

流域地貌数学模型

承继成 江美球 编著

科学出版社

流域地貌数学模型

承继成 江美球 编 著

科学出版社

1986

内 容 简 介

本书综合地介绍了国际上有关地貌学数理统计方面的研究，重点是论述地貌形态的数学分析的问题。

全书分二十六个专题和一个总结性论题，分别阐述流域和水道形态，如水道级别与流域级别、水道分枝比、水道数量、水道长度、水道纵比降、流域形状、流域地势比、坡地角度等的分布规律，以及它们与岩性、水文、气候、植被等自然要素的关系及其参考数学模型。

本书可供地质、地貌、水利、水土保持及国土整治等方面的科技工作者及有关大专院校师生参考。

流域地貌数学模型

承继成 江美球 编著

责任编辑 姚岁寒

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1986 年 10 月第 一 版 开本：787×1092 1/32

1986 年 10 月第一次印刷 印张：6 1/2

印数：0001—2,150 字数：142,000

统一书号：13031·3303

本社书号：4986·13—13

定 价：1.55 元

前 言

本书综合地介绍了首先在美国兴起、后来遍及世界范围的“地学革命”中有关地貌学数理统计方面的国际动态资料，并结合我们的工作，作有关的综合评述。

近二十年来，数理统计方法在地貌学中已经广泛被应用，几乎遍及地貌学的各个领域。但是，从目前情况来说，用得最多的还是在流域地貌方面。

地貌学的数理统计有两个方面：第一，地貌形态的分析；第二，地貌过程的分析。我们这里所述的仅仅是流域地貌的形态分析。但是，这个方向还处在初级阶段，其中一部分内容还算不上数理统计，所以本书采用“流域地貌数学模型”这个名词。

地貌形态的数量分析，主要是揭露地貌形态的规律，并不直接去阐明产生形态的机制。但是，要弄清楚地貌形成的机制，首先要弄清楚形态的规律。所以，研究地貌形态的规律是研究地貌机制(过程)的一种手段。

地貌形态的形成，受多种因素的制约。这里所介绍的有关流域地貌形态的“规律”或“定律”，有些是比较正确的，可能逐步上升为地貌学的基本理论；但也有些还尚待进一步验证。

目前，我们正处在“信息革命”时代，一些部门正在筹建专业的或综合的数据库和信息系统。我们整理编著这本书的目的是希望能为有关方面，诸如地貌、工程地质、水利、水土保持及区域的综合开发与国土整治等部门，提供流域地貌方面的数学模型，为这方面的数据库和信息系统建设发挥一定的作

用。

本书所用资料主要由承继成搜集、整理和评述,由江美球校阅、修改补充,我国黄土地区的例子由郭树桂协助完成。

编著者

1984年6月于北京大学

引 言

在最近二十年中，由于生产发展的需要和其他学科的推动，地貌学从原来描述性、经验性的学科，逐步地转变为理论性、实验性的学科。模拟实验、精密测量、遥感等新技术的应用，为地貌学的定量分析创造了必要的条件，同时也为地貌学与数学、力学、物理学的广泛结合奠定了基础。现在已经能为一些地貌类型建立最基本的数学模型。由于地貌的定量分析和数学模型的建立，使地貌学能为工农业生产和国防建设提供必要的资料和设计参数，并对地貌条件的发展趋势作出较为可靠的预报。

到目前为止，在地貌学的数学方法领域中，出现了两个基本方向：数理统计方向和数学分析方向。从实践角度来看，数理统计方法是最为有效的方法，但是若要弄清楚过程的物理本质，数学分析的方法才是最有前途的方法。

L. B. Leopold 和 W. B. Langbein 等人发现，概率联系在地貌现象中起了控制性的作用。他们认为，在多变性的原则下，物理的规律都是要在不同程度上去满足各种相互作用的综合结果的。若这种综合因素的数目越多，要用物理规律去预报每一偶然的特殊性现象是不大可能的，结果只有运用概率理论才可能进行预报。

L. C. King 对地貌学中的数理统计方向作了很高的评价，他认为地貌学已经进入了数理统计时代，一些地貌现象的规律性，必须依靠数理统计方法去阐明。他对于 A. N. Strahler 的工作给予充分的肯定。

М. А. 维里康诺夫 (Великанов) 指出, R. E. Horton 所创立的地貌定量分析的方向, 在地貌学的理论研究方面, 迈开了一个新的步伐, 并认为这种研究方法是比较进步的。

但是地貌学的数理统计方向决不是已经完美无缺, 能够解决一切问题, 能替代所有的地貌工作; 而是恰好相反, 地貌学的数理统计方向远远还没有达到成熟的阶段, 还存在着不少缺点和问题, 它和其他的研究方法只能是相互补充的。

B. W. Sparks 正确地指出, 虽然数理统计方向在地貌研究中具有很大的前途, 它具有解决一些复杂问题的可能性; 但无论如何, 目前要应用数理统计方法去解决一切地貌问题, 看来为时尚早。因为在运用数理统计方法处理之前, 首先必须对各种地貌过程研究得很透彻。

Ю. А. 密歇略可夫 (Мещеряков) 在评论 A. N. Strahler 的研究成果时指出, 数理统计方法的确能够有效地纠正与补充地貌学中历史方法的不足, 但是 A. N. Strahler 对运用数理统计方法解决地貌问题的可能性的估计是偏高了一些。因此, 他主张在运用数理统计方法的同时, 还必须结合传统的研究地貌发展史的方法来进行; 这两种方法应该是相互补充的。

数理统计方向在地貌研究中的主要贡献有三个方面:

第一, 扩大了地貌研究的领域, 发现了一些新的地貌规律。

第二, 对一些原有的地貌理论给予较精确的、定量的概念, 提高了原有理论的科学水平。

第三, 为工业、农业、国防建设提供较为可靠的有关地貌条件的数据, 并为地貌发展趋势的预报工作, 特别是自然病害的预报工作奠定了基础。

数理统计方法在地貌学中的应用已经十分广泛, 几乎遍及地貌的各个领域, 但是用得最多的还是要算流域地貌。

目前国际上一般都公认,地貌学的数理统计方向,首先是从 R. E. Horton 开始的。他在 1945 年发表的“*Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology*”著名的文章是地貌学的数理统计方向的先导。经过八年之后, A. N. Strahler 在 R. E. Horton 论文的基础上,又进一步地发展了 R. E. Horton 的思想。从五十年代开始,特别是从五十年代的后期开始,就有许多地貌学者从事这方面的工作,发表了不少的关于这方面的科学论文。其中有些人还运用了电子计算机,计算了大量的资料。

R. E. Horton 的主要贡献是,他运用地貌形态数量分析的方法,对美国的数十个流域进行了研究,首先发现在任何一个流域内,各级水道的数量,水道的平均长度,水道的总长度,水道的纵比降与水道的级别之间,存在着几何级数的关系。后来人们把他的上述发现称之为 Horton “第一定律”, Horton “第二定律”、“第三定律”和“第四定律”,即所谓“Horton 四大定律”。

A. N. Strahler 不仅更进一步系统地发展了 R. E. Horton 的思想,而且他提出了与 R. E. Horton 不相同的划分水道级别的原则。他的另一方面的成就是创立了确定地貌发育阶段的高程分析法 (Hypsometric analysis)。运用这种方法,可以定量地去划分地貌发育阶段。他还提出了“地貌定型化”的假说。

S. A. Schumm 通过大量的地貌形态数量分析工作后发现,除了 R. E. Horton 的“四大定律”外,各级流域面积的平均值与它们的级别之间,也成几何级数关系。此外,他还发现了另外两点: 第一,在一个地质条件相同、构造简单的区域内,水道网要素的大小,是由“水道给养所必需的最小面积的

特征值来决定的”；而各个水道的给养面积都是恒定的。这个水道给养面积的恒定值的大小，又是地质条件和气候条件所决定的。第二，控制流域地形的另一个积极因素为地势比 (relief ratio)；而河网密度，地表的最大坡度角，水道的纵比降，流域的形态，地表的侵蚀速度，河网的形态等等都是受它控制的。

M. E. Morisawa 除了以大量的资料证明 R. E. Horton “定律”具有普遍意义外，还发现了一些新的规律。他用大量的资料证明，地势比与流域级别之间，存在着递减的几何级数关系；不仅如此，他还着重指出：流域内的各种地貌形态的特征值，皆与该流域的级别成函数关系。他发现，在岩性均一、构造简单的流域内，相邻两个级别的水道的长度比、分枝比、流域面积比都保持着一个近似的恒定值。他还对不同地质条件下的流域地貌特征进行了对比，发现岩性坚硬地区的水道给养面积、水道长度、水道纵比降一般要比软弱岩层区的为大，但流域的地势比、河网密度则要比软弱岩性区的为小。

Н. А. 尔尚尼春 (Ржаницин) 对苏联平原地区的河网形态进行了分析，其所得结果和美国学者所得的基本相似，各级地貌形态特征与它们的级别之间存在着几何级数的关系。除此以外，他还确立了不同自然条件下的河网形态参数。

近年来，地貌学的研究已经从简单的表面观察和一般的文字描述进入到定量计算和动力分析的发展阶段；而定量计算的地貌研究首先是从形态分析入手，用某些数学模式把地貌的形态单元区分开来，依次进行定量描述，并作出单元之间的对比。流域特征、水道级别、河流纵比降、河网密度、坡面形态、坡度和坡长，以及流域地面的高程曲线等，都是表征流域地貌的形态学数据。

流域地貌是河流侵蚀加上风化作用、块地运动和坡面径

流等造成的一种极为复杂的地貌单元，它不论是在几何形态方面，或是在形成过程方面，都是极为复杂的。不同气候条件下的流域，具有不同的水文动态特征，因而流域地貌的形成过程也就很不一样。不同地质条件下的流域，具有不同的岩性、构造特征，因而流域地貌的物质基础也有明显的差异。不同发育阶段的流域，则具有不同的形态特征。所有这一切都使得建立流域地貌的数学模型更加复杂、更加困难。为了使问题简单化，我们只好较多地采用岩性、构造比较均一的黄土区的小流域来作为例子，其结果证明上述理论是正确的。

由于流水地貌是陆地上普遍存在的地貌类型，W.M.Davis称之为常态地貌；因此，我们从流域地貌入手来建立地貌形态的数学模型，是具有普遍的理论意义和实用价值的。

目 录

前言	i
引言	v
一、水道级别与流域级别	1
二、水道分枝比	10
三、水道数量	24
四、水道平均长度	36
五、水道总长度	44
六、水道纵比降	51
七、水道交汇角	58
八、水道形态(宽度、深度)	64
九、水道流量	67
十、流域面积	70
十一、流域形状的分析	77
十二、流域地貌结构的分析	80
十三、水道给养面积	87
十四、流域地势高差	92
十五、流域地势比	96
十六、坡地长度	98
十七、坡地角度	101
十八、坡面小水道的定量分析	109
十九、水道网的形成和变化问题	117
二十、阶地高度	122
二十一、流域地貌要素的相互关系	125

二十二、流域地貌形态与水文状况的关系.....	130
二十三、流域地貌形态与气候、植被的关系.....	134
二十四、流域地貌形态的高程分析.....	136
二十五、流域地貌形态的量纲分析.....	147
二十六、流域地貌形态的相似性.....	156
二十七、概括性总结.....	163
参考文献.....	192

一、水道级别与流域级别

在流域地貌的形态数量分析中，首先是要划分水道的级别 (Stream order numbers) 与流域的级别 (basin order numbers)。

任何一个天然的河网，都是由大小不等的、各种各样的水道所联合组成的。而每一个水道都有自己的特征，自己的汇水范围，即自己的流域面积。每一个较大的水道往往是由若干较小的水道汇流而组成的。较大的流域同样往往是由若干较小的流域所联合组成的。

水道大小的差别或流域大小的差别，也反映了作用于它们的动力特征(主要是流水作用)的差别。因此，它们的坡度(纵比降)、宽度、切割深度以及流域地形的最大高差等等各种流域地貌要素也都具有明显的区别。形态与营力之间，一般是相适应的。较大的侵蚀作用，一般具有较大规模的侵蚀沟形态。较小的侵蚀作用，只能产生较小的侵蚀沟。所以由小水道汇合而组成的较大的水道，不是一个简单的相加，而是一个从量变到质变的过程。这些较小的水道所具有的地貌特征，往往是与它们汇合后组成的较大水道的地貌特征是有明显的区别的。

过去关于区别一个水系中的水道大小问题，通常是以不同的命名来解决的。如在欧美的文献中，按其规模由小到大，划分为三种类型：细沟 (rill)、冲沟 (gully) 和河道 (river 或 channel)。在苏联的文章(据 Д. П. Арманд) 中，根据由小到大的次序，依次命名为细沟 (ложбина, вымоина, борозда)，切

沟 (промоина), 冲沟 (обраг, лощина, 稳定的叫 болка, лог), 河谷 (речнаг доина)。不论是欧美的文献或是苏联的文献,除了再把河流划为支流和主流外,再也没有别的命名办法了。即使它们中还存在着很大的差别,但是再也无法把它们区分开来了。因此这种命名的办法,无法满足定量分析的需要,因为这些名称远远不够用,而且命名十分混乱,不仅是这个国家和那个国家的命名不一样,而且这个人和那个人的命名也可以不一样,缺乏统一的标准,运用起来非常困难。因此最近在国际上普遍主张采用一种序列的命名法则。这种序列的命名法则,就是把一个流域内的河网的各个部分,按其大小次序排成系列,以第一、第二、第三等等序列的称呼来命名,如第一级河流 (I-order stream)、第二级河流 (II-order stream)、第三级河流 (III-order stream) 等等,这样一直到把整个河网按其大小划分完毕为止。这种序列的命名可以直至无穷,能满足定量分析的需要,不论多大的河网,或它们的差别有多大,采用序列的命名原则,都能满足划分其大小的需要。

每一级别的水道都有自己的汇水面积,即流域,因此水道的级别也就是它的流域的级别。换句话说,水道的级别和该水道的流域级别是完全一致的。即第一级水道具有第一级的流域,第二级水道具有第二级的流域,如此等等。水道能划分得多细,流域也就能划分得多细。这种序列命名的另一优点是,从名称上就清楚地反映了其规模的大小。

关于如何确定水道的级别,这是一个十分复杂的问题,至今还没有彻底解决。最早主张以序列原则来划分水道大小的人是 Gravelius (1914 年)。他规定:在任何一个河网内,最大的主流为第一级水道,汇入主流的最大支流为第二级水道,汇入大支流的小支流为第三级水道,这样一直把全部大小支流命名完毕为止。按照 Gravelius 的划分方法,水道越小,它的

序号越大;水道越大,它的序号越小。他的这种分类方法,曾被欧洲的一些水文学家采用过,但在运用的过程中,发现这种序列的划分方法,仍然是有很大的缺点的,后来大家都不采用这种方法了。Gravelius 的序列划分的方法,存在着以下两个主要缺点:

第一,很难确定第一级的主流,因为在一些河网内主流是很难区分出来的。

第二,在大小不同的两个流域内,这一流域的第一级水道,与那一流域的第一级水道可能相差很大。这一流域的第一级水道,其大小,可能等于另一流域的第五级水道。

以一个流域内的主流作为第一级是十分不恰当的。因为这种序列命名法则,至多只能在一个流域内应用,而绝对不能与另一个流域作比较。例如长江与钱塘江的下游部分,皆为本流域的第一级主流,但它们之间在大小上,却有着很大的差别。

R. E. Horton (1945 年)提出了与 Gravelius 完全相反的命名原则。他规定:在一个流域内,最小的不分枝的支流属于第一级水道,接纳第一级但不接纳更高级的支流属于第二级水道,接纳第一级和第二级支流的水道属于第三级水道,如此一直将整个流域中的水道划分完毕为止。

虽然 R. E. Horton 的序列命名原则,克服了 Gravelius 的一些原则性的缺点,但 R. E. Horton 的定义本身,也存在一些不妥当的地方。他认为在确定水道的级别时,首先要区分出什么是支流?什么是主流?凡是不分枝的,最基础的是属于第一级的水道。结果,一些属于较高级的主流的延续部分,可以一直伸展到水道的最上端。如图 1.1 所示,其第二、第三、第四级水道,分别伸展到了流域水道的最上游部分。然而,它们的上游几乎与第一级水道具有完全相似的特征。因

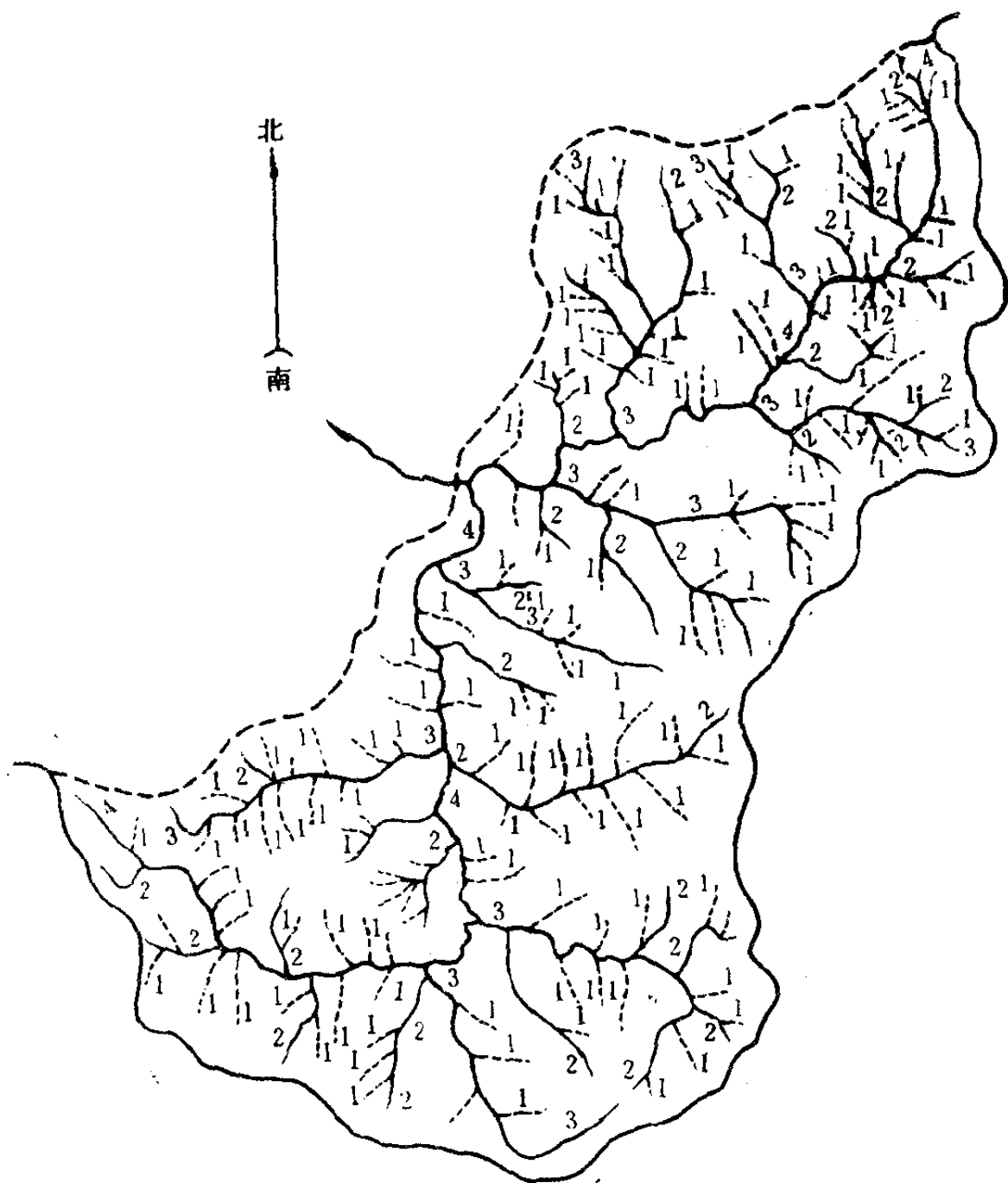


图 1.1 R. E. Horton 的水道级别划分
(以美国希瓦西河为例)

此 R. E. Horton 的序列划分原则仍是有缺点的。

A. N. Strahler (1953 年) 对 R. E. Horton 的定义作了修正。他规定：河流包括所有间歇性 (intermittent) 及永久性的 (permanent) 位于明显谷地中的水流线在内，最小的指尖 (finger-tip) 状支流，称为第一级水道。两个第一级水道汇合后组成的新的水道，称之为第二级水道。汇合了两个第二级水

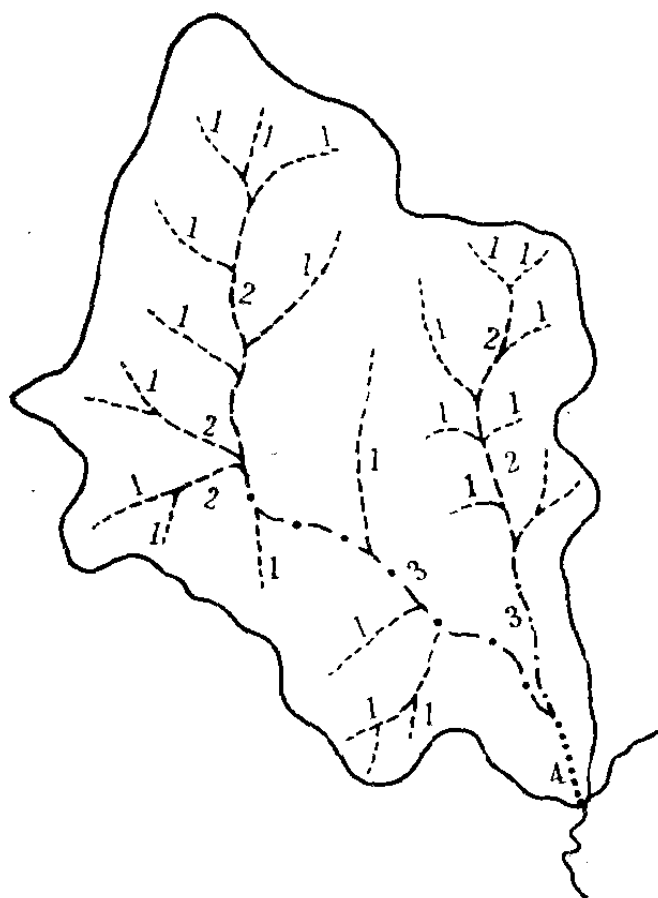


图 1.2 A. N. Strahler 的水道级别划分

道的,称之为第三级水道。这样一直下去,把整个流域内的水道划分完为止。通过全流域的水量及泥沙量的河槽,称之为最高级水道。

A. N. Strahler 的划分原则与 R. E. Horton 的不同之处在于,他认为较高级的河流,不可能伸展到水道的顶端末梢部分,而那些顶端不再分枝的部分,只能划归第一级水道。

M. A. Melton 对于 A. N. Strahler 的序列作了进一步的说明。他指出, Strahler 的水系序列的原理是建立在“河流并非是相互平行或是单独入海,而是呈树枝状的,彼此相互联系的”基础上的,它是从形态与水文要素的综合分析的概念中引导出来的。到目前为止, A. N. Strahler 的划分原则,还是较完善[