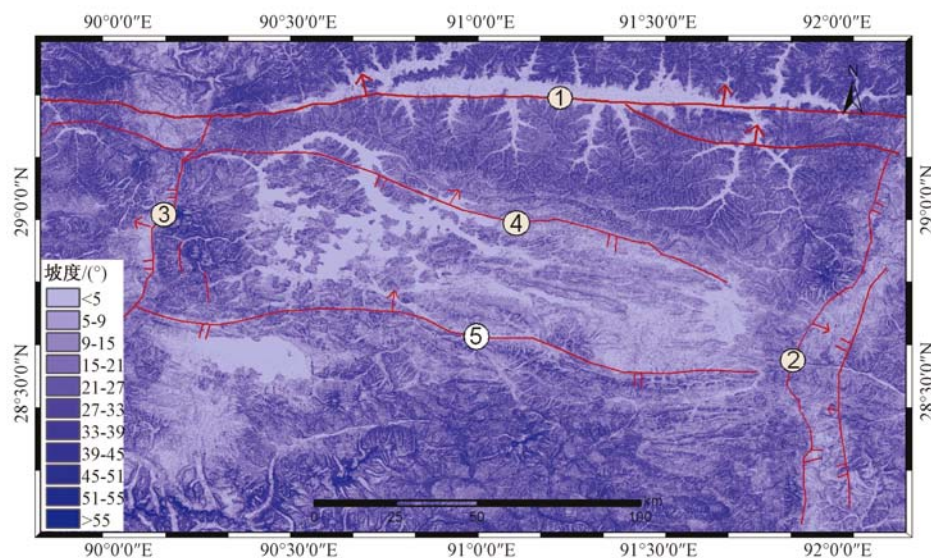


图 5 羊卓雍错地区坡度统计直方图

Fig. 5 Slope statistics of the Yamzho Yumco region



①—雅鲁藏布江构造带；②—桑日—错那断陷带；③—亚东—露谷断陷带；④—邛多江断裂；⑤—绒布—哲古断裂

图 6 羊卓雍错地区坡度分级示意图

Fig. 6 Slope classification schematic diagram of the Yamzho Yumco region

强烈的断裂活动, 往往造成断裂两侧高程及地貌坡度出现强烈反差^[6,16], 在坡度图中常常表现出线性影像特征, 能够反映断裂走向及规模等构造特征。对研究区的坡度数据进行分析, 可见 5 条主要断裂带发育, 即雅鲁藏布江构造带、桑日—错那断陷带、亚东—露谷断陷带、邛多江断裂及绒布—哲古断裂 (见图 6), 该区盆地地貌的形成、演化等与这 5 条断裂密切相关。

雅鲁藏布江构造带从盆地北部沿东西向横穿而过, 受活动强度和规模的影响, 表现出最为明显的影像特征, 限制了北部甘巴拉山的地势, 是整体地貌主要影响因素之一; 桑日—错

那断陷带与亚东—露谷断陷,近南北向分布,线性影像特征比较明显,活动带较宽且其内坡度和高程值较小,两侧边缘的高程和坡度则急剧增大,表现出东西向差异性变化,是南北向构造带长期活动的体现;邛多江断裂和绒布—哲古断裂,近东西向分布在盆地的南部,南北向差异性变化较小,反映断裂活动及对盆地的限制作用微弱。地质资料显示,桑日—错那断陷带与亚东—露谷断陷带属藏南裂谷带的一部分,形成于新近纪晚期,这2条断裂带是由一系列近南北向断陷盆地组成,规模达数百千米,并且时至今日仍具有强烈的活动性^[17~20]。绒布—哲古断裂为特提斯喜马拉雅前陆褶冲带沙拉岗—查拉普复式褶皱带和错美—隆子复式褶皱带的边界性断裂,邛多江断裂属雅鲁藏布缝合带南界断裂,均为区域次级断裂,总体呈东西向展布,主要表现为由北而南逆冲推覆^[21~22]。

3.3 条带剖面分析

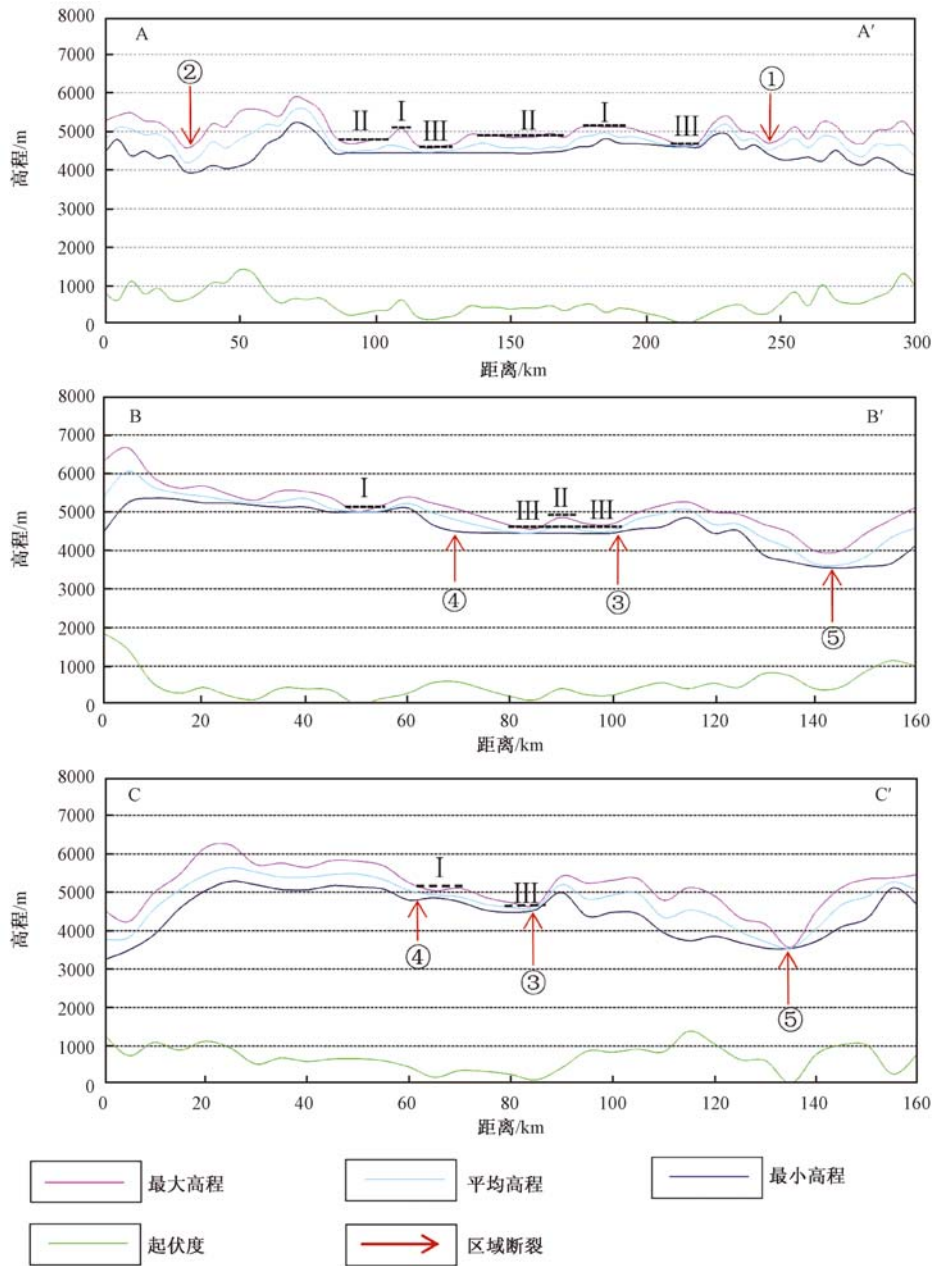
以研究区 DEM 为基础,以 5 km 宽度提取了羊卓雍错地区的 3 个条带剖面 A-A'、B-B'、C-C' (剖面位置见图 2),包括最大高程、最小高程、平均高程及地势起伏度曲线 (见图 7),分别反映了带状区域内最高峰顶面、水系沟谷、平均海拔高度及切割剥蚀程度等地形特征^[23~26]。

由图 7 可见研究区条带剖面特征,剖面总体呈边缘高中间低的高程分布形态,盆地内部海拔由东向西、由南向北逐渐降低,反映了羊卓雍错流域总体地貌特征。流域盆地周围的山体地势起伏度变化范围大、剥蚀严重,为山体构造隆升和强烈剥蚀作用的结果。而盆地底部受地表长期削高填低作用,在盆地内流期间,成为整个流域的侵蚀基准面,剥蚀程度大为减弱,盆地底部以平原和丘陵地貌为主,呈晚期地貌演化特征。由最大高程曲线可见,盆地内部由四周山体向盆底发育有三级地貌阶梯:Ⅰ级阶地主要分布在盆地南部的普莫雍错及东部高地,海拔高度在 5000~5100 m;Ⅱ级阶地发育在羊卓雍错水系外周边及盆地东部,高程在 4800~5000 m,地势略有起伏;Ⅲ级阶地分布在盆地中部,高程约 4400~4600 m,地势平坦。当地处于藏南古大湖发育区,结合有关学者在当地发现的大范围高位湖相地层^[27] (见图 4d),笔者认为该区域三级阶梯地貌与湖泊作用密切相关。

在剖面 A-A' 中,分布在羊卓雍错流域盆地东侧的邛多江断陷盆地为桑日—错那南北向大型断陷带的一部分,为地堑式正断层显示,控制了羊卓雍错的东缘。西部的热龙盆地属于亚东—露谷南北向大型断陷裂谷带,整体为正断显示,断裂下盘控制了羊卓雍错盆地的西部边界。盆地内部发育的邛多江断裂和绒布—哲古断裂对盆地控制相对较弱,一方面,邛多江断裂西部横穿现今湖泊发育区,属盆地现今最为平坦的区域;盆地南侧,北倾的绒布—哲古逆冲断裂北侧海拔明显低于南侧,这些特征反映上述 2 条断裂后期的活动微弱。另一方面,羊卓雍错盆地南北边缘的表现截然不同,其中盆地北缘平直,南缘则凹凸不平。经过计算,流域盆地南北缘山前曲折度 (S_{mf}) 分别为 2.1 和 5.6,盆地不对称度 AF 值为 16,反映盆地两侧遭受了不同程度的河流侵蚀作用,南侧河流侵蚀远比北侧要发育,其特征应与盆地北侧发育的雅鲁藏布江断裂的活动有关^[28~30]。

3.4 流域面积—高程积分

流域地貌的发育不仅有地球内动力作用,还伴随着地表物质的侵蚀、搬运与沉积等外营力作用,所以任一发育阶段的流域地貌,可以用反映地表物质相对侵蚀量的面积—高程积分曲线来表示^[31]。根据戴维斯地貌侵蚀旋回理论,当该曲线呈上凸型, $H_i > 0.50$ 时,流域侵蚀剧烈,表现出构造活跃的幼年期特征;当该曲线呈 S 型, $0.40 \leq H_i \leq 0.50$ 时,为壮年期阶段;当曲线呈下凹型, H_i 值 < 0.40 时,侵蚀过程缓和,地貌形态具有趋于稳定状态的老



①康马—羊八井—那曲断陷带；②桑日—错那断陷带；③札达—拉孜—亚多江断裂；
④绒布—古堆断裂；⑤雅鲁藏布构造带

图7 羊卓雍错地区 A、B、C 条带剖面图

Fig. 7 Swath profile graph of the YamzhoYumco region

年期特征。因此根据 H_i 值可以推测流域的地貌特征。

对羊卓雍错流域（见图8）以 10 m 为等高线间距计算出每条等高线对应的面积 a 和高程差 h 值及总面积 A 和最大高程差 H ，最终作出流域的面积—高程积分曲线图（见图9）。该流域面积—高程积分曲线呈下凹型，并且计算得 H_i 值为 0.22，这表明了研究区因长期的内流沉积作用，盆地底部剥蚀程度微弱，地势起伏度小，总体地形趋于平坦，已经处于侵蚀

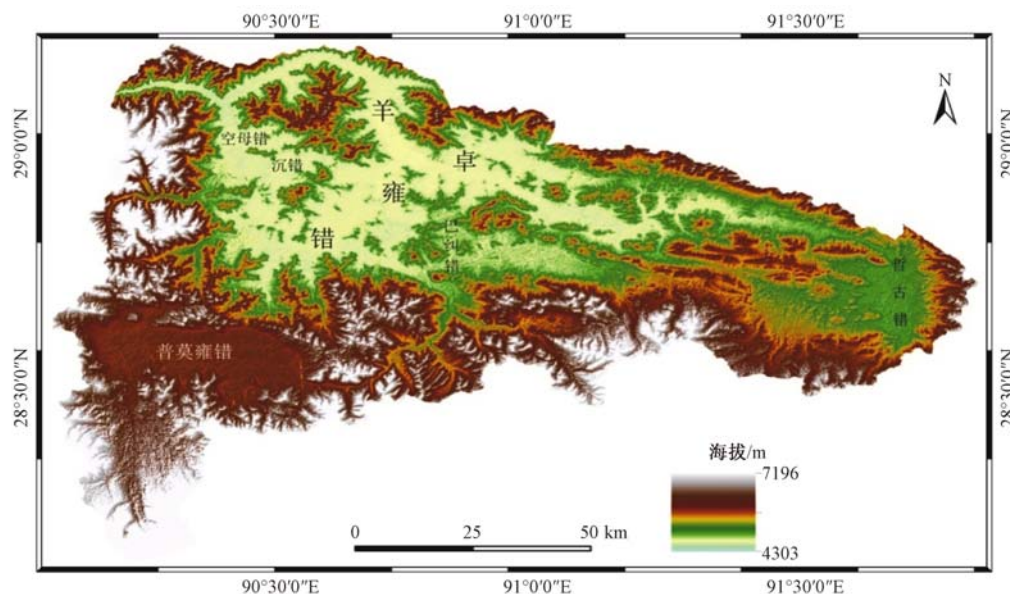


图8 羊卓雍错流域示意图

Fig. 8 The YamzhoYumco watershed range diagram based on DEM

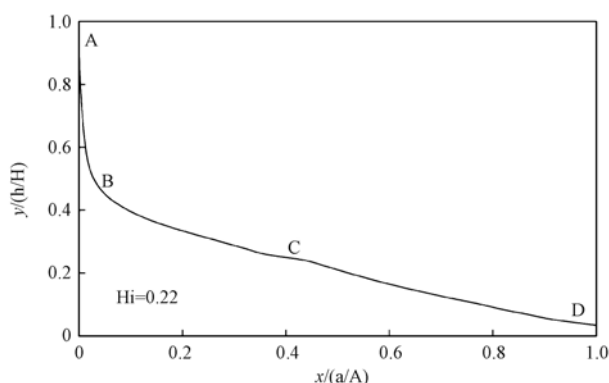


图9 羊卓雍错流域面积—高程积分曲线图

Fig. 9 Curve of hypsometric integral in the YamzhoYumco watershed

作用的老年期阶段。其中, AB 段 (5373 ~ 7193 m) 占流域总面积的 7.24%, 曲线急剧下凹, 代表了盆地边缘山体由于剥蚀剧烈、切割强烈而地势陡峭; BD 段 (4460 ~ 5373 m) 较为平缓, 占流域总面积的 92.76%, 代表了盆地内部地势由于削高补低的内流沉积作用而趋于平坦。在 BD 段中, BC 段与 CD 段的曲线斜率略有不同, C 点海拔属于 II 级阶地内。由此分析, 羊卓雍错流域内部存在长期的内流沉积作用, 其内由于碎屑物质的削高填低, 使得盆地内部地势不断降低, 地貌趋于平坦; 而 BC 段与 CD 段斜率不同, C 点为分界点, 反映出了流域盆地在海拔 5373 ~ 4880 m 以及 4880 ~ 4460 m 范围内经历不同程度的侵蚀作用, 与盆地大湖期以来, 盆地以内部湖泊水位为侵蚀基准面的变化相关。

4 结论

在 GIS 技术支持下, 通过对羊卓雍错流域范围内地貌参数的提取与分析, 结合相关区域地质资料, 初步得出了该地区的盆地地貌特征, 为研究高原腹地地貌格局的演化提供有意义借鉴和基础资料。

研究区整体地貌处于高海拔—极高海拔区域, 中部为地势平坦的平原—丘陵地貌, 四周为海拔较高且地势变化较大的山区, 盆地除西部白地乡存在短暂外流河流外, 整体为一发育完整的高原内部盆地地貌。盆地底部受地表长期削高填低作用, 在盆地内流期间, 成为整个流域的侵蚀基准面, 在盆地底部出现以平原和丘陵地貌为主的地貌特征。

盆地内部发育有三级层状阶梯地貌, 分别位于 4400 ~ 4600 m、4800 ~ 5000 m、5000 ~ 5100 m 之间。结合当地高位湖相层分析, 认为阶梯地貌的出现与盆地湖泊作用密切相关, 是盆地古湖水位多次变化逐渐形成的结果。

盆地分布受断裂控制明显, 其中, 东西展布受邛多江断陷带和热龙断陷控制。盆地内部发育的邛多江断裂和绒布—哲古断裂对盆地控制较弱, 盆地北部受雅鲁藏布江断裂活动的作用, 盆地北缘发育平直。

羊卓雍错流域盆地的面积—高程积分值 (H_i) 为 0.22, 表示地貌演化进入晚期阶段, 是流域内部长期内流沉积作用下削高填低的结果, 其演化特征代表了高原内部所发育的内流盆地, 长期以各自盆地底部为侵蚀基准面的地貌夷平演化过程。

羊卓雍错地区现存的盆地地貌演化受高原隆升以及内部流域盆地剥蚀夷平的共同作用, 出现盆地周缘陡峻, 盆地底部广阔平坦的高原盆地地貌。众多的高原腹地内流盆地共同形成高原现今盆岭相间的地貌形态。

参 考 文 献

- [1] SUMMERFIELD M A. Global geomorphology [M]. Harlow: Longman Scientific & Technical, 1991: 1 ~ 367.
- [2] 张瑞军, 杨武年, 刘汉湖, 等. 数字高程模型 (DEM) 的构建及其应用 [J]. 工程勘察, 2005, (5): 61 ~ 64.
ZHANG Rui-Jun, YANG Wu-Nian, LIU Han-Hu, et al. The building and its application of DEM [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2005, (5): 61 ~ 64.
- [3] 张会平, 杨农, 刘少峰, 等. 数字高程模型 (DEM) 在构造地貌研究中的应用新进展 [J]. 地质通报, 2006, 25 (6): 660 ~ 669.
ZHANG Hui-Ping, YANG Nong, LIU Shao-Feng, et al. Recent progress in the DEM-based tectonogeomorphic study [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25 (6): 660 ~ 669.
- [4] Field E J. How flat is Tibet? [J]. Geology, 1994, 22: 163 ~ 167.
- [5] Duncan C, Masek J, Fielding E. How steep are the Himalaya: Characteristics and implications of along-strike Topographic Variations [J]. Geology January, 2003, 31 (1): 75 ~ 78.
- [6] 洪顺英, 申旭辉, 荆凤, 等. 基于 SRTM-DEM 的阿尔泰山构造地貌特征分析 [J]. 国土资源遥感, 2007, 18 (3): 62 ~ 66.
HONG Shun-Ying, SHEN Xu-Hui, JING Feng, et al. An analysis of geomorphology characteristics of the Altai Mountain based on DEM [J]. Remote Sensing for Land And Resources, 2007, (3): 62 ~ 66.
- [7] 张会平, 杨农, 张岳桥, 等. 岷江水系流域地貌特征及其构造指示意义 [J]. 第四纪研究, 2006, 26 (1): 126

~135.

ZHANG Hui-ping, YANG Nong, ZHANG Yue-qiao, et al. Geomorphology of the Minjiang Drainage System (Sichuan, China) and its structural implications [J]. *Quaternary Sciences*, 2006, 26 (1): 126 ~ 135.

- [8] 郑绵平, 袁鹤然, 赵希涛, 等. 青藏高原第四纪泛湖期与古气候 [J]. *地质学报*, 2006, 80 (2): 169 ~ 180.

ZHENG Mian-Ping, YUAN He-Ran, ZHAO Xi-tao, et al. The Quaternary Pan-lake (Overflow) Period and Paleoclimate on the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80 (2): 169 ~ 180.

- [9] 西藏自治区地质矿产局. 西藏自治区区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1991.

Bureau of Geology and Mineral Resources of Tibet Autonomous Region. Regional geology of Tibet Autonomous Region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993.

- [10] 鲁如魁, 钟华明, 童劲松, 等. 西藏洛扎地区拆离断层构造变形特征 [J]. *大地构造与成矿学*, 2005, 29 (2): 189 ~ 197.

LU Ru-kui, ZHONG Hua-ming, TONG Jin-song, et al. Tectonic deformation features of the detachment fault in Luozha area, Tibet [J]. *Geotectonica Et Metallogenia*, 2005, 29 (2): 189 ~ 197.

- [11] 戚学祥, 李天福, 孟祥金, 等. 藏南特提斯喜马拉雅前陆断褶带新生代构造演化与锑金多金属成矿作用 [J]. *岩石学报*, 2008, 24 (7): 1638 ~ 1648.

QI Xue-xiang, LI Tian-fu, MENG Xiang-jin, et al. Cenozoic tectonic evolution of the Tethyan Himalaya foreland fault-fold belt insouthern Tibet, and its constraint on antimony-gold polymetallic minerogenesis [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24 (7): 1638 ~ 1648.

- [12] Taud H, Parrot J F, Alvarez R. DEM generation by contour line dilation [J]. *Computers & Geosciences*, 1999, 25: 775 ~ 783.

- [13] Bielecki A E, Mueller K J. Origin of terraced hillslopes on active folds in the southern San Joaquin Valley, California [J]. *Geomorphology*, 2002, 42: 131 ~ 152.

- [14] Montgomery D R. Valley incision and the uplift of mountain peaks [J]. *Geophys*, 1994, 99 (B7): 13913 ~ 13921.

- [15] 张学儒, 官冬杰, 牟风云, 等. 基于 ASTER-GDEM 数据的青藏高原东部山区地形起伏度分析 [J]. *地理与地理信息科学*, 2012, 28 (3): 11 ~ 14.

ZHANG Xue-ru, GUAN Dong-jie, MU Feng-yun, et al. Analysis on the relief amplitude based on ASTER GDEM data in mountain area of eastern Tibetan Plateau [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2012, 28 (3): 11 ~ 14.

- [16] 程三友, 刘少峰, 张会平, 等. 大别山构造地貌的 DEM 初步分析 [J]. *地质力学学报*, 2005, 11 (4): 333 ~ 340.

CHENG San-you, LIU Shao-feng, ZHANG Hui-Ping, et al. DEM analysis of the tectonogeomorphology of the Dabieshan orogenic belt [J]. *Journal of Geomechanics*, 2005, 11 (4): 333 ~ 340.

- [17] 韩同林. 西藏活动构造 [M]. 北京: 地质出版社, 1987: 13 ~ 22.

HAN Tong-ling. The active tectonic in Tibet [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987: 13 ~ 22.

- [18] 贺日政, 高锐. 西藏高原南北向裂谷研究意义 [J]. *地球物理学进展*, 2003, 18 (1): 35 ~ 43.

HE Ri-zheng, GAO Rui. Some significances of studying north-southern rift in Tibet Plateau [J]. *Progress in Geophysics*, 2003, 18 (1): 35 ~ 43.

- [19] 吴中海, 张永双, 胡道功, 等. 藏南错那—沃卡裂谷的第四纪正断层作用及其特征 [J]. *地震地质*, 2008, 30 (1): 144 ~ 160.

WU Zhong-hai, ZHANG Yong-shuang, HU Dao-gong, et al. The Quaternary normal faulting of the Cona-Oiga rift [J]. *Seismology and Geology*, 2008, 30 (1): 144 ~ 160.

- [20] 陈正位, 谢平, 申旭辉, 等. 构造和气候共同控制下的藏南热隆盆地中更新世以来的演化 [J]. 地震, 2007, 27 (3): 131 ~ 138.
- CHEN Zheng-wei, XIE Ping, SHEN Xu-hui, et al. Evolution of Relong Basin in southern Tibet controlled by both tectonics and climate since mid-Pleistocene [J]. Earthquake, 2007, 27 (3): 131 ~ 138.
- [21] 黄荣才. 藏南隆子—措美一带构造特征浅析 [J]. 四川地质学报, 2012, 32 (增刊): 28 ~ 32.
- HUANG Rong-cai. Analysis of the tectonic characteristics in longzi-cuomei [J]. Journal of Sichuan Geology, 2012, 32 (Supp.): 28 ~ 32.
- [22] 孙东, 王道永. 雅鲁藏布江缝合带中段构造特征及成因模式新见解 [J]. 地质学报, 2011, 85 (1): 56 ~ 65.
- SUN Dong, WANG Dao-yong. Structure features of the Middle Yarlung Zangbo Suture Zone and a new knowledge of its genetic model [J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85 (1): 56 ~ 65.
- [23] 张会平, 刘少峰. 利用 DEM 进行地形高程剖面分析的新方法 [J]. 地学前缘, 2004, 11 (3): 226.
- ZHANG Hui-ping, LIU Shao-feng. A new method of using DEM terrain elevation profile analysis [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11 (3): 226.
- [24] 邹斌文, 马维峰, 龙昱, 等. 基于 ArcGIS 的条带剖面提取方法在地貌分析中的应用 [J]. 地理与地理信息科学, 2011, 27 (3): 42 ~ 44.
- ZOU Bin-wen, MA Wei-feng, LONG Yu, et al. Extraction method of swath profile based on ArcGIS and its application in landform analysis [J]. Geography and Geo-Information Science, 2011, 27 (3): 42 ~ 44.
- [25] 阚媛珂, 朱利东, 龚建辉, 等. 基于 ArcView 的带状剖面工具开发及在地貌分析中的应用 [J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2006, 33 (1): 64 ~ 69.
- KAN Ai-ke, ZHU Li-dong, GONG Jian-hui, et al. Development of the swath profile tool based on ArcView GIS and its application in morphometric analysis [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2006, 33 (1): 65 ~ 69.
- [26] Fielding E J. Tibet uplift and erosion [J]. Tectonophysics, 1996, 260 (1/3): 55 ~ 84.
- [27] 孟宪刚, 邵兆刚, 韩建恩. 青藏高原古近纪—新近纪重点古湖泊环境演变序列 [M]. 北京: 地质出版社, 2011: 13 ~ 15.
- MENG Xian-gang, SHAO Zhao-gang, HAN Jian-en. On the paleogene-neogene environmental evolution of the key paleolakes, Tibet [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011: 13 ~ 15.
- [28] Silva Pablo G, Goy J L, Zazo C, et al. Fault-generated mountain fronts in southeast Spain: Geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity [J]. Geomorphology, 2003, 50 (1/3): 203 ~ 225.
- [29] Ramírez-Herrera M T. Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt [J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1998, 23 (4): 317 ~ 332.
- [30] 李利波, 徐刚, 胡健民, 等. 基于 DEM 的活动构造研究 [J]. 中国地质, 2012, 39 (3): 595 ~ 604.
- LI Li-bo, XU Gang, HU Jian-min, et al. An analysis of relative active tectonics based on DEM [J]. Geology in China, 2012, 39 (3): 595 ~ 604.
- [31] Harlin J M. Watershed morpheme try and time to hydrograph peak [J]. Journal of Hydrology, 1984, 67: 141 ~ 154.

ANALYSIS OF GEOMORPHOLOGIC CHARACTERISTICS OF THE YAMZHO YUMCO REGION BASED ON ASTER-GDEM

CHEN Qi-guang, SHAO Zhao-gang, HAN Jian-en, MENG Xian-gang, YU Jia, WANG Jin

(*Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China*)

Abstract: The DEM data, gradually advancing, is applied widespreadly in the analysis of geomorphic. In order to provide important evidences for the tectonic pattern and evolution process of geomorphy in the study area, with detailed field survey and verification as well as searching and compare with former regional geologic data, the characteristics of tectonic geomorphy have been studied, based on data of ASTER-GDEM, the utilization of GIS spatial analysis statistic technology, statistics of geomorphic parameters including the terrain elevation (including the average elevation, the maximum elevation and the minimum elevation), the terrain fluctuation and the surface gradient, graphic and mathematic analysis of the strip profile and the area-elevation integral. The result shows that the study area, characterized by the EW directional basin geomorphy, with highest altitude of 7515 m and lowest altitude of 2581 m, belongs to the area of high-extremely high altitude, while areas within the watershed mainly exhibits geomorphy of plain and hill. With the average fluctuation of 314 m, average gradient of 19° , the terrain fluctuates little and shows layered geomorphy of three grades. The edge of the basin is controlled by faults, where tectonic phenomena develop with obvious characteristics of linear imagines. The east and west part are controlled by the Sangri-Cuona fault belt and the Yadong-Lugu fault belt respectively, in which multi-period tectonic activities are revealed by the elevation profile. Additionally, the south and north part of the watershed basin is controlled by the Rongbu-Zhegu fault and the Qiuduojiang fault, and the faulting in north is more intensive than that in south. Influenced by the combined action of tectonic activities and surface water flow, the geomorphy has entered the aging stage of evolution.

Key words: ASTER-GDEM; Yamzho Yumco; geomorphologic; curve of hypsometric integral