

中国陆地 1:100 万数字地貌分类体系研究

周成虎, 程维明, 钱金凯, 李炳元, 张百平

(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)

摘要: 地貌分类体系是地貌图研制的关键之一, 本文在总结国内外地貌及分类研究的基础上, 借鉴 20 世纪 80 年代的中国 1:100 万地貌图制图规范, 基于遥感影像、数字高程模型和计算机自动制图等技术条件, 归纳总结了数字地貌分类过程中应遵循的几大原则, 分析了它们之间的相互关系, 讨论了数字地貌分类的各种指标: 包括形态、成因、物质组成和年龄等, 提出了中国陆地 1:100 万数字地貌三等六级七层的数值分类方法, 扩展了以多边形图斑反映形态成因类型, 以点、线、面图斑共同反映形态结构类型的数字地貌数据组织方式, 并详细划分了各成因类型的不同层次、不同级别的地貌类型。中国 1:100 万数字地貌分类体系的研究, 为遥感等多源数据的陆地地貌解析和制图提供了规范, 也为《中华人民共和国地貌图集》的编制奠定了基础, 同时为全国大、中比例尺地貌图的分类和编制研究提供了借鉴。

关键词: 数字地貌; 地貌分类; 数值分类; 形态成因类型

1 引言

地貌要素是地球表层系统中最重要的组成要素之一, 它直接影响甚至决定着其他要素的特征, 并在一定程度上控制着其他生态与环境因子的分布与变化, 是地理学研究的核心与基础内容之一^[1-3]。同时, 全面地、科学地分析各种地貌类型及其组合特征, 有助于正确地评价生产建设过程中的有利和不利因素, 从而对生产建设具有重大的指导意义^[4]。

地貌分类是反映地貌图科学性的关键。地貌分类体系是建立在地貌形态成因相关分析的基础上, 对众多地貌形态和成因, 按其客观内在逻辑关系进行的系统分类^[5]。地貌分类是以地貌各基本要素: 包括地貌形态(起伏度、坡度、海拔高度及其组合——正、负地形……陡崖、陡坎)、成因、组成物质(基岩、松散沉积物)、地貌形成环境、空间特征(规模)、时间因素(演化过程)等方面及其成因内在关系研究为基础的系统分类^[6]。

地貌分类研究由来已久, 纵观地貌分类中所考虑的指标, 可归纳为按形态、按成因、按形态

成因、按多指标综合等四种方式, 具体如下: 1894 年, A. 彭克提出按地表形态的分类方法, 将地貌分为平原、山崖、河谷、山地、凹地和洞穴六种基本类型^[6]; 1884 年, W.M. 台维斯提出按照成因分类方法, 主要借助于地质构造和侵蚀量为标准来进行地貌类型划分, 并根据堆积作用、上升作用和破坏作用进行再分类^[7]; 罗培克的分类中将形态和成因结合起来, 认为平原和高原以较大范围内简单的没有受到变动的水平构造为主, 山地一般是指由变动构造所构成, 可划分出穹形、断层、褶皱、复合类型及火山等构造山地^[7]; 马尔科夫的分类思想, 重视考虑基本大地地形特征与大地构造分区的关联性。认为图上应反映: 侵蚀-大地构造地形、构造地形或层状地形类型、刻蚀或侵蚀地形、堆积地形或填充地形^[7]; 格拉西莫夫采用分级的方法, 划分为大地构造地形形态、构造地形形态和刻蚀地形形态三级^[7]; 1952 年, 斯皮里顿诺夫主张形态成因综合考虑划分地貌类型, 详细划分了外营力类型, 如: 重力的、坡积的、河流的、湖泊的、海洋的、冰川的、风成的、喀斯特的、生物的、火山的、构造的、人

收稿日期: 2009-07-06; 修回日期: 2009-11-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(40871177)、国家自然科学基金重点基金项目(40830529)、国家重点实验室基金项目“中国数字地貌空间格局图谱研究”(O88RA304SA)、国家科技支撑计划(2008BAK50B01-5和 2008BAK50B01-6)共同资助。

作者简介: 周成虎(1964-), 男, 博士, 研究员。主要研究方向: 资源与环境信息系统等。E-mail: zhouch@lreis.ac.cn

为的等；1954年，埃普什杰因的分类中，大的成因划分为：侵蚀构造地形、构造剥蚀地形和剥蚀堆积地形三类，每一大类下细分类型和亚类；1954年，H. C. 波多别多夫，直接从形态入手，并列举了正向地貌形态和负向地貌形态类型等^[8]。

回顾分析中国地貌分类研究，大概可以分为三个阶段。

第一阶段，20世纪50年代以前：《尔雅》的“释地”、“释丘”、“释山”和“释水”等四篇对地貌进行详细的描述，并加以分类，成为我国古代最早的地貌研究文献^[9]。我国现今使用的平原、丘陵等名称均渊源于此。

第二阶段，20世纪50-60年代：20世纪50年代，前苏联地貌分类的专著大量传入我国，我国经济建设和中国自然区划工作开展的需要，在地貌分类问题上进行较多讨论，其中有代表性的列举如下：(1)1956年周廷儒等分类方案。1956年，周廷儒、施雅风和陈述彭等在“中国地形区划草案”中，基本采用形态指标将全国划分为平原、盆地、高原、丘陵、中山、高山6大类型^[10]；(2)沈玉昌1958年分类方案。1958年，沈玉昌为配合中国地貌区划工作，提出以“成因”为地貌分类标准的划分系统，针对中国陆地地貌类型，首先划分出5大类，即构造地貌、侵蚀剥蚀的构造地貌、侵蚀剥蚀地貌、堆积地貌和火山地貌。大类之下分为类型，类型下进一步划分出亚型^[11-12]；(3)1959年“中国地貌区划(初稿)”：采用形态成因原则将中国地貌分为8大类^[13]，即堆积平原，剥蚀平原、高平原和高原，黄土塬与黄土丘陵，侵蚀作用的山地(高山、中山、低山)，喀斯特化的山地(中山和低山)，冰川、霜冻、泥石流作用的高山和山原，干燥剥蚀作用的山地(中山和低山)和火山地貌八大类；(4)1963年潘德扬方案：提出了地貌分类要依据形态成因和分级的原则^[14]，并提出形态标志、成因标志、物质组成标志和发展阶段、年龄标志等，从星体形态到小型形态共划分为九个等级；(5)1965年出版的《中华人民共和国自然地图集》的“中国地貌图”按照内、外营力将中国划分为堆积平原、剥蚀平原和高原、剥蚀台原和山地三大类，再按外营力划分出二级类型，共45类^[15]。

第三阶段，20世纪70年代末-80年代。(1)1987年出版的“中国1:100万地貌图制图规范”

中，首先按照海拔划分出7个陆地基本形态类型(纵向)，横向上以内外营力为主依次分为流水地貌、湖成地貌、干燥地貌、风成地貌、黄土地貌、喀斯特地貌、冰川地貌、冰缘地貌、海岸地貌、火山熔岩地貌10大类^[16]；中国1:100万地貌制图规范小组提出的“1:100万中国地貌分类与图例系统说明(征求意见稿)”，该方案中平原、台地、丘陵、山地等基本地貌形态在已公认的概念基础上，用模糊数学的方法给出了它们的数学意义^[16-17]，这在地貌形态规范化定量化方面向前迈进了一大步；(2)中国及其毗邻地区地貌图(1:400万)(构造地貌)(陈志明主编，1993年)以大地构造单元及其构造运动为内营力地貌划分的主要依据^[18]，按板块学说将中国地貌分为：板缘造山地带地貌系统、板内古陆块地貌系统等，采用多层表达的方式，按照构造地貌来分类，将陆地和海洋地貌分为四级：A级为大陆地形形态分类、B级为大陆构造地貌分类、C级为大陆堆积物及堆积地貌、D级为地貌形态符号、E级为海底地貌分类^[19]；(3)中国1:400万地貌图(李炳元主编，1994)在1:100万地貌图分类系统的基础上，划分出7个基本形态，按照中国地势特征，划分出5级海拔等级，组合出28种基本地貌类型^[20]。在青海省1:100万地貌图中^[21]，基本地貌类型采用了海拔高度与起伏高度两指标组合的方案，海拔高度从我国三大地貌阶梯及其分布的地貌类型的高度变化情况分为极高海拔、高海拔、中海拔、低海拔4级^[16]。地貌形态及其起伏高度划分级以传统的平原、台地、丘陵、山地基本地貌类型为基础，将沈玉昌1959方案中‘切割深度’一词改为‘起伏高度’。

纵观以上分类特征，在我国“六五”、“七五”期间，开展了1:100万地貌图编制研究^[16, 22-23]，形成规模空前的全国性地貌制图活动^[24]。国内地貌工作者参阅了国内外大量资料对我国地貌分类进行广泛的讨论^[25]，对地貌分类的原则认识基本一致，即采用形态和成因相结合原则，并出版了“中国1:100万地貌图制图规范”^[16]，该规范成为当时地貌研究的最基础资料，但因我国地貌类型复杂多样，不同地域的地貌特点各不相同，如何应用这个原则进行地貌分类，认识并非完全一致^[26]。信息时代，在遥感、数字高程模型和计算机等技术的支持下，借鉴国内外形态和成因相结

合的地貌分类原则，应用数值分类方法来开展中国地貌分类方法和体系的研究成为可能^[27-34]。

2 数字地貌分类的原则

地貌分类是地貌学研究的重要内容。地貌分类的基础是对形成和影响地貌发育与演化的各种要素的研究^[16,35-39]，包括地貌形态（起伏高度、坡度、海拔高度及其组合）、营力成因、物质分异（基岩、松散沉积物岩性）、空间组合特征（规模）、历史演化过程等方面。地貌分类应遵循的原则总结如下。

2.1 形态和成因相结合原则

地表形态是地貌最直观的表现，并呈现多样性，且可以采用多种指标给予描述，如地形起伏度、坡面坡度、微观地貌组合等^[16]。但是，地貌形态不仅仅是指普通几何形态，而是建立在对众多地貌实体形态的成因相关分析基础上，按其客观内在逻辑关系进行系统的形态分类。

地貌成因是指塑造地貌的各种内外营力特征、物质分异等。现代地貌实体的成因常是多元的、叠加的，从而使地貌成因表现出多样性和变异性^[16]。例如，在海洋与陆地过渡带，海成作用与流水作用交织，组成海积冲积一种混合地貌成因类别。又如，在西南喀斯特地区，流水作用于石灰岩，形成一种特殊的喀斯特地貌景观，其地貌作用则可称为溶积、溶蚀等。

对于地貌系统中的任何一个地貌实体，它不仅具有一定的形态特征，而且还有相应的动力成因。例如，我国传统的山地与平原两大地貌类型，不仅描述了地貌实体的显著形态差异，而且也刻画了塑造地貌的内外营力差异。对于山地地貌，其内动力表现为抬升作用，而外力地貌过程多呈侵蚀剥蚀；平原所体现的内动力为沉降作用，而外力地貌过程多为堆积。即使在微观层次上，较小地貌形态的变化则是次级内、外营力对宏观地貌进一步修饰和改造作用的结果。因此，地貌形态与成因是因果关系的辩证统一：客观地貌实体的地貌形态是成因的表现形式，也是研究成因的主要依据。所以，形态成因原则是开展地貌的基本原则之一，也是已为大多数地貌学者所接受的地貌分类的基本原则，这也是我们开展中国数字地貌图研究所采用的基本原则。

但是，现代地貌实体的成因是多元和叠加的，形成演化的过程是动态和可变的，空间规模是多尺度的，类型的分界线也具有模糊性。因此，地貌形态和成因之间并非是一个简单的对应关系。

2.2 主导因素原则

地貌形成过程中各种地貌营力在时间和空间上交错作用，同一区域或地貌实体通常是内营力与外营力相互交叉，同一类营力（外营力或内营力）中有多种次级营力相互交叉，不同时期（古代的、现代的）地貌营力的地貌形态又相互交叉，出现同一空间不同规模地貌类型叠加交叉。考虑到这种地貌类型时空演化的复杂性与交叉叠加性等，在地貌分类时，应从众多的因素中，确定形成该地貌类型的主导因素，并作为地貌分类的关键指标。例如，对于火山地貌的分类，尽管火山形成后，又受到诸如流水、冰川等其他外营力的再塑造，但在地貌分类时，仍然以火山形成的动力特征进行次级分类，如火山锥、火山口等^[40]。

2.3 分类体系的逻辑性原则

从逻辑学的角度看，分类本身是将一个整体分解为若干子集，子集间的交为空，同时子集的和为全集。在具体分类时，应遵循同一级别的类型应是并列关系，同一级类型划分的标准应是一致的和相同的，其内容不能相互包含；主要类型（高级）与其次级类型（低级）之间应该是等级包含关系；在分析地貌形态和成因类型的规模大小与从属关系时，应采用先群体后个体、先综合后单一、先大后小、先主后次等逻辑次序。

2.4 分类指标量化原则

现代遥感和地理信息系统技术的发展，提供了大量的量化地形、地貌等数据^[41-42]。因此，地貌分类所依据的各种地貌指标应尽量量化，包括狭义的数值量化和广义的定性量化。地表形态的大多数指标均采用数值指标量化，并可以依据数字高程模型进行自动化计算，如起伏度、海拔高度、坡度、坡向、沟谷切割深度和密度、形状等形态类指标均可以数量化^[43-47]，其数量关系具有严格的算术关系。但对于一些结构性的形态特征，只能采用定性定量方法，如归类分级，并采用序列标号方法量化^[48-59]。

2.5 分类体系的完备性原则

地貌是地球内、外营力长期相互作用与彼此消长的结果,是现时三度空间的基本实体^[60]。它在空间上表现为有序规律,在时间上呈现演进或因果序列,从而构成时空的几何学和动力学系统。地貌分类就是将这个连续体按照一定原则、选取一定指标分为若干段,每一段的形态、性质或属性相对一致。因此,地貌分类应是一个完整的系统,应尽可能涵盖所有地貌类型,分类方案应具有一定的完备性,以便能描述地貌空间分布的差异性,体现不同区域地貌各自的特色。但客观上,地貌类型极其繁杂,任何分类系统制定中地貌类型的遗漏是难免的,因而在要求完备性同时,也要求分类系统具备一定的可扩充性或开放性。一旦发现缺、漏的地貌类型时,便可在已有分类体系中插补,也可在属性表中增加新的层数,直到完善为止。因此,开放性是保证地貌分类方案不断完善的必要途径。

另外,地貌分类体系不同于地貌图例系统,作为一个完整的分类系统,地貌分类应该满足两个基本条件:一是特定分类体系中的地貌分级类型与比例尺存在对应关系,如小比例尺地貌图上不可能反映出低层次低等级的地貌类型;另一是数据源,无论是遥感影像数据,还是地面实测调查,都应给出相同的结果^[61-64]。但作为地貌图图例,不仅取决于地图的比例尺和表达方法,而与数据源和制图方法有关。所以我们要正确区分地貌分类体系和地貌图例系统^[65-66]。

3 地貌分类研究中的五对基本关系

地表形态千变万化,复杂多样,且更多的地形的成因、形态都属于复合性质,它们涉及多种形态的组合,多种过程的叠加,特别是这些形态和成因要素都涉及尺度问题。以“中国1:100万地貌图制图规范”为基础,总结穆桂春等深入分析地貌分类和地貌内在特征的基础上^[67],提出了地貌学研究中的五对基本关系:

3.1 形态与成因相结合

地貌学是研究地表形态及其成因的科学,显然,形态和成因的关系是地貌学的一个基本问题。地表形态是地貌最直观的表现形式,对于任何一

个地貌实体,既具有其独特的形态特征,又具有相应的成因动力。虽然地貌形态的规模尺度从星级的海洋、陆地至冻融等作用形成的微地貌形态差异巨大,但每种地貌形态往往包含一定的成因意义,因此,地貌形态和成因是因果关系的统一体。成因和形态是各种地貌实体不可分割的两个基本内容。但一般认为,成因是本质,而形态是成因的反映^[68]。研究成因是重要的,但脱离形态去探讨成因则远离了地貌学研究的轨道。因此,二者有机统一是地貌学研究的特点。我国传统的、最基本的山地与平原两大地貌类型也不仅仅是一种纯形态划分,它们形成的内营力类型和经受外力地貌过程是不同的。在开展地貌分类的研究时,类型划分的直接依据必然是地貌形态,但是形态的划分不仅仅是普通几何形态的分类,而是建立在对众多地貌实体形态的成因相关分析基础上,按其客观内在逻辑关系进行系统的形态分类。

3.2 内营力与外营力相结合

地貌是内、外营力相互作用的结果,这是地貌学的基本规律。内营力主要指新构造运动,它对中国现代地势起伏、地貌格局、水系组合、外营力的区域分布等起着重要作用。外营力应是地貌发展过程中的外营力的整个历史过程^[69]。巨型、大型地貌均为内营力所控制,中型、小型、微型地貌是外营力的产物,也受到小型构造和岩性的影响。

3.3 现代过程与古代过程

地貌过程就是形成现存地貌的动力过程和正在进行的形成新地貌形态的动力过程,并根据时间分为古代过程和现代过程。现代地貌不仅是现代过程的产物,而且是长期演变、世代继承和更替、“多代同堂”的结果,在空间展布上既可以是上下迭置,又可以是平行排列。

3.4 侵蚀与堆积

塑造地貌的一切外营力过程无非是侵蚀过程和堆积过程两大类,两者相辅相成,并反映出区域的空间差异性与互补性。在剥蚀区,构造地貌成因是控制山地形态的主要营力,而外力剥蚀作用属于次要因素;在堆积区反之,起主导作用的是堆积营力,而构造地貌是堆积场所的背景^[70]。

3.5 正地貌与负地貌

正负地貌室地貌形成过程中相互依存和作用的统一体，正负地貌的更替频度、对比程度和结构特点等非常重要。要改变过去只重视正地貌，而忽视负地貌的不合理局面。

4 地貌分类指标

4.1 形态指标

地貌形态是地貌分类的主要指标之一。描述地貌形态的指标多种多样，其中，地面高度及其起伏度是最基本的形态指标，包括海拔高度、坡度与坡向、地形起伏度、形态密度（如河网密度、滑坡密度等）等，而海拔高度和地表起伏高度是较高级层次上最基本的形态地表^[16,70]。海拔高度、坡度和坡向都可以直接根据数字高程模型计算得到^[17,72]。利用基本形态指标分类得到一些基本形态地貌，将其组合，则得到高一级的组合地貌形态。由于组合的尺度不同，出现了多种组合结构。

(1)宏观形态：即平原和山地大地貌单元，山地和平原是陆地表面坡度形态最基本的组合，也是我国最为传统经典的地貌名词，为便于数据的组织管理、空间分析、遥感地貌类型的目视识别等，将平原和山地一层记为第零层，并不记入分类体系。

(2)基本地貌形态类型：由地势起伏和海拔两组指标构成第一层。海拔高度和相对高度是描述地貌形态最重要的两个形态指标。纵观国内外不同时期的地貌形态分类方案，经历了以海拔高度为主，相对高度为辅，到海拔高度与相对高度并重，再以相对高度为主，海拔高度为辅的发展趋势。山地、丘陵、台地、平原以及盆地、高原等基本形态概念都具有明确的内涵，而且具有一定的成因意义^[73]。

(3)形态类型：它们是反映成因的形态类型，如冲积扇、河漫滩、阶地等，或冰水阶地、冰水漫滩等。

(4)微地貌形态：反映微地貌的形态类型，如微高地、洼地、泻湖洼地、滨海低地、湖滩、滨湖低地、入湖三角洲、古河床洼地、古河漫滩、自然堤、低平地、泛滥平地、微倾斜平地、向河缓坡地、古河床高地等等。

(5)坡度和坡向及其组合：地貌面坡度及其形态组合也是显示地貌形态特征的重要指标，它们

在平原和山地各具特征。根据地貌面坡度变化，平原和台地地貌类型可以进一步划分为平坦的、倾斜的和起伏的三级次级地貌形态；丘陵和山地地貌类型可以进一步划分为平缓坡、缓坡、陡坡和极陡坡等四级次级地貌形态^[16]。另外，还有一些有较大地貌意义的坡面形态组合类型，如扇形地、垅岗、洼地、山脊、槽谷、峰丛洼地等。

4.2 营力指标

在地球内营力、外营力长期共同作用下，地表形态不断发生变化，形成了千变万化的各种地貌形态。内营力作用的总趋势是加大地表起伏，形成地表基本起伏形态与空间格局；外营力则同时对地表进行剥蚀塑造，削高填低，力图减小地表起伏^[74]。

根据地貌宏观格局形成的条件，将地貌营力分为内营力和外营力。内营力包括新构造运动、火山岩熔和热液活动等三种；外营力包括海成作用、湖成作用、流水作用、冰川作用、冰缘作用、风成作用、干燥作用、重力作用、生物作用和人为作用等 10种。根据地貌营力作用的性质，各种营力可以归纳分为侵蚀（剥蚀、沉降）和堆积（抬升）作用两类。将地貌营力类型和作用性质综合，可以将地貌营力作用类型进一步细分。例如，海成作用分为海蚀和海积两大类，湖成作用分为湖蚀和湖积作用等。

地貌形成过程中，内营力与外营力交叉、外营力（或内营力）作用过程中的多种营力类型综合交叉，以及各时期作用营力（古营力、现代营力）形成的地貌形态交叉，同一空间不同规模地貌类型叠加交叉，造成地貌形态错综复杂。因此，在进行地貌分类时，常常会出现复合成因类型，例如，海积冲积就是海成作用和流水作用的复合物。在具体开展某一区域研究时，可以结合具体情况，增加相应的地貌营力类型。

(1)内营力成因指标

内营力是指地球内部能量等引起的作用力^[73]。内力作用造成地壳的水平运动和垂直运动，并引起岩层的褶皱、断裂、岩浆活动和地震等。除火山喷发、地震等现象外，内力作用一般不易为人们所觉察，但实际上它对于地壳及其基底长期而全面地起着作用，并产生深刻的影响。地球上巨型、大型的地貌，主要是由内力作用所造成的^[73]。

内营力可以分为新构造运动、岩浆活动和热液活动等三种,相应形成的地貌类型分布成为构造地貌、火山熔岩地貌和温泉地貌^[80]。构造地貌是指由地壳的构造运动所造成的全部地面形态。火山熔岩地貌是指火山喷发所形成的全部形态,包括火山物质溢出和堆积形成的各种地貌形态。温泉地貌为火山起源与化学沉积的共同作用。

(2)外营力成因指标

外力是指地球表面在太阳能和重力驱动下,通过空气、流水和生物等活动所起的作用,包括岩石的风化作用,块体运动,流水、冰川、风力、海洋的波浪、潮汐等的侵蚀、搬运和堆积作用,以及生物甚至人类活动的作用等。外力作用非常活跃,而且易被人们直接观察到^[75]。在我国,外营力主要包括流水、湖成、海成、冰川、冰缘、风成和干燥等类型,其中,流水作用和风成作用是普遍存在的,而冰川、冰缘、干燥、海成等作用具有区域性。

在地貌的形成发展过程中,除了内外力两类主要动力外,人类活动在现代技术社会里已成为一种重要的地貌营力,能产生许多新的人工(为)地貌,如堤坝、人工湖、护岸工程、城镇建筑群等,也能夷平破坏一些地貌。

4.3 地貌分类的其他指标

中国地貌类型复杂多样,区域差异明显。在考虑主要分类指标的同时,还需要考虑其他一些指标,如地貌的形成年代、区域组合空间结构等。

(1)物质组成分异指标

在某种意义上讲,地貌是由天然岩石或土“松散的岩石”组成的地表形状。在其他条件相同的情况下,组成地貌的岩石或土,在成分、结构、构造等特性上的差异必然表现为地貌形态上的不同。岩性是指岩土对来自外界的物理作用和化学作用的反映,但对地貌形态的影响程度取决于一系列因素,是一个十分复杂的问题。岩石坚硬和软弱,抗侵蚀能力的大小都只是一个相对概念,它与岩石所处的自然环境有很大关系。例如,对于花岗岩地貌,在长期侵蚀过程中,分布在我国北方的花岗岩常呈高大险峻的山地(如华山、泰山、黄山等),而在华南地区则成馒头状丘陵;前者地形起伏明显,后者地势变化和缓。

在我国,喀斯特地貌和黄土地貌是两个独特

的自然地貌景观,一般将其与高级别的内外营力等同处理。对于花岗岩、红土等分布范围也较广,但相对分散,一般放在次一级的地貌成因中处理。对于更次一级层次上的物质分异引起地貌类型差异,如海滩地分为淤泥质、沙砾质、岩滩等,一般在较低级别地貌类型中给予表现。

(2)地貌形成年代指标

内、外力作用的时间长短也是引起地貌差异的重要原因之一。同一种地貌类型,在不同的演化和发育阶段,所表现出的地貌特征的差异尤为显著,从而也反映了地貌发育的阶段性和阶段性。例如,急剧上升运动减弱初期出现的高原,外力作用虽然强烈,但保存了大片高原地面。随着时间的推移,高原在外力侵蚀下,破坏殆尽,成为崎岖的山区,再进一步发展,则可转化为起伏和缓的丘陵。

5 地貌分类的方法体系

地貌类型划分的方法很多,且不同的研究和应用目的可以采用不同的分类方法,因而形成多种多样的分类系统。从采用的分类指标看,常用的方法包括单指标的等级分类法,多指标的组合法。地貌分类方法是建立科学地貌分类系统的方法论基础,而地貌类型划分的方法很多,如区域划分分类、分层分类(包括决策树)、统计分类等。区域划分和分层分类主要是依据地貌的空间分异规律,针对地貌实体的特征属性,通过层次划分采用不同的分类决策规则,从粗到细进行逐步分类;统计分类方法,如动态聚类、最小距离、最大似然分类器等,主要是利用地貌特征属性的统计值特征进行分类,一定程度上定量反映了地貌类别间的数学分布特征。高玄彧(2006)提出了地貌类型混合法,并将地貌类型划分为主体地貌类型和客体地貌类型。主体地貌类型是指在通常情况下图斑总是比较大的地貌类型,主要包含地貌基本形态类型;客体地貌类型是指在通常情况下图斑总是比较小的地貌类型,主要包含地貌成因类型^[76]。

5.1 数值系统分类

现代数值技术的发展,数值地貌分类方法得到一定的发展,也是当今地貌分类研究的前沿。它是地貌实体的各种表型特征为基础,利用大量

反映地貌实体的形态学、发生学的、演化过程等方面的数据,按一定的数学方法,应用电子计算机运算得出结果,从而对地貌实体作出定量比较,得到地貌实体的分类结果,从而客观反映分类群之间的关系。早在 20 世纪 80 年代,李钜章(1982)就提出利用系列化的地貌特征定量指标,开展中国基本地貌类型的划分。但由于当时的技术条件和应用的局限性,该方面的研究进展不大^[77-78]。

一个完备的地貌分类系统应是一个严格的等级分类系统。从地貌形态的空间尺度差异看,大地貌宏观形态差异主要受控于地质构造,而较小的地貌形态变化多由外营力作用差异的分异所形成。地貌类型的划分只有从宏观至微观、综合至单一、主要至次要的逐级分类才能全面反映众多地貌类型。一般地讲,较高级的地貌分类时通常以宏观、内营力为主(综合),而较低级的地貌分类通常多以规模较小、较单一营力为主。各级分类的标准,可以有所差别,高级分类的标准应以多因素综合为主,较低级类型划分中有时可采用单一因素指标。例如,在陆地地貌系统中,内力为主形成的山地、平原等基本地貌类型在地貌分类中属较高级层次,某种具体外营力或内营力在山地、平原上塑造的各种地貌成因类型为较低级的。

5.2 地貌纲-类-型数值分类

依据我国地貌类型的特点和一般地貌形成原理,参照相关学科的分类系统和已有的地貌分类体系,将中国陆地地貌的形态成因类型分为三等六级^[36](图 1)。

(1)地貌纲:即地势起伏度(图 1)。根据宏观地貌形态特征,依据地表高度的起伏变化(一般可采用相对高度或地表起伏度指标),将地表形态首先划分为平原、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 个纲,所对应的地貌类型称为基本形态地貌。从地貌分析的角度看,基本形态地貌也反映了地貌的重要成因条件和环境。例如,平原多对应于沉降条件和堆积环境、或抬升条件与剥蚀环境。我国常用的高原、盆地等地貌名称,属于组合型的地貌类型,因而未列为基本形态地貌。我国青藏高原内部的山地,由于两坡的不对称性,常常出现一面坡的起伏度大,而另一面的起伏度小,在实际工作中,我们采用最大的起伏度作为分析的标准。

例如,青藏高原北缘的山地,从北面向南看,则具有大起伏、极大起伏的特征,南面向北面看,则表现为中小起伏,这时仍然定为大起伏、极大起伏的山地。

(2)地貌亚纲:即海拔分级(图 1)。考虑到我国地势的三级台阶特征,并与构造运动相联系,将基本形态地貌依据所处的海拔高度,按照低海拔、中海拔、高海拔和极高海拔等四级,将地貌纲进一步细分,从而构成了我国 25 个地貌亚纲,所形成的地貌类型称为基本地貌形态类型。

(3)地貌类:即成因类型(图 1)。根据我国地貌形成的营力条件,将地貌营力分为海成、湖成、流水、风成、干燥、冰川、冰缘、黄土、喀斯特、火山熔岩、重力、人为、生物、构造、其他等 15 种主要类型,依据主要成因类型对地貌亚纲的进一步划分,称为地貌类。

(4)地貌亚类:即次级成因类型(图 1)。根据主成因营力作用方式(侵蚀、抬升、堆积、沉降),将地貌类细分,则构成了地貌亚类。例如,根据流水作用的方式和强度状况,可以将流水作用进一步分为冲积、洪积、冲洪积、侵蚀剥蚀(多指坡面作用)、冲蚀(多发生在流水状态发生剧烈变化的地方,如河道侵蚀)、冲积湖积、冲积海积等七种营力亚类。地貌亚类体现了主要地貌实体单元特征,是开展地貌分析的主要单元体系。

(5)地貌型:即形态、次级形态和地表坡面特征类型(图 1)。依据地貌类、亚类所对应地貌实体的主要形态特征,则将地貌类、亚类可进一步分为地貌型,体现地貌实体的主要形态与成因特征。例如,平原根据其坡度的变化特征,分为平坦平原、倾斜平原和起伏平原;根据台地的相对高度,将台地分为低台地和高台地。

(6)地貌亚型:即物质组成类型(图 1),地貌类型与地貌组成物质有一定的关系,并是控制地貌形成一个关键因子。平原台地主要由松散沉积物组成,虽有剥蚀平原台地,但基岩岩性对其地貌形态基本没有影响,故平原地貌中没有必要表示基岩具体的岩性。丘陵山地的地貌组成物质一般由固结的基岩组成,侵蚀剥蚀作用的次级地貌形态,往往与组成山地地貌的岩性有关。例如,我国独特的丹霞地貌则是由第三纪的红层沉积所形成。在地貌型的基础上可进一步依据所对应地貌实体的次级形态特征,划分出地貌亚型。

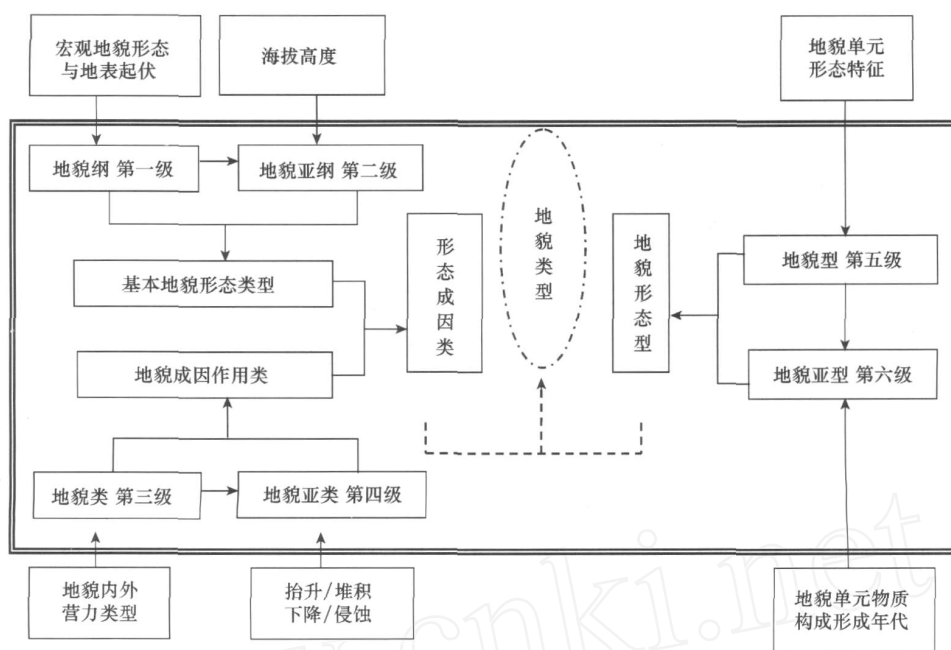


图 1 中国陆地数字地貌数值分类体系

Fig. 1 Numerical Classification system of digital land geomorphology in China

5.3 地貌类型命名

地貌纲和亚纲是地貌命名中的基本组成部分，其中，地貌亚纲对应的海拔指标放在地貌实体命名的最前面；地貌纲对应的宏观形态地貌的名称放在命名的最后面，如低海拔平原、极高海拔大起伏山地^[36]。

地貌类或地貌亚类在命名中，当存在地貌亚类时，则取用地貌亚类名称，否则取地貌类名，如冲积洪积是流水地貌的亚类；地貌型或地貌亚型在命名中，如两者均存在，则同时使用，否则取用一种，此二者之间没有严格的等级关系。

平原类型：形态在前，成因在后，级别越低，越在前，如起伏的低海拔冲积低台地和倾斜的中海拔冲积洪积扇平原等。

山地类型：成因在前，形态在后，级别越高，越在前，如喀斯特侵蚀平缓低丘陵和冰川冰缘作用的中起伏陡高山等。

5.4 地貌类型的数据组织方式

分类指标是数值地貌分类体系的核心。在地貌形态成因分类体系中，一般采用的指标包括刻画地貌外形的形态指标和反映其形成的作用力指标两大类。另外，划分地貌形态时，不能就形态论形态，而应该着眼于反映成因的形态^[75]。

目前，需要完成的是中国陆地 1:100 万比例的普通地貌图，借鉴 20 世纪 80 年代老一辈地貌学家在研制地貌类型时所采用的分类与制图规范，本次数字地貌也将采用这种方法，即将用多边形(图斑)来反映的形态成因类型和用点、线、面图斑和符号共同来反映的形态结构类型分开来完成，这样便于 ArcGIS 的地貌类型分类、编码以及类型存储^[36](图 2)。

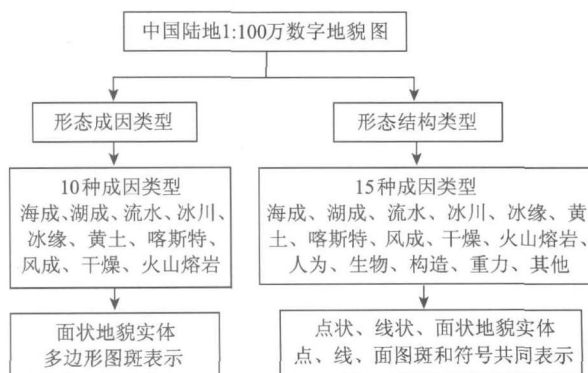


图 2 中国数字地貌类型数据组织方式

Fig. 2 Framework of digital land geomorphologic types in China

为便于组织数据，中国 1:100 万数字地貌分类方案共包括七层，第一层为基本地貌类型，由地势起伏度和海拔高度共同产生；第二层和第三

层为成因类型；第四、第五、第六层为形态类型；第七层为物质组成或岩性层。

表 1 中第一层和其他各层为并列关系，第二层和第三层为包含关系，第四层和第五层为包含关系，其中成因类型和形态类型存在对应关系，第六层的坡度、坡向及其组合和其他各层也属于并列关系；第七层的物质组成或岩性与第二层的成因类型存在对应关系。

表 1 中的第一层 (起伏度和海拔高度)、第二层 (成因类型)、第六层 (坡度、坡向及其组合)属于通用指标，第三层、第四层、第五层和第七层

因不同的研究区域而变化。在实际分类过程中需要将所有指标结合起来综合考虑地貌实体的所有属性类型。

因形态结构地貌类型在所有地貌成因类型中都有反映，为了编码的方便，这里的形态结构类型只用成因来区分，并将所有地貌类型分为面状、线状和点状三种类型 (表 2)。和形态成因类型一样，形态结构类型在数据库中存储为点、线、面格式，只有在出版图时，需要用符号来体现这些类型，因此，在后面的地貌类型分类中，只对形态成因类型进行成因和形态的分类^[36]。

表 1 中国陆地 1 100万数字地貌分类方案 (形态成因类型)

Tab.1 Classification scheme of digital land geomorphology of 1 1000 000 in China (morph-genesis types)

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	
起伏度	海拔高度	成因	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	海成	随成因类型变化	按照次级成	随形态而变，	平原和台地：	按照成因类型、
台地	中海拔	湖成	而变化，基本分	因来进一步	需进一步细	平坦的	地表物质组成、
丘陵	高海拔	流水	为抬升/侵蚀、下	细分的形态	分的形态类	倾斜的	岩性来区分
小起伏山地	极高海拔	风成	降/堆积	类型	型	起伏的	
中起伏山地		冰川					
大起伏山地		冰缘					
极大起伏山地		干燥				丘陵和山地：	
		黄土				平缓的	
		喀斯特				缓的	
		火山熔岩				陡的	
						极陡的	
固定项				参考项 (可修正或调整)			

注：前三层表示的为固定类型，所有分幅需严格执行，后四层为参考分类方案，各分幅可按照自身特征进行修改，但需要向总体组说明在哪里作了变化或调整。

表 2 中国陆地 1 100万数字地貌分类方案 (形态结构类型)

Tab.1 Classification scheme of digital land geomorphology of 1 1000 000 in China (morph-structure types)

成因类型	图斑类型		
	面	线	点
15种成因类型	面状	线状	点状

六级七层，其中七层由基本地貌形态类型 (第一层)、成因类型 (第二层)、次级成因类型 (第三层)、形态和次级形态类型 (第四、五层)、坡度坡向及其组合类型 (第六层)和物质组成及岩性类型 (第七层)组成，下面将逐一介绍每一层的分类方法和内容^[36]。

6 中国陆地 1 100万数字地貌分类体系

中国陆地 1 100万数字地貌分类采用分层分级的分类体系，按照表 1，该分类体系共包括三等

6.1 基本地貌形态类型 (第一层)

基本地貌形态类型是反映地貌最基本内外营力的过程 (内营力基本过程为构造上升、沉降及其强度，外营力基本过程是侵蚀、搬运和堆积)所形

成的基本地貌形态。平原、山地反映形成地貌的内外营力最基本类型和经受内、外力地貌过程不同的。如山地是地壳上升区形成的地貌, 遭受侵蚀、搬运是其最基本外营力过程, 平原为地壳相对稳定或沉降区的产物, 搬运堆积为其主要外营力过程。

基本地貌形态类型主要是由地面坡度、起伏

高度和地貌面的海拔高度三个基本指标逐级划分。

(1) 根据地表坡度组合划分平原和山地两种。

(2) 按切割程度和起伏高度将平原和山地分别划分 7 种基本地貌形态。

中国陆地基本地貌类型即根据上述 7 个基本地貌形态及其 4 个地貌面海拔高度等级组合成 25 个基本地貌形态类型 (表 3)。

表 3 中国陆地基本地貌形态类型

Tab. 3 Basic morphological types of land geomorphology in China

起伏度	海拔				
	低海拔 (<1 000m)	中海拔 (1 000 ~ 3 500m)	高海拔 (3 500 ~ 5 000m)	极高海拔 (>5 000m)	
平原 (一般 <30m)	低海拔平原	中海拔平原	高海拔平原	极高海拔平原	
台地 (一般 >30m)	低海拔台地	中海拔台地	高海拔台地	极高海拔台地	
丘陵 (<200m)	低海拔丘陵	中海拔丘陵	高海拔丘陵	极高海拔丘陵	
小起伏山地 (200 ~ 500m)	小起伏低山	小起伏中山	小起伏高山	小起伏极高山	
中起伏山地 (500 ~ 1 000m)	中起伏低山	中起伏中山	中起伏高山	中起伏极高山	
大起伏山地 (1 000 ~ 2 500m)	—	大起伏中山	大起伏高山	大起伏极高山	
极大起伏山地 (>2 500m)	—	—	极大起伏高山	极大起伏极高山	

6.2 成因类型 (第二层)

中国地貌成因类型根据形成地貌形态的营力即成因分析有下列 15 类主要地貌成因类型:

1. 海成地貌、2. 湖成地貌、3. 流水地貌 (常态、干旱)、4. 冰川地貌、5. 冰缘地貌 (冻融)、6. 风成地貌、7. 干燥地貌 (流水、风蚀、盐湖)、8. 黄土地貌 (粉尘沉降、流水)、9. 喀斯特地貌 (溶蚀、侵蚀)、10. 火山 (熔岩) 地貌、11. 重力地貌、12. 构造地貌、13. 人为地貌 14. 生物地貌、15. 其他成因地貌。

上述 15 类地貌成因类型, 每一类地貌成因类型都有同类的营力, 但由于它们作用的基本地貌类型及其组成物质不同, 形成的具体地貌类型并非完全都有一个共同的形态特征, 因而严格地说这不是地貌类型实体而是某种营力形成地貌的总称。每种地貌成因类型形成过程营力的作用都有侵蚀和堆积两大类, 各自包含有多种地貌形态。各类地貌成因划分具体地貌类型的指标往往因营力而异, 它们地貌实体的规模也相差悬殊。

6.3 次级成因类型 (形态成因类型、第三层)

次级成因是指随陆地主导内外营力因素变化而变化的塑造地貌形态的更细一级指标, 按照内

外营力的表现方式, 次级成因基本分为抬升/侵蚀、下降/堆积两种。

由于 15 种陆地地貌成因的方式不同, 堆积和剥蚀的方式也各不相同, 为能反映各成因类型的次级类型, 将堆积和剥蚀按照成因进行细分, 具体类型如表 4。表 4 中的次级成因类型基本分为堆积和剥蚀两大类, 但在河谷中, 这两种类型很难有明显的界线, 两者经常混合在一起, 故会出现混合过渡类型。

6.4 形态和次级形态分类 (形态成因类型、第四和五层)

陆地地貌的形态类型是与其成因密切相关的, 形态泛指地貌所展示的外貌形状, 如方的、圆的、长条形的、高的等等, 次级形态是形态类型的进一步细分, 一般在遥感影像上, 地貌的形态可通过其纹理、结构等特征来反映。表 5、6、7、8、9、10、11、12、13、14 分别列举了 10 种成因类型的地貌的形态和次级形态分类^[16, 36]。

6.5 坡度坡向及组合类型 (形态成因类型、第六层)

坡度分级对于分析土地的合理开发利用具有重要作用, 故本次地貌分类中, 对坡面按照如下方式进行划分, 意在确定地貌实体类型坡面的坡

度、坡向及其组合类型^[16,36]，这里的坡度和坡向是指一个图斑的平均值(表 15)。

表 4 中国陆地地貌次级成因分类表
Tab. 4 Sub-genesis types of land geomorphology in China

成因类型 次级成因	海成	湖成	流水	冰川	冰缘	风成	干燥	黄土	喀斯特	火山熔岩
堆积	海积 海积冲积	湖积 湖积冲积	冲积海积 冲积湖积 冲积 冲积洪积 洪积	冰水 冰渍	冰沼	风积 风积冲积	盐湖 洪积	风积洪积 构造堆积	堆积 溶积 溶积冲积	熔积
混合过渡			河谷	河谷	河谷		河谷	侵蚀堆积 侵蚀冲积		
剥蚀	海蚀	湖蚀	侵蚀剥蚀	冰蚀	冰蚀 侵蚀剥蚀	风蚀	剥蚀	侵蚀剥蚀	溶蚀 侵蚀	侵蚀剥蚀

表 5 海成地貌形态和次级形态分类表

Tab. 5 Morphological and sub-morphological types of marine landform

基本地貌类型		成因类型		形态类型		
第一层	第二层	第三层	第四层	第五层		
起伏度	海拔	成因	次级成因	形态	次级形态	
平原	低海拔	海成	海积	海滩		
				低阶地		
				洼地		
				海积冲积	三角洲	
					洼地	
					高地	
					微高地	
					海蚀	低阶地
						平台
						高地
台地			海积	高阶地		
				低阶地		
				高台地		
				海蚀	低阶地	
					高台地	

表 6 湖成地貌形态和次级形态分类表

Tab. 6 Morphological and sub-morphological types of lacustrine landform

基本地貌类型		成因类型		形态类型			
第一层	第二层	第三层	第四层	第五层			
起伏度	海拔	成因	次级成因	形态	次级形态		
平原	低海拔	湖成	湖积	湖滩			
				中海拔	低阶地		
				高海拔	湖床		
				极高海拔	微高地		
					洼地		
					湖积冲积	三角洲	
						洼地	
						低阶地	
						湖蚀	低阶地
						湖积	高阶地
台地				低阶地			
				高台地			
				高台地			
				湖积冲积	高阶地		
					低阶地		
		湖蚀	低阶地				
			高台地				

6.6 物质组成或岩性类型(第七层)

为了能在普通地貌图上尽可能多地反映形态、成因等地貌信息外，对于一些有意义的物质组成或岩性类型，也需要在地貌图上反映出来，如反映海滩是泥质的、砂质的、砾质的，还是生物质的；如

覆盖在陆地表面的土壤类型是碳酸盐的、花岗岩的、还是火山岩的等等，这些信息对于直到地貌地表的物质组成及其利用状况具有重要意义。

表 7 流水地貌形态和次级形态分类表

Tab. 7 Morphological and sub-morphological types of fluvial landform

基本地貌类型		成因类型		形态类型	
第一层		第二层	第三层	第四层	第五层
起伏度	海拔	成因	次级成因	形态	次级形态
平原	低海拔	冲积海积		三角洲	
	中海拔			洼地	
	高海拔	冲积湖积		三角洲	
				洼地	
				低阶地	
				微高地	
		冲积	河道	河道	河床
					江心洲
				古河道	
				河漫滩	
				高河漫滩	
				古老河漫滩	
				低阶地	
				冲积扇	
				决口扇	
				洼地	
				高地	
				古河道	
		冲积洪积	冲积洪积扇		
		流水	洪积	洼地	
				洪积扇	
				泥石流扇	
				河谷	
				侵蚀剥蚀	
				洪积湖积	
台地				高阶地	
				低台地	
				高台地	
				低台地	
				高台地	
				低台地	
		冲积洪积		低台地	
				高台地	
		洪积湖积		高阶地	
				低台地	
				高台地	
				低台地	
丘陵		侵蚀剥蚀		低丘陵	
				高丘陵	
小起伏山地					
中起伏山地					
大起伏山地					
极大起伏山地					

表 8 冰川地貌形态和次级形态分类表

Tab. 8 Morphological and sub-morphological types of glacial landform

基本地貌类型		成因类型		形态类型	
第一层		第二层	第三层	第四层	第五层
起伏度	海拔	成因	次级成因	形态	次级形态
平原	中海拔	冰川	冰水	阶地	
	高海拔			漫滩	
	极高海拔			冰水扇	
				冰碛	
				垄岗	
				古冰碛	
				残丘	
				丘垅	
				河谷	
				冰蚀	
				冰碛	
				低台地	
台地				高台地	
				冰蚀	
				高台地	
				冰碛	
				高丘陵	
				冰蚀	
				高丘陵	
				高丘陵	
小起伏山地				侵蚀剥蚀	
中起伏山地				冰缘	
大起伏山地					
极大起伏山地					

表 9 冰缘地貌形态和次级形态分类表

Tab. 9 Morphological and sub-morphological types of periglacial landform

基本地貌类型		成因类型		形态类型	
第一层		第二层	第三层	第四层	第五层
起伏度	海拔	成因	次级成因	形态	次级形态
平原	低海拔	冰缘	湖沼		
	中海拔			河谷	
	高海拔			洼地	
	极高海拔			侵蚀剥蚀	
				高台地	
				低丘陵	
				高丘陵	
				高丘陵	
小起伏山地					
中起伏山地					
大起伏山地					
极大起伏山地					

表 10 风成地貌形态和次级形态分类表

Tab. 10 Morphological and sub-morphological types of aeolian landform

基本地貌类型		成因类型		形态类型	
第一层	第二层	第三层	第四层	第五层	
起伏度	海拔	成因	次级成因	形态	次级形态
平原	低海拔	风成	风积	固定的	平沙地
	中海拔			半固定的	缓起伏沙地
	高海拔			流动的	洼地
丘陵			风蚀	固定的	波状平原
					草灌丛沙堆
					梁窝状沙丘
				半固定的	沙垄
					草灌丛沙堆
					梁窝状沙丘
				流动的	蜂窝状沙丘
					抛物线状沙丘
					沙垄
					蜂窝状沙垄
					树枝状沙垄
					复合型沙丘链
					新月形沙丘和沙丘链
					格状沙丘和沙丘链
					鱼鳞状沙丘
新月形沙垄					
线状沙丘					
羽毛状沙垄					
星状沙丘和沙丘链					
星状沙垄					
复合流动的			风蚀	复合流动的	复合型沙丘和沙丘链
					复合型沙垄
					复合型穹状沙丘
				复合型链状沙丘	
				复合型链垄状沙丘	
				复合型星链状沙丘	
				综合型星链状沙丘	
				雅丹	
				风蚀长丘	
				风蚀楔形丘	
				风蚀城堡	
				复合型链状沙山	
综合型星链状沙山					
综合型星垄状沙山					

表 11 干燥地貌形态和次级形态分类表

Tab. 11 Morphological and sub-morphological types of arid landform

基本地貌类型		成因类型		形态类型					
第一层	第二层	第三层	第四层	第五层					
起伏度	海拔	成因	次级成因	形态	次级形态				
平原	低海拔	干燥	盐湖	洪积	洪积扇				
	中海拔				剥蚀	一级			
	高海拔				二级				
台地				河谷	三级				
					四级				
					低平原				
				洪积	高平原				
					低台地				
					高台地				
				丘陵				剥蚀	低台地
								高台地	
								侵蚀剥蚀	低丘陵
								高丘陵	
小起伏山地									
中起伏山地									
大起伏山地									

表 12 黄土地貌形态和次级形态分类表

Tab. 12 Morphological and sub-morphological types of loess landform

基本地貌类型		成因类型		形态类型		
第一层	第二层	第三层	第四层	第五层		
起伏度	海拔	成因	次级成因	形态	次级形态	
平原	低海拔	黄土	风积洪积	山前黄土平地		
	中海拔			构造堆积	山间黄土平地	
				侵蚀冲积	河流低阶地	
台地				河谷平原		
				侵蚀堆积	黄土塬	完整的
				黄土坪	破碎的	
				侵蚀冲积	台塬	低台塬
				河流高阶地	高台塬	
				侵蚀堆积	塬	
				残塬		
				梁塬		
				岗地		
				侵蚀堆积	斜梁	低的宽
丘陵					梁浅谷	
					低的宽	
					梁深谷	
					低的狭	
					梁浅谷	
	低的狭					
				梁深谷		

续表 12

基本地貌类型		成因类型		形态类型	
第一层	第二层	第三层	第四层	第五层	
起伏度	海拔	成因	次级成因	形态	次级形态
丘陵	低海拔	黄土	侵蚀 堆积		高的宽梁
	中海拔				浅谷
	高海拔				高的宽梁
					深谷
					高的狭梁
					浅谷
					高的狭梁
					深谷
					低的卯梁
					浅谷
	低的卯梁				
	深谷				
	高的卯梁				
	浅谷				
	高的卯梁				
	深谷				
	低的卯梁				
	低卯浅谷				
	低卯深谷				
	高卯浅谷				
	高卯深谷				
		侵蚀剥蚀	低丘陵		
			高丘陵		
小起伏山地					
中起伏山地					
大起伏山地					

表 13 喀斯特地貌形态和次级形态分类表

Tab. 13 Morphological and sub-morphological types of karst landform

基本地貌类型		成因类型		形态类型	
第一层	第二层	第三层	第四层	第五层	
起伏度	海拔	成因	次级成因	形态	次级形态
平原	低海拔	喀斯特	堆积		
	中海拔				溶积冲积
	高海拔				溶积
	极高海拔				溶蚀
台地				低台地	
				高台地	
丘陵				低丘陵	
				高丘陵	
				冰川	
				冰缘	
小起伏山地				溶蚀	
中起伏山地				侵蚀	
大起伏山地				冰川	
极大起伏山地				冰缘	

表 14 火山熔岩地貌形态和次级形态分类表

Tab. 14 Morphological and sub-morphological types of volcanic and lava landform

基本地貌类型		成因类型		形态类型	
第一层	第二层	第三层	第四层	第五层	
起伏度	海拔	成因	次级成因	形态	次级形态
平原	低海拔	火山熔岩	熔积	堰塞湖	
	中海拔				侵蚀剥蚀
台地	高海拔		干燥	高台地	
	极高海拔		冰川		
			冰缘	一级	
				二级	
				三级	
				四级	
				低丘陵	
				高丘陵	
小起伏山地					
中起伏山地					
大起伏山地					
极大起伏山地					

表 15 地貌实体类型的坡面分类情况

Tab. 15 Slope classification of geomorphologic units

坡面类型	基本特征	
平原和台地	平坦的	一般向一个方向, 或向中心倾斜, 一般 $< 2^\circ$
	倾斜的	一般向一个方向, 或向中心倾斜, 一般 $> 2^\circ$
	起伏的	一般既有相向的坡, 又有背向的坡, 一般 $> 2^\circ$
山地和丘陵	平缓的	一般 $7 \sim 15^\circ$
	缓的	一般 $15 \sim 25^\circ$
	陡的	一般 $25 \sim 35^\circ$
	极陡的	一般 $> 35^\circ$

纵观物质组成和岩性类型, 参照“中国 1:100 万地貌制图规范”(1987)^[16], 除了上面描述现象外, 地貌组成物质或岩性可以概括为黄土、红色粘土、红色砂页岩、花岗岩类、火山喷出岩类、碳酸盐类等几类。具体为淤泥质、花岗岩、砾质、岩质、生物质、砂(沙)质。

7 结论与讨论

本文总结了国内外研究地貌分类的文献, 提出了数字地貌分类应遵循的几大原则, 包括形态成因相结合、内外营力相结合、主导性、定量化和可扩

充性原则。

按照形态成因相结合的数字地貌分类原则,基于GIS的点、线和面数据组织管理模式,提出地貌类型数据中,以面状图斑反映形态成因类型和以点、线、面综合反映形态结构类型的地貌数字组织形式。其中,以图斑反映的形态成因类型在10种成因类型中体现,以点、线、面反映的形态结构类型在所有15种成因类型中都有体现。

基于“中国1:100万地貌图制图规范”(1987)的地貌图例系统,提出了数字地貌三等六级七层数值分类体系,其中,由地势起伏度和海拔高度共同组成基本地貌形态类型,即为地貌纲和亚纲,分别对应着第一级和第二级,在数据组织中为第一层。由成因类型和次级成因类型组成了地貌的成因分类,分别对应着地貌的类和亚类,第三级和第四级,数据组织中为第二层和第三层。由地貌形态、次级形态(也称为微地貌形态)、地面坡度和坡向等共同组成了地貌的形态型,为第五级,数字组织中依次为第四、第五、第六层;物质组成为地貌的亚型,为第六级,数据组织中为第七层。按照该数值地貌类型的分类方案,我国陆地地貌的形态成因类型共计2400多种类型,而形态结构类型达300多种^[16,36-37]。

数值地貌分类的分层分级方式可按照等级理论逐层逐级进行分类,具有矩阵的组合特征,其中的等级可根据地貌类型的研究详细程度进行扩充,另外,在地貌的各级类型中,也可根据详细程度进行扩充或空缺,如风成地貌的第四级和第五级就根据沙漠地貌的流动特征做了调整,另外,在物质组成一级中,只对如花岗岩、砂、淤泥等做了分类,以后可根据研究的详细程度,结合地质图对地貌的岩性及物质组成,甚至地貌的年龄等信息进行扩充。

尽管该分类方案试图尽可能地体现出定量化和数值化的特征,但因我国地貌成因和形态类型复杂多样,在基本地貌形态类型(山地平原级、海拔、地势起伏度)和微地貌形态类型(如洪积扇、沙垄等)可利用DEM等方法进行辅助计算,对于地貌的成因特征,只能靠专家知识和多源数据进行组合判断。因此,随着遥感等多源信息提取的不断深入,地貌类型的数值化解析有希望逐渐扩大。

参考文献:

[1] 杨勤业,吴绍洪,郑度.自然地域系统研究的回顾与

展望.地理研究,2002,21(4):407-417.

- [2] 中国科学院《中国自然地理》编委会.中国自然地理-地貌.北京:科学出版社,1980.
- [3] 刘南威.自然地理学.北京:科学出版社,2001.
- [4] 高抒.现代地貌学.北京:高等教育出版社,2006.
- [5] 裘善文,李风华.试论地貌分类问题.地理科学,1982,2(4):327-335.
- [6] 彭克(W. Penck)著.江美球译.地貌分析.1964.
- [7] 苏时雨,李钜章.地貌制图.北京:测绘出版社,1999.
- [8] J德梅克(著).陈志明,尹泽生译.详细地貌制图手册.北京:科学出版社,1984.
- [9] 李炳元,潘保田.中国陆地基本地貌类型及其划分指标探讨.第四纪研究,2008,28(4):634-645.
- [10] 周廷儒,施雅风,陈述彭,等.中国地形区划草案(见《中国自然区划草案》).北京:科学出版社,1956.
- [11] 沈玉昌.中国地貌的类型与区划问题的商榷.中国第四纪研究,1958,1(1):33-41.
- [12] 沈玉昌.论地貌区划的原则和方法.地理,1961(3).
- [13] 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.
- [14] 潘德扬.论地貌分类问题.北京大学地质地理系,1964.
- [15] 国家大地图集编辑委员会.中国地貌图(1:100万,见《中华人民共和国自然地图集》),1965.
- [16] 中国科学院地理研究所.中国1:100万地貌制图规范(征求意见稿).北京:科学出版社,1987.
- [17] 沈玉昌,苏时雨,尹泽生.中国地貌分类、区划与制图研究工作的回顾与展望.地理科学,1982,2(2):97-105.
- [18] 陈志明.论中国地貌图的研制原则、内容与方法.地理学报,1993,48(2):105-113.
- [19] 陈志明.中国地貌纲要.北京:中国地图出版社,1993.
- [20] 李炳元.中国地貌图(1:400万).北京:科学出版社,1994.
- [21] 李炳元,郑亦鸿.青海省地貌图及其说明书.北京:测绘出版社,1989.
- [22] 穆桂春,习承泰.四川省百万分之一地貌图的地貌分类系统.西南师范大学学报,1988(3):93-99.
- [23] 中国1:100万地貌图编辑委员会.地貌制图研究文集.北京:测绘出版社,1985.
- [24] 沈玉昌,苏时雨,尹泽生.国内外地貌制图概况和对编制中国1:100万地貌图若干问题的讨论.1980.
- [25] 周特先.关于地貌分类问题的讨论.见:中国1:100万地貌图编辑委员会编.地貌制图研究文集.北京:测绘出版社,1986.

- [26] 沈玉昌, 苏时雨, 尹泽生. 国内外地貌制图概况和对编制中国 1:100 万地貌图若干问题的讨论. 1980.
- [27] Bruce Raupa, Andreas Kaab, Jeffrey S Kargel, et al. Remote Sensing and GIS Technology in the Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS) Project. *Computers & Geosciences*, 2007, 33: 104-125.
- [28] Chaplot V, Darboux F, Bourennane H. Accuracy of Interpolation Techniques for the Derivation of Digital Elevation Models in Relation to Landform Types and Data Density. *Geomorphology*, 2006, 77(1-2): 126-141.
- [29] Frank WD, Scott G. Modeling Vegetation Pattern Using Digital Terrain Data. *Landscape Ecology*, 1990, 4(1): 69-80.
- [30] G Onorati, R Ventura, M Poscolieri, et al. The Digital Elevation Model of Italy for Geomorphology and Structural Geology. *CATENA*, 1992, 19(2): 147-178.
- [31] G Bocco, M Mendoza, A Velazquez. Remote Sensing and GIS - based Regional Geomorphological Mapping: A Tool for Land Use Planning in Developing Countries. *Geomorphology*, 2001, 39: 211-219.
- [32] G Ch Miliareisis, D P Argialas. Segmentation of Physiographic Features from the Global Digital Elevation Model/GTOPO30. *Computers & Geosciences*, 1999, 25: 715-728.
- [33] G Ch Miliareisis, P Iliopoulou. Clustering of Zagros Ranges from the Globe DEM Representation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2004, 5: 17-28.
- [34] G Ch Miliareisis. Extraction of Bajadas from Digital Elevation Models and Satellite Imagery. *Computers & Geosciences*, 2001, 27(10): 1157-1167.
- [35] 周成虎. 地貌学辞典. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [36] 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.
- [37] 中华人民共和国地貌图集编辑委员会. 中华人民共和国地貌图集 (1:100 万). 北京: 科学出版社, 2009.
- [38] 程维明. 中国 1:100 万地貌——地表覆被 - 景观生态制图方法研究. 中国科学院博士后研究报告, 2005.
- [39] 柴慧霞, 程维明, 乔玉良. 中国“数字黄土地貌”分类体系探讨. *地球信息科学*, 2006, 8(2): 6-13.
- [40] K K 马尔科夫. 地貌学基本问题. 陈恩泽等译. 北京: 地质出版社, 1957.
- [41] Bishop M P, Shroder J F, Colby J D. Remote Sensing and Geomorphometry for Studying Relief Production in High Mountains. *Geomorphology*, 2003, 55: 345-365.
- [42] Breed C S, Grow T. Morphology and Distribution of Dunes in Sand Seas as Observed by Remote Sensing. McKee E D eds. *A Study of Global Sand Seas*. Washington: U. S. Government Printing Office, 1979, 253-302.
- [43] Brian M Steele. Combining Multiple Classifiers: An Application Using Spatial and Remotely Sensed Information for Land Cover Type Mapping. *Remote Sensing of Environment*, 2000, 74: 545-556.
- [44] 周启鸣, 刘学军. 数字地形分析. 北京: 科学出版社, 2006.
- [45] 闫国年, 钱亚东, 陈钟明. 基于栅格数字高程模型提取特征地貌技术研究. *地理学报*, 1998, 53(6): 562-569.
- [46] 涂汉明, 刘振东. 中国地势起伏度最佳统计单元的求证. *湖北大学学报 (自然科学版)*, 1990, 12(3): 265-271.
- [47] 涂汉明, 刘振东. 中国地势起伏度研究. *测绘学报*, 1991, 20(4): 311-319.
- [48] 刘振东, 涂汉明. 中国地势起伏度统计单元的初步研究. *热带地理*, 1989, 9(1): 31-37.
- [49] Adedirana A O, Parcharidis I, Poscolieric M. et al. Computer-assisted Discrimination of Morphological Units on North-central Crete (Greece) by Applying Multivariate Statistics to Local Relief Gradients. *Geomorphology*, 2004, 58: 357-370.
- [50] B J Irvin, S J Ventura, B K Slater. Fuzzy and Isodata Classification of Landform Elements from Digital Terrain Data in Pleasant Valley, Wisconsin. *Geodema*, 1997, 77: 137-154.
- [51] Bala zs, Sze kely, Da vid Kara tson. DEM-based Morphometry as a Tool for Reconstructing Primary Volcanic Landforms: Examples from the Borzsony Mountains, Hungary. *Geomorphology*, 2004, 63: 25-37.
- [52] M P Bishop, John F, Jr Shroder, J D Colby. Remote Sensing and Geomorphometry for Studying Relief Production in High Mountains. *Geomorphology*, 2003, 55: 345-361.
- [53] M J Smith, J Rose, S Booth. Geomorphological Mapping of Glacial and Forms from Remotely Sensed Data: An Evaluation of the Principal Data Sources and an Assessment of Their Quality. *Geomorphology*, 2005, 64: 1-18.
- [54] M J Smith, J Rose, S Booth. Geomorphological Mapping of Glacial Landforms from Remotely Sensed Data: An Evaluation of the Principal Data Sources and an Assessment

- ment of Their Quality. *Geomorphology*, 2006, 76: 148-165.
- [55] Miliareisis G, Argialas D. Extraction and Delineation of Alluvial Fans from Digital Elevation Models and Landsat Thematic Mapper Images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2000, 66 (9): 1093-1101.
- [56] Olav Slaymaker. The Role of Remote Sensing in Geomorphology and Terrain Analysis in the Canadian Cordillera. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2001, 3(1): 11-17.
- [57] Philip T Giles, Steven E Franklin. An Automated Approach to the Classification of the Slope Units Using Digital Data. *Geomorphology*, 1998, 21: 251-264.
- [58] Smith MJ, Clark CD. Methods for the Visualisation of Digital Elevation Models for Landform Mapping. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2005, 30: 885-900.
- [59] Tribe A. Towards the Automated Recognition of Landforms (Valley Heads) from Digital Elevation Models. *Proceedings of the 4th International Symposium on Spatial Data Handling*, 1990, 45-52.
- [60] 杨景春, 李有利. 地貌学原理. 北京: 北京大学出版社, 2001.
- [61] Crist E P, Cicone R C. Application of the Tasseled Cap Concept to Simulated Thematic Mapper Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1984, 50: 343-352.
- [62] D G Bowers, C E Binding, KM Ellis. Satellite Remote Sensing of the Geographical Distribution of Suspended Particle Size in an Energetic Shelf Sea, Estuarine Coastal and Shelf Science, 2007, 73: 1-10.
- [63] David C Mason, Tania R Scott, Hai-Jing Wang. Extraction of Tidal Channel Networks from Airborne Scanning Laser Altimetry. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 2006, 61: 67-83.
- [64] David R Butler, Stephen J Walsh. The Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems in the Study of Geomorphology: An Introduction. *Geomorphology*, 1998, 21: 179-181.
- [65] 陈述彭. 地学的探索 (第二卷): 地图学. 北京: 科学出版社, 1990.
- [66] 陈述彭. 地学的探索 (第一卷): 地理学. 北京: 科学出版社, 1990.
- [67] 穆桂春, 郭跃, 谭云贵. 地貌研究中的几个问题的探讨. *西南师大学报*, 1987, 1: 46-52.
- [68] 陈志明. 区域地貌的某些分类问题及其制图的分析方法. *河南大学学报*, 1988, 1: 35-40.
- [69] 杨景春. 中国地貌特征与演化. 北京: 海洋出版社, 1993.
- [70] 曾昭璇. 中国的地形. 广州: 广东科技出版社, 1985.
- [71] 龙毅, 周侗, 汤国安, 等. 典型黄土地貌类型区的地形复杂度分形研究. *山地学报*, 2007, 25(4): 385-392.
- [72] 周毅, 汤国安, 张婷, 等. 基于格网 DEM 线状分析窗口的地形特征线快速提取方法. *测绘通报*, 2007, (10): 67-69.
- [73] 张根寿. 现代地貌学. 北京: 科学出版社, 2005.
- [74] 杨怀仁, 杨达源, 黄家柱. 中国活动构造与造貌运动特征. *南京大学学报 (地理学)*, 1983, 1-10.
- [75] 吴正. 地貌学导论. 广州: 广东高等教育出版社, 1999.
- [76] 高玄或. 地貌基本形态的主客分类法. *山地学报*, 2004, 22(3): 261-266.
- [77] 李钜章. 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.
- [78] 李钜章. 中国地貌基本形态划分的探讨. *地理科学*, 1987, 6(2): 32-39.

Research on the Classification System of Digital Land Geomorphology of 1:1 000 000 in China

ZHOU Chenghu, CHENG Weiming, QIAN Jinkai, LIBingyuan, ZHANG Baiping

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

Abstract: Geomorphologic classification system is essential to geomorphologic research and mapping. Using the compiling methodology and standard of geomorphologic maps with a scale of 1:1 000 000 in 1980's in China, based on the summarization of geomorphology, classification research at home and abroad, and the technology such as remote sensing image, digital elevation model (DEM) and computer automated cartography and so on, this research

concludes and summarizes the principles followed in the classification process of digital geomorphology; analyzes the mutual relationships among them; discusses various indexes of digital land geomorphologic classification: including morphology, genesis, material composition, age etc. The classification system puts forward numerical classification methodology of 3 classes, 6 grades and 7 layers of digital Land geomorphology in China; presents data organization method of digital geomorphology, that is: morphology and genesis types represented by polygon map spot, morphology and structure type represented by point, line and polygon map spot together. Moreover, the article specifically presents the geomorphologic types of different layer and different level of various genesis types. The research of classification system of digital geomorphology provides a basis for the interpretation and cartography of Land geomorphology based on multi-source data such as remote sensing etc.

Key words: digital geomorphology; geomorphologic classification; numerical classification; morphologic and genesis types

全国遥感信息综合研究与深化应用交流会 暨全国遥感应用协会专家委员会扩大会议在西安召开

2009年11月9日-11日,中国遥感应用协会专家委员会在西安召开了“全国遥感信息综合研究与深化应用交流研讨会暨专家委员会常务扩大会议”。

全国参加这次大会的共有40多个单位80多人,收集论文约50篇,其中16篇在大会上作了报告。大会正值专家委员会主任陈述彭院士逝世一周年,与会代表深表怀念和铭记。

会议由协会专家委员会刘德长秘书长主持,胡如忠常务副主任致开幕词,中国遥感应用协会董宇阳副理事长代表栾恩杰理事长和顾行发秘书长宣读了贺信,传达了协会秘书处的有关精神。协会专家委员会挂靠单位核工业北京地质研究院国家重点实验室主任赵英俊和东道主西安煤航局谭克龙副局长作了热忱的讲话。

交流会上,十几位代表对遥感在地质铀矿、煤层、油气等矿藏找矿,以及农林、水、气象、自然灾害、城市规划等技术的深化应用,分别作了PPT演示和交流报告;同时,会议以陈述彭主任生前提出的遥感应用“从技术层面提升到科学层面”的学术思想为主题,展开了集中的研讨与广泛的交流。大家一致认为,遥感技术只有紧密地结合各行各业的专业知识,综合研究、深化应用,从“技术索引”的思路走出来,才能“从技术层面提升到科学层面”,不断地开拓创新,达到新的高度。

协会专家委员会常务扩大会议同时讨论研究了下一届专家委员会的机构建设,通过了各项有关的决议;并决定下一次大会研讨的主题为“深化国产卫星遥感应用”,为积极推动中国遥感科学应用的发展做出贡献。

(中国遥感应用协会专家委员会秘书处)

2009.11.12