

★ 青年学者文库 ★

河流动力 地貌学

倪晋仁 马蔼乃 著



北京大学出版社

★青年学者文库★

登录号

134068

0931.1

042-001

河流动力 地貌学

倪晋仁 马蔼乃 著



石油大学0134734

北京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

河流动力地貌学/倪晋仁,马嵩乃著. —北京: 北京大学出版社,
1998. 10

ISBN 7-301-03630-2

I. 河… II. ①倪… ②马… III. 河流地貌学 IV. P931.1
中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 27858 号

书 名: 河流动力地貌学

著作责任者: 倪晋仁 马嵩乃

责任编辑: 邱淑清

标准书号: ISBN 7-301-03630-2/P·41

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区中关村北京大学校内 100871

电 话: 出版部 62752015 发行部 62754140 编辑部 62752032

排 印 者: 北京大学印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

850×1168 毫米 32 开本 12.75 印张 320 千字

1998 年 10 月第一版 1998 年 10 月第一次印刷

定 价: 22.00 元

内 容 简 介

本书是将水沙两相流基本理论应用于河流地貌学研究的著作。该书较为系统地探讨了河流动力地貌学的基本问题及其可能解决的途径,作为一种尝试,并对河流地貌过程进行了定量描述与模拟。

全书共九章。第一章概论;从第二章至第九章,重点介绍了描述水系与流域、阶地与古河道、河相关系、河型过程、河口地貌过程的动力学方法,最后对河流地貌的模拟进行了介绍。书中不仅反映了作者近年来的研究成果,而且也对国际上有代表性的成果进行了深入系统的评述,如对已有各理论优缺点及其之间关系的阐述,对河流动力地貌学未来发展趋势的探讨,尤其是对流域产沙与坡形发育关系、流域与河流的响应关系、河型发育过程的一般规律及江心洲河型成因等方面的见解皆颇有新意。本书选题新颖,内容丰富、全面,阐述详细,每章末并附有详尽的参考文献。

本书对从事地理、农林、水利、环境与资源类专业工作的研究人员及高等院校相关专业的师生等皆具有参考价值,也可作为相关专业大学生、研究生的教材。

5479/08

前 言

早在 1961 年, Adrian E. Scheidegger 就撰写了《理论地貌学》一书, 在书中尝试用动力学的方法来描述地貌现象. 这类尝试所能达到的效果除取决于对复杂地貌过程的准确认知和合理抽象简化外, 还直接地取决于相邻学科研究的进展水平. 应用动力学方法对地貌过程进行模拟、预测和解释是地貌学研究由定性描述走向定量分析的标志. 作为动力地貌学中的主要内容之一, 河流动力地貌学则主要尝试用固液两相流的基本理论来描述复杂多变的河流地貌形态及其发展过程.

近 30 年来, 相邻学科的理论研究取得了长足的进展. 如果说 Scheidegger 著《理论地貌学》出版时河流动力学方初具规模的话, 那么, 时至今日, 河流动力学研究已日臻完善. 相邻学科突飞猛进的发展, 尤其是流体力学、泥沙运动力学及颗粒流力学的逐步完善, 为河流动力地貌学的发展奠定了基础. 然而, 尽管我国在泥沙运动力学方面的研究不断取得成果, 但由于多种原因未能有效地促进它与地貌学的紧密结合, 从而造成了在河流动力地貌学学科进展方面滞后于西方. 鉴于此, 我们在六年前开始了本书的写作.

由于书名为《河流动力地貌学》, 所以在写法上与以往的《河流地貌学》及《地貌学》等就有所不同. 首先, 既然研究对象为“动力地貌”, 在描述地貌过程时就不可避免地要与河流动力学中的一些基本原理相联系, 这就使得书中关于从动力学角度解释的河流地貌现代过程的内容多于河流地貌历史过程的内容; 在描述方法上定量分析的内容也较通常地貌学中的为多. 其次, 由于主要讨论“基本问题”, 所以在各章都力求对某一类问题的描述“方法”进行重点介绍, 而不过多地局限于细节上的处理. 这种写法有助于读者提高

解决类似问题的能力。

无论如何,河流地貌学研究的发展方向必然是由对河流过程的定性描述走向定量描述——尽管这个过程可能是缓慢的和艰难的.在这个漫长的过程中,将地貌过程简化后在实验室模拟或再现的方法是实现对地貌过程进行抽象并作定量描述之重要的一步.没有这一步,面对复杂的地貌过程,精细的数学模型甚至都难以找到真正合适的应用对象.另一方面,在致力于对河流地貌过程进行定量描述的同时,我们也必须注意地貌学本身的特点.

河流地貌与其所经历的历史过程密切相关.尽管历史过程也可结合动力学的方法及泥沙的沉积和搬运规律来考察,但其中的许多不确定因素则很难定量地描述,因而传统的地貌学研究方法仍然起着十分重要的作用.同样,对于不同地貌单元间无明显界限的过渡带,要想用确定性方法描述,目前也是十分困难的.所有这些对地貌及其过程的描述方法都必须以宏观的和微观的观测结果为依据,而遥感技术的应用将会把我们的视野从局部扩展到整体并为我们提供组成反映地球表面全貌的一幅幅直观而清晰的图像.

本书第二作者从60年代中期开始,便在王乃梁教授、钱宁教授、张瑞瑾教授、沈玉昌教授和张书农教授等老一辈学者的指导下开展了河流地貌学研究并曾完成了《河流地貌学》讲义一册.后虽因社会需要,从1975年起主攻遥感与地理信息科学,但仍兼讲授动力地貌学课程多年.

本书第一作者一直从事水动力学、泥沙运动力学及固液两相流理论方面的研究,先师从黄万里教授,后从1985年初在我国著名泥沙学者清华大学钱宁教授、夏震寰教授和张仁教授的指导下开始了河床演变学方面的研究,并刻意与地貌学进行交叉.1989年进入北京大学地理系做博士后研究工作之后,在我国著名地貌学者王乃梁教授的指导下,与马蔼乃教授密切合作,开始了本书的写作.

在书稿写作过程中,不断的国际学术交流和深入研究使得作者能够对学科发展的最新动态有较为准确的把握,因此也不断发现值得修改和增删的地方.书稿从第一稿的五章扩大到第二稿的八章,在第三稿又增至十二章,又在第四稿中精简为九章,前后进行了四次彻底的修改,期间还作为地貌专业研究生教材进行了六年的讲授,进一步发现并改正了许多错误.日本京都大学 Egashira 教授和北海道大学 Shimizu 博士与作者一起对许多问题进行了讨论,并允许作者在本书中引用了他们的有关研究结果.在六年多时间的写作过程中,得到了许多前辈、老师、同志和朋友们的帮助和鼓励,作者为之深深感动.其中,崔桂红从始至终给予了不懈的支持,参与了从誊写、描图到校稿的全部工作;沈克琦教授和徐海鹏教授给予了热情的鼓励和支持;地貌研究室崔之久教授、杨景春教授、韩慕康教授、任明达教授等也都在各方面给予了无私的帮助;清华大学惠遇甲教授和中国科学院地理研究所金德生研究员对本书提出了宝贵的意见.此外,赵筠、胡寿平、徐为群、张旭明、章志忠、叶玉霞、李华锋等同志也曾先后给予了帮助.在此,作者对他们表示深深的敬意和衷心的感谢.

在本书编著过程中,先后得到了霍英东青年教师基金和国家自然科学基金委员会优秀中青年人才专项基金的资助.

由于水平有限,书中错误在所难免,敬请前辈与同行批评指正.作者真诚期待着在批评和讨论中求得学术上的进步.

作 者

1997年元月于北京大学

目 录

前言	i
第一章 概论	1
§ 1.1 河流与人类活动	1
§ 1.2 河流动力地貌学的研究对象	7
§ 1.3 河流动力地貌学的研究方法	10
§ 1.4 河流动力地貌学的发展简史	15
§ 1.5 河流动力地貌学的基本问题	19
参考文献	20
第二章 水流运动基本理论	25
§ 2.1 水流运动的基本方程	26
§ 2.2 水流运动的基本特性	32
参考文献	42
第三章 泥沙运动基本理论	48
§ 3.1 单颗泥沙运动的基本特性	48
§ 3.2 颗粒群体运动的基本特性	53
§ 3.3 水沙流与河床的相互作用	71
参考文献	78
第四章 水系与流域的形成	84
§ 4.1 引言	84
§ 4.2 影响流域与水系发育的因子	86
§ 4.3 水系形成与流域产沙的模式	94
§ 4.4 坡面侵蚀与坡形变化的机理	111
参考文献	135

第五章 河流阶地与古河道	142
§ 5.1 引言	142
§ 5.2 河谷中阶地的分类及其成因	144
§ 5.3 冲积层中的古河道及其成因	160
§ 5.4 阶地与河谷发育的简单模式	170
参考文献	193
第六章 冲积河流河相关系	199
§ 6.1 引言	200
§ 6.2 极值假说及其应用	211
§ 6.3 河相关系及其实质	225
§ 6.4 河流对流域的响应	232
参考文献	235
第七章 河型成因及其转化	240
§ 7.1 引言	240
§ 7.2 河型成因的各种理论及其间关系	241
§ 7.3 河型发育过程及其相互转化规律	276
§ 7.4 稳定江心洲型河流的成因与转化	289
参考文献	311
第八章 河口地貌形成过程	320
§ 8.1 引言	321
§ 8.2 河口区潮流及其泥沙运动特性	323
§ 8.3 河口区水沙运动及其河床变形	326
§ 8.4 河口区典型地貌形态形成过程	331
参考文献	347
第九章 河流地貌过程模拟	351
§ 9.1 数学模型的应用	351

§ 9.2 物理模型的应用·····	369
§ 9.3 遥感信息模型的应用·····	379
参考文献·····	385
名词索引 ·····	392

第一章 概 论

科学的发展一方面遵循着学科分工越来越细的规律,呈树枝型分叉,新的分支代表着学科前沿的生长点;另一方面又遵循着学科之间相互渗透交叉的规律,呈网络型结合,越是新生长点越需要相邻学科的支撑.地貌学既是地理学的一个分支,又是地理学与地质学的交叉学科;动力地貌学既是地貌学的一个分支,又是地貌学与力学的交叉学科;河流动力地貌学既是动力地貌学的一个分支,又是动力地貌学与河川水文学的交叉学科.由此可见,分化与组合是科学发展进程中的客观规律.整个科学体系的发展也正是沿着树枝型分叉与网络型结合的多维方向前进的.本书所要讨论的河流动力地貌学正是地理学前沿的一个重要生长点,也是地学体系网络中的一个活跃节点.

§ 1.1 河流与人类活动

1. 人类赖以生存的水环境

纵观人类历史,文明与文化都与河流戚戚相关.从猿人、古人开始,人类就寄穴于河流两岸的岩洞或森林中.从我国第四纪地质研究所发现的人类历史来看:170 万年前的云南元谋人,生活在龙川江的支流龙河两岸;80 万年前的陕西蓝田人,生活在灞河两岸;50 万年前的北京周口店人,生活在周口河边的岩洞中;30 万年前的陕西大荔人,生活在洛河的沿岸;20 万年前的广东韶关马坝人,生活在北江的一条小支流边;10 万年前的山西丁村人,沿黄河而穴居;4 至 5 万年前的新人,例如广西柳州人生活在柳江边,四川资阳人生活在沱江边,河套人生活在黄河河套,北京山顶洞人与周

口店人一样生活在周口河边;6000年前的西安半坡人,生活在黄河的二级阶地上。

中国是具有近5000年历史的文明古国,中华民族的摇篮是黄河、长江。中国的历史与黄河、长江紧密相关。目前我国许多大城市都建在河流的两岸,如北京依畔永定河;上海沿黄浦江、苏州河;天津沿海河;太原沿汾河;沈阳傍畔浑河;长春沿伊通河;哈尔滨沿松花江;西宁、兰州、郑州和济南沿黄河;武汉、南京沿长江;长沙沿湘江;南昌沿赣江;合肥沿淝河;杭州沿钱塘江;福州沿闽江;广州沿珠江;南宁沿邕江;成都沿府河;贵阳沿南明河;昆明沿盘龙江,拉萨傍畔拉萨河等等。

同样,从世界的历史来看,世界上各大城市的分布与河流也是密切相关的。

纵观人类世界,地球表面面积为 $5.1 \times 10^8 \text{km}^2$,其中29%为大陆;约有 $1.5 \times 10^8 \text{km}^2$ 的面积,包括目前七大洲的二百多个国家和地区。主干长度超过1000km的独立入海的河流共有62条:亚洲18条,非洲14条,欧洲10条,南、北美洲各9条,大洋洲2条,详见表1.1^[1,2]。这些河流中长度为6000km以上的河流有四条(尼罗河,亚马逊河,长江,密西西比河),5000至6000km之间的只有一条(黄河);4000至5000km之间的有9条(拉普拉塔河,湄公河,刚果河,黑龙江,勒拿河,尼日尔河,叶尼赛河,鄂毕河,马更些河)。4000km以上的河流只分布在亚洲、非洲、北美洲和南美洲。3000至4000km间的河流有7条(伏尔加河、墨累河、萨尔温江、印度河、育空河、圣劳伦斯河和格兰德河)。2000至3000km间的河流共有16条;1000至2000km间的河流共有25条。

这些大河流多是世界各国人口密集居住的地方,例如尼罗河上的开罗、喀土穆;亚马逊河上的马脑斯、马卡帕;密西西比河上的新奥尔良、圣路易斯;拉普拉塔河上的布宜诺斯艾利斯;湄公河上的金边;刚果河上的布拉柴维尔、金沙萨;黑龙江(俄罗斯境内称阿穆尔河)上的哈巴罗夫斯克(伯力),勒拿河上的雅库次克;尼日尔

表 1.1 世界主要河流(主干长度>1000km)

洲名	河名	长度/km	流域面积 /10 ⁴ km ²	河口年平均 流量/m ³ ·s ⁻¹
亚 洲	长江	6300	180.85	32400
	黄河	5464	75.24	1500
	湄公河	4500	81.00	12000
	黑龙江	4350	184.30	12500
	勒拿河	4320	241.80	16400
	叶尼塞河	4130	270.70	19600
	鄂毕河	4070	242.50	12600
	萨尔温河	3200	32.50	8000
	印度河	3180	96.00	7000
	锡尔河	2991	21.90	430
	幼发拉底河	2750	67.30	3000
	恒河	2700	106.00	25100
	阿姆河	2600	46.50	1330
	塔里木河	2179	19.80	
	伊洛瓦底河	2150	43.00	13600
珠江	2129	45.00	10000	
底格里其河	1950	37.50	700	
湄南河	1200	15.00		
非 洲	尼罗河	6600	280.00	2200
	刚果河	4370	369.00	39000
	尼日尔河	4160	209.20	12000
	赞比西河	2660	133.00	16000
	奥兰治河	1860	102.00	345
	欧科范果河	1800	78.50	255
	沃尔特河	1800	36.00	1180
	林波波河	1600	44.00	
	朱巴河	1500	19.60	200
	塞纳加尔河	1480	44.10	50
	沙里河	1400	88.00	1230
	鲁非季河	1400	17.80	973
	冈比亚河	1200	18.00	
鲁伍马河	1100	14.50		

续表 1.1

洲名	河名	长度/km	流域面积 /10 ⁴ km ²	河口年平均 流量/m ³ ·s ⁻¹
欧 洲	伏尔加河	3690	138.00	8000
	多瑙河	2850	81.70	6400
	马拉尔河	2428	23.10	360
	第聂伯河	2201	50.40	1670
	顿河	1870	42.20	900
	莱茵河	1320	22.40	
	北德维纳河	1302	35.70	
	蜀北河	1165	14.40	2200
	维斯瓦河	1068	19.40	1200
卢瓦尔河	1010	12.00		
北 美 洲	密西西比河	6262	322.20	19000
	马更些河	4040	176.60	15000
	育空河	3180	85.50	
	圣劳伦斯河	3130	80.20	6580
	格兰德河	3030	57.00	
	纳尔逊河	2570	96.00	
	科罗拉多河	2190	59.00	1860
	哥伦比亚河	1950	77.20	5571
彻奇尔河	1610	29.90		
南 美 洲	亚马逊河	6480	705.00	120000
	拉普拉塔河	4700	310.40	14880
	圣弗朗西斯科河	2900	70.00	6000
	奥里诺科河	2730	94.40	14000
	托坎廷斯河	2640	98.00	<10000
	兴古河	1979		<10000
	马格达雷那河	1530	25.00	3000
	乌拉圭河	1510	32.70	<5000
内格罗河	1073		<10000	
大洋洲 与太平 洋岛屿	墨累河	3490	91.00	
	塞皮克河	1127		

河上的奥尼查、尼亚美；叶尼塞河上的克拉斯诺亚尔斯克，鄂毕河上的新西伯利亚；马更些河上的卡诺尔、辛普森堡；伏尔加河上的

古比雪夫、伏尔加格勒；墨累河上的大勒姆本德；萨尔温河河口的毛淡棉；印度河上的海德拉巴、苏库尔；育空河上育空堡；圣劳伦斯河上的蒙特利尔、魁北克；格兰德河上的雷诺萨、帕索等等。世界各大城市也多傍依河流，例如，伦敦在泰晤士河上；巴黎在塞纳河上；波恩在莱茵河上；里斯本在特茹河河口；马德里在塔霍河的支流上；罗马在台伯河上；汉堡在易北河上；维也纳、布达佩斯、贝尔格莱德、布加勒斯特都在多瑙河或多瑙河支流上；莫斯科在莫斯科河上；新德里在米木拿河上；加尔各答在恒河三角洲上；达卡在布拉马普特拉河河口；巴格达在底格里斯河上；纽约在哈得孙河河口；渥太华在渥太华河上；亚拉森在巴拉圭河上等等。

人类生存离不开淡水，从低级生产力发展到现代化的高级生产力，人类需求的清洁淡水量越来越多。因此，人类与河流的关系越来越密切。从整体上来看，人类与河流的关系将经历三个阶段，即过去受河流摆布的阶段、现在利用与改造河流的阶段和未来基本控制河流的阶段。例如：过去黄河下游三年中两决口，众所周知“十年河东，十年河西”，人类受河流的摆布^[3]；近年来，黄河上修建了大、中、小水库，下游加高了堤防，利用和改造了黄河^[4]；将来，正如美国的田纳西河、科罗拉多河那样，经全流域优化开发后整个流域受人工控制，黄河亦将受控于人。处在不同地理环境下的河流都有各自的自然地理特点，但河流的侵蚀、搬运、堆积的规律都是共同受制于力学规律的。为了利用、改造、控制河流，必须研究其规律。

2. 河流的开发与利用

江河整治是我国国土整治中的重大课题。在我国的自然环境中，水土资源的组合是不平衡的。以400mm降水等值线为界，从东北大兴安岭到西南雅鲁藏布江斜贯中国大陆，此线以东地区为常流水作用为主的地区。以秦岭淮河为界，又将东部分为南、北两部分，北方土多水少，南方水多土少。我国的人口分布也极不平衡，大多集中在江河两岸，如黄淮海平原、长江中下游平原、珠江三角

洲和松辽平原. 在这些地区, 由于季风气候的特点, 降水在时、空分布上的不均衡, 几乎都是从对江河洪水的整治中, 争夺到的土地. 在松辽河、海河、滦河、黄河、淮河、长江和珠江的中下游及河口三角洲地区, 分布着我国政治、经济、文化中心的许多大城市. 自北向南有如哈尔滨、沈阳、北京、天津、郑州、济南、武汉、南京、上海、杭州、福州、广州等, 这些城市的地面高程大多在江河洪水位以下, 靠长达 $16 \times 10^4 \text{km}$ 的堤防来保护洪水期的安全.

我国河流以多沙称著于世界, 据统计黄河中游的黄土高原, 平均土壤侵蚀模数为 $3700 \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{y})$, 为世界平均土壤侵蚀模数 $134 \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{y})$ 的 27.6 倍. 我国人多地少, 开垦历史悠久, 山区、丘陵区的过度开发, 加剧了河流中上游的水土流失, 恶化了环境质量. 另一方面, 被侵蚀的泥沙又被远近不同地淤积在水库或下游河道里, 促使水库迅速淤没, 河床不断抬高, 形成的地上河不断向上、下游两端沿伸并加高, 不得不以加高堤防和沿伸堤防阻挡洪水. 本来百年一遇的洪水, 会变成十年一遇; 本来十年一遇的洪水, 会变成年年遭遇. 上游水土流失严重, 会造成地表径流系数增大、径流集中在短期内归槽, 地下径流减少; 每到干季, 上、中、下游都出现干旱, 又加剧了旱灾. 洪、旱灾害进一步都能引起农、林、牧、渔业的病虫害; 旱情严重还能引起森林、草场的火灾. 因此, 对江河的上、中、下游需统筹兼顾、综合治理.

近 40 多年来, 我国在江河上已建大、中、小型水库 8.6 万多座, 632 万多个塘坝. 尤其在东部七大江河上共建造两千余座大、中型水库. 但由于水土流失严重, 所以水库的淤积问题急待解决. 从河流动力地貌学角度来看, 人工建坝会抬高河流上局部的侵蚀基准, 这可用局部的淤积换取上游侵蚀的减速和下游河道淤积的减速. 相应地, 在时、空的调节上都有许多值得研究的问题.

此外, 在选择坝址、引水口、闸位、港口、引水渠的路线等工程地址时, 有许多工程地质问题也与河流动力地貌学有着密切的关系. 尤其是河型、河床的变迁将制约着工程, 若可因势利导, 则工程

便能起到事半功倍的作用。

综上所述,我国的河流动力地貌学问题,主要包括上游流域的侵蚀及其对来水来沙的影响,以及下游水库、河道的冲淤及其对河型、河床、河口演变的影响。由于我国水沙的时、空分布极不均匀,造成了变化速度快、幅度大等特点,有许多值得深入研究的课题。河流动力地貌学是自然规律科学网络体系中的一个节点,尽管在现代高密度知识结构的支持下,引进了遥感、遥测、定位技术、地理信息系统、地理专家系统和自动化成图等先进技术,但这些仍不是解决生产实践问题的万能钥匙,它必需与相邻学科结合,共同去解决生产实践问题。

§ 1.2 河流动力地貌学的研究对象

1. 地形学与地貌学

地形学与地貌学是两个不同的概念。地形学只是研究地球表面三维空间几何形态的函数,可用地形图表示,其数学函数关系为:

$$T = f_1(\lambda, \varphi, H) \quad (1-1)$$

式中 T 代表地形, λ 为经度, φ 为纬度, H 为高度。地球表面任意点的空间位置,可由 λ, φ, H 唯一确定。

地貌学是研究地表组成物质及其形态在内、外营力作用下的演变及其分布规律的科学^[5~7],可用地貌图表示,其数学函数关系为:

$$G = f_2(m, \lambda, \varphi, H, F, t) \quad (1-2)$$

式中 G 代表地貌, m 为地表组成物质的质量, F 为内、外营力的作用力, t 为第四纪以来的地质历史的时间尺度。(1-2)式也可简写成:

$$G = f_3(m, T, F, t) \quad (1-3)$$

(1-3)式从函数的定量水平上指出了地貌学与地形学的关系。在遥