

引用格式:程维明.现代地貌制图学的发展与展望——纪念陈述彭先生诞辰100周年[J].地球信息科学学报,2020,22(4):688-696. [ Cheng W M. Development and prospect of modern geomorphological cartography: Commemorating the 100<sup>th</sup> anniversary of Mr. Chen Shupeng's birthday[J]. Journal of Geo-information Science, 2020,22(4):688-696. ] DOI:10.12082/dqxxkx.2020.200018

# 现代地貌制图学的发展与展望

## ——纪念陈述彭先生诞辰100周年

程维明<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室,北京 100101;2. 中国科学院大学,北京 100049

### Development and Prospect of Modern Geomorphological Cartography: Commemorating the 100<sup>th</sup> Anniversary of Mr. Chen Shupeng's Birthday

CHENG Weiming<sup>1,2\*</sup>

1. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract:** Mr Chen Shupeng, a famous Chinese geographer, remote sensing scientist, and geographic information system scientist, is the banner of modern cartography, remote sensing and Earth information science in China. Mr. Chen adhered to a scientific spirit of being down-to-earth, pioneering and brave. His spirit has influenced generations of scientists and students. Landform is the main element of Earth surface. The subject of geomorphology is to study the characteristics of Earth surface morphology and Earth surface processes. As the main element of Earth surface, landform types and cartography have been heated research topics in a long term in geography and other related disciplines. Researches related to geomorphologic cartography can provide basic and useful data for national economic construction. In commemoration of the 100<sup>th</sup> anniversary of Mr. Chen's birth, we reviewed his enormous contribution in geomorphologic cartography in China, such as the topographic mapping based on bird's-eye view, the classification of landform types in Tengchong using remote sensing, and the large-scale landscape mapping in Huang-Huai-Hai Plain. Meanwhile, Mr. Chen firstly put forward the idea of using geographic information to study geoscientific issues. The development of Geo-info-TUPU was resulted from the organic integration of number, shape and philosophy. Through review, the development history of modern geomorphologic cartography in China was summarized, as well as the compilation of the geomorphologic type map and the geomorphologic regionalization map. To date, Chinese researchers have made great progress in application of geomorphologic regionalization theory and methodology, e.g., the publication of Geomorphological Atlas of People's Republic of China. By reviewing the development of modern geomorphological cartography, we will continue to explore new areas, including refining regional topography, refining China's geomorphologic types and geomorphologic regionalization, mapping global geomorphologic types and regionalization, mapping planetary topography, numerical simulation of geomorphologic processes, and etc. We will carry forward the achievements made by Mr. Chen and devote ourselves to future development of geomorphologic cartography.

收稿日期:2020-01-07;修回日期:2020-02-10.

基金项目:国家自然科学基金项目(41571388)。[ **Foundation item:** National Natural Science Foundation of China, No.41571388. ]

作者简介:程维明(1973—),男,甘肃天水人,博士,研究员,主要从事数字地貌与GIS研究。E-mail: chengwm@lreis.ac.cn

**Key words:** Geomorphology; Geomorphologic Cartography; Geomorphologic types; Geomorphologic regionalization; Geomorphologic information spectrum; Global landform; Planetary geomorphology; Geomorphologic progress

\*Corresponding author: CHENG Weiming, E-mail: chengwm@lreis.ac.cn

**摘要:** 陈述彭先生是中国地理学家、遥感学家、地理信息系统学家,是我国现代地图学、遥感与地球信息科学的一面旗帜。在纪念陈先生诞辰100周年之际,通过梳理先生对我国地貌制图学发展的贡献,传承他的科研经验,感悟他的科研精神等。通过对陈先生在地貌制图学研究成果的归纳,进一步梳理国内外地貌制图学的发展历程,总结我国地貌类型图、地貌区划图、数字地形分析与制图等方面取得的成果。展望现代地貌制图学的发展,将在区域精细地形表达、中国精细地貌类型与区划制图、全球地貌类型与区划制图、行星形貌制图、地貌过程数值模拟等方面继续探索,努力将中国的地貌制图学发扬光大。

**关键词:** 地貌学;地貌制图学;地貌类型;地貌区划;地貌信息图谱;全球地貌;行星地貌;地貌过程

## 1 引言

地貌是自然地域综合体的主导要素<sup>[1]</sup>,地貌分类与制图一直是地理等学科长期的研究课题<sup>[2-3]</sup>。地貌图是反映自然资源、自然条件以及生态和地理环境的重要基础图件之一,是研究气候变化、环境保护、灾害监测等必不可少的基础资料,也是农业、林业、水资源等区划或规划、地域性工程建设,以及军事和科研部门与公众教育等必备的参考资料<sup>[2-3]</sup>。在国内外相关领域,地貌制图学的发展历程体现出各自的特征。陈述彭先生一直致力于地貌制图学的发展,为地貌制图学做出了巨大贡献。

正值陈述彭先生诞辰100周年之际,本文试图通过梳理陈述彭先生在地貌制图学研究领域的成果,总结陈先生对中国地貌制图学研究做出的贡献,明晰地貌制图学的内涵和科学体系,归纳国内外地貌制图学的进展,并提出未来地貌制图学重点关注的几个研究方向,进一步推动中国现代地貌制图学的发展。地貌学是地理学的基础,地貌制图学始终是地貌学的重要研究结果及研究手段。应全球化和信息化时代的需求,地貌制图学必将迎来新的发展机遇,取得更大的研究成果。

## 2 地貌制图学的学科体系

地貌学是研究地表形态特征及发生变化过程的学科,它主要研究地貌的形态、成因、物质、过程和年龄5大要素<sup>[1]</sup>。经过长期的发展,地貌学的分类及分支学科越来越多,其中地貌制图学就是其最主要的研究领域<sup>[2-3]</sup>。

将各种地貌现象的规模、空间分布、分类或分区直观地反映在图上的过程为地貌制图,它是地貌

调查和研究的重要方法和手段,也是对地貌现象文字描述的补充说明<sup>[1]</sup>。地貌制图学存在3个方面的特征,即交叉学科性、基础本底性和特征派生性<sup>[3]</sup>(图1)。地貌制图学属于地貌学与制图学相融合的交叉学科,也属于专题地图学的分支之一,它涉及与地图学相关的地形制图、遥感应用、地理信息系统、地理制图等,也涵盖与地貌学相关的形态学、自然地理学与地质学等<sup>[3]</sup>。地貌制图是对各种地表形态的直观表达与展现,反映地貌形态的真实特征,因此具有基础本底性的特征。在地貌制图过程中,往往需要综合考虑成因、形态、年代等多方面因素进行形貌或类型划分,因此地貌图中的每个地貌单元都有其自身的特征及性质。

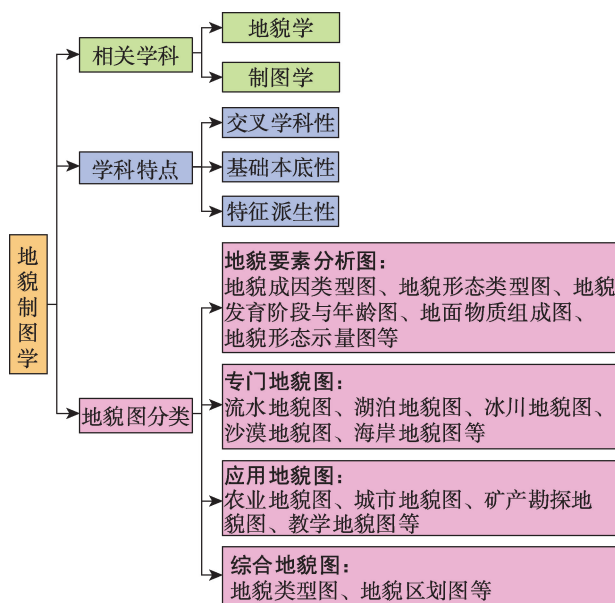


图1 地貌制图学的学科特征及地貌图的类型

(改自苏时雨与李矩章<sup>[3]</sup>)

Fig. 1 The subject characteristics and types of geomorphology mapping (Changed from Su Shi Yu and Li Liangzhang<sup>[3]</sup>)

地貌图是地貌制图学的研究结果,也是地貌研究的手段<sup>[1]</sup>。依据比例尺等差异可分为大比例尺、中比例尺和小比例尺地貌图等。按照区域不同可分为世界地貌图、洲际地貌图、国家地貌图、小比例尺地貌略图、中比例尺地貌略图、地貌详图和地貌平面图等等。根据内容、指标、综合性、用途等特征,可将地貌图分为以下4类:①地貌要素分析图,包括地貌成因类型图、地貌形态类型图、地貌发育阶段与年龄图、地面物质组成图、地貌形态示量图等;②专门地貌图,包括流水地貌图、湖泊地貌图、冰川地貌图、沙漠地貌图、海岸地貌图等;③应用地貌图,包括农业地貌图、城市地貌图、矿产勘探地貌图、教学地貌图等;④综合地貌图,包括地貌类型图、地貌区划图等<sup>[1,3]</sup>。

### 3 陈述彭先生的现代地貌制图学贡献

陈述彭先生在我国地貌制图学的传承与发展等方面做出了巨大贡献<sup>[5]</sup>,下面将从地貌晕渲图制图方法、典型区域遥感地貌类型划分及制图、地貌信息图谱3个方面进行论述。

#### 3.1 地貌晕渲图的鸟瞰制作方法

在我国五千年文明历史的长河中,以“地图”反映山川特征的画卷源远流长。古代数以千卷的地方志所附的山川地理图,可视为现代地貌图的雏形。马王堆所出土的地形图,可以说是出图最早的地貌图。从古至今,对地貌现象的表示方法都是站在地面上,提供抽象和概括等表现处理,如中国的山水素描图<sup>[6]</sup>。

1954年,陈述彭先生等对七星岩的测绘,是中国以立体方式表现喀斯特洞穴的创新,撰写了“桂林七星岩喀斯特洞穴地貌图”、“西南地区的喀斯特地貌”等成果,对中国喀斯特洞穴研究的发展做出了贡献<sup>[5-6]</sup>。1957年,陈述彭先生从不同视角和高度俯瞰地球,以三维立体彩色晕渲等方法展示中国自然区域的地理景观,设计编制并出版了《中国地形鸟瞰图集》<sup>[4,7]</sup>,在国内外引起强烈反响。这种从空间的高度来研究国土的构思,反映了当时陈述彭先生从宇宙观测地球表层的憧憬<sup>[4,7]</sup>。1998年,美国地理学会为此授予陈述彭先生O.Miller金质奖章,称其为“在发射人造卫星以前东半球第一位创作这种意境地图(Mental Map)的科学家”<sup>[4-5]</sup>。在陈先生提出的地貌晕渲制图方法的指引下,发展了地貌晕渲图制图方

法,如施祖辉先生发展的《地貌晕渲法》<sup>[8]</sup>详细介绍了地貌晕渲图的手工及半机械化绘制方法,成为后来中国地貌晕渲图制图的重要技术和方法支撑。

计算机技术和网络技术的飞速发展,给地貌晕渲制图提供了新的思路,利用多源地形、遥感等数据,结合各种软件和工具制作精美的地貌晕渲图<sup>[9]</sup>,如基于ArcScene、Global Mapper等软件,通过对各种参数的设置,可实现地貌晕渲图的快速制作和广泛应用,各种导航软件、百度地图等的三维地形立体图,都应用了地貌晕渲法来展示区域及整体的地形与地貌特征,为用户提供了真实的三维场景<sup>[10-11]</sup>。

#### 3.2 典型区域遥感地貌类型划分及制图

陈述彭先生在中国地貌类型划分及制图研究中的贡献也体现在利用不同手段和方法上,如通过野外实地踏勘、遥感等技术完成了区域地貌制图研究<sup>[4-5,12]</sup>,解决了技术和应用上的科学难题。随着解放后社会主义经济建设的需要,中国地貌工作取得了蓬勃发展,陈先生开始注意对地貌特征及应用的研究。如1954年,陈先生及同事们通过野外考察,为区域梯级开发和灌溉排洪等问题提供了地貌学基础。1964年,陈先生通过地图分析方法,从大量资料中发现了中国东部大平原中的冲积、洪积扇地貌结构,也从大量水利河道图中,梳理出黄河和淮河下游冲积大平原的地面坡度图,为黄河中下游规划提供了科学依据<sup>[4,12]</sup>。

1963年,陈述彭先生在海南岛成功实验了1:20万航空像片系列制图,并判读和编制了地质、地貌、水文等系列专题地图,将中国的航空遥感系列制图推向国际先进行列。1978年,中国在资源、环境和能源领域开展了遥感应用的“三大战役”,在云南腾冲,陈先生主持的中国首次大规模、多学科、综合性的航空遥感实验,完成了包括地形素描和地貌类型“腾冲航空遥感图集”遥感系列制图的创新性成果,实现了“一次实验,多方受益”的效果<sup>[4,13]</sup>。

#### 3.3 地貌信息图谱的探索研究

2001年,由陈述彭先生主持完成的《地学信息图谱探索研究》的专著问世出版,标志着图谱思想成为引领新时期地学研究的又一重要方法论<sup>[14]</sup>。图和谱有机耦合可将反映地学现象和问题的空间分异格局和时间变化过程综合体现出来,是数、形、理的有机结合体<sup>[14]</sup>。

目前,地貌信息图谱研究已在河流、沙漠、冰川、海岸、湖泊等不同成因地貌研究方面取得了诸多成功案例。在流域地貌过程及演变信息图谱研究取得的成果可归纳为2个方面:①河道与岸线等线性地貌的变迁,如由河道演变、流域结构、三角洲演变、海岸带变迁等组成的水文地貌演变图谱,可综合反映河流地貌、海岸带地貌的变迁特征,是地貌信息图谱研究的典型案例<sup>[14]</sup>;②基于DEM等诸多手段研究区域地貌坡面演变及态势等,如基于流域思想计算坡面的凸形、直坡形、凹形特征,提供了地形指标如面积高程积分等,可获得坡面所处的相对年龄可能为幼年期、中年期或壮年期、老年期,揭示了区域地貌的演化机制和演变历程等<sup>[15]</sup>。

在典型地貌信息表达与演变图谱研究方面,汤国安教授团队提出坡度谱、流域边界剖面谱、面积高程积分谱等原生地形或次生地形因子的图谱方法,成为将数、形、理有机结合研究地形信息图谱的一个成功案例<sup>[16]</sup>。

## 4 地貌制图学的发展及现状

### 4.1 国际地貌制图学的发展历程

由北京地质学院于1956年翻译出版的苏联АИ.斯皮里顿洛夫撰写的《地貌制图学》专著,是现代地貌制图学标志性成果<sup>[17]</sup>。该专著中指出,地貌制图学是当时苏联地貌学研究中的迫切问题之一,它包括地貌图的分类、地图上描绘的地形形态的分类原则、地形形态在图上的描绘法、地貌图的内容等<sup>[17]</sup>。

1968年,作为国际地理学联合会的分支之一,国际地貌调查与地貌制图专业委员会(International Geomorphological Union Commission on Geomorphological Survey and Mapping)在印度成立,标志着地貌制图学研究进入一个系统化、专业化的阶段,该专业委员会每四年召开一次国际性大会,成为引领国际地貌制图学的最主要学术机构<sup>[3]</sup>。

1978年, Demek 和 Embleton 编写出版了《Guide to Medium-scale Geomorphological Mapping》专著,详细介绍了从1:10万到1:100万的中比例尺地貌图编制的分类体系与图例系统,将遥感等手段应用到地貌制图学领域,同时也关注景观生态与自然资源制图,涉及地貌区划与地貌预测等<sup>[18]</sup>。

1984年,经由陈志明等翻译,科学出版社出版了《Manual of detailed geomorphological mapping》<sup>[19]</sup>

的中文译本《详细地貌制图手册》专著<sup>[20]</sup>,该书是1968年国际地理学联合会地貌调查与地貌制图委员会成立以来集体编制的一部地貌制图的工具书,总结了许多国家,特别是欧洲各国的大比例尺地貌制图的经验,详细介绍了地貌详图的性质和目的、基本内容、基本制图方法、图例系统设置的原则、详细地貌制图过程、不同气候和构造条件下的地貌制图、地貌图应用与专门的地貌详图、国际统一地貌图例等内容。该专著对于指导各国详细地貌制图工作以及促进地貌制图规范化具有重要意义<sup>[19-20]</sup>。

近20年多来,国际地貌制图经历了由纸质地图到计算机制图的转变,并逐步融入虚拟现实技术<sup>[21]</sup>。随着国际上地貌图制图设计及可视化研究的逐步深入<sup>[22]</sup>,各国、各地区精细化地貌制图及基于地貌制图的地貌研究也日渐增多,尤其在山区或谷地等灾害易发生地区更多<sup>[23-25]</sup>。典型研究区大比例尺地貌图的编制在一定程度上增加了地貌制图学的实用价值。国际上,目前全球性的大比例尺地貌图还未问世,国际上大国和地区相继编制了中小比例尺地貌图,如苏联编制的全国1:400万地貌图<sup>[3]</sup>,欧洲编制的1:250万地貌图<sup>[3]</sup>,美国编制的1:400万地貌图<sup>[3]</sup>等。随着全球化和信息化时代对地貌条件和本底需求的增多,在多源数据和计算机技术的支撑下,目前编制全球性大中比例尺地貌图的条件已经成熟。

当前国际地貌计量学(Geomorphometry)组织是基于数字地形分析方法研究精细地形数据获取与区域地貌过程及数值模拟等的另一支重要力量<sup>[26]</sup>,该组织每2~3年组织一次全球性活动,2013年中国南京成功举办了该会议,2020年将在意大利举行。该活动将对推动国际数字地形分析研究方法、地貌过程数值模拟与表达等研究具有重要意义。

### 4.2 中国地貌制图学发展现状

#### 4.2.1 中国地貌类型制图现状

中国幅员辽阔,地貌类型多样而典型,既有内营力形成的构造地貌、火山熔岩地貌、重力地貌、海岸地貌、海底地貌等,又有外营力形成的河流地貌、现代冰川和古代冰川作用遗迹、冻土和冰缘地貌、沙漠与戈壁地貌等,反映特殊物质组成和岩性等特征的喀斯特地貌、黄土地貌、花岗岩地貌、丹霞地貌等,这给中国地貌制图学的发展和提供了有力条件<sup>[1]</sup>。

中华人民共和国成立以来,我国广大地貌工作

者在野外实地调查、室内实验分析、基础理论研究、应用生产实践等方面开展了大量工作,积累了多方面、丰富的地貌科学资料,不仅极大地促进了中国地貌制图学的发展,而且在祖国的经济建设、社会发展等方面均发挥了重要作用<sup>[27]</sup>。地貌制图学的发展与对国土资源的普查、资源调查密不可分,通过实践,地貌制图学在地貌类型制图等方面取得了诸多成果<sup>[3,28]</sup>。

近年来,在几代人共同努力下,中国全国性的地貌类型制图工作取得了较大进展。无论是在地貌制图理论的扩展方面,还是在地貌图的编制上都有一定突破,相继出版了《中国 1:100 万地貌图制图规范》<sup>[29]</sup>、《中国地貌图(1:400 万)》<sup>[30]</sup>、《中国及其毗邻地区地貌图(1:400 万)》<sup>[31]</sup>、《数字地貌遥感解析与制图》<sup>[32]</sup>、《中华人民共和国地貌图集(1:100 万)》<sup>[33]</sup>等成果。地貌分类理论的完善与地貌制图成果的逐步精细促进了中国地貌制图学的进一步发展,为国家资源与环境等领域的广泛应用提供了有力支撑。

#### 4.2.2 中国地貌区划制图发展

地貌类型与地貌区划是地貌制图学研究的 2 大核心要素,地貌区划制图的前提和基础是地貌分区方案。合理详细及可扩展的地貌区划体系构建是地貌区划制图工作中的基础和先导部分。中国的地貌区划研究工作已逾 70 年,因研究程度和应用目的的不同,出现了多种地貌分区方案及图件<sup>[34]</sup>。其中,1956 年,周廷儒等<sup>[35]</sup>所提出的中国地形区划草案最具代表性并有相应的图件。草案将全国划分为 3 个一级区,即青藏区、蒙新区、东部区,其中东部区又分为东北区、华北区、华中区和华南区;29 个二级区。该草案提出了地貌区划的原则、全国地貌类型划分的指标和依据等,并对 3 个一级大区和 29 个二级区的地形与地貌特征进行了详细描述,也提出了该地貌区划方案中存在的问题,包括分区标准、地貌分类以及华中华南的地形分区等问题,为后来的全国地貌区划及制图研究奠定了坚实的基础。由此,沈玉昌等<sup>[36]</sup>完成的《中国地貌区划〈初稿〉》成为我国地貌学研究的经典之作,编制出版的全国三级地貌区划图(1:1200 万)<sup>[36]</sup>一直应用至今,成为中国地貌区划图最权威的成果。

近年来,随着应用需要的不断扩大,在大中比例尺地貌类型图编制的有力支撑下<sup>[33]</sup>,地貌区划研究取得了进一步的发展,如李炳元等<sup>[37]</sup>将中国划分为 6 个一级地貌大区、37 个二级地貌区,并完成了

相应制图。程维明等<sup>[38]</sup>提出了基于“大区—地区—区—亚区—小区”的中国五级地貌等级分区方案。这些研究对于促进中国区域地貌学的发展、基于地貌区划的地图绘制及应用研究<sup>[39]</sup>等具有重要的指导意义。基于已有分区方案,新的大中比例尺地貌区划图及图集不久将问世。

## 5 对地貌制图学发展的展望

基于当前中国地貌学及制图学的发展过程、应用需求等,未来中国的地貌制图学应主要侧重于以下 5 个方面。

### 5.1 加强精细地形的建模与精确表达

数字地形与地貌的发展得益于 DEM 数据的广泛应用,近年来中国学者在数字地形与地貌研究领域进行了系统的探索与创新实践,取得了诸多成果<sup>[16]</sup>。国家基础地形数据库多尺度、高精度的 DEM 数据的生产与应用,实现了全国 1:5 万基础地形数据的全覆盖,并编制出版了西部典型地貌的图集<sup>[40]</sup>。对于东部沿海地区及重点流域应加强并形成 1:1 万乃至更大尺度的数字地形测绘。

在海量卫星数据全天候覆盖的时代,利用立体影像快速生成 DEM 的技术和方法已较为成熟,在精细地形表达方面,研究人员一直致力于实现立体影像数据到精细地形数据的自动生成和建模,目前能够在一定程度的人工干预下实现精细地形数据的自动生成<sup>[41]</sup>。全球 SRTM-DEM、ASTER-DEM 等数据的免费释放,为研究全球地形与地貌及相关应用提供了有力支撑<sup>[42]</sup>。同时,激光等扫描技术实现了立体建筑物、树冠、梯田等实际场景的快速三维建模<sup>[43]</sup>。

### 5.2 强化中国精细地貌制图及应用研究

数字高程模型(DEM)的广泛应用,为地形特征的识别、典型地貌类型的划分提供了数据支撑,并发展了多种地形指标方法<sup>[44]</sup>。海拔、起伏度、坡度、坡向、曲率等可以利用 ArcGIS 软件快速计算的指标相对应用度较高<sup>[45]</sup>,多数地形指标并没有被广泛使用。由此应加强在数字时代人工智能等支撑下的全尺度中国精细地貌类型的自动划分<sup>[46]</sup>,同时,应加强重点工程如大坝选择、铁路和公路选线等的精细地貌制图及工程应用<sup>[47]</sup>。

### 5.3 加强全球地貌类型与区划制图

目前,对全球地质构造及地貌大区的控制性研究<sup>[48-49]</sup>、亚洲地区海陆地貌图的编研<sup>[50]</sup>、全球精细尺度流域单元划分及地形参数的获取<sup>[51]</sup>、基于面向对象和SRTM数据的全球地貌形态特征的自动识别<sup>[52]</sup>、海底地貌类型的划分<sup>[53]</sup>等方法已取得一些进展。随着全球化的进一步加快,对一带一路沿线地貌类型划分、一带一路重点工业园区大比例地形地貌调查、全球地貌大区划分等基础性研究工作的重要性日渐显现出来。因此,需加强全球更精细地貌类型与区划制图的研究,以揭示地貌条件对区域及环境问题的控制及约束性的影响机制等。

### 5.4 进一步开拓行星地貌制图编研

随着中国深空、探月等重大工程的顺利实施,对类地行星包括火星、金星、水星、月球等形体的多尺度地形、地貌、地质、构造等多方面的研究进入一个新的阶段<sup>[54]</sup>。目前对月球表面形貌的获取及制图<sup>[55-56]</sup>、月球形貌类型的划分<sup>[57]</sup>、月球地质图<sup>[58]</sup>的编研等取得了诸多成果。将来应进一步加强月球与火星等行星形貌制图、行星地质及演化过程制图及行星资源利用制图方面的研究。

### 5.5 加强地貌过程及数值模拟的研究

地貌格局与地貌过程是地貌学研究的永恒主题,在地貌大格局的背景下,研究地质历史时期的演化过程、现代变化规律和机制将是未来该领域研究的方向。目前地貌过程研究方面,已在黄河三角洲演变的元胞自动机数值模拟<sup>[59]</sup>、祁连山地貌特征及山体地貌演化过程<sup>[60]</sup>、从地貌面、地文期、地貌演化研究华北地貌变化过程<sup>[61]</sup>、雅鲁藏布江大峡谷的形成<sup>[62]</sup>、黄土地貌发育与继承性<sup>[63]</sup>等方面取得了一些研究成果。但纵观地貌发育与演化的研究,不论在方法和对象上仍有大量工作需要开展。今后,需继续加强区域及典型地貌过程及数值模拟方法的研究,以揭示区域乃至全球地貌的发育与演化机制,希望能为全球及区域地貌演变机理研究提出更可信的理论框架。

## 6 结语

本文梳理了陈述彭先生为中国地貌制图学发展所做的贡献,包括地貌晕渲图制图方法、典型地

貌遥感制图、地貌信息图谱研究等;分析了国际和国内地貌制图学的发展历程,归纳总结了地貌制图学所取得的诸多成果;提出了未来地貌制图学的发展方向,包括精细地形刻画、精细地貌表达方法、全球化地貌制图、行星地貌制图及地貌过程数值模拟等。地貌制图学的发展方兴未艾,希望从事该研究的学者们能继承陈述彭先生的科学思想,不断做出更多有意义的成果,进一步推动中国地貌制图学的发展。

### 参考文献(References):

- [1] 周成虎.地貌学辞典[M].北京:中国水利水电出版社,2006. [Zhou C H. A dictionary of geomorphology[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2006. ]
- [2] 尤联元,杨景春.中国地貌[M].北京:科学出版社,2013. [You L Y, Yang J C. Geomorphology in China[M]. Beijing: Science Press, 2013. ]
- [3] 苏时雨,李矩章.地貌制图[M].北京:测绘出版社,1999. [Su S Y, Li J Z. Geomorphological mapping[M]. Beijing: Surveying and Mapping Publishing House, 1999. ]
- [4] 周成虎,何建邦,励惠国,等.陈述彭先生的学术思想与贡献[J].地理学报,2009,64(1):3-6. [Zhou C H, He J B, Li H G, et al. Scientific thoughts and contributions of Chen Shupeng[J]. Acta Geographica Sinica, 2009,64(1):3-6. ]
- [5] 程维明,周成虎,励惠国,等.地貌从脚踏实地开始[J].地理信息世界,2009(5):25-28. [Cheng W M, Zhou C H, Li H G, et al. Geomorphology down-to-Earth research[J]. Geomatics World, 2009,2009(5):25-28. ]
- [6] 陈述彭.地学的探索(第一卷,地理学)[M].北京:科学出版社,1990. [Chen S P. Exploration of geology (Volume I, Geography)[M]. Beijing: Science Press, 1990. ]
- [7] 陈述彭.中国地形鸟瞰图[D].北京:中华书局,1956. [Chen S P. Aerial view of China's terrain[D]. Beijing: Zhonghua Book Company, 1956. ]
- [8] 施祖辉.地貌晕渲法[D].北京:测绘出版社,1983. [Shi Z H. Geomorphological shading method[D]. Beijing: Surveying and Mapping Publishing House, 1983. ]
- [9] 林松,程维明,乔玉良.基于Global Mapper的地貌晕渲制图——以西安幅(1-49)为例[J].地球信息科学学报,2009,11(6):802-808. [Lin S, Cheng W M, Qiao Y L. Methodology of automatic relief shading map making based on Global Mapper-taking Xi'an region (1-49) as an example[J]. Journal of Geo-information Science, 2009,11(6):802-808. ]
- [10] 赵尚民,程维明,周成虎,等.计算机环境下地貌晕渲图制作的探讨[J].地球信息科学学报,2009,11(6):795-801.

- [ Zhao S M, Cheng W M, Zhou C H, Chen X. Exploration of relief shading map production under computer environment[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2009, 11(6):795-801. ]
- [11] 易柳城. 无人机遥感影像与数字高程模型的三维可视化研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013. [ Yi L C. Unmanned aerial vehicle remote sensing images and digital elevation model of three dimension visualization research[D]. Changsha: Central South University, 2013. ]
- [12] Chen S P. Atlas of geo-science analyses of Landsat imagery in China[D]. Beijing: Science Press, 1986.
- [13] 陈述彭. 航空遥感图集(腾冲试验区)[M]. 北京: 科学出版社, 1981. [ Chen S P. Atlas of airborne remote sensing in the tengchong study area South-west China[M]. Beijing: Science Press, 1981. ]
- [14] 陈述彭. 地理信息图谱研究[M]. 北京: 商务印书馆, 2001. [ Chen S P. Graphic methodology for geo-information sciences[M]. Beijing: The Commercial Press, 2001. ]
- [15] Strahler A N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1952, 63:1117-1142.
- [16] 汤国安, 那嘉明, 程维明. 我国区域地貌数字地形分析研究进展[J]. *测绘学报*, 2017, 46(10):1570-1591. [ Tang G A, Na J M, Cheng W M. Progress of digital terrain analysis on regional geomorphology in China[J]. *Acta Geodetica et Cartographica Sinica*, 2017, 46(10):1570-1591.
- [17] 北京地质学院译. 地貌制图学[M]. 北京: 地质出版社, 1956. [ Beijing Geology Institute. Geomorphological cartography[M]. Beijing: Geology Press. 1956. ]
- [18] Demek J, Embleton C. Guide to medium-scale geomorphological mapping[M]. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller) Stuttgart, 1978.
- [19] Demek J. Manual of detailed geomorphological mapping[M]. Academia, Prague, 1972.
- [20] 陈志明, 尹泽生译, 德梅克 J 主编. 详细地貌制图手册[M]. 北京: 科学出版社, 1984. [ Chen Z M, Yin Z S translated, Demek J. compiled. Manual of detailed geomorphological mapping[M]. Beijing: Science Press, 1984. ]
- [21] Vitek J D, Giardino J R, Fitzgerald J W. Mapping geomorphology: A journey from paper maps, through computer mapping to GIS and Virtual Reality[J]. *Geomorphology*, 1996, 16(3):233-249.
- [22] Otto J C, Gustavsson M, Geilhausen M. Cartography: Design, symbolisation and visualisation of geomorphological maps[J]. *Developments in Earth Surface Processes*, 2011, 15:253-295.
- [23] Baroni C, Ribolini A, Bruschi G, et al. Geomorphological map and raised-relief model of the Carrara Marble Basins, Tuscany, Italy[J]. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 2010, 33(2):233-243.
- [24] Roszkopf C M, Scorpio V. Geomorphologic map of the Biferno River valley floor system (Molise, Southern Italy) [J]. *Journal of Maps*, 2013, 9(1):106-114.
- [25] Loibl D, Lehmkuhl F. High-resolution geomorphological map of a low mountain range near Aachen, Germany[J]. *Journal of Maps*, 2013, 9(2):245-253.
- [26] <https://geomorphometry.org>.
- [27] 沈玉昌. 三十年来我国地貌学研究的进展[J]. *地理学报*, 1980, 35(1):1-13. [ Shen Y C. Thirty years in geomorphology in the People's Republic of China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1980, 35(1):1-13. ]
- [28] 程维明, 周成虎, 申元村, 等. 中国近 40 年来地貌学研究的回顾与展望[J]. *地理学报*, 2017, 72(5):755-775. [ Cheng W M, Zhou C H, Shen Y C, et al. Retrospect and perspective of geomorphology researches in China over the past 40 years[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(5):755-775. ]
- [29] 中国科学院地理研究所. 中国 1: 100 万地貌图制图规范[M]. 北京: 科学出版社, 1987. [ Institute of Geography, Chinese Academy of Science. 1: 1 000 000 Geomorphological Mapping Specification[D]. Beijing: Science Press, 1987. ]
- [30] 李炳元, 李钜章. 中国地貌图(1: 400 万)[M]. 北京: 科学出版社, 1994. [ Li B Y, Li J Z. Geomorphological Map of China (1: 4 000 000)[M]. Beijing: Science Press, 1994. ]
- [31] 陈志明. 中国及其毗邻地区 1:400 万地貌图说明书·中国地貌纲[M]. 北京: 中国地图出版社, 1993. [ Chen Z M. Explanations of geomorphological map of China and its adjacent areas (1:4 000 000): An outline of China's geomorphology[M]. Beijing: SinaMaps Press, 1993. ]
- [32] 周成虎, 程维明, 钱金凯. 数字地貌遥感解析与制图[M]. 北京: 科学出版社, 2009. [ Zhou C H, Cheng W M, Qian J K. Digital geomorphological interpretation and mapping from remote sensing[M]. Beijing: Science Press, 2009. ]
- [33] 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)[D]. 北京: 科学出版社, 2009. [ The Editorial Committee of Geomorphologic Atlas of People's Republic of China. The Geomorphological Atlas of People's Republic of China (1:1 000 000)[D]. Beijing: Science Press, 2009. ]
- [34] 沈玉昌. 论地貌区划的原则与方法[J]. *地理*, 1961(8):33-41. [ Shen Y C. The Discussion on Geomorphological Compartment[J]. *Geography*, 1961(8):33-41. ]

- [35] 周廷儒,施雅风,陈述彭.中国地形区划草案//中华地理志编纂.中国自然区划草案[M].北京:科学出版社,1956:21-56. [ Zhou T R, Shi Y F, Chen S P. A draft for topographic regionalization of China//Chinese geography record. Physical Compartmentalization Draft of China[M]. Beijing: Science Press, 1956:21-56. ]
- [36] 中国科学院自然区划工作委员会.中国地貌区划(初稿)[D].北京:科学出版社,1959. [ Resource Zoning Committee of Chinese Academy of Science. Geomorphological Regionalization of China (the first draft)[D]. Beijing: Science Press, 1959. ]
- [37] 李炳元,潘保田,程维明,等.中国地貌区划新论[J].地理学报,2013,68(3):291-306. [ Li B Y, Pan B T, Cheng W M, et al. Research on geomorphological regionalization of China[J]. Acta Geographica Sinica, 2013,68(3):291-306. ]
- [38] 程维明,周成虎,李炳元,等.中国地貌区划理论与分区体系研究[J].地理学报,2019,74(5):839-856. [ Cheng W M, Zhou C H, Li B Y, et al. Geomorphological regionalization theory system and division methodology of China[J]. Acta Geographica Sinica, 2019,74(5):839-856. ]
- [39] 程维明,高晓雨,马廷,等.基于地貌分区的1990-2015年中国耕地时空特征变化分析[J].地理学报,2018,73(9):1613-1629. [ Cheng W M, Gao X Y, Ma T, et al. Spatial-temporal distribution of cropland in China based on geomorphologic regionalization during 1990-2015[J]. Acta Geographica Sinica, 2018,73(9):1613-1629. ]
- [40] 中国测绘科学研究院.中国西部地区典型地貌图集[M].北京:中国地图出版社,2013. [ Chinese Academy of Surveying & Mapping. Typical geomorphological atlas of western China[M]. Beijing: SinaMaps Press, 2013. ]
- [41] 王春,江岭,徐静,等. DEM 地面形态重构方法的精度差异特征研究[J].地理与地理信息科学,2014,30(4):18-21, 26. [ Wang C, Jiang LL, Xu J, et al. Accuracy differences among approaches of DEM surface morphology reconstruction[J]. Geography and Geo- information Science, 2014,30(4):18-21, 26. ]
- [42] Zhao S M, Cheng W M, Zhou C H, et al. Accuracy assessment of the ASTER GDEM and SRTM3 DEM: An example in the Loess Plateau and North China Plain of China [J]. International Journal of Remote Sensing, 2011,32(23): 8081-8093.
- [43] 祝士杰,汤国安,张维,等.梯田 DEM 快速构建方法研究[J].测绘通报,2011(4):68-70,82. [ Zhu S J, Tang G A, Zhang W, et al. Rapid modeling method for Terrace Digital Elevation Model[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2011(4):68-70,82. ]
- [44] 汤国安,李爱源,杨昕,等.黄土高原数字地形分析探索与实践[M].北京:科学出版社,2015. [ Tang G A, Li F Y, Yang X, et al. Exploration and practice of digital terrain analysis in Loess Plateau[M]. Beijing: Science Press, 2015. ]
- [45] Cheng W M, Wang N, Zhao M, et al. Relative tectonics and debris flow hazards in the Beijing mountain area from DEM- derived geomorphic indices and drainage analysis[J]. Geomorphology, 2016,257:134-142.
- [46] 南希,李爱农,陈昱,等.竖版中国数字山地图(1:670万)的设计与编制[J].遥感技术与应用,2016,31(3):451-458. [ Nan X, Li A N, Chen Y, et al. Design and compilation of digital mountain map of China (1:6 700 000) in Vertical Layout[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2016,31(3):451-458. ]
- [47] 王一舟,张会平,俞晶星,等.祁连山洪水坝河流域地貌特征及其构造指示意义[J].第四纪研究,2013,33(4):737-745. [ Wang Y Z, Zhang H P, Yu J X, et al. Geomorphic features of the Hongshuiba River Drainage Basin In Qilianshan Mountain And its insight into tectonic implications[J]. Quaternary Sciences, 2013,33(4):737-745. ]
- [48] Michael A S. Geomorphology and Global Tectonics[M]. John Wiley & Sons Ltd. UK, 2000.
- [49] 任纪舜,王作勋,陈炳蔚,等.从全球看中国大地构造:中国及邻区大地构造图简要说明[M].北京:地质出版社,1999:1-38. [ Ren J S, Wang Z X, Chen B W, et al. The tectonics of China from a global view: A guide to the tectonic map of China and adjacent regions[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999:1-38. ]
- [50] 陈志明.亚洲与邻区陆海地貌全图(1:800万)[M].北京:测绘出版社,2012. [ Chen Z M. General geomorphic map of land and sea of Asia and surrounding (1:8 000 000) [M]. Beijing: Surveying and Mapping Press, 2012. ]
- [51] Shen X Y, Vergara J H, Nikolopoulos I E, et al. GDBC: A tool for generating global-scale distributed basin morphometry[J]. Environmental Modelling & Software, 2016, 83:212e223.
- [52] Drăguț L, Eisank C. Automated object-based classification of topography from SRTM data[J]. Geomorphology, 2012,141-142:21-33.
- [53] Harris P T, Macmillan-Lawler M, Ruppel J, et al. Geomorphology of the oceans Marine[J]. Geology, 2014,352:4-24.
- [54] 欧阳自远.月球科学概论[M].北京:中国宇航出版社,2005. [ Ouyang Z Y. Introduction to Lunar Science[M]. Beijing: China Astronautic Publishing House, 2005. ]
- [55] 《嫦娥一号全月球影像图集》编辑委员会.嫦娥一号全月



- 球影像图集[M].北京:中国地图出版社,2010. [ Compiling Committee of the Chang'E-1 Image Atlas of the Moon. The Chang'E-1 Image Atlas of the Moon[M]. Beijing: SinoMaps Press, 2010. ]
- [56] 《嫦娥一号全月球地形图集》编辑委员会.嫦娥一号全月球地形图集[M].北京:中国地图出版社,2013. [ Compiling Committee of the Chang'E-1 Topographic Atlas of the Moon. The Chang'E-1 Topographic Atlas of the Moon [M]. Beijing: SinoMaps Press, 2013. ]
- [57] Cheng W M. Revealing the landform types and morphologic features of lunar surface[J]. Acta Geologica Sinica-English Edition, 2017,91(4):1517-1518.
- [58] 欧阳自远,刘建忠.月球形成演化与月球地质图编研[J].地学前缘,2014,21(6):1-6. [ Ouyang Z Y, Liu J Z. The origin and evolution of the Moon and its geological mapping [J]. Earth Science Frontiers, 2014,21(6):1-6. ]
- [59] 黄翊,刘高焕.元胞模型在地貌演化模拟中的应用浅析[J].地理科学进展,2005,24(1):105-115. [ Huang C, Liu G H. A review of the application of cellular models in landscape evolution modeling[J]. Progress in Geography, 2005,24(1):105-115. ]
- [60] 孙然好,潘保田,王义祥.祁连山北麓地貌信息熵与山体演化阶段分析[J].干旱区地理,2006,29(1):88-93. [ Sun R H, Pan B T, Wang Y X. Analysis on the geomorphic information entropies and the evolution of the Qilian Mountains[J]. Arid Land Geography, 2006,29(1):88-93. ]
- [61] 吴忱.地貌面、地文期与地貌演化-从华北地貌演化研究看地貌学的一些基本理论[J].地理与地理信息科学,2008,24(3):75-78. [ Wu C. Geomorphology surface, physiographics cycle and geomorphology evolution: some basic theory on geomorphology inferred from physiographics evolvement in North China[J]. Geography and Geo-information Science, 2008,24(3):75-78. ]
- [62] 陈建军,季建清,龚俊峰,等.雅鲁藏布江大峡谷的形成[J].地质通报,2008,27(4):491-499. [ Chen J J, Ji J Q, Gong J F, et al. Formation of the Yarlung Zangbo Grand Canyon, Tibet, China[J]. Geological Bulletin of China, 2008,27(4): 491-499. ]
- [63] Xiong L Y, Tang G A. Loess landform inheritance: modeling and discovery[M]. Beijing: Science Press, 2019.