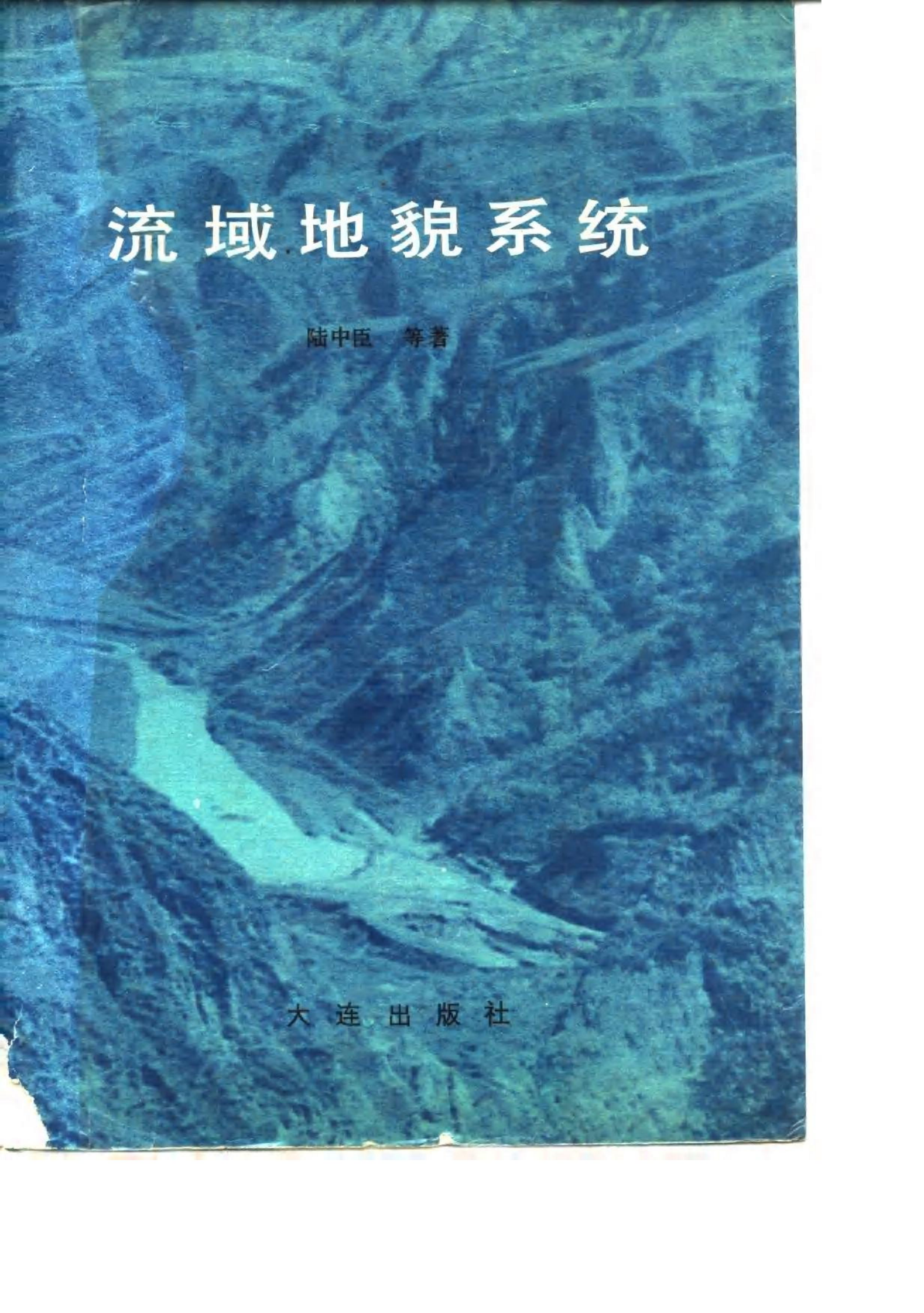




# 流域地貌系统

陆中臣 等著

大连出版社

# 流域地貌系统

陆中臣 贾绍凤 著  
黄克新 袁宝印

大连出版社  
1991. 5

责任编辑 于有朋  
装帧设计 闰 月

## 流域地貌系统

陆中臣 等著

大连出版社出版  
(大连市西岗区大公街市场南口)

新华书店发行  
金州印刷厂印刷

字数：51 万 开本：787×1092 1/16 印数：2,500 册  
1991 年 5 月第 1 版 1991 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 7-80555-347-5/K·7

定价：(平) 10.00 元  
(精) 14.00 元

## 内容介绍

---

本书以流域为单元,用系统科学的方法阐述流域地貌系统的自然形成和演变,以及人类活动对流域系统所引起的环境变化。这两部分内容组成了边缘学科——环境地学的主体。本书较为系统地介绍了国内外这方面的最新研究成果。

全书共分十一章。第一章流域地貌系统概述;第二章流域与水系;第三章坡地系统;第四章河道系统;第五章三角洲系统;第六章流域系统的地貌临界;第七章流域地貌系统数学模型;第八章流域系统的侵蚀与堆积;第九章流域系统环境脆弱带;第十章流域系统环境演化及预测;第十一章流域系统环境治理中的几个理论问题。

本书可作为地理、地质、水利、水保、生态和环境等方面以及相关专业的规划、设计、科研人员和大专院校师生的参考书。

# 前言

---

众所周知,环境地学是以人——地系统为对象,研究其发生和发展、组成和结构、调节和控制、履行和利用的科学。就目前发展趋势看,是从两个尺度进行研究的:既有宏观的环境背景控制,又有微观的物质运动(交换过程和机理)调节;既有纵向的环境变化规律探讨,又有对未来环境预测和建立优化模式的设想。所以,环境地学是一门从宏观与微观的综合角度来研究生态环境的边缘学科。《流域地貌系统》的撰写正是基于这种动机。所以,本书与其说是一本关于河流地貌的书,倒不如说是一部环境地学的论著。同时,本书是《渭河下游河流地貌》和《黄河下游地貌》的姐妹书,但内容更加广泛和系统。本书具有如下的特点:

一、系统性较强 采用系统科学的方法。从空间系统上考虑了流域的上、中、下游;从功能上考虑了侵蚀、搬运和堆积过程;从形态上考虑了坡面、河床和三角洲;从时间上考虑了流域系统地貌的发育过程。

二、内容新颖 引进并丰富和发展了侵蚀背景值、地貌临界、自然侵蚀和加速侵蚀、生态环境脆弱带等概念,反映了本学科与其它学科交叉综合的发展趋势。

三、注意地貌学的定量研究 介绍了流域地貌系统的数学模型,并建立了地貌发育阶段和演化趋势预估指标。

四、理论与实践的紧密结合 在深入探讨流域地貌系统中环境演化的若干理论问题的同时,又紧密地联系了水土保持、河道治理、三角洲开发和流域生态环境保护等实际问题。

本书是由陆中臣、贾绍凤、袁宝印、黄克新四位同志合作完成的。其中,陆中臣:第二章、第三章的第一节、第二节的五、六和第四节、第四、五、六、

八、十、十一章；袁宝印：第一章、第三章中第二节的一至四和第九章的第七节；黄克新：第九章的第一至六节；贾绍凤：第七章。北京大学杨景春教授和倪晋仁博士分别审阅了全部内容，提出了许多宝贵意见，在此向他们表示衷心感谢。

由于作者水平所限，本书难免存在缺点和错误，恳请读者指正。

作者 1990年8月

# 目 录

---

|           |      |
|-----------|------|
| 前 言 ..... | (VI) |
|-----------|------|

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 第一章 流域地貌系统概述 ..... | (1) |
|--------------------|-----|

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 第一节 一般系统论的概念 ..... | (1) |
|--------------------|-----|

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第二节 系统科学在地貌学中应用的历史与进展 ..... | (4) |
|-----------------------------|-----|

|                  |     |
|------------------|-----|
| 一、面积——高程分析 ..... | (5) |
|------------------|-----|

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 二、坡面泥石流运动数学方程 ..... | (5) |
|---------------------|-----|

|              |     |
|--------------|-----|
| 三、地貌阈值 ..... | (6) |
|--------------|-----|

|             |     |
|-------------|-----|
| 四、地貌熵 ..... | (6) |
|-------------|-----|

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第三节 流域地貌系统研究的内容和意义 ..... | (7) |
|--------------------------|-----|

|                 |      |
|-----------------|------|
| 第二章 流域与水系 ..... | (11) |
|-----------------|------|

|                     |      |
|---------------------|------|
| 第一节 作为系统单元的流域 ..... | (11) |
|---------------------|------|

|                     |      |
|---------------------|------|
| 第二节 表征流域特征的变量 ..... | (12) |
|---------------------|------|

|                |      |
|----------------|------|
| 第三节 流域形态 ..... | (14) |
|----------------|------|

|              |      |
|--------------|------|
| 一、形态要素 ..... | (14) |
|--------------|------|

|              |      |
|--------------|------|
| 二、紧度系数 ..... | (15) |
|--------------|------|

|              |      |
|--------------|------|
| 三、流域圆度 ..... | (16) |
|--------------|------|

|               |      |
|---------------|------|
| 四、流域狭长度 ..... | (16) |
|---------------|------|

|            |      |
|------------|------|
| 五、曲度 ..... | (17) |
|------------|------|

|                          |              |
|--------------------------|--------------|
| 六、拉长度 .....              | (18)         |
| 七、流域的不对称系数 .....         | (21)         |
| 第四节 流域河网密度 .....         | (21)         |
| 一、沟谷水系密度 .....           | (21)         |
| 二、河网密度对地理环境的依赖关系 .....   | (22)         |
| 第五节 水系发育系数和不均匀系数 .....   | (29)         |
| <b>第三章 坡地系统 .....</b>    | <b>(31)</b>  |
| 第一节 坡面系统 .....           | (32)         |
| 一、坡长 .....               | (32)         |
| 二、坡度 .....               | (33)         |
| 三、坡形 .....               | (40)         |
| 四、坡向 .....               | (41)         |
| 第二节 河谷系统 .....           | (42)         |
| 一、沟谷的概念 .....            | (42)         |
| 二、沟谷侵蚀方式 .....           | (43)         |
| 三、影响沟谷发育的因素 .....        | (44)         |
| 四、沟谷发育规律 .....           | (45)         |
| 五、沟谷系统分类 .....           | (50)         |
| 六、沟谷系统结构 .....           | (55)         |
| 第三节 沟谷水系与产沙 .....        | (63)         |
| <b>第四章 河道系统 .....</b>    | <b>(77)</b>  |
| 第一节 河型的成因及其转化临界 .....    | (78)         |
| 一、决定河型成因转化的主要因素 .....    | (78)         |
| 二、河型转化的判别公式 .....        | (81)         |
| 第二节 河流纵剖面 .....          | (85)         |
| 一、河流纵剖面的形态特征 .....       | (85)         |
| 二、影响河流比降的因素及其定量关系 .....  | (87)         |
| 第三节 水库上下游河道的复杂响应 .....   | (93)         |
| 一、水库上游河道的复杂响应 .....      | (93)         |
| 二、水库下游河道的复杂响应 .....      | (97)         |
| 三、清水冲刷阶段横断面形态的复杂响应 ..... | (102)        |
| 四、基面变化的复杂响应 .....        | (103)        |
| <b>第五章 三角洲系统 .....</b>   | <b>(107)</b> |

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 第一节 三角洲的分类.....        | (107) |
| 第二节 我国不同类型三角洲发育模式..... | (110) |
| 一、滦河三角洲.....           | (110) |
| 二、黄河三角洲.....           | (115) |
| 三、珠江三角洲.....           | (123) |

## L 第六章 流域系统的地貌临界..... (132)

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| 第一节 流域系统与地貌临界.....         | (132) |
| 第二节 坡地系统的地貌临界.....         | (134) |
| 第三节 河道系统的地貌临界.....         | (139) |
| 一、河道系统的边界临界.....           | (139) |
| 二、水力参数的地貌临界.....           | (146) |
| 三、河床宽深比的地貌临界.....          | (148) |
| 四、河床比降和河床质<br>相对粒径的临界..... | (149) |
| 五、构造运动与河型转化的临界关系.....      | (150) |
| 六、临界河宽.....                | (154) |
| 七、河型分类的临界指标.....           | (154) |
| √ 第四节 三角洲系统的地貌临界.....      | (160) |

## 第七章 流域地貌系统数学模型..... (166)

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| √ 第一节 概述.....           | (166) |
| 一、地貌研究的定量化趋势.....       | (166) |
| 二、流域地貌数学模型.....         | (167) |
| 第二节 流域侵蚀与产沙数学模型.....    | (168) |
| 一、产沙模型类型.....           | (168) |
| 二、侵蚀产沙过程及机制.....        | (168) |
| 三、产沙量经验统计公式.....        | (170) |
| 四、黄土高原产沙量统计公式.....      | (173) |
| 五、产沙量半理论半经验公式.....      | (178) |
| 六、面蚀与沟蚀.....            | (180) |
| 七、侵蚀与产沙物理概念模型和电算模型..... | (184) |
| 八、计算侵蚀与产沙的单位线法.....     | (192) |
| 九、侵蚀与产沙的地貌学意义.....      | (193) |
| 第三节 河床演变数学模型.....       | (194) |

|                            |              |
|----------------------------|--------------|
| 一、一维数学模型                   | (195)        |
| 二、二维河流泥沙输移数学模型             | (199)        |
| 三、简化河床演变模型                 | (201)        |
| 四、估算河床冲淤变化的经验公式            | (203)        |
| 第四节 沿程淤积和溯源淤积数学模型          | (203)        |
| 一、沿程淤积和溯源淤积的概念             | (203)        |
| 二、沿程淤积和溯源淤积数学模型            | (209)        |
| 第五节 河谷阶地发育模拟数学模型           | (214)        |
| 一、影响河谷阶地发育的因素              | (214)        |
| 二、模型基本方程                   | (215)        |
| 三、模型结构                     | (220)        |
| 四、模型输入                     | (221)        |
| 五、模型应用举例                   | (221)        |
| 六、问题讨论                     | (222)        |
| 第六节 河口沉积数学模型               | (223)        |
| 一、 $\kappa-\varepsilon$ 模型 | (223)        |
| 二、雷诺应力模型                   | (228)        |
| 三、河口边界的拟合网格                | (229)        |
| 第七节 流域地貌系统整体模型             | (230)        |
| <b>第八章 流域系统的侵蚀与堆积</b>      | <b>(234)</b> |
| 第一节 侵蚀与堆积关系                | (234)        |
| 一、流域系统的空间分布与功能             | (234)        |
| 二、流域系统复杂响应                 | (236)        |
| 三、河床演变中的冲淤关系               | (237)        |
| 四、判别侵蚀与堆积的挟沙能力             | (237)        |
| 第二节 侵蚀速率                   | (238)        |
| 第三节 沉积速率                   | (243)        |
| 一、河北平原的沉积速率                | (244)        |
| 二、黄河下游的沉积速率                | (252)        |
| 三、长江沉积特性的分析                | (254)        |
| 四、沉积系统模式                   | (256)        |
| 第四节 加积性的准平原化               | (258)        |
| 第五节 水库淤积末端位置               |              |
| 确定的估算方法                    | (260)        |
| 一、水库淤积末端的概念                | (260)        |
| 二、淤积末端位置确定方法               | (261)        |

|                                   |              |
|-----------------------------------|--------------|
| 三、淤积末端发展趋势的预估方法·····              | (266)        |
| <b>第九章 流域环境脆弱带·····</b>           | <b>(272)</b> |
| 第一节 流域环境脆弱带的概念·····               | (272)        |
| 一、流域环境脆弱带的概念·····                 | (272)        |
| 二、流域环境脆弱带的特点·····                 | (274)        |
| 第二节 流域环境脆弱带的理论基础·····             | (275)        |
| 第三节 流域山前脆弱带·····                  | (279)        |
| 第四节 梯度联结带·····                    | (283)        |
| 一、梯度联结带的主要类型·····                 | (283)        |
| 二、我国的高度梯度带·····                   | (285)        |
| 第五节 河流变迁带·····                    | (289)        |
| 一、水陆过渡带·····                      | (289)        |
| 二、河流冲击带·····                      | (290)        |
| 第六节 海陆交接带·····                    | (297)        |
| 一、海陆交接带的性质·····                   | (297)        |
| 二、海陆交接带的空间迁移·····                 | (298)        |
| 三、海陆交接带的时空管理·····                 | (300)        |
| 第七节 黄土堆积转换带·····                  | (303)        |
| 一、黄土的搬运和堆积过程·····                 | (303)        |
| 二、黄土堆积分带·····                     | (305)        |
| 三、黄土堆积转换带中的环境变迁·····              | (310)        |
| <b>第十章 流域环境演化及预测·····</b>         | <b>(313)</b> |
| 第一节 流域地貌发育阶段·····                 | (313)        |
| 第二节 流域侵蚀产沙·····                   | (325)        |
| 一、自然侵蚀产沙·····                     | (326)        |
| 二、加速侵蚀产沙·····                     | (327)        |
| 第三节 流域地貌发育趋势预测·····               | (331)        |
| <b>第十一章 流域系统环境治理中的几个理论问题·····</b> | <b>(336)</b> |
| 第一节 环境背景值·····                    | (336)        |
| 第二节 允许土壤侵蚀极限·····                 | (340)        |
| 第三节 泥沙输移比·····                    | (342)        |
| 第四节 流域自然植被生产潜力·····               | (346)        |

|                      |       |
|----------------------|-------|
| 第五节 干支流水沙过程的相似性..... | (350) |
| 第六节 河床冲淤平衡的反馈.....   | (351) |
| 一、下游河床的调整.....       | (351) |
| 二、流域产沙组分与输移规律.....   | (353) |

# 第一章 流域地貌系统概述

---

## 第一节 一般系统论的概念

从 19 世纪开始,到 20 世纪初叶,科学技术在世界范围内得到空前发展。科学高度分化,衍生出许多新的分支学科,不断开拓出新的研究领域,研究对象专一,分析深入而精细;同时,学科间的交叉又产生新的边缘学科。科学技术的进步带来经济繁荣和文明昌盛,社会的发展也给科学技术提出新的难题和挑战。由于生产规模急剧扩展,生产过程越来越复杂,科学地合理地组织和管理生产,避免浪费,成为社会生产的关键问题。科学技术本身的发展也使它面临着许多分支学科所不能单独解决的研究领域和问题。例如宇宙的演化、生命的起源、气候预测、环境控制、国土整治等。因此,在高度分化的基础上,科学技术出现了把涉及内容广泛、因素复杂的研究对象作为一个整体,进行全面的、系统的、大规模综合研究的趋势。但是,当需要解决的生产问题涉及众多的技术,规模又十分庞大;或者研究的对象极为复杂,其变化过程受控于许多条件和因素时,原有各分支学科的理论、思想、方法和工具都无法圆满地解决问题,必须应用新的观点、理论和方法,于是“系统论”应运而生。它把研究对象看成整体和系统,全面研究该体系中各要素之间的相互联系、相互作用以及该体系和周围环境之间的物质和能量交换过程,从而确定该体系整体运动规律。科技领域这一崭新的理论

一经提出。立即被广泛用于科研和生产实践中,例如原子弹的制造、登月飞行、环境治理、经济管理以及政策制定等重大科研项目和生产任务,并且取得了许多研究成果和巨大的经济效益。目前,系统论的思想已渗透到许多科研领域,一些分支学科由于高度分化而处于徘徊不前的状态时,系统论的思想给它们带来新的活力。当把研究对象看成一个系统,进行整体规律的研究时,该学科就会出现“柳暗花明又一村”的新境界。同时,系统论的思想也开始普及到日常的工作和思维中,这些都显示了系统论思想的强大生命力。

系统论的基本思想是美籍奥地利生物学家贝塔朗非(L. Bertalanffy, 1901—1972)于本世纪 20 年代首先提出的,他批驳了当时盛行于生物学界的“活力论”和“机械论”思想,认为应当把生物体看成一个有机系统,使用了“机体系统论”的概念。到 40 年代,他正式提出“一般系统论”,阐述了系统论的基本概念、一般原则和数学方法等,为系统论的确定奠定了基础<sup>[1,2]</sup>。系统论的主要内容包括系统思想、系统科学方法和系统哲学,它既有认识客观实体的总体结构的哲学思想,又有科学的精确的数学方法,能定量地描述系统及其发展变化过程。它跨越了自然科学和社会科学两大领域,可以广泛地应用于社会系统、经济系统、管理系统、生物系统以及决策和预测研究中。

系统是发生和发展过程中存在联系的各个要素组成的具有一定运动功能的有机整体。自然界和人类社会任何事物都是以系统的形式存在的,当我们研究一个事物内在的本质联系,并从整体角度进行综合研究时,这个事物就是一个系统。任何具体的系统形式,都具备以下 3 个基本特点:

1. 系统中至少存在两个以上的要素(元素、因子、部分)。
2. 系统中要素与要素、要素与整体,以及整体和环境之间存在着相互联系、相互制约的特定结构。
3. 系统具有不同于各个要素的整体新功能。

要素是指构成系统的各个组成部分,系统是整体,要素是部分,两者互相依存。没有要素就没有系统,没有系统也无要素可言。系统和要素之间相互联系、相互作用。系统对要素起支配和主导作用,它决定和控制了要素的性质与功能。例如汽车作为一个系统,决定它的各个部件的性质与功能,它需要有发动机、传动部件和车轮等构成。显然它们与电视机的部件完全不同。另一方面,要素是构成系统的基础,要素的变化会引起系统性质的变化。例如湖泊作为一个系统,水体、盐度、水生物、泥沙等都是它的要素。如果水体发生变化,当水量减少时,盐度增加,水生物也发生变化,一个淡水湖可能变成咸水湖。

一个系统对更高一级系统来说,它是一个要素。任何一个系统的要素又往往是次一级系统,系统与环境还可以构成更大的系统。因此系统与要素相辅相成,主要依据所研究的对象和范围而定。同一个事物在这项研究中作为要素,在另一个研究项目中可能被确定为系统。一个系统只有相对于组成它的要素而言才成其为系统,反之要素也是相对于由它与其他要素共同组成的系统而言的。

任何系统都有其特定的结构和功能。结构指系统中诸要素之间的因果关系,也就是各要素相互依存,相互制约的内在组织形式。系统的功能是由该系统的结构来体现的。相同的要素组成的系统,由于它们结构的不同可使系统表现出完全不同的性质与功能。例如金刚石和石墨,都由碳原子组成,由于它们之间的排列和结构不同,使金刚石和石墨具有完

全不同的性质与功能。

稳定性和有序性是系统结构的基本性质。系统内各要素只有在保持稳定的结构形式和有序的相互作用时,才能使系统保持稳定。由静态的稳定结构形式和有序作用的要素,构成平衡的系统结构。由动态的稳定结构形式和有序作用的要素构成的系统,则是非平衡的系统结构,即耗散结构体系。

系统与环境之间总是进行物质、能量和信息的交换,所以系统的结构总是处在不断变化的过程中。这些变化是系统发展和前进的动力,它保证了事物的演化与革新。

系统的结构具有相对性,在大系统中是一个要素,同时又是一个小系统,其中次一级要素的结构决定了它的性质和功能。如此推演,在系统结构中可发现无限层次系统系列,其中每个环节的要素都具有双重结构的地位。因此,一个子系统在大系统中是一个要素,它本身又包含着复杂的系统结构。

系统作为一个整体表现出一定的功能和效果,而且不同于各要素所表现的功能和效果。一般说系统的整体效果和整体功能,大于各要素功能和效果的总和。这点称为系统的整体性效应,它高于各部分效应的总和,即“整体大于它的各部分的总和”。系统具有整体新功能,是系统最主要的特征。

系统以外的周围事物称为环境,在一个大系统中,当我们把其中一个因素看做子系统时,其他因素就是这个子系统的环境。系统与环境之间的界限称为系统的边界,有些系统的边界十分明确,有的系统边界不易确定,主要依据要素与系统相互联系的紧密程度而定。如果一个要素发生变化影响系统的整体功能时,应把该要素划归为系统内部要素,否则应划归为环境。

对系统进行研究时,由于研究的目的、角度和范围的不同,可把系统分为各种类型。根据系统的构成,可分为物质系统和概念系统:

1. 物质系统:由客观物质或事物组成的系统,如原子、分子、生物、人体、环境、企业、社会等。
2. 概念系统:由主观概念和逻辑关系等非物质组成的关系,如计划、决策、制度、法律等。

按组成系统的要素的性质,可分为自然系统、人工系统和复合系统:

1. 自然系统:指自然界不依赖于人力而独立存在的各种系统,如天体系统、大气系统、生态系统等。
2. 人工系统:由人类活动而建立起来的各种系统,如文化系统、经济系统、城市系统、军事系统等。
3. 复合系统:由自然系统和人工系统相结合而构成的系统,其中包括了自然要素和人工要素。如农业系统、环境系统、牧业系统等。

从系统环境之间的关系看,可划分为封闭系统和开放系统:

1. 封闭系统:与环境无能量和物质交换的系统。当然不存在绝对的封闭系统,在一定时间内,不依赖外界影响而独立运行,具有稳定生存能力的系统都可以看成封闭系统。
  2. 开放系统:指与环境存在物质、能量和信息交换的系统。
- 开放系统由于不断和外界发生物质和能量的交换,该系统从无序向有序发展演化。系

统开始演化时,与外界物质和能量的交换较少,系统处于平衡状态,系统为无序结构,随着时间的推移,物质和能量的交换增加,系统达到非平衡状态。系统本身产生熵,同时又向外界输出熵,输出大于产生,系统保留的熵在减少,所以走向有序。这时系统只有耗散能量才能保持结构,因此称为“耗散结构”。该理论是比利时物理学家普里高津(prigogine. I. )1969年提出的,它回答了开放系统从无序向有序发展的理论问题<sup>[3]</sup>。

流域地貌系统是自然系统中典型的开放系统,它与外界存在不断的物质和能量的交换,并且不断消耗能量,是具有耗散结构的耗散系统。

## 第二节 系统科学在地貌学中应用的历史与进展

地貌学研究的对象是地表存在的各种地貌体,它们是内外营力综合作用下不断发展与演化的产物。因此,地质营力是决定地貌特征的主导因素,当一个或几个地质营力在一定范围内持续作用足够长的时间后,地表即可形成该地质营力所控制的特定地貌形态。另一方面,该范围内地表物质组成及原始地形也对地貌的演化有重大影响。所以,地貌可以看成是营力、时间、原始地形和物质组成的函数。那么,当一个或几个地质营力长时间作用于一定地域时,这个地域范围内的地貌体或地貌综合体可以看成为一个体系,称为地貌系统。

地貌学的初期阶段是与地质学一起发展的,地貌学是地质学中的一部分,以形态描述和分类为主要研究内容。但一些学者已开始研究地貌形成和发展。1899年美国地貌学家W·M·台维斯提出“地理循环”学说,从而奠定了现代地貌学的基础<sup>[4]</sup>。他把地形发育划分为3个阶段:幼年期、壮年期和老年期,并且在构造运动作用下,可以进入下一个循环。他按地质营力的不同,把地理循环过程划分为“侵蚀循环”、“风蚀循环”、“冰蚀循环”等几类。实际上他已把不同营力形成的地貌看成一个体系,以动态和发展的观点解释地貌的成因和演化过程。他认为,“循环学说的主要内容即是长期而有序的发展”。地貌演化是构造、营力和时间的函数。一个地域在某种营力作用下,随着时间的推移,其地表形态和地貌景观是有规律地发展的,是可知的。他反对当时一些学者认为地貌学只能靠观察、描述和概括来发展的观点,指出:“由于对想象、创造演绎和其他足以达到合理解释的思想方法使用不当,地理学已长期受到损害。”所以他认为“地理循环”含有很“理论”的气氛。实质上,他已经把某种营力长期作用下的地区作为“系统”进行研究。虽然当时还不可能提出“系统论”的思想,但他已把地貌景观作为一个整体研究其演化模式。这比当时大多数地理学家把地貌体当成孤立的生米如此的思想已大大前进了一步。

台维斯的地理循环学说把构造营力和外营力割裂开来,以一个地区迅速抬升到一定高度后随即停止作为地貌发育的起点,然后地貌景观在单纯外营力作用下发展演化。当地貌演化过程中又发生迅速抬升时,地貌景观发展的连续性被打断,开始新的一个旋回的地理循环,由于台维斯的循环学说把构造营力过程简单化,德国地貌学家W. 彭克提出了“山麓剥蚀面”理论,他认为山坡坡面是内外营力共同作用的结果,可以通过山坡地形分

析,确定地壳运动的方向和速度。W. 彭克的理论实际上把坡地作为一个整体,研究其发展演化过程,并且同时考虑了内外营力两种作用。可以说,台维斯和彭克是首先以系统的观点研究地貌发育历史的学者,大大推动了地貌学的前进。但是台维斯和彭克的理论具有强烈的推理和演绎色彩,其理论本身并没有提供有效的地貌研究手段。应用他们的理论进行地貌实际研究时,并不能获得大量地貌演化信息,只能概括地定性描述地貌特征。

19 世纪末至 20 世纪初,随着现代科学技术的进步,许多国家的社会经济与生产迅速发展。铁路、公路、港口、水利、矿产等大量生产实际问题的解决,都需进行地貌调查,从而促使部门地貌学得以迅速成长。当时生产的性质与规模只要求了解较小范围内地貌类型、特征以及分布和发展的规律,有利于对不同地貌类型区做分散的独立的研究。因此,把地貌学中各分支都开展了深入细致的研究,如河流地貌、构造地貌、岩石地貌、岩溶地貌,黄土地貌、冰川地貌、冻土地貌、沙漠地貌等。

社会经济的进一步发展,生产规模越来越大,生产过程越来越复杂。科学技术日渐深入,开始触及许多学科共同协作才能解决的问题。于是综合研究的趋势愈来愈明显,必须有新的思想和方法论指导生产过程的管理和综合研究的协调。由于生产和科技发展的实际需要,系统论思想逐渐萌生和发展,形成一门逻辑和数学领域的科学。它不仅提供了解决复杂问题的思维方法和逻辑系统,而且可以用科学的精确的数学方法描述和确定研究对象和演化过程,从而大大推动了生产的发展,也深深地影响各个学科的前进。地貌学也不例外,正是在系统论的冲击下,不断以系统论思想指导地貌研究,地貌学正处在脱胎换骨,产生巨大飞跃的前夕。自 50 年代以来,许多地貌学家开始探索地貌研究定量化的方法,试图定量地描述地貌演化过程。到 80 年代,一些学者开始把地貌单元看成一个系统,综合考虑所有影响地貌发育的因素,确定地貌系统中物质和能量的交换过程,预测未来发展趋势。这些研究正在不断地深入和发展,孕育着地貌学的巨大变革。其中主要的研究成果可以概括为以下几方面:

### 一、面积—高程分析

1952 年美国地貌学家斯揣勒提出面积——高程分析法(The area—altitude analysis);用定量方法确定台维斯的地理循环的阶段<sup>[5]</sup>,他使用高程积分曲线,将台维斯的侵蚀旋回阶段定量化,即:当高程积分曲线值  $S > 0.6$  时,为幼年期地形;当  $0.35 \leq S \leq 0.6$  时为壮年期; $S < 0.35$  为老年期。

### 二、坡面泥流运动数学模式

1963 年 Culling 提出坡面泥流运动的数学方程式<sup>[6]</sup>:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = a \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + b \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} \quad (1.1)$$