

黄河下游

赵连军 谈广鸣 韦直林 江恩惠 张红武 著

HUANGHE XIAYOU

HEDAO YANBIAN YU HEKOU YANBIAN

XIANGHU ZUOYONG GUILÜ

YANJIU

河道演变与河口演变

相互作用规律研究



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

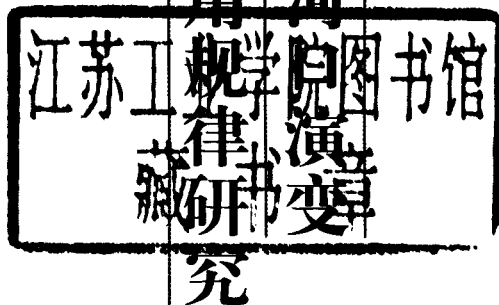
黄河下游

赵连军 谈广鸣 韦直林 江恩惠 张红武 ● 著

HUANGHE XIAYOU
HEDAO YANBIAN YU HEKOU YANBIAN
XIANGHU ZUOYONG GUILÜ
YANJIU

河道演变与河

相互作用



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书详细分析了黄河下游河道与河口演变特性,对河道动床阻力、悬移质泥沙与床沙交换规律等基本问题开展了理论研究,建立了黄河下游河道演变与河口演变耦合水沙数学模型,并通过实测资料分析与数学模型计算系统地分析了河道演变与河口演变的相互作用,提出了河口淤积延伸与反馈影响动态响应关系等多项新成果,是一部涉及河流动力学、河床演变学、河流模拟技术、河口海岸动力学等学科的科技专著。

本书可供广大治黄工作者、河流泥沙研究人员及大专院校有关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

黄河下游河道演变与河口演变相互作用规律研究/赵连军等著. —北京:中国水利水电出版社, 2006
ISBN 7-5084-4026-9

I. 黄... II. 赵... III. ①黄河—下游河段—河道演变—研究②黄河—下游河段—河口—演变—研究
IV. TV882.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 100571 号

书 名	黄河下游河道演变与河口演变相互作用规律研究
作 者	赵连军 谈广鸣 韦直林 江恩惠 张红武 著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 13 印张 309 千字
版 次	2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	35.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究



序

黄河下游 800 多 km 悬河横跨于中华腹地的华北平原，黄河洪水随时处于凌空而下之势，成为中华民族的心腹之患。防止和抵御黄河洪水为患，过去、现在和将来都是黄河治理中的首要任务，同时也是整个国家和民族的大事情之一。科学地分析黄河下游河道演变规律，为黄河治理提供可靠的科技资讯，是我们水利科学研究工作者的一项神圣任务。

河流学基本原理告诉我们，河口条件是影响河床演变的三大要素之一。黄河河口演变对黄河下游河床演变的影响程度远大于世界上其他任何一条河流，这主要因为黄河是世界上输沙量最大的河流，黄河河口以惊人的速度不断淤积延伸，不停地调整下游侵蚀基准面，显著地影响着河流纵比降。而另一方面，黄河下游的河床演变也直接影响着进入河口地区的水沙过程，从而影响河口的演变。

过去 2000 多年里，黄河下游河道“三年两决口”，在给中华民族造成沉重灾难的同时，客观上也为减缓河道淤积和减少输入河口地区的沙量起着很大的制衡作用。这种状态已经一去不复返了。今后黄河下游河道演变与河口演变的关系将会变得越来越密切、越来越复杂。因此，黄河下游河道演变与黄河河口演变相互作用规律的研究是一个极富现实意义又极富挑战的课题。

人们对上述两者相互作用关注的重点是后者对前者的影响，争论的焦点是黄河口淤积延伸和流路变迁对其上游河道反馈影响程度如何，目前分歧仍然很大。本书作者以水动力学水流泥沙数学模型作为主要研究工具，将各种主要因素置入模型之中，对它们之间的相互作用及其后果做了系统的动态的模拟，使研究结果更具理论支撑，更能揭示事物的内在联系。特别值得赞赏的是，本书详细论述了黄河口 1976 年改走清水沟流路至 1996 年清 8 改汴前行河的 20 年，河口改道对其上游河道的减淤影响范围及河口延伸对其上游河道的增淤影响范围；首次提出河口延伸反馈影响距离增长分两个阶段，第一阶段以河口地形条件影响为主，河道

地形条件影响为次，第二阶段以河道地形条件影响为主，河口地形条件影响为次。同时指出黄河下游两岸大量引水与河口流路改道变迁的共同作用，是导致近年来高村—艾山河段平滩流量为全下游最小的主要原因。这些颇具创新性的研究成果，对治黄生产具有直接的指导意义。

此外，本书作者在建立和应用水沙数学模型过程中，对某些构建和计算参数的处理方法颇有创意和建设性。譬如，作者提出的悬移质泥沙与床沙粒径的基本方程、黄河下游河道动床阻力计算公式、含沙量及悬沙组成沿河宽分布公式等，不但满足了封闭模型的需求，又有一定的理论基础，也为实测资料所印证。这些工作对促进数学模型在黄河治理实践中的应用具有重要的作用，对水沙数学模型的发展也不无积极意义。

该书研究的课题是黄河治理研究中极具现实意义和前瞻性的。作者的研究方法有所创新又切合实际。书中内容丰富，从研究手段、论证过程到结论都有不少独到之处。书中的某些探索研究，对促进学术发展、引导后续工作也有一定的借鉴作用。本书的出版对于人们认识黄河下游河道与河口的相互作用关系具有重要参考意义，也将对黄河下游河道与河口综合治理开发产生深远的影响。

中国工程院院士

韩其为

2006年7月15日



前言

黄河是世界上输沙量最大的河流，年均超过 10 亿 t 的巨量泥沙进入下游后，形成了以桃花峪为顶点的巨大淤积三角洲，在很短的时间里淤积塑造出了广袤的华北平原。自 2000 多年前黄河下游出现系统的堤防工程起，黄河下游河道和三角洲演变态势被彻底改变。黄河水所挟带的巨量泥沙一部分淤积在两岸堤防所夹的窄长河道里，大部分被送至河口。年均数亿吨的泥沙在大堤内淤积，使下游迅速形成地上悬河，河口泥沙的大量淤积，使得河道快速延伸，比降变缓，水流输沙能力降低，从而加剧河床的淤积抬升。

2000 多年来，黄河下游堤防三年两决口，给中华民族造成了巨大的灾难。然而，每一次决口或改道都会给下游淤积“卸荷”，减缓或暂时中止河床的抬升，同时也会减少进入河口的沙量，减缓或暂时中止河口的延伸。自从人民治黄以来，黄河下游大堤已有 50 多年伏秋大汛不决口。从社会发展的趋势看，黄河下游大堤决口的机会将越来越小，人工改道也是越来越难以实施。与此同时，河道整治工程和各种河道减淤措施都会逐步加重输沙至河口的分量，另一方面，由于河口地区经济的迅速和持续发展，使得河口流路的安排变得愈加困难与复杂。两者共同作用将会加快河口的延伸速度，从而使河口演变对整个黄河下游河床演变影响的分量加重。总而言之，随着黄河治理力度的不断加大和人类相对活动的加强，黄河下游河床演变与黄河河口演变之间的相互作用将会愈加密切。

黄河下游河道演变和河口演变影响因素繁多，各种因素之间的相互作用极为复杂。河口演变主要是通过淤积延伸和流路变迁改变河流的侵蚀基准面来影响黄河下游河道的演变的。而在黄河口淤积延伸和流路变迁对下游河道反馈影响的问题上，目前许多学者意见不一，作者对现有的研究成果进行了认真的总结分析后认为，过去各家由于受研究手段的限制，无法理清各个因素的作用，更不能全面地分析各个因素之间的各

种关系，切入点不同，结论也就各不相同。黄河口为弱潮陆相河口，从长时段看，因进入河口沙量很大，河口演变主要表现为流路的淤积延伸与改道，两者交替发展形成了目前的黄河口三角洲。黄河下游河道演变与河口演变的一个重要特点是，其受上游来水来沙条件变化的影响非常大，河床（包括河口）冲淤变形调整非常剧烈，这一点是其他任何河流也不可比拟的。例如，有的改道初期上游来沙量很大，其作用掩盖了改道溯源冲刷的发展，造成改道影响不大甚至没有影响的假象。因而，单纯的不全面的实测资料分析往往不能获得正确的认识。本书研究的主要特点之一，就是在黄河水沙输移基本规律理论研究的基础上，建立较全面反映各因素之间相互关系的水动力学泥沙数学模型，并运用该模型对黄河下游河道与河口冲淤演变之间的关系以及来水来沙对它们的影响作系统的、定量的研究。

本书共分八章，第一章介绍了本书研究的目的、意义、国内外研究进展和研究思路；第二章分析研究了黄河下游水沙与河道演变特性及河道阻力、含沙量和悬沙组成沿河宽分布规律等；第三章分析研究了黄河口径流水沙、海洋动力、三角洲演变与流路演变特征，提出了河口流路延伸长度与径流来沙的关系；第四章从理论上探讨并建立了悬沙与床沙级配计算公式、悬沙与床沙交换方程及有关要素的计算公式；第五章建立了黄河下游河道演变与河口演变耦合水沙数值模型，并采用多组水沙系列进行了系统检验；第六章研究了黄河下游河道冲淤演变与来水来沙的关系、水沙与边界变化及沿程引水对河道冲淤演变的影响规律，并对未来冲淤演变进行了预测；第七章论述了黄河下游河道与河口相互作用关系，研究了水沙条件变化对河口延伸影响，及1976~1995年清水沟流路改道与延伸对黄河下游河道演变影响，探讨了河口延伸反馈影响范围变化规律；第八章为全书研究结论。

在本书的论述中，引用了很多相关参考文献，在此谨向这些文献的作者表示谢意。

鉴于黄河来水来沙及下游河道与河口演变规律的复杂性，书中有些内容仍有待于在今后的工作中得到充实、完善或修正。同时，由于笔者学识有限，错漏难免，衷心希望广大读者批评指正。

笔者

2006年3月

目 录

序 前言

第一章 绪论	1
第一节 研究意义	1
第二节 研究现状述评	2
第三节 研究思路	9
参考文献	10
第二章 黄河下游水沙变化与输移规律研究	13
第一节 黄河下游河道概况	13
第二节 黄河下游河道水沙变化分析	15
第三节 黄河下游河道冲淤演变分析	20
第四节 黄河下游河床阻力特性研究	29
第五节 黄河下游悬移质含沙量及悬沙组成沿河宽分布规律研究	36
参考文献	44
第三章 黄河河口变迁与演变分析研究	46
第一节 黄河河口流路变迁与三角洲演变	46
第二节 黄河河口海洋动力特性	49
第三节 黄河河口来水来沙特征	51
第四节 神仙沟流路河口演变分析	53
第五节 刁口河流路河口演变分析	54
第六节 清水沟流路河口演变分析	56
参考文献	66
第四章 黄河悬沙与床沙级配及其交换规律研究	68
第一节 研究现状述评	69
第二节 泥沙级配计算研究	78
第三节 冲积河流非恒定挟沙水流悬沙和床沙交换规律	85
第四节 悬沙粒径沿垂线分布规律研究	92
第五节 悬沙和床沙交换计算方法研究	98
参考文献	104

第五章 黄河下游河道演变与河口演变耦合水沙数值模型研究	106
第一节 模型原理与数值解法	106
第二节 悬移质泥沙和床沙交换规律计算方法的检验	112
第三节 黄河下游河道演变与河口演变耦合水沙数值模型的验证	119
第四节 黄河下游河道演变与河口演变相互作用规律研究计算方案	148
参考文献	149
第六章 水沙与边界变化对黄河下游河道冲淤演变影响研究	151
第一节 黄河下游河道冲淤演变与来水来沙的关系	151
第二节 水沙条件变化对黄河下游河道冲淤演变及沿程分布影响研究	153
第三节 黄河下游河床边界条件变化对河道冲淤演变影响研究	157
第四节 黄河下游沿程引水引沙对河道冲淤演变影响研究	163
第五节 黄河下游未来冲淤演变预测	168
参考文献	172
第七章 黄河下游河道演变与河口演变相互作用规律研究	174
第一节 黄河下游河道与河口相互作用关系	174
第二节 水沙条件变化对清水沟流路河口延伸影响研究	177
第三节 1976~1995年河口改走清水沟对黄河下游河道演变影响研究	178
第四节 1976~1995年清水沟流路延伸对黄河下游河道演变影响研究	184
第五节 河口延伸反馈影响范围变化规律研究	186
第六节 来水来沙条件变化后河口延伸与其反馈影响关系的调整研究	191
参考文献	194
第八章 结论	195

第一章 绪 论

第一节 研究意义

黄河是中华民族摇篮，在历史发展的长河中，黄河造就了民族精神与品格，孕育了光辉灿烂的民族文化与文明，创造了 25 万 km^2 的黄淮海大平原。

黄河自桃花峪以下干流为下游，河道长 786km，落差 94m，流域面积 2.3 万 km^2 ，较大入黄支流有天然文岩渠、金堤河及大汶河三条^[1]。黄河下游河道是在长期排洪输沙的过程中淤积塑造形成的，河床普遍高出两岸地面，是海河与淮河流域的分水岭。其中，利津以下为黄河河口段，且随着黄河入海口的淤积—延伸—摆动，入海流路相应改道变迁。黄河下游现行河道是清咸丰五年（1855 年），河决河南兰考铜瓦厢三堡，改道夺大清河形成的^[2]。

黄河水沙主要来源于中、上游地区，但灾害多发生在下游。进入下游的水少沙多，水沙搭配不合理，使河道淤积严重。河口的不断延伸，抬高了黄河下游河道侵蚀基准面，更加剧了河道的抬升速度，给黄河下游防洪带来了巨大压力。

新中国成立以来，黄河口先后发生了 1953 年神仙沟、1964 年刁口河、1976 年清水沟三次大的人工改道，河长在一段时间内缩短，下游的局部河段淤积速度相对减慢，这一段的防洪压力临时得到缓解。但因上游来沙量大，河口延伸速度快，河口改道所带来的优势很快被河口延伸所削弱，仍不能改变河床持续抬升的局面。

目前黄河滩区有耕地 25 万 km^2 ，村庄 2071 个，人口 181 万。在黄河滩区与黄河口三角洲地下，有丰富的油气资源，是我国重要的产油区。黄河下游大洪水，不仅对两岸的淮、海流域产生巨大威胁，还会对滩区居民生活及正常生产造成巨大影响。1996 年 8 月洪水，花园口洪峰流量仅 7860 m^3/s ，相当于该站洪峰流量的多年平均值，但黄河下游很多河段突破历史最高洪水位，大量洪水漫滩行洪，多处险工及控导工程出险，滩区受灾严重，直接经济损失巨大。

与治黄历史发展同步，黄河下游河道演变与河口演变相互作用规律问题也一直受到历代治黄工作者广泛关注。长期以来，进行了大量研究，取得了卓有成效的进展，并提出了许多有代表性的主张与观点。特别是新中国成立以后，伴随着三门峡水库运用方式研究与黄河三角洲地区的开发，国家投入了大量的人力物力开展专题研究工作，并获得了多项科研成果，使人们在黄河下游冲淤演变基本规律、近期黄河口三次人工改道后的河口演变规律等基本问题的认识上，达成很多共识，并在黄河治理规划与水资源合理开发利用中发挥了重要作用。但受研究手段的局限，现有结论多建立在对现有实测资料分析的基础上，由于资料不系统、不全面，加之各家对实测资料类比分析的手段与方法有所区别，每个人的衡量标准有所差异，因此提出的定量数据差别很大，给治黄生产应用时的科学决策带来了

困难。

黄河下游河道与黄河口是不可分割的整体,两者演变影响因素很多,规律非常复杂,其既受上游来水来沙的影响,又受自身边界条件的制约,河道演变与河口演变又相互作用。黄河下游河道长 700 多 km,河道槽蓄与冲淤调整,将改变进入黄河口的水沙过程,影响黄河口的演变;河口演变又会改变黄河下游河道的侵蚀基准面,影响河道的水沙输移。

黄河下游河道演变与河口演变相互影响范围有多大,是一直困扰广大治黄工作者的难题,又是科学制定黄河下游河道治理与河口治理规划的关键问题之一,也是确定黄河中游水库规划建设与调度原则的重要参数之一。

受气候变化与上中游水库运用的影响,加之黄河上中游用水量增大,进入黄河下游的水量逐渐减少。随着我经济的迅猛发展,黄河下游两岸需水量也不断加大,导致两岸引水量占来水量的比例大幅度提高,同时黄河下游河道与滩区边界条件也发生了明显改变,这些变化对黄河下游河道演变与河口演变规律会造成多大影响,长期影响效果如何,也是急需回答的问题。

1999 年 10 月,小浪底水库投入运用。通过小浪底水库、三门峡水库、故县水库及陆浑水库联合运用,可将黄河下游防洪标准由 60 年一遇提高到近千年一遇^[3]。特别是通过小浪底水库拦沙,进入黄河下游的泥沙在近年内将会大幅度减少,河道整体上在近年内一般不再淤积抬升^[4],这为黄河下游河道及河口治理提供了前所未有的机会。但随着治黄事业的蓬勃发展,需要科研回答的问题越来越多,而且要求精度也越来越高。目前对黄河下游河道演变与河口演变相互作用规律的认识已不能满足生产要求。近期黄河下游河道中出现了许多新的现象与问题,有些还无法得到系统全面地解释,影响了相应对策的制定与实施,使治黄工作在有些问题上处于被动局面。

近几十年来,随着计算机与数值模拟方法的不断进步,河流泥沙数学模型的发展非常迅速,模拟计算精度也有了很大提高,许多模拟计算成果已在治黄生产实践中得到了广泛应用,取得了重大经济效益与社会效益。采用水沙数学模型计算的方法来研究天然河流多因素作用下的演变与相互作用规律有其独特的优势。因此,笔者以天然实测资料分析为基础,并结合数学模型计算,开展黄河下游河道演变与河口演变相互作用规律研究,探讨每个因素对河道演变与河口演变的影响趋势和影响程度,提出河道演变与河口演变相互作用力度、影响范围与变化规律等,不仅对河流演变学基本理论的发展具有重要的意义,而且对黄河下游河道与河口治理规划及防洪减灾也具有重要的参考意义。

第二节 研究现状述评

黄河下游河道与黄河口均是黄河行洪泄洪的通道和滞沙沉沙的重要场所,两者相互作用,共同发展。黄河河口是黄河水沙的承泄区,是径流水沙与海洋动力相互作用的发源地,也是渤海湾系统的有机组成部分。黄河河口岸线的淤积延伸,对黄河下游河道的持续淤积具有潜在的重要影响,如欲控制黄河下游河床抬升速度,河口治理将是其关键环节之一。

一、黄河下游河道演变与河口演变研究的历史回顾

从大禹治水起,前人先后对黄河进行了大量研究,出现了如贾让、王景、潘季驯、靳辅等一大批治河家。当时从防洪、漕运等不同角度出发,提出了很多具有历史价值的主张与观点,成为治黄事业发展的基石。

大禹治黄始于公元前 2033 年,主要措施是给水沙找出路,其出路就是古渤海湾,即今天的河北平原^[5]。黄河的泥沙是有限的,而古渤海湾(河北平原)洼地的容量是有限的,到了约 500 年后的商代,这片洼地就淤满了,又恢复到河水泛滥的状况。到春秋时期(公元前 770 年)开始修筑堤防,当时已有不少“国家”修筑堤防以自卫。堤防之制原意为防水,而为防黄河洪灾(水和沙两因素),只能望其将水沙一并输入海。建堤约百年后,禹河缓流,泥沙淤积加重。至周定王五年(公元前 602 年),黄河发生历史上第一次改道^[1]。

西汉时期,治河专家已看出堤防之害。到了东汉,人口稀少,黄河两堤相距近百里。自王景治河(公元 69 年)起,黄河于利津流入海历史达 851 年之久,这是治黄史上的一件大事。后人对王景治河给予很高评价,因其治水泄沙两者兼顾且互相配合,使水沙各得其所。但王景治河亦使滩面渐高形成悬河,而不能继续发挥其作用,使黄河再次改道。

北宋时期定都开封,当时黄河以走北路入渤海为主,宋王朝为避京城水害,防御北方新崛起的辽、金侵犯,以及稳定社会发展经济,故而对治河十分重视。在堤埝的修筑技术、裁弯和拖淤等治河措施方面有较大发展,除利用黄河水系发展漕运和灌溉农田外,还依据黄河沙多的特点,进行了较大面积的放淤。其中,欧阳修在其疏奏中第一次论述了河口的淤积及其影响问题^[6]。此外,苏辙在其疏奏中则非常清楚的总结了黄河形不成江心洲分汴河型和黄河口在淤积状态下不可能形成网状河口的缘由。这些来自于实践的经典论述至今对我们认识黄河下游河道和河口的演变规律有着重要的意义。

明、清两代定都北京,统治时间较长,又均以维护漕运为国家大计。治河不单纯避其害而且设法资其利以济漕运。当时众多治河官员专家的观点以数计奏疏和治河专著的形式保存下来,如潘季驯的《河防一览》^[7]、万恭的《治河筌蹄》、靳辅的《治河方略》^[8]和陈潢的《河防述言》等,沿黄河河口地区的州、县志中,以及各种记述河防大事的史料中对黄河河道和黄河口的特性、演变规律、治理措施均有精辟详尽的分析研究^[9]。对于黄河河口的治理,明清时期的主要措施不外挑浚分洪、蓄清刷黄、筑堤束水和尾间改道四个大的方面,但各个时期侧重点不同。由于黄河入海泥沙过多,淤积不断发展,故在治河上没有经久不败的方法。往往是某一种措施在实施的一定时段内易见功效,但随着淤积的发展其效果渐逊,又不得不在新的基础上再次采用其他措施或反复实施。筑堤束水和弃堤废守就是反复发展的,如靳辅延堤^[10],高晋奏准弃守,百龄再加堤,陈凤翔又议弃守,道光中期又延堤等。同样,蓄清刷黄也是在黄河尾间河道不断淤积升高的情况下实施的。因而同一原则或措施不同时段采取的具体做法亦不相同。

清末和民国初期,社会动荡,军阀混战,而后日本帝国主义的侵占,无暇治理黄河。仅李仪祉、张含英、美国人安立森^[11]以及日本侵占时期第二调查委员会等涉及到黄河,但概念议论多,资料数据少。

系统地对黄河下游河道演变与河口演变规律的研究始于新中国成立之后。

20世纪50年代,结合三门峡水利枢纽建设和三门峡水库建成以后黄河下游河床演变与河道整治问题,研究了天然状况下黄河下游河道水沙运行和河床演变基本规律^[12],黄河河口的研究资料多为河口尾间历史调查和查勘报告,并辅以河口情况的介绍^[13~15]。这些成果为今后研究打下了良好基础。

60年代,黄河下游研究把三门峡水库运用与河道演变联系起来,指导了三门峡工程的两次改建,取得了成功^[16],并开始对黄河河口基本情况和基本规律进行系统总结,首次提出“小循环”的概念^[17,18],而后又集中进行了河口防洪防凌^[19]、计划改道^[20]和水利规划^[21]等研究工作。

70年代,黄河下游河道及河口研究与流域水沙联系起来,重点研究了不同地区来水来沙对下游河道冲淤的影响,取得了突破性进展,明确了粗泥沙来源区的泥沙对黄河下游河道的危害最为严重^[22],对黄河治理起到了重大的指导作用,并开始研究高含沙水流特性^[23]及河床演变,提出了“多来多排”的输沙机理^[24]及三门峡水库“蓄清排浑”运用后黄河下游河道演变规律^[25]等。河口科研工作也有了较大的进步,初步总结了“小循环”河型演变“散乱—归股—顺直—弯曲—出汭—大出汭—改道散乱”的一般规律,并结合尾间流路在三角洲平面上循环改道,提出了“大循环”概念^[26,27]。此外还对出汭摆动的条件和判别指标作了初步探讨,并提出摆动的分类问题,分析了改道的效果^[28]。

80年代开始,人们把流域作为整体,开展了水沙变化对下游河道影响、黄河流域环境演变与水沙运行规律等研究^[29]。在黄河口方面,随着黄河三角洲经济的持续高速发展和石油的大规模开采,以及河口地区防洪防凌的需要,河口观测与研究工作的深度和广度又有了长足的进步,内容涉及到黄河口演变规律及与下游河道的关系^[30,31]、黄河口入海水沙的扩散及影响^[32]、黄河三角洲及岸线的形成和变化^[33]、黄河口滨海冲淤变化^[34]、河口的整治措施与三角洲的治理开发^[35]、现行清水沟流路的稳定行河年限和流路规划问题^[36]等。特别是针对黄河河口三角洲尾间的演变规律,王恺忱认为^[27]黄河河口三角洲尾间一直处于淤积—延伸—摆动—改道的循环演变之中,淤积、延伸、摆动、改道是目前黄河水沙条件下河口尾间演变的基本规律,尾间不稳定是绝对的、主要的,稳定是相对的、次要的;改道仅指发生在三角洲扇面轴点附近的较大范围的流路变迁,它是一条流路的终结和新流路循环演变的开始,而摆动系为三角洲轴点以下范围内尾间口门相对较小的口门改移,它贯穿于河口尾间演变的全过程;影响改道效果的因素主要有相对基准面落差大小(即改道后尾间流程缩短的大小,缩短流程愈大,冲刷效果愈好)、来水来沙条件(指来水来沙量大小,洪峰的形式等,一般水大沙少效果好)、新尾间边界状况(如有无河槽,植被状况和阻水障碍情况等)。

近20年来,黄河下游河道演变规律、河口演变规律及两者相互影响规律等问题越来越受到水利工作者的关注,并得到各级政府部门的高度重视。紧密结合黄河治理开发,许多研究课题相继列入了“八五”科技攻关项目、“九五”科技攻关项目、国家自然科学基金项目、“973”重大基础研究项目等国家级研究课题,取得了多项突破性成果^[37,38],使人们对黄河下游河道演变与河口演变规律的认识更加深刻,其中许多研究成果已在治黄实践中应用,为保障黄河下游防洪安全,有步骤、有计划的河道治理发挥了重要作用。特别

是针对黄河口尾间“大循环”的改道演变过程,李殿魁^[39]等学者认为黄河河口十年一改道的结论只是对过去自然状况下黄河河口演变的总结,并非其基本规律,现时期黄河河口的来水来沙情况和人工干预状况已与过去大不相同,完全可以通过治理使黄河河口长期稳定,而不发生改道;尹学良认为^[40]根据黄河河口的改道演变过程、河道淤积过程、水位变化过程以及一般推理分析,都不能发现黄河口改道演变中存在所谓的“大循环”过程,“大循环”过程是人们过度强调河长的作用,忽视其余因素后,从理想中抽取并引申出来的,实际上,河口演变由来水来沙条件、海域条件及河道条件共同支配着,人为的影响也占重要地位。

在对历史治黄经验的总结^[41]和黄河下游河道演变与河口演变规律研究的基础上,河道与河口的整治原则与整治措施研究也有了很大突破。目前黄河下游河道的治理原则是“防洪为主、统筹兼顾、中水整治、洪枯兼顾、以坝护湾、以湾导溜、主动布点、积极完善、柳石为主、开发新材,采用微弯型河道整治”^[42]。通过几十年有计划、有步骤的治理,黄河下游河道的摆动幅度与摆动范围大为减小,河势得到了初步控制。

针对黄河口现状,不同学者从不同的侧重点和治理目标出发,也提出了不同的河口治理方向。陈霁巍等人^[43]从黄河河口的防洪防凌安全角度出发,提出黄河河口整治方向应以清水沟流路为基础做好工程规划,使清水沟流路使用年限达到30~50年,保证三角洲开发建设的防洪安全,同时尽量为三角洲开发建设提供必须的水资源。庞家珍认为^[44]河口治理的指导原则应是在有利于工农业发展和有利于防洪防凌的前提下,有计划地安排河口流路,并辅以必要的控导工程,截支强干,集中水流入海,尽量延长流路使用年限。联合国发展计划署(UNDP)河口治理与水资源专家组^[45],从河口三角洲经济发展的角度考虑,研究认为稳定黄河三角洲流路,处理泥沙沉积,是黄河三角洲可持续发展的必要前提。李殿魁认为^[46,47]1988年开始的河口疏浚试验使人们看到了河口治理的正确方向,形成了以强化黄河自身动力、巧用海洋动力、定向疏浚治理河口,进而实现流路长期稳定的基本思路。

在黄河河口泥沙处理与利用方面研究成果也颇丰富,代表性的观点有:河口疏浚与导流^[48~50]、引海水冲刷^[51]、建设西河口水利枢纽^[52]、拦门沙治理^[53~55]、人工有计划改道和出汉^[56]、加高堤防和加固防护工程^[56]、挖河固堤工程^[57]等,为黄河口的治理、黄河三角洲的可持续发展及土地资源开发利用研究与实践拓宽了思路。此外,包锡成^[58]、蔡琳^[59]、王开荣^[60]等针对河口的凌汛灾害与防治对策问题,李殿魁^[39]、王开荣^[61]、谷源泽^[62]等针对清水沟流路的使用年限及流路规划问题,崔树彬^[63]、孙寿松^[64]、倪晋仁^[65]、石伟和王光谦^[66]、高中琪^[67]、杨玉珍^[68]、田家怡^[69]、钱征寒^[70]、朱震达^[71]、杨朝飞^[72]等针对黄河河口水资源与生态环境问题先后开展了专题研究,并各自提出了具有一定学术价值的成果与观点。

二、黄河下游河道演变与河口演变相互作用规律研究现状

黄河口为典型的弱潮陆相河口。由于进入河口沙量很大,虽受海洋动力的作用,有部分泥沙输送到较远海区,远离河口口门的三角洲也会受到海水的侵蚀,但这部分沙量相对于进入河口沙量而言,占的比例较小。河口的演变从长时段看主要表现为流路的淤积延伸

与改道,两者交替发展形成了目前的三角洲。

河口的淤积延伸、改道都可以理解为变更河流侵蚀基面的高程,从而引起河流纵剖面的调整,以及水流挟沙能力与来沙量对比关系的改变,产生自河口向上发展的溯源堆积和溯源冲刷。河口改道与延伸会对黄河下游河道冲淤产生影响,但目前对其影响程度、范围及形式尚存在不同认识^[73]。

王恺忱^[27,31]认为黄河河口淤积延伸是下游河道长期不能平衡的直接原因。来沙量过大是下游淤积的根本原因,但它是通过绝大部分下排到河口,使河口淤积延伸、基准面相对升高来产生影响的,因此,黄河河口的延伸是黄河下游淤积的直接原因。同时从长时段上看,黄河下游淤积的幅度受制于河口侵蚀基准面的升高。王恺忱还通过水槽试验研究发现,在水沙和边界条件不变的情况下,三角洲前沿不断淤积、延伸,河道为了维持输沙平衡,其纵剖面调整近于平行升高。王恺忱^[31]分析认为,对黄河下游来说,短时段的来水来沙变化大,但从长时段来看一般变化不大,据实测资料分析,1950~1975年高村以下同流量水位升高在2.07~2.38m之间,近于平行升高,与同时期河口延伸约32km引起的升高值2.10m相近;1950~1990年黄河下游各站同流量水位升高2.0~2.5m,也比较接近河口延伸引起的升高值。依据冲淤性质的判别条件,河道沿程淤积为主时,其纵剖面调整变陡;受河口侵蚀基准面升高产生下厚、上薄的溯源淤积,其纵比降相应变缓。从黄河有资料(20世纪30年代、1950年后)以来比降变化过程看,各河段的比降无变陡趋势;相反,1950年以后花园口至利津比降有变缓趋势,表明黄河下游淤积宏观上看属于溯源淤积性质。侯国本等^[74]的观点与王恺忱的观点比较类似,张仁等^[75]通过分析废黄河与现黄河的淤积形态和演变的阶段性,指出了河口延伸已成为河道持续堆积的主要原因。

尹学良等^[76,77]通过分析黄河口短期大型变迁对其上游河道的影响,提出了溯源冲刷、溯源淤积的距离与下端冲刷、淤积厚度的关系,认为1953年黄河口大型并汉改造引起的溯源冲刷影响到杨房以下,距离之远是河口历史上仅有的,黄河口的其他几次改道,尽管河长缩短很大,如1964年和1976年改道等,都没能造成冲刷和溯源冲刷,或者冲刷很微弱。1964年改道后的刁口河,在其整个行水历程中(12年),河口淤积延伸的影响都未能超过罗家屋子,距离不足60km。尹学良根据现有资料分析,指出黄河下游河道纵剖面没有出现平行淤高的现象或趋势,各时段的冲淤受短期、局部因素的影响很大。数十年来,河道淤高以夹河滩至孙口间为最大,近河口最小,上端花园口一带也较小,可能与三门峡枢纽运用有关;早期的冲淤分布还与1938年花园口扒堤改道有关系。另外,根据输沙因素沿程变化情况也可以得到,黄河下游还没有淤积沿程均衡分布的条件,因此,没有资料说明黄河下游的淤积抬高主要是由河口淤积延伸造成,更不会随河口淤积而平行淤积。现有诸种对黄河纵剖面形态的论断,有从输沙平衡方程出发,加以一些特殊假定的,有从纵剖面与泥沙因素关系出发,并做一些简化的,有与废黄河等对比的,有从地貌地物发展推断的,还有从堤防决口部位的变化推论的,均未能发现所谓纵剖面平行抬高的可靠证据。

文献[1]与[78]认为:1953年人工裁弯改道,1955年溯源冲刷影响到洛口,长达200多km,1955~1961年溯源淤积影响到刘家园,1961年汛前至汛后溯源冲刷影响到一号坝,1961~1964年溯源淤积影响到一号坝;1964年人工破堤改走刁口河,1964~1967年溯源淤积影响到刘家园,1967~1968年溯源冲刷影响到杨房;1976年5月截流改道清

水沟，汛后即发生明显的溯源冲刷，上溯至刘家园附近，而后发生溯源淤积，至1979年影响到刘家园，1979~1984年又发生溯源冲刷，影响到刘家园。李泽刚^[79]认为：1953年改道神仙沟，1954年溯源冲刷影响到张肖堂至杨房间，1964年改道钓口河，当年水量973亿 m^3 ，为历史记载最大值，溯源冲刷到6断面，1976年改道清水沟，当年水沙条件比较有利，溯源冲刷到杨房附近，如果按河床溯源冲淤范围分析，溯源冲刷仅到道旭附近。曹文洪^[80]分析发现，1953年改道溯源冲刷范围至清河镇附近，1964年改道很难发现溯源冲刷的迹象，1976年改走清水沟流路溯源冲刷影响到刘家园附近。上述研究成果与尹学良研究结果虽然在定量上有很大差别，但在定性上都说明了河口延伸与改道对上游河道的影响距离是有限的。

叶青超^[81]通过分析进入下游河道的来水来沙条件、河口侵蚀基准面条件及河床边界条件对纵剖面的影响后认为，从1953年改走神仙沟起至1976年改走钓口河流路结束，黄河河口平均延伸速度为1.1km/年，共延伸25km左右；由该时段利津站（含以下河段）水位相应以0.11m/年的平均速度抬高，共抬升约2.5m，两者完全相应。清水沟流路期间的河长变化与利津站水位变化也是相应的，充分表明利津站水位抬高与其到河口段河长的延伸密切相关，后者起到前者侵蚀基准面相应抬高的作用。河道长度缩短，河口段将产生溯源冲刷，冲刷范围不断向上游发展，但河床变形需一定时间才能相适应；河口长度延伸将产生溯源淤积，其上延也需一定时间；在来水来沙条件和河口侵蚀基准面变化引起河道冲淤变化的同时，河床周界条件也发生变化，淤积时河床组成会细化，变宽浅；冲刷时河床会粗化，变窄深，因此，在统计不同时段间各站的升降值，会有不同的结果。但在历史长河中某段时期内，总有与来水来沙条件和河口长度相适应的均值，这种均值就是一般所说的平衡倾向性。来水来沙条件和河口长度伸缩对河床冲淤的作用有时是一致的，有时是不一致的，它们对河床冲淤作用传递的方向不一致，来水来沙条件所产生的变化是自上而下的，河口长度伸缩所产生的变形是自下而上的，这种平衡倾向性对黄河下游来说不可能都是相同的；河口稳定延伸使河道纵剖面淤积抬高，从长时段看，是一种指数型淤积升高，要控制下游河道淤积抬高的速度，在控制来水来沙条件时，也必须控制河口稳定延伸的速度。

由此可见，黄河口改道、淤积延伸对上游河道反馈影响问题，目前各家认识不仅在定量上相差很大，在定性上也有较大分歧。各家分析问题的角度不同，固然是引起分歧的一个原因，但黄河下游河道演变与河口演变影响因素繁多，各因素之间的相互作用极为复杂，各家受研究手段的限制，对此复杂情况分析不充分或不全面，是造成上述研究结论分歧的根源。黄河下游河道演变与河口演变受上游来水来沙条件的影响非常大，河床冲淤变形十分剧烈。例如，距离河口较远的洛口，在三门峡下泄清水期的1963年，3000 m^3/s 的水位在5月28日~6月6日的9天内，由27.46m下降至27.29m，下降了0.17m，日均冲刷下降0.019m，到8月22日，下降到27.18m，到10月30日下降到26.90m，这样在5个月内下降了0.56m，月均下降0.11m。再如，在三门峡水库滞洪排沙运用的1970年，汛末的10月3日，洛口站3000 m^3/s 水位为28.09m，到1971年的汛期的7月3日，升高至28.68m，在9个月内抬升了0.59m，月均抬升0.065m。不仅洛口站存在这一现象，在其他各站同一流量水位在短时间内大幅度变化的情况也时常发生。在河口没有大幅度改变

时, 利津及近河口段的水位变化规律及幅度与洛口比较接近。因此各家在分析河口演变对河道反馈影响时, 所采用的资料并非相同时刻, 引起差别也就难免了, 从而导致在影响范围的定量描述上产生很大差别。同时, 由于河道自然冲淤变幅很大, 而河口溯源冲刷与溯源淤积是自下而上发展的, 越往上游发展影响越小。有时在河口改道后的前几年, 如改走刁口河初期的1964年、1966年、1967年、1968年, 和清水沟改道初期的1976年、1977年、1978年, 上游来沙量很大, 泥沙在口门落淤, 一方面使河口延伸导致溯源冲刷的能力很快降低; 另一方面, 由于水流挟沙处于超饱和状态, 即使改道河长缩短, 侵蚀基准面降低明显, 在改道点上游水流所具有的再冲刷河道的能力也不会很大。因此, 从天然实测水位及河床变形资料上看, 有时效果会很不明显, 各家分析结果差异很大也就不足为奇了。

上游来水来沙对河道冲淤演变是自上而下的影响, 河道表现出的冲淤调整与水沙运行过程几乎是同步的, 很明显, 黄河口淤积延伸、改道会导致相对侵蚀基准面的变化, 产生自河口向上发展的溯源堆积和溯源冲刷, 对河道冲淤演变产生的是自下而上的影响, 还需要通过上游来水来沙的共同作用才能体现出来, 对黄河下游而言, 影响程度也比前者小, 但影响历时并非与水沙运行过程同步, 一般影响历时较长。

河口改道后, 改道点以上河道将产生溯源冲刷, 发展过程自下而上, 强度下大上小。受泥沙自身物理化学特性与沉积历时的影响, 淤后泥沙冲刷输移比自然悬浮状态下输移所需的水流强度大。即使相邻两次改道初期有同样的河长, 由于河口延伸引起的溯源淤积泥沙也很难在新的河道边界下被水流冲刷输送入海。如1964年的刁口河改道与1976年的清水沟改道相比, 改道初期利津以下河长分别为78km、74km, 后者还比前者短了4km。刁口河行河期间, 利津—渔洼河段淤积了0.465亿 m^3 , 而1976年清水沟改道后, 又遇1981~1985年的丰水少沙系列, 改道点以上河道发生了明显的溯源冲刷。但至1985年汛后, 利津—渔洼河段仅冲刷了0.333亿 m^3 , 仍有28%的泥沙保留在原河道内。

河口淤积延伸对河道溯源淤积影响是一个缓慢的累积过程, 而黄河下游河道来水来沙及泥沙组成年际变化非常大, 河道调整剧烈, 冲淤变幅很大, 且河道边界条件随着人们对河道治理力度的加大不断改变, 河道冲淤演变是多种因素交织在一起的共同体现, 其中河口演变的影响占总影响的权重并不很大, 因此, 单从水位升高或河床抬升等实测资料变化值与河口演变建立关系, 很可能得不出明显的结论。

河口改道、河长缩短、下游侵蚀基准面相对降低, 减少下游河道淤积, 及河口延伸、河道加长、下游侵蚀基准面相对抬升, 增加下游河道淤积, 这些规律在客观上是一定存在的。河口改道、淤积延伸所引起的黄河下游河道的减淤、增淤量及其沿程分布情况是正确评价一次河口改道工程实施效果的重要指标之一, 也是广大治黄工作者广泛关注与治黄生产急需回答的问题。以往研究成果多以实测资料分析为基础, 很难得出河口改道与延伸对河道减淤与增淤的定量描述。

不仅河口演变对河道产生反馈影响, 黄河下游河道演变也会影响河口的淤积延伸速度, 主要表现在两个方面: 一方面, 当上游水沙条件变化后, 通过河道沿程冲淤调整, 减弱该变化对河口延伸的影响; 另一方面, 黄河下游河道边界条件变化, 使其自身演变规律发生了新的调整, 导致进入河口的水沙过程发生改变, 影响河口演变。目前所研究的河口