

# 山顶点类型及其形态特征数字表达

苍学智, 汤国安, 仲 腾, 李若殷

(南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210046)

[摘要] 山顶点是最重要的地形特征点. 本文在首先分析了山顶点所具有的空间特征、成因特征、尺度特征及点群特征的基础上, 依照科学性、系统性、实用性、可实现性的原则, 对山顶点进行了系统的分类, 并阐述了其定量描述方法. 此外, 深入探讨了山顶点群的基本类型、定量描述指标与地学意义. 该研究对于构建以山顶点为主体的地形特征点簇, 以及进行基于地形特征点簇的地貌模式识别, 都具有十分重要的意义.

[关键词] 山顶点, 分类, 地形

[中图分类号] P231.5 [文献标识码] A [文章编号] 1001-4616(2010)01-0136-05

## Classification of Peaks and Digital Expression of Their Spatial Pattern

Cang Xuezhì Tang Guoan Zhong Teng Li Ruoyin

(School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

**Abstract** Peak is the most significant point of the relief surface. On the basis of peak's spatial characteristic, formative characteristic, scale characteristic and cluster characteristic, a systematic classification of peaks is carried out and their quantitative description is brought out on a series of principles. Moreover, the general types of peak cluster, its quantitative description standards and geographic significances etc. are clarified. This research should be helpful to perfect the methodology of DEM based digital terrain analysis.

**Key words** peak, classification, DEM

山顶点是最重要的地形特征点, 由于山顶点成因特征、形态特征、对周围地形的影响特征的差异, 必然存在着不同的类型. 依据一定的原则、方法对山顶点进行类型的划分, 并在此基础上对其相应的形态特征进行数字表达, 不但是传统地貌学关心的命题, 对于 GIS 中基于 DEM 所提取山顶点的数字地形分析, 更具有十分重要的意义.

近年来, 随着 DEM 数字地形分析方法的出现, 特别是基于地形特征点簇地貌模式识别方法兴起, 对地形特征点位的自动识别与属性标注成为首要的工作. 山顶点是局部区域内海拔高程的极大值点, 是最重要的地形特征点, 其意义主要体现在其对局部与整体地形的标志性与控制性, 在常规测绘中, 是地形图描述的重点, 已经形成了一套较为规范的方法. 但在数字地形分析中, 还存在较多的问题. 基于 DEM 的地形特征点簇研究, 首先是从山顶点提取<sup>[1, 2]</sup>及其空间分异作为切入点<sup>[2]</sup>. 可以预见, 地形特征点簇<sup>[3]</sup>的研究思路与方法在数字地形分析中将显示巨大的发展前景. 但是, 随着研究的深入也发现, 地形特征点存在于复杂的地形巨系统中, 其自身也具有复杂的结构体系与功能差异<sup>[4]</sup>, 具有深刻的内在机理与外部表现. 就山顶点外在表现来看, 虽然可以做出简单的定义与数学表达<sup>[5]</sup>, 但是, 每个山顶点都有其特有的个体地学属性、形态属性与尺度属性, 一个区域多个山顶点所构成的山顶点群, 又在很大程度上表现出其群体空间组合特征<sup>[6-10]</sup>, 这些都是进行数字地形分析的重要的基础信息. DEM 的出现, 为山顶点的自动提取提供了有利的条件, 但是也带来了提取结果不确定性等一系列问题. 这些都需要从本质上对山顶点的内在属性进行

收稿日期: 2009-04-22

基金项目: 国家自然科学基金 (40671148, 40801148)、国家 863 计划 (2006AA12Z212)、江苏省高等学校大学生实践创新训练计划 (1812200013).

通讯联系人: 苍学智, 研究方向: DEM 数字地形分析. E-mail: tm\_cang@hotmail.com

深入地剖析.

本文首先从不同的依据入手,对山顶点的类型进行了科学划分,并进一步对山顶点群的性质进行总结,从而提出山顶点群的定量描述指标,可望对基于地形特征点簇的地貌模式识别提供理论与技术基础.

## 1 山顶点的基本属性特征

山顶点是山的最高点.钟业勋<sup>[11]</sup>对山顶点的定义为:设地形曲面为 $T$ , $a$ 和 $b$ 为 $T$ 上任意两点,其高程分别为 $H_a$ 和 $H_b$ .对于 $T$ 上任意点 $i$ ;若满足下列条件: $H_a \leq H_b \leq H_i$ 且 $b \in \cap CM_i = B_i \cap T$ ,式中 $B_i$ 为过点 $i$ 的平面, $CM_i$ 为过 $i$ 点的等高线,则 $T$ 是以 $b$ 为顶的山坡面.山顶点一般被简单定义为局部区域内海拔高程的极大值点.

山顶点具有以下属性特征:

(1) 空间特征:空间特征是山顶点的基本特征,包括山顶点的个体空间特征以及群体空间特征两个方面.个体空间特征主要指每一个具体的山顶点的空间位置、山顶点的空间形态等;群体的空间特征侧重描述在一个空间区域内,多个山顶点所构成的山顶点群所表现出的空间关系与空间结构特征.

(2) 成因特征:地表地形及其变化,是塑造地貌的内外营力对地表物质长期作用下的结果,山顶点所处山顶的形状以及空间分布特征,在一定程度上映射了这种作用.

(3) 尺度特征:山顶点的计算,在很大程度上受制于测量尺度,无论是地形图等高线的等高距,还是DEM的栅格分辨率及分析窗口分辨率,对所提取的山顶点密度与等级都产生重要的影响.通过调节测量尺度,可获取不同层次的山顶点.

(4) 点群特征:在一个地区,山顶点是以点群的形式出现的,在该山顶点群中,形成了相互独立、相互关联、层次分明的空间关系,另外,山顶点与鞍部点、径流节点等地形特征点构成了有组织的地形特征点簇,成为进行地貌模式识别的重要依据.

## 2 山顶点的类型划分

### 2.1 分类的原则与依据

山顶点的划分原则为:

(1) 科学性原则:山顶点的类型的划分应符合地理学的基本理论,符合科学对象分类的规则.体现多年来对地貌学、GIS研究的最新成果.

(2) 系统性原则:山顶点的产生与发展,是地球长久以来在特有的内动力条件与外动力条件综合作用下的必然结果,对山顶点的分类,需要综合地、系统地考虑表象与机理、定性与定量、精确与模糊、稳定与发展、个体与群体、历史与现实的多种因素影响,需充分兼顾对人民生活与生产建设的影响.

(3) 实用性原则:山顶点的类型划分应该根据地理学科的特点,进行合理的有意义的划分.山顶点划分的意义在于地学应用、地形综合、空间数据简化等方面.因此,划分类别还应注重划分方法在实践中的意义.

(4) 可实现原则:山顶点类型划分的最终成果,一般是为了实现地面特征点的重要性分级,以满足自动提取和制图的需要.因此,在面对当前的山顶点分类,还要兼顾当前的信息提取的信息源条件和技术手段,以保证分类目标最终可以实现.

### 2.2 山顶点类型划分

山顶点作为山顶的抽象对象,根据其形态特征、显著性、控制范围、所在地貌、海拔高度为基本依据,提出了山顶点类型划分体系(表1).

表 1 山顶点类型划分与定量描述

Table 1 Peaks' classification and their characteristics

划分依据	名称	特    征	定量描述
形态特征	尖山顶点	山顶点明显突出, 形状尖锐, 山顶面积很小, 山顶点周围坡度险峻.	设地形曲面为 $T$ , $a$ 和 $b$ 为 $T$ 上任意 2 点, 其高程分别为 $H_a$ 和 $H_b$ . 对于 $T$ 上任意点 $i$ 若满足下列条件: $H_a \leq H_i \leq H_b$ 且 $b \in \text{in } CM_i = B_i \cap T$ , 式中 $B_i$ 为过点 $i$ 的平面, $CM_i$ 为过 $i$ 点的等高线, 则 $T$ 是以 $b$ 为顶的山坡面. $CM_a = B_a \cap T$ 为山脚等高线, 而满足点集 $TM = \{CM_i, i \in [a, b]\}$ 点构成山坡 $TM$ . 当 $TM \in ES$ 或 $TM \in CVS$ 时, $T$ 为尖顶山. 当 $TM \in CNS$ 时, $T$ 为圆顶山; 当 $b \in S \in T$ 且对任意的 $b \in S$ , 存在 $H_b = c$ ( $c$ 为常数), 则 $T$ 是以 $s$ 为平顶的平顶山. 其中 $ES$ , $CVS$ 和 $CNS$ 分别表示为等齐斜坡, 凹形斜坡和凸形斜坡 <sup>[11]</sup> .
	圆山顶点	山顶点部面积较大, 从中心到四周坡度逐步增加, 整体形态圆滑.	
	平山顶点	山顶点所处山顶顶部有较明显的平坦表面, 有时难以确定山顶点的具体位置.	
显著性	显著形	山顶点形态显著, 为相对独立山体或与相邻邻的鞍部高差较大.	设立山顶点显著度阈值, 如: 建立山顶点与相邻鞍部点的空间关系, 将山顶点与鞍部的高差作为山丘区的山顶点显著度, 通过自动计算与分类, 获得每个山顶点的显著度. $C_i = H_{\text{peak}} - H_{\text{saddle}}$ ( $i = 1, \dots, n$ ), $C_{\text{stand}(ij)} = C_{\text{min}} + (C_i - C_{\text{min}}) / (C_{\text{max}} - C_{\text{min}}) \times C_{\text{stand}(ij)} > q$ ( $0 < q < 1$ ), $C_{\text{stand}(ij)}$ 显著, 其中, $H_{\text{peak}}$ 为山顶点高程, $H_{\text{saddle}}$ 为对应的鞍部高程, $C_{\text{max}}$ 为高差的最大值, $C_{\text{min}}$ 为高差的最小值, $q$ 为阈值.
	不显著形	虽然表现为局部凸出高地, 但与周围地面的高差或与相邻邻的鞍部高差较小.	
控制范围	主峰顶	主山脊上的高程最大点.	设立山顶点等级阈值, 如: 根据山顶点所在的山脊的等级不同, 设置山顶点的等级不同, 在同一等级的山脊上的山顶点, 根据其高程、形态、鞍部的高差等进行自动综合计算, 并进行数值规约, 获得山顶点的等级分类.
	重要山顶点	主山脊上的其它山顶, 或对局部地形有重要控制作用的山顶.	
	一般山顶点	在对地形控制的重要相对较弱的山顶	
所处的地貌	山地山顶点	地貌整体鞍部与山顶点高差不均, 但是整体上高差较大.	通过对区域内基本地形因子等进行计算, 从而识别所在地貌类型. 确定地貌内的山顶点研究主要意义在于根据确定的地貌类型研究山顶点关系, 并推广到用于快速确定未知的区域的地貌类型及特征的地形识别.
	丘陵山顶点	地貌整体鞍部与山顶点高差不均, 但是整体上高差较小.	
	台地山顶点	整体区域依侵蚀程度不同而不同, 但是在一定的区域内的山顶点构成夷平面.	
海拔高度	平原微丘区山顶点	海拔 $< 30\text{m}$ .	通过 DEM 海拔高度进行直接分类计算. 此外, 山顶点与所在地区平均海拔的相对高程对于山顶点的显著程度与形态特征等也具有深刻的意义 <sup>[12]</sup> .
	低山丘陵区山顶点	海拔 $30 \sim 200\text{m}$ .	
	中山山顶点	海拔 $500 \sim 1\,000\text{m}$ .	
	高山山顶点	海拔 $> 1\,000\text{m}$ .	
稳定性	稳定	山顶点位置稳定, 适合作为测量基准点.	设定山顶点稳定性定量参数, 包括年水平位移量、水平位移方向、年垂直变化量等.
	较稳定	山顶点位置随某种原因发生变化, 但较为缓慢.	
	不稳定	无论山顶点水平位置或海拔高程容易发生改变.	

3 山顶点群及定量描述

3.1 基本特征

山顶点群: 山顶点群是一定空间范围内的离散的山顶点的集合 (图 1). 山顶点群的范围由人工划分而成. 由于流域为基本的地形单元, 所以一般按照流域的范围进行划分.

山顶点群具有以下的属性特征:

- (1) 概括性: 山顶点是对原始数据的抽象, 对原始地形具有概括性. 原始地形数据量庞大, 但并非所有的空间数据都是必要的. 山顶点群中蕴含的信息及其空间组合的特征能够描述地理客体, 是对现实世界的抽象. 利用这一特点, 进行趋势面分析, 能够模拟地理现象的空间分布特征.
- (2) 自组织性: 山顶点的分布虽然是离散的, 但并不是完全随机的, 其分布通过并列、等级、链接的关系<sup>[13]</sup> 体现内部的特征. 自组织性体现山顶点之间的关系和山顶点与其他地形特征的关系. 山顶点群实际

上是一种二维树状网络结构,根据地形的山脊线建立起来的山顶点拓扑关系抽象了复杂的地理内容,并将其以本质的面貌或形式还原出来.山顶点在与其它的地形特征的自组织性体现在每一个山顶点(或局部最高点)临近空间内必有一个鞍部点.这种自组织性在本质上体现了地形构成的内在机理.

(3) 尺度依赖性:尺度依赖性体现在 4 个层次,分别是地理尺度、采样尺度、结构尺度和分析尺度<sup>[14]</sup>.在数字地形中进行的山顶点提取与分析中首先应该关注尺度依赖性问题.山顶点的计算,在很大程度上受制于尺度,对所提取的山顶点密度与等级都产生重要的影响.通过对尺度的调节,可获取不同层次的山顶点.

(4) 层次特征:如果按照“山顶点即为局部区域内海拔高程的极大值点”这个定义,在有限区域内的山顶点的个数将趋于无限多.事实上,山顶点按照其重要性或者在空间的层次等级关系,又有主峰顶、重要山峰顶、一般山顶点、局部高地等多种层次关系,以一定的原则与依据,建立山顶点的层次等级评价,是构建地形特征点簇的必要前提条件.

(5) 区域差异性:由于成因机理的差异,不同地貌类型区及地貌分区条件下的山顶点群在点群密度、结构、空间组合方式、空间分布特征等方面具有明显的差异性.该差异性也为基于山顶点群的地貌模式识别提供了基本条件.

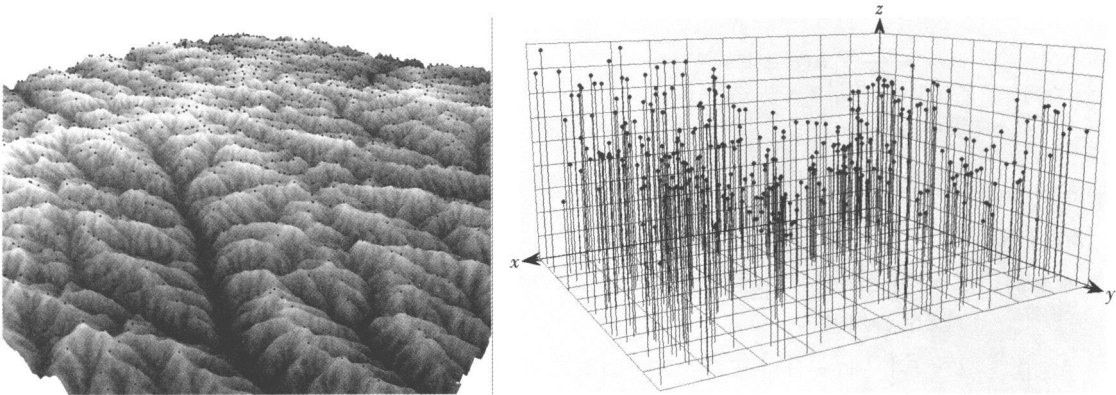


图 1 山顶点群示意图

Fig.1 Sketch map of hill peaks

3.2 定量指标

山顶点群定量指标主要由基本指标、空间分布及空间关系组成(表 2).

4 结论

山顶点是最重要的地形特征点,本文依据山顶点的形态特征、地貌类型、显著性、控制范围及空间关系,对山顶点的类型进行划分.在此基础上,对山顶点群按照其空间分布特征的差异,也进行了定量描述的构建与地学意义分析.这对于在数字地形分析中对山顶点的自动提取及相关地学属性的加注,以及对于基于地形特征点簇的地貌模式识别,都具有重要意义.

表 2 山顶点群定量描述指标  
Table 2 Variables for peak cluster

类型	名称	算法	地学意义
基本指标	高程平均值	$H = \sum_{i=1}^n H_i$ , $H_i$ 为样区内第 $i$ 个山顶点的高程.	山顶点的平均海拔在很大程度上反映了该地区所处的地貌类型, 如: 平原、丘陵、中山、高山等.
	高程标准差	$S_D = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_i - H)^2}$ , $H_i$ 为样区内第 $i$ 个山顶点的高程. 为样区内的山顶点高程平均值.	山顶点高程标准差 $S_D$ 反映了样区内所有山顶点在高程带上的分布的离散程度, 标准差越大, 山顶点在高程带上分布的越离散. 同时它也是该区域山顶点地形起伏度的标志.
	空间密度	$P = n/s$ $n$ 为样区内山顶点个数, 为样区的面积.	山顶点的密度反映了地表在水平方向上的整体破碎程度. 山顶点密度越高, 反映地表也越破碎, 地形越复杂.
空间分布	最邻近指数	$d(NN) = \sum_{i=1}^n \frac{\min(d_{ij})}{N}$ , $NNI = \frac{d(NN)}{d(\text{ran})}$ , $d(NN)$ 为最邻近距离; $N$ 为样本数目; $d_{ij}$ 为第 $i$ 点到第 $j$ 点地距离; $\min(d_{ij})$ 为 $i$ 点最邻近点的距离. $NNI$ 为最邻近系数; $d(NN)$ 为最邻近距离; $d(\text{ran})$ 为随机分布条件下的理论平均距离.	该组指标描述山顶点群的空间分布格局, 即山顶点在空间呈现聚集、发散或随机分布. 其中, 山顶点分形维数在平面位置上变化反映地形的空间差异. 山顶点群空间分布的结构性和空间依赖性随着分形维数的增大而逐渐减弱. 在一定程度上, 根据分形维数的空间变化, 揭示出该空间格局发生机制的空间差异. 空间关联度则侧重于揭示在各个不同样区中, 山顶点群之间距离存在的差异性, 在一定程度上反映出所在地貌的破碎性程度.
	空间分形维数	计盒法 <sup>[15]</sup>	
	空间关联度	$c(r) = \frac{1}{N^2} \sum_{i \neq j}^N H(r -  X_i - X_j )$ , 其中, $H(x) = \begin{cases} 1 & \text{当 } x > 0 \\ 0 & \text{当 } x < 0 \end{cases}$ $N$ 为点群的点数, $r$ 为临界值. 逐渐减小 $r$ 值, 得到一组点对序列.	
空间关系	拓扑连通子图	山顶点构建连通子图算法 <sup>[2]</sup>	构建山顶点间拓扑关系是对复杂地理对象空间关系特征的抽象与定量表达. 山顶点间的空间关系在构建拓扑子图之后, 可以使用邻接度指数和连通度指数作为评估该拓扑子图的基本指标. 这种空间关系地建立, 对于有效构建 DEM 地形特征点簇. 具有重要意义.
	邻接度指数	$C = E \left[ \frac{1}{2} n(n-1) \right]$ , $E$ 表示边的集合, 每条边由一无序点对组成 $(v_i, v_j)$ .	
	连通度指数	$C = E \left[ \frac{1}{2} n(n-1) \right]$ , $E$ 为网络中的边数, $n$ 为网络中的节点个数.	

[参考文献]

[1] 陈盼盼. 基于 DEM 的山顶点及其属性空间分异规律研究——以陕西省为例 [D]. 西安: 西北大学城市与环境学院, 2006

[2] 汤国安, 刘学军, 闫国年. 数字高程模型及地学分析原理 [M]. 北京: 科学出版社, 2005

[3] 罗明良. 基于 DEM 的地形特征点簇研究 [D]. 成都: 中国科学院成都山地研究所, 2008

[4] Shiji Yanada Mountain ordering: a method for classifying mountains based on theirmorphometry [J]. Earth Surface Processes and Landforms 1999, 24(7): 653-600

[5] 魏萌, 王新辉, 马朝忠. 地貌特征点的数学描述与分析 [J]. 测绘科学技术学报, 2008, 25(1): 22-23

[6] Deng Y, Wilson J P. Multi scale and multicriteria mapping of mountain peaks as fuzzy entities [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2008, 22(2): 205-218

[7] 胡志忠, 沈春林. 基于特征点的地形数据存储模型 [J]. 宇航学报, 2002, 3(1): 25-29

[8] 李广鑫, 吴自力, 丁振国, 等. 一种新的基于散列特征点的地形生成方法 [J]. 西安电子科技大学学报: 自然科学版, 2006, 33(4): 576-579

[9] 张宇军. 基于 DEM 骨架特征点线的地貌自动综合研究 [D]. 西安: 西北大学城市与环境学院, 2008

[10] 卢英水, 李乃良. 基于特征点的高程点自动抽稀法 [J]. 测绘与空间地理信息, 2008, 31(2): 107-174

[11] 钟业勋, 魏文展, 李占元. 基本地貌形态数学定义的研究 [J]. 测绘科学, 2002, 27(3): 16-19

[12] 高玄戎, 王青. 地貌分类指标的钢柔性探索 [J]. 世界科技研究与发展, 2006, 28(2): 79-85

[13] 段进, 季松, 王海宁. 城镇空间解析 太湖流域古镇空间结构与形态 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002

[14] 刘学军, 卢华兴, 仁政, 等. 论 DEM 地形分析中的尺度问题 [J]. 地理研究, 2007, 26(3): 433-442

[15] 崔世林, 龙毅, 周侗, 等. 一种地图点群空间分布特征的局部分维分析方法 [J]. 地球信息科学, 2007, 9(6): 25-30

[责任编辑: 顾晓天]