西南大学

硕士学位论文

基于DEM的地形信息提取与景观空间格局分析

姓名：王妍

申请学位级别：硕士

专业：土壤学

指导教师：刘洪斌

20060501

摘 要

人类生活在地球表层并与地形处处存在着联系，鉴于地形信息在地质、地形、水文、自然灾害监测、自然资源调查等诸多领域的重要性，人们很早就开始研究地形信息的获取技术。数字高程模型（DEM）蕴含着大量的、各种各样的地形结构和特征信息，是定量描述地貌结构、水文过程、生物分布等空间变化的基础数据，是地形信息获取的数据源。而DEM数据是离散的高程数据，每个数据本身并不能反映实际地表的几何特征，这就需要在DEM上进行地形分析。地形分析指直接或间接应用地形数据，派生产品的过程，是地形环境认知的一种重要手段。目前，随着GIS技术的飞速发展，用数字高程模型（DEM）作为信息源，提取各种地形定量因子，已成为获取地形信息主要的技术手段。

地形是景观空间分布格局的重要影响因子，特别是在人为活动占优势的景观中，地形条件成为大尺度景观空间分布格局的决定因素。重庆陆地面积大部分为丘陵和山区，目前针对重庆地形信息定量统计的研究并不多见。同时，重庆以水土流失为主要形式的土壤退化等环境问题严重。因此，本文以重庆市为研究区域，基于数字高程模型，提取各地形因子，进行地形信息的定量分析，在此基础上研究地形与景观空间格局分布特征的关系。主要的内容和结果如下：

（1）从海拔和地形起伏度相结合的角度，对研究区的地貌形态进行定量划分。计算出地形起伏度，主要依据海拔、少数依据起伏度划分基本地貌类型，统计各地貌类型的面积和百分比，并利用海拔和地形起伏度图叠加生成研究区基本地貌形态类型图。

（2）提取反映地形地貌特征的各类地形因子，并对其空间分布规律和反映的区域特征进行分析。结果表明，研究区0-5°的坡度面积占总面积的22.09%，主要分布在西部平行岭谷低山丘陵区，坡度在25°以上的地方占到总面积的18.37%，坡度8-25°的缓坡和斜坡，分布最广，占到总面积的49.11%；研究区平坦的地方占到总面积的5.45%，其余坡向分布较平均，没有明显的区别；高程频率分布可以看出，海拔200-300m的区域面积最大，占总面积的14.86%；海拔900m以下的面积占总面积的76.74%，海拔900m以上的分布频率下降幅度明显；地形起伏度的结果表明，微缓起伏和小起伏主要分布在川东平行岭谷区，主要是丘陵和低山，山地起伏和高山起伏主要分布在城口、巫溪等中山地区；曲率因子分析表明，研究区总体负地形区多，侵蚀减少，多利于水土堆积；地表粗糙度因子分析反映出研究区内中山区粗糙度最大，平坦、丘陵区粗糙度最小。

（3）基于高程、坡度和坡向3个地形因子分析研究区景观空间格局的特点，结果表明水田、水域、居民点及工矿用地、未利用地的绝大部分分布在海拔500m以下，有林地、灌木林地和其它林地多分布在500-1000m区域，在1500m以上的区域，灌木林地的分布比例最多；水田、居民点及工矿用地有一半以上分布在0-5°的坡度范围内，8-25°坡度范围是各个景观类型分布比较均匀的区域，有林地、灌木林地是坡度较大地区主要的景观类型；各景观类型在坡向分布上没有明显差别。

选取平均斑块面积、多样性、均匀度、破碎度四个景观指数，对研究区景观格局不同地形条件、不同地貌区的景观格局与地形的相互关系进行分析，表明受人为干扰较多的低海拔、平缓坡地带景观斑块平均面积较大，破碎度较小，坡度大、海拔高的地区破碎程度也较低。

（4）针对单一地形因子不能综合反映地区地形的特点，构建地形位指数和分布指数对景观地形分布特征进行分析，结果表明研究区景观组分的分布格局在地形位梯度上的表现出显著分化，各景观类型中旱地和其它林地对地形的适宜性较广，而水域和水田的分布对地形有较强的选择性；有林地、灌木林地和草地均占据较高的地势，其它林地则在地势较高的地形位不适合其发展。

关键词：数字高程模型（DEM） 地形分析 地形因子 景观空间格局 地形位指数

Abstract

People live on the earth and keep relations to its terrain everywhere, since terrain information plays an important role in many disciplines such as geology, geography, hydrology, disaster monitoring and resource management, et al., the terrain data acquisition is always the key research points in survey and mapping related disciplines. As a Digital relief map, Digital elevation model (DEM), which contains various information of terrain structure and character, is the foundation data for quantitatively describing many spatial variations such as landform structure, hydrologic process and biological distribution et al.. Because the DEM data is the separate altitude figure, and each data itself cannot reflect actual surface characters of landform, which needs to carry on the terrain analysis on DEM. The terrain analysis is a process referring to applying terrain data directly or indirectly to derivate geographic product, meanwhile, which is an important means to recognize the terrain environment. At present, along with the GIS technology's rapid development, the technology of calculating topographic factors and gaining great deals of terrain information by making use of digital elevation model (DEM) is primary in practice.

The terrain is the important influence factor in landscape diversity of structure and special patterns; furthermore, the terrain character usually becomes the determinant of great criterion in region distribution pattern. The majority of the land area in Chongqing is hillslope or mountainous area and there is few research on Chongqing land information statistics. At present, environment problem and soil degeneration like soil erosion are very important. Chongqing city was selected as the experimental region, this research carries on the calculation of terrain information based on DEM and obtains terrain factors spatial distribution characteristic. Based on the analysis of terrain and the understanding of terrain character, this research analyses the rules of landscape special pattern in landform. The main contents and results were summarized as follows:

(1) United height and relief amplitude, this research measured off the geomorphologic types. First, calculated relief amplitude and measured off the geomorphologic types, which take height and relief amplitude integrated as foundation. Then, counted the area and percentage of each basic type, and finally, derived the basic geomorphologic classification maps which make use of the union of height map and relief amplitude.

(2) This paper calculated all terrain factors which reflect the topographic and geomorphologic characteristic and analyzed the spatial distribution characteristic of the study area. The result of this computation indicated that the area of slope 0-5°accounts for 22.09% of the total area, mainly distributes in the west region that has hillslope and parallel mountains and valleys. The area of slope above 25°accounts for 18.37% , the gentle and pith slope 8-25°is the broadest distribution in study area and accounts for 49.11% of the total area. The smooth area in the study area accounts for 5.45%, but other aspects do not have the obvious different and compare to average. The analysis on elevation frequency shows that the area of elevation 200-300m regional is the biggest and accounts

for 14.86% of the total area. Below the elevation 900m area accounts for 76.74% and the drop range of above the elevation 900m distributed frequency is obvious. The results of analysis on relief amplitude indicated that the slow and small fluctuation mainly distributes in west region that has hillslope and parallel mountains and valleys, the mainly geomorphologic types are hillslope and low mountains. The relief amplitude of mountainous is mainly distributed in the region like Chengkou county and Wuxi county. The curvature factor of terrain indicated that there are many negative terrain in the study area. This terrain is advantageous to pile up the water and soil and reduce the corrosion. The roughness results indicated that the biggest roughness distributed in middling mountain area and the smallest roughness distributed in smooth and hillslope area.

(3) Utilizing the terrain factors of elevation, slope and aspect, this paper analyzed the landscape spatial pattern. The results indicated that the mostly distribution of paddy field, water, residential and building area and unused land were below 500m elevation. The distribution of forest land, bush land and other forest land is in the 500-1000m elevation extents and the bush land distributed largest in 1500m elevation region. The part of paddy field and residential and building area distributed in slope 0-5°and the extent of slope 8-25°is the region which many landscape types existed in. The mainly landscape types in steep slope area were the forest land and bush land. On the aspect, the distribution of any landscape types had no great difference.

Carrying on specific landscape indices like average patch area, diversity, evenness and fragmentation, analyzing the relations between terrain and landscape spatial pattern in different topographic and geomorphologic area, the results indicated that the average patch area is bigger and the fragmentized degree is smaller in low height and soft gradient region which have more jamming, on the other hand, the fragmentized degree is also smaller in steep gradient and high height area.

(4) In view of the sole terrain factor cannot reflect integrated terrain character, terrain niche index and nondimensional distribution index were used to quantitatively analyze the spatial distribution of landscape in terrain. The results indicated that the arid land and the other forest land were widely suitable to the terrain and the water and the paddy field distribution had a stronger selectivity to the terrain; the forest land, bush land and the lawn occupied a higher topography, but the other forest land didn't suit its development in higher terrain position. Therefore, the terrain niche index may comprehensively reflect the minute difference of terrain and the distribution index can accurately reflect the different landscape elements spatial pattern in various terrain niche.

Key words: Digital Elevation Model(DEM), terrain analysis, topographic factors, landscape spatial pattern, terrain niche index

Y 937477

独创性声明

学位论文题目：基于DEM的地形信息提取与景观空间格局分析

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得西南大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者：王妍　　签字日期：2006 年 6 月 6 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解西南大学有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权西南大学研究生院可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

（保密的学位论文在解密后适用本授权书，本论文：☑不保密，□保密期限至　　年　　月止）。

学位论文作者签名：王妍　　导师签名：刘德孟

签字日期：2006 年 6 月 6 日　　签字日期：2006 年 6 月 10 日

学位论文作者毕业后去向：

工作单位：_____　　电话：（　）_____

通讯地址：_____　　邮编：_____

第1章 文献综述

地形要素是最重要的自然地理要素之一，地形的特点与变化直接影响地面的物质流动与能量的转化，如何有效的提取地形要素信息，一直是许多测绘和地学工作者致力研究的目标。长期以来，人们已习惯于用等高线、坡度、坡向、剖面、汇水面积、填挖方和三维透视等派生图形或数据来表达实际地形的各种特征，产生这些派生产品的过程被称为地形分析，描述这些特点的因子则称为地形因子。地形分析是地形环境认知的一种重要手段，从基于纸质地图的地形分析到基于数字地图的地形分析，大量的人工计算和绘制被计算机所替代，地形分析的手段和功能都发生了一次飞跃。目前，随着GIS技术的飞速发展，利用数字高程模型（DEM）为信息源，提取各种地形定量因子，已经是较为成熟的技术。与此同时，地形是景观格局空间分布的重要影响因子，地形因子影响了光、热、水、土的分布状况，也在不同程度上影响着各种自然或人为的干扰，使得景观的分布规律与地形因子具有空间上的相对一致性，这种一致性成为了解景观空间格局与其形成过程关系的一种途径。因此，本文在等高线地形图的基础上，建立数字高程模型，分析提取地形信息，并探讨景观空间格局的地形分布特征，可以揭示景观的宏观分布规律，为景观的生态恢复与建设提供决策支持。

1.1 地形信息提取概述

1.1.1 DEM简介

数字地面模型（Digital Terrain Model，简称DTM）是地面形态属性信息的数字表达，是带有空间位置特征和地形属性特征的数字描述[1]。DTM中地形属性为高程时称为数字高程模型（Digital Elevation Model,简称DEM）。DEM是DTM中最基本的部分，是将表示实际空间分布地形特征的地形信息以数字形式按一定的结构组织在一起。它与传统的地形图的差异在于：传统地形图是将地面上关于地形、地貌、地物及名称等各种信息以图形和注记的方式在图纸上表示，如地形等高线、地貌符号及必要的数字表示等，地物的位置、形状用各种不同的符号与文字注记表示。数字高程模型DEM具有以多种形式显示地形信息，精度不会损失，容易实现自动化、实时化等特点。

从DEM概念诞生以来的四十年间，对它的研究经历了四个时期：20世纪50年代末期是其概念的形成时期；60～70年代对DEM的内插问题进行了大量的研究，如Schut提出的移动曲面拟合法，Arthur和Hardy提出的多面函数内插法，Kraus和Mikhail提出的最小二乘内插法及Ebner等提出的有限元内插法。70年代中、后期对采样方法进行了研究，其代表为Makarovic提出的渐进采样(Progressive Sampling)，混合采样(Composite Sampling)。80年代以来[2, 3]，对DEM的研究已经涉及到DEM系统的各个环节，包括：DEM表示地形的精度、地形分类数据采集、DEM的粗差探测、质量控制、DEM的数据压缩、DEM的应用以及不规则三角网的建立与应用等等。

DEM数据类型一般有三种：栅格型、矢量型（等高线）和不规则三角网TIN。描述高程

空间数据的栅格、矢量和TIN三种类型之间可通过GIS软件相互转换。其中，栅格数据结构类型具有"属性明显、位置隐含"的特点，它易于实现，且操作简单；但它的数据表达精度不高，工作效率较低。规则格网（GRID）是以规则的正方形网格来表示地形表面。由于格网间距一定，对于复杂的地形地貌，很难确定合适的网格尺寸逼真表示，因此，在平坦地形区域，会产生大量的冗余数据，但对于地形起伏变化明显的区域，又不能准确表示地形特征。GRID在数据存储时，实际上是一个矩阵，存储的是点的高程值，而点的平面坐标，可直接由原点坐标、格网间距及相应矩阵的行列号经过简单计算获得。因此GRID数据结构简单，数据存储量小，还可压缩存储，适合于大规模的使用和管理。现在我们常说的DEM及大规模的DEM数据库建设，主要是指这种形式，本文所称的数字高程模型DEM，也是指GRID 。

1.1.2 DEM的应用范畴

自20世纪50年代末期被提出以后，数字高程模型便得到了越来越多的重视，发展非常迅速。当然，DEM的发展是与其应用分不开的。DEM的主要应用领域在地球科学及其相关学科方面，如摄影测量、遥感、制图、土木工程、地质、矿业工程、地理形态、军事工程、土地规划、通讯及地理信息系统等。总之，DEM完全可以代替传统使用等高线对地形表面的描述进而满足对等高线数据相同的各种需求。从60年代中期开始，随着数据库和环境遥感技术的迅速发展，数字高程模型开始作为空间数据库的实体，为地理信息系统进行空间分析和辅助决策提供充实而便于操作的数据基础，同时与地理信息系统的结合也愈来愈紧密。近年来，空间数据基础设施的建设和"数字地球(Digital Earth)"战略的实施，更加快了DEM与地理信息系统、遥感等的一体化进程，为DEM的应用开辟了更广阔的天地。

目前，世界上主要发达国家都纷纷建立了覆盖本国的DEM，基于DEM的GIS空间数据分析方法被广泛应用于国民经济建设各领域。我国完成了1：400万、1：100万及1：25万比例尺DEM的建设，更高精度的1：5万、1：1万比例尺DEM也正在积极建设之中。随着GIS技术的成熟与广泛应用，可以预料，不同空间尺度的DEM将在国民经济与国防建设领域发挥越来越巨大的作用，为实现地形分析的自动化、规范化创造了十分有利的条件。

1.1.3 基于DEM地形数据获取研究综述

数字高程模型DEM的数据由平面位置和高程数据两种信息组成，传统的地形数据的获取方法包括野外利用GPS、全站仪等仪器直接进行测量，从航空影响或遥感图像以及已有地形图上采集等[1]，方法的选用取决于源数据获得的可行性、DEM的分辨率、精度要求、数据量大小和技术条件等。

随着测绘技术的发展，人们获取地形数据的能力也逐渐增强，手段也越来越多样化。近年来，随着以航天技术、传感器技术、计算机技术为代表的对地观测技术得到了飞速的发展，关于地形数据获取的研究也进入了一个新的阶段[4,5]。

自上世纪70年代美国陆地资源卫星（Landsat）发射上天后，遥感技术获得了极为广泛的应用。由于遥感技术在资源勘查和环境监测方面效率很高，很快在全世界得到重视，在很多学科领域得到了采用。而随着遥感平台和传感器技术的不断进步，近年来许多新的地形信息获取

技术被开发出来投入使用，并显示出良好的应用前景，如合成孔径雷达干涉测量（InSAR）和激光雷达（LIDAR）。激光扫描技术特别是航载激光扫描技术作为一种新型的高效率空间三维数据获取手段，近年来在水文信息获取、高速公路勘测、管线测量、城区建筑物测高、森林覆盖地区的DEM提取和海岸线地形测绘等领域得到了越来越广泛的应用[6]。还有飞机上搭载的作为流动站的GPS接收机和地面上作为基准站的GPS以及配套的数据链组成的差分GPS系统，可以为飞机提供精确的导航信息并为激光测距仪和成像装置提供定位信息。由成像装置获取的测区影像数据，除了记录测区的实况以帮助激光扫描数据外，还可以用来直接生成带地理编码的影像。软件部分则实现航线规划、数据获取过程的实时控制和成果数据后处理，如飞机航线恢复、地表植被删除、测区DEM生成和城区建筑物三维重建等功能。

摄影测量通俗的说就是利用摄影技术获取物体的影像，从而识别此物体并测求其形状和位置。摄影测量的发展经历了三个阶段：模拟摄影测量、解析摄影测量和数字摄影测量。目前，数字摄影测量是地形数据采集最有效的手段之一，它具有效率高、劳动强度低、精度高等优点。当前的摄影测量技术可以与GPS、INS进行集成，形成从外业控制测量，到内业加密和数字高程模型数据生产的高效的自动化作业流程。自上世纪90年代以来，众多的数字摄影测量工作站（Digital Photogrammetric Workstation，简称DPW）被开发出来并投入了生产使用，目前在DEM和DOM等空间数据的生产方面已得到了广泛的应用，但在地貌的测绘、DEM建立等方面尚有很多问题没有解决，在森林覆盖的林区和房屋密集的城区，仍然需要相当多的人工干预和编辑处理工作。人工目标（主要是建筑物和道路等）的提取，特别是全自动化的提取离实用化还有很大差距[7,8,9]，在影像匹配、自动定向、特征提取、影像分割与分类、影像的分析与理解、目标重建和自动化空中三角测量等方面还存在大量的难点有待研究[8,10-12]。

1.1.4 DEM地形信息提取的相关研究

地形因素是影响环境变迁、水文过程、生物分布、地貌特征等的重要因素，地形属性的空间分布特征一直是人们用来描述这些空间变化过程的重要指标[13]。随着人们对地貌、水文、生物、地表物质运动机理研究逐步深入，人类已进入空间模拟时代。DEM作为数字化的地形图，蕴含着大量的、各种各样的地形结构和特征信息，是定量描述地貌结构、水文过程、生物分布等空间变化的基础数据。而DEM数据是离散的高程数据，每个数据本身并不能反映实际地表的几何特征，如同传统的基于纸质地图的地形分析，这就需要在DEM上进行地形分析。

地形分析指直接或间接应用地形数据，派生产品的过程，是地形环境认知的一种重要手段。李志林和朱庆根据地形分析的复杂程度，将地形分析分为两大部分：一部分是基本地形因子(包括坡度、坡向、粗糙度等)的计算，另一部分是复杂的地形分析，包括可视性分析、地形特征提取、水系特征分析、道路分析等[1]。基于DEM的特征提取中最重要的有两部分：一是地形特征的提取，二是流域特征的提取。地形特征是指对于描述地形形态有着特别意义的地形表面上点、线、面，它们构成了地形变化起伏的骨架，与地形表面的局部特性密切相关，曲面上的点属于哪个特征类依赖于它周围的曲面结构。地形特征包括山峰点、谷底点、鞍部点等，地形特征线包括山脊线、山谷线等。地形面状特征包括地面的凹凸性，一般与两个垂直方向的曲率有观。实际上，流域特征与地形特征的提取内容大致相同，因为从物理意义上讲，山脊线具有

分水性，山谷线具有合水性，因此提取分水线与合水线的实质就是提取山脊线与山谷线。

地形因子是对地形及其某一方面特征的具体数字描述，是地形信息的载体和最重要体现形式之一，准确有效地提取地形因子对地学研究具有重要的意义。实现对地形因子的提取，关键在于分析各类不同地形因子的地学特征并在此基础上确定一套比较严格的数学计算方法，所以，基于DEM进行地形信息提取就是实现地形特征的自动提取。利用DEM提取地形特征，按照DEM数据结构的差异，可以分为基于栅格、基于TIN和基于数字等高线的，不同类型DEM其地形特征提取算法也不相同：O'Callaghan和Mark(1984)、Jenson和Domingue(1988)、Tarboton和Bras(1991)等研究了基于规则格网的地形特征提取方法[14-16]；Briggs(1989)、Jones等（1990）、Garg和Sen（1994）、Nelson（1994）等分别提出了基于TIN的提取算法[17-20]；陈晓勇（1991）、Moore和O'Loughlin（1988）、Thibault和Gold（1999）等提出了基于数字化等高线地形图的提取算法[21-23]；因为目前在大多数国家作为基础地形数据提供的DEM都是以规则格网的数据矩阵形式进行组织的，同时由于规则格网DEM采集自动化程度高，存储、管理和计算方便等优点，使格网DEM在DTM的数据组织形式中占据主导地位[24]，所以至今大多数使用地形特征提取方法都是基于规则格网DEM的。按照DEM数据处理的范围，可以分为局部分析方法（local）和全局分析方法（global），按照DEM特征提取中所使用的基本分析方法，可以分为基于地形分析的特征提取和基于水系分析的特征提取方法。

目前，国内外对地形因子提取的研究主要集中在RS/GIS的DEM分析上。对于地形因子提取的研究，John C.Panuska基于栅格一等高线数字高程模型，对农业非点源污染模型（AGNPS）中的平均坡度、坡形以及径流路径等地形参数进行了分析与提取[25]；P.R.Stephens等利用航空像片的立体像对生成DEM，自动提取了通用土壤流失方程式USLE中的坡度、坡长因子，并完成了和其它因子的集成[26]。

我国从70年代末期，也开始了利用RS技术与DEM分析提取地形因子的研究，但工作主要集中在一般性的地貌描述上。如70年代末期，我国利用格网数字高程模型DEM派生出的地貌因子，对腾冲地区的地貌形态进行了自动分类的试验研究[27]。八十年代中期以来，我国资源与环境信息系统国家重点实验室对黄土丘陵区、黄河下游和三角州、洞庭湖等地区的地貌描述中，均应用了格网数字高程模型和从它派生出的坡度、坡向等地形因子。1989年，刘振东等进行了利用DEM编制小比例尺地势起伏度图的研究，并且应用于我国1：400万比例尺的地貌制图[28-29]。再如李锐在陕北黄土高原遥感应用研究中，曾利用mBRAIN图象处理系统对图象数据的"空间"特征进行了分析与提取，突出了地面上变化剧烈的性状，如山脊线、沟底线、谷缘线等；并对地形复杂区的地表形态进行了模拟，判断出了各种坡形[30]。张兵在晋、陕、蒙黄土丘陵区遥感调查的研究中，利用TM图象的线性纹理提取技术和密度统计，获得了该研究区的沟壑密度图[31]；阎国年利用栅格数字高程模型进行了黄土地貌沟沿线、黄土丘陵沟壑区沟谷网络及特征地貌的提取技术与流域地形的自动分割研究[32]。近期对DEM的研究主要针对地形因子之间的关联性及提取地形信息的精度问题的探讨，如张婷等以黄土高原丘陵沟壑区的15个样本地区为试验样区，应用BP神经网络模型，探讨了地形定量因子与地面坡度之间的关联性特征[33]。毕华兴等以日本东北地区岩手县早池峰山为研究对象，研究基于DEM的数字地形特征提取与分析方法，以及DEM精度对地形特征的影响[34]。陈楠等运用信息论与数理统计及对比分析的方法，以1：1万DEM为基准，探讨了黄土丘陵沟壑区所建立的1：5

万数字高程模型的信息特征和对地形描述精度特征，并提出了因子特征的纠正公式[35]。

1.2 基于地形的景观空间格局分析概述

1.2.1 景观空间格局的主要研究内容

在景观生态学中，景观结构又被称之为景观格局，亦即景观空间格局。景观是由大大小小的斑块所组成的，大小和形状不一的景观斑块在景观内空间分布上的总体配置称之为景观空间格局。景观空间格局是景观异质性的具体表现，同时又是包括干扰在内的各种生态过程在不同尺度上作用的结果。景观格局作为景观生态学的一个重要概念，其研究一直是景观生态学家所关注的焦点[36,37]。

景观格局的主要研究内容包括: 1)景观的组成和结构特征，即景观的空间异质性，一般指的是景观要素的类型数、各景观要素占的比例以及斑块的形状(斑块的拉长将增加景观的异质性)；2)景观内各斑块的联系和相关性(即斑块的空间相互作用)；3)景观格局动态(即景观的变异规律)；4)景观格局在不同尺度下的变化(即景观的等级结构)；5)景观格局与功能的相互关系[37]。

1.2.2 景观空间格局分析的技术手段

对于景观空间格局的分析研究，最方便的手段莫过于利用航空像片和卫星遥感资料。对于同一地区不同年份的航空像片或卫星遥感图片进行对照比较，再结合各种地学图件（如地形图、土地利用现状图等）进行实地考察，是我们获得各类原始资料的重要方法。而地理信息系统是处理这些资料的有效技术手段。

地理信息系统(Geographical Information System简称GIS)是计算机硬件，软件及其规则组成的系统，它支持空间数据的获取、管理、操作、分析、模拟及显示，解决复杂的规划及管理问题。Maguire在综合不同思想的基础上形成了三个有关地理信息系统的观点：地图观点、数据库观点和空间分析观点。这三个观点的基本出发点是，地理信息系统是信息系统的一个特例，它与其它信息系统有许多不同之处，其区别于其它信息系统的关键之处是地理信息系统强调空间实体及其关系，注重空间分析与模拟操作。从技术观点考虑，地理信息系统的强大之处在于其通过地理学原理组织和综合各种不同数据集的能力[38]。

景观生态学在大尺度上，空间显性地研究景观格局，功能及其动态，这就要求研究者能够处理大规模、变化着的空间数据，景观生态学这种要求使之必然选择GIS作为研究工具。GIS在景观生态学中不仅仅起到一般工具的作用，它已经成为景观生态学研究的支柱之一。由于景观生态学对GIS的依赖性，GIS实际上成为景观生态学的研究方法，特别是其数量化方法不可缺少的组成部分。景观生态学的许多数学方法和GIS的内在联系就是很好的例证。而模拟景观格局和过程的计算机模型多采用栅格数据格式，这与GIS的栅格数据模型不谋而合。可以预见，多尺度的GIS可以提供用于研究随尺度变化的景观格局和过程的手段。GIS的四叉树(quad- tree)数据结构从本质上体现了尺度和等级，可有效地处理等级问题，很容易地合并和分解多尺度的空间数据，在景观生态学中很有应用价值[39]。

1.2.3 基于地形的景观空间格局研究现状

景观格局的概念、方法论与具体度量方法在国际上已日趋完善。当前国外景观格局研究的相关文献以美国居多，主要侧重于景观格局和功能的研究，虽然其他国家和地区如加拿大、澳大利亚和德国等也有一些研究，但其研究的深度和广度均比不上美国学派。早在1957年美国景观生态学的先驱Danserea即提倡地理学和生态学的结合，从空间地理学对景观进行研究，R. T. Forman. P. G. Russer 和 M. Turner是当今美国景观生态学的突出代表，由于这些景观生态学家们的努力，已在美国形成从景观空间格局、功能研究、景观动态，直到景观管理的一整套理论体系。尤其在上世纪末，计算机技术的飞速发展，使得景观生态学的研究手段有了长足的进步，大量引入的新技术为景观生态学的定量研究奠定了基础，使景观格局的定量分析、动态模拟及规划成为可能。

美国的景观生态学学派是当今国际上研究景观空间格局最活跃、进展最快的学派，他们把景观生态学研究建立在现代科学和系统生态学基础上，分析景观空间格局，获得控制和管理景观的一整套方法，在此基础上，进行区域生态规划，编制地区自然生态目录和社会生态规划等。而地形是景观生态系统空间结构的基础，目前，在景观和植被格局分析中，地形因素的作用已经引起关注[40]。植物生态学家以不同方式进行地形单元分类和赋值，对亚热带森林群落、物种及干扰的分布格局与地形的相关关系作了大量的研究。Ostendorf 等根据阿拉斯加北部山地植被格局受地表径流的控制，利用 GIS 从数字高程模型(DEM)中生成坡度分布图和径流分布图，建立了一个基于地形的植被格局模型[41]；Swsnond 等从理论上分析了地形对生态系统格局与过程产生的影响[42]；Cayford J.H 等研究了影响加拿大曼尼托巴东南部班克松火烧地更新的地形因子[43]。

就目前而言，我国的景观生态学者针对景观结构及景观空间格局的研究较为火热。景观格局特征研究上，吕洪利博士以北京市为试验地，应用 GIS 的空间分析功能在中观尺度上分析了北京市不同生态环境梯度、不同干扰强度下的景观格局特征[44]。徐建华、岳文泽等人利用景观格局指数评价体系和分形模型对黑河流域及兰州山区景观镶嵌体特征进行了研究[45-46]。陈浮、袁艺等人利用景观生态学的方法对深圳市快速城市化过程中土地利用景观演变特征进行研究[47-48]。马克明、周华锋等人先后对北京东灵山区森林景观格局的破碎化及景观类型的空间分布规律、人类活动与景观格局演变的关系进行分析[49-51]。常学礼等人通过对科尔沁沙地不同沙漠化土地景观空间格局的研究，认为用修改分维数比基于面积一周长关系的传统分维数更能体现景观斑块之间的连接性对景观格局的影响，同时景观的空间分辨率越低，间隙度指数越小[52]。

国内许多学者也加强了地形对景观格局影响方面的研究。例如，沈泽昊等运用 DCCA 等各种方法分析了地形对三峡森林物种多样性及景观空间格局的影响，但并未用到 GIS 技术[53-54]；董方平对立地因子与湿地松生长的相关性进行分析[55]。有学者利用遥感技术进行植被区域空间分析，如崔海亭等利用 MSS 和 TM 卫星图片，分析了大兴安岭南段植被水平和垂直结构[56]；李崇巍等以四川岷江上游为例，在对其土地覆盖划分的基础上，结合海拔、坡度、坡向等地形因子及降雨、温度、土壤等气候环境因子，用遥感、地理系统的技术对岷江上游植被格局及其与环境之间的关系进行分析，为揭示植被格局和生态过程的耦合关系奠定了基础

[57]；孔繁华等以大兴安领图强林区为研究背景，探讨了火后地形对森林景观格局变化的影响情况，进而为森林资源的可持续经营与管理提供了科学依据[58]；章皖秋等利用 GIS 空间分析功能，研究了天目山自然保护区内各植被类型空间分布规律，定量描述了自然保护区内各植被类型的高程、坡向、坡度分布，并给出了科学的统计结果[59]；曾宏达研究了武夷山林区，认为地形深刻影响着树木的天然分布，森林资源空间分布与地形紧密相关[60]。但总的来讲，对于地形的生态学意义的探讨，及景观空间格局的地形分布特征的研究还不多见，仍有大量工作要做。

第2章 引言

2.1 论文选题背景和意义

20世纪90年代以来，人类社会正在从工业经济迈向知识经济时代，信息与信息技术作为社会经济发展的战略资源和主要生产力的观点已成为人们的普遍共识。而在当今社会中，作为信息最主要表现形式的地图成了人们日常生活和工作的必备工具，地形分析因此与人类经济活动密切相关，也成为人们理解地表过程的关键。人们需要的地形信息，即地形所包含的信息，可以通过地形分析得到。传统的地形分析是基于二维平面纸质地图进行的，需要大量的人工计算。而目前基于数字高程模型（DEM）提取地形信息，是主要的技术手段。

目前，DEM作为标准的基础地理信息产品开始进入大规模的生产阶段。世界一些主要发达的国家如美国、英国、澳大利亚等都建立了覆盖本国的各种尺度的DEM。我国在国家空间数据基础设施（National Spatial Data Infrastructure，简称NSDI）框架下实施的4D（数字线划图DLG、数字高程模型DEM、数字正射影像DOM、数字栅格地图DRG）产品战略中，DEM被首次纳入国家测绘生产计划中并进入规模化生产阶段[1]。可以相信，随着国家信息基础设施（National Information Infrastructure, NII）、国家空间数据基础设施（NSDI）、数字地球、数码城市和虚拟地理环境等新兴研究领域的兴起，与数字高程模型相关的各项技术将广泛应用于社会各个行业领域，促进测绘、资源与环境管理、灾害防治、交通、国防建设等基础设施的发展，因此迫切需要研究包括地形数据获取、管理、表示和分析在内的地形分析，为各专业应用领域提供决策支持。从这个角度出发，研究从DEM获取各种地形相关信息，并分析其空间分布规律，适应DEM研究发展的方向。

作为生境条件的一种综合指示，地形特征是一个多维变量，包括海拔、坡向、坡度等；每一维对光、热、水、土壤养分的影响各有侧重。同时，景观格局在时空方面的发展是自然、生物和社会力量复杂相互作用的结果[61]，通过研究景观空间格局的分布和特征，对景观要素斑块之间的空间关系进行分析，可以反映景观要素之间相互作用的性质、强度和方式[62]。景观格局模型在研究的过程中不可避免地涉及到土地利用、土壤类型、地形等具有空间特性的环境要素，因此景观格局模型也明显具有二维、三维空间特性，如干扰传播、景观格局变化、景观格局的垂直分布等。因此，在进行地形分析、了解地形特点的基础上，研究地形对景观空间格局的影响，有助于解释景观格局与生态过程相互作用的机理，进一步探索景观格局形成和发展的控制因素和基本驱动力。

重庆陆地面积大部分为丘陵和山区，其中地处云贵高原向四川盆地、湘鄂西岩溶山区过渡的斜坡地带岩溶山区面积占65%以上，由于特殊地质和自然地理背景，环境的敏感性和脆弱性强。刁承泰等针对重庆的山地地貌的特点，分析了重庆城市建设用地的供需状况[63]，但针对重庆地形信息定量统计分析的研究并不多见。同时，重庆以水土流失为主要形式的土壤退化等环境问题严重，其直接原因在于地表覆盖向不利于水土保持的方向转化，但其本质体现不仅在于某些地表覆盖类型的退化，更重要的是景观空间结构与功能的退化，即景观利用在“垂直”方向不适宜的匹配和在“水平”方向不合理的空间布局，从而会导致景观整体生态质量下降。GIS

技术与其它计算机技术的综合应用，使得多属性、大范围的景观空间信息分析和规划成为现实，由于GIS技术和计算机技术在景观生态研究中的广泛应用，景观生态规划与设计日益系统化、科学化。以景观生态图作为景观生态规划的基础图件，通过分析景观格局在不同地形条件的分布规律，可以从整体把握景观的利用，合理优化配置资源。

2.2 研究目标

以重庆市为研究区域，运用 GIS 技术和空间分析方法，基于数字高程模型提取各地形因子，进行定量分析，在此基础上研究地形与景观格局分布特征的关系；选取有代表性的景观指数分析景观空间格局，定量描述在地形影响下景观格局的特征；构建地位指数，分析不同地位指数上景观类型的分布特征，进一步了解地形对景观格局的影响意义。

2.3 论文的研究内容

本文以重庆市为研究区域，定量分析研究区的地形特征及景观在地形上的分布规律。论文主要有以下几个部分：

1）对地形数据获取和地形信息分析进行讨论，介绍地形因子提取的指标体系，及一些典型地形因子的提取原理和算法，重点对高程、坡度、坡向、地面曲率、地形起伏度、地表粗糙度等地形因子进行研究；

2）完成对研究区地形因子的提取分析，在此基础上划分基本的地貌形态类型,分析研究区各地形因子的特点和分布规律。

3）选取个别景观指数分析指标，在 GIS 技术和相关软件的支持下，分析研究区景观空间格局的地形分布特征；另外构建地形位指数，进行景观空间格局特征的地形分析。

2.4 研究方法

在应用地理信息系统软件空间分析功能进行地形分析和景观空间格局的地形分布特征研究中，利用了很多常见的空间数据分析处理方法，如空间查询与检索，空间叠加分析、栅格聚类聚合分析等。

2.4.1 空间数据的联合检索与查询

大量的地形信息进入 GIS 后，形成空间和属性数据库，通过联合查询与检索，可以产生远远多于原始数据的高级的复合信息，在实验过程中，利用此方法可以由原始属性数据派生出新的属性数据或产生新的图层信息，在某种程度上，一些空间分析功能可以通过空间数据的联合检索与查询来实现。

2.4.2 叠加分析

叠加分析是 GIS 中最常用的提取空间隐含信息的手段之一，是指同一地区的两组或多组

地图要素的数据文件进行叠置，其中被叠置的图层为本底，用来叠置的图层上覆，叠置后产生具有新边界与多重属性的新图层。叠置的目的是通过区域多重属性的模拟，寻找和确定同时具有几种地理属性分布的区域；或者按照确定的地理坐标，对叠置后产生的具有不同属性的多边形进行重新分类或分级。这是本研究中采用最多的空间分析方法，体现在研究的各个领域。

2.4.3 栅格数据的聚类、聚合分析

栅格数据的聚类、聚合分析方法均是将一个单一层面的栅格数据系统经某种变换而得到一个具有新含义的栅格数据系统的数据处理过程。栅格数据聚类是根据设定的聚类条件对原有栅格数据系统进行选择而建立新的栅格数据系统的方法。栅格数据聚合分析是指根据空间分辨率和分类表，进行栅格数据类型的合并或转换以实现空间地域的兼并。空间聚合的结果往往将复杂的类别转换为较简单的类别，此方法是在进行景观分类合并时采用的一种主要方法。

2.5 技术路线

本研究在完成基础资料收集后，首先进行数据整理。采用地理信息系统软件数字化重庆市1：10万等高线数据，生成研究区数字高程模型（DEM）；基于DEM提取各地形因子，并分析其分布的规律；最后结合研究区地形图以及各种相关资料，进行景观空间格局特征的地形特征分析，指出地形因素对景观空间格局的影响方式。其技术路线如图2-1所示。

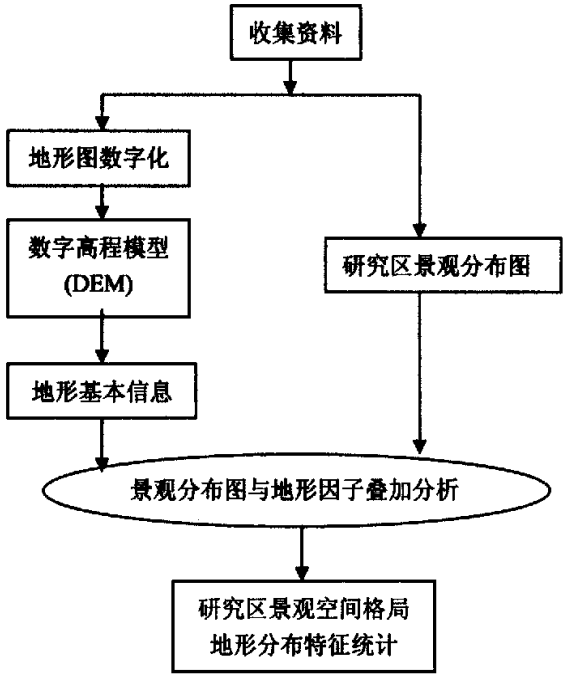


图2-1 技术路线

Fig2-1 Flow diagram of the study

第3章 研究概述

3.1 研究区概况

重庆市地跨东经105°17′～110°11′、北纬28°10′～32°13′之间，地处长江上游三峡库区及四川盆地东南部，中国地势第二级阶梯东缘，既是川东平行岭谷的一部分，又是盆中丘陵和山地的交接地带，地形十分复杂，位于青藏高原与长江中下游平原的过渡地带。境内纵横幅度东西长470千米，南北宽450千米，幅员面积82,430平方公里。

土地资源：重庆地势起伏大，变化明显。最高海拔为2796.8米，最低海拔为73.1米，相对高低差达2723.7米。总体而言，东部、东南部和南部地势高，大多为海拔1500米以上的山地。西部地势低，为海拔300—400米的丘陵区。由于地形发育的阶段差异和新构造运动间歇性大面积抬升，在市域范围内形成了七级层状阶，都属于夷平面的残存面，顶面起伏和缓，同时逐级分别由南或北向长江河谷降低。

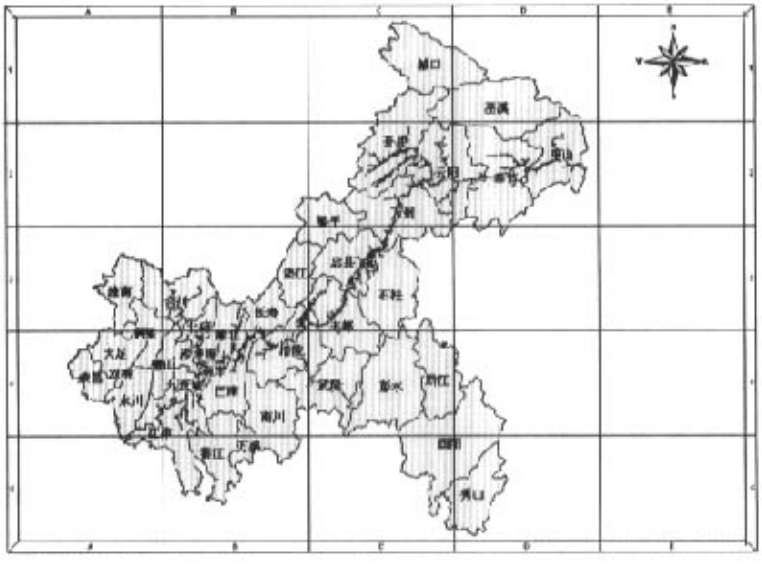


图3-1 重庆市行政区划图

Fig3-1 Region distribution of Chongqing

重庆市地形复杂多样，以山地丘陵为主。丘陵地区历来是重庆市的工农业生产和人民生活的主要活动区。地形类型有中山、低山、高丘陵、中丘陵、低丘陵、缓丘陵、台地和平原八大类。重庆市无大规模的平原，仅在沿江河谷地分布有一些小面积的平地。喀斯特地貌分布广泛，发育典型。由于市域内的碳酸盐岩石（石灰岩、白云岩等）出露较广，喀斯特地貌在东部和东南部地区大面积集中分布，而且在地下和地表喀斯特形态发育均佳。在背斜条形山地中发育了川东特有的喀斯特槽谷景观，在东部和东南部的喀斯特山区则分布着典型的石林、峰林、洼地、残丘、落水洞、溶洞、暗河、峪谷等喀斯特景观，其中有许多秀丽或奇异的景色。

重庆市地表形态组合的地区差异格外醒目，可分为四个地形区，即西北部高山丘陵区，是市内的主要农业生产地区之一；北部川东平行岭谷区，是重庆市的城镇和工矿最集中的地带，也是全市最大的农业生产区；东北部的大巴山区，是全市主要的林业资源区；东部、东南部和南部属于巫山、大娄山区以中低山为主，石林、地下河、溶洞等岩溶地形颇为发育，也是全市重要的森林资源区。

气候环境：重庆辖区气候属于中亚热带湿润季风气候区，冬暖春早，热量丰富，无霜期长，降水充沛。重庆市四周环山，冬季北方寒流不易入侵，冬季温暖。最冷月平均气温一般在5℃至8℃，比同纬度的长江中下游地区高出3℃至4℃。冬季温暖，为各种经济林木提供了安全越冬的有利条件。2月底至3月上旬重庆各地先后进入春季，比同纬度的长江中下游地区提早20天，其日均温度稳定在10℃以上，有利于大春作物的早播，早栽和小春作物的生长。夏季长约4—5个月，大部分地区7月均温为28℃至30℃，极端最高温度达42℃，是全国的高温区，重庆主城区更以全国的"火炉"著称。夏季长，降水集中，有利于春季作物的旺盛生长。重庆是中国同纬度地区热量资源最丰富的地区。年均气温一般在13℃一18℃。无霜期长达280天—350天。重庆市降水充沛，全市年平均降水量986mm—1366mm。夏季集中全年降水的40%—60%，雨热同季，有利于农作物的生长。夜雨昼晴，对植物的光合作用有利。

淡水资源：重庆市是一个淡水资源十分丰富的地区，但是水资源时空分布不均，开发利用相对困难。境内江河纵横，水系发达。主要河流有长江、嘉陵江、乌江和大宁河等。流域面积大于50平方公里的河流有374条，其中流域面积在100平方公里的河流有167条，流域面积在100—500平方公里的河流152条，流域面积在500—1000平方公里的河流19条，流域面积在1000—3000平方公里的河流有18条。重庆水资源丰富，但是以江河过境径流为主，人均占有当地水资源少。

从总体上看，重庆市水资源的开发利用程度不高、潜力较大。已开发利用的水资源62.2572亿立方米，人均210立方米。其中当地地表水已开发利用38.44亿立方米，只占可开发利用量211.39亿立方米的31.67%。地下水已开发量1.57亿立方米，占可开发利用量的3.5%，过境水已开发22.25亿立方米，占多年平均过境径流量的0.56%。

综上所述，重庆市历史发展悠久，人文环境多变，自然地理复杂。本项目的研究思路即在此复杂的地形特征和地貌类型的基础上形成，分析了解地形的特点，并研究地形对土地利用景观格局的影响。

3.2 研究数据获取

3.2.1 数据来源

本研究采用的DEM数据是以重庆市规划局测绘资料1：10万地形图为信息源,共79幅。该地形图采用1954年北京坐标系，1956年黄海高程系，等高距为20米,1985年版图式。本研究用到的土地利用景观格局数据来源于中国科学院遥感研究所承担国家土地资源调查项目成果中2000年重庆市的土地利用数据，解译的卫星像片为TM片，解译精度为30×30米。

3.2.2 研究区数字高程模型建立

用扫描仪将1：10万地形图输入到计算机中，然后用屏幕矢量化软件R2V进行配准和图形数字化，并转换成Arcmap的文件格式，将栅格图像转换成矢量图；针对研究中所使用的地理数据具有不同尺度和来源的特点，将研究区的地形数据进行投影转换，转换成统一的高斯一克吕格投影；然后在地理信息系统软件中通过对等高线数据进行内插生成TIN模型，最后转化为规则格网的GRID数据格式，建立研究区的DEM模型。

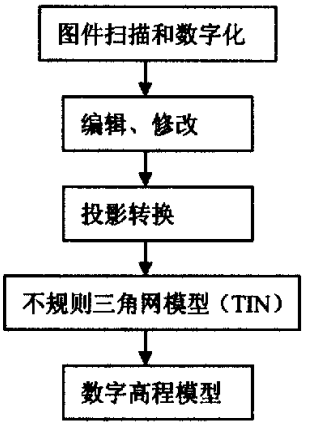


图3-2 数字高程模型生成流程图

Fig3-2 The process of building the digital elevation model

通过上述工作流程，得到研究区的数字高程模型图（DEM），如图3-2所示。数字高程模型建成后，可以进行地形因子的自动提取。

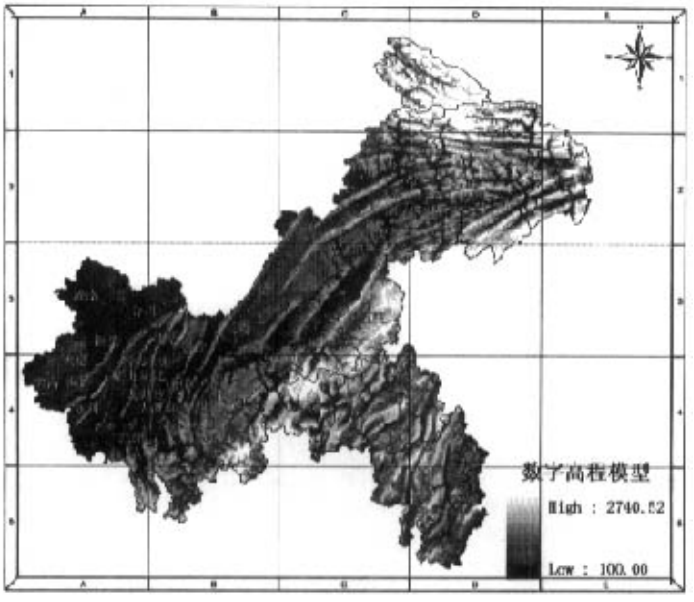


图 3-3 数字高程模型（DEM）

Fig3-3 Digital elevation model of Chongqing

3.3 研究分析工具（软件）简介

DEM 的建立主要用到 Arc/Info8.3 版软件，由美国环境系统研究所（ESRI）开发，功能强大。DEM 的建立过程中的构建 TIN（Triangulated Irregular Network：不规则三角网，是专为产生 DEM 数据而设计的一种采样表示系统）和最终的 DEM 生成都是在该软件下完成的。它是一个混合数据模型建立的制图系统，其利用关系模型和拓扑模型组织地理数据，便于有效地管理两种基本的空间数据：描述位置和点、线、面特征拓扑结构的位置数据及描述这些特征性能的属性数据，并可实现数据的自动连接，便于多种地理要素的输入和存储，更有利于数据文件的叠加分析，提高空间数据的检索速度和处理效率[64]。景观格局分析主要用 Fragstats 3.3 计算景观指数，用 Excel 进行统计分析。

第 4 章 DEM 地形分析的指标体系及提取方法

4.1 DEM 地形信息提取的基本思路与体系结构

地形是最基本的自然地理要素，地形因子是对地形及其某一方面特征的具体数字描述。地形特征制约着地表物质与能量的再分配，影响着土壤与植被的形成和发育过程，决定着土地利用与土地质量的优劣。因此，对地形因子进行全面的研究和实现快速、准确的提取，对分析地形信息在实际地学规律研究中的应用以及进行深层地学知识挖掘具有重要的意义。

DEM 是地面高程数据的集合，是对实际地表的离散化模拟。基于 DEM 数据，利用栅格 DEM 中的聚类、聚合、信息复合、追踪和窗口等 GIS 空间分析方法来确定提取算法，对地表面的各种地形因子进行有效的提取；进而在实现系列相关地形基本因子提取的基础上，分析地形因子的空间分布规律。因此，确定基本地形因子的提取思路、系列构成是 DEM 地形知识提取的关键和前提所在。

4.1.1 地形因子提取的原则

对地形因子的确定，是地形地貌学的研究热点之一。本研究在对地形因子进行选择和确定时，遵循以下几个原则：

科学性：对地形因子指标的选择及其分类体系的确定，要有一定的地貌学意义，符合地貌成因学和地貌形态学的科学原理，可以反映地面的地貌形态及地势高低的起伏状况，而且符合地形要素本身的客观规律。

区域性：所选择的地形因子指标，宏观尺度上要力求能够反映区域的地形特征，微观上地形指标应该表现为反映坡面形态的坡度、坡向等指标。

定量化：地形因子指标的表现形式应该为无量纲数值，而非一般的地貌类型的定性分类，如山地、丘陵等科学术语描述。

可操作性：选取的地形指标应该便于用 RS/GIS 的方法实现信息的提取，能够以已经完成的国家基础地理数据库的数字高程模型（DEM）作为基本信息源，在 GIS 平台支持下，利用地形分析方法实现地形信息的有效提取。

4.1.2 地形因子提取的基本思路

科学性、易实现性、通用性与统一性是确定各个地形因子提取算法的基本原则。具体做法是：把基本的地形地貌特征数量化，并结合严密的数学推导，形成一套计算方法，使之不仅具有地学意义，而且也具有严格的数学意义。

基于 DEM 的地形信息提取算法具有以下几个特点：（1）地形因子主要反映了地表的地形地貌特征，所以地貌成因学和形态学理论是地形因子提取的最基本出发点；（2）DEM 数据所包含的地形信息具有多集性和多层性的特征，提取地形因子的方法就是基于 DEM 的这个特点，由基本的高程信息层层递进提取，逐步实现高程的一阶次信息提取（如坡度、坡向等），再到

高阶次（如曲率等）地形信息的提取。

4.1.3　地形因子的分类体系

用来描述地形特征和空间分布的地形参数很多，不同学科和领域对此的理解和分类也不同。如：按地学应用范畴可以分为一般地形属性和水文特征[65]；按地形要素的复杂性分为单要素参数和复合参数，其中单要素参数由高程数据直接得到，而复合参数是几个单要素参数的函数[13]；按地形参数的计算特性可以划分为局部地形参数和非局部地形参数；按地形分析的复杂性，分为基本地形因子计算和复杂地形分析[1]；也有综合地形要素的关系特征和计算特征，分为单要素、复合要素和局部要素。

本文主要反映地表信息的空间结构层面，因此可将地形因子划分为微观因子、宏观因子和其它相关信息因子等三大类[66]。微观因子包括坡度、坡向、坡长、地面曲率等，它们所描述的是地面具体点位的地形信息特征；宏观因子包括地形起伏度、地面粗糙度等，它们所描述的是一定区域的地形特征；其它相关信息因子包括太阳辐射通亮密度、反射系数和太阳直接日辐射等，这类地形因子是多种参数组合模型，地形参数在整个模型中起着至关重要的作用，是几个或多个地形因子的数学组合。本章重点对微观和宏观的地形因子的提取算法进行研究。

4.2 DEM 微观地形因子的提取原理与算法

微观的地形因子包括坡度、坡向、地面曲率等，它们所描述和反映的是地面具体点位的地形信息特征。在利用 DEM 数据对此类地形因子进行提取和分析中，一般采用单栅格或小窗口的栅格处理方法（local grid processing method）。

4.2.1　坡度因子

地面坡度（slope）可以表述为：地面某点的坡度是过该点的切平面与水平地面的夹角，是高度的变化的最大值比率，表示了地表面在该点的倾斜程度。地面坡度实质是一个微分的概念，地面每一点都有坡度，它是点上的概念，而不是一个面上的概念。

地表上某点的坡度 S 是地表曲面函数 $z = f(x,y)$ 在东西、南北方向上的高程变化率的函数，即坡度算法的数学表达式为

$S = \arctan\sqrt{p^2 + q^2} \times 180/\pi$　（Shary,1991）

式中 S 指坡度，p 是 x 方向高程变化率，q 是 y 方向高程变化率。因此，求解坡面某一点的坡度，关键是求解 p 和 q。栅格 DEM 是以离散形式表示地面曲面，且曲面函数一般也不知道，因此在栅格 DEM 上对 p 和 q 求解，一般是在局部范围（3×3 窗口）内，通过数值微分方法或局部曲面拟合方法进行。

根据对 p 和 q 的计算方法，在栅格 DEM 上利用 3×3 移动窗口提取坡度数学模型可以归纳为数据分析法、局部曲面拟合法、空间矢量法和快速傅立叶变换法等。下面仅对其中两种最常见的提取方法进行具体阐述。

1）最大坡降算法（Maximum Drop Slope）

是最简单的一种坡度计算方法，如图 4-1，该方法是利用中心栅格点与周围八个格网点的高程差计算坡度，其最大者为该点的坡度。见式（1）和（2），式中 d 为格网间距，当 Z_i 为对角线时 $k=\sqrt{2}$；反之，$k=1$。$i=1,2,...4,8$。

$$S_i=(z_0-z_i)/kd \qquad (1)$$

$$S=\arctan\{MAX(S_i)\}\times 180/\pi \qquad (2)$$

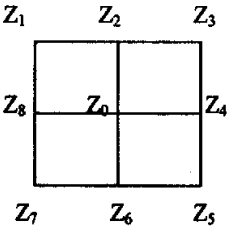


图 4-1　最大坡降算法示意图

Fig4-1 Sketch map of maximum drop slope arithmetic

2）差分算法（Finite Difference）

虽然，最大坡降算法简单，执行率高，但高程误差对坡度影响较大。为了克服其缺点，结合 DEM 的规则格网分布特点，围绕差分原理产生了多种坡度算法。如图 4-2，设中心格网点为（i,j），相应坐标为（x_i,y_j）,局部地形曲面设为 $z=f(x,y)$，d 为格网间距，则在（i,j）处 Taylor 级数展开式为（取至一次项）：

$$f(x_i+kd,y_j+kd)=f(x_i,y_j)+kdf_x+kdf_y \qquad (3)$$

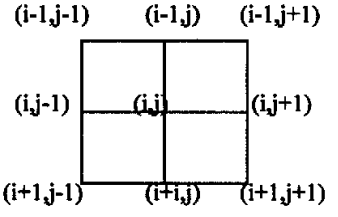


图 4-2　差分算法示意图

Fig4-2 Sketch map of finite difference arithmetic

式中 k（k=1，0，1）为展开范围，按照不同的 k 取值和定权方式，将产生不同的坡度计算模型，包括简单差分、二阶差分、Frame 差分、三阶不带权差分、三阶反距离平方权差分和三阶反距离权差分。目前最常用的是二阶差分和三阶反距离平方权差分。

窗口在 DEM 数据矩阵中连续移动后完成整个区域的计算工作。在 3×3 的 DEM 栅格窗口中，如果中心栅格是 No Data 数据，则此栅格的坡度值也是 No Data 数据；如果相邻的任何栅格是 No Data 数据，它们被赋予中心栅格的值再计算坡度值。

4.2.2　坡向因子

地面任何一点切平面的法线在水平面的投影与过该点的正北方向的夹角称为该点的坡向。按顺时针方向计算，坡向值范围为 0°-360°。对于每一个栅格来说，即确定 z 值改变量为最大变化的方向。

坡向的数学表达公式为

$$Direction = arctg(\frac{p}{q})$$　　（Shary，1991）

式中：q、p 的含义和坡度中的解释一致。

这个公式是在曲面为平面的特定条件下所提出的，但实际的地形表面往往都是不规则的曲面，这就需要我们在分析时引入差分的算法。其原理是 GIS 中常用的窗口分析法进行扫描，利用一个 3×3 的窗口，按照$aspect = arctg(\frac{q}{p})$进行。p、q 的计算方法以及分析窗口与坡度算法中的一致。坡向在 x 轴为东西方向，y 轴为南北方向的坐标系中。DEM 坡向计算数学模型为

$$Aspect = 180^\circ - arctg(\frac{q}{p}) + 90^\circ \frac{q}{|p|}$$

4.2.3　地面曲率因子

地面曲率是对地表面每一点弯曲变化程度的表征，地面曲率在垂直和水平两个方向上的分量分别平面曲率和剖面曲率。平面曲率指在地形表面上，具体到任何一点，指用过该点水平面沿水平方向切地形表面所得的曲线在该点的曲率值，也就是每一点所在的地面等高线的弯曲程度，利用这个数值来量化的说明地表曲面沿水平方向的弯曲、变化情况，从而对地面的复杂程度进行表征。从另一个角度讲，地表曲面的平面曲率也是对垂直于坡向的曲线弯曲程度的度量。数学表达式为：

$$Kh = \frac{q^2 r - 2pqs + p^2 t}{(p^2 + q^2)\sqrt{1 + p^2 + q^2}}$$　　（Shary，1991）

剖面曲率是指在地形表面上，具体到任何一点，都有过该点的法线方向和微小范围内高程变化最大方向的平面和地形表面相交所得的曲线，所得曲线在该点的曲率值，即为剖面曲率。利用这个数值，来量化的说明地表曲面在垂直方向的弯曲、变化情况，从而对地面的复杂程度进行表征。从另一个角度讲，地表曲面的剖面曲率也是对地面坡度的沿最大坡度方向变化率情况的度量。数学表达式为：

$$Kv = \frac{p^2 r + 2pqs + q^2 t}{(p^2 + q^2)\sqrt{1 + p^2 + q^2}}$$　　（Shary，1991）

基于 DEM 对曲率因子的提取算法原理为：在 DEM 数据的基础上，根据其离散的高程数值，把地表模拟成一个连续的曲面，从微分几何的思想出发，模拟曲面上每一个点所处的垂直于和平行于水平面的曲线，利用曲线曲率的求算方法的推导得出各个曲率因子（包括剖面曲率、平面曲率）的计算公式。

4.3 DEM 宏观地形因子的提取算法

宏观的地形因子包括地形起伏度、地表粗糙度等，它们所描述和反映的是地面比较大区域内宏观的地形特征。基于 DEM 数据对这类信息因子进行提取，采用的原理为 GIS 扩展栅格窗口分析和追踪分析方法，由此来确定提取原理和算法。

4.3.1 地形起伏度

地形起伏度也称为地势起伏度或地势能量、局部地势、相对高度，是指在所指定的分析区域内所有栅格中最大高程与最小高程的差。可表示为如下公式：

$$RF_I = H_{\max} - H_{\min}$$

式中，RF_i 指分析区域内的地面起伏度，H_{max} 指分析窗口内的最大高程值，H_{min} 指分析窗口内的最小高程值。

地形的起伏是反映地形起伏的宏观地形因子，在区域性研究中，利用 DEM 数据提取地形起伏度能够直观的反映地形的大小起伏特征。本研究中，地形起伏度能够反映景观变化的特征，是比较适合的评价指标。

实现对地形起伏度的提取在于确定分析区域内的最大和最小高程值，而这样的高程值会随分析窗口或区域的大小不同发生比较大的改变，目标栅格点起伏度会随着分析窗口半径的增大而增大，这将会影响区域起伏度的大小。确定一个合适的分析窗口半径或分析区域，使得在宏观范围内求取的起伏度能够准确反映地面的起伏状况与水土流失特征，是地形起伏度提取算法中的核心步骤和决定区域地形起伏度信息提取效果与有效性的关键。

按照地貌发育的基本理论，一种地貌类型存在一个使最大高差达到相对稳定的最佳分析区域，传统方法利用栅格窗口的递增方法来寻找最佳的分析窗口，此方法比较适用于小比例尺、低分辨率、大区域的 DEM，这一点刘新华、汤国安已经基于 1：100 万全国 DEM 得到了证实。本研究在其研究的基础上，结合当地实际，选取 2km×2km 分析窗口作为本研究地形起伏度提取的最佳统计窗口。

4.3.2 地表粗糙度

地表粗糙度是反映地表的起伏变化和侵蚀程度的指标，一般定义为地表单元的曲面面积 S 曲面与其在水平面上的投影面积 S 水平之比。用数学公式表达为：

R=S 曲面/S 水平＝1/cos（Slope）

地表粗糙度是能够反映地形的起伏变化和侵蚀程度的宏观地形因子。在区域性研究中，地表粗糙度是衡量地表侵蚀强度的重要量化指标，在研究水土保持及环境检测时研究地表粗糙度也有很重要的意义。

根据上述定义基于 DEM 的地表粗糙度的提取主要分为以下两个步骤：

（1）　根据 DEM 提取坡度因子 S；

（2）　再根据 R＝1/cos(S)计算地表粗糙度 R。

（说明：在计算坡度 S 的余弦时，S 要化为弧度值进行计算。）

4.3.3　高程变异系数

在实际的地球表面，几乎每一点的高程都会有所不同。但是在 DEM 及地形图中，由于制图综合及分辨率的原因，邻近范围内就会出现一些高程值相同的点。一般在平原或台地的中间，邻近范围内相同高程点的数量越多；而在山地或丘陵地区，邻近范围内不同高程点的数量就多。因此这种邻近范围内高程不同点的数量也可以作为描述局部地形起伏变化的指标。

高程变异系数（Variance Coefficient in Elevation）是反映地表一定距离范围内，高程相对变化的指标，以该区域高程标准差与平均值的比值来表示。

$$VCE_i = S_i / \overline{Z_i}$$

式中，VCE_i 指统计区域的地形高程变异系数；S_i 指统计区域高程标准差；$\overline{Z_i}$ 指统计区域高程的平均值；i 为自然数，指某一统计区域。以 3×3 的矩形窗口为统计单元提取高程变异系数，利用空间分析中的邻域分析功能，将 3×3 的矩形窗口在整幅 DEM 中连续移动，即得到研究区地形高程变异系数图。

第5章 重庆市地貌地形信息提取与分析

5.1 基于DEM的地貌形态提取方法

基于DEM来提取各种地貌形态类型目前已经有了大量的研究，它的核心思想就是根据海拔高度和相对起伏度来快速高效地确定基本地貌形态类型，理论上只要DEM数据足够精确，就可以很准确地确定基本地貌形态。

5.1.1 基于DEM地面绝对海拔高度的等级划分

根据我国实际地貌特点以及全国1：100万制图规范，规定低海拔为小于1000m，中海拔介于1000～3000m之间，高海拔介于3500～5000m之间，极高海拔大于5000m。由于重庆市的地貌类型特征和实际所用地形图的比例，此分类很难反映当地的实际地貌，难以让人想象出它们的实际状态。因此，根据实际情况将低海拔分界线1000m修订为800m；另外，从1：10万数字高程模型上提取的等高线数据可知，由于重庆市总体来说海拔在2740.52m以下，因此，研究区并没有高海拔、极高海拔的地貌类型。因此，该研究区从绝对海拔上讲可以分为两级，即：低海拔小于800m，中海拔介于800～3500m之间。

根据以上对研究区内海拔高度的分析，利用ArcGIS软件，调入1：10万DEM数据，利用重新分类功能把DEM数据按照海拔高度分为低海拔和中海拔两级（如图5-1），并统计各类海拔高度的面积与所占百分比（见表5-1）。

表5-1 海拔高度统计表

Tab5-1 Area of different height

海拔	面积（km^2）	百分比
低海拔	53514.00	64.84%
中海拔	29018.98	35.16%

从表中可以看出，重庆市内低海拔区域所占比例大，占整个研究区面积的64.84%，主要分布在重庆市西部以及西北部地区；中海拔区域占整个研究区的35.16%，主要分布在重庆市的城口、巫溪、石柱、武隆地区。可见，该研究区主要是低海拔、中海拔地貌形态，并没有出现高海拔与极高海拔，整个地貌形态呈现从东部和东南部向西部和西北部逐渐降低的趋势。

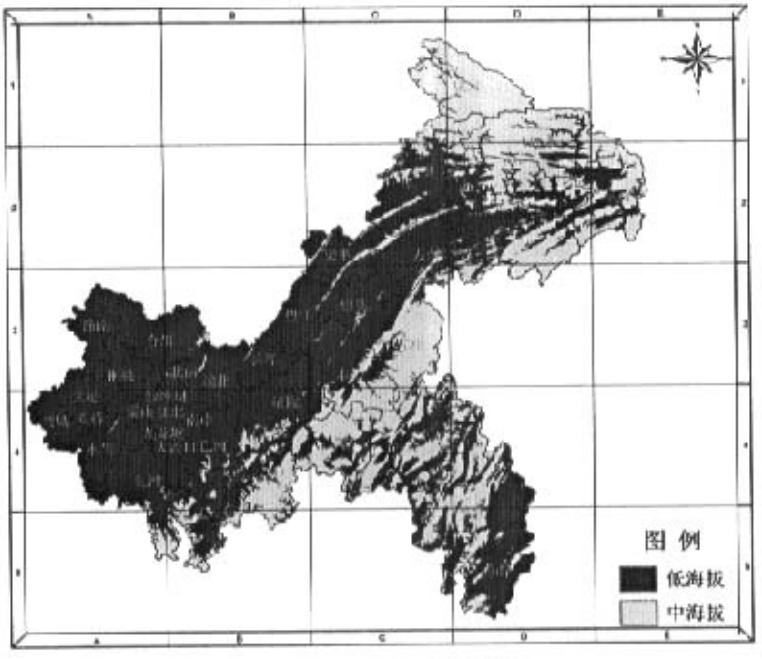


图 5-1 由 DEM 生成的海拔高度图

Fig5-1 Height map of study area from 1:100,000 DEM

5.1.2 基于 DEM 的地形起伏度计算

地形起伏度是定量描述地貌形态，划分地貌类型的重要指标。地形起伏度在一定程度上反映地貌的发育阶段，年轻的近期强烈抬升、褶皱或断裂形成的形态多有较大的起伏度，而年老的经受了夷平作用的地势起伏度较小。起伏度大小又是决定近期侵蚀作用强度的重要因素之一，在生产上也有重要的意义[29]。

地形起伏度表示地表单元地势起伏的复杂程度，指某一面积内的最高点和最低点之间的高差。与相对高度的区别在于：相对高度指地面点与地方基准的高差，而地形起伏度则与地貌发育的基准没有必然联系[67]。全国地貌图的制作过程中采用把相对高度，即地形起伏度作为第一级分类指标，即平原、台地、丘陵、小起伏山地、中起伏山地、大起伏山地和极大起伏山地等 7 级。结合研究区低山丘陵的特征，将其分为平原（<20m）、低丘陵（20～75m）、高丘陵（75~200m）、小起伏山地（200～500m）、中起伏山地（500～1000m）、大起伏山地（>1000m）6 级。

根据以上对研究区起伏度的分析指标，利用 GIS 软件，调入 1：10 万 DEM 数据，利用邻域分析功能，采用 20×20 的网格，借助于计算机自动计算出地形起伏度结果。最终将该研究区按起伏度划分为 6 级（如图 5-2），并统计各级别起伏度的面积及所占百分比（如表 5-2）。

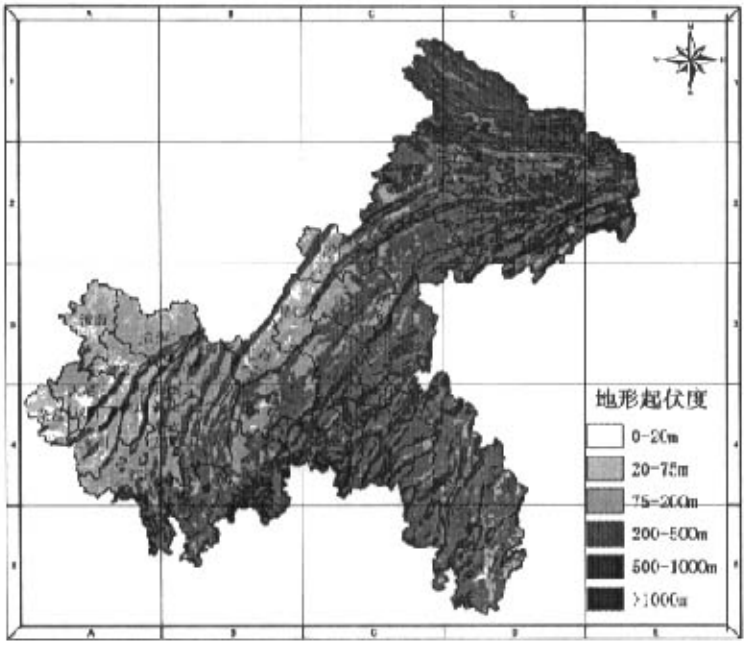


图 5-2　地形起伏度分布

Fig5-2 Relief amplitude map of the study area

从表中可以看出，利用 1：10 万 DEM 计算出重庆市的地形起伏度图中，小起伏山地面积所占比例最大，中起伏山地和高丘陵次之，平原和大起伏山地面积最小。说明研究区地势以低山和丘陵为主，地势起伏度大，且地区分布较明显，东部、东南部和南部地势多为中起伏山地和大起伏山地，西部地势低，多为低丘陵。

表 5-2　地形起伏度面积对比

Tab5-2 Area contrast of relief amplitude

统计 / 地形起伏度		面积（km^2）	百分比（%）
平原（平坝）		1536.62	1.78%
丘陵	低丘陵	5831.82	6.77%
	高丘陵	15516.25	18.02%
山地	小起伏山地	37901.42	44.02%
	中起伏山地	22989.36	26.07%
	大起伏山地	2319.58	2.69%

5.2 地貌形态分类及等级计算

地貌分类是地貌制图的基础，是地貌制图学研究中的重要理论问题之一。到目前为止，国内外研究者已经提出了众多的分类方案。由于人们认识角度不同、认识程度不同，因此地貌分类系统也会不同。目前的地貌分类系统大体可以分为按形态、按成因、按形态成因、按多种指

标综合等多种方式，每一种分类系统都有自己突出的优势之处，但目前还没有统一的地貌分类系统。

本研究结合 1：10 万地形图和研究区地貌类型特点，采用形态和成因相结合分类原则。在基本地貌形态上，主要依据海拔，少数依据起伏度而划分，利用 DEM 计算出的海拔和地势起伏度相结合划分出山地、丘陵等基本地貌形态类型。

表 5-3 基本地貌形态类型

Tab5-3 Geomorphologic classification system

海拔 / 起伏度	低海拔<800m	中海拔>800m
平原（<20m）	平坝	台地
低丘陵（20-75m）	浅丘陵	浅丘陵
高丘陵（75-200m）	中丘陵	高丘陵
小起伏山地（200-500m）	低山	中山
中起伏山地（500-1000m）	低山	中山
大起伏山地（>1000m）	低山	中山

根据地貌类型的分类描述，在 ArcGIS 中通过叠加分析，去除破碎多边形之后，生成海拔高度和起伏度叠加图（如图 5-3），并统计各类基本地貌形态类型面积值和所占百分比（如表 5-4）。

从表 5-4 中可以看出，研究区的地貌类型以低山为主，整体地貌以山地和丘陵为主，山地总面积为 61475.98km^2，占 74.49%，丘陵总面积为 19919.96km^2，占 24.14%。依据表 5-3 的分类系统，研究区并没有出现台地类型，因此根据统计分类的结果，确定重庆的地貌类型为平坝、浅丘陵、中丘陵、高丘陵、低山、中山 6 类。

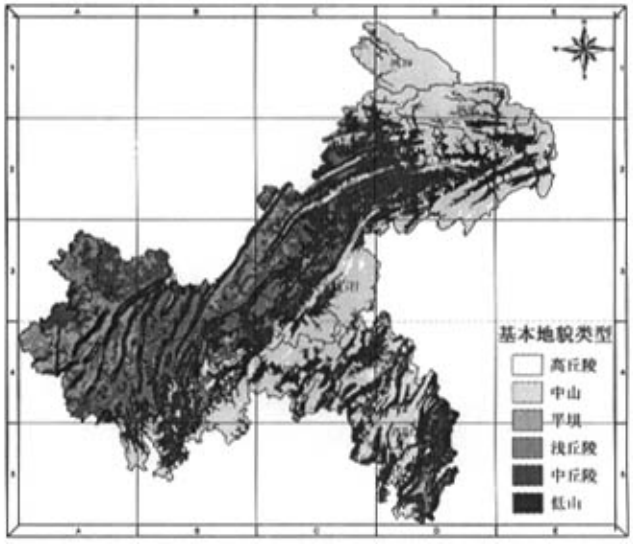


图 5-3　海拔高度与起伏度叠加生成的基本地貌形态类型图

Fig5-3 Basic geomorphologic types from height and relief amplitude

表5-4 基本地貌类型统计表

Tab5-4　Area contrast of basic geomorphologic shape types

统计 / 基本地貌类型	面积（km^2）	百分比（%）
平坝	1133.31	1.37%
浅丘陵	5326.67	6.45%
中丘陵	13931.64	16.88%
低山	33126.11	40.14%
高丘陵	665.38	0.81%
中山	28349.87	34.35%

5.3 地形信息提取与结果分析

5.3.1 微观地形因子结果分析

微观地形因子的提取主要是在ArcGIS中加载DEM数据层，应用空间分析工具，根据DEM数据自动提取。借助重分类（Reclassify）功能对数据进行分级显示，并统计各个级别的面积大小的百分比来进行结果分析。

（1） 坡度特征分析

从表5-5和图5-4中可以看出，研究区缓坡（坡度<5°）占总面积的22.09%，主要分布在西部平行岭谷低山丘陵区，且相连成片，其余多沿江河溪谷等小面积零星条状分布。坡度在25°以上的地方占到全区总面积的18.37%，坡度越大，水份流失越严重，土壤受侵蚀的可能性也越大。研究区大部分为坡度8-25°的缓坡和斜坡，分布最广，占到总面积的49.11%。按照周万村对三峡库区土地坡度的划分[68]，15-25°的斜坡地侵蚀和块体运动比较剧烈，水土流失比较严重，勉强农作，是农耕地的上限。研究区15-25°的斜坡地面积21650.09 km^2，占到总面积的26.23%，表明研究区内大面积土地资源较差，是水土保持和改善土壤侵蚀工作的重点。

表5-5 研究区坡度统计表

Tab5-5 Area contrast of slope map

坡度	面积（km^2）	百分比
0-5°	18228.22	22.09%
5-8°	8606.46	10.43%
8-15°	18880.37	22.88%
15-25°	21650.09	26.23%
25-35°	10954.88	13.27%
>35°	4212.96	5.10%

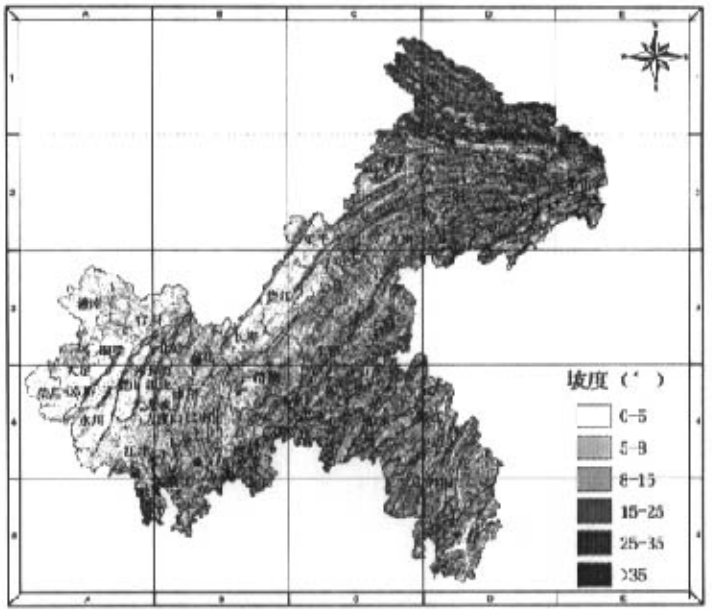


图 5-4　研究区坡度分布图

Fig5-4　Slope map of study area

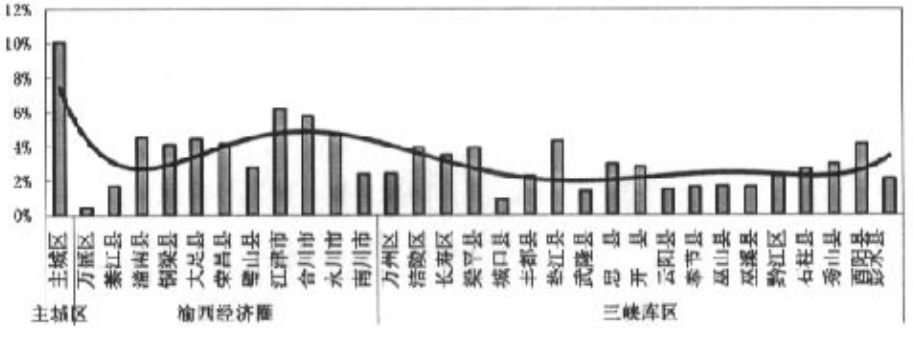


图 5-5a 各区县坡度（0-5°）分布图

Fig5-5a Slope distribution of every district(0-5°)

总体上看，重庆 0-5°的坡度在每个区县分布比较平缓，最少的为万盛区，只占总面积的 0.38%，最多的为主城区，占 10.05%，江津、合川等分布也较多，分别占 0-5°坡度总面积的 6.17%和 5.77%，其余区县所占的面积均小于 5%。单从区县来讲，研究区 0-5°平坡的分布（图 5-5a）在渝西经济圈较为集中，说明渝西经济走廊各区县的地势分布以平坡为主，非常适合农业耕作的发展；主城区 0-5°的坡度比例最大，因其分布在地势平坦的川东平行岭谷区，适合城镇和工矿的发展，也与人为的改造活动有关。

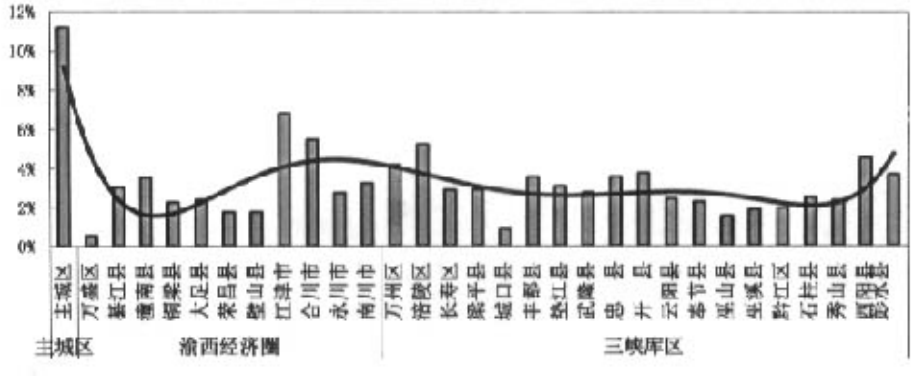


图 5-5b 各区县坡度（5-8°）分布图

Fig5-5b Slope distribution of every district(5-8°)

从图 5-5b 中可以看出，5-8°的平缓坡还是在主城区分布最多，为 11.18%，其次为江津市和合川市。除主城区外，各区县 5-8°的坡度的分布都小于总面积的 8%，但分布范围较 0-5°更平均，起伏趋势平缓，说明各区县中地势上有利于经济区域的进一步扩展。但从坡度图（图 5-4）中可以看出，此坡度范围的分布在主城和渝西经济圈较集中，而在三峡库区中分散，没有成片分布。

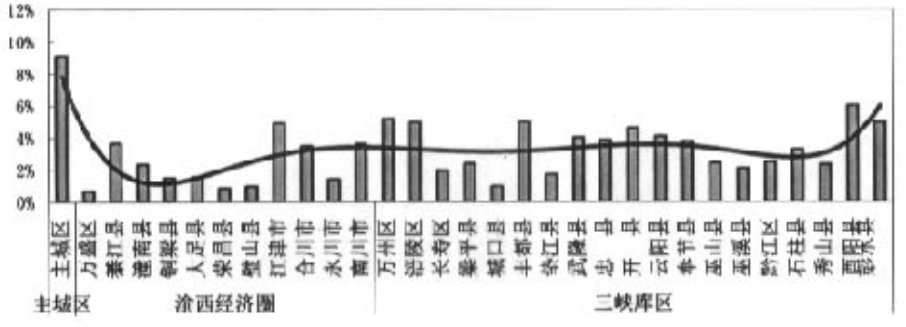


图 5-5c 各区县坡度（8-15°）分布图

Fig5-5c Slope distribution of every district(8-15°)

坡度 8-15°的缓坡在各区县中都有较多分布（图 5-5c），除主城外，分布最多的为酉阳县，占到总面积的 6.01%，占其全县面积的 16.39%，较少的为万盛区和重庆最北部的山区县城口县，分别为 0.68%和 0.97%。城口县 15°以下的缓坡只占到全县面积的 9.48%，说明其非常适合农业耕作的平地与缓坡土地面积少，限制了城口经济的发展。渝西经济圈的区县中 8-15°坡度范围面积明显减少，而且多个各区县的平地和缓坡均占全部县域的一半以上，适宜农业耕作，也适宜开辟新的工业经济基地，因此在地势分布的特征上也适宜作为重庆经济的腹地，在全市经济的发展中具有非常重要的地位和作用。但其区域内南部区县的经济明显落后于西部的几个

区县市，也与南部区县地势的分布有关。

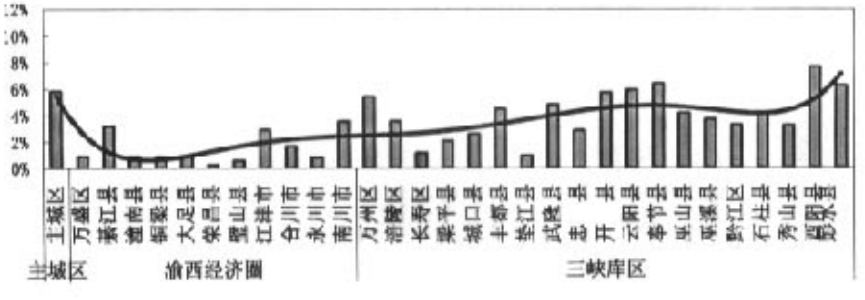


图 5-5d 各区县坡度（15-25°）分布图

Fig5-5d Slope distribution of every district(15-25°)

从图 5-6d 中可以看出，15-25°的斜坡在三峡库区中分布较多，说明三峡沿库地区的耕地以坡地为主，只有部分适合农业发展，加上三峡地区的水库淹没，沿江河谷冲击而成的地势较平坦的良田沃土会基本消失，各区县已不再适合以种植业的农业为主。渝西经济走廊中这部分面积较少，但在加快经济发展的过程中也应注意对这部分斜坡地的保护，以免过渡开发。

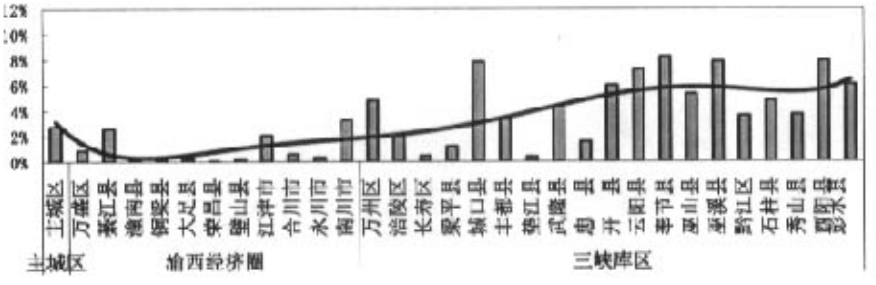


图 5-5e 各区县坡度（25-35°）分布图

Fig5-5e Slope distribution of every district(25-35°)

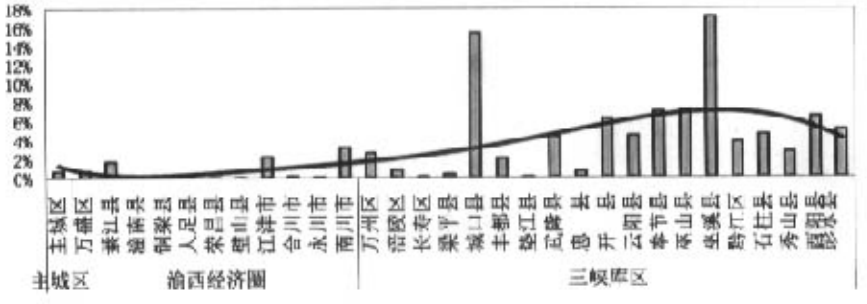


图 5-5f 各区县坡度（>35°）分布图

Fig5-5f Slope distribution of every district(>35°)

各区县坡度25-35°和35°以上的坡度分布集中在三峡库区范围的区县中，巫溪县分布最多，占到重庆25°以上坡度面积的11.26%，城口的分布也占到总面积的10.63%。东南部的区县25°以上的坡度面积也多占到全县面积的30%以上。因此，在经济发展和三峡库区建设的过程中对这部分区域应加大退耕还林还草的力度，严禁新的开荒造地。

总体看来，坡度分布与地表形态组合的地区差异有明显的相关性：西北部的高山丘陵区以8-15°坡度为主，是市内主要的农业生产地区；0-5°的平缓坡多分布北部川东平行岭谷地区，是重庆市城镇和工矿最集中的地带；东北部的大巴山区以25°以上坡度为主，森林资源集中，是林业资源区；而东部、东南部和南部的山区以中低山为主，35°以上坡度在此区域分布最多，也适合于发展林业。

（2）　坡向特征分析

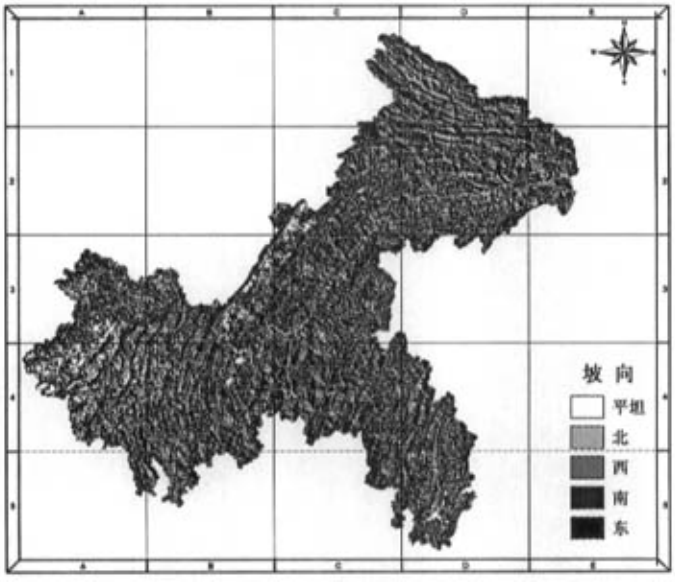


图 5-6　研究区坡向分布图

Fig5-6 Aspect map of study area

根据表5-6和图5-7的坡向数据分析，研究区平坦的地方占到总面积的5.45%，但结果包括了江面部分。除江面以外，多集中在各区县的市区建设用地区域。研究区北坡面积为19048.28km^2，占到总面积的23.08%，南坡面积占总面积的22.83%，南、北坡向土地面积相差不多。但由于南、北坡向下垫面热力状况不同，导致蒸发量有明显的差异，南坡年辐射量大，利于土壤水分蒸发，因此，南坡的土壤水分要小于北坡。整体上看，除平坦无坡向的区域外，各坡向的分布差异不大，呈现平缓分布的特征。

表 5-6　研究区坡向统计表

Tab5-6 Area contrast of aspect map

坡向	面积（km^2）	百分比
平坦（flat）	4497.69	5.45%
北坡（north）	19048.28	23.08%
西坡（west）	19808.04	24.00%
南坡（south）	18841.17	22.83%
东坡（east）	20337.8	24.64%

（3）表面曲率特征分析

GIS 在水文学研究中，经常需要计算表面曲率，用于确定在一个单元位置的表面是凸面或凹面。而地表的剖面曲率是沿着最大坡度方向的估算值，是影响垂直方向坡面形状变化的主要因子，直接影响净侵蚀量或净累积量。剖面曲率值为正，地表呈现凸形起伏，在地学中将这些区域单元称为正地形；反之，曲率值为负，地表面呈现下凹形状，地学中将这些区域单元称为负地形；另外，还有一些地域单元的曲率值为 0，这表明这些区域内地表没有起伏，地域特征可描述为平地或平坡。平面曲率是与最大坡度方向呈直角方向的估算值，它的提取，可以将地形中具有转折意义的特征线识别出来。平面曲率为正，地表形状呈现凸起，即为正地形；反之，曲率值为负，地表面形状呈现下凹，则为负地形；另外，还有一些地域单元的曲率值为 0，这表明这些区域内地表没有起伏。表面曲率则是以上两者的差值，即表面曲率＝剖面曲率－平面曲率，如平面曲率和剖面曲率一样反映地面的形状特征。在正地形区，能量得到累积，土壤侵蚀剧烈，是水土流失严重的地区（在暂不考虑诸如植被、土壤母质等因素作用时）；负地形区，能量减弱，土壤侵蚀减少，是水土堆积的地方。所以讲，通过曲率实现对正负地形区域的划分，对地形信息挖掘和治理水土流失具有现实的意义。

由于前述算法不易实现，在实际提取地面曲率因子中采用汤国安等[69]提出的基于 ArcView 软件提取剖面曲率和平面曲率的改进算法。该算法的原理认为：地面的剖面曲率（profile curvature）实质是指地面坡度的变化率，可以通过计算地面坡度的坡度而求得。地面的平面曲率（plan curvature）是指地面上任一点位地表坡向的变化率，可以通过计算地面坡向的坡度而求得。因此，在本研究中统一使用该算法，分别研究剖面曲率和平面曲率的分布特征。

在地面曲率的分级中，统一使用标准差分级的方法，即中间范围在数据的平均值处划分，中间范围上下两个范围分别位于平均值以上或以下一个标准差处。

$$\ldots,\ x-2\delta,\ x-\delta,\ x,\ x+\delta,\ x+2\delta,\ldots$$

$$\text{平均数}\quad x=\sum X / n$$

$$\text{标准差（中误差）}\quad \delta=\pm\sqrt{\sum(X-x)^2 / n}$$

从表 5-7 中可以看出，研究区内负地形分布区域较正地形分布区域广，说明水土堆积的地方面积大，适宜农作。但由于 1：10 万 DEM 所描述地面的坡度变化的精确性还有待研究，而曲率是对坡度、坡向的二次提取，因此得到的地面曲率特征对地形起伏变化的描述程度降低。

同时，上述的算法虽简便易行，但基于该算法提取的结果，与基于 ArcInfo 软件中现有算法提取的结果、以及实际真值之间的差别还有待于进一步的研究；同时，该算法提取结果

表 5-7 表面曲率分级统计表

Tab5-7 Area contrast of surface curvature map

表面曲率值	标准差分级	面积（km^2）	百分比（%）
< -54.51	-3- -2 Std.Dev	2537.44	3.07%
-54.51~ -37.47	-2- -1 Std.Dev	14612.24	17.70%
-37.47~ -20.43	-1-0 Std.Dev	16396.87	19.87%
-20.43	Mean	1053.89	1.28%
-20.43~ -3.40	0-1 Std.Dev	34245.04	41.49%
-3.40~13.64	1-2 Std.Dev	13687.48	16.58%
> 13.64	2-3 Std.Dev	0.02	0.00%

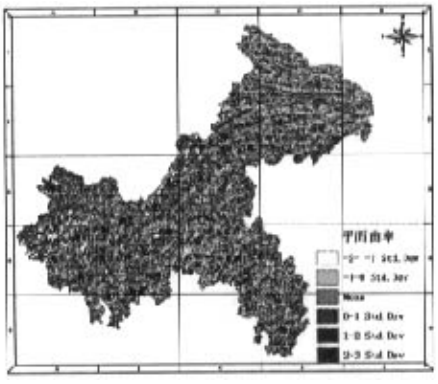


图 5-7a 平面曲率图

Fig5-7a Plan curvature map

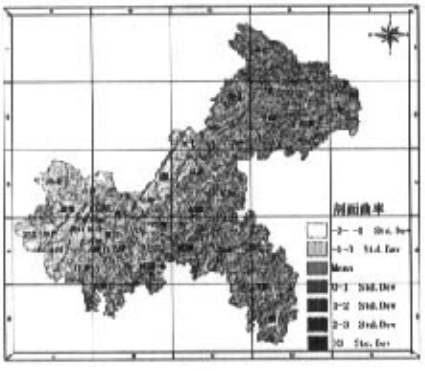


图 5-7b 剖面曲率图

Fig5-7b Profile curvature map

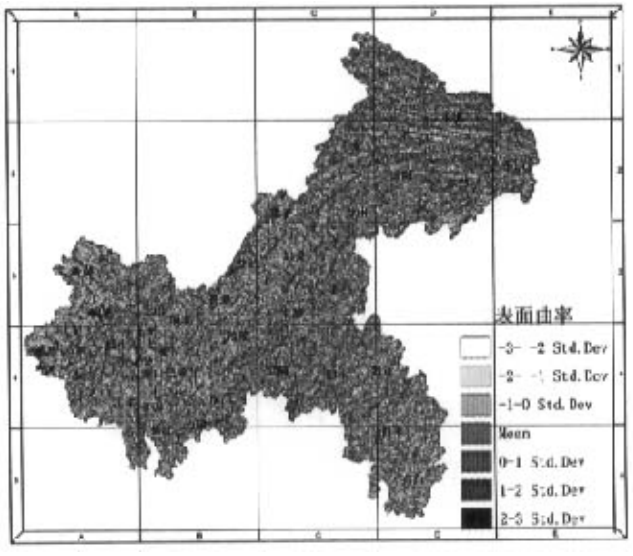


图 5-8　表面曲率图

Fig5-8 Surface curvature map

中的剖面曲率与平面曲率均不包含负值，而从理论上讲，剖面曲率与平面曲率均应有正有负，

因此该算法还有待进一步的改进和提高。

从表5-7和图5-8中可以看出，研究区表面曲率统计显示，负地形占总面积的绝大多数，因此研究区总体负地形区多，土壤能量减弱，侵蚀减少，多利于水土堆积。单从表面曲率分析，研究区地形状况较适合发展农业。

5.3.2　宏观地形因子结果分析

宏观地形因子提取后按照等差分级进行统计分组并研究其频率（频数）分布，以揭示重庆市整体的地形特征。

统计分组是计量地理学中研究地理数据的基本方法之一，它是根据地理事物内部的特点和研究任务，按某种标志把自然和社会现象区分出不同类型或性质不同的组，使资料系统化，进而研究它们的规律性和依存关系。统计分组能反映出地理现象质的差别，频数分布则用于描述原始地理数据的总体结构及分布特征。

（1）海拔高程

海拔是指地面上的某一点与大地水准面的高差，它反映高出陆地地貌发育最终基准面的高度。海拔高度不仅反映地貌总能量的大小，且在一定程度上反映了内外营力强度的总体对比[70]。

以100m为组距，按等差分级对研究区绝对海拔进行频率分析。所得结果如下：

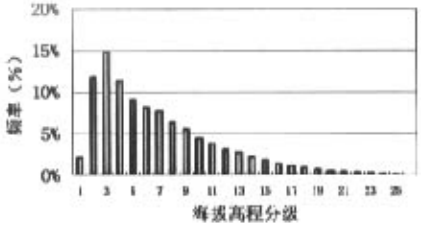


图5-9 绝对海拔高程频率分布图

Fig5-9 Elevation frequency distribution map

(1)从总体看，直方图起伏分布，横坐标在3处对应直方图的波峰，频率为14.86%；横坐标3以上的频率分布持续平缓下降，在坐标26处对应最低的频率，面积百分比只有0.01%；(2)横坐标2-5处，即海拔高度200-500m的频率分布最广，面积分布占到总面积的46.97%，说明重庆市整体的地形分布以低山、丘陵地貌为主；海拔900m以下的总面积占研究区总面积的多半，为

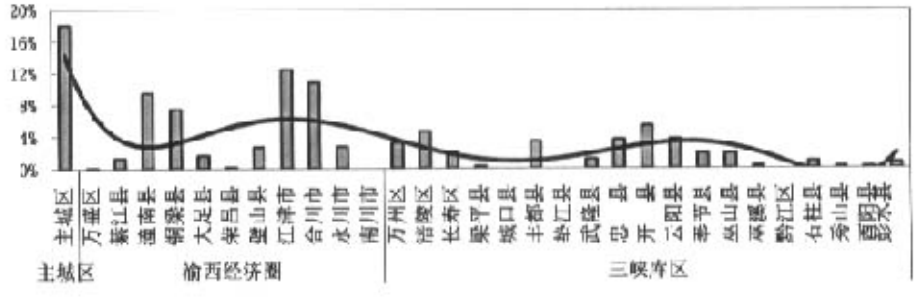


图5-10a 各区县高程（100-300m）分布图

Fig5-10a Elevation distribution of every district（100-300m）

76.74%；海拔900m以上的频率分布下降幅度明显，在海拔1800m以上频率分布均小于1%，

一共也只占总面积的 3.02%。

根据高程频率分布的特点，将研究区的高程分为 100-300m、300-500m、500-700m、700-900m、900-1100m、1100-1500m、>1500 以上七级，按重庆市规划划分的三大经济圈，分别统计各区县的每个高程级别所占此高程范围总面积的百分比。从图 5-10a 中可以看出，100-300m 高程主城区所占的比例最多，占总面积的 18.03%，其次为江津市、合川市和潼南县，都属于渝西经济圈的范围，说明这几个区县地势较低，潼南县 100-300m 高程占到全县面积的 67.43%，因为其沿涪、琼两江沿岸拥有大量的冲击坝地，地势广阔，适合发展农业。总体上看，100-300m 高程主要分布在主城区和渝西经济圈范围内的县市，三峡库区各区县低海拔地区的面积很少。

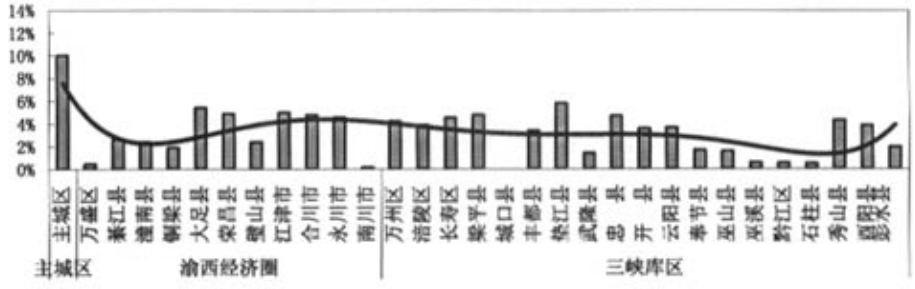


图 5-10b 各区县高程（300-500m）分布图

Fig5-10b Elevation distribution of every district（300-500m）

从各区县 300-500m 高程的分布图（图 5-10b）可以看出，除主城区外，各区县此范围高程的比例均小于 6%，最多的为垫江县，为 5.83%，因垫江地势多为宽阔的谷地和浅丘，是典型的丘陵地貌，土壤自然肥力较强，地势也适于耕种，所以农业发展迅速。渝西经济圈中大足县、荣昌县、江津市、合川市和永川市的 300-500 米高程分布都占总面积的 5%左右，共为 24.66%，分布较为集中。三峡库区中万州区、长寿区、梁平县、忠县、云阳县、秀山县等此高程范围分布也在 5%左右，总体上看，此范围的海拔分布趋势趋于平缓，除城口外都有分布。

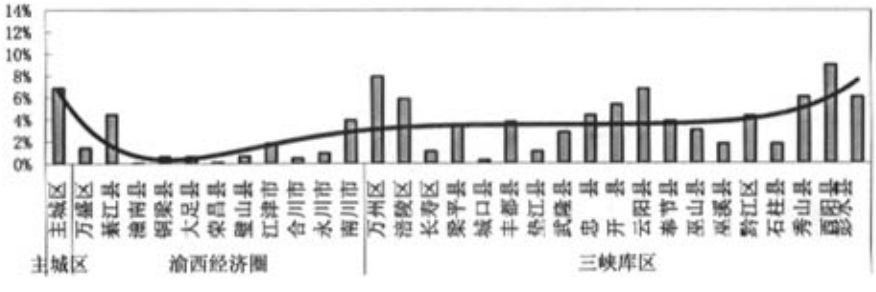


图 5-10c 各区县高程（500-700m）分布图

Fig5-10c Elevation distribution of every district（500-700m）

从各区县 500-700m 高程分布图的总体趋势可以看出，三大经济圈中此范围中各区县的面

积百分比呈波浪分布，潼南县的分布最少，只占总面积的 0.01%，即 1.99km^2 分布在此高程范围内，在所有区县中面积最少；酉阳县的分布占到总面积的 8.95%，分布最多，占其全县总面积的 24.44%。分布较多的万州区和云阳县也在三峡库区的范围内，说明此高程分布集中于三峡库区的区县。总体上看，渝西经济圈此高程范围的分布较少，且渝西经济圈 700m 以下高程的面积占到全市 700m 以下高程面积的 32.09%，各区县 700m 高程以下分布都较多，除万盛、綦江、南川外 700m 以下的高程均占到全县面积的 80%以上。

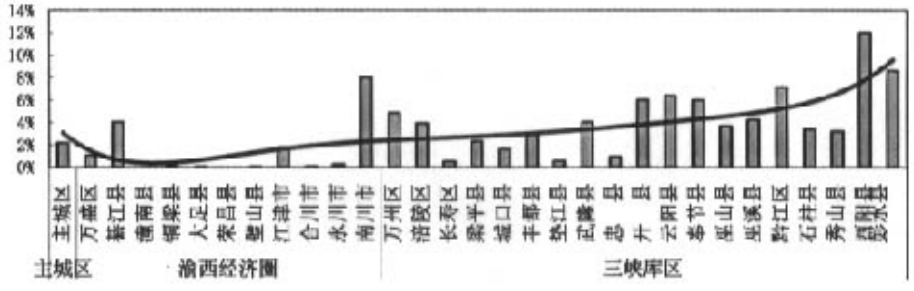


图 5-10d 各区县高程（700-900m）分布图

Fig5-10d Elevation distribution of every district（700-900m）

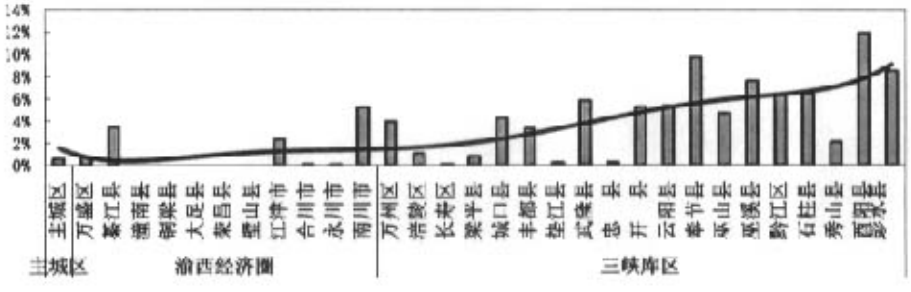


图 5-10e 各区县高程（900-1100）分布图

Fig5-10e Elevation distribution of every district（900-1100m）

各区县 700-900m、900-1100m 高程分布图显示，两高程范围分布规律相似，都呈上升趋势。渝西经济圈中的区县在高程 700-1100m 之间除綦江县、南川市外，其余均分布很少，但三峡库区中各区县分布都较多，总的趋势向南部和东南部升高。

如图 5-10f、图 5-10g 所示，研究区 1100 米以上高程主要分布在三峡库区范围内，石柱县分布最多，占到 12.10%，石柱县 1100-1500m 高程面积占全县总面积的 38.76%，其境内地势东南高，西北低，呈起伏状下降。城口县 1500m 以上高程占到总面积的 17.40%，处在大巴山南麓，地势东高西低，地形复杂，1500m 以上高程面积占全县的一半以上，立体地貌明显，是重庆最北部的一个山区县，也是全市最大的天然林区。

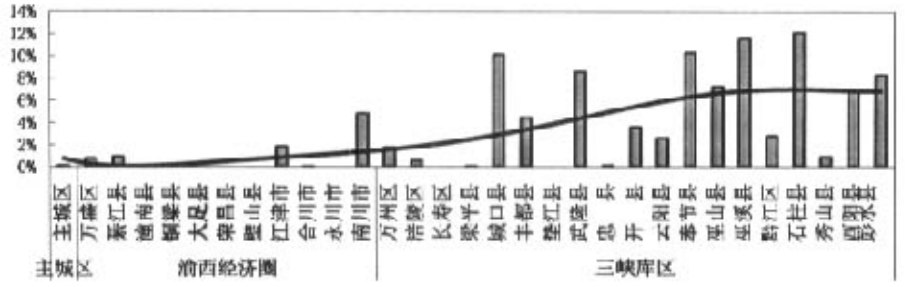


图 5-10f 各区县高程（1100-1500m）分布图

Fig5-10f Elevation distribution of every district（1100-1500m）

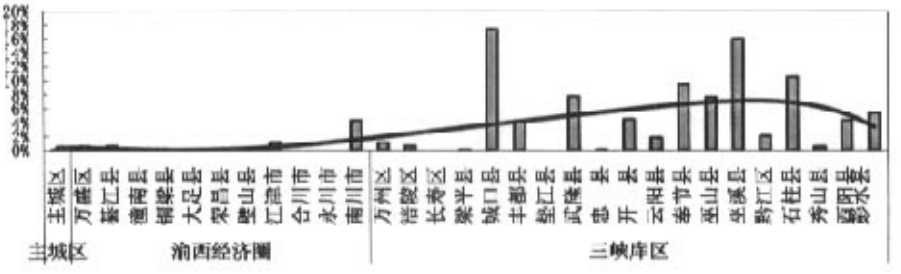


图 5-10g 各区县高程（>1500m）分布图

Fig5-10a Elevation distribution of every district（>1500m）

从重庆四个地形区的差异来看，重庆西北部的高山丘陵区包括所有的渝西经济走廊范围内的区县，海拔高程多集中在 900m 以下，是市内主要的农业生产地区之一；北部的川东平行岭谷区，包括主城区，地势较平坦，海拔高程多在 500m 以下，是重庆市的城镇和工矿最集中的地带，也市全市最大的农业生产区；而东部、东南部和南部的区县海拔高程多在 700m 以上，几乎包括了全市 1500m 以上的高程的所有面积，是全市最重要的森林资源区。

（2）地形起伏度

按照我国 1：400 万地貌图地形起伏度等级划分标准（微缓起伏 0-20 米、小起伏 20-75 米、中起伏 75-200 米、山地起伏 200-500 米、高山起伏>500 米）进行统计，研究区微缓起伏占 1.78%，小起伏占 6.77%，中起伏占 18.02%，山地起伏占 44.02%，高山起伏占 29.39%，研究区以山地起伏为主。

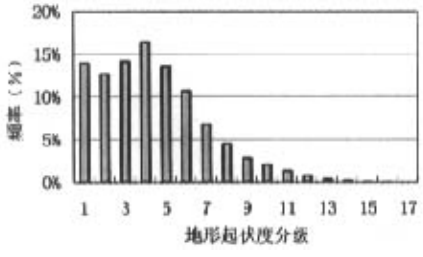


图 5-9 地形起伏度频率分布图

Fig5-9 Relief amplitude frequency distribution map

以 100m 为组距按等差分级，对地形起伏度进

行频率分析。可见，随起伏度的增大，其频率分布整体呈递减趋势，只在第 4 级时略微增高。地形起伏度 4-10 级，随地形起伏度的增大，所占面积减小很快；10 级以上，面积百分比递减趋于平缓。100 米以下的起伏度占总面积的 13.94%，400 米以下起伏度占 57.15%，1000 米以上的占 4.74%。

从空间分布上看，东部、东南部和南部地势多为山地起伏和高山起伏，西部地势低，多为中小起伏。具体情况是：微缓起伏和小起伏主要分布在川东平行岭谷区，主要是丘陵和低山；山地起伏和高山起伏主要分布在城口、巫溪等中山区域。总体上，地形起伏度能较好的反映重庆市大地貌起伏变化特征。

（3）地表粗糙度

按标准差分级进行粗糙度频率分析。结果如图 5-10 所示。可以看出，平均数以下 1 个标准差范围，即粗糙度为 0.97-1.06 范围的面积占到总面积的 63.95%，分布最广；其次为平均数以上一个标准差范围的面积，占到总面积的 20.67%；地表粗糙度越大，所占面积越小，粗糙度为 1.31 以上的面积只占总面积的 2.06%。

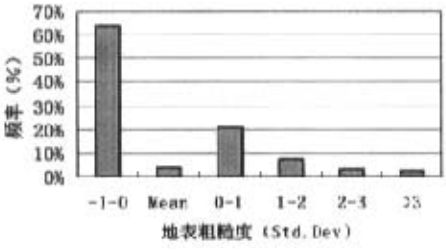


图 5-12 地表粗糙度频率分布图

Fig5-12 Roughness frequency distribution map

空间分布上，中山区粗糙度最大；平坦、低海拔丘陵粗糙度最小；低山位于中间，但仍以小粗糙度为主。宏观上地表粗糙度能较好的反映研究区地表受侵蚀和破碎的程度。

（4）地形高程变异系数分析

按以 0.01 为组距对高程变异系数进行等差分级，统计各级所占面积百分比（最后一级为高程变异系数大于 0.30 的面积总和）。研究区高程变异系数面积百分比分布呈波浪递减趋势，高程变异系数在 0-0.005 之间占 8.06%，主要分布在重庆地势平坦的地区。高程变异系数在 0.005-0.01 之间占 4.58%，主要分布在平坝、丘陵地区。高程变异系数在 0-0.03 之间占重庆面积的 46.81%，大于 0.3 的面积也不过只占到 0.06%，可见重庆大部分地区的高程变异系数都较小，这些地区在局部范围内，高程的相对变化程度都不大。变异系数大的地区多沿长江周边及山脉两侧分布。

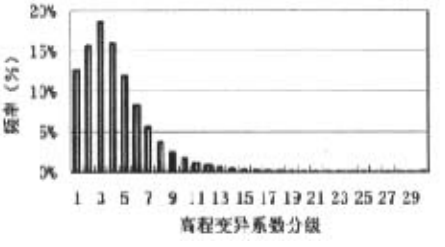


图 5-13 高程变异系数分布图

Fig5-13 Variance coefficient in elevation frequency distribution map

5.3.3　各地形因子的离散趋势分析

离散趋势主要是测定数据集中各数值之间的差异程度，表现在一个分布中各数值与均值

的离差程度。常用来度量离散趋势的统计量有：离差、离差平方和、方差、标准差、极差和变异系数。本研究选用变异系数、标准差和极差来测定和分析离散趋势。各地形因子的统计量计算如表所示：

表 5-8 各地形因子统计表

Tab5-8 Contrast of terrain indices

地形因子	平均值	变异系数	标准差	极差
海拔高程	730.67	0.6094	445.26	2640.52
地形起伏度	392.23	0.6578	258.01	1760
地表粗糙度	1.06	0.0755	0.08	2.43
高程变异系数	0.0381	0.8136	0.0310	0.59

变异系数（The Coefficient of Variation, 简称 C_v）是用来衡量地理要素在时间与空间上的相对变化（波动）程度。用公式表示为 $C_v = \frac{S}{\overline{X}}$，其中 S 是指标准差，$\overline{X}$ 指平均值。变异系数不受量纲影响，因此以它为代表对各地形因子进行离中趋势分析。

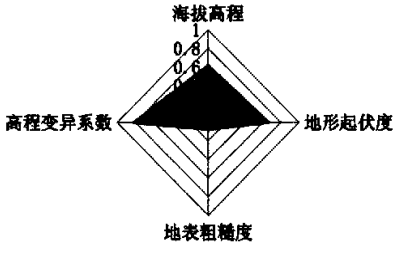


图 5-11 各地形因子变异系数雷达图

Fig5-11 Distribution map of terrain indices

如图 5-11 所示，四个地形因子相比，地表粗糙度离散趋势最小，高程变异系数离散趋势最大。即在研究区范围内，地表粗糙度的波动程度最小，而高程变异系数的波动程度最大。

第6章 重庆市景观空间格局地形分布特征

景观是由不同类型、形状、大小的斑块在空间上镶嵌形成，它们以基质作为背景，直接或通过廊道在空间上间接连接。斑块的空间分布即为格局，它是许多景观过程长期作用的产物，决定着资源地理环境的分布、形成和组分，制约着各种生态过程，并与干扰能力、恢复能力、系统稳定性和生物多样性等有密切的关系[70-71]。当前，人类活动越来越多的影响景观类型的空间镶嵌结构，导致景观破碎化，对生物多样性的影响也日趋严重。通过对景观组分空间分布的特征进行数量化分析，可以较为清晰地分析和描述景观结构与人类活动的相互关系，并从中发现人类干扰下景观空间格局存在的问题。

地形是景观结构和空间格局的重要影响因子，特别是人类活动占优势的景观类型中，地形条件成为大尺度景观空间的分布格局的决定因素，因此，景观类型在空间分布上呈一定的规律性。通过地形差异揭示景观空间分布的规律，可以了解相关的自然和人为因素对景观格局的影响。在景观格局研究中，地形的作用有下述几个方面：

1）地形影响着一种立地条件所接受的太阳辐射、水、营养、污染物和其它物质的数量，从而影响到整个生态环境。例如随着坡向、坡度的不同，日照、水分、土温等影响景观格局的分布；

2）地形条件影响到物质的流动和生物的移动。这最明显的表现在水分和土壤颗粒受重力和受风力影响的流动上，同时，地形也成为不利于生物体通行的障碍物，或者成为便于通行的通道；

3）地形条件可以影响到各种干扰活动（如风、火灾以及人为干扰活动等）发生的频率、强度和空间格局[72-73]。

6.1 景观空间格局指数的选择

景观生态学中，空间格局通常是指缀块在景观镶嵌体中的分布规律。研究景观的空间格局是生态学的基本任务之一[74]。景观空间格局可以运用多种指标进行分析。景观空间格局变化的定量分析可以从景观指数的变化上反映出来[70]。本研究根据研究区景观数据特征和所研究的问题选择以下景观格局指数，以便揭示研究区景观空间分布。

(1) 斑块数(NP)，$NP=n_i$其中包括整个景观的斑块数和某单一类型的斑块数量。

(2) 平均斑块面积(MPS)，$MPS=(\sum_{j=1}^{n}a_{ij})/n_i$ 斑块面积是景观格局最基本的空间特征，是计算其它空间特征指标的基础。斑块的大小一方面影响到景观要素内部营养和能量的分配，另一方面影响到景观中物种组成和多样性。

(3) 破碎化指数（C），$C=\sum_{i=1}^{n}n_i/A$，衡量景观斑块的复杂性。其值越大，表明景观越破碎。

(4) 景观多样性指数（SHDI）,SHDI=$-\sum_{i=1}^{m} P_i \cdot \ln P_i$，其值越大，表明景观斑块类型越丰富，主要考虑不同景观中所占面积的比例和类型的多少。

(5) 景观均匀度指数（SIEI）,SIEI=$\frac{1-\sum_{i=1}^{m} P_i^2}{1-(\frac{1}{m})}$值越大，表明景观异质性越大，反映景观中各斑块在面积上分布的不均匀程度。当值趋于1时，景观斑块分布均匀程度趋于最大。

以上公式中,n_i为第 i 类景观要素的斑块个数；a_{ij}为第 i 类景观要素第 j 个斑块的面积；A 为景观的总面积，m 为除边界以外的某景观类型的斑块数；P_i为景观中第 i 类所占的比例。

6.2 景观空间格局的地形分布特征

高程、坡度和坡向是衡量地形分异的 3 个主要属性特征，也是决定景观其它要素分异（如土壤、小气候和水文等）的主导因子。本研究在分析地形数据的基础上，利用重庆市 2000 年的土地利用景观格局图和地形因子分布图进行叠加分析，建立起研究区内景观格局在高程、坡度和坡向上的分布系列，以期真实反映重庆景观格局的地形分布特征。

6.2.1 景观格局垂直分布特征

按照前述高程的频率分析，将高程分为 5 级，<500m, 500-1000m, 1000-1500m, 1500-2000m, >2000m。由图 6-1 可以发现景观类型分布与高程的关系：水田、水域、居民点及工矿用地、未利用地的绝大部分都分布在海拔 500m 以下，其中水域有 96.52%分布在高程 500m 以下的区域，因为研究区水域中长江和嘉陵江占多数，居民点和工矿用地有 90.81%分布在低海拔区域；有林地、灌木林地和其它林地有 40%多分布在 500-1000m 区域，在人类聚集的 500m 以下区域的分布分别为 11.46%，14.02%，30.85%，面积较少；旱地有 53.68%分布在 500m 以下高程带内，草地有 46.76%分布在 500-1000m 区域，在 1500m 以上区域内分布的旱地和草地占整个区域该类景观较小的比例，分别为 2.52%和 12.86%。

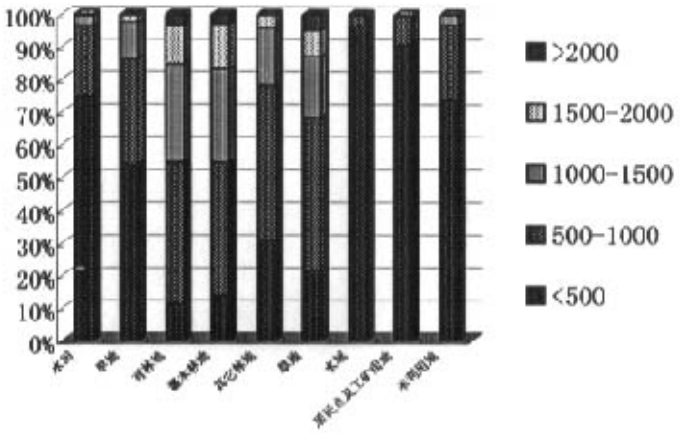


图 6-1 各类景观在不同高程带中的分布

Fig6-1 Different landscape elements distribution map in elevation extents

整体趋势分析，水田、旱地的比重随着高程的增加而减少，水域、居民点及工矿用地和未利用地在 500m 以上随高程的增加而急速减少； 500m 以下的高程带内，各景观类型都有较多分布，以水域分布比例最大，为 96.52%； 500-1000m 区域内景观除水域和居民点外分布较均匀，最多的为其它林地 47.17%，最少的为水田 21.48%；在 1500m 以上的区域，灌木林地的分布比例最多，为 16.77%，其次为有林地和草地，其余景观类型的分布均小于 10%，没有未利用地；有林地、灌木林地和其它林地在 500-1000m 高程带分布最多，海拔大于 2000m 区域水田、居民点及工矿用地和未利用地没有分布，草地分布 4.84%，有林地和灌木林地的分布为 3%左右，旱地和水域只有极少量分布。

表 6-1 按高程分布的景观镶嵌结构

Tab6-1 Landscape indices contrast in elevation extents

高程	斑块数	面积比例	平均斑块面积（km^2）	景观多样性指数	景观均匀度指数	景观破碎化指数
<500	53391	40.01%	0.618	1.558	0.709	1.617
500-1000	64046	36.73%	0.473	1.739	0.792	2.113
1000-1500	31907	16.11%	0.417	1.678	0.764	2.401
1500-2000	10234	5.62%	0.453	1.554	0.747	2.208
>2000	1880	1.53%	0.672	1.215	0.678	1.488

表 6-1 中按高程分布的景观镶嵌结构的数量特征显示：在 1000m 以下区域，景观斑块数以 69.72%，斑块面积以 76.74%比例在整个景观结构中占有绝对性的优势，其中斑块数以 500-1000m 区域内最多，面积则在 500m 高程以下最大，占到 40.01%，而在 2000m 以上的区域内斑块分布最少，面积和斑块数都仅有 1%多点的比例；500m 以下范围内景观面积最大，但斑块数较 500-1000m 范围内小，因此景观多样性指数和景观均匀度指数都居于中间水平；在 500-1000m 区域内由于自然综合条件较好，多种景观类型同时存在，因而景观多样性指数和景观均匀度指数最高，说明各景观类型分布多样，但没有明显占优势的景观类型；在 1500m

以上区域景观类型较少且斑块数目和面积总数都较小，因而景观多样性指数和均匀度指数都较低，不同景观类型的分配也最不均匀，1500-2000m 范围内以有林地和灌木林地为主，2000m 以上以草地和灌木林地为主。

从破碎度大小的排序来看，1000-1500m 和 1500-2000m 区域内指数相对较大，前者是由于景观类型多样且有林地和灌木林地镶嵌分布的结果，后者则是主要由于灌木林地在区域景观中的镶嵌。高海拔地区多分布在东、东南部地区，从以上的镶嵌结果可以看出，人类活动已经对有林地、灌木林地和草地造成比较严重的干扰。在小于 500m 区域内景观破碎度较小，主要是由于低海拔地区是人类活动的聚集区域，由于相似的土地利用活动集中进行而形成一致的景观类型，2000m 以上范围的破碎度最小，是由于地势较高而人为干扰较小，各景观类型分布较集中。

6.2.2　景观格局坡度分布特征

将坡度分为 0-5°，5-8°，8-15°，15-25°，25-35°，>35°6 个级别进行景观格局在不同坡度带中的分布统计。从图 6-2 中可以看出：水田、居民点及工矿用地的有一半以上分布在 0-5°的坡度范围内，分别为 58.57%，75.54%，60.88%，未利用地也有接近一半的部分分布在该区域，可以考虑一定程度的开发；同时这些景观类型都与人类生产和生活密切相关，说明这一坡度范围最适宜于人类活动，但也说明这一区域属于最易受到人类活动干扰和破坏的范围；水域景观有 75.54%分布在 0-5°区域范围，这与重庆的两江水面有关；在 25°以上的坡度范围内主要分布有林地、灌木林地、草地，在这一范围内人为影响较小，因此开发破坏较少；水田和旱地也约有 3%和 10%分布在该坡度级的区域内，从保护环境和合理利用土地的角度来讲，这部分农田应该退耕还林、还草，但由于所占比例不大，所以单从坡度这一要素来讲，研究区的用地结构还是比较合理的。

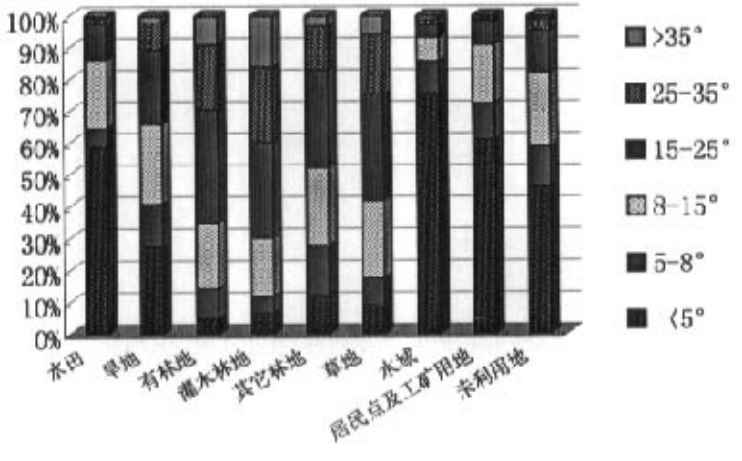


图 6-2 各类景观在不同坡度带中的分布

Fig6-2 Different landscape elements distribution map in slope extents

总体上分析，各景观类型在每个坡度范围内均有分布，但在大于 35°坡度范围内分布都最

少，居民点及工矿用地只有 0.15%分布。8-25°坡度范围是各个景观类型分布比较均匀的区域，分布比例最多的为草地 57.66%，最少的为水域 11.59%；25-35°坡度范围内灌木林地分布的比例最多，占该类景观的 23.88%。有林地、灌木林地是坡度大的地区主要的景观类型，0-5°坡度居民点及工矿用地比例最大，说明整个研究区域坡度平缓的地区开发较多，而坡度较大的地方受人为影响较少。

表 6-2 显示按坡度分布的景观镶嵌结构的数量特征，可以看出：研究区各种景观类型在25°以下都有较多分布，其中 8-15°坡度范围内分布的景观斑块数最多，景观面积占总面积的22.88%，景观破碎度居中，这与重庆市在缓坡地带大范围的土地利用开发活动有关；5-8°范围内景观面积比例只有 10.43%，但景观的破碎度最大，是由于这部分地区各类景观分布散乱，斑块个数较多的缘故。各坡度分级范围内景观多样性和均匀度指数没有明显差别，但 35°以上坡度范围的多样性和均匀度最小，表明坡度大的地区人为干扰较小，且景观类型较单一，分布均匀。

表 6-2 按坡度分布的景观镶嵌结构

Tab6-2 Landscape indices contrast in slope extents

坡度	斑块数	面积比例	平均斑块面积（km^2）	景观多样性指数	景观均匀度指数	景观破碎化指数
<5°	239651	22.08%	0.076	1.514	0.689	13.154
5-8°	359115	10.43%	0.024	1.639	0.746	41.743
8-15°	383203	22.88%	0.049	1.718	0.782	20.303
15-25°	307234	26.24%	0.071	1.722	0.784	14.193
25-35°	179375	13.28%	0.061	1.676	0.763	16.374
>35°	53225	5.11%	0.079	1.505	0.685	12.634

6.2.3　景观格局坡向分布特征

将坡向分为无坡向（平坦）、东、南、西、北 5 种，从图 6-3 中可以看出景观空间分布与坡向的关系：各景观类型在五个坡向上均有分布，水域在无坡向（平坦）的地方分布最多，这与研究过程中没有去除水面有关；有林地、灌木林地、其它林地在平坦区域几乎没有分布，说明这些地方已被开发，不再适合这几类景观生存；草地在各个坡向上的分布相差不多，东坡上分布稍多；北坡因为水分条件较好，林地的分布都稍多于南坡；居民点及工矿用地在各坡向上分布最平均，说明人为的改造受坡向影响很少。

表 6-3 按坡向分布的景观镶嵌结构

Tab6-3 Landscape indices contrast in aspect extents

坡向	斑块数	面积比例	平均斑块面积（km^2）	景观多样性指数	景观均匀度指数	景观破碎化指数
平坦	41404	5.45%	0.109	1.397	0.636	9.210
北坡	234724	23.08%	0.081	1.800	0.819	12.325
西坡	237567	24.00%	0.083	1.757	0.799	11.997
南坡	242289	22.83%	0.078	1.726	0.785	12.863
东坡	236991	24.64%	0.086	1.773	0.807	11.655

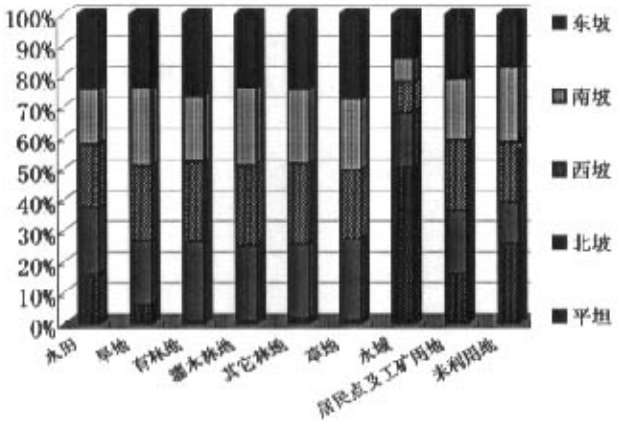


图 6-3 各类景观在不同坡向中的分布

Fig6-3 Different landscape elements distribution map in aspect extents

表 6-3 是按坡向分布计算景观镶嵌结构的数量特征，可以看出：平坦坡向上的景观面积比例最小，为 5.45%，但斑块数也最少，因此景观多样性指数和均匀度指数最小，景观破碎化程度最低，多是由于人类的开发活动导致景观类型的大面积一致；除平坦坡向外的四个坡向景观面积比例、斑块数都相差不多，景观多样性指数和景观均匀度指数没有明显差异；但东坡的景观破碎程度较低，说明各景观类型在东坡分布较集中，受影响较少。

6.3 不同地貌区景观空间格局特征

依照第 5 章划分的研究区 6 种地貌类型，分析不同地貌类型区域内景观类型的多样性及景观构型的不同特征，依次计算不同地貌类型的景观多样性、均匀度、破碎度指数，以定量分析景观在不同地貌类型区的空间格局特征。

表 6-4 不同地貌分区的景观镶嵌结构

Tab6-4 Landscape indices contrast in geomorphological region

地貌类型	斑块数	面积比例	平均斑块面积（km^2）	景观多样性指数	景观均匀度指数	景观破碎化指数
平坝	3577	1.37%	0.317	1.021	0.494	3.159
浅丘陵	14316	6.45%	0.372	1.086	0.494	2.691
中丘陵	31578	16.88%	0.441	1.434	0.653	2.267
高丘陵	3365	0.81%	0.198	1.674	0.805	5.061
低山	57415	40.14%	0.577	1.755	0.799	1.733
中山	41966	34.35%	0.675	1.686	0.768	1.481

平坝的地势起伏在20m以下，景观以水田和旱地为主，分别占该区景观的53.17%和39.08%（图 6-4），说明人类对生态系统的改变最明显，土地利用程度高，因此其景观多样性程度最低（表 6-4），但其均匀度指数很低，说明优势景观明显；破碎化指数却较大，说明平坝地区

除优势景观外其余景观分布零散，因此平均斑块面积最小；低山所占的面积最大，斑块数也最多，景观多样性指数最大，表明这一地貌区景观类型分布多样，除旱地外其余景观类型分布较均匀，各种景观类型的相对优势不明显；中丘陵的起伏度为 75-200m，比低山更接近人类活动的范围，其面积比低山区面积小，斑块数也少，景观的破碎化程度却高于低山区，说明自然景观在该区零碎分布，连接度不高；中山地区海拔和起伏度均最高，所占面积比例仅次于低山，但景观平均斑块面积大于低山地区，景观破碎度最低，原因是其地势高，受人类干扰影响少，各景观类型均匀分布，均匀度较高，各景观组分的斑块连接情况良好。

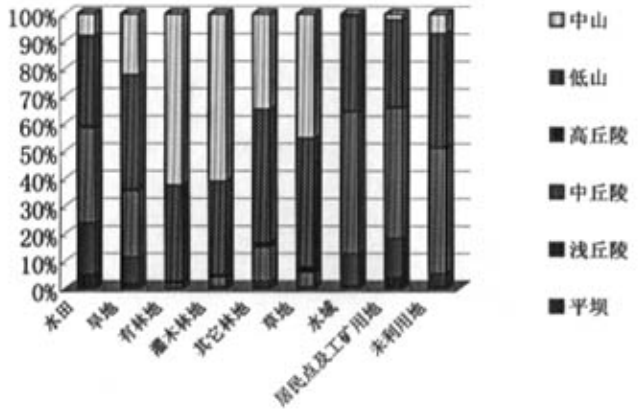


图 6-4 各类景观在不同地貌区中的分布

Fig6-4 Different landscape elements distribution map in geomorphologic region

景观多样性指数描述景观斑块类型的丰富程度，除未利用地外，各种景观类型在各地貌区中均有分布，因此景观多样性程度没有明显差别；景观均匀度指数描述景观异质性，与景观优势度负相关。从图 6-4 中可以看出，高丘陵和中山区景观的分布比较平均，因此其景观均匀度指数最大，没有明显占优势的景观组分；而景观破碎度指数代表景观被分割的程度，中丘陵的景观破碎化指数最大，说明人为的景观改造向高海拔地区转移，居民点分布较多，旱地景观在其中零散分布，导致自然景观的破碎；平坝景观破碎度低，平均斑块面积较大，可能是由于人为对大面积相连的旱地采用相同的方式进行集中利用而致。

表 6-5 各地貌区景观面积百分比统计

Tab6-5 Area contrast of different landscape elements in geomorphologic region

地貌类型	水田	旱地	有林地	灌木林地	其它林地	草地	水域	居民点及工矿用地	未利用地	合计
平坝	53.17%	39.08%	0.11%	1.14%	2.70%	0.90%	0.78%	2.12%	0.00%	100%
浅丘陵	40.93%	49.32%	0.17%	0.95%	4.27%	0.66%	2.04%	1.64%	0.02%	100%
中丘陵	29.14%	47.19%	1.21%	2.80%	9.28%	4.82%	3.42%	2.08%	0.06%	100%
高丘陵	8.34%	25.64%	5.73%	12.56%	20.71%	26.82%	0.12%	0.09%	0.00%	100%
低山	11.68%	33.75%	10.17%	11.10%	14.96%	16.74%	0.97%	0.59%	0.02%	100%
中山	3.29%	21.17%	20.99%	23.23%	12.47%	18.79%	0.02%	0.04%	0.00%	100%

6.4 地形位上的景观格局变化分析

6.4.1 地形位指数的构建

在分析单一地形因子对景观空间分布的影响的基础上，为综合反映重庆地区地形条件的空间分异，本研究参照喻红[75]的方法，利用地理信息系统模型建模方法，将高程和坡度组合成一个地形位指数，以便对研究区的地形特征进行重新描述和梯度分类，了解研究区的景观类型在地形位梯度上的空间分布特征。地形位指数公式如下：

$$T = \log\left[(\frac{E}{\overline{E}}+1)*(\frac{S}{\overline{S}}+1)\right]$$

式中，T 为地形位，E 及 $\overline{E}$ 分别代表空间任一点的高程值和该点所在区域内的平均高程值，S 与 $\overline{S}$ 分别代表空间任一点的坡度值和该点所在区域内的平均坡度值。利用上式转换后，空间上每一点都有一个地形位，原来的地形属性（包括高程与坡度）即可以由地形位来综合描述。显然，高程低、坡度小的地方地形位小，而高程高、坡度大的地方地形位大，其它组合情况（如高程低、坡度大地区，高程高、坡度小地区以及高程和坡度均属于中等水平地区）的地形位则居中间值区间。

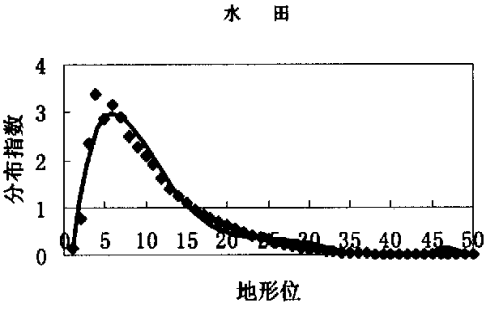
不同景观类型在地形位上的出现分布频率可比性受到各景观类型面积带来的量纲的影响，因此，本研究采用了喻红等的标准分布概念来进行不同地形位区段或不同类型间的比较，分布指数公式如下：

$$P = (S_{ie}/S_i)/(S_e/S)$$

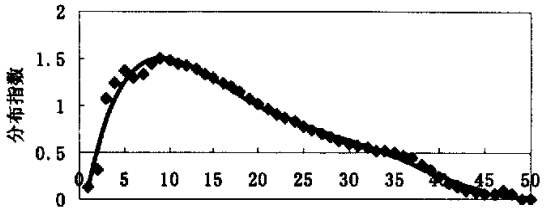
式中，P 是分布指数，S_{ie} 为 e 地形位下第 i 种景观组分的面积，S_i 为整个研究区内第 i 种景观类型的总面积，S_e 表示整个工作区内 e 种地形位的总面积；S 为整个工作区内的面积。

6.4.2 景观类型在地形位上的分布特征研究

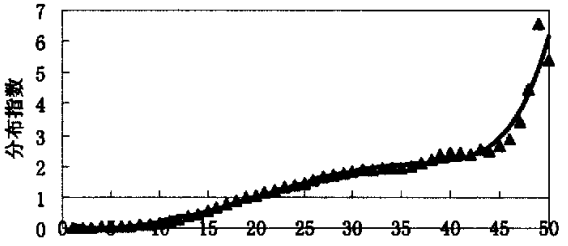
将研究区的地形位指数均分成 50 级，分别计算水田、旱地、有林地、灌木林地、其它林地、草地、水域、居民点及工矿用地、未利用地在各地形位上的分布指数，然后用多项式拟合生成拟合曲线，结果如图 6-5 所示。为便于比较，本研究确定各景观类型的分布指数大于 1 的地形位为优势地形位（即分布指数处于 X 轴上方的地形位区间）。



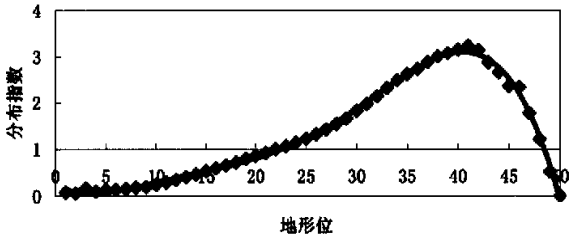
旱地



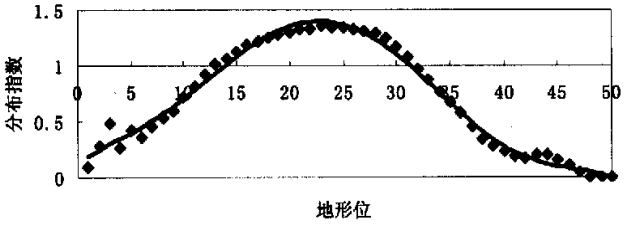
有林地



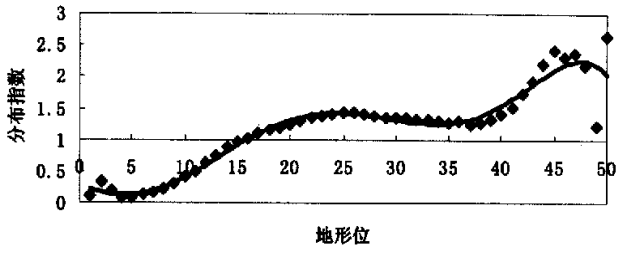
灌木林地



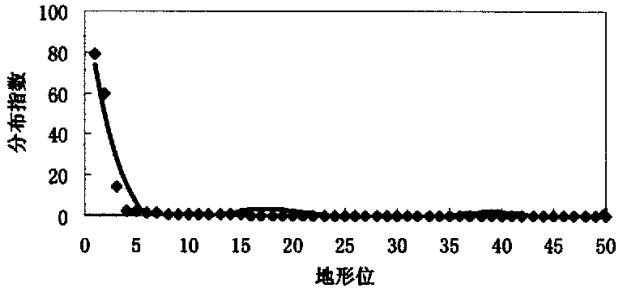
其它林地



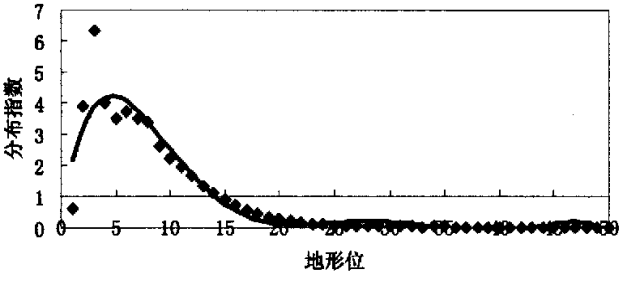
草地



水域



居民点及工矿用地



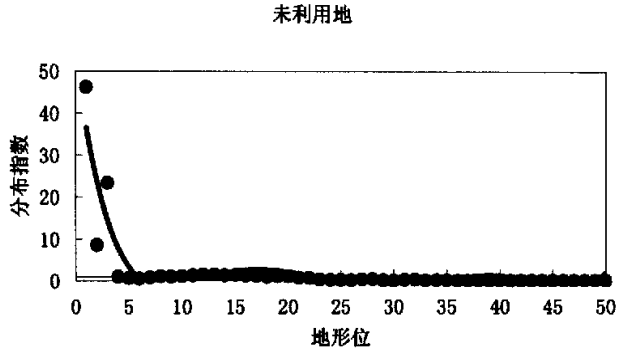


图 6-5 各景观类型在地形位指数梯度上的分布

Fig6-5 Distributions of different landscape elements on the topographic index gradient

从图 6-5 中的各景观类型的地形位分布指数图可看出，景观类型在地形位梯度的分布格局表现为高、中、低三段式空间分布结构。低段区域是水田、旱地、水域、居民点及工矿用地、未利用地为优势的地形位区域；中段区域是其它林地为优势的地形位区域；高段区域是有林地、灌木林地、草地为优势的地形位区域。

从各种景观类型地形位的分布的范围得出，旱地和有林地在地形位梯度上的分布变化相对较平缓，起伏不太大，旱地地形位的分布指数的范围为 0～1.49，其它林地地形位的分布指数范围为 0～1.35，因此，这两类景观的分布与标准分布偏离不大，对地形的适宜性较广，在研究区的多种地形梯度下均有较多分布。而水域的分布指数在地形位 1 时达到其峰值，为 79.03，此后分布直线下降，地形位 5 以后分布趋于平缓，表明水域景观在重庆的分布对地形具有较强的选择性，与重庆的水域景观多为江面有关，同时因为水体的形成需要特有的条件，其面积的扩大只能在"竞争激烈"的低地形位地段中获胜才能实现；其它地形梯度的水域分布较均匀，没有明显的峰或谷。水田地形位的分布指数范围位为 0～3.37，在地形位 4 时达到其峰值，但超过其优势地形位范围后下降趋势明显，表明水田对地形具有较强的选择性，在低海拔、低坡度地形时发育较多，占据地势低平的优势地形位，但地形条件会限制水田的扩展范围，其发展受到地形条件的约束。居民点及工矿用地的分布趋势与水田相似，同样占据地势低平的 1-14 优势地形位，说明地形条件对于城镇用地的约束作用较大，地形位指数超过一定限度后，开发活动因为土地适宜性的急剧下降而难于进行；但其在地形位 3 时达到其峰值 6.33，说明人们的开发活动迫使水田让出更为低平的地势，居民点及工矿用地在低地形位上已经达到强烈开发的程度。有林地、灌木林地和草地的基本趋势是其分布指数随着地形位的升高而增大，占据较高地势的优势地形位，在中段区域与其它林地竞争优势地位，且三类景观的优势分布范围都较大，草地的优势分布范围为 15 以上地形位区间，有林地在地形位 50 时分布指数最大，说明此类景观组分在高地势的主导地位；而其它林地在其优势地形位的分布线趋势缓和，说明其均匀地分布在优势分布范围的各地形位上，地形位 31 后呈下降趋势，地势增高不再适宜其发展。

同一地形位，不同景观组分分布指数间的差异是地形对景观组分适宜性的体现。从图中可以发现，地形位 16 上各景观组分的分布指数差别不大，都集中在标准 1 的附近，且大都在

此附近分布优势发生转折，表明地形位16是一种普遍适宜的地形，适合于各种景观组分的发育；而地形位49上的景观分布指数最小为0，最大则为有林地，分布指数达到6.57，说明此种地形位是一种狭适性地形，只适合个别景观组分的发育。可以看出，低区段地势上各景观组分竞争激烈，而高的地势由于其对景观发展的限制，只适合个别景观的生存发展。

总结上述结果可以发现，研究区的景观组分在地形位梯度上的分布格局表现出显著分化，地形条件对于不同社会生产活动的约束性影响明显，即在不同景观组分的地形适应弹性限度内对土地利用结构和景观组分作出新的安排，大尺度的地形差异仍然是最终景观格局形成的基本骨架。

第7章 结论与讨论

7.1 结论

本文基于数字高程模型（DEM）提取反映研究区地形地貌特征的各个地形因子，并对其空间分布规律和反映的区域特征进行分析，在此基础上分析地形与景观空间格局的关系，得出以下几点结论：

（1）对反映地形信息的基本地形因子，从微观和宏观两个层面上划分其结构体系，总结前人的研究结果，认为基于DEM栅格数据对坡度、坡向、曲率等因子进行提取适宜采用单栅格或小窗口的栅格处理方法，其中差分算法是微观栅格单元间相互关系分析的主要方法；对地形起伏度、粗糙度、高程变异系数等因子提取适宜采用栅格追踪或栅格扩展等数据处理方法并结合符合叠置的空间分析方法。对坡度、坡向、曲率、地形起伏度、粗糙度、高程变异系数等因子进行提取和定量分析，得到其数量分布特征和所占的面积比例。

（2）高程、坡度的分布特征与研究区地表形态组合的地区差异有明显的相关性，但坡向分布较平均，区域间没有明显区别；地形起伏度的结果表明，微缓起伏和小起伏主要分布在川东平行岭谷区，主要是丘陵和低山，山地起伏和高山起伏主要分布在城口、巫溪等中山地区；曲率因子分析表明，研究区总体负地形区多，侵蚀度小，有利于水土堆积；地表粗糙度因子分析反映出研究区内中山区粗糙度最大，平坦、丘陵区粗糙度最小。

（3）对重庆市高程和坡度的分区描述证明，重庆市三大经济圈的划分与地形相关，都市商贸区地势平坦，是城市和工矿发展的集中地，渝西经济走廊地势起伏较小，以丘陵为主，三峡库区生态经济区地表破碎度大，地高坡陡，在一定程度上限制了其经济的发展。

（4）基于高程、坡度和坡向3个地形因子分析研究区景观空间格局的特点，结果表明景观格局的分布与海拔高度、坡度和坡向均有一定的相关性，水田、旱地多随高程和坡度的增加，分布的面积逐渐减少，有林地、灌木林地是坡度较大地区的主要景观类型，各景观类型在坡向分布上没有明显差别，由此说明地形对景观的宏观分布有一定的影响。

（5）选取平均斑块面积、多样性、均匀度、破碎度四个景观指数，对研究区景观格局不同地形条件、不同地貌区的景观格局与地形的相互关系进行分析，表明受人为干扰较多的低海拔、平缓坡地带景观斑块平均面积较大，破碎度较小，坡度大、海拔高的地区破碎程度也较低。

（6）地形位指数和分布指数对景观地形分布特征进行分析，结果表明研究区景观组分的分布格局在地形位梯度上的表现出显著分化，各景观类型中旱地和其它林地对地形的适宜性较广，而水域和水田的分布对地形有较强的选择性；有林地、灌木林地和草地均占据较高的地势，其它林地则在地势较高的地形位不适合其发展。由此说明地形条件对于不同社会生产活动的约束性影响明显，大尺度的地形差异仍然是最终景观格局形成的基本骨架。

7.2 讨论

本研究是以重庆市为例，探讨地形因子的提取与空间分异规律，并分析土地利用景观空

间格局与地形的关系，取得了如上所述的成果。同时，由于本人的水平及客观条件的限制，在本次研究中必然存在许多不足和有待进一步深入的地方。以下是对今后工作的展望和进一步研究的建议：

（1）DEM 数据是以栅格元的形式对地面高程值的离散化模拟，可以很好的反映和挖掘微观层面的地形因子；而由于 DEM 栅格数据本身的原因，对宏观层面的地形因子的反映和提取的效果都不是很好，本研究也只是利用了多栅格和栅格扩展的方法，并结合区域分析完成了宏观地形因子的挖掘提取。另外，地形因子提取的算法不同，结果也会不同，如地面曲率的提取结果各种软件的提取结果各不相同。所以，对 DEM 数据本身和算法的精确性进一步的研究，将会使基于 DEM 提取的地形因子更加准确，对实践更有指导意义。

（2）本研究是基于 1：10 万地形图完成对地形因子的提取和分析，但不同尺度 DEM 数据提取的地形信息结果不尽相同，建立不同尺度 DEM 信息提取适用性指标体系，可望取得更为全面、更具有使用价值的研究成果。

（3）尽管在研究中构建地形位指数反映了景观格局综合的地形分异特征，但对景观综合的地形特点反映不够，如能更多地结合其它地形因子，将能进一步反映景观在地形上的空间分布特征。

参考文献

[1]李志林，朱庆：数字高程模型，武汉：武汉测绘科技大学出版社，2000

[2] Sibson R. Locally Equiangular Triangulations. Computer Journal,1978,21(3)

[3] Lingas A. The Greedy and Delaunay Triangulations are not Bad in the Average Case. Information Processing Letters,1986(22) 2001)。

[4]李德仁，摄影测量与遥感的现状及发展趋势，武汉测绘科技大学学报，2000，vol.25，No.1：p1-6

[5] Birk R.J.,Stanley T.,and Snyder G I.et al., Government programs for research and operational uses of commercial remote sensing data, Remote Sensing&Environment, 2003, 88 (3) ,p3 一 16

[6]李树楷，薛永祺，高效三维遥感集成技术系统，北京：科学出版社，2000,p27-28,

[7]Gruen A. and Hang X. H., CC-Modeler: A topology generator for 3d city models, International Archives of Photogrammetric and Remote Sensing,1998, 32 (4). p188-196

[8] Heipke C.，Automation of interior, relative, and absolute orientation, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 1997, Vo1.52, p1 一 19

[9]胡翔云，航空遥感影像线状地物与房屋的自动提取，博士学位论文，武汉大学，2001

[10]张祖勋，新的核线相关算法——跨接法，武汉测绘科技大学学报，1988, Vo1.13, No.4

[11]张剑清，基于特征的最小二乘匹配理论精度，武汉测绘科技大学学报，1988, Vo1.13 No. 4

[12]李德仁，周月琴，空间测图——现状与未来，测绘通报，2000，No. 1，p3-7

[13]邬伦，刘瑜，张晶等，地理信息系统一原理、方法和应用。北京：科学出版社，2001

[14]O' Callaghan J. F. and Mark D. M. , The extraction of drainage networks from digital elevation data, Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1984, Vo1.28, p323-344

[15]Jepson S. K. and Domingue J. Q.，Extraction topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis, Photogrammetirc Engineering & Remote Sensing, 1988, 54 (l l)，pl593-1600

[16]Tarboton D. G . Bras R.L., and Rodriquez I.I., On the extraction of channel networks from digital elevation data, Hydrologic Processes, 1991, 5(1)，p81 一 100

[17]Briggs I.，Water flow using density of area: CSIRO division of information technology, Technical Report 1989, p1 一 1I

[18]Jones N. L.，Wright S. G and Maidment D. R., Watershed delineation with triangle-based terrain models, Journal of Hydraulic Engineering, 1990, Vol. 116,p1232-1251

[19] Garg N. K. and Sen D. J.，Determination of watershed features for surface runoff models, Journal of Hydraulic Engineering, 1994, 120(4)，p427-447

[20] Nelson E. J., Jones N. L.，and Miller A. W.，Algorithm for precise drainage-based delineation, Journal of Hydraulic Engineering, 1994, 120(3)，p298-312

[21]陈晓勇，数学形态学与影像分析,北京:测绘出版社，1991

[22] Moore I. D.，O' loughlin E.M.，and Burch G J.，A contour-based topographic model for hydrological and ecological applications, Earth Surface Processes and Landforms, 1988, Vo1.13, p305-320

[23] Thibault D. and Gold C.，Terrain reconstruction from contours by skeleton retraction. Proceedings of the 2nd

International Workshop on Dynamic and Mufti-dimensional GIS, Beijing, 1999, p23-27

[24] Tang G. A., A research on the accuracy of digital elevation models, Beijing: Science Press, 2000, p132-148

[25] John C Panusla, lan D.Moore, and Larry A.Kramer.Terrain Analysis: Integration into the agricultural nonpoint source(AGNPS) pollution model. [J]. Soil and water Conservation. 1991(1): 59--64.

[26] P.R.Stephens. Estimating universal soil loss equation factor values with aerial photography. Journal of Soil and Water Conservation.1995, (5--6): 293—296

[27]柯正谊，何建邦等编著：数字地面模型，中国科学技术出版社，1993.

[28]刘振东等.利用 DTM 编制小比例尺地势起伏度图的初步研究.测绘学报，1990，19 (1)：57-62

[29]徐汉明.刘振东等.中国地势起伏度研究，测绘学报，1991, 20 (14)：311-319

[30]李锐等:遥感图象"空间"特征的机助处理.水土保持研究 1994, 1 (1)： 63-67

[31]张兵等，一种黄土区土壤侵蚀强度遥感调查新方法，国土资源遥感，1996 (4)：36-39

[32]闾国年，钱亚东，陈钟明，黄土丘陵沟壑区沟谷网络自动制图技术研究，测绘学报，1998, 27 (2)：131-137

[33]张婷，汤国安，王春等，黄土丘陵沟壑区地形定量因子的关联性分析，地理科学[J]，2005，25 (4)：467-472

[34]毕华兴，谭秀英，李笑吟，基于DEM 的数字地形分析，北京林业大学学报[J]，2005，27(3): 49-53

[35]陈楠，林宗坚，汤国安等，数字高程模型的空间信息不确定性分析，测绘通报[J]，2005，11：14-17

[36]Forman R and Gordron M. 肖笃宁等译.景观生态学.1990.北京：科学出版社

[37]傅伯杰、陈利顶、马克明等.景观生态学原理及应用[M].北京：科学出版社，2001：111-145

[38]李明阳.GIS分析方法在森林景观格局变化中的应用.中南林学院学报，2002; 2 (1)

[39]陈述彭等.地理信息系统导论.第 3 版，北京:科学出版社，2001

[40]Pinder.J.E. J.D.White and M.M.B. The relations between vegetation types and topography in Lassen Vocalnic National Park. Plant Ecology.1997.5.(131):17-29

[41]Ostendorf B, Reynolds J F. A model of arctic tundra vegetation derived from topographic gradients. Landscape Ecology, 1998, 13: 187-202

[42]Swsnond F J, Kratz T K, Caine N. Landform effects on ecosystem pattern and peocesses. BioScience, 1988, 38:92-98

[43]Xu H C. Forest of Daxing onling in China. Beijing: Chinese Scientific and Technological Press, 1998

[44]吕洪利.应用空间分析技术对北京市景观格局的研究（D）.北京林业大学博士学位论文， 2001.

[45]徐建华，艾南山，金炯等.西北干旱区景观要素镶嵌结构的分形研究一以黑河流域为例[J].干旱区研究，2001, 18(1): 35-39

[46]岳文泽，徐建华、艾南山.山区景观镶嵌体的数量特征分析与分形结构模型一以兰州山区 西固区为例[J]. 山地学报，2002, 20(2): 150～156.

[47]陈浮,葛小平,陈刚等.城市边缘区景观变化与人为影响的空间分异研究[J]地理科学， 2001，21(31): 210～216.

[48]袁艺，史培军，刘颖慧等.快速城市化过程中土地覆盖格局研究一以深圳市为例[[J].生态学报，2003 23(9): 1832～1840.

[49]马克明，傅伯杰. 北京东灵山区景观类型空间邻接与分布规律[J1.生态学报，2000, 20(5):748-752.

[50]马克明，傅伯杰，北京东灵山地区景观格局及破碎化评价[J],植物生态学报，2000, 24(3): 320-326

[51]周华锋，马克明，傅伯杰.人类活动对北京东灵山地区景观格局影响分析[J].自然资源学报，1999,14(2): 117-122.

[52]常学礼，邬建国.科尔沁沙地景观格局特征分析[J].生态学报，1998,18(3): 225-232

[53]沈泽昊，张新时，金义兴，地形对亚热带山地景观尺度植被格局影响的梯度分析，植物生态学报，2000,24(4)：430-435

[54]沈泽昊，张新时，三峡大老岭地区森林植被的空间格局分析及其地形解释，植物学报，2000, 42(10)：1089-1095.

[55]董方平，立地因子与湿地松生长相关性的研究，湖南林业科技，1994, 21（3）：13-16.

[56]崔海亭，朱启疆．利用气象卫星NOAA-AVHRR图像对西辽河领域及其毗邻地区生态环境进行动态分析的方法．再生资源遥感研究：内蒙古草原牧场防护林区[M]．1991．北京：万国学术出版社，69—75.

[57]李崇巍，刘丽娟，孙鹏森等，嵊江上游植被格局与环境关系的研究，北京师范大学学报，2005，41（4）：404-409

[58]孔繁花，李秀珍，尹海伟等，地形对大兴安岭北坡林火迹地森林景观格局影响的梯度分析，生态学报，2004，24（9）：1863-1870

[59]章皖秋，李先华，罗庆州等，基于RS、GIS的天目山自然保护区植被空间分布规律研究，生态学杂志[J],2003，22（6）：21-27

[60]曾宏达，基于DEM 和地统计的森林资源空间格局分析 — 以武夷山山区为例，地球信息科学，2005，7（2）：82-88

[61]M.G.Turner etc，A variety of Landscape pattern of Georgia in America[J], Landscape Ecology，1988，1(4)，241～251

[62]张明亮,丁圣彦,梁国付.GIS 支持下的铁瓦河小流域景观空间格局动态变化研究，水土保持研究，2004.11（1）：185-188

[63]刁承泰，吕锴，陈敏等，重庆市地貌特点与城市用地，中国土地科学，2004，18（3）：35-40

[64]邬伦，地理信息系统原理、方法和应用[M]，北京：科学出版社，2001

[65]Wood, J.D. The geomorphological characterisation of Digital Elevation Models, Ph. D Thesis, University of Leicester. 1996

[66]刘新华，区域水土流失地形因子分析与提取研究，西北农林科技大学硕士学位论文，2001：12-16

[67]李炬章.中国地貌形态基本类型数量指标初探.地理学报.1982,37(1):17-26

[68]周万村，三峡库区土地自然坡度和高程对经济发展的影响，长江流域资源与环境，2001.10(1)

[69]汤国安，陈正江等，ArcView 地理信息系统空间分析方法，科学出版社，2002.10:168-171

[70]刘振东，孙玉柱等，利用 DTM 编制小比例尺地势起伏度图的初步研究，测绘学报，1990，19（13）：57-62

[71]王宪礼，肖笃宁，布仁仓，等，辽河三角洲湿地的景观格局分析[J].生态学报，1997. 17 (13):317-323

[72]马克明，傅伯杰．北京东灵山地区景观格局及破碎化评价[J].植物生态学报，2000,24 (3):320-326.

[73]沈泽昊，张新时，金义兴.地形对亚热带山地景观尺度植被格局影响的梯度分析，植物生态学报，2000.24（4）：430-435

[74]马克明、张洁瑜、郭旭东等.农业景观中山体的植物多样性分布：地形和土地利用的综合影响，植物生态学报.2002.26（5）：575-588

[75]喻红，曾辉，江子瀛，快速城市化地区景观组分在地形梯度上的分布特征研究，地理科学，2001，21（1）：64-69

致 谢

时光荏苒，三年的硕士学习已经接近尾声。在这即将结束之际，有无数位老师、同学和亲人的支持和关爱让我留恋。

本文是在导师刘洪斌研究员的悉心指导下完成的。三年来，导师在我的学习和生活中倾注了大量的心血，导师和师母渊博的科学知识、严谨的治学态度、谦和的为人、正直的品行深深地影响着我，使我受益匪浅，终生难忘。尤其是在论文的写作过程中，导师更是反复叮嘱，字斟句酌，正是这种无声的关怀与鞭策，才使学生得以顺利完成论文的写作。在论文脱稿之际，谨向导师和师母致以最衷心的感谢！

在此还要特别感谢谢德体教授、王正银教授、魏朝富研究员、杨剑虹教授、李航教授、屈明副教授、高明副研究员、刘秀华教授、廖铁军教授、李瑞雪副教授、陈玉成教授、蒋先军教授、吕家恪老师等在我三年的学习和生活中给予我的指导和帮助。

感谢重庆市农业技术推广总站孙彭寿研究员（站长）、李伟研究员（副站长）、熊正辉高级农艺师（副站长）、代亨林高级农艺师，江津市农业局蔡国学高级农艺师（站长）对我研究工作中给予的帮助和支持！

真诚感谢宁茂岐、范莉、肖海、滕连泽、赵伟、俞雷等同窗好友对我学习和研究方面给予的关心和大力帮助，！感谢张培松、何丽丽、樊燕、夏波等师弟师妹们在我学习和研究的过程中给予的热情帮助！

感谢西南农业大学研究生处，资源环境学院的各位领导和老师对我的关心和帮助。

感谢家人在我漫长求学的过程中对我无微不至的关心和无怨无悔的支持，在我成长的每一个足迹中，都印刻着他们的汗水和希望，我为拥有这样的亲人而骄傲。

感谢参与本论文评阅及答辩的各位专家、教授，您的指点迷津，将为我今后的研究奠定一个更高的起点！

感谢所有支持帮助我的老师、同学、朋友们！

最后，再次感谢上述良师益友，并恳请你们在今后的工作和学习中一如既往地给予我指导和帮助！唯有不断进取，奋发图强，才是对所有帮助和关心过我的人的最佳回报！

王妍

2005 年 5 月

在学期间发表的学术论文

王妍，刘洪斌，武伟，宁茂岐，基于 GIS 的三峡库区地貌形态信息统计分析，测绘科学，2006.3，刊号：ISSN 1009—2307，CN11—4415/P。

王妍，刘洪斌，宁茂岐．栅格 DEM 的水平分辨率对地形信息的影响分析，测绘与空间地理信息，刊号：ISSN 1672—5867，CN23—1520/P。

基于DEM的地形信息提取与景观空间格局分析

作者： 王妍
学位授予单位： 西南大学

万方数据 WANFANG DATA 文献链接

相似文献(10条)

1.期刊论文 杨昕.汤国安.刘学军.李发源.祝士杰.YANG Xin.TANG Guoan.LIU Xuejun.LI Fayuan.ZHU Shijie 数字地形分析的理论、方法与应用 -地理学报2009,64(9)

数字高程模型自20世纪50年代首次被提出以来,就以其简洁的数据组织方式、对地形的直观表达、简单高效的地形因子解译方法而显示了其在地学领域应用的巨大潜力.本文在全面检索和分析前人相关研究成果的基础上,首先将数字地形分析(Digital Terrain Analysis,简称DTA)的各种分析方法总结为四类,即坡面地形因子分析、特征地形要素分析、地形统计分析以及基于DEM的地学模型分析,并简要总结了每种分析方法的主要内容:其次,探讨了数字地形分析的精度及尺度问题,指出尺度效应、最适宜尺度选择以及尺度转换是DEM地形分析中的基本尺度问题;然后,论文介绍了DTA在地貌、水文、土壤、地质灾害、农业等领域的应用现状;最后,提出了数字地形分析发展方向.指出数字地形分析的概念框架亟待完善、模型构建精度有待提高、地形分析方法需要扩展.尤其是实现DEM模型嵌入的一体化分析方法,以求得到与现实世界地理环境更为接近的模拟.

2.学位论文 韩羽 DEM栅格单元异质性对多尺度地形分析的影响 2009

数字高程模型(DEM)是对地表形态的近似描述，它以离散数据的形式描述了一定区域内地貌形态的空间分布，数字地形分析(DTA)是指在数字高程模型的基础上所进行的地形分析。随着计算机的大量应用以及数字技术的普及，基于数字高程模型的数字地形分析已经成为获取地表形态参数的主要手段之一，其成果在水文、土壤、环境等诸多领域得到了广泛的应用。在进行数字地形分析时，普遍认为栅格单元内部是均质的，认为其所代表区域的真实地表形态是没有变化的。但是实际上栅格单元所代表的地表相应区域内的地形具有一定的复杂性和变异性，忽视这些地形变化可能会使得地形分析的结果与实际情况不符，进而影响分析结果在实际工作中的应用，甚至造成经济、时间等方面的损失。

因此，本文以DEM栅格单元异质性及其对地形分析的影响作为研究对象，以黄土高原部分典型地貌类型区域为例，进行了DEM栅格单元异质性的描述，并分析了DEM栅格单元异质性对地形分析的影响规律。本文以地理信息系统、数字地形分析、景观生态学等学科的原理为理论基础，采用6种不同的方法对DEM栅格单元异质性进行了量化：同时分别在不考虑栅格单元异质性和考虑栅格单元异质性的条件下进行了坡度提取、曲率提取、地表粗糙度提取、沟谷提取等地形分析操作，利用对比分析、数理统计的方法，系统的研究了DEM栅格单元地形异质性对地形分析的影响规律。

从研究的结果来看，DEM栅格单元异质性会对地形分析造成一定的影响，使得分析结果与实际情况之间存在一定的偏差，地形越复杂，这种偏差就越大。所以，在使用DEM数据进行地形分析时，应当充分考虑DEM栅格单元异质性对分析结果的影响。本文为在数字地形分析中是否应考虑DEM栅格单元异质性的影响提供了借鉴，文中提取出的DEM栅格单元异质性指数可以用来描述栅格单元的异质性大小，其对提高地形分析精度也具有一定的意义。

3.会议论文 何立恒.王春.陈盼盼 DEM数字地形分析的不确定性 2005

基于数字高程模型(DEM)的数字地形分析(DTA)是DEM应用的核心内容,以往人们普遍注重于DEM数据精度,而相对忽略了DEM数字地形分析应用的不确定性。研究表明:1)DEM数字地形分析的不确定性是存在的客观实在;2)DEM数字地形分析不确定性的产生不仅仅只是数据的质量问题,更多的是DEM尺度效应和分析模型的匹配问题,在实际应用中应该充分注意DEM的尺度效应与模型匹配问题;2)DTA分析方法多种多样,无论应用何种具体分析方法,基于DEM的DTA不确定性的产生都可以从DEM数据精度、DEM地形描述误差、DEM地形信息容量和DTA分析模型的不确定性共四个方面来分析。

4.学位论文 张冬 基于DEM的地形分析与实现 2003

近年来地理信息系统取得了较大的进展和广泛的应用,但正因为该问题自身的难度,以及研究的广度和深度的局限,于是针对某一方面应用的研究成为了重点.地形分析是其中一个主要的应用方面.该文就这一问题进行了相关的研究与探讨.论文从地理信息系统领域研究应用的历史和现状入手,简要介绍了三维地理信息系统及其构成,研究了相关的背景与理论知识,如矢量化技术、插值技术和地形分析等等.论文重点阐述了如何运用计算机图形学、插值技术、可视化编程技术等实现三维地理信息系统的地形分析(即高程显示、距离计算、面积计算、剖面图绘制和可视分析等基本内容),以数字高程模型为依据,设计出了一套地形分析的具体方案.设计方案中对已有的数字高程模型进行加密内插,使用三角化方法来计算地表曲面面积,采用参考平面法实现区域通视分析.所有算法均在使用VC、OpenGL和Oracle开发的地形建模与综合分析软件中得到了实现.该软件具有速度快,界面友好等特点,经过理论分析与实际使用验证,它是一个能满足实际应用需要的地形分析平台.

5.期刊论文 郭超颖.毕华兴.陈涛.杜林芳.云雷.任怡.Guo Chaoying.Bi Huaxing.Chen Tao.Du Linfang.Yun Lei.Ren Yi 基于DEM的马莲河流域数字地形分析 -中国水土保持科学2008,6(1)

研究基于DEM的数字地形分析可以为各个领域提供地形分析的基础理论及实现手段.DEM水平分辨率作为重要的尺度参数,是确定地形参数和应用尺度的重要指标.选取陇东黄土高原地区的马莲河流域作为研究对象,应用美国ESRI公司开发的ArcGIS地理信息系统软件,基于数字高程模型进行流域地形特征的提取与分析.研究提取流域的基本地形特征如坡度和坡向,提取流域水系,划分了小流域.通过分析比较,得出DEM水平分辨率对提取的地形特征及水文特征的影响,为马莲河流域的数字地形分析提供了理论依据.

6.学位论文 刘学军 基于规则格网数字高程模型解译算法误差分析与评价 2002

数字地形分析(Digital Terrain Analysis,DTA)是在数字高程模型(Digital Elevation Model,DEM)上进行地形属性计算、特征提取的地形信息处理技术,用于进行地形属性计算的数学模型、地形特征提取算法称为DEM解译算法(DEM Interpretation Algorithms).DTA是进行与地形相关的空间模拟基础技术,其结果常用做地理信息系统(Geographical Information System,GIS)地学分析模型的输入数据.解译算法是数字地形分析的基础,其精确性和合理性影响着地形参数的质量及各类地学和环境模型不确定性结果分析.分析评价解译算法和进行数字地形分析的误差与精度研究,为GIS地学与环境分析模型提供高质量、高精度的基础数据,是十分必要而紧迫的任务.本文在总结现有的解译算法分析和评价基础上,提出了一种基于数据独立的DEM解译算法评价和地形属性误差的定量分析方法.基本内容是建立一系列和实际地形相似的、具有解析式的模拟DEM以及地形参数的理论表达式(真值),通过解译算法的计算值和相应真值的比较,则可定量地描述误差大小和空间分布,从而实现对解译算法评价以及DEM结构、DEM误差对地形参数的影响分析.与在实际DEM上算法分析与评价相比,本文所述方法具有不受实际DEM中不确定性因素影响、对计算误差高度敏感等特性,有利于解译算法的正确评价和地形参数误差的定量描述.本文对六种坡度、坡向计算模型(三阶不带权差分、三阶反距离权差分、三阶反距离平方权差分、二阶差分、Frame差分和简单差分)和五种水文模型中的路径算法(DEMON、Dinf、FMFD、D8、Rho8)进行了分析和评价,给出了各种解译算法误差的定量化精度分析,并结合DEM误差和DEM结构的影响对解译算法进行了综合评价.同时本文的分析和研究也澄清了目前关于坡度、坡向计算模型和误差分布的几个误区.

7.期刊论文 毕华兴.谭秀英.李笑吟.BI Hua-xing.TAN Xiu-ying.LI Xiao-yin 基于DEM的数字地形分析 -北京林业大学学报2005,27(2)

该文在对数字高程模型(DEM)数据来源及结构、数字地形分析及其应用、基于DEM的地形分析中的不确定性和误差分析的基础上,以日本东北地区岩手县早池峰山为研究对象,美国MicroImage公司开发的TNTmips地理信息系统为工具,日本国土地理院发行的"数字地图25000"为基础数据,研究基于DEM的数字地形特征提取与分析方法,以及DEM精度对地形特征的影响.研究结果表明:①以DEM为基础可提取多种地形特征,如坡度、坡向、坡面形态、流域边界、水流路径等,这些特征在地理信息系统的支持下均可用图形和属性数据来表示;②DEM水平精度对基于DEM提取的数字地形特征影响表现为:低精度的DEM将导致研究区平均坡度变小、坡度标准差变大;同时,DEM精度对不同坡度区域表现为不同的影响,其结果按坡度大致可划分为3种不同类型,即0°～10°、10°～35°以及大于35°;DEM精度对坡向的影响除平坡外变化较小,其中平坡面积随DEM精度的降低而增大;低精度的DEM将导致水文地形信息受损,这将严重影响流域水文模型参数的确立及水文过程模拟分析的精度.

8.学位论文 杨玮莹 DEM地形信息容量与地形分析适宜性研究——以黄土丘陵沟壑区1∶5万DEM的实验为例 2002

目前，中国国家基础地理数据库的建设已经完成了全国多级比例尺DEM的建立，并已在中国国民经济各领域发挥着越来越巨大的作用.该研究为国家自然科学基金项目“数字高程模型不确定性及其对应用影响研究”的分支课题，主要探讨DEM空间信息容量研究的基本概念、理论依据与分析方法.拟利用空间数据的信息容量指标，反映DEM数据应用结果的精度与应用适宜性.该文在对前人已有研究成果进行系统总结的基础上，首先明确了DEM地形信息容量的基本概念，并运用数学分析、数理统计、比较分析、误差地图等方法，以海拔高程与等高线为研究对象，以1∶1万比例尺DEM为参考真值，探讨了黄土丘陵沟壑区1∶5万DEM的地形信息容量特征.

9.会议论文 汤国安.刘学军.房亮.罗明良 DEM及数字地形分析中尺度问题研究综述 2005

基于DEM的数字地形分析具有很大的尺度依赖性,亟待进行多学科综合的、深层次的探索。本文为研究综述性论文,分DEM尺度的概念与类型、DEM地形分析的尺度效应、基于DEM地形分析尺度研究的关键问题、DEM地形分析尺度研究的方法等几个方面,分析当前国内外在该领域的研究进展。指出今后应重点研究的方向包括:自然地面与DEM模拟地面两者之间的尺度匹配、尺度冲突与尺度耦合关系:空间尺度参数对DEM地形分析影响的过程与机理;DEM格网单元地形分析的异质性效应。在尺度层面上提出不同地形复杂度条件下的DEM地形分析的确定性与不确定性规律,建立以尺度为自变量的多尺度地形分析模型,建立DEM地形分析的尺度转换模型;最后,对未来研究的发展趋势进行了展望。

10.学位论文 朱莹 无网格DEM构建关键技术研究 2009

数字高程模型(Digital Elevation Model，DEM)是局部地形的数字化表达，通过离散分布于平面上的高程点来模拟连续分布的地形表面。它是GIS空间数据库中赖以进行地学模拟和分析最为重要的基础空间数据。数字地形分析(Digital Terrain Analysis，DTA)是基于数字高程模型进行地形属性计算、特征提取的地形信息处理技术。数字高程模型以及数字地形分析的结果为各种地学模型提供地形相关的参数并辅助地学模型的建立。通过数字高程模型实现了地形表面特征的描述、分析和信息提取，这些内容是地球科学研究的基础资料和基本信息源。虽然数字高程模型在地学分析中具有重要地位，但是对GIS与地学分析模型集成的深入研究发现，GIS栅格数据的网格与地学分析模型的网格常常不一致，形成了地学分析中的网格化问题。随着网格而产生的尺度问题也逐渐显现，最具代表性的为生态学中的可塑性面积单元问题。

无网格法是在建立整个问题域的模型时，不需利用预定义的网格信息进行域离散的方法。其近似函数基于节点构造，在解决特大变形、动态不连续性问题方面具有优势。该方法具有较高的灵活性，在计算过程中可以任意添加删除节点，易于实现自适应分析，且计算精度高。无网格法的出现为地学分析提供了新的思路。基于无网格法的地形表达方式和地形分析方法成为解决网格化问题的基础，为进一步将无网格法应用于地学分析模型提供了可能。

本研究将无网格法引入DEM构建并将其应用于地形分析，主要研究工作及创新点如下：

1.对无网格法及其近似函数研究现状进行了较为系统的回顾和剖析，研究了无网格法近似函数构建方法的特性，分析了它们对表达地形的适宜性。

2.提出了支撑域大小的自适应确定方法。研究了无网格法中现有支撑域确定方法，以及DEM构建中邻域确定方法的优缺点，分析了支撑域大小的变化对计算结果精度的影响，在此基础上提出了本文自适应确定支撑域大小的方法。

3.将无网格法中处理不连续线的方法用于DEM构建时断线的处理。分析了地表断线的不同特性，根据性质对断线分类。研究了无网格法中处理不连续线的三种规则，即可视规则，衍射规则，透明衰减规则。在此基础上给出了处理不同断线的方法。

4.给出了基于无网格法的DEM构建流程。研究了散点数据的索引构建方法，无网格法中形函数构建方法，以及导数求解方法，并在前面研究的基础上，给出了无网格法构建DEM的主要流程和数据组织方案。

5.研究了基于无网格法进行地形因子与流域网络的提取。根据无网格法中导数求解方法和现有坡度坡向求解公式，给出了各点坡度坡向的计算方法。研究微分几何中主曲率与主方向的求解方法，以及地形中汇水线的数学性质，给出了提取汇水线上特征点的方法。研究将提取的特征点连接成为汇水线网络的方法。

本研究通过无网格法构建一种灵活可变的散点结构的DEM，采用曲面模型的地形表达方法。解决了网格所带来的限制，为无网格法应用于地学模型提供了基础。

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y937477.aspx
授权使用：贵州大学(guizdx)，授权号：7c2c9a19-38bc-40d9-ba33-9e750181278d
下载时间：2011年1月24日