

国外干旱区河流地貌研究综述

冯 起

(中国科学院兰州冰川冻土研究所冻土工程国家重点实验室 兰州 730000)

李振山 陈广庭

(中国科学院兰州沙漠研究所 兰州 730000)

摘 要 国外学者对干旱河流地貌的研究可划分为: 干旱河流地貌研究的初级阶段、发展阶段、模拟阶段和微观理论深入阶段。近半世纪以来, 国外干旱河流地貌研究的主要进展有: 研究领域扩大, 向模拟试验和定位研究方向发展, 与水利工程、综合开发以及其它生产建设密切结合。

关键词 干旱区河流地貌 国外 进展

分 类 中图法 P931

全球有潮湿的地表和潮湿的人口分布在干旱地区^[1], 而干旱地区影响人类生产和生活的许多自然因素和环境变迁是与水的作用分不开的。水是塑造干旱区地表过程的最活跃的因子, 河流地貌与河流过程是水流作用直接的结果。因此, 分析和研究河流过程是揭示干旱地区环境变化的重要方面。

人类对地表形态的研究约始于公元 5 世纪。1890 年地貌学一词的提出, 加速了人类对地貌的形成和演化的研究进程, 特别是后来对广大干旱地区流水作用形成的丰富多样地形的实地调查, 取得了有关河流地貌形成和演化的初步结论, 促进了地貌学理论的发展。近半个世纪以来, 科学技术的发展和研究手段的提高, 促进了干旱区河流地貌理论的进一步完善。随着现代生产和建设的需要, 干旱河流地貌的研究将会更积极地为人类实践活动服务。

1 干旱区河流地貌研究的萌芽阶段 (11 世纪初 ~ 19 世纪 20 年代)

人类对河流的研究很早就开始了。11 世纪阿拉伯学者阿费森纳 (Avicenna) 首先认识到流水在塑造地貌过程中的重要作用, 认为山地的形成是流水刻蚀作用所致^[2]。16 世纪阿格里拉 (Agricola) 进一步指出, 深谷是由河流切割而成。18 世纪初, 航空技术的发展使地貌学家有条件对干旱地区进行长期的大范围调查, 为本世纪干旱区河流地貌理论的形成奠定了基础。18 世纪中叶, 罗蒙诺索夫首先提出了地貌形成的内外营力相互作用的概念^[3], 这一地貌学基本概念的建立有力地推动了河流地貌的研究。1795 年霍顿 (Horton) 明确指出河流是侵蚀地表的最活跃的营力, 并提出了在一个流域内支流数目向下游逐渐减少的规律^[4]。美国学者普莱费尔 (J. Playfair) 证实了霍登的理论, 并认识到一条河流随着流速、流

量的变化,其坡降也在作相应调整^[5]。

在对干旱地区尤其是美国西部的大规模考察基础上,鲍威尔(Powell)和吉尔伯特(Gilbert)等确认河谷是河流本身刻蚀形成的^[6,7]。吉尔伯特了解到河流能进行自我调整以保持平衡,河流上、下游的泥沙沉积量与搬运量密切相关,盆地河流中泥沙来源于上游的坡积物。他的平衡概念是指河流泥沙搬运量与淤积量之间的平衡,并提出河流是一个有机整体,部分变化会影响到整个河流的变化。

纽伯里(Newberry)在分析干旱区河谷系统后指出,河流对地表的侵蚀具有持久性,干旱地区开阔的山谷系统和谷坡陡壁是由流水作用长期侵蚀形成的^[8,9]。海登(Hayden)首次提出“景观”的概念,并指出在干旱区水是破坏台地的主导因素,而水又受气候因子影响^[10]。1873年马文(Marvine)认为侵蚀面是由冰川或河流侵蚀基岩构造产生的一个平缓地面^[11]。达顿(Dutton)进一步解释了剥蚀面与侵蚀基准面的差异,并给出了侵蚀基准面以下河流不发生侵蚀的理论^[12,13]。美国人帕瑟(Passer)分析了河流系统的发育与气候和高山冰川进退有关。1898年戴维斯总结了前人的成就,提出了侵蚀循环学说^[14],开创了流水地貌研究的新局面,使干旱区河流地貌理论发生了质的飞跃。他的理论影响了美国甚至全世界地貌学家的思想达数十年之久。

2 干旱区河流地貌理论形成、发展阶段(19世纪20年代~20世纪80年代)

进入本世纪,随着水利工程和河道整治工作的需要,干旱区河流地貌的研究逐渐转移到为生产建设服务上来。

2.1 关于河道特征与河流水系之间的内在联系

本世纪50年代以来,斯特拉勒(Strahler)等进一步发展了霍顿的理论,并将其与物理学原理联系起来^[15]。美国地质调查队的学者研究了河床几何形态与流量之间关系,把传统的“均衡”概念与水流和河流形态之间的关系定量化^[16,17],指出在干旱区河流系统中,河宽、流速与沉积量之间呈指数关系。由于干旱区河流蒸发和下渗作用大,沿程损失量大,上游悬移质在中下游大量淤积。在干旱地区水系网中,河流级别与河长、流量、流域面积、河道坡度密切相关,即霍顿的河流数目定律、长度定律和面积定律。该理论体现了一条河流的干流和支流处于一个简单的可预测的关系之中^[18]。

以上的理论说明河流及其支流是一个统一的整体,彼此相关,相互依赖,处于“能量平衡”和“动力均衡”的过程,从而得出河流的调整作用不依时间而转移,修正了戴维斯的“均衡”是一个历史产物的概念。

2.2 关于河道变化

河道为适应环境的演变,其内部的变量在不断的调整。舒姆(Schumm)认为河流的流量、水深、曲流波长与水量呈正相关关系,而流量、水深、曲流波长与河道的比降呈负相关关系;气候环境的变化决定了干旱区河道水量的变化和河道的演变^[19]。某些干旱地区现代河道仍遗存古河道的一些遗迹^[20]。他在分析里尔里纳(Riuerine)古河道时发现现代河道的宽深比、比降均比古河道的小,且具有与现代环境相适应的河道弯曲度和分选较好的淤积物^[21],说明古河道的河床呈宽浅型,河岸发育不好。现代河道的发育具有一定的继承性,所以可根据古河道的某些遗迹,采用数学方法,推算古河道的流量和比降^[22],进而了解古

河道所处的环境。

干旱沙漠地区的山谷冲积层特征可以反映出古冰期河流的侵蚀与堆积变化特征^[23]，古河道的特征是与一定的气候条件相联系的。干旱地区，地表粗糙度小，植被较少，河道两岸或河道内松散堆积物较多，加之河道的流量与坡降突然增大，会使河道的侵蚀和搬运能力大大增加，加速山谷谷底的侵蚀作用，使山谷逐渐加深，如此时河流流量又突然减少，就会在下游地区形成干谷。山区河流中螺旋流是不十分明显的^[24]，所以山地河谷的弯曲主要是由于支流向沟谷侵蚀岸坡所致。有人认为由于上下游坡度的差别，山区河流的裂点一直向上游移动^[25]，但实验证明裂点向上游移动到一定距离就会消失。舒姆于 1963 年提出用进化论来解释地貌的变化过程，但他过多地强调平衡之间的过渡，没能从本质上对河流过程进行分析^[26]。

该阶段的干旱区河流地貌理论主要有半平衡状态理论、时空结合理论、河网定律和距离下降理论。

3 干旱区河流地貌模拟理论发展阶段 (本世纪 80 ~ 90 年代)

1980 年第一届国际地貌委员会成立，标志着干旱区河流问题被提到一个极其重要的议事日程之上，干旱区河流地貌的研究随之发生了一次质的飞跃。

3.1 主要论点

3.1.1 关于干旱区河流流量特征 干旱区洪水的水文过程具有瞬变的特征，水文过程线陡降陡落，垂直变化较大，体现了洪水的水文过程具有激流的特性，但这种变化过程是短暂的。里德 (Reid) 在特克纳 (Turkana) 地区观察洪水过程线时指出，干旱地区由于河床组成松散和蒸发量较大，使洪水水量损失大，河水容量大大减少^[27]。格尔车 (Gulch) 在 10.9km 的沟谷中模拟洪水时发现，单次洪水过程中水量损失达 57%。索思 (Thornes) 在西班牙模拟河道水量变化时指出：干旱区河流在平水期流速慢，水量损失也很大^[28]；当水流沿程损失增加时，总水流量随流程增大呈指数下降；流入水量与损失水量之间的平衡关系将沿程改变，具有时空变化的特征^[29]。干旱区河流水量随季节发生强烈的变化，并在不同的流经地区，河水流量出现不同的变化趋势，因此模拟干旱地区整个河流过程是很困难的，但在一个有限河段上模拟则是可行的^[30]。同时可由河道的沉积特征即沉积物的厚度、硬度、韵律、年代和颜色确定当时河道的几何形态、洪水量和比降^[31]。

3.1.2 关于河流沉积物的模拟 洪水能强烈地搬运河流沉积物。干旱地区存在较厚的松散沉积物，植被盖度较小，河岸相对不稳定，水流又相对集中，所以在洪水期河流能大量地搬运河床沉积物，使下游河道淤积作用加强^[30]。干旱区河道的淤积量主要取决于洪流量与其集中程度^[32]。索思和希克 (Schick) 在纳格夫 (Negev) 沙漠模拟小集水区悬浮物的运动时指出，洪水过程中中等颗粒可优先沉积，一个有效的河流水深能加强洪水中物质的垂直交换^[33]。

干旱区河流中河床沉积量与坡度关系不密切，而与洪水流量关系较好^[34]，如果干旱区的坡积物较多，就说明干旱地区的河流作用较弱。

3.1.3 关于河系发育特征 通过对河道的流速、河道水动力及其影响因子的分析，总结出对干旱区河道过程可采用四个方面进行说明：①河网密度。由于干旱区河床物松散、河

岸较不稳定、突发性暴雨多,河道变迁的机率大,可产生密集的河网^[35]。②河道发育不完整。干旱区河水量易变,加上地形的影响,使河道发育不完整且较短^[33],容易产生众多的不连续沟谷和悬沟。③河道不断调整。干旱环境的变迁引起河道不断调整。布朗(Brown)描述干旱区河流时说:冬季降雨可产生不可忽视的水流和河床物的搬运,使河道宽度增加和河床下切;夏季降雨使河流含沙量提高和增强河床碎屑物的搬运,并对河道进行侵蚀和填充^[36],这种连续的调整是气候影响河道的具体表现。④系统理论在河网分析中的运用。干旱地区沉积系统中沉积物的搬运与淤积具有空间的不连续性和开放性,上、下游的水量和悬移质含量有继承性和关联性,河道的水头损失与河道的长度有密切关系^[37]。

3.1.4 关于洪水 格拉夫(Graf)认为干谷的形成是由于大流量,较集中的洪水作用的结果。但贝克(Baker)认为干旱地区洪水更大程度是影响河道形状、河床沉积物、河道宽度以及台地的形成^[38]。短期的洪水流能使河流地貌发生巨大的变化,平水期的水流又可对已形成的河流地貌进行修饰。格拉夫进一步指出:流量特征是影响干旱区河流系统的主要因素;河流流量从高能(洪水)转变为低能(平水期)时,河型由分叉型转变为曲流型,河型的这种转化主要通过洪水流量和河道坡度之间的调整来完成^[39]。

3.1.5 关于河道变化 由于在河道系统中,河型的转化是为适应所处的环境而作的调整,所以研究河道变化对了解河道本身所处的环境条件是很有价值的。从河道系统的变化规律可推测当时的环境变迁;对短小河流的模拟可推测复杂的水网形成的外在环境条件,从而认识河道及干旱河流系统所处的环境演变历史^[40]。

3.1.6 关于河流刻入 气候变暖,河道植被减少,河床流量的增加均可使山谷加快嵌入。模拟刻入实验时发现,上游水位大于谷底水位时,可导致谷坡的增加和最终河流的刻入^[41]。气候对河流刻入的影响具有区域性,而河谷本身的特性又具有局地意义,即河流首先在气候影响下发生刻入,进而在河流本身的水力作用下完成河岸的下跌和山谷的侵蚀^[42]。

3.2 基本理论

在干旱区河流和河流地貌形成的系统中,研究河流过程必须综合考察时、空变化,从环境与河流本身之间的相互作用来分析河流过程。

研究长时间大范围的河流过程时,可以从河流系统的动力与阻力之间的动态平衡的角度出发。但干旱与半干旱地区,许多河流地貌的过程是很短暂的,不可能达到相对稳定的平衡状态,所以速率规则(即描写由一个状态到另一个状态的快速变化)就能较好地描述干旱区河流过程和状态。

河网定律和距离下降理论使地貌学家能解释干旱区河网与湿润区河网的差异性。有人认为河流系统是由地质构造决定的,确切地说应该是由构造运动、气候变迁和海平面波动及其本身系统的各要素综合决定的。在干旱区河流系统中,随河流的流程增加,沿程泥沙搬运量减少,呈现耗散状态。

干旱河流系统调整较快,当某一要素超过河流系统的临界值时,稳定的河流系统也会发生激剧变化,且具有突变性。干旱区暴雨降落在有限的区域上,很容易使河道在较短的时间内发生变迁和改变其河道特性。

统计方法的应用是把干旱河流特征参数作为随机变量,从而使河流系统参数作为随机变量的模拟试验研究得到加强^[43]。

河床中阻力与动力的相互调整,使河型发生巨大的变化,即在一定的坡度下,增加流

量可使河型由曲流型转变为游荡型，在一定流量下，增加坡度也可使河型由曲流型转变为游荡型^[44]。

4 干旱区河流微地貌研究深化阶段 (90 年代以来)

随着河道整治工作的需要，近年来干旱区河流地貌的研究工作主要集中在探讨河流微地貌的变化与输沙量大小之间的关系。河流地貌变化与沉积物的搬运量之间存在着内在联系，所以可从河床地貌和河流微地貌的变化来推算干旱区河流中输沙量的大小。河流中泥沙的沉积和搬运是一个复杂的过程^[45~47]，把与沉积有关的水动力的规律理想化是不科学的。在典型地区对定河长定周期微地形的测量和微地貌变化的研究，比单纯测量输沙量的方法更准确。河流地貌与输沙量之间关系以及河流地貌对水动力因子的影响是通过研究沙波、深槽和浅滩等微地貌进行的^[48~50]。浅滩与深槽相互制约，可通过一个负相关方程来表达。河流粗捷力和剪切力与河底地貌关系密切^[51]，输沙量的变化随水流的变化而波动^[52]。研究河流微地貌的变化以及河道弯曲系数与水动力关系，可求得固定河段内，河流侵蚀与沉积之间转化的水流量临界值。

通过以上各阶段的总结，可看出国外干旱区河流地貌的研究正沿着紧密地为生产服务，为河道治理和充分合理地利用水资源服务的方向迈进，其理论水平及研究的方法手段正逐步提高。

参 考 文 献

- 1 Cooke R U. Brunsten D and Doornkamp J C. Urban geomorphology in drylands. Oxford Un. Press, 1982
- 2 Holmyard E J et al. Avicennae de Congelatione et Conglutinatione lapidum. Paris, Librairie Orientaliste. 1922
- 3 沈玉昌等著. 河流地貌学概论. 北京 科学出版社, 1986, 10~12
- 4 Hutton J. Theory of earth. roofs and illustration. Edinburgh Press, 1795
- 5 Playfair J. Illustrations of the Huttonian theory of the earth. Edinburgh, 1802
- 6 Powell J W. Exploration of the Colorado river of the west Washington. Reprinted in 1957 by University of Chicago and University of Cambridge, 1875
- 7 Gilbert G K. Report on the geology of the Henry mountains. Washington, 1877
- 8 Newberry J S. Colorado river of the west. Am. J. sci. 33: 387~403. 1861
- 9 Newberry J S. Geological report of the exploring expedition from Santa Fe, New Mexico. U.S. Gov. Printing off, Washington, DC, 1876
- 10 Hayden. Notes descriptive of some geololigical section of the county about the headwaters of the Missouri and Yellowstone Rivers. Bull. U.S. Geol. Surv. Terr. 2: 197~209. 1876
- 11 Marvin A R. The stratigraphy of the east slop of the Front Range. U.S. Geogr. Geol. Surv. Washington DC, 1874
- 12 Dutton C E. Tertiary history of the Grand canyon Region. Geol. Surv. Mongr. 2. 1882b
- 13 Dutton C E. The Physical geology of the Grand Canyon District. U.S. Geol. Surv. 2nd. Annu. Rep: 47~166. 1882a
- 14 Davis W M. The geology cycle. Geog. Jour., Vol. 14. 1899
- 15 Strahler A N. Dynamic basis of geomorphology. Geo. Soc. Am. Bull. Vol. 63. 1952
- 16 Leopold L B. and Miller J P. Ephemeral streams - hydraulic factors and their relation to the drainage net. U.S. Geol. Surv. Prof. 282- A: 36. 1956
- 17 Leopold L B. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. USGS Prefessional

- paper: 252. 1953
- 18 Horton R E. Erosional development of stream and their drainage basins. *Geol. Soc. Bull.* Vol. 56. 1945
 - 19 Schumm S A. The shape of alluvial channels in relation to sediment type. *USGS Pro. Pap.* 352B. 1960
 - 20 Schumm S A. Quaternary paleogydrology. In *wright H. E. Jr. Fleg DG. Princeton Univ. Press: 795 ~ 806.* 1965
 - 21 Schumm S A. River adjustment to altered hydrologic regimen-*Murrumbidgee River and Paleo-channels.* Australia. *US. Geo. Sur. Pro:* 598. 1968
 - 22 Schumm S A. Geomorphic thresholds and complex response of drainage system. *Fluvial system. SUNY Bingham - ton:* 299 ~ 310. 1973
 - 23 Haynes Jr G V. Geochronology of Late-Quaternary alluvium. *See means of correlation of Quaternary successions, U - niversity of Utah Press.* 1968
 - 24 Scheidegger A E. Theoretical geomorphology. *Prentice- Hall. Englewood Cliffs. N.T., 2nd.* 1970
 - 25 Brush L M et al. Knickpoint behavior in moncohesive material a laboratory study. *Bull. Geol. Soc. Amer., Vol. 71.* 1960
 - 26 Schumm S A. Sinuosity of alluvial rivers on the Great Plains. *Geol. Soc. Am. Bull.* 74: 1089 ~ 1100. 1963
 - 27 Reid I. Flow dynamics and Suspended sediment properties in arid zone flash floods. *Hydrological processes,* 1: 239 ~ 253. 1987
 - 28 Thornes J B. Channel Changes in ephemeral streams: Observations, problems and models. *See Gregory: 317 ~ 350.* 1977
 - 29 Guilk L. Regional geography. *Geogr.* 2: 296 ~ 310. 1977
 - 30 Thornes J B. Structural instability and ephemeral channel behaviour. 36: 233 ~ 44. 1980
 - 31 Baker V R et al. Adjustment to Quaternary climate change by the Colorado River in central Texas. *Jour. Geo.* 85: 395 ~ 422. 1977
 - 32 Schick A P. Desert foods: Interim results of observations in the Nahal Yael research watershed. *Southern Israel, 1965 ~ 1970 IASH UNESCO Symposium:* 478 ~ 93. 1970
 - 33 Schick A P. Vertical exchange of coarse bedload in desert streams. *See Frostick Reix: 7 ~ 16 Warren. A., 1985, Arid geomorphology. Progress in Physical Geograpy.* 9: 434 ~ 41. 1987
 - 34 Warner R F et al. Channel changes in the Georges river between 1959 and 1973/76 and their implications, *Report No. 4. Public Works Dept Survey. Univ. of Syney.* 1978
 - 35 Cooke R U. Desert Geomorphology. *UCL Press.* 1993
 - 36 Brown R A. The flow in the planetary boundary layer. *See Brookfield Ahlbrandt: 291 ~ 310.* 1983
 - 37 Abrahams A D. Stone movement on hillslopes in the Mojave Desert. *California: A 16-year record. Earth Surface Process and Landforms.* 9: 365 ~ 70. 1984
 - 38 Graf W L. Downstream changes in stream power in the Henry Mountains. *Utah, Annals of the AAG.* 733: 373 ~ 87. 1983_a
 - 39 Graf W L. Definition of flood plains along arid region rivers. *See Flood geomorphology. V R Baker. R C Kokel and P C patlon(eds), 213 ~ 42. Chichester, England, John Wiley, 1983_b*
 - 40 Herford R. Climate and ephemeral stream processes. *Twentieth century geomorphology and alluvial stratigraphy of the Little Colorado River.* 1984
 - 41 Antevs E. Arroyo cutting and filling. *Journal of Geology.* 60: 375 ~ 85. 1952
 - 42 Handley R F. Some concepts of erosional processes and sediment yield in a semiarid environment. *See Erosion, T. J. Toy(ed), 78 ~ 82. Norwich: Geobooks.* 1977
 - 43 Schumm S A. Experimental study of channel Patterns. *US. Geo. Soc. Amer. Bull.* Vol. 83. No. 6. 1972
 - 44 Graf W L. The development of montane arroyos and gullies. *Earth surface Processes,* 4: 1 ~ 14. 1979_b
 - 45 Hoey T. Temporal variations in bedload transport rates and sediment storage in gravel- bed rivers. *Progress in Physical Geography,* 16: 319 ~ 338. 1992
 - 46 Ferguson R I and Ashworth P J. Patial Patteres of bedload transport and channel change in braided and near-

braided river. in Bill, P., Hey, R.D., Thorne, C.R. and Tacconi, P. (ED), Dynamics of Gravelbed Rivers. Wiley, Chichester: 477 ~ 496. 1992

47 Goff J and Ashmore P E. Gravel transfer rates and morphological changes in braided Unwapta River. Alberta. Canada, Earth Surface Process and Landforms, 19: 195 ~ 212. 1993

48 Martin Y and Church M. Bed material transport estimated from channel surveys. Earth Surface Processes and Landforms, 20: 347 ~ 361. 1995

49 Carling P A. An appraisal of dominant discharge applied to two gravel-bed streams in relation to channel stability thresholds in arid region. Earth Surface Processes and Landforms, 13: 355 ~ 367. 1991

50 Clifford N J and Richards K. The reversal hypothesis and the maintenance of riffle pool sequences, A review and field appraisal. In Carling, P. A. and Petts, G (ED), Lowland Floodplain Rivers. Wiley, Chichester: 43 ~ 70. 1992

51 Carling P A. Imitation of flow over pool- riffle topography: A consideration of the velocity reversal hypothesis. Earth Surface Process and Landforms, 19: 319 ~ 332. 1994

52 Nakamura F. Administrating analysis based on chronological changes in hillslope and riverbed morphologies. Earth Surface Processes and Landforms, 20: 336 ~ 346. 1995

ARID FLUVIAL GEOMORPHOLOGICAL
DEVELOPMENT OF ABROAD

Feng Qi

(State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, LIGG, CAS Lanzhou 730000)

Li Zhengshan Cheng Guangting

(Lanzhou Institute of Desert, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

After analysing the development of arid fluvial geomorphology abroad with many foreign works, the article summarizes that arid fluvial geomorphological research can be divided into four stages: initial research stage of arid fluvial geomorphology, theoretical developmental stage, modelling theoretical developmental stage and the stage from macrostudies to microstudies. At last it illustrates present arid fluvial geomorphological development abroad, and the main advances are as below: field study of fluvial geomorphology is widely spreading, the degree of study is more profoundly, spot field experiment and modelling study are enhanced and connected with water conservancy researches. Also it proves that the present theory can serve agricultural production and industrial production.

Key words arid fluvial geomorphology, abroad, development

作者简介

冯起, 男, 1966 年 3 月生, 博士。毕业于陕西师范大学地理系, 现在中国科学院兰州冰川研究所博士后流动站工作。从事干旱区环境与水文研究。发表“塔克拉玛干北部环境变迁”、“西北干旱地区水资源现状问题及对策”、“塔克拉玛干沙漠石油公路风沙环境演变”等 30 余篇论著。