



普通高等教育“十五”国家级规划教材

现代地貌学

高抒 张捷 主编



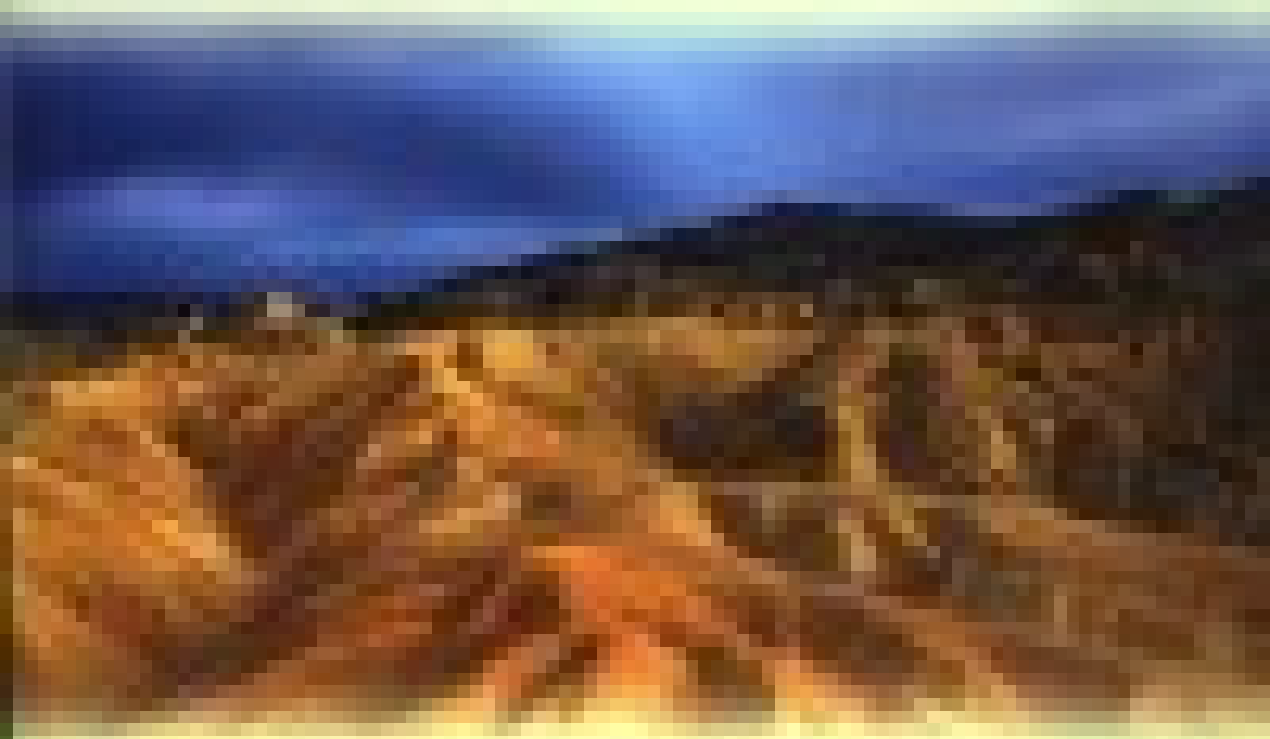
高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



中国地质大学（北京）地质研究所

现代地貌学

第二版



地质出版社

中国地质大学（北京）地质研究所



普通高等教育“十五”国家级规划教材

现代地貌学

高 抒 张 捷 主编



高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS

内容提要

地貌学长期以来一直为地球科学工作者所重视,而现代地貌学注重把地貌形成演化作为地球系统行为的组成部分来研究。本书试图把重点放在地貌特征的刻画和地貌形成演化的介绍,突出沉积环境、时空尺度、过程与机制等重要观念,强调野外工作、实验分析、模拟计算等基本技能。本书介绍了地貌学的基本问题、发展简史,以及地球表面环境和内、外力作用;描述了一些重要的地貌类型和特征;探讨了泥石流过程、海岸地貌演化和小尺度床面形态演化问题,以鼓励学生掌握地貌演化的研究方法;本书最后一章提供了地貌学应用的一个实例。

本书可作为高等学校地理类专业教材,也可作为地质类等专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代地貌学/高抒,张捷主编. —北京:高等教育出版社, 2006. 1

ISBN 7-04-017799-4

I. 现... II. ①高... ②张... III. 地貌学-高等学校-教材 IV. P931

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第156097号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京明月印务有限责任公司		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	2006年1月第1版
印 张	24	印 次	2006年1月第1次印刷
字 数	430 000	定 价	29.90元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 17799-00

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

策划编辑 徐丽萍

责任编辑 徐丽萍

封面设计 张 楠

责任绘图 朱 静

版式设计 范晓红

责任校对 胡晓琪

责任印制 孔 源

序

地貌学是一门长期以来对于地球科学工作者有着巨大吸引力的学科。曾经大量出版过的专著和教材就是一个明证。从它的诞生之日起，地貌学就建立了一个较好的理论体系，首先是120年前戴维斯的侵蚀循环说，其次是内、外营力作用的概念。进入21世纪，人们依然关注地貌学，但是明显地换了一个角度，不再强调以地貌本身来说明地貌演化的阶段，而是注重把地貌形成演化作为地球系统行为的组成部分来研究。例如，当今的地貌学家经常把地貌变化看成是与气候变化和生态系统变化具有同等重要性的全球变化的组成部分，而且地貌演化中的产物是全球变化的忠实记录，是全球变化研究的绝好材料。在融入地球系统科学的过程中，地貌学需要不断汲取其他学科的营养，进一步发展研究方法，拓展研究领域。时空尺度、过程与机制、动力学和模型、正演与反演、沉积环境和沉积相等成为地貌学的重要观念，野外工作、实验室分析、数据处理、模拟计算则成为地貌学的基本技能。这是现代科学对地貌学的要求，也是我们编写这本教材的目的。

有关地貌学的教材国内外已经有了多本，其结构大多是对不同类型的地貌进行描述。本书虽然考虑了地貌的分类问题，但是更加着重强调的是地貌特征的刻画、地貌研究方法，以及地貌形成演化的过程和机制。

本书分十四章。第一章介绍了地貌学的基本问题、地貌学发展简史和研究方法。第二章叙述了地貌赖以形成的地球表面的环境和地貌的内、外动力作用。第三章至第十章，以陆地地貌为重点，描述了地球上主要的地貌类型和特征；值得指出的是，对海洋地貌的简略并不表示其重要性较低，而是表示海洋地貌的研究目前尚不及陆地地貌深入，有待于今后的进一步工作。第十一章至第十三章分别论述了泥石流过程、海岸地貌演化和小尺度床面形态演化问题，其目的是使学生尽早地接触研究地貌演化的过程和机制的方式。当然，在其他章节，我们也努力使研究方法和过程、机制研究贯穿于全文。最后，第十四章以地貌遗产和旅游地貌学为例，说明了地貌学在社会、经济发展中的应用和重要性。为了便于学生的学习，我们在书后提供了一份国内外部分地貌学专著和教材的目录。

在本书编写过程中，首先拟定了全书的大纲，然后组织编写人员进行了讨论，在讨论中达成了编写内容的共识。各章节的分工如下：第一章：高抒、张

捷；第二章：王建、柏春广、王柯道（第一节、第三节至第五节），张兆干（第二节）；第三章：王建、白世彪、柏春广、王柯道（第一节至第四节），高抒（第五节）；第四章：王建、柏春广、王柯道；第五章：李徐生；第六章：唐晓春、彭华、黄进；第七章：王跃；第八章：王跃；第九章：李世杰；第十章：张捷、李升峰、秦中；第十一章：唐晓春；第十二章：汪亚平、高抒；第十三章：高抒；第十四章：张捷、都金康、李升峰。全书初稿完成后，由高抒、张捷进行了统稿。南京大学牛战胜提供了文件、图件整理等方面的帮助，谨此致谢。由于学术水平和时间的限制，本书还存在着许多不足之处，有待于今后完善。

高抒、张捷
2005年12月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 地貌学的基本问题.....	1
第二节 地貌学发展简史.....	3
第三节 本书使用方法的建议	16
讨论与思考题	17
第二章 全球地表系统特征	18
第一节 全球构造、陆地与海洋	18
第二节 能量平衡、物质输送、水循环	28
第三节 气候与海面变化	40
第四节 生物活动及其地貌作用	43
第五节 全球变化中的地貌系统	50
讨论与思考题	51
第三章 海底与海岸地貌	53
第一节 洋中脊、中央裂谷和转换断层	53
第二节 深海平原、海山与海岭	56
第三节 海沟—岛弧—边缘海盆地	58
第四节 大陆坡、海底峡谷和深海扇	60
讨论与思考题	62
第四章 流域地貌系统	63
第一节 风化作用、剥蚀过程与物质运移	63
第二节 水系及其特征	73
第三节 河床、河漫滩、阶地	80
第四节 河口湾与三角洲	94
讨论与思考题.....	101

第五章 花岗岩地貌	103
第一节 花岗岩分布与岩性.....	103
第二节 花岗岩风化壳.....	105
第三节 花岗岩峰林地貌.....	112
第四节 花岗岩丘陵区崩岗侵蚀地貌.....	114
讨论与思考题.....	119
第六章 红层与丹霞地貌	120
第一节 红层的特征、形成环境及分布规律.....	120
第二节 中国丹霞地貌的分布特征.....	126
第三节 丹霞地貌演化.....	131
第四节 丹霞地貌的旅游开发.....	139
讨论与思考题.....	141
第七章 荒漠地貌	142
第一节 荒漠地貌的概念.....	142
第二节 风的侵蚀、搬运和堆积作用.....	146
第三节 岩漠与砾漠.....	149
第四节 沙漠.....	150
第五节 荒漠化过程.....	157
讨论与思考题.....	160
第八章 黄土地貌	161
第一节 黄土地貌分布.....	161
第二节 黄土高原的形成.....	164
第三节 黄土高原水土流失及相关地貌.....	165
第四节 黄土沉积与环境演化信息.....	168
讨论与思考题.....	169
第九章 冰川与冰缘地貌	171
第一节 冰川作用过程.....	171
第二节 冰川侵蚀作用与侵蚀地貌.....	192
第三节 冰川的搬运、堆积作用与堆积地貌.....	199
第四节 冰缘作用过程与冰缘地貌.....	210

讨论与思考题	231
第十章 岩溶地貌	232
第一节 岩溶地貌的定义	232
第二节 岩溶作用	235
第三节 岩溶地貌类型及特征	245
第四节 岩溶地貌理论研究及应用	276
讨论与思考题	284
第十一章 泥石流	286
第一节 泥石流分类、分布、分区与形成条件	286
第二节 泥石流的形成过程	293
第三节 泥石流防治	295
讨论与思考题	303
第十二章 海岸地貌演化	304
第一节 河流三角洲形成和演化	304
第二节 砂砾质海岸	310
第三节 海滨平原与潮滩	319
第四节 潮汐汉道	323
讨论与思考题	327
第十三章 床面形态演化	328
第一节 床面形态的类型和特征	328
第二节 小波痕形成演化过程	332
第三节 大波痕与沙波的形成演化过程	335
第四节 潮流沙脊形成演化过程	337
讨论与思考题	339
第十四章 地貌遗产和旅游地貌学	340
第一节 地貌遗产和旅游地貌学的概念	341
第二节 地貌遗产的价值类型	346
第三节 地貌遗产及地貌旅游资源的价值评价	348
第四节 旅游地貌环境影响评价和旅游地貌容量	354

第五节 地貌遗产旅游资源保护与开发·····	359
讨论与思考题·····	362
参考文献 ·····	363
附录 国内外部分地貌学专著和教材目录 ·····	370

第一章 绪 论

第一节 地貌学的基本问题

一、地貌及地貌学的定义

地球表层是人类生存环境，包括大气圈、生物圈、水圈和岩石圈等，而固体地球的表面可以说是这些圈层相互作用的重要环节和具体场所，也是人类活动的最基本的场所和物质基础。固体地球表面（通常简称“地表”）的形态特征及其空间分布、物质组成及结构，以及其形成和演变规律，对人类活动和文化分布具有重要的影响。这里所谓固体地球表面形态特征就是通常所说的地貌。

地貌的属性可以从物质构成、几何形态、及时空尺度几个方面进行界定。从物质属性看，地貌学研究的地表是指地壳的外表面，其组成物质是岩石及其风化产物——土（可以看做松散的岩石），其构成方式可以呈现多种内部结构构造。从几何形态看，地球表面形状，是指固体地球表面以高低起伏为基本特征的几何形态（如高山、平原、高原、山脉、丘陵、峡谷、河谷、盆地、沟谷、洞穴、悬崖等），常简称为“地形”或“地貌”（landforms, 或 relieves）。在空间尺度上，地貌的界定通常是以人类活动范围或人类常规知觉的尺度范围，显示了地貌学中地理学人地关系传统的属性；但是，随着科学技术进展（如遥感技术和多种显微技术），固体地球宏观尺度的表面形态（或行星地貌，尺度范围 $10^2 \sim 10^3$ km），如洋中脊、边缘海、大陆架等，以及微观尺度范围（ $10^{-3} \sim 10^{-6}$ m 及以下），也逐渐纳入了地貌学的研究范围。地貌具有一定的空间分布和组合特征。在时间尺度上，地貌主要是现代地表过程的产物。

地貌学的英语术语 Geomorphology 源自希腊语的词根 geo（地球）、morphe（外表形状、面貌）及 logos（论述），其他欧洲语言如 géomorphologie（法语）、геоморфология（俄语），Geomorphologie（德语）保存了类似的特征。

国际上不同地区学术界将地貌学分属于不同的学科。在美国，地貌学一般属于地质学系列，它替代了地文学（Physiography）；而在澳大利亚、英国和西欧其他国家，地貌学则更多地属于自然地理学。我国地貌学研究在地理学界和

地质学界都受到一定的重视,但不同学科对地貌研究侧重点不同。地理学更为关心地貌的空间分布特征及其发育与自然乃至人文地理环境其他要素的关系,地质学更关心地貌发育与岩石圈内部因素的关系。近年来,由于全球变化和地球系统科学的发展,对地貌的研究呈现出多学科交叉的趋势。

在本书中,地貌学是研究作为人类生存环境的固体地球表面及表层的物质形态特征、物质组成、内部结构、空间分布、成因及其演化规律的学科。地貌学研究的对象及研究方法随着人类社会及科技发展而发生改变,随着人地关系的改变而改变。地貌学研究,不仅在理论上作为人类对地球家园最基本、最直接的特征——地貌形态的形成规律的探索和解释,而且在实践上可以为资源开发利用、土地利用、环境管理、灾害预防、区域可持续发展等多方面服务。地貌学的研究成果可应用于资源开发、环境保护、自然灾害防治、工程建设、可持续发展管理等方面,对于国家的经济建设具有重要意义。

二、地貌学研究对象和任务

地貌学的研究对象是地表形态。地表形态的要素之一是地形的起伏,在地形图上用等高线来表示。但是,把地形表现出来,绘制为地图,这是测绘学的任务。地貌学不仅要考虑地形高低,而且要考虑坡度的大小、方向和空间分布,考虑各种地形的组合特征。就地貌学的任务而言,是要弄清地表形态的基本特征和控制因素,了解地貌形成演化的过程和机制,确定地貌演化的产物及其在地球系统演化中的意义,为环境、资源、灾害等领域提供科学依据。

地貌形态具有一定的空间分布和组合特征。例如,河流作用下的流域可有河床、河谷、河滩、阶地、河口湾、三角洲等部分,每一部分都有地形、坡度、物质组成等特征,这些特征在空间上还可能有各向异性现象,即沿不同方向一个参数的变化格局有所不同。因此,作为地貌学的一项基础任务,是要对地貌特征从形态、组成、空间分布等方面进行刻画。地貌的形成是与多种因素相关的,如地壳的升降运动、海面上升、降水与蒸发、流水、波浪、潮汐、气温、岩性、植被、地球化学反应、人类活动等。因此,一种经典的表述是“地貌是内外营力共同作用的结果”。这里,内营力是指地球内部运动产生的作用力,如地壳抬升、地震、火山喷发等;外营力主要是由于太阳能输入和天体间相互作用而产生的作用,如降水和潮汐。

地貌学的另一项任务,是要弄清这些因素的种类和空间分布,并与地貌之间建立联系。有了对地貌特征及其相关因素的了解,就可以对地貌进行分类。分类的基础可以是形态组合,也可以是控制因素,还可以综合以上两个方面进行分类。分类是深入研究地貌演化的前提,因此也是一项基础性的工作。

地貌形成演化的过程和机制的研究是地貌学工作的核心。这里的基本科学逻辑是：对地貌特征的了解和历史记录并不一定能导致对其今后演化的准确预测或对过去的重现，而在弄清过程和机制的情况下，就可以根据科学的计算方法和模型，达到预测的目的。那么，什么是过程和机制呢？“过程”一词是以英文 process 翻译过来的，但这种译法并不是准确的，因为按照中文的原意，“过程”似乎是与“时间序列”相联系的，即是指先后次序或按先后次序发生的事件，但按照 process 的含义，它是指一种作用力施加在系统之上所引起的反应，也就是作用因素与系统反应之间的对应关系，因此把 process 翻译成“制程”可能更为恰当。“机制”是由 mechanism 翻译而来，其内涵是“过程”的组合，可理解为若干种作用因素共同施加于系统时的效应。因此，研究某种现象的机制，就是弄清与这种现象相联系的因素的作用方式或一种特定的过程组合方式。

在地貌演化中可形成许多产物，如侵蚀形态和沉积层序，弄清这些产物的形成时间、所代表的地貌环境和演化阶段，可提供地球环境演化的重要信息。此外，在这些产物中，还含有气候变化和生态系统变化的信息，可通过各种“代用指标”的建立来提取。例如，黄土中粒度的垂向变化可作为冬季风作用在历史上的变化的指标。因此，地貌学的第三项重要任务，是研究地貌演化中产生了什么产物，分布在哪里，有什么基本特征，是如何形成的。这项研究对于全球变化领域的工作是至关重要的，因为全球变化主要就是指气候变化、地貌变化和生态系统变化。

第二节 地貌学发展简史

地貌学作为一门独立的学科是在 19 世纪后半叶的事情，但此前有一个遥远的过去，我国和其他国家的前人从古代起就对地貌现象有了兴趣并开展了探索活动。虽然地貌学这一术语是 19 世纪后期提出的，但是地貌学的一些基本思想及研究甚至可以上溯至古代。在我国，宋代沈括对雁荡山河流地貌侵蚀作用提出了正确的理论。有意思的是：有些地貌学思想在东、西方各自古代大哲学思想家之间存在着一些共同特点：亚里士多德（Aristotle, 384—322 B. C.）欣赏河流侵蚀地表并形成地貌，而远在东方的中国春秋时期的老子则在阐述柔弱刚强的相对性时说“天下莫柔弱于水，而攻坚者莫之能胜”（《老子》），实际上也是对流水地貌侵蚀作用的描述，这段名言甚至被用作西方现代地貌学专著的开篇名言。中国晋代已经有“东海三变桑田”的传说，而西方 Strabo（54 B. C. —25 A. D.）则注意到了陆地局部抬升和沉降的变迁。由于 James Hutton

(1726—1797) 的研究强调河流侵蚀对区域地貌的影响, 并建立了关于地貌侵蚀、发育演变的较为完整且对后世地貌学影响巨大的理论体系, 因此欧洲有人将他称为现代地貌学之父。

一、地貌学在中国的发展

中国地貌学研究大致可以根据人们对地貌学思想的认识程度、研究方法和研究技术分为几个阶段: 古代地貌思想萌芽期、古代地貌过程观察及解说期、近代地貌范式形成期、现代地貌发展期。

宋代以前, 地貌学思想呈现零散、朦胧的特点, 主要内容以地貌描述为特征。具体研究主要为类型划分、简单地貌过程的描述及区域地貌描述为特征。虽然我们尚不知道中国先民最早在何时有了地貌地形的明确认知, 但是可以肯定, 作为在生存空间中起到重要作用的地貌因素, 一直影响着人们的空间行为和生存、生产活动。而中国最早系统进行地貌划分, 我们认为可以上溯至距今约 4 000 年前的殷商时期, 从甲骨文文字记录看, 殷人的景观类型描述已经有较为系统的山地地貌、平原地貌及河流湖泊地貌等多种名称, 虽然不是严格意义的地貌学划分, 但是已经具备一定的体系 (表 1-1) 和特征区别。

表 1-1 甲骨文中反映的自然景观分类

地貌类别	甲骨文地名文字案例
山地地貌	山、丘、石、谷、岳、阜、陵、陆、封、队、高、堆、陆、沙、单
平原地貌	原、野、湿、隰、囿、畴、膏
河流地貌	川、州、洲、河、渊、涛、洧、洹、洋、淮、淋

甲骨文的地貌分类, 从划分原则上分析, 主要有形态及结构、高度、物质组成等, 如对山地地貌的划分; 而对河流地貌划分则可能涉及到了营力因子, 如对于河流类型划分, 更多的是关心流水情况。例如根据地貌要素的本身形态特征可以划分为丘、山、高、岳、泉等, 根据地貌要素空间分布特征分为川、州、田等, 常以顶视平面图式表示, 而根据地貌要素的物理特性划分出的“洹”, 实际为水势回转之河流段。

春秋时期老子注意到了地球表面水的重大侵蚀力量, 在仅仅 5 000 字的著名哲学著作《老子》中写道: “天下莫柔弱于水, 而功坚者莫之能胜”, 并作为柔弱胜刚强的哲学寓意的案例。中国古代地理文献《禹贡》将中国分为九州, 描述了各地的地貌, 《山海经》记录了各地山川地貌的大致分布状况, 《汉书·地理志》则对各地山川地貌以及流水地貌过程进行了较为系统的

描述。

在这一阶段,我国先民对地貌开始注意、描述并有了初步的地貌分类思想。同时也说明,中国文化在世界地貌学发展中具有重要的历史价值和学术价值。

从宋代开始,人们对自然环境的观察逐渐仔细,出现了许多对地貌现象的描述和解释。如沈括《梦溪笔谈》就对雁荡山侵蚀地貌进行了描述和解释。明代徐宏祖(号霞客)更是对喀斯特地貌、丹霞地貌等多种地貌进行了描述和分类,并相应进行了部分的科学解释。

我国近代地貌学,是在引入西方地貌学、地质学方法理念后结合我国本土地质、地理条件而发展的,并逐渐在喀斯特地貌、河流地貌、丹霞地貌、黄土地貌、冰川地貌、青藏高原地貌等许多方面提出了自己的学说。早期我国学者从西方引入了现代地貌学研究方法,李四光1937年对庐山进行了冰川地貌的研究。20世纪40年代,我国逐渐培养了自己的地貌学研究生,在西南地区做了大量的地貌实证研究。新中国成立后,随着国民经济建设的进展,大量地貌学研究成果尤其是应用研究成果涌现。学术界,南京大学1962年编写了我国第一部体系完整的《地貌学》著作,并成立了我国第一个地貌学专业。1949年前我国将地貌学称为“地形学”。1956年后,我国学者为了强调学科名称能对地貌形态构成与形成过程等内容的兼顾,把“地形学”改称为“地貌学”,并逐渐得到学术界的普遍认同和使用。至此,中国地貌学的研究范式基本形成。

改革开放后,我国地貌学研究取得了长足的进展。地貌学专著层出不穷,不仅有普通地貌学专著,而且专题研究、部门地貌学专著等均大量出现,分支学科的专著更为丰富。在研究的理论层次上,大量研究得到了国际学术界承认,并形成了一定的国际影响。在研究方法上,大量现代方法技术被应用于地貌学研究。在研究理念上,中国地貌学家有两个特色:一是强调中国特殊地理环境乃至文化背景所拥有的地貌对象,如青藏高原、黄土高原、喀斯特地貌及丹霞地貌;二是强调应用。出现了地貌学繁荣发展的局面。

二、西方的早期地貌学思想和探索

现代地貌学产生于西方国家。整个自然科学的体系的形成是从亚里士多德(Aristotle, 384—322 B. C.)开始的,而从17世纪起,地貌学的探索开始与近代地球科学相结合,产生了一些重要的地貌学思想。现以山脉、河流的起源为例,说明西方早期地貌学思想的特征。

关于山脉的起源,17世纪以前的探索主要是猜测性的,而真正意义上的

科学探索是始于 17 世纪), 以 Steno, Moro, Hutton, De Saussure 等人的工作为代表 (Adams, 1938)。

Nicolaus Steno (1638—1686) 出生于哥本哈根, 1656 年进入哥本哈根大学学习医学。1668 年写成 *Prodromus* 一书并于次年出版, 这是他业余爱好的研究成果。在这本书中, 他指出, 从山脉中的地层的空间分布和相互关系中可以看出, 山脉的形成是由于地球运动改变了地层位置的结果, 某些山脉则可以是火山喷发的结果, 地层之下的物质上涌或空洞导致塌陷是造成地形变化的原因, 强调了内动力作用的结果, 断块与褶皱山概念的提出是他的主要贡献。

Moro Abbe Anton Lazzaro of Venice (1687—1740) 基于对火山喷发活动和新生岛屿的观察, 提出了山脉是来源于“地球内部之火”的主张, 认为山脉可分为“原生”和“次生”两种, 前者的地层是不成层的, 而后者是成层的。如果有的山体同时具有二者, 则可以判别不同山体的先后形成次序。至于山脉的褶皱形态, 他解释为“地内之火”的作用。物质喷出地面, 下面是否会形成空洞? 对这个问题, 他说是否形成空洞是不重要的, 重要的是我们的确看到了岩浆喷发、Santorin 岛从海中长出、熔岩从 Vesuvius 和 Etna 火山口涌出, 这些就够了。对于空洞产生的后果, Moro 说, 空洞可以被流体所充填, 或者空洞可以确实存在。

Giovanni Arduino (1714—1795) 于 1759 年在意大利、Johann Gottlob Lehmann (1719—1767) 于 1776 年在德国、Pallas 于 1777 年在俄国, 分别指出山脉不是一次突变过程形成的, 而是不同时期的多次抬升的结果。

Leopold von Buch (1774—1852) 提出了“Cratess of Elevation”, 用以解释火山的形态, 通过对 Alps 山脉的研究, De Saussure (1740—) 提出了山脉成因的挤压褶皱理论, 他的著作 *Voyages dans les Alps* (第一卷) 于 1779 年出版, 系统地阐述了他的观点。

总体上, 上述关于山脉形成的理论大多是不够完整、不够合理的, 但提出了许多可供进一步探讨的想法和观点。

关于河流的起源, Leonardo da Vinci (1452—1519) 从 Alps 山的观察中, 提出雨水和雪水渗入地下形成泉水, 这部分水也可能直至渗入海洋也不出露于地表。出身贫苦之家的意大利人 Bernard Palissy (1514—1589) 通过艰苦的努力在科学和艺术上都作出了很大贡献, 他在出版于 1580 年的书中指出, 河流是由降雨补给的, 山坡上的雨水渗入土中和岩缝中成为地下水, 而地下水在河谷中出露即成为溪流。法国人 Pieere Parrault 在 1674 年出版了《泉水的起源》一书, 首次根据降雨量的观测和流域面积的量算探讨了其与河流水量的关系。今天看来, 这些认识都过于简单, 但在当时却是很有创新性的。