

# 新疆地貌空间分布格局分析

程维明<sup>1</sup>, 柴慧霞<sup>1,2,3</sup>, 周成虎<sup>1</sup>, 陈曦<sup>2</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 以高分辨率遥感影像为本底数据的最新新疆地貌数据, 能提高定量化地貌格局分析结果的准确性、客观性和科学性。本文利用地学统计和 GIS 空间分析方法, 基于最新新疆地貌数据, 定量化分析了地貌的分布特征、空间格局。结果表明: (1) 大地貌单元中, 平原地貌约占新疆总面积的 1/3; (2) 地势分级, 中海拔地貌占绝对优势, 约占全疆总面积 1/2; (3) 形态类型中, 丘陵地貌在地势起伏中占主导地位, 面积最大, 主要分布在两大沙漠中, 以沙丘形式分布; (4) 基本地貌类型, 中海拔丘陵最多, 占总面积的 21.417%; (5) 成因类型中, 流水、风成和干燥作用占主导地位; (6) 受不同形成条件和控制范围的影响, 新疆成因类型的分布特征随着海拔和起伏的变化而变化; (7) 总体上, 新疆地貌的空间格局呈现出两大特征: 水平环形特征和垂直地带性特征。

**关键词:** 新疆; 地貌; 分布特征; 空间格局

文章编号: 1000-0585(2009)05-1157-13

## 1 引言

地球表面一切地貌类型不论其规模大小和形态如何, 其形成和发展演化均要受到内力和外力的共同作用。由于地貌营力组合的不同, 造就了不同的地貌格局<sup>[1]</sup>。作为地貌学研究的重要内容之一, 研究地貌格局对深入分析地貌成因、地貌演化、地貌利用、生态修复、环境保护等具有重要意义, 而且地貌类型及其分布格局可作为研究活动构造及评估地震危险性的标志<sup>[2]</sup>。

地貌格局研究, 就是对地貌结构及其空间分布特征的分析, 大体分为三种: 一是针对区域地貌特征或单一地貌类型的格局研究<sup>[3~6]</sup>, 并进行地貌分区<sup>[7~10]</sup>; 二是研究地貌分布特征与生态问题<sup>[11~13]</sup>、自然灾害之间的关系<sup>[2~14]</sup>; 三是分析地貌格局的形成演化机制和发育模式, 揭示地貌形成演化的内在规律和外在地学背景<sup>[15~21]</sup>。

新疆具有典型的亚洲大陆内陆干旱区地貌特征, 地形复杂, 地貌类型种类繁多。对新疆地貌分析较为全面的文献是《新疆地貌》<sup>[22]</sup>和《新疆地貌概论》<sup>[23]</sup>。1978年出版的《新疆地貌》依据区域差异性和相似性, 按照分级分区的方式对新疆的空间地貌格局进行了地貌分区。1994年出版的《新疆地貌概论》按照 1:100 万国际标准分幅对新疆地貌进行了描述, 且对各分幅内的地貌单元做了量化统计, 按照新疆的行政单元统计了地县级以上单

收稿日期: 2009-03-12; 修订日期: 2009-07-20

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40871177), 国家重点实验室基金项目-中国数字地貌空间分布格局图谱研究 (088RA304SA) 和中国科学院知识创新工程重大项目 (新疆后备耕地开发潜力研究) 共同资助。

作者简介: 程维明 (1973-), 男, 甘肃天水人, 副研究员。主要从事数字地貌与地学信息图谱方面的研究, 已发表相关学术论文 60 余篇。

位内的地貌类型的面积,并结合地貌条件与农、林、牧业生产、环境保护、自然灾害等问题进行了论述,成为当时研究新疆地貌较系统的专著,具有定量分析的优势,该书是按照分幅统计和分析描述,缺乏对整个新疆地貌不同类型的空间分布格局的系统分析。

本文在当前先进技术手段和高精度数据源的基础上,对新疆地貌的空间分布格局进行分析,对所有地貌类型的界定都是以最新的地貌类型的分类体系为标准(具体地貌类型的定义可参考《地貌学辞典》)<sup>[24]</sup>。同时,全国 1:100 万地貌图集已于 2009 年 3 月正式出版,其中,涉及新疆地区的分幅图共有 16 幅。

## 2 基于遥感影像的新疆数字地貌解析

本文中的新疆地貌数据是基于最新的遥感影像和高分辨率的 SRTM-DEM 等多源数据,由区域地貌专家利用 ArcGIS 软件综合解析获得的。详细的解析过程可参考《新疆数字地貌分类及编码体系》<sup>①</sup>和《数字地貌遥感解析与制图》<sup>[25]</sup>。受篇幅所限,此处只分析新的新疆地貌数据与《新疆地貌》和《新疆地貌概论》比较具有的优势特征,以此来进一步说明在当前新数据的基础上进行新疆地貌空间格局分析的科学意义与价值。

### 2.1 地貌分类原则

《新疆地貌》依据地貌成因原则进行地貌类型划分,在成因类型之下再按照地貌形态、物质组成、地形年龄等进行细化;《新疆地貌概论》中,以形态成因为分类原则;最新地貌数据,采用包括形态成因统一、主导因素、分类逻辑性、定量化分类、开放性原则等多种地貌分类原则相结合。可见形态成因原则已成为大家所公认的地貌分类基本原则。但是,只采用单一的地貌分类原则不能保证地貌类型划分的完整性和多样性,新地貌数据采用多种分类原则,比原有地貌分类原则更为系统、完善,为构建统一系统的地貌分类体系提供了科学指导。

### 2.2 地貌分类指标

三者所选用的地貌分类指标大体相同,不同的是具体的量化标准。新地貌数据在沿用前人量化指标的基础上,结合区域地貌特征,在多源数据的支持下作了适当的优化调整。新疆地域辽阔,地貌类型复杂,地貌形态起伏高度和地貌面海拔高度分级一个指标难于全面反映各地地貌结构差异的客观规律,因而在编制新疆地貌数据时,在统一的海拔划分标准下(界线为 1000m、3500m、5000m)<sup>[25,26]</sup>,按照地貌规律依据当地的冰缘(多年冻土)下限作对中、高海拔的分界线进行调整,依据现代雪线下界对高海拔和极高海拔的分界线进行适当调整<sup>[22,23]</sup>。阿尔泰山南坡干燥上限大致为 1000~1500m,冰缘下限大致为 2400m,现代雪线 3200m。天山北坡:干燥上限 2000m;冰缘下界 2800m;现代雪线 3500m;天山南坡:干燥上限 2000~2500m;冰缘下界 西 3500m,向东逐渐降低,巴里坤附近 3200m,东端最低处 3000m;现代雪线天山南坡西 4500m、中 4200m、东 4000m、天山内部,3500m。昆仑山山脉,冰缘下界基本上为西部为 3500m,中东部为 4600~4800m;现代雪线大致上西部为 4500m,中东部为 5500m。总的来说,随着纬度的升高,现代雪线下降。这些干燥、冰缘及现代雪线的数值都是大致的局部平均值,并不是绝对值。

### 2.3 地貌分类方案

三者都采用分级的地貌分类体系,但受数据资料的限制,划分的详细程度存在差异。

①中国科学院地理科学与资源研究所,新疆数字地貌分类及编码体系,2007.12

(1)《新疆地貌》分三级，第一级按照大地貌单元分为平原和山地两大类；第二级依据外营力作用过程划分类型组；第三级根据地貌形态、年龄结合物质组成划分地貌类型。(2)《新疆地貌概论》按照地貌规模先宏观，后微观，先群体，后个体，分四级。第一级指受大地构造控制的大型地貌类型；第二级指内外营力共同形成的基本形态类型；第三级指内外营力作用下的基本形态成因类型；第四级指内外营力作用下的次级形态成因类型。(3)新地貌数据的分类方案共6级7层(表1)，层次分明，系统完整，分类更为详细。

表1 基于全国统一的新疆数字地貌分类方案(形态成因类型)

| Tab 1 The classification system of digital geomorphology in Xinjiang |      |      |       |       |       |         |         |
|--|------|------|-------|-------|-------|---------|---------|
| 地貌纲  | 地貌亚纲 | 地貌类  | 地貌亚类  |       | 地貌型   | 地貌亚型    |         |
| 第一级  | 第二级  | 第三级  | 第四级   |       | 第五级   | 第六级     |         |
| 基本地貌形态类型   |      | 成因类型 |       |       | 形态类型  | 物质类型    |         |
| 第一层  |      | 第二层  | 第三层   | 第四层   | 第五层   | 第六层     | 第七层     |
| 起伏高度   | 海拔高度 | 成因类型 | 次级成因  | 形态    | 次级形态  | 坡度坡向及组合 | 物质组成或岩性 |
| 平原   | 低海拔  | 湖成   | 随成因类  | 按照次级成 | 随形态而  | 平原和山地:  | 按照成因类型、 |
| 台地   | 中海拔  | 流水   | 型变化而  | 因来进一步 | 变,需进一 | 平坦的     | 地表物质组成、 |
| 丘陵   | 高海拔  | 风成   | 变化,基  | 细分的形态 | 步细分的  | 倾斜的     | 岩性来区分   |
| 小起伏山地  | 极高海拔 | 冰川   | 本分为抬  | 类型    | 形态类型  | 起伏的     |         |
| 中起伏山地  |      | 冰缘   | 升/侵蚀、 |       |       | 丘陵和山地:  |         |
| 大起伏山地  |      | 干燥   | 下降/堆积 |       |       | 平缓的     |         |
| 极大起伏山地   |      | 黄土   | 两种    |       |       | 缓的      |         |
|  |      | 喀斯特  |       |       |       | 陡的      |         |
|  |      | 火山熔岩 |       |       |       | 极陡的     |         |

新的新疆数字地貌数据不管是在数据源、数据解析方法、技术手段以及地貌制图过程方面，都在前人研究的基础上有很大改进(表2)。本文选用该数据库中的新疆地貌类型数据进行地貌空间格局研究，大大提高了系统性量化地貌空间特征的可靠性，使得定位、定性、定量化研究结果更准确，具有坚实的科学基础。

表2 新地貌数据与《新疆地貌》、《新疆地貌概论》的比较

Tab 2 The comparison among new data, Xinjiang Geomorphology and The Conspectus of Xinjiang Geomorphology

|      | 《新疆地貌》                     | 《新疆地貌概论》                                   | 新地貌数据  |
|------|----------------------------|--|--|
| 数据源  | 多年野外实地考察资料                 | 1:50万的卫星像片、1:50万的地貌标描地图、1:20万的地形图、地质图，航空相片 | 30m分辨率的landsat遥感影像，90m分辨率的SRTM-DEM数据，历史地貌图，地质图，地形图 |
| 数据解析 | 在系统整理和总结多年野外实地考察资料的基础上完成   | 综合分析资料数据，制作草图，在98条野外路线考察的基础上修正完成           | ArcGIS软件平台，解译遥感影像，建立数字地貌数据库                        |
| 最终成果 | 新疆地区1:150万的地貌类型图和地貌分类体系，专著 | 新疆1:100万地貌类型图和地貌分类体系，专著                    | 新疆1:100万地貌类型数据库(电子版)、地貌图(纸质版)和地貌分类体系，地貌说明书等专著      |

### 3 新疆地貌空间格局

#### 3.1 新疆地貌总体特征

文中所有面积为投影面积。根据地貌类型数据,新疆总面积约为  $164.032 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。相对于山地来说,新疆平原地貌约占总面积的三分之一左右,面积  $61.781 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。平原和山地大地貌单元布状况见图 1,其中平原地貌类型大多分布在山间谷地、盆地,以及沙漠边缘的过渡带上,大多数顺着河流延伸,或分布在河流交汇地,呈条带状分布,其延展方向随着地形的变化而变化;北疆的平原地貌大体上呈三角形状分布特征,南疆则呈椭圆形环状分布。山地地貌类型整体上接近于东西走向,顺着山形呈带状分布;昆仑山和天山连在一起呈“C”形特征分布。需要补充的是,依据《中国 1:100 万地貌图制图规范》和《数字地貌遥感解析与制图》大地貌单元的划分标准,平原大地貌单元包括平原和台地形态类型;山地大地貌单元包括丘陵、小起伏山地、中起伏山地、大起伏山地和极大起伏山地形态类型。

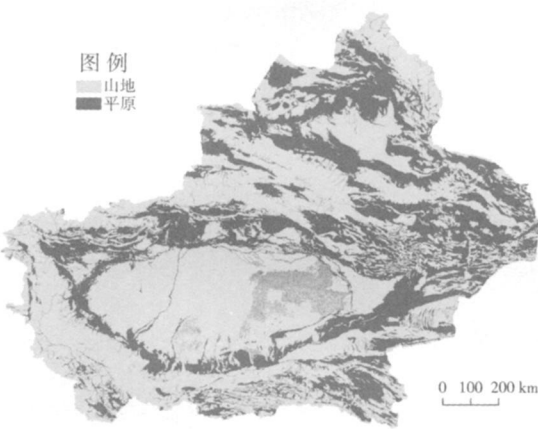


图 1 新疆平原、山地地貌分布略图  
Fig. 1 Distribution of plains and mountains in Xinjiang

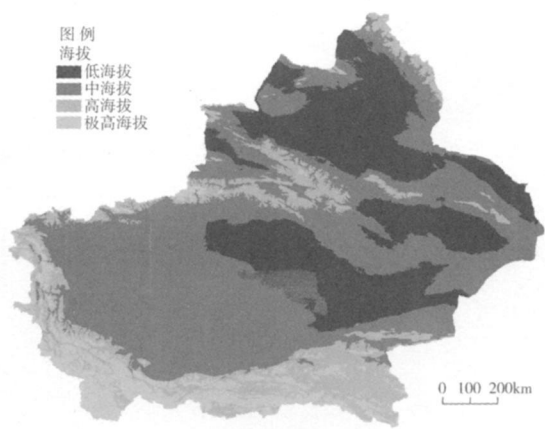


图 2 新疆不同海拔地貌分布略图  
Fig. 2 Distribution of different altitudes in Xinjiang

**3.1.1 不同海拔区域地貌特征** 根据“中国 1:100 万数字地貌分类体系”的海拔分级标准,以 1000m、3500m 和 5000m 将全国海拔划分为低海拔、中海拔、高海拔和极高海拔四个等级。依据全国海拔分类指标和新疆地域特征,经过区域地貌专家综合知识判断,得出新疆地貌在不同海拔区域的面积(表 3),中海拔地貌所占面积为  $81.391 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,表明新疆将近一半地区属于中海拔地貌区。极高海拔区域分布面积较少,面积仅有  $13.404 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。新疆地貌在中海拔-低海拔-高海拔-极高海拔的分布面积逐渐减少。

表 3 新疆地貌不同海拔高度分布面积

Tab 3 The area of geomorphologic types with different altitudes

| 海拔                                | 低海拔     | 中海拔         | 高海拔         | 极高海拔    |
|-----------------------------------|---------|-------------|-------------|---------|
|                                   | < 1000m | 1000~ 3500m | 3500~ 5000m | > 5000m |
| 面积 ( $\times 10^4 \text{ km}^2$ ) | 45 259  | 81. 391     | 23 978      | 13 404  |
| 百分比 ( % )                         | 27. 592 | 49 619      | 14 617      | 8 172   |

据新疆地势分布图 2 可知，低海拔主要分布在准噶尔盆地、塔里木河中下游两岸以及吐哈盆地等地区；中海拔主要分布在塔里木盆地、嘎顺戈壁、卡拉麦里—北塔山等地区；阿尔泰山和天山的大部分地区属于高海拔，昆仑山脉主体大部分为极高海拔区域。总的来说，北疆海拔低于南疆，北疆地形以低海拔为主，南疆地形以中海拔为主。低海拔与中海拔地貌由于所占面积较大，而且分布较为集中，因此它们的空间分布特征基本上均呈现出面状分布；高海拔地貌在阿尔泰山和天山地区分布最多，随着山势走向呈条带状分布，在昆仑山东部和阿尔金山地区则呈片状分布；极高海拔主要分布在昆仑山脉地区，随着山势走向呈条带状分布。图 2 中，塔里木盆地中东部介于低海拔和中海拔之间的一个三角形区域看起来与其他地区颜色明显不同，实际上是该区域低海拔与高海拔杂乱的交错分布造成的，说明该区域海拔变化大，地表破碎。新疆地形的总体趋势为西高东低，南高北低。

**3 1 2 不同起伏区域地貌特征** 平原、台地类型依据切割深度来划分，丘陵、山地则依据地面起伏高度来划分，地貌分类指标统称为起伏度。依据地势起伏度的分类等级及指标(表 4)，丘陵地貌所占比重最大，面积为  $55\,298\times 10^4\text{ km}^2$ ；其次是平原地貌，面积为  $49\,099\times 10^4\text{ km}^2$ ，切割深度一般小于 30m；面积最小为极大起伏山地，面积仅为  $0.681\times 10^4\text{ km}^2$ ，起伏高度大于 2500m。起伏度分级类型其面积由大到小的排列顺序依次为丘陵—平原—中起伏山地—大起伏山地—台地—小起伏山地—极大起伏山地。

表 4 新疆地貌不同起伏度分布面积

Tab 4 The area of geomorphologic types with different reliefs

| 起伏度 (m)                  | 面积 ( $10^4\text{ km}^2$ ) | 百分比 (%) | 备注 ( $10^4\text{ km}^2$ ) |
|--------------------------|---------------------------|---------|---------------------------|
| 平原 (切割深度一般< 30m)         | 49 099                    | 29.933  | 其中包含沙地面积 3 480            |
| 台地 (切割深度一般> 30m)         | 12 682                    | 7.731   |                           |
| 丘陵 (起伏高度< 200m)          | 55 298                    | 33.712  | 其中包含沙丘面积 39 326           |
| 小起伏山地 (起伏高度 200~ 500m)   | 11 814                    | 7.202   | 其中包含沙山面积 0 281            |
| 中起伏山地 (起伏高度 500~ 1000m)  | 21 096                    | 12.861  |                           |
| 大起伏山地 (起伏高度 1000~ 2500m) | 13 362                    | 8.146   |                           |
| 极大起伏山地 (起伏高度> 2500m)     | 0.681                     | 0.415   |                           |

需说明的是：沙丘与丘陵，沙山与山地，两两之间存在差异的，但是为统一地貌分类体系，新的地貌数据中将沙地归为平原地貌，将沙丘和沙山归为丘陵地貌，将沙山归为小起伏山地，作为统一的地貌分类以举起进行归纳统计。若分别从平原、丘陵、和小起伏山地类型中将风成地貌剔除，则它们的面积分别是  $45.619\times 10^4\text{ km}^2$ 、 $15.972\times 10^4\text{ km}^2$ 、 $11.533\times 10^4\text{ km}^2$ 。

新疆的地势起伏分布图反映出(图 3)，阿尔泰山脉主要是小起伏山地和中起伏山地，天山山地主要是中起伏山地和大起伏山地，昆仑山系主要是大起伏山地和极大起伏山地。平原和台地主要分布在沙漠边缘与山地的过渡地区，以及山间盆地中。小起伏山地中包括低山、中山、高山和极高山；中起伏、大起伏山地分别包括中山、高山和极高山；极大起伏山地只包括极大起伏极高山。所有山地地貌大都随着山脉走向呈条带状分布；平原地貌在准噶尔盆地和塔里木盆地大体上围绕盆地边缘呈环形分布；台地地貌由于分布较零散，空间特征不明显。

**3 1 3 基本类型地貌特征** 由海拔和起伏度两个指标组合后，可得出新疆基本地貌类型总共 23 种。

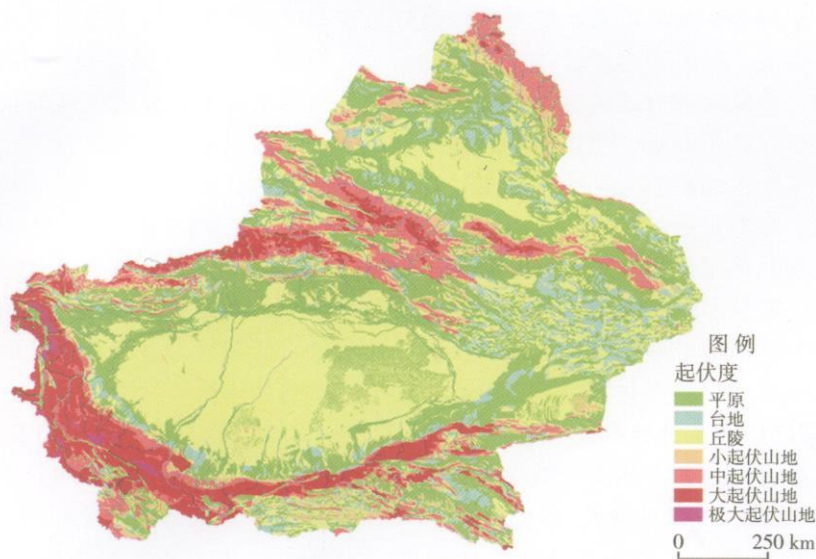


图 3 新疆地势起伏分布略图

Fig. 3 Distribution of geomorphologic types

表 5 新疆地貌基本类型分布面积 (10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>)

Tab 5 The area of basic geomorphologic types

| 代码 | 基本地貌类型 | 面积     | 百分比(%) | 代码 | 基本地貌类型  | 面积    | 百分比(%) |
|----|--------|--------|--------|----|---------|-------|--------|
| 11 | 低海拔平原  | 22 292 | 13 590 | 41 | 小起伏低山   | 0 250 | 0 152  |
| 12 | 中海拔平原  | 22 028 | 13 429 | 51 | 小起伏中山   | 7 795 | 4 752  |
| 13 | 高海拔平原  | 4 098  | 2 498  | 52 | 中起伏中山   | 9 698 | 5 912  |
| 14 | 极高海拔平原 | 0 681  | 0 415  | 53 | 大起伏中山   | 1 028 | 0 627  |
| 21 | 低海拔台地  | 4 946  | 3 015  | 61 | 小起伏高山   | 2 086 | 1 272  |
| 22 | 中海拔台地  | 5 711  | 3 482  | 62 | 中起伏高山   | 8 342 | 5 086  |
| 23 | 高海拔台地  | 1 701  | 1 037  | 63 | 大起伏高山   | 6 432 | 3 921  |
| 24 | 极高海拔台地 | 0 324  | 0 198  | 71 | 小起伏极高山  | 1 683 | 1 026  |
| 31 | 低海拔丘陵  | 17 771 | 10 834 | 72 | 中起伏极高山  | 3 056 | 1 863  |
| 32 | 中海拔丘陵  | 35 131 | 21 417 | 73 | 大起伏极高山  | 5 902 | 3 598  |
| 33 | 高海拔丘陵  | 1 319  | 0 804  | 74 | 极大起伏极高山 | 0 681 | 0 415  |
| 34 | 极高海拔丘陵 | 1 077  | 0 657  |    |         |       |        |

比较分析它们的面积分布特征 (表 5), 中海拔丘陵最多, 面积为  $35\,131\times10^4\text{ km}^2$ , 占总面积的 21. 417%; 低海拔平原和中海拔平原的面积分别为  $22\,292\times10^4\text{ km}^2$ 、 $22\,028\times10^4\text{ km}^2$ , 分别占总面积的 13. 590%、13. 429%; 极高海拔平原—极大起伏极高山—极高海拔台地—小起伏低山四种基本地貌类型在新疆分布很少, 而且它们之间面积也依次减少, 面积分别为  $0.681\times10^4\text{ km}^2$ 、 $0.681\times10^4\text{ km}^2$ 、 $0.324\times10^4\text{ km}^2$ 、 $0.250\times10^4\text{ km}^2$ , 占总面积的百分比分别为 0. 415%、0. 415%、0. 198%、0. 152%。由此可见, 新疆地貌类型以中海拔丘陵地貌为主, 低海拔平原、中海拔平原地貌为辅。

3 2 新疆地貌成因类型分布特征

新疆基本成因地貌类型有 9 种, 除了海洋地貌, 所有陆地上的成因类型基本完备, 各

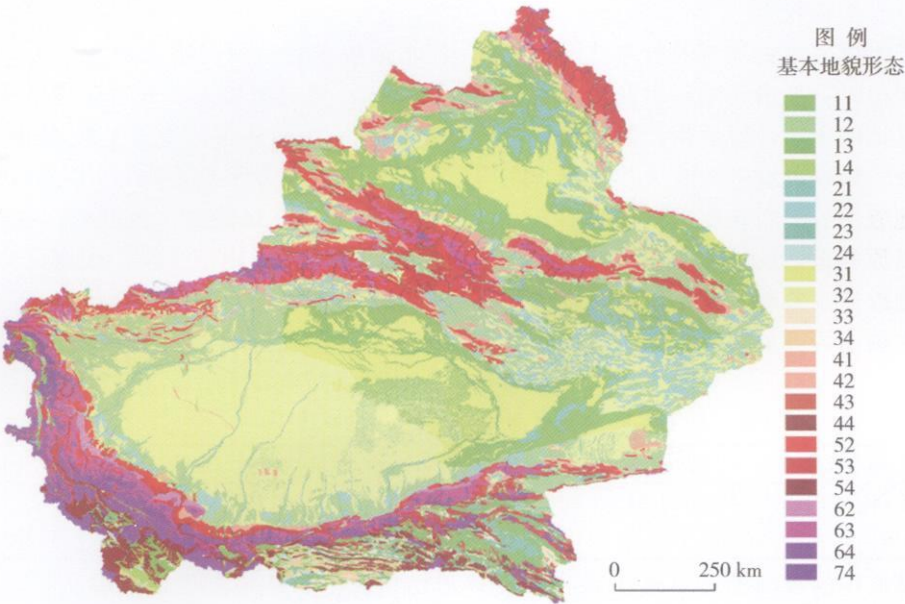


图 4 新疆基本地貌类型分布略图  
Fig. 4 Distribution of basic geomorphologic types

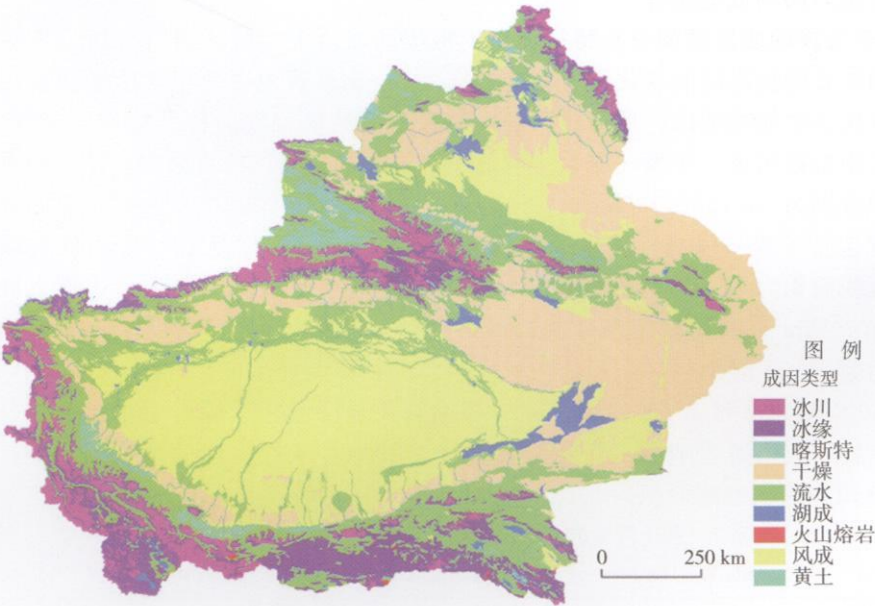


图 5 新疆基本成因类型分布略图  
Fig. 5 Distribution of geomorpho-genetic types

类型的面积分布特征见表 6。基本成因地貌类型中，所占比重较大的依次是流水、风成和干燥，面积分别为  $44.481 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 $43.087 \times 10^4 \text{ km}^2$  和  $42.703 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，分别占总面积的 27.117%、26.267% 和 26.034%。也就是说流水、风成和干燥作用这三种外营力对塑造新疆地貌起了主要作用，其次是冰川和冰缘作用的影响，火山熔岩地貌和喀斯特地貌在



新疆的分布面积较少。

各基本成因地貌类型的分布状况见图 5。流水地貌主要沿河网水系分布，大多分布在山地的中山带、低山丘陵区以及盆地或盆地的边缘区；风成地貌主要分布在塔里木和准噶尔两大盆地的中心沙漠地带，其余地方也有零星沙丘、沙地分布；干燥地貌在吐哈盆地、嘎顺戈壁、诺敏戈壁等地有大片分布，在中山、低山丘陵以及平原台地区均有分布；冰川和冰缘地貌主要分布在高山和极高山区，而且昆仑山山系分布最多，西昆仑、喀喇昆仑、帕米尔高原等地区的地貌类型主要受冰川作用影响，中东昆仑则是冰缘作用占优势，阿尔金山的则以流水地貌为主；伊犁盆地主要受流水地貌和黄土地貌共同控制；湖成地貌则主要分布在湖泊周围如赛里木湖、博斯腾湖、乌伦古湖等周围。

表 6 新疆地貌成因类型分布面积

Tab 6 The area of geomorpho-genetic types

| 基本成因                                  | 流水     | 风成     | 干燥     | 冰缘     | 冰川     | 黄土    | 湖成    | 喀斯特   | 火山熔岩  |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 面积 (10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup> ) | 44 481 | 43 087 | 42 703 | 15 152 | 11 319 | 3 779 | 3 309 | 0 117 | 0 085 |
| 百分比 (%)                               | 27.117 | 26.267 | 26.034 | 9.237  | 6.901  | 2.304 | 2.017 | 0.071 | 0.052 |

新疆地貌的成因类型呈现出垂直带及环形结构特征，从极高山区到盆地内部，依次为：极高山和高山区的冰川地貌、高山区寒冻风化作用的冰缘地貌、中山区的流水地貌、低山丘陵区的干燥地貌、山前平原区流水作用的冲积扇和冲积洪积平原、盆地中部为风成地貌及河流尾间的湖成地貌等。

3.2.1 基于海拔的成因类型分布特征 基于海拔的成因类型特征进行分析，地貌外营力作用的影响随着海拔高度的变化而变化。根据表 7，高海拔地区所包含的地貌成因类型种类最多，其次是中海拔地区，低海拔和极高海拔地区的地貌成因种类最少。低海拔地区，地貌成因类型包括风成—干燥—流水—湖成—黄土地貌，面积依次减少；前三种地貌成因类型的面积分别为  $15.718 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 $15.389 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 $10.935 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。中海拔地区地貌成因类型包括干燥—风成—流水—黄土—冰川—湖成—冰缘地貌，面积依次减少；其中，干燥地貌面积为  $27.306 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，风成地貌面积为  $27.183 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，流水地貌面积为  $22.703 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。高海拔地区地貌成因类型包括流水—冰缘—冰川—湖成—风成—喀斯特—火山熔岩—干燥地貌，面积依次减少；前三种成因类型的面积分别为  $10.843 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 $7.760 \times 10^4 \text{ km}^2$  和  $4.767 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。极高海拔地区地貌成因类型包括冰缘—冰川—湖成—喀斯特—火山熔岩地貌，面积依次减少，其中，冰缘作用的地貌面积为  $7.185 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，冰川作用的地貌面积为  $6.030 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

表 7 基于海拔的新疆地貌成因类型分布面积 (10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>)

Tab 7 The area of geomorpho-genetic types based on altitude

| 成因 | 冰川   | 冰缘    | 干燥    | 流水     | 湖成     | 风成    | 黄土     | 喀斯特   | 火山熔岩  |
|----|------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|
| 海拔 | 低海拔  | —     | —     | 15.389 | 10.935 | 2.468 | 15.718 | 0.749 | —     |
|    | 中海拔  | 0.522 | 0.207 | 27.306 | 22.703 | 0.440 | 27.183 | 3.030 | —     |
|    | 高海拔  | 4.767 | 7.760 | 0.008  | 10.843 | 0.322 | 0.186  | —     | 0.058 |
|    | 极高海拔 | 6.030 | 7.185 | —      | —      | 0.079 | —      | —     | 0.059 |

分析不同海拔地区，各地貌成因类型的面积分布特征（图 6）得知：第一，干燥、风成、流水和黄土地貌的空间分布趋势大致相同，在中海拔地区所占面积比例最大，以中海拔为拐点，海拔降低或升高，各类型面积比例都呈下降趋势；并且干燥和风成地貌的面积



比率趋势线几乎完全重叠。第二，冰川、冰缘、喀斯特、火山熔岩四种成因类型空间分布特征较为相似，所占面积都是随着海拔的增高而增加，并且冰川地貌面积比例趋势线接近于冰缘地貌面积比例趋势线，喀斯特地貌面积比例趋势线接近于火山熔岩地貌面积比例趋势线。第三，湖成地貌较为独特，在各海拔地区均有分布，而且随着海拔的升高，分布面积呈下降趋势。

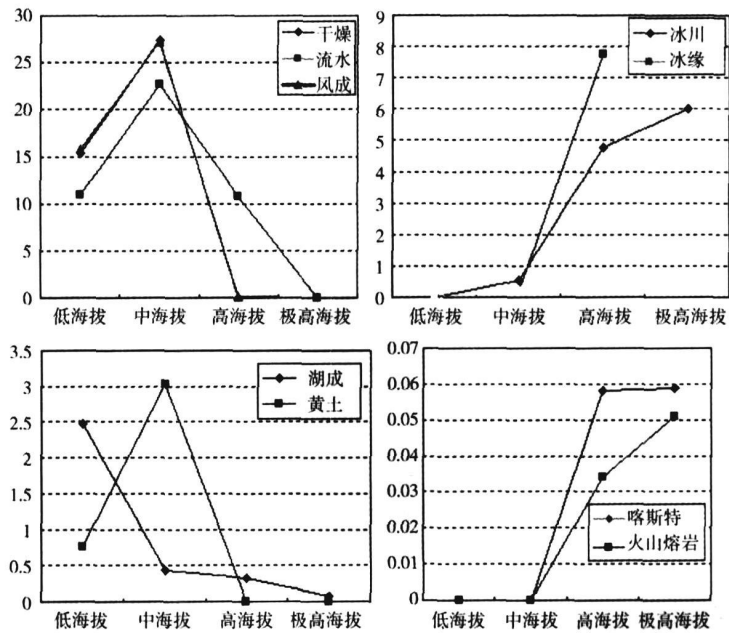


图 6 新疆不同成因地貌在不同海拔地区面积百分比 (纵轴为面积百分比, 横轴为海拔分级)

Fig. 6 The percentage of geomorpho-genetic types based on altitude (The vertical axis is percentage of the area, and the horizontal axis is the classification of altitude)

3 2 2 基于起伏的成因类型分布特征 按照平原、台地、丘陵和山地四大类型来对比分析各成因地貌类型的分布特征, 见表 8。平原地貌和丘陵地貌所包含的成因类型最多, 都包括 8 种地貌成因类型; 山地地貌整体上包含地貌成因类型较全, 但其中的极大起伏山地区地貌成因类型只有冰川作用一种, 面积为  $0.681 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。平原区包括的地貌成因类型有流水—干燥—风成—湖成—冰川—冰缘—黄土—火山熔岩地貌, 面积依次减少; 台地地

| 表 8 基于起伏的新疆地貌成因类型分布面积 (10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup> )  |        |       |        |        |       |        |       |        |        |       |
|---|--------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|
| Tab 8 The area of geomorpho-genetic types based on relief |        |       |        |        |       |        |       |        |        |       |
| 成因  | 冰川     | 冰缘    | 干燥     | 流水     | 湖成    | 风成     | 黄土    | 喀斯特    | 火山熔岩   |       |
| 平原  | 0 964  | 0 681 | 16 585 | 24 261 | 2 842 | 3. 480 | 0 278 | —      | 0 008  |       |
| 台地  | 0 135  | 0 720 | 8 466  | 2 384  | 0 467 | —      | 0 481 | —      | 0 029  |       |
| 丘陵  | 0 086  | 1 783 | 11 869 | 1 053  | —     | 39 326 | 1 152 | 0. 004 | 0 025  |       |
| 起伏  | 小起伏山地  | 0 132 | 2 684  | 3 807  | 4 049 | —      | 0 281 | 0 819  | 0. 031 | 0 011 |
|   | 中起伏山地  | 2 961 | 6 219  | 1 875  | 9 182 | —      | —     | 0 822  | 0. 025 | 0 012 |
|   | 大起伏山地  | 6 360 | 3 065  | 0 101  | 3 552 | —      | —     | 0 227  | 0. 057 | —     |
|   | 极大起伏山地 | 0 681 | —      | —      | —     | —      | —     | —      | —      | —     |

貌包括干燥—流水—冰缘—黄土—湖成—冰川—火山熔岩 7 种地貌成因类型, 面积依次减少; 丘陵地貌包括风成—干燥—冰缘—黄土—流水—冰川—火山熔岩—喀斯特 8 种地貌成因类型, 面积依次减少; 小起伏山地地貌包括的成因地貌类型有流水—干燥—冰缘—黄土—风成—冰川—喀斯特—火山熔岩地貌, 面积依次减少; 中起伏山地地貌包括流水—冰缘—冰川—干燥—黄土—喀斯特—火山熔岩 7 种地貌成因类型, 面积依次减少; 大起伏山地地貌包括冰川—流水—冰缘—黄土—干燥—喀斯特 6 种地貌成因类型, 面积依次减少。

基于起伏的成因地貌类型分布特征 (图 7), 主要包括以下几个方面: 第一, 基于起伏的冰川地貌和冰缘地貌的空间分布特征相似, 都集中在山地区, 冰川作用的地貌主要表现为大起伏山地, 冰缘作用的地貌主要表现为中起伏山地。第二, 基于起伏的湖成、干燥和流水地貌的空间分布趋势相近, 总体上随着起伏度的增加分布面积减少, 它们各自所表现出来的主要地貌特征均为平原地貌, 切割深度一般小于 30m。第三, 基于起伏的风成地貌种类只有三种, 集中表现为丘陵地貌, 平原地貌面积次之, 仅有很小面积的小起伏山地地貌类型。第四, 黄土、喀斯特和火山熔岩地貌基于起伏的分布特征相对而言不突出, 面积都很小, 各起伏类型之间的面积差异较小。

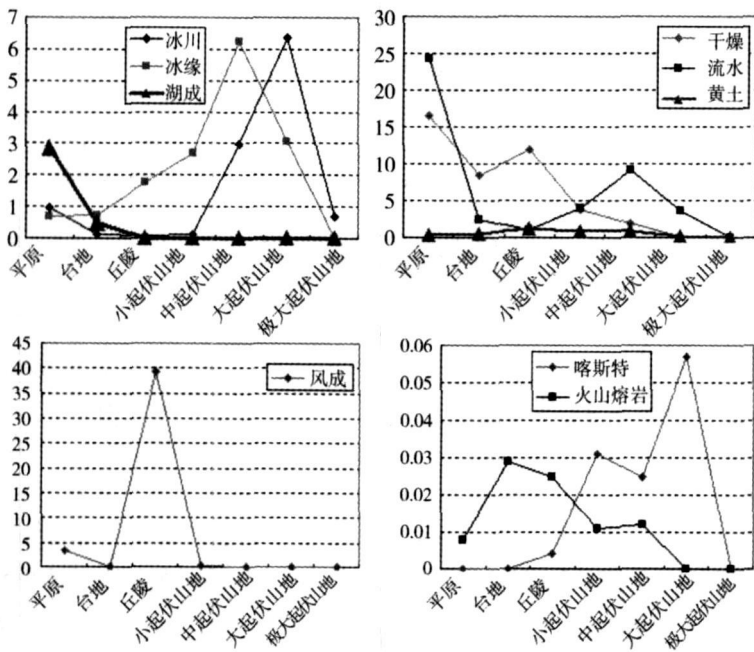


图 7 基于起伏的成因地貌类型面积分布特征 (纵轴为面积/ $\times 10^4 \text{ km}^2$ , 横轴为起伏分级)

Fig 7 Distribution of geomorpho-genetic types based on relief (The vertical axis is area (unit:  $10^4 \text{ km}^2$ ), and the horizontal axis is the classification of relief)

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

通过分析最新的新疆地貌数据, 可得出以下结论:

(1) 新疆地貌总面积约  $164\,032 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 其中: 平原地貌为  $61\,781 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 包括平原和台地类型; 山地地貌面积为  $102\,251 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 包括丘陵、小起伏山地、中起伏

山地、大起伏山地和极大起伏山地; 平原地貌相对于山地地貌约占新疆总面积的  $1/3$ 。

(2) 根据海拔, 中海拔地貌占绝对优势, 面积  $81.391 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 约占全疆总面积 50%; 极高海拔地貌分布较少, 面积仅  $13.404 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。按照基本地貌类型, 中海拔丘陵最多, 面积为  $35.131 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 占总面积的 21.417%; 小起伏低山分布面积最少, 只有  $0.250 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 占总面积的 0.152%。

(3) 按照地势起伏分析, 新疆丘陵面积为  $55.298 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 面积最大, 主要分布在两大沙漠中, 以沙丘形式分布。平原和台地主要分布在沙漠边缘与山地的过渡地区: 平原地貌在准噶尔盆地和塔里木盆地大体上围绕盆地边缘呈环形分布, 台地地貌由于分布较零散, 空间特征不明显。所有山地地貌大都随着山脉走向呈条带状分布: 小起伏山地主要分布在阿尔泰山, 中起伏山地主要分布在阿尔泰山和天山山地, 大起伏山地主要分布在天山和昆仑山山地, 极大起伏山地主要分布在昆仑山脉。

(4) 按照成因类型, 大致可以分为三类, 一是占主导地位的流水、风成和干燥地貌, 三者面积相差不大; 二是处于中间地位的冰缘、冰川地貌, 所占面积大小相近; 三是处于劣势的黄土、湖成、喀斯特和火山熔岩地貌, 特别是后两种成因类型相对于第一类其面积都可以忽略不计。

(5) 基于海拔和起伏的成因类型分布, 受不同形成条件和控制范围的影响, 成因类型的分布特征随海拔和起伏的变化而变化, 总体来说分为两种: 升高和降低。如新疆的冰川、冰缘地貌在阿尔泰山、天山和昆仑山三大山脉的分布特征, 清晰地反映了海拔、起伏等地形因子对地貌外营力分布的制约作用。人们形象地称阿尔泰山为袖珍冰川区, 天山为现代冰川区, 昆仑山则是山岳冰川的王国。

总的来讲, 新疆地貌的空间分布特征归纳两大特征: 水平环形特征和垂直地带性特征。水平环形特征包括山前环形平原带, 主要是冲积洪积扇带; 剥蚀起伏平原区, 主要是干燥剥蚀作用的地貌区; 以及山间盆地与河谷。垂直地带性特征, 从山顶到山脚依次为: 积雪冰川作用地貌带—多年冻土冰缘作用地貌带—流水作用地貌带—干燥地貌作用带(黄土作用带)。

## 4.2 讨论

(1) 新地貌数据为地貌格局分析提供了坚实的科学基础和保证。新地貌数据以新的地貌分类体系为地貌划分依据, 该分类体系确定了地貌研究统一的科学基础, 构建了统一的地貌分类体系和分类方案, 用地图的形式总结中国地貌科学研究的已有成果, 综合、全面、系统地反映我国丰富多样的地貌类型的发生和发展过程及其空间分异。

(2) 以高分辨率遥感影像为本底数据, 新地貌数据能够确保定量化地貌格局分析结果的准确性、客观性和科学性。以往研究中由于资料欠缺与不足, 数据难以覆盖整个研究区域, 难免会出现以点代面的推测与判断。而新地貌类型数据是通过参考 90m 分辨率的 SRTM-DEM 数据, 解译 30m 分辨率的 TM 遥感影像获得的, 为地貌定量化分析结果的精确性提供有力保障。

(3) 依据新疆地貌数据的分类体系共有七层数据, 共划分了约 620 多种地貌类型, 其中平原地貌分为 370 多种, 山地地貌大概有 250 多种, 若想同时对所有地貌类型逐一进行特征分析, 并不现实。因此, 本文仅是从全局的角度对新疆地貌的整体特征进行分析, 先从宏观上掌握新疆地貌的分布特征及其空间格局。

(4) 部分地貌类型的面积统计分析可能存在一定的差异。因为本文中的地貌数据是利用 TM 遥感影像与 SRTM-DEM 数据解译完成的, 虽然制定了一系列定量、定性的指标, 但是某些地貌类型边界和属性判断还是会借助于主观判断来确定, 会存在一定的模糊性, 需要实地勘测调查来修订, 所以现有的定量化结果, 在所难免的会与实际情况存在一定的差异。例如平原、山地的划分标准不同, 计算出的面积也会存在差异。按照地貌起伏度类型, 本文中把两大盆地中的沙丘都归为丘陵地貌, 沙地则视为平原地貌。

(5) 从单一指标或多指标综合等角度, 深入细致地对新疆的某种或几种地貌类型单独进行特征分析, 将是作者今后要继续分析完成的工作。

本研究为深入认识理解新疆地貌空间分布格局提供了科学依据, 并为今后分析新疆潜在耕地资源、易沙化、荒漠化地区, 冰川分布等信息数据, 以及各种区划规划、可持续利用与发展、生态功能恢复等提供基础数据。

## 参考文献:

- [1] 王升忠. 陆地地貌的空间尺度与格局. 地理教学, 2007, (2): 4~ 6
- [2] 韩恒悦, 米丰收, 刘海云. 渭河盆地地貌结构与新构造运动. 地震研究, 2001, 24(3): 251~ 257
- [3] 袁国强. 桐柏大别山区地貌结构特征及其演化. 地域研究与开发, 1990, 9(7): 69~ 72
- [4] 万晔, 韩添丁, 段昌群, 等. 滇西名山点苍山地区地貌结构与特征研究. 冰川冻土, 2005, 27(2): 241~ 248
- [5] 莫申国. 基于 DEM 的秦岭数字地貌格局研究. 华东师范大学学报(自然科学版), 2008, (2): 8~ 14.
- [6] 刘海江, 柴慧霞, 程维明, 等. 基于遥感的中国北方风沙地貌类型分析. 地理研究, 2008, 27(1): 109~ 118.
- [7] 李四光. 区域地质构造分析. 北京: 科学出版社, 1974.
- [8] 中国科学院自然区划工作委员会. 中国地貌区划. 北京: 科学出版社, 1959 12
- [9] 齐德利, 于蓉, 张忍顺, 等. 中国丹霞地貌空间格局. 地理学报, 2005, 60(1): 41~ 52
- [10] 柴慧霞, 周成虎, 陈曦, 等. 基于地理格网的新疆地貌区划方法与实现. 地理研究, 2008, 27(3): 481~ 492.
- [11] 白占国. 从地貌空间结构特征预测土壤侵蚀的研究——以神府、东胜煤田区为例. 中国水土保持, 1993, 12: 23~ 25
- [12] 单鹏飞. 宁夏地貌格局与咸苦水、高氟潜水分布规律的系统分析. 宁夏大学学报(自然科学版), 1989, (4): 63~ 68
- [13] 许林书, 张洪岩, 李琦. 小流域地貌结构与农林牧综合发展关系的研究. 东北师范大学学报(自然科学版), 1998, (3): 95~ 101.
- [14] 王随继. 无定河流域不同地貌区水沙过程对比. 地理研究, 2007, 26(3): 508~ 517.
- [15] 叶青超. 黄河三角洲的地貌结构及发育模式. 地理学报, 1982, 37(4): 349~ 363
- [16] 周特先, 王利, 曹明志. 宁夏构造地貌格局及其形成与发展. 地理学报, 1985, 40(3): 215~ 224
- [17] 邵时雄, 郭盛乔, 韩书华. 黄淮海平原地貌结构特征及其演化. 地理学报, 1989, 44(3): 314~ 322
- [18] 张祖陆. 沂沭断裂带构造地貌格局及其形成与演化. 山东师范大学学报(自然科学版), 1990, 5(4): 74~ 79
- [19] 刁承秦. 四川地貌格局的形成及其特征-研制四川省 1: 1 000 000 地貌图的体会. 西南师范大学学报(自然科学版), 1991, 16(3): 384~ 388
- [20] 张国庆, 田明中, 郭福生, 等. 江西省丹霞地貌的空间格局及地学背景. 资源与产业, 2007, 9(4): 27~ 30
- [21] 林畅松, 杨海军, 刘景彦, 等. 塔里木早古生代原盆地古隆起地貌和古地理格局与地层圈闭发育分布. 石油与天然气地质, 2008, 29(2): 189~ 197.
- [22] 中国科学院新疆综合考察队等. 新疆地貌. 北京: 科学出版社, 1978 8
- [23] 袁方策, 毛德华, 杨发相, 等. 新疆地貌概论. 北京: 气象出版社, 1994 8
- [24] 周成虎. 地貌学辞典. 北京: 中国水利水电出版社, 2006
- [25] 周成虎, 程维明, 钱金凯. 数字地貌遥感解析与制图. 北京: 科学出版社, 2009
- [26] 中国 1: 100 万地貌制图编辑委员会. 中国 1: 100 万地貌图制图规范. 北京: 科学出版社, 1987.

# The spatial distribution patterns of digital geomorphology in Xinjiang

CHENG Wei-ming<sup>1</sup>, CHAI Hu-xia<sup>1,2,3</sup>, ZHOU Cheng-hu<sup>2</sup>, CHEN Xi<sup>1,2</sup>

(1 State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China;

3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Based on the data of digital geomorphology with a scale of 1: 1 000 000, this study analyzes spatial distribution of geomorphologic patterns in Xinjiang. The geomorphologic types were artificially visually interpreted from the multi-sources data including the TM/ETM imageries (a resolution of 30 m) around 1990 and 2000, the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) digital elevation model (USGS, 2004) with a horizontal resolution of 90 m, geomorphological maps and geological data etc. The quantitative indexes of the classification system of the digital geomorphology include altitude, relief, genesis, sub-genesis, morphology, micro-morphology, slope-aspect, and lithology, etc.

The methodology of geo-statistics and GIS spatial analysis were used in this article. Firstly, the overall features of geomorphology were presented from three levels, i.e., altitude, relief, and basic morphologic types. Secondly, the spatial distribution patterns of different geomorphologic types were analyzed from the features such as altitude, relief, genesis, sub-genesis, morphology and micro-morphology. The results show that: (1) compared to the mountain types, the plain accounts for about 1/3 of the total area in Xinjiang; (2) in terms of absolute altitude, the area of the geomorphologic types of middle altitude (1000~ 3500 m) makes up about 50%; (3) the hill types (< 200 m) dominates the morphologic types, mainly distributed in the Tarim and Junggar basins, which presents the feature of sand dunes; (4) in the basic morphologic types, the area of the middle-altitude hill types possesses the largest area, being about 21.417%; (5) fluvial, arid and aeolian landforms are the dominant types among all of the genesis types; (6) in general, there are two main characteristics in the spatial pattern of geomorphology in Xinjiang: the horizontal ringed and vertical zonal distributions, from basin center to the highest-relief highest mountain, the genesis geomorphologic types changes from lacustrine landform, aeolian landform, arid landform, fluvial landform, periglacial landform, to glacial landform etc.

This study provides a scientific basis for a better understanding of the spatial distribution pattern of geomorphology in Xinjiang. It also provides the basic data for the future analysis of the potential arable land resources, prone-to-desertification regions, the distribution of glaciers, and other information, as well as regionalization, sustainable use and development, the restoration of ecological function, etc.

**Key words:** Xinjiang; geomorphology; distribution; spatial pattern