

HUANGHE SHUISHA BIANHUA QINGSHIXIA DE
SHUI YU GONGCHENG ANQUAN BAOZHANG

黄河水沙变化情势下的 水与工程安全保障

黄河水利科学研究院 黄河青年联合会 编



黄河水利出版社

国家自然科学基金资助项目(51209102、51479080)和
国家科技支撑计划课题(2012BAB02B01)

黄河水沙变化情势下的水与 工程安全保障

黄河水利科学研究院
黄河青年联合会 编

黄河水利出版社
· 郑州 ·

内 容 提 要

本论文选集涉及河流泥沙与防汛、水资源节约与综合利用、水生态保护与修复、水土保持、重大水工程建设与安全等内容。

本书可供从事水利水电科学技术研究的技术和管理人员、高等院校的师生等参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

黄河水沙变化情势下的水与工程安全保障/黄河水利科学研究院,黄河青年联合会编. —郑州:黄河水利出版社,2016.4

ISBN 978-7-5509-1394-3

I. ①黄… II. ①黄… ②黄 III. ①黄河-河流泥沙-文集 IV. ①TV152-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 066894 号

组稿编辑:贾会珍 电话:0371-66028027 E-mail:110885539@qq.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:河南承创印务有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:17.75

字数:410 千字

印数:1—1 000

版次:2016 年 4 月第 1 版

印次:2016 年 4 月第 1 次印刷

定价:52.00 元

编辑委员会

主任委员 杨 勇

副主任委员 李书霞 曹永涛

委 员 (以姓氏笔画为序)

马 涛 于守兵 王军涛 邓春蕾

王嘉仪 田世民 申震洲 刘 慧

李 涛 张 楠 张 雷 李军华

张廷毅 李姝昱 肖培青 何鲜峰

金 锦 岳瑜素 夏润亮 党素珍

景 明 董国涛 窦身堂 赖瑞勋

前 言

随着气候变化和人类活动的不断加剧,黄河流域水沙情势发生了明显变化,尤其自1997年以来,黄河实测径流量、输沙量急剧减少,给黄河治理开发带来重大影响,已成为世人关注的热点。为适应新常态下治黄事业快速发展的需要,搭建治黄科技工作者交流的平台和沟通的桥梁,为青年科技工作者奋发成才、脱颖而出创造良好的环境,黄河水利科学研究院于2015年9月24、25日在河南郑州召开第三届黄河博士论坛暨第九届黄河水利科学研究院青年学术讨论会,本次会议的主题是流域水沙变化情势下的黄河水安全保障。

本届论坛得到了水利青年科技工作者的积极响应,共收到论文50多篇,经评审,共收录31篇论文。本论文集分为5个部分:河流泥沙与防汛(9篇)、水资源节约与综合利用(5篇)、水生态保护与修复(5篇)、水土保持(6篇)、重大水工程建设与安全(6篇)。这些论文集中反映了近年来治黄科研青年工作者的新成果、新观点和新思路。

黄河水利委员会人事劳动局、国际合作和科技局及黄河青年联合会对第三届黄河博士论坛高度重视,给予了极大的鼓励,承办单位对博士论坛给予了大量的人力、物力、财力等方面的支持。为此,向所有关心和支持论坛的领导、专家、论文作者、工作人员表示深深的谢意。

由于编辑出版本论文集的工作量大、时间仓促,书中难免有不妥之处,欢迎广大读者批评指正。

本书编辑委员会

2016年2月

目 录

河流泥沙与防汛

有限控制边界下游荡型河道调整研究的相关科学问题

- 李军华 江恩惠 张向萍等(3)
- 冲积河流线性理论在黄河河道调整适用性初探 余 康 李军华 王远见(12)
- 凌汛期槽蓄水增量过程模拟研究 张防修 余 欣 张晓丽(18)
- 乌兰布和沙漠风沙特征及入黄量研究 田世民 郭建英 尚红霞等(32)
- 冲积性河流河槽迁移改道演化机制及临界条件的研究进展
..... 张向萍 江恩惠 李军华(45)
- 利用支流蓄水冲刷拦门沙坎试验研究 蒋思奇 张俊华 马怀宝等(53)
- 黄河下游塑槽输沙需水量计算公式的聚类分析 林 旭 王远见 李昆鹏(61)
- 碎冰堆积过程的扩展多面体离散元数值分析 刘 璐 张宝森 季顺迎(67)
- 小浪底库区深层淤积泥沙颗粒组成及重金属含量初步分析
..... 郑 军 姬秀明 丁泽霖(74)

水资源节约与综合利用

- 黄河上游水库群多目标优化调度研究 赵 焱 王明昊 董增川等(83)
- 黄河流域水汽输送状况变化分析 时芳欣 田治宗 李书霞(97)
- 泾河流域植被格局时空演变规律及其对环境要素的响应
..... 党素珍 程春晓 温斯钧等(104)
- 基于 MIKE SHE 的灌区水循环适用研究 常布辉 张会敏 王军涛(115)
- 农田排水沟渠氮循环生态动力学模拟初探 李强坤 马 强 宋常吉等(128)

水生态保护与修复

- 城市屋面雨水径流污染物变化特征研究 陈伟伟(141)
- 裂隙介质地下水中 NAPL 污染的生物修复试验研究 ... 谈叶飞 卢 斌 谢兴华(148)
- 沟渠水体流速对非点源氮、磷污染物截留效果分析研究
..... 胡亚伟 李强坤 宋常吉(156)
- 渭河流域陕西段潜流带水化学特征分析研究 张 楠 章 博 陈孝田(163)
- 浅谈黄河下游水生态现状的解析 吴玉娇 苏乃华(170)

水土保持

2015 年 5 月 24 日郑州地区天然降雨雨滴特性分析

- 申震洲 姚文艺 温朋利等(177)

黄丘区典型流域植被结构参数与地表径流的关系	… 吕锡芝 焦雪辉 孙 娟等	(183)
融合机载 LiDAR 与影像的土壤侵蚀监测方法研究	…… 郭 林 袁占良 许 颖	(190)
水蚀风蚀交错区土体抗剪强度特性研究	…………… 郭文召 刘亚坤 徐向舟	(197)
基于 MODIS 遥感产品的 2000 ~ 2013 年黄河流域植被结构特征时空变化分析	…………… 王志慧 姚文艺 左仲国等	(204)
伊洛河流域水土流失治理状况及建议	…………… 王国重 屈建钢 刘香君等	(218)

重大水工程建设与安全

高韧性抗冲击环氧树脂砂浆性能	…………… 李贵勋 张 雷 杨 勇	(225)
碳纳米管/硅灰对水泥基复合材料力学性能的影响	…………… 刘 慧 李树慧	(230)
超声编码信号检测方法研究	…………… 李长征 冷元宝	(238)
高水位运作下土坝劈裂灌浆浆液固结机理的耦合效应分析	…………… 武 科	(248)
黄河泥沙在煤矿绿色开采和塌陷区生态重建中的应用研究	…………… 杨 勇 郑 军 丁泽霖	(259)
基于 DIC 的 FRP - 混凝土黏结界面直剪试验研究	… 张 雷 雷 冬 杨 勇等	(266)

河流泥沙与防汛

有限控制边界下游荡型河道调整研究的相关科学问题

李军华^{1,2} 江恩惠¹ 张向萍¹ 张 杨¹

(1. 黄河水利科学研究院 水利部黄河泥沙重点实验室, 郑州 450003;
2. 河海大学, 南京 210098)

摘 要 游荡型河流是天然河流中常见的河型, 现有的河床演变学所研究和描述的对象多为天然游荡型河道。然而, 随着河流开发程度的增强, 对河道具有约束作用的工程越修越多, 工程实践已迫切需要对有限控制边界作用下游荡型河道的演变规律有深入的认识。本文全面论述了与冲积河流调整相关的河相关系、不同边界下河道调整过程、冲积河流线性理论的研究现状及发展动态, 并在此基础上指出研究有限控制边界下游荡型河道的调整机理需解决以下科学问题: ①水沙变化与有限控制边界对河道调整的耦合效应; ②河道断面自调整数理分析中断面形态假定问题; ③游荡型河道与单一河道输沙特性的差异问题等。对这些问题的深入研究, 不但有助于加深对游荡型河道河床演变规律的认识, 而且对于河道调整趋势预测、河道整治等具有重要的理论意义。

关键词 游荡型河道; 有限控制边界; 人工约束; 线性理论

Scientific issues related to river channel adjustment of the wandering river based on the partly controlled boundaries

Li Junhua^{1,2} Jiang Enhui¹ Zhang Xiangping¹ Zhang Yang¹

(1. Key Laboratory of Yellow River Sediment Research of the Ministry of Water Resources, Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003;
2. HoHai University, Nanjing 210098)

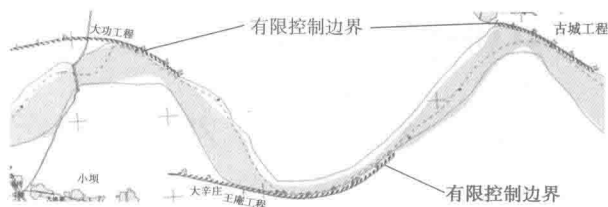
Abstract In nature, the wandering river is one of the most common river patterns. Nowadays, all the studied and described wandering rivers in the fluvial process are about the natural ones. However, the more the rivers are developed, the more river regulation engineering would be built. So, there is an urgent need for us to have an in-depth understanding of wandering rivers fluvial process laws within the partly controlled boundaries. In this paper, researches on the issue of

hydraulic geometry related to adjustment of fluvial rivers, channel adjustment process with the different boundary, the alluvial river linear theory will be reviewed. And then on this basis, three key scientific issues will be raised to explore the wandering river adjustment mechanism within different controlled boundaries. The first is interconnection effect between channel adjustment and water-sediment changement within different controlled boundaries. The second is sectional shape assumption in the mathematical analysis of channel section self-adjustment. The last is difference of sediment transportation between single channel and wandering channel. The further study on these issues is not only helpful to deepen the understanding of wandering rivers fluvial process, but also is of significant theoretical practical values in prediction of river channel adjustment trend and the development of river regulation.

Key words wandering river; partly controlled boundaries; artificial constraints; alluvial river linear theory

1 引言

游荡型河流是天然河流中常见的河型之一,广泛存在于世界各地。如黄河下游孟津至高村河段、汉江中游的丹江口至皇庄河段、南亚的布拉马普特拉河、北美的红狄尔河等^[1]。游荡型河道不仅有着独特的地貌特征,而且有着极其复杂的演变特点,给两岸防洪及工农业生产带来不利影响^[2]。为了满足人们对水资源的需求和用地的不断增加,我国河流在过去 60 年发生了显著改变。随着大坝的不断修建,水沙过程发生了巨大变化;同时更需要关注的是,随着近十几年河流开发利用程度的增强,依据游荡型天然河道演变规律,以兼顾大洪水排洪输沙和中小洪水河势稳定控制为目的,在河道凹岸交替修建了一些河道整治工程,原有天然(或约束相对较弱)的河道边界逐步演变为由河道整治工程与天然河岸共同组成的软硬边界,这种边界既不同于单纯由水沙运动塑造的天然河道也不同于完全由人为工程修建的渠化河道,而是有限控制边界下的河道,如图 1 所示。



(a) 黄河下游局部河段



(b) 黄河下游河道整治工程

图 1 有限控制边界下的河道

河道演变与水沙运动及边界条件关系密切。水沙过程与边界条件的改变,往往致使河道也相应地发生大幅度调整,给防洪、引水及河流治理带来许多新的问题。譬如,小浪底水库运用后,黄河下游局部河段仍存在严重影响防洪工程及滩区村庄居民安全的畸形河湾,房屋甚至掉入河中,见图 2(a);2013 年黄河下游花园口河段河道的调整,主流在原来郑州白庙水厂花园口取水点位置处向北移了 2 km,致使 2013 年 11 月底至 2014 年 1 月取水泵站无法正常引水,郑州市半城只能降压供水,见图 2(b);三峡水库蓄水后,长江局

部河段中枯水河床也发生调整,分汊放宽段大量洲滩的生成导致中游多处出现严重碍航问题^[3-4],见图2(c);美国密西西比河各支流水库下游的河道^[5-6]、埃及阿斯旺大坝以下的尼罗河河道^[7]、丹江口大坝下游的汉江河道调整等也引发许多问题^[8]。



图2 河道调整对防洪、引水、航运等影响

有限控制边界的约束使得河道调整规律更为复杂,目前对于其调整机理与过程的认识主要还是以经验统计为主,调整过程的物理解释与调整结果的准确预测在理论上亟待突破^[9-10]。本文在梳理国内外研究现状的基础上,对这一方面研究的科学问题做一探讨。

2 国内外研究现状及发展动态分析

冲积河流调整的结果是力求塑造一定的河道形态,使来自上游的水量和沙量能通过下游河段下泄,河流保持一定的平衡^[11],研究中通常由河宽、水深、比降、弯曲度等因子确定的河道形态来表征,河床演变过程中这些因子有时共同调整,而有时单个或几个因子发生调整,使得河流在不同地域展现出不同的平衡河道形态;在河道调整过程中,水流作用于河床,使河道发生变化,河道变化又反过来影响水流结构,它们相互影响、相互制约,一直处于变化发展过程中^[12]。因此,河道调整过程是多因素交织耦合的复杂过程。关于河道调整及过程的研究,多集中于河相关系、不同边界条件下河道调整过程、冲积河流线性理论等相关内容。

2.1 河相关系的研究

河相关系是指冲积河流通过自动调整作用达到平衡时,其纵剖面、断面形态与流域因素之间的某种定量关系。利用河相关系开展河道调整规律研究已有近百年的历史。早期的研究多为经验统计法,1895年Kennedy首先提出了最早的经验公式^[13],Lacey^[14]源自稳定灌溉渠道的大量实测资料提出了较为完整的均衡理论公式,Leopold和Maddock^[15]将均衡理论用于美国河流,建立了含有断面和沿程水力几何关系的水力几何形态模型。基于经验统计法建立的河相关系大多数情况下与河流的实测资料极为接近,表明挟沙水流与河道断面形态相互作用能够使河流达到稳定平衡状态,成果得到了工程应用;但是由于研究统计的区域有限,往往只适用于资料的来源区,且方法本身不能表征河相关系式的物理意义。

近期,河相关系理论研究可以归结为探索第四封闭方程的问题。因为,河相关系模型中有4个未知数(河宽、水深、流速和比降),却只有已知的三个方程,即水流连续方程、水流运动方程及输沙方程,导致了方程组不封闭,寻求额外的独立方程成为了河相关系理论研究的切入点。众多研究方法中,可以分为两种:第一种是稳定性理论,以Parker^[16]等的

研究为代表,其方法是将河床边界划分为许多微小单元,然后对这些微小单元的剪切力与单元形态之间的相互作用进行受力平衡分析,再对这些宏观形态效应进行积分求解;第二种是极值假说,即通过引入一个极值假说作为第四个独立方程,与水流连续方程、水流运动方程、输沙方程闭合求解,这一假说主要有水流功率最小、最小能耗率、水流能耗率极值假说、最大熵原理、仙农熵等,以 Chang^[17]、White^[18]、倪晋仁^[19]、黄才安^[20]、拾兵^[21]等的研究为代表。稳定性理论和极值假说的引入有助于从理论上探讨河相关系第四个封闭方程并为之提供清晰的物理意义,直接或间接地反映了河床与河岸抗冲性的相对关系。但是,稳定性理论求解过程极为复杂,仅能对特定地点的河流平衡断面形态进行求解。极值假说的求解过程直观简单,必要时可借助计算机迭代计算进行求解,但是其缺点是难以准确地直接推导出令人信服的极值学说的物理表达式。

此外,我国许多学者还基于黄河、长江等河流实测资料,分析了河相关系的调整规律。例如,胡春宏等^[22]通过研究黄河下游不同洪水的冲淤规律,发现河相系数 ξ 是涨水增加、落水减小;潘贤娣等^[23]、陈建国等^[24]分析大量原型资料发现河相关系的变化与各河段河槽和河岸控制条件密切相关;陈立等^[25]等对丹江口和三峡工程下游河道断面调整的研究结果也支持了这一结论。

2.2 不同边界条件下河道调整过程

河道边界是河床演变塑造出的结果,同时又反作用于水流影响河床演变。天然河流不同河岸的抗冲性本身存在着一定的差异,加之人为修建河道工程使得边界约束更多,致使河道调整过程更为复杂。由于河道边界调整过程的复杂性以及原型观测资料的限制,众多学者大多通过自然模型或概化试验,开展不同边界下河道调整规律。

Friedkin^[26]利用室内模型小河对弯曲型河流的形成和演变进行了试验研究。尹学良^[27]利用在边滩植草及在大水中加入黏土的方法,把边滩固定下来,塑造弯曲河流,并对河流成因和造床试验进行研究,发现河床相对抗冲性增大后,初期形成的弯曲型河道切滩不断发生逐渐变为游荡型。金德生^[28]采用过程响应模型的水槽试验表明,河道的边界条件,尤其是河漫滩的物质结构和组成,对河流发育及河道调整有极大的影响。许炯心^[29]通过游荡型河道清水冲刷自然模型试验,认为河道断面形态调整可分三个阶段,并给出了游荡型河道冲刷与展宽的相对关系与动态过程。倪晋仁^[30]概化水槽试验表明,由初始顺直开始发展的河流,都无一例外地或迟或早经过流路弯曲直至形成边滩交错的弯曲型河流的发展阶段,在这个阶段以后,如果边滩稳定发育,则保持弯曲型河流,否则河流切滩形成游荡型河流。陈立等^[31]也开展了自然模型试验,与许炯心开展的试验相比,床沙组成粗、初始河床比降小、水流强度小,表明顺直型河道在清水冲刷时将朝着宽浅方向发展,弯曲型河道水流的纵横向动量之比趋向和谐稳定。杨树青和白玉川^[32]也运用自然模型法通过室内试验成功塑造了天然小河,并研究了不同初始河流几何边界条件以及水流条件对河流演变的影响,表明流量对河流展宽幅度影响最大,受边界条件影响,河流向下游演变具有滞后性及曲率变化的传递等特点。

上述自然模型试验,直观地给出了河道调整过程,但研究中河道两岸边界条件多为自然可动河床,而现行河道内修建的大量整治工程,为河床演变提供了不同程度的有限控制条件,特别是单侧修建工程,造成河道两岸可动性差异较大,河道调整的过程更为复杂。

2.3 冲积河流线性理论

模拟试验在一定程度上揭示了河流调整的过程,为探索河床演变的非线性演化特征提供了直观的研究方法。近期,许多学者在理论上对游荡型河道调整过程也进行了大量的研究,提出了许多成果,如王光谦^[2]、胡春宏等^[22]、吴保生等^[33]、江恩惠等^[34]、白玉川等^[35]、夏军强等^[36-37]。其中,Huang 和 Chang^[38]建立的冲积河流线性理论有一定的代表性,为认识河道的非线性调整提供了一种新途径和方法。

不同于以往寻求额外第四个封闭方程研究河相关系的方法,Huang 和 Nanson^[39]提出了将河道宽深比引入到已知的三大水流运动方程中以减少自变量数目的数理分析方法,认为在河流水动力方程中隐含着两个等价的极值条件,即河流输沙能力最大与水流能耗比降最小。在流量、比降和泥沙组成给定的情况下,水流输沙能力可完全由过水断面形态参数(宽深比)来决定,河流输沙能力最大时与其对应的宽深比具有唯一解,也就是说输沙能力最大是河流达到稳定平衡的条件。

Huang 等^[40]在分析了水流动能与势能相互转化规律的基础上,发现水流运动在能量转换过程中存在着一种特殊的平衡状态,可以称为流体静态平衡。由于明渠水流大多数情况下都要偏离这一状态,据此提出了将冲积性河流划分为动态平衡、静态平衡及非平衡状态,当河流处于静态平衡时,河道断面有唯一解,水流将呈现线性特征。

Huang 和 Chang^[38]进一步研究发现对于有泥沙输移的冲积河流处于静态平衡时,剪切力和宽深比也存在线性关系,由这种线性关系不仅得出的理论渠道几何形状与以往广泛接受的经验公式得出的结果十分接近,还给出了一个无量纲参数 H (剪切力的增量与宽深比的增量之比),当 H 为 0.3 时,河流处于静态平衡,并基于这一发现建立了冲积河流线性理论。通过这一理论表明:

(1) H 在河流自动调整中的作用与弗劳德数 Fr 在定床明渠水流中的作用类似,即与定床明渠水流中以势能为主导的缓流($Fr < 1$)、以动能为主导的急流($Fr > 1$)和以总能量为最小的临界流($Fr = 1$)三种状态相对应,冲积性河流存在着以侧向输沙为主导的宽浅流($H < 0.3$)、垂向输沙为主导的剪切流($H > 0.3$)和总能耗最小的临界流($H = 0.3$)三种状态。

(2) 水流也总是在这三种状态之间调整,这就为河道可能调整的方向或方式预测提供了理论依据。水流不是从 $H < 0.3$ 向 $H > 0.3$ 的状态过渡,就是从 $H > 0.3$ 状态调整到 $H < 0.3$ 的状态,中间经过 $H = 0.3$ 的状态,并在 $H = 0.3$ (静态平衡)时具有线性特征。

(3) H 的提出为天然河流自动调整过程的模拟提供了合理的相似比尺。

(4) 此外,理论中还发现决定这一线性特征的条件是河流输沙方程与阻力方程存在有紧密联系,并在修正梅叶-彼得输沙率公式的基础上提出了适用性更强的输沙力公式。

冲积河流线性理论对于冲积河流河道的调整具有很强的适应性,已在顺直型河流^[41]及分汊型河流^[42]的河道调整中得到了较好的应用。

3 研究中存在的不足

目前对河道调整相关研究成果很多,研究手段各具特色,假说、理论丰富多彩,推动了学科发展,但成果尚存在以下不足之处:

(1) 河流受到的人工控制边界的约束越来越强,而对河岸两侧可动性不对称边界的水力几何形态调整规律及过程的研究以及有限控制边界对河道几何形态调整的影响研究还很少,耦合河道有限边界与水沙条件共同开展游荡型河道调整规律的研究更少。

(2) 以往围绕河相关系开展的断面几何形态调整研究更多侧重于几何形态的调整结果,缺乏其调整机理与过程的研究;黄河清基于变分原理提出的河道断面形态自动调整的数理分析方法,为河流几何形态的调整机理的研究提供了一种新方法,较以往研究在理论上有一定突破,但是其数理分析过程中将河流过水断面几何形态简单地概化为矩形,与天然河流的断面形态有一定的差异。

(3) 冲积河流线性理论为深入认识河道非线性的演变机理提供了新途径,但是这一理论仅对顺直及分汊河道的调整机理与过程给出了清晰的物理解释,而在游荡型河流中却没有得到足够的重视与应用。

4 急需进一步深入研究的相关科学问题

在以上分析的基础上,本文提出以下科学问题应开展进一步的深入研究。

(1) 水沙变化与有限控制边界对河道调整的耦合效应。

随着河流的开发利用程度增强,河流受到的边界约束也越来越多,河道调整需要考虑有限的工程(硬边界)与抗冲性较弱的天然河岸(软边界)共同影响。“有限控制边界”是对河道治理工程进行概括抽象的一个新概念,水沙过程和有限控制边界虽然是两个独立的因素,但它们对河道演变的作用是紧密相关的。因此,研究水沙变化与边界约束共同作用下的河道调整及演变也是河床演变学科的难点与关键科学问题。

因此,在今后的研究过程应基于精细的模型试验,并结合理论及原型具体河段的工程分析,首先固定单侧河道工程、变化水沙条件,研究有限控制边界下水沙对河道调整的影响;然后,在模型中布设不同密度的河道工程,重点研究软硬边界及不同密度的边界对河道调整的影响,揭示不同控制边界下游荡型河道调整机理与过程。

(2) 河道断面自调整数理分析中断面形态假定问题。

冲积河流线性理论为深入认识河流形态自调整机理提供了新方法,但河道断面形态在自动调整数理分析方法中假定为矩形,与天然游荡型河流有一些差异,会导致数理分析与天然实际情况的不符。

因此,进一步的研究中可首先通过黄河下游实测断面资料初步建立不同水沙变幅下河道断面形态的判别式;其次基于模型试验成果分析输沙平衡时工程弯道处的断面形态及出弯道后自由段的断面形态,将这一断面形态代替原数理分析方法中的矩形形态;再次,采用变分方法,推导分析,构建适应于游荡型河道自调整的数理分析方法;最后,将计算成果与原型实测资料及模型试验成果对比分析,检验该方法在游荡型河道调整中的适应性。

(3) 游荡型河道与单一河道输沙特性的差异问题。

河道形态调整与河流输沙有着紧密的关系,而游荡型河流输沙特性较单一河道要复杂得多,这也成为了制约游荡型河道调整预测的难题和关键科学问题。

对于这一问题的解决,可首先借鉴冲积河流线性理论,研究有限控制边界下游荡型河

流弯道及工程出流自由段河道断面形态可能对河道输沙的影响,再通过黄河、渭河等大量河道平面形态、水沙资料的检验,寻求理论结果与原型实际的差别;重点分析水沙变幅、河岸抗冲性等因素所带来的影响,分析不仅有助于完善冲积河流线性理论,而且会进一步深化对游荡型河道输沙机理的认识。

5 结语

河道边界既是河床演变的结果,又反过来影响河道调整过程。现在大多数河流都受到了软硬边界共同的约束,而这种约束不同于天然河流也不同于完全渠化的河流,而是“有限控制边界”条件。以往研究更多地聚焦于水沙变化与河床演变的关系,而开展有限控制边界与水沙变化共同作用下河道调整机理的研究还很少。在今后的研究中,应注重开展水沙变化与“有限控制边界”对河道调整的耦合效应、河道断面自调整数理分析中断面形态假定问题、游荡型河道与单一河道输沙特性的差异问题等科学问题的研究。

此外,游荡型河流由于其输沙量大、河势调整迅速,通过加入“有限控制边界”条件,河道输沙平衡时弯道工程及下游自由段河道断面的形态是衔接游荡型河道输沙与断面形态塑造的关键点,模型试验测量及研究中应给予特别关注。

参 考 文 献

- [1] 谢鉴衡. 河流泥沙工程学[M]. 北京:水利出版社,1981.
- [2] 王光谦,张红武,夏军强. 游荡型河流演变及模拟[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [3] 江凌,李义天,葛华,等. 荆江微弯分汉浅滩的水沙输移及河床演变[J]. 武汉大学学报,2008,11(4):10-19.
- [4] 姚仕明,黄莉,卢金友. 三峡与丹江口水库下游河道河型变化研究进展[J]. 人民长江,2011,42(5):5-10.
- [5] Harmar O P, Clifford N J. Plan dynamics of the Lower Mississippi River[J]. Earth surface processes and Landforms,2006,31:825-843.
- [6] Smith L R, Winkley B R. The response of the Lower Mississippi River to river engineering[J]. Engineering Geology, 1996,45:433-455.
- [7] 曹文洪. 阿斯旺大坝的泥沙效应及启示[J]. 泥沙研究,1998(4):79-85.
- [8] 许炯心. 中国江河地貌系统对人类活动的响应[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [9] 王光谦,胡春宏. 泥沙研究进展[M]. 北京:中国水利水电出版社,2006.
- [10] 韩其为. 对我国河流泥沙基础理论创新研究方向的几点看法[C]//第七届全国泥沙基本理论研究学术讨论会论文集. 西安:陕西科学出版社,2008.
- [11] 倪晋仁,张仁. 河相关关系研究的各种方法及其间关系[J]. 地理学报,1992,47(4):368-375.
- [12] 钱宁,张仁,周志德. 河床演变学[M]. 北京:科学出版社,1987.
- [13] 周志德. 20 世纪的河床演变学[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2003,1(3):226-231.
- [14] Lacey G. Stable channels in alluvium [C]//Proceedings of the Institution of Civil Engineers. London: William Clowes and sons Ltd., 1930, 229:259-292.
- [15] Leopold L B, Maddock T Jr. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implication [C]// US Geological Survey Professional Paper, 252. Washington, D C: United States Government Printing Office,1953:1-57.

- [16] Parker G. Hydraulic geometry of active gravel rivers[J]. Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 1979, 105, 1185-1201.
- [17] Chang H H. Fluvial processes in river engineering [M]. John Wiley and Sons, Inc. 1988.
- [18] White W R, Bettess R, Paris E. Analytical approach to river regime[J]. Journal of the Hydraulics Division ASCE, 1982, 108, 1179-1193.
- [19] 倪晋仁, 张仁. 河相关系的物理实质[J]. 水文, 1991(4): 1-6.
- [20] 黄才安, 周济人, 赵晓冬. 基本河相关关系指数的理论研究[J]. 泥沙研究, 2011(6): 55-58.
- [21] 拾兵, 王燕, 杨立鹏, 等. 基于仙农熵理论的河相关关系[J]. 中国海洋大学学报, 2010, 40(1): 95-98.
- [22] 胡春宏, 陈建国, 郭庆超, 等. 黄河水沙调控与下游河道中水河槽塑造[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [23] 潘贤娣, 赵业安, 李勇, 等. 三门峡水库修建后黄河下游河道演变[C]//黄河三门峡水利枢纽运用研究文集. 郑州: 河南人民出版社, 1994: 99-159.
- [24] 陈建国, 周文浩, 陈强. 小浪底水库运用十年黄河下游河道的再造床[J]. 水利学报, 2012, 43(2): 127-135.
- [25] 陈立, 鲍傅, 何娟, 等. 枢纽下游近坝段不同类型河段的再造床过程及其对航道条件的影响[J]. 水运工程, 2008(7): 109-114.
- [26] Friedkin J F. A Laboratory Study of Meandering of Alluvial Rivers[R]. Rep. Mississippi River Comm. U. S. Waterway Exp. sta. 1945.
- [27] 尹学良. 河型成因研究[J]. 水利学报, 1993(4): 1-11.
- [28] 金德生. 边界条件对曲流发育影响过程的响应模型试验[J]. 地理研究, 1986, 5(3): 12-21.
- [29] 许炯心. 水库下游河道复杂响应的试验研究[J]. 泥沙研究, 1986(4): 50-57.
- [30] 倪晋仁. 不同边界条件下河型成因的试验研究[D]. 北京: 清华大学, 1989.
- [31] 陈立, 张俊勇, 谢葆玲. 河流再造床过程中河型变化的实验研究[J]. 水利学报, 2003(7): 42-51.
- [32] 杨树青, 白玉川. 边界条件对自然河流形成及演变影响机理的实验研究[J]. 水资源与工程学报, 2012, 23(1): 1-5.
- [33] 吴保生, 马吉明, 张仁, 等. 水库及河道整治对黄河下游游荡型河道河势演变的影响[J]. 水利学报, 2003(12): 12-20.
- [34] 江恩惠, 曹永涛, 张林忠, 等. 黄河下游游荡型河段河势演变规律及机理研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [35] 白玉川, 冀自青, 徐海珏. 窄深型河湾多尺度紊流拟序结构动力稳定与自适应特征研究[J]. 中国科学: 技术科学, 2012, 42(11): 1264-1273.
- [36] 夏军强, 王光谦, 吴保生. 平面二维河床纵向与横向变形数学模型[J]. 中国科学(E辑), 2004, 34: 165-174.
- [37] 夏军强, 王光谦, 张红武, 等. 河道横向展宽机理与模拟方法的研究综述[J]. 泥沙研究, 2001(6): 71-78.
- [38] Huang H Q, Chang H H. Scale independent linear behavior of alluvial channel flow[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 132(7), 721-730.
- [39] Huang H Q, Nanson G C. Hydraulic geometry and maximum flow efficiency as products of the principle of least action[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2000, 25: 1-16.
- [40] Huang H Q, Nanson G C, Fagan S D. Hydraulic geometry of straight alluvial channels and the variational principle of least action-Reply[J]. Journal of Hydraulic Research, 2004, 2(2), 19-22.