

试论国外河流地貌学的进展*

沈玉昌 蔡强国

(中国科学院地理研究所)

提 要

本文分四个阶段论述国外河流地貌学研究的发展, 阐述了现代河流地貌学在一些领域中取得的成就, 以及研究方法和技术的进展。

一、萌芽时期

早在二千多年以前赫罗多德士 (Herodotus, 485-425 B.C.) 就认识到尼罗河的冲积物, 粉砂和粘土逐年增长的意义, 认为“埃及是尼罗河之所赐”, 并用希腊字母 Δ (delta) 来描述尼罗河河口形成的形如三角形的汉河^[1]。亚里士多德 (Aristotle, 384-322 B.C.) 看到了河流的侵蚀与沉积作用, 他阐述了泉水与河流的关系。十一世纪阿剌伯人阿维森纳 (Avicenna) ^[2]提出了流水刻蚀地表, 塑造地形的作用。以上这些认识都十分简单, 仅是对现象的描述, 不成系统, 对河流地貌学发展并无很大的影响。

二、文艺复兴时期至十八世纪

在欧洲, 中世纪开始的水工学以及对河流的水力利用, 促进了河流侵蚀的研究。德国、法国、意大利和奥地利等国的学者们对阿尔卑斯山河流进行了较为广泛的研究。意大利学者达·芬奇 (L. de Vinci, 1452—1519) 已了解到河流侵蚀山坡并把泥沙搬运走, 他指出三角洲的沉积物是由河流供给的^[3]。德国学者阿格里科拉 (Agricola, 1494—1555) 和法国学者帕利西 (Palissy, 1510—1590) 都认识到河流侵蚀, 切割地面形成河谷并把泥沙搬运走。文艺复兴时期的伟大学者伽利略 (Galileo, 1564—1642) 认为“河流均衡剖面是保证在河流作用中力与阻力相适应的曲线”, 阐述了河流侵蚀作用的原理。

十八世纪, 法国学者比丰 (Buffon, 1707—1788) 认识到河流的不断侵蚀, 最终能将陆地降低到海水面的高度, 意大利学者塔尔焦尼托泽蒂 (Targioni-Tozzetti, 1712—1784) 认为岩性不同是使河道弯曲的主要原因。法国学者盖塔特 (Guettard, 1715—1786) 认为河流侵蚀物大部分入海外, 还有部分在河流两旁形成了泛滥平原。德马雷 (Desmarest, 1725

本文1983年6月27日收到, 1984年12月13日收到修改稿。

*本文在撰写过程中承龚国元、叶青超、许炯心同志协助, 谨此致谢。

—1815) 则注意到河流地貌发育的不同阶段。

由于河流水利与河工研究的需要,有些学者在野外观察与实验室的试验中得到了一些测量数据,产生了定量河流地貌学思想的萌芽。1697年,意大利学者古列尔米尼(Guglielmini, 1655—1710)对河流进行定量分析,认为河流侵蚀并塑造河床,当侵蚀力与抵抗力达到均衡时,这种作用就逐渐停止,河流的比降与流速成反比,当河床质的抵抗力相对较小时,河床比降也较小,河床往往形成下凹形状的纵剖面。1728年,法国学者布托(Pitot)认识到河床阻力可以降低水流速度。1753年,德国学者布拉哈姆(Braham)发现河流水力半径愈大,则水流摩擦力愈小,河流的效能愈高。1775年,法国学者博絮特(Bossut)通过试验认识到河流的流速受到河床深度、宽度、比降和河床物质等因素的制约。1779年,迪比河特(Du Buat)在描述河流的上、中、下游时,分别把它们喻作婴儿期、幼年期、中年期和老年期,这实际是戴维斯(Davis)侵蚀循环学的雏形。他运用统计和数理方法进行河流研究,指出所谓均衡是表示水流速度与河床岩石阻力之间的关系,它决定水流速度、河床状态、纵剖面以及转弯时的角度,当均衡被破坏时,河流能通过本身的调整使其逐渐恢复。

十八世纪中叶,俄国学者罗蒙诺索夫(M·B·Ломоносов)建立了地貌形成的内外营力相互作用的概念,有力地推动了河谷地貌的研究,他把河流看成是塑造地形、剥露矿藏的“强有力的巨人”^[4]。1795年,河流学家赫顿(J. Hutton 1726—1797)研究了坡面的侵蚀、侵蚀对物质的搬运、山脉与河谷的关系,明确指出河流是剥蚀地表最活跃的营力:在一个流域内,河流向下游逐渐增长,但河流的数目却减少。建立了较完整的河流侵蚀和发展的体系^[5]。

在1743年,埃文斯(L. Evans)最早发表了河流侵蚀和沉积作用研究的著作,他认为雨水和河流侵蚀把表土冲走,形成了河谷的外貌,河水把大量的泥沙带下来,在下游和河口堆积成沙洲和岛屿,在世界的大河河口,都形成了面积很大的土地^[6]。普莱费尔(J. Playfair)解释和证明了赫顿的理论,对河流研究作出了很大贡献,他指出由于摩擦作用,使河水挟带的泥沙逐渐变小,并认为一条河流的坡度随流速和流量的变化而调整^[7]。

三、十九世纪——河流地貌学的兴起

十九世纪初,不少河流学家进行大量的野外工作,收集了很多观察资料,为河流地貌学的理论发展准备了条件。1822年,默奇森和莱尔(Murchison and Lyell)共同发表《河谷挖蚀》,以法国的侵蚀地形为证据,说明河流侵蚀在地形塑造中的巨大作用。斯克罗普(G. P. Scrope)1831年发表了《河谷的逐渐挖蚀》^[8],引用很多证据并描述了河流在下切曲流中的挖蚀作用,指出河流侵蚀的重要性。他们都在不同程度上批驳了洪水学说和灾变论。德拉比切(De La Beche)注意到岩性对河谷发育的影响,在岩性较软地区,容易形成宽广河谷,坚硬岩石地区,则发育深窄的峡谷。

1832年,英国工程师埃费斯特(R. Everst)讨论了河流移动泥沙和石子所需要的流速,用统计方法建立了莱茵河(Rhine)、恒河(Ganges)和黄河三大河流流量和所搬运泥沙之间的数量关系^[9]。法国工程师祖雷尔(A. Surell)应用均夷原理指出河流纵剖面将调整为

坡度逐渐降低的和缓曲线,其目的是使河流的效能达到最大。不同河流纵剖面形状不同,是因为它们处于河流不同的发育时期^[10]。英国学者格林伍德(G. Greenwood) 1857年出版了《雨水和河流》一书,强调了雨水和河流在地表侵蚀中的重要性^[11]。格雷德纳(Gredner) 1878年首先指出了有利于三角洲形成的条件:河口前海区的微浪作用,河流挟带大量泥沙,河口前地区水浅。以上这些欧洲学者的研究,无疑对河流地貌学的兴起和发展起了很大作用。

十九世纪初,法国学者沃尔尼(C. F. C. De Volney)到美洲东部旅行,认为俄亥俄河(Ohio)河谷两旁的河流阶地,是由河流泛滥形成的,他讨论了瀑布的形成与后退问题。达纳(J. D. Dana)以大量实际资料证明雨水和河流是地表强有力的侵蚀营力,他计算出流水的搬运力随流速的六次方而增加^[12]。美国河流地貌学的兴起与发展是与美国开发西部及西部的经济发展密切相关。最早研究美国西部河流的是纽伯里(J. S. Newberry, 1822—1892)和海登(F. v. Hayden, 1829—1887)。纽伯里1857年考察了科罗拉多河下游,1858年进入了大峡谷,他发表了考察报告。海登研究了密西西比河的上游,提出了先成河的理论^[13]。1869年鲍威尔(J. W. Powell, 1834—1902)进行了著名的大峡谷考察,他把大部分注意力集中于河流侵蚀方面,提出了两种河谷分类方法,一种是按成因把河谷分为先成谷、顺斜谷和迭置谷;另一种是按河谷与所切地层的关系到划分,当流向与地层走向垂直时,为横谷,其中又分为横切谷、顺切谷、反切谷。流向与地层走向平行的为纵谷,又再分为背斜谷、向斜谷和单斜谷^[14]。以上这种分类,一直延用至今。鲍威尔还提出了基准面的概念,他认为在沒有干扰的情况下,河流可以把地表一直侵蚀降低到接近海水面的程度^[15]。美国著名学者吉尔伯特(G. K. Gilbert, 1843—1918)最早从事河流动力学研究,提出了两个重要概念,一个是河流的均衡状态,当河流挟带能力与所搬运物质的数量保持均衡状态时,既不侵蚀,也不沉积。若河流在整个长度上已呈均衡状态,在某些小河段上还会发生侵蚀或沉积。另一个是动力调整概念,他认为作用力与地表阻力之间具有动力平衡关系,形态和作用可以自我调整^[16]。吉尔伯特在野外调查的基础上,进行了实验研究工作,应用定量分析方法,讨论了河流搬运方式以及流量、流速、坡度对搬运的影响^[17]。指出在河流这个系统内,任何支流受到扰动,不仅会影响主流,而且必然会波及到其它支流。达顿(C. E. Dutton, 1841—1912)认为所有地区都有向基准面变化的总趋势。他还提出了局部基准面的概念。正是由于以上学者的研究,使美国的河流地貌研究得到很快的发展,超过了欧洲同行而处于领先地位,为戴维斯侵蚀循环理论的出现,奠定了坚实的基础。

俄罗斯学者比较注意河谷的形成与发展同地理环境的密切关系。1856—1857年,谢苗诺夫-天山斯基(П. П. Семёнов-Тяньшанский)通过考察亚洲中部山脉,指出河流侵蚀对山谷的形成有着十分重要的作用,他还描述了纳伦河上游的均夷面。1872年,道库恰耶夫(B. В. Докучаев)描述了斯摩棱斯克省长琴河河谷的形态。1878年出版了《俄罗斯欧洲部分河谷形成的方式》。书中论述了冲沟的形成以及向拗沟和沟谷的转化,他正确地划分了河谷的典型侵蚀形态,并讨论了分水岭的袭夺。穆什凯托夫(И. В. Мушкетов)对河流三角洲的形成和发展进行了研究和探讨。随着俄国航运事业的发展,河床过程的研究受到水利部门的重视,十九世纪末对已通航河道进行了大量调查,1886年洛哈金(B. М. Лохтин)编写了《涅

斯特河》、伯古斯拉夫斯基 (Н.А. Богуславский) 1887 年出版了《作为交通路线的伏尔加河》、1916 年布里兹尼克 (Е.В. Близняк) 发表了《叶尼塞河》¹⁾。在以上研究的基础上, 1897 年, 洛哈金出版了《河床力学过程》一书。指出任何一条河流都是三个彼此依赖的基本要素结合而成的: 多水性, 坡度, 河床物质的可冲刷性或河床稳定性。把河床的形成和发展视为流域的气候、水文、地面坡降、土质等因子不同组合的综合体。此外, 还从流体中一个颗粒所受阻力的理论分析出发, 提出了计算河床稳定性指标的公式。并研究了平原河流浅滩与河型的关系, 建立了河型与平面形态之间的关系。列略夫斯基 (Н.С. Леляевский) 观察了浅滩和弯道处水流动力结构, 指出了水流与河床相互作用原则, 他认为河床外形紧紧依赖于水流的分布, 水流是河床变化的动力。

戴维斯 (W. M. Davis, 1850-1934) 综合和总结了吉尔伯特和其它学者的研究, 首先于 1884 年提出峡谷和瀑布地形仅发育在幼年期河流的河谷里, 壮年期河流的特征是河谷变宽^[18]。在对康涅狄格河河谷的研究中, 他提出了侵蚀准平原的概念。在研究宾夕法尼亚河流和河谷时, 完整的提出了河流侵蚀循环的概念。他指出, 一条河流一旦形成以后, 就会在漫长的生命过程中显现出幼年、壮年和老年的某些特点, 1887 年著名的《地理循环》一文, 系统的提出了他的侵蚀循环学说^[19]。还认为河流在壮年后期或老年期会达到侵蚀与堆积的平衡, 并把光滑而上凹的河床纵剖面作为均衡状态的标志。他认为影响地形的三个因素是: 构造、作用和时间; 后来他又加入了地壳运动影响因素。戴维斯学说统治河流地貌学达数十年之久, 他所创立的均衡概念深深地扎根于美国地貌学家的学术思想之中, 我国地貌学家也深受其影响, 直至今日这种学说仍在某些领域的研究中发挥着作用。

四、二十世纪——现代河流地貌学

虽然由于生产实践的需要, 工程师们和地质学家们对河流作了很多定量的分析, 但大多数地貌学家仍然潜心于河流地貌历史的研究, 为阐述和发展戴维斯侵蚀循环学说作出了努力。约翰逊 (D. W. Johnson, 1878-1944) 应用戴维斯理论追溯阿巴拉契亚山 (Appalachian) 北部的一系列侵蚀循环历史, 描述了侵蚀准平原并提出了迭置河的形成原理^[20]。布赖恩 (K. Bryan, 1888-1950)、科顿 (C. A. Cotton, 1885-1970) 以及与他们同时代的一些河流地貌学者发表了一系列研究河流发育史并描述其对地貌影响的论文^[21,22]。

水利工程师们对河流动力学和水力学的认识, 大大地扩展了河流地貌的研究领域。他们的研究提供了河流参数之间的经验公式, 成为后来河流系统研究的基础。但是直到二十世纪中叶许多地貌学家才开始把河流系统的地貌概念与水利工程师和水文学家的研究结合起来。瑞典学者约伊斯特罗姆 (F. Hjulstrom) 和森德伯格 (A. Sundborg) 以及美国学者霍顿 (R. E. Horton) 是这方面的代表^[23,24,25], 他们给河流地貌学的研究以很大推动。

关于水系发育, 过去着重于水系和地质构造、地势的关系。1944 年, 霍顿提出的水系的扩张型式和发展极限的概念、河流的数目定律、长度定律和面积定律等, 在西方各国风行一

1) 龚国元: 苏联河流地貌研究简况, 1979 年。

时。这样对水系形态的精确分析,使河流数目、长度、面积以及河流顺序号及它们的相互关系处于一种较为简单的可以预测的关系之中。霍顿的研究成果是定量的,同时也是描述性的,它作为方法论的基础,作为研究流域的定量方法是有价值的,促进了河流地貌研究的发展。斯特拉勒(A. N. Strahler)发展了霍顿理论,并将其与物理学原理联系起来,进一步研究了流域盆地的几何性质^[26]。但也有不少学者对霍顿三定律提出了异议,沙伊德格(A. E. Scheidegger)认为霍顿的定律只是在一定的水系上游才适应^[27]。施里夫(R. J. Shreve)认为各流域的地质地貌条件是很复杂的,不能一概而论^[28],而且各流域的河流数目还依赖于地形图的精度。近年来沙伊德格、施里夫、斯特拉勒^[29]、和沃尔登伯格(M. J. Woldenberg)^[30]等先后提出了七、八种水系发育图式,但均大同小异。

美国研究人员大多数研究河床几何形态和流量之间的关系。他们把传统的“均衡”概念与水流和河流形态之间的关系定量化,使古老的经典理论具有了确切的物理意义,提出了能量平衡与动力均衡的概念,认为一条河流的调整作用不依时间而转移。1946年麦金(J. H. Mackin)阐述了动力均衡的概念,指出一条河流的均衡状态是非常敏感的^[31]。斯特拉勒、乔利(R. J. Chorley)霍华德(A. D. Howard)、夏姆(S. A. Schumm)等把河流当作一个开放系统,研究作用与地表物质之间的动力关系,把物理学的观念和方法应用于河流地貌研究^[32、33、34],为实验室模拟,为建立模型提供了理论根据。苏联学者根据造床泥沙量增加,促使河床形态不断变化的特性,得到了计算顺直和弯曲河床,不稳定河床和汇流河床的动力均衡判别指标。

由于数理统计、随机过程等定量方法应用于河流地貌研究,可以把河流系统特征、水流和泥沙特性、河道特征等当作随机变量来处理,从而使我们能透过各种数学关系揭示河流地貌发育的规律性及其本质,而且可以把河流系统作为随机的或非随机的情况来处理,进行各种模拟试验研究,利奥波德(L. B. Leopold)和霍华特等人在这方面做出了较大的贡献^[35、36]。

苏联、波兰、罗马尼亚和英国比较重视河谷地貌的研究。他们主要是研究河谷的形成与构造运动的关系,河谷的形态和分类。苏联为解决航运和实现北水南调工程,对全国大中河流进行了全面考察。他们认为流水是河谷形成过程中的主要因素,河谷形成的主要方式是河流的溯源侵蚀。还探讨了气候变化对河谷的影响,提出了每一个气候地貌带上形成河谷的条数。波利谢维奇(Д. В. Борщевец)运用矩阵组合理论方法,按成因特性把河谷分为200个类型。河流阶地与河谷形成过程的实验研究取得了一些较好的成果^[37]。美国关于河谷地貌的研究偏重于地质与河流状况,格伯(E. Gerber)认为山地河谷的弯曲主要是由于支流沟谷侵蚀岸坡的结果。山区河流的裂点,过去认为是由于裂点上下坡坡度的差别,裂点能一直向上游移动^[38]。但布拉什(L. M. Brush, et al)通过模型试验表明,裂点向上游移到一定距离后就逐渐消失^[29]。

1912年,巴雷尔(J. Barrell)把三角洲划分为顶积层,前积层和底积层。拉塞尔(R. J. Russell)对罗纳河河口三角洲从地貌的各个方面进行了详尽的描述^[40]。由于三角洲沉积往往形成有利于储油的构造,所以在油气勘探中河口三角洲的研究在近期内得到飞速的发展。六十年代提出把三角洲划分为三角洲平原、三角洲前缘和前三三角洲。萨莫依洛夫(И.

В.Самойдов) 描述了 65 条河流的河口三角洲, 分析了三角洲形成过程与河口段的各种特征。不少学者对不同类型的现代三角洲和古代三角洲进行了较深入的研究^[41]。科尔曼 (J. M. Coleman) 和赖特 (L. E. Wright) 探讨了流域地形、流量、气候、海底坡度、构造运动等十二种因素对三角洲形成的影响。在河流地貌领域大型计算机首先在三角洲研究中得到较为广泛的应用, 它为各种三角洲物理模型和数学模型的建立创造了有利条件。博纳姆卡特等 (G. F. Bonham-Carter, et al) 在这方面进行了大量工作^[42、43]。

近年来, 河型是国外近期河流地貌研究的重点。杜里 (G. H. Dury, 1969) 划分出八种河型, 即曲流型、游荡型、直线型、准直线型、双汉型、交织型、三角洲式分汉型、不规则型^[44]。奇塔尔 (S. V. Chitale, 1973) 则按形态和成因分为单汉和多汉两大类。单汉类又分为直线型、曲线型和过渡型。多汉又分为分汉型和多汉型^[45]。莫拉特 (J. D. Mollard, 1973) 根据冲积平原航空象片的判读, 划分为 6 大类, 17 个亚类等等^[46]。由此可见, 关于河型分类目前国际上还没有一致的意见, 其主要原因是各类河型的研究还不够深入, 而且分类原则又互不相同。

长期以来, 关于河型成因的研究很受重视, 提出了各种假设, 有纯粹是水力学的 (Gallen-der, 1969, Shen and S. Komuro, 1968), 有随机的 (A. E. Scheiddegger, 1970, W. B. Langbein and Leopold, 1966), 有地质学的 (S. A. Schumm, 1963) 等等。许多学者为了解决这一问题, 通过河床地形和流量与泥沙性质之间的关系, 建立了一些经验公式。这些公式都在一定程度上反映了客观规律, 但还都不能全面地反映客观实际, 因此, 这些公式还远没有被普遍接受。

近年来, 关于河型的研究仍然集中于曲流型 (蜿蜒型、蛇曲型) 和游荡型两类。

关于曲流河型的成因有各种不同的假设, 1966 年兰拜 (W. B. Langbein) 和利奥波德提出能量均衡学说, 他们认为河流的能量在曲流全河段是均匀分布的, 因此, 曲流型河流比非曲流型河流更接近于能量平衡, 河床比较稳定。按照熵的概念, 曲流型比直线型和游荡型更稳定^[47]。1971 年, 杨志达 (C. D. Yang) 提出曲流消耗能量最小的假设, 他认为一条天然河流在向平衡方向演变的过程中, 在选择它的流路时, 总是选取单位时间内水体沿程消耗的能量最小的路线, 因此形成曲流^[48]。

关于游荡河型的成因目前也有各种不同的假设。1957 年, 莱恩 (E. W. Lane) 认为陡坡可以使河流游荡, 因在水流切割宽浅的河床时, 造成沙滩岛屿。杨志达认为河流游荡的地点是在河床的宽度超过了给定的流量所需要的河宽。米哈依诺娃、萨什金娜等人在室内模拟了游荡河流的造床过程, 他们认为河岸变形强度与近岸水流流速的四次方成正比, 随着河岸变形强度的增加, 水流紊动的强度也随之增加。莫里萨娃 (M. Morisawa, 1968) 则认为不管是直线型、曲流型还是游荡型, 它们都与同时供给的一条河流的流量和泥沙相适应。河型与坡度的关系是, 在一定的坡度下, 增加流量可以使曲流型变成游荡型。同样, 在一定的流量下, 如果增加坡度, 也可以使曲流型变成游荡型^[49]。夏姆 (S. A. Schumm, 1972) 的模型试验也表明坡度与河型之间的关系十分密切, 曲流河型向游荡河型转化存在有一定的坡度临界值^[50]。苏联学者罗辛斯基 (К. И. Россинский) 和维里康诺夫 (М. А. Великанов) 在试验模拟研究河型方面也做出了贡献。

从1935年约伊斯特罗姆(F.H. Justrom)应用起动流速概念分析水沙关系开始, 临界概念逐渐为一些学者所注意。1973年夏姆首先较为完整地阐述了地貌临界的概念^[51]。目前临界概念的研究已经涉及到河流地貌的各个领域, 它既反映于河流地貌发育的作用与过程, 也影响到河流形态的变化, 并且与时间、空间有关。1980年出版的《“地貌临界值”讨论论文集》^[52], 是这方面研究成果的集中体现。

此外, 关于调水工程对河流地貌的影响, 水库下游河床演变、河相关系、侵蚀基准面下降对整个水系所产生影响的研究, 也得到较为深入的发展。

近年来, 研究河流地貌的技术和方法发展很快, 重要的有以下几方面。

1. 从简单的物理模型转变到使用函数、概率论、数理统计、数理逻辑、模糊数学、拓扑学、系统工程和控制论等现代数学的分析方法, 这是河流地貌研究方法的一大进步, 是使研究从定性向量化转变, 从描述向机理研究过渡的强有力手段。

2. 模拟实验的内容和方法的改进。例如, 马卡维也夫(Н.И. Макавеев) 利用模型研究地貌发育过程中河流纵剖面的形成过程; 不同程度的地壳上升情况下, 有支流的河流与没有支流的河流纵剖面的发育; 冲积重矿物砂矿及其原产地预测的实验研究以及冲沟形成过程的实验研究等。美国地质调查所搞了一个热动力模拟试验, 用以研究河流的曲流系统^[53]。

3. 用激光技术对靠近边壁附近的水流流态进行观察, 这是以往测量仪器难于进入的禁区。遥测技术的应用, 大大增加了观测数据的采集量。

4. 定位或半定位观测河床地貌, 利用蛙人装备潜入河床, 研究河底地貌, 特别是侵蚀地貌, 可取得较准确的资料。

5. 利用示踪剂研究河流泥沙的运动和分布, 但目前还不能测知泥沙的数量。

6. 电子计算机的应用为大量数据处理、多元分析, 建立数学模型, 开辟了广阔的前景。

7. 遥感技术的应用。利用卫星相片不但可以全面了解流域、水系和河流的几何形态, 而且为研究河流地貌在短期内的变化提供了可能, 对地貌动态变化的研究十分有利。正如库克(R.H. Cooke, 1970)所指出的, 雷达和红外等遥感图象的应用, 将从根本上改变地貌学野外工作的计划和研究方法^[54]。

参 考 文 献

- [1] The new encyclopadia britannica, U.S.A., 1980, Valame 15.
- [2] Holmyard, E.J. et al, 1927, Avicenna, de Congelatione et Conglulatione Lapidum, Paris, Librairie Orientaliste.
- [3] Adams, F.D., 1938, The birth and development of geological sciences.
- [4] Федосеев, И.А., 1960. Развитие гидрологии суши в России. Изд. АН СССР.
- [5] Hutton, J., 1795, Theory of the earth, with proofs and illustrations.
- [6] 梁继文: 二百年来的地形学, 远东图书公司(台湾), 1976年。

- (7) Playfair, J., 1802, Illustrations of the Huttonian theory of the earth.
- (8) Scrope, G.P., 1830, On the gradual excavation of the valleys, Proc. Geol.Soc., Vol.1.
- (9) Everest, R., 1832, Some characteristics on the quantity of earthy matter brought down by the Ganges River, Jour.Asian Soc. of Bengal, Vol.1.
- (10) Surell, A., 1841, Etude sur les torrents des Hautes-Alps, paris.
- (11) Greenwood, G., 1857, Rain and rivers, London.
- (12) Dana, J.D., 1863, Manual of geology, philadelphia.
- (13) Hayden, F.V., 1862, Some remarks in regard to the period of elevation of those ranges of rocky mountains, Am.Jour.Sci., Vol.33.
- (14) Powell, J.W., 1875, Explanation of the Colorado River of the west and its tributaries, Smithsonian Institution.
- (15) Powell, J.W., 1876, Report on the geology of the eastern portion of Uinta Mountains, Washington.
- (16) Gilbert, G.K., 1880, Report on the geology of the Henry Mountains, Washington.
- (17) Gilbert, G.K., 1914, The transportation of debris by running water, USGS, Prof.
- (18) Davis, W.M., 1884, Gorges and waterfalls, Am.Jour.Sci., Vol.28.
- (19) Davis, W.M., 1889, The geographical cycle, Geogr.Jour., XV.
- (20) Johnson, D.W., 1931, Stream structure on the Atlantic slope, New York.
- (21) Bryan, K., 1940, The retreat of slopes, Assoc.Amer.Geog.Ann., Vol.30.
- (22) Cotton, C.A., 1958, Geomorphology, London.
- (23) Hjulstrom, F., 1935, Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyris, Univ. of Upsala Geol.Inst.Bull, Vol.25.
- (24) Sundborg, A., 1956, The river Klaralven—a study of fluvial processes, Geogr.Ann, Vol.38.
- (25) Horton, R.E., 1945, Erosional development of streams and their drainage basins, Geol.Soc.Amer.Bull, Vol.56
- (26) Strahler, A.H., 1952, Dynamic basis of geomorphology, Geol.Soc.Amer.Bull, Vol.63.
- (27) Schridegger, A.E., 1968, Horton's law of stream number, water Resources Research, Vol.4.
- (28) Shreve, R.J., 1966, Statistical law of stream numbers, Jour.Geol, Vol.74.
- (29) Strahler, A.N., 1964, Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks, in handbook of applied hydrology, Chow Wen-te (ed) .
- (30) Woldenberg, M.J., 1966, Horton's laws justified in terms of allometric growth and steady state in open systems, Bull.Geol.Soc.Amer., Vol.77
- (31) Mackin, J.H., 1948, Concept of the graded river, Geol.Soc.Amer Bull., Vol.59.

- [32] Chorley, R.J., 1962, *Geomorphology and general system theory*, Geol. Surv. Prof. Paper, 500-B, Washington.
- [33] Howard, A.D., 1965, *Geomorphological system equilibrium and dynamics*, Am. Jour. Sci., Vol. 263.
- [34] Schumm, S.A. et al, 1965, *Time, space and causality in geomorphology*.
- [35] Leopold, L.B., 1964, *Fluvial processes in geomorphology*.
- [36] Howard, A.D., 1972, *Problems in interpretation of simulation models of geologic processes*, in *Quantitative geomorphology*, edited by Morisawa.
- [37] Маккавеев, Н.И., 1978, *Экспериментальная геоморфология*. Выпуск 3.
- [38] Scheidegger, A.E., 1970, *Theoretical geomorphology*.
- [39] Brush, L.M. et al, 1960, *Knickpoint behavior in noncohesive material, a laboratory study*, Bull. Geol. Soc. Amer., Vol. 71.
- [40] Russell, R.J., 1942, *Geomorphology of Rhone delta*, Ann. Ass. Am. Geogr. Vol. 32.
- [41] Shirley, I.V., 1966, *Deltas in their geologic framework*.
- [42] Bonham-Carter, G.F. et al, 1967, *Diffusion and settling of sediments at river mouths: A computer simulation model*, Trans. Gulf. Ass. Geol. Soc., Vol. 17.
- [43] Harbaugh, J.W. et al, 1970, *Computer simulation in geology*.
- [44] Chorley, K.J., 1969, *Water, earth and man*.
- [45] Chitale, S.V. 1973, *Theories and relationships of river channel patterns*, Jour. Hydrology, Vol. 19.
- [46] Mollard, J.D., 1973, *Fluvial processes and sedimentation*.
- [47] Langbein, W.B., and Leopold, L.B., 1966, *River meander theory of minimum variance*, U.S. Geol. Surv. Prof. Paper, 422-H.
- [48] Yang, C.T. et al 1971, *Unit stream power in dynamic river System*, in *Fluvial Geomorphology*, Morisawa (ed) , 1973.
- [49] Morisawa, M.E., 1968, *Streams, their dynamics and morphology*.
- [50] Schumm, S.A., 1972, *Experimental study of channel patterns*, U.S. Geol. Soc. Amer. Bull, Vol. 83, No. 6.
- [51] Schumm, S.A., 1973, *Geomorphic threshold and complex response of drainage system*, *Fluvial geomorphology*, Morisawa (ed) , 1973.
- [52] Coates, D.R. et al, edited, 1980, *Thresholds in geomorphology*, The Binghamton. Symposia in geomorphology, international series.
- [53] Leopold, L.B. et al, 1962, *The concept of entropy in landscape evolution*, U.S.G.A. Prof. Paper, 500-A.
- [54] Cooke, R.U., 1970, *Remote sensing of terrestrial environment principles and progress*, Trans. Inst. Br. Geographers, 50.

ON ATTEMPT TO STUDY THE PROGRESS OF RIVER GEOMORPHOLOGY IN THE FOREIGN COUNTRIES

Shen Yuchang Cai Qiangguo

(Institute of Geography, Academia Sinica)

Abstract

This paper deals with in brief the progress of river geomorphological researches in foreign countries in four stages as follows:

1) About one or two thousand years ago, that was in the embryonic stage, the Greeks, the Romans and the Arabs had already known some phenomena in river geomorphology.

2) During the second stage, in the Renaissance and the 18th century, rivers and their erosion were widely studied by many scholars from European countries, because of the development in hydraulic engineering. In the 1800's, studies on different stages about the development of river geomorphology began. The embryo of quantitative approach emerged as the time required. Lomonosov proposed a conception of interaction between endogenic and exogenic forces, and F. Hutton advanced that theory of river erosion. They have made important contributions.

3) In the third stage study of river geomorphology was on the upgrade. In the 19th century a lot of scholars proved that stream erosion is one of the most important factors which sculpture the landforms on the earth surface and criticized the Diluvialism for landform formation. The development of waterways promoted the study of river geomorphology in Russia. In the meantime, the requirement of exploiting the west U.S. developed the theory of river erosion rapidly and took the lead in studying it. Davis Erosion Cycle theory became a classical one in studying river erosion.

4) From the 20th century on, a new stage in studying river geomorphology has come. Introduction of knowledge about fluvial dynamics and hydraulics and application of the mathe-physical methods have influenced the study of river geomorphology widely and deeply, have given the classical theory more precise physical meaning, and thus have promoted the study of river geomorphology by quantitative methods. All the factors, such as Horton's drainage network theory, Machin's "graded" conception, experimental study and mathematical simulation, deeper study of river valley, establishment of different models about delta developing and study of formation and change of river patterns from different angles have all made great progress in recent study of river geomorphology.

Finally, some modern techniques and methods are also discussed, all of which will open up the way to a bright future for the study of river geomorphology.