

HUANGHE XIAYOU JINDAI HECHUANG BIANQIAN DIZHI YANJIU



黄河下游近代河床变迁 地质研究

李金都 周志芳 著



黄河水利出版社

内 容 提 要

本书以地质学的视野和观点,借助环境学、土壤学、考古学的研究方法对黄河下游泥沙进行研究,从黄河下游古地面研究入手,提出了黄河下游近代河床泥沙沉积起始界面;以河床变迁为主线,对黄河下游河床变迁及其相关问题进行探索;以黄河下游东平湖为研究对象,探索了通过湖泊沉积物的研究、恢复黄河河床变迁的历史过程;以 1855 年黄河铜瓦厢改道决口为例,从动力地质作用方面分析了黄河下游河床变迁的内在控制因素,并就埋在黄河堤防中的历史决口口门的工程勘察方法和渗流控制措施等复杂的具体工程问题进行了研究。通过研究在理论上提出了黄河断代工程的概念。

本书可供地质工程、水利工程、环境工程、地理学等专业的工程技术人员与科研人员及大中专院校相关专业的师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

黄河下游近代河床变迁地质研究/李金都,周志芳著.

郑州:黄河水利出版社,2009.10

黄河水利委员会治黄著作出版资金资助出版图书

ISBN 978-7-80734-736-1

I. 黄… II. ①李… ②周… III. 黄河-下游河段-河道
演变-研究 IV. TV882.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 185877 号

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:hhslcbs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:9.75

字数:170 千字

印数:1—1 000

版次:2009 年 10 月第 1 版

印次:2009 年 10 月第 1 次印刷

定价:28.00 元

前 言

黄河是中华民族的母亲河,是中华民族摇篮,她哺育了中国灿烂的古代文明。几千年来,这条桀骜不驯的大河既为中国的政治、经济和文化的发展作出过巨大的贡献,也给中华民族带来过深重灾难。历史上黄河下游改道频繁,黄河有史以来,曾发生过许多次大小规模不同的决口改道,仅西汉以来,黄河大堤决口多达 1 500 余次,在西起郑州、北至天津、南抵淮河河口的黄淮海大平原上,或北流注入渤海或南迁夺淮入黄海,是一条典型的“善淤、善决、善徙”的河流。20 世纪 50 年代以来,人民治黄事业取得了巨大成就,基本结束了历史上“黄河平均三年两决口、百年一改道”的悲惨局面,黄河的水利资源得到了有效的开发、利用,更好地服务了人类。但是,随着经济社会的迅速发展和黄河流域人口的急剧增加,人类向黄河的索取远远大于黄河本身的供给能力,黄河承载的压力日益增大,正如世上万物一样,河流也是有生命的,维持黄河健康生命是我们义不容辞的责任。

河流同有生命的万物一样也有其生命形成、发展与演变的过程,研究黄河生命的形成、发展与演变的过程,维持黄河健康生命,无论在理论上还是在实践中都有着重要的意义。

河南省郑州市桃花峪到山东省东营市垦利县是黄河的下游。这一段河长约 786 km,流域面积 20 000 多 km^2 ,这段河道的基本特点是:河流水势平缓,河道宽浅散乱,泥沙淤积严重,河床逐渐升高,是世界上著名的悬河。这种高悬在大平原之上的河道,河床很不稳定,主流经常摆动,若突然遭遇大洪水,很容易决口,决口以后,河水居高临下,难以立即堵复,很容易发生河流改道,所以造成的灾害比世界上其他非悬河河流要更大。因此,黄河下游南北两岸修筑了防洪堤防工程,以抵御洪水威胁。黄河下游河道主要由桃花峪至东坝头明清时期的黄河河道、东坝头至陶城铺间近代黄河决口泛滥而行水的河道、陶城铺以下大清河至渤海海口河道等构成。其中,东坝头至陶城铺间的黄河河道是 1855 年黄河铜瓦厢发生大改道、洪水泛滥而形成的河道,此段黄河以原

地面为河床行水而逐渐淤积抬高演变成今天的黄河河床,本书将其称为近代河床。

在黄河下游河床演变研究中,往往选择泥沙为研究重点,以 1950 年前后为时间刻度,本书以地质学的视野和观点、运用土力学的研究方法并借助环境学、土壤学、考古学的研究方法对黄河下游泥沙进行研究,从黄河下游古地面研究入手,提出了黄河下游近代河床泥沙沉积起始界面、分析了近代黄河下游河道沉积速率;以河床变迁为主线,对黄河下游河床变迁及其相关问题进行探索,把泥沙研究的时间刻度前伸到黄河历史 1855 年前后,建立了 1855 年以来泥沙干容重和时间的关系式,丰富了黄河下游泥沙研究的手段;以黄河下游东平湖为研究对象,探索了通过湖泊沉积物的研究、恢复黄河河床变迁的历史过程;以 1855 年黄河铜瓦厢改道决口为例,从动力地质作用方面分析了黄河下游河床变迁的内在控制因素,并就埋在黄河堤防中的历史决口口门的工程勘察方法和渗流控制措施等复杂的具体工程问题进行了研究,为黄河科研和工程实践提供基础性资料。通过本课题研究在理论上提出了黄河断代工程的概念,强调通过对黄河生命发展演化过程中自然发生的重大事件在河流沉积物方面记录的某些重要信息的研究,获得河道发展、演化、河流行水规律(包括黄河下游环境演变)等方面的重要结论、重大启示,以更好地进行工程实践。同时,提出了在黄河下游修建用于放淤的人工湖泊、水库,进行淤细(淤积泥沙细颗粒)排清(排放清水),同其他手段相结合共同构建成黄河治沙体系的建议。本书在工程地质、水文、泥沙、河流规划、环境保护、地理学等方面也都有着一定的参考价值。

本科研课题的研究,得到了河海大学、黄河水利委员会、中国科学院武汉岩土力学研究所等高校和机构科研基金的资助,钻探、野外现场试验、室内土工试验、黏土矿物含量测试、工程测量等由黄河水利委员会勘测规划设计有限公司(即原黄河水利委员会勘测规划设计研究院)承担并完成,磁化率测试由中国地质大学古地磁实验室、南京大学环境地质研究所共同承担并完成,稀土元素和重金属测试由中国科学院南京土壤研究所承担并完成,有机质含量、测年由中国科学院南京湖泊研究所承担并完成。黄河水利委员会还提供了治黄著作出版基金,对本项目进行了资助。在此特向提供科研资助的河海大学、中国科学院武汉岩土力学研究所、黄河水利委员会、黄河水利委员会勘测规划设

计有限公司、黄河水利委员会勘测规划设计有限公司地质工程院、黄河水利委员会勘测规划设计有限公司科研试验院、黄河水利委员会勘测规划设计有限公司测绘院等高校及机构表示深深的感谢！对承担并完成相关试验与测试任务的中国地质大学古地磁实验室、南京大学环境地质研究所、中国科学院南京土壤研究所、中国科学院南京湖泊研究所等单位表示深深的感谢！在本项目内外业工作策划和实施过程中，还得到了中国工程院刘光润院士，黄河勘测规划设计有限公司李文学董事长、李清波院长、王宝成院长、曹天一副院长，中国科学院武汉岩土力学研究所李海波研究员，中国科学院南京湖泊研究所吴艳宏研究员，中国科学院南京土壤研究所朱建国研究员，南京师范大学地理学院杨浩教授，中国科学院南京地理研究所羊向东研究员的帮助，特表示深深的感谢！本书还引用了马国彦、尹学良、叶青超、熊文林、喻宗仁等已有的研究成果，在此也特向所有引用资料的原作者表示深深的感谢！

黄河可研究的内容博大精深，黄河下游地质可研究的问题还有很多，本书只是围绕黄河下游河流改道、河流变迁这一主线，从地质学角度对其进行研究，由于时间仓促，加之水平所限，书中错漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

2009 年 3 月

符号表

$Q_{ui}:(i=1,2,3\cdots)$	泥沙沉积速率个值
RMF:	随机-模糊统计方法
$D_{il}:$	Q_{ui} 关于模糊集合 A 的核点 $\bar{Q}_{um}$ 的马氏距离
$d_i:$	所划分的各组平均粒径
$d_m:$	泥沙样品的平均粒径
$P_i:$	各组泥沙在整个沙样中所占质量百分数
$d_{\max}:$	横坐标(d)上定出各组泥沙的上限粒径
$d_{\min}:$	横坐标(d)上定出各组泥沙的下限粒径
$d_{16}:$	级配曲线上相应于 $P=16\%$ 的粒径
$d_{50}:$	级配曲线上相应于 $P=50\%$ 的粒径或中值粒径
$d_{84}:$	级配曲线上相应于 $P=84\%$ 的粒径
$d_{90}:$	级配曲线上相应于 $P=90\%$ 的粒径
$d_{30}:$	级配曲线上相应于 $P=30\%$ 的粒径
$\psi:$	拣选系数,表示沙样的均匀程度
$\sigma_y:$	不均匀系数,表示沙样的不均匀程度
$\rho_d:$	沙样的干容重
$P(r'):$	粒径 r 的分布密度函数, r' 为粒径自变量
$D_g:$	河流泥沙粒度的分维
$B^{1/2}/h:$	河段宽深比
$\gamma_0:$	临河堤脚承压水头
$H_4:$	临河堤脚承压水位

目 录

前 言

符号表

1 概 述	(1)
1.1 选题及其意义	(1)
1.2 研究方向的研究现状	(2)
1.3 本书所做的主要工作	(12)
2 黄河下游近代河床沉积起始界面研究	(18)
2.1 黄河下游近代河床沉积起始界面研究方法	(18)
2.2 黄河下游近代河床沉积起始界面研究成果	(22)
3 黄河下游近代河床沉积物沉积速率研究和沉积时间关系式研究 ...	(42)
3.1 黄河下游近代河床沉积物沉积速率研究	(42)
3.2 黄河下游近代河床沉积物沉积时间关系式研究	(50)
4 黄河下游河床演变的东平湖沉积响应研究	(61)
4.1 黄河下游河床演变的东平湖沉积响应研究方法	(61)
4.2 黄河下游河床演变的东平湖沉积响应研究成果	(64)
5 内外动力地质作用对黄河下游河床变迁的影响效应研究	(87)
5.1 内外动力地质作用对黄河下游河床变迁的影响效应概述 ...	(87)
5.2 明清河道概况	(88)
5.3 河流地质作用对黄河下游河床变迁的影响效应	(89)
5.4 内动力地质作用对黄河下游河床变迁的效应	(92)
6 黄河下游近代河床相关地质问题研究	(105)
6.1 黄河下游历史决口口门工程地质勘察方法研究	(105)
6.2 黄河下游历史决口口门区工程渗流控制研究	(112)
6.3 黄河断代工程及其研究意义	(121)
7 结论与问题	(128)
7.1 结 论	(128)
7.2 问 题	(135)
参考文献	(136)

1 概 述

1.1 选题及其意义

黄河发源于青海省巴颜喀拉山北麓,流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南、山东等九省区,在山东省东营市垦利县注入渤海,流域面积达 79.5 万 km^2 ,全长 5 464 km。

黄河是中华民族的母亲河,是中华民族摇篮,她哺育了中国灿烂的古代文明。几千年来,这条桀骜不驯的大河既为中国的政治、经济和文化的发展作出过巨大的贡献,也给中华民族带来过深重灾难。

20 世纪 50 年代以来,人民治黄事业取得了巨大成就,基本结束了历史上“黄河平均三年两决口、百年一改道”的悲惨局面,黄河的水利资源得到了有效的开发、利用,更好地服务了人类。但是,随着经济社会的迅速发展和黄河流域人口的急剧增加,人类向黄河的索取远远大于黄河本身的供给资源,黄河承载的压力日益增大,正如世上万物一样,河流也是有生命的,维持黄河的健康生命是我们义不容辞的责任。

河流同有生命的万物一样也有其生命形成、发展与演变的过程,研究黄河生命的形成、发展与演变的过程,无论在理论上还是在实践中都有着重要的意义。

河南省郑州市桃花峪到山东省东营市垦利县是黄河的下游。这一段河长 786 km,落差 95 m,流域面积 20 000 多 km^2 ,河道的基本特点是,河流水势平缓,河道宽浅散乱,泥沙淤积严重,河床逐渐升高,是世界上著名的悬河。这种高悬在大平原之上的河道,河床很不稳定,主流经常摆动,若突然遭遇大洪水,很容易决口,决口以后,河水居高临下,难以立即堵复,很容易发生河流改道,所以造成的灾害比世界上其他非悬河河流要大。因此,黄河下游南北两岸修筑了防洪堤防工程,以抵御洪水威胁。黄河下游河道主要由桃花峪至东坝头明清时期的黄河河道、东坝头至陶城铺间近代黄河决口泛滥而行水的河道、陶城铺以下大清河至渤海海口等河段构成。其中,东坝头至陶城铺间的黄河河道是 1855 年黄河铜瓦厢发生大改道、洪水泛滥而形成的河道,此段黄河以原

地面为河床行水而逐渐淤积抬高演变成今天的黄河河床,本书将其称为近代河床。

本书选择黄河下游近代河床演变为研究课题,通过综合分析方法,重点对黄河下游现黄河河道沉积起始界面、近百年来黄河下游河道沉积速率变化、黄河下游河床沉积物沉积时间关系式、黄河下游河床变迁湖泊沉积响应、内外动力地质作用对黄河下游河床变迁的影响效应等方面进行研究,为工程实践提供基础性资料,同时在工程地质、水文、泥沙、河流规划、环境保护、地理科学等方面也都有着一定的参考价值。

1.2 研究方向的研究现状

黄河在长期的人类历史发展过程中,一直是我国政治、经济和文化的中心,为中华民族的发展作出了不可磨灭的贡献,但也给人民带来了巨大灾难。黄河安危,事关大局,正因如此,她引起了国内外许多专家、学者的广泛关注,研究的内容涉及各个学科领域。下面围绕黄河下游河床演化这一研究方向,着重就 20 世纪 50 年代以来、特别是 20 世纪 80 年代以来的研究成果作一综述。

1.2.1 黄河下游河道历史变迁演化

黄河是一条古老的大河,历史上下游改道频繁,黄河有史以来,曾发生过许多次规模不同的决口改道,在西起郑州、北至天津、南抵淮河河口的黄淮海大平原上,或北流注入渤海或南迁夺淮入黄海,是一条“善淤、善决、善徙”的河流。搞清黄河历史上不同时期决口以及不同时期黄河行水河道的分布情况并分析决口改道的原因,对于研究现黄河具有重要的意义。关于黄河历史上决口改道的情况,根据已有研究,自公元前 602 年(周定王五年)以来,黄河历史上曾决口泛滥达 1 500 多次,较大的决口改道 26 次。其中,重大的决口改道 9 次,见表 1-1。黄河小的决口而且决口后又在不太长的时间进行堵复的则不计其数。

总结黄河河床变迁的历史可以概括为:

(1)黄河的河道变迁大致经过了以下几个阶段:古黄河河道、禹王河河道、汉唐河道、宋元河道、明清河道、近代黄河河道、1938 年花园口人为决口夺淮入海河道。不考虑 1938 年黄河花园口决口的话,大致可分为六个时间段,分别与上述行水河道所对应:即史前黄河至第一次黄河河道大变迁(公元前

表 1-1 黄河下游河道主要改道情况

称谓	改道时间	改道地点	入海地点	备注
宿胥口河徙	公元前 602 年(周定王五年)河徙前称黄河为禹河	宿胥口	沧州、黄骅渤海	分为多股,散流于华北大地
新莽魏郡改道	公元前 132 年、公元 11 年	瓠子、魏郡	利津南而入渤海	该河道一直到北宋景祐初始塞
北宋澶州横陇改道	北宋景祐元年(1034 年)	澶州横陇埽	经惠民与滨县之北入渤海	经聊城、高唐、平原一带,分流而下
宋庆历八年澶州商胡改道	庆历八年(1048 年)	商胡埽	分南北流入渤海	东流与北流并存到 1099 年,东流始绝
南宋建炎二年杜充决河改道	建炎二年(1128 年)	河南滑县西南沙店集南	夺淮河注入黄海	东流濮阳再经鄆城、金乡一带汇入泗水
南宋蒙古军决黄河寸金淀而改道	南宋端平元年(1234 年)	河南滑县	夺淮入海	河水分三流而下,后又合为两支
明洪武至嘉靖年间河道变迁	洪武二十四年(1391 年)	河南原阳原武、黑羊山等多处决口	由河南开封、兰阳、虞城、下徐、邳入淮	1572 年后黄河归为一槽并一直维持了 280 年
清咸丰铜瓦厢改道	清咸丰五年(1855 年)	河南兰阳东坝头铜瓦厢一带	黄河向东泛滥,夺大清河由山东利津入渤海(即今日的现行河道)	至 1885 年,四溢的河水才被集中于现在的河道行水
民国二十七年花园口决河南徙	民国二十七年(1938 年)	郑州花园口	大部分河水由颍河南流再次进入淮河	直到 1947 年堵复花园口的决口口门,大河才复回故道

602 年~公元 11 年)、黄河第二次河道大变迁(公元 11~1048 年)、黄河第三次河道大变迁(1048~1194 年)、黄河第四次河道大变迁(1194~1494 年)、黄河第五次河道大变迁(1494~1855 年)和黄河第六次河道大变迁(1855 年至现代)。

(2)1855 年黄河铜瓦厢决口后,下游新河道由桃花峪以上禹王河河道、桃花峪至东坝头明清河道、东坝头至陶城铺古地面新冲刷出的河道、陶城铺以下大清河至渤海海口等 4 个不连续的河段构成,这 4 个不连续的河段构成了近代黄河河床,在此河床形成河流堆积、演变并形成目前的黄河下游河道。

(3)黄河河道走北华北的时间要多于走南华北的时间,马国彦曾进行过历史上可考究的黄河决口改道情况的统计,黄河走北华北的时间约占 71.64%,走南华北的时间约占 28.36%。在统计的 9 次黄河重大河流决溢中,有 7 次是非人工改道,有 2 次是由于战争需要而进行的人工改道,而且都是逐水南流,这也就是说,若非人工改道,黄河决溢迁徙的场所很可能只在北华北范围内摆动。

1.2.2 黄河下游泥沙与河床演变

河流是大自然的一部分,水和泥沙是河流的主要物质,河流演变与泥沙的关系是河流研究的重点内容。黄河以多泥沙而闻名于世,因此研究黄河必研究泥沙,围绕黄河下游河床演变这一主题,泥沙研究一直占据着黄河下游研究的主旋律。黄河下游泥沙研究的内容非常广泛,现仅从与本课题研究相关的角度对其主要成果从以下几个方面来总结。

1.2.2.1 黄河下游泥沙的主要来源

黄土高原流失的黄土为黄河下游河道泥沙产生的主要物质基础。水土流失是黄河下游河道泥沙产生的主要方式。暴雨和地面径流是动力因素。

在黄河上中游通过支流或者直接进入黄河的泥沙根据地区的不同情况也有差别,钱宁等曾将黄河上中游地区分为两个多沙区和两个少沙区。河口镇以上属于少沙区,河口镇至龙门之间支流(如无定河、皇甫川、窟野河)以及北洛河、马连河等流域构成的多沙粗沙区,由渭河、泾河干流支流和汾河组成的多沙细沙区,伊河、洛河、沁河组成的少沙区,渭河南山支流的清水区。在各区中,两个少沙区和一个清水区都位于半湿润区域(高寒半湿润或者半湿润区域),而两个多沙区都位于半干旱区域。根据中国 700 余个流域资料给出了中国径流深(用以代表气候)、植被类型与产沙模数的关系曲线,表明在半干旱气候下产沙模数最大,当降雨量增多而进入半湿润、湿润气候时,因植被类

型由草原变为森林,抗蚀力的增加大大超过侵蚀力的增加,故产沙模数减小。曾有学者运用系统耦合的概念研究了黄河上中游产水产沙系统与下游河道淤积系统之间的耦合关系,分别基于年系列资料与洪水系列资料,建立了下游河道冲淤量、冲淤量强度与上中游四个不同的水沙来源区来水来沙量之间的多元统计模型,借以定量描述各个系统耦合关系,所得到的模型表明:在年系列基础上,当其他因素不变时,多沙粗沙区每增加或者减少 1 t 入黄泥沙,下游河道淤积量可增加或者减少 0.455 t;多沙细沙区每增加或者减少 1 t 入黄泥沙,下游河道淤积量可增加或者减少 0.154 t,前者相当于后者的 3 倍,说明粗沙区与细沙区所产泥沙入黄后,对黄河下游的影响是迥然不同的。

1.2.2.2 黄河下游来水来沙特征

河床演变是洪水、泥沙和河床三者相互作用的结果,研究河床演变离不开对洪水的研究。黄河下游的洪水与泥沙具有水沙异源的特点。关于泥沙的来源前已述及,泥沙主要来源于黄河中游的两个多沙区。以黄河下游的花园口水文站为标志,洪水的来源主要由三个区域组成:黄河河口镇至龙门区间、龙门至三门峡区间和三门峡至花园口区间。三个区间的洪水各有不同的特点,加之在时空上的不同组合,形成了黄河下游洪水的不同类型。以黄河河口镇至龙门区间和龙门至三门峡区间来水为主形成的上大型洪水,具有洪水峰高、量大、含沙量大的特点,对黄河下游威胁严重,对黄河下游河床演变影响大。两个区间流域面积达 30 万 km^2 ,洪水一般发生在年内的 7~9 月,一次洪水历时一般 1~2 天,连续洪水可达一周左右。以黄河三门峡至花园口区间来水为主形成的下大型洪水,洪水由三门峡至花园口区间有伊洛河、沁河等支流汇入,流域面积 4.2 万 km^2 ,该区大部分为土石山区,本区大洪水和特大洪水都发生于 7~8 月,暴雨历时较三门峡以上的黄河中游地区要长,暴雨强度大,加上主要产流地区河网密度大,有利于汇流,故有洪水峰高、量大、含沙量小、上涨迅速的特点。一次洪水历时 3~5 天,连续洪水历时可达近两周。黄河龙门至三门峡区间和三门峡至花园口区间共同来水形成的上下较大型洪水,这类洪水的特点是洪水峰低、历时长、含沙量低等。黄河下游河道平面形状呈宽窄相间状,收缩段与开阔段交替出现,滩地面积占河道面积的 80% 左右,滞洪淤沙作用显著。黄河下游河道水位峰和流量峰具有不同步的特点,往往水位峰提前于流量峰。已有研究说明,黄河下游河道淤积与演变,主要取决于来自粗沙区的洪水,少沙区减水将加剧下游河床的淤积。洪水水量与泥沙含量是黄河下游河床演变的重要因素,由于黄河下游来水水量日益减少,河水漫滩行水

的年时间日益减小,而河床淤积速度日益加速,它们是造成黄河下游“二级悬河”的主要原因。

1.2.2.3 黄河下游河床高含沙水流的冲淤特征及演变规律

河流中的水沙运动是水流和泥沙运动过程的反映,也是研究河床演变的基础。对一般挟沙水流的研究多侧重于研究水流的过程,而对高含沙水流的研究则更要强调泥沙的作用。研究黄河泥沙的运动实际上是研究高含沙水流在黄河下游河床的冲刷、淤积以及由此而产生的河床纵横剖面的演变。实际上,高含沙水流是一定来水来沙条件以及河床边界条件下所形成的一种水流现象,既要重视所含泥沙的粗细,又要考虑产生高含沙水流所需要的边界条件。因此,高含沙水流是挟带有一定含量黏性细颗粒的水流在某种水沙与边界条件下所形成的一种含沙浓度较高的水流现象。

高含沙水流的河床演变是指河流在高含沙水流和泥沙的共同作用下河床几何形态的变化情况。在一般挟沙河流中,水流与河床边界的相互作用是河床演变过程中的主要矛盾,水流作用于河床,使河床发生变化,而河床的变化又会进而影响水流的结构。在高含沙水流情况下,情况则有所不同。除了水流与河床边界的相互作用依然存在外,水流中大量泥沙的存在将不仅会影响水流的结构及其运动方式,而且还会极大地影响河床演变,使河道发生大冲大淤,边界产生剧烈变化。

最开始对高含沙水流的研究主要集中在对天然河道或渠道资料的收集与分析方面,随着工作的深入,国内相继开展了高含沙水流的室内试验研究。到20世纪80年代,国内许多专家、学者还提出了高含沙水流的模拟方法,进行了有关高含沙水流的河工模型试验,到20世纪90年代,钱宁、万兆惠、王兆印等主编的高含沙水流方面的教材,侧重于介绍黄河高含沙运动、河床演变特性以及高含沙水流的应用前景。1998年出版的“八五”攻关研究成果《黄河下游河床演变基本规律》、《黄河水沙变化与下游河道减淤措施》、《拦减粗泥沙对黄河河道冲淤变化影响》等专著,集中介绍了新近的研究成果,提出了一些新的认识。国外所进行的这方面的系统研究较少。

20世纪90年代以来对黄河下游河床演变的研究成果表明:高含沙洪水中大于0.01 mm的泥沙几乎全部淤积在高村以上的宽浅河段。黄河下游的高含沙水流属于两相非均质紊流,而不是伪一相流或均质流,也不是宾汉体。高含沙长距离输送的首要条件是水流速度不低于相应条件下泥沙的不淤流速,然后通过不同含沙量情况下水力坡降与水力半径的关系确定输送某一含沙量所需要的坡降。一般说来,涨峰时,由于比降和挟沙力大,槽冲滩淤;

退峰时比降和挟沙力小,滩槽均淤积,但当挟沙力小于含沙量时,涨峰时主槽也会发生淤积,当挟沙力大于含沙量时,退峰时主槽也会发生冲刷。高含沙水流可以自身塑造出与其挟沙能力相应的窄深河槽并在单一河道中维持较长距离,具有一定的稳定性,但在具有复式断面的宽浅游荡型河道中,顺直的窄深河槽及断面形态难以长距离保持,表现出相对的不稳定性。

1.2.3 黄河下游第四纪地层

黄河下游广泛分布着第四纪松软地层,研究黄河下游第四纪地质,对于黄河下游河道治理、环境保护、沿岸可持续发展等方面都具有重要意义。

黄河下游河道最早的形成地质时代问题是黄河下游第四纪地质研究的基础性问题。卞美年在 1934 年所著的《黄河下游河谷中之新生代沉积》和杨钟健在 1936 年出版的《新生代经济和经济地质》是最早开展这方面研究的成果,这些奠基性成果至今仍具有重要的参考价值。1955 年冯景兰在《黄河流域地貌、现代动力地质作用及其对坝址选择的影响》中提出,黄河流域是在不断间歇上升中、从唐县期的夷平面存在、汾河期、清水期的深切,确认黄河整个河谷历史悠久,并非幼年期河谷。1956 年张伯声在《从黄土线说明黄河河道的发育》一文中也提出了自己的看法,认为在上新世红土层沉积时陕北盆地还没有形成出口,黄河就在这个时期或者稍后一个时期,从陇中盆地通过中卫、中宁盆地在环县西北流入陕北盆地,黄河属于婴年期。也有学者认为黄河河谷的发育与黄土无关。20 世纪 80 年代,代英生认为,黄河下游河道的形成始于三门湖的贯通,应为早更新世。20 世纪 90 年代,马国彦、王喜彦等经过对黄河下游第四纪地层的综合对比认为,黄河下游河道的形成应在中更新世早期。薛铎通过汾渭盆地与河南平原地区更新统介形类化石组合的对比,认为黄河下游河道形成的时代应该为早更新世末至中早更新世初,距今 70 万~100 万年。2002 年贾杰华、石钦周等认为,黄河下游河道形成于中更新世后期。迄今为止,对黄河下游河道的形成时代也还没有一个统一的看法。不过,以上关于此方面的研究成果可概括为,黄河下游河道的形成是由于三门湖的扩展进入华北湖,从而揭开了黄河下游冲积型河道的发育阶段,黄河冲积扇也由此而进入了新的成长期。黄河下游河道形成于早更新世或中更新世期。

黄河下游第四纪地层分布广泛、沉积厚度大、相变复杂,地层划分一直是黄河下游地质研究的热点问题。早在 1947 年,丁骥在其专著中,从黄河冲积扇的分布、沉积厚度及其生成时代进行了研究,对黄河下游地层初步进行了划分。20 世纪 80 年代,中国科学院地理研究所叶青超、地质矿产部地质研究所

石长青等,从研究黄河下游地貌的需要出发,对黄河下游的第四纪地层特别是在全新世地层方面进行了深入的研究。除此之外,鲁、豫两省地矿部门,中国科学院地质研究所等机构,分别在黄河下游开展了黄河下游地区区域性第四纪地层的研究,1989年还出版了《中国黄淮海平原第四纪地质图(1:100万)》等一批基础性成果。1997年马国彦在其著作《黄河下游河道工程地质分析及淤积物物源分析》中,提出了黄河下游河道第四纪全新统地层“三分法”的标志和黄河下游河道第四纪地层的划分方案。彭汉兴等还提出了黄河下游上段早期冰积层的识别标志,李金都等也提出了通过“可比层”的建立来进行黄河下游第四纪全新统地层划分的方法。综观对黄河下游第四纪地层的研究,可以归纳为,黄河形成以来,其冲积势力所涉及的范围,即黄河出峡谷顺东南方向流动,经徐州(洪泽湖)入海一线,以及黄河出峡谷顺东北方向流动,经濮阳、德州南入海一线,在该范围内,东南线区域第四纪地层厚度较薄,东北线区域第四纪地层厚度较厚,在鲁西、鲁北地区,因缺失下更新统地层第四纪地层厚度变小;整个第四纪地层厚度最厚可达200多m;地层成因,早更新世时,沉积物质主要来自近山区洪冲积物,中更新世时,黄河沉积物占主导地位,以冲积、冲洪积为主。在下更新统内,可见砾石、卵石层。中、上更新统均以黄土状砂壤土、壤土、细砂、粉砂为主,砂层呈扇状及带状分布;黄河下游河道第四纪地层全新统(Q_4)相当于河北平原的黄骅组,总厚度为18~25.7m,大致分为三个亚组,上段(Q_4^3)为灰黄色砂壤土、壤土,灰黑色薄层淤泥质土,厚度由黄河河南濮阳段的6.55m到黄河下游入海口山东省垦利县变为0.6m;中段(Q_4^2)为灰黄色砂壤土、壤土、粉砂、细砂等,厚度由黄河河南封丘段的5m到黄河下游入海口山东省垦利县变为14m;下段(Q_4^1)为黄褐色砂壤土、壤土、中砂、细砂等,厚度为7~14m。

1.2.4 黄河下游地上悬河的研究

对黄河下游地上悬河的主要认识,可作如下简单的概述:由于黄河下游地形开阔低缓,河道纵比降由中游的平均0.74‰降为0.12‰,水少沙多,属典型的淤积型河道。淤积已使黄河下游成为世界上著名的地上悬河。而悬河的形成又加剧了黄河决堤、断流的危害。黄河下游一旦发生堤坝决口,将会对广大人民群众的生命财产造成巨大损失,对我国的经济发展、社会稳定造成严重影响。所以,开展黄河悬河的形成机制、演化规律研究,尽早制定有效的预防措施,不仅有重要的理论意义,而且有重大的社会经济意义。

关于地上悬河的形成及其地貌特征,张忠胤曾作过深入的研究,他在《关

于地上悬河的理论问题》一书中提出,形成地上悬河的基本条件是:①河中必须挟带大量的直径 $0.25 \sim 0.01 \text{ mm}$ 的土粒(敏感土粒);②河水中必须有相当大的部分是具有小于 0.7 m/s 的平均流速的水流(敏感水流);③河流必须具有足够广阔的可供泛滥的面积。也就是说,河水必须搬运有大量易于沉淀淤积,又易于起动悬浮的敏感土粒的细砂、极细砂及粗粉粒颗粒,敏感土粒在较小的平均流速(小于 0.7 m/s)时,可迅速沉积。但是,随着瞬时流速的脉动,敏感土粒可以时而悬浮、时而推移、时而沉积不动,时而再悬浮、再推移、再沉积。黄河下游正是由于土的这种特性,才使得其河底形态在不断地变化,滩区可以很快坍塌,河槽区又可很快地淤积成新滩,使河流具有朝北暮南的游荡性和多变性。悬河区的地貌单元主要由蛇曲带、自然堤及泛滥洼地组成,不同的地貌单元具有不同的地貌特征及岩性组成。

悬河作为河流,在特定区域、特定时间的河流演化的产物常具有以下特征:一般位于河流的下游且具有一般河流的中上游侵蚀、下游淤积的特点。强烈的淤积是悬河形成的基础,故悬河一般发育在河流下游地形低平开阔的泛滥平原上;悬河段流域面积小,黄河下游流域面积为 $2.2726 \times 10^4 \text{ km}^2$,仅占黄河总流域面积 $75.2443 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的3%;通常情况下,河流流域均为汇水盆地或汇水谷地,流域面积较大。泥沙的淤积,河床的抬高,悬河的形成,使得汇入的支流向改变,悬河成了其他河流的分水岭;黄河下游自桃花峪以下位于黄河冲积扇脊部,南侧地势向东南缓倾斜,北侧向东北缓倾斜,下游河道已成为淮河流域与海河流域的天然分水岭;由于悬河河道泥沙淤积严重,河床抬高,河道萎缩,泄洪能力下降,中小洪水就出现小流量、高水位、大漫滩等异常现象。如1996年8月黄河发生洪水,花园口1号洪峰流量为 $7600 \text{ m}^3/\text{s}$,水位却高达 94.73 m ,比1982年洪峰流量 $15300 \text{ m}^3/\text{s}$ 的“82·8”洪水水位还高出 0.74 m ,黄河下游河段全线水位偏高,普遍接近或突破历史最高水位纪录。继续采用加高河堤的办法治黄,堤会越堆越高,决堤的可能性、危害性也会越来越大。

悬河河床面高于悬河两岸地面,造成河水向两岸地区渗透流失,加上气候及中上游地区工农业生产和人民生活用水急剧增加等原因,黄河下游自1972年以来,频繁出现断流现象。1997年更出现226天的有记录以来最长的断流记录,而且是首次跨年度断流。悬河的形成是自然营力与人为因素综合作用的产物,悬河是河流下游严重淤积、河床抬高与人类为预防洪灾、约束水流在河道两侧不断填土筑堤、河堤逐渐增高形成的产物。河流在下游平原地区的自然演化多是形成网状水系、辫状水系或爪状水系。人为的干预加速了地上

悬河形成。

自然界任何现象均有其发展演化过程,作为河流特殊现象的悬河也有自己独特的演化过程。根据河水水面、河床床面与两岸地面高程的关系,河水支流补给与否、流域面积的变化,以及河流是否断流等因素,有的学者将悬河的演化划分为5个阶段:幼年期悬河、青年期悬河、成年期悬河、老年期悬河和衰亡期悬河。幼年期悬河河床低于两岸地面高程,河流水面在雨季或洪水期高于两岸地面,有支流补给,流域面积较大,又叫季节性悬河或洪水期悬河。目前,长江中下游河段河流水面在洪水期明显高于两岸地面,已属于幼年期悬河。青年期悬河河床面仍低于两岸地面,河流水面长年高于两岸地面,支流河水补给逐渐减少,渐趋于封闭,流域面积逐渐减小。成年期悬河不仅水面高于两岸地面,而且河床面长年高于两岸地面,支流封闭补给停止,流域面积很小。老年期悬河由于支流封闭补给停止,仅有干流上游河水补给。河床不断淤积抬高,河床面显著高于两岸地面,成为其他河流流域的分水岭,河水向两岸渗透。加上气候原因以及工农业用水加剧,形成悬河在枯水期季节性断流。悬河演化进入老年期。衰亡期悬河当气候长期干燥,上游来水减小,而河水向两岸渗透及工农业用水加剧时,将会造成悬河下游长年断流,悬河演化就进入衰亡期。如果干旱加剧,断流河段逐渐向上游延伸,悬河将会消亡。原河流就成为内陆河,甚至也会消亡。黄河下游目前属于悬河演化5个阶段中的哪个阶段,目前还没有一个统一的看法,这也是黄河是否已经寿终正寝而需要人工改道经常争论的问题的焦点之一。

1.2.5 河湖沉积物及古环境演化的研究方法

近几年人们对河湖沉积物及古环境演化的研究表明,随着科学的进步,人们在探索未来的同时,更需要了解过去。通过研究第四纪沉积物的沉积时代、沉积表观特征、粒度特征、包含物属性等进而揭示第四纪沉积物和古环境的演变过程,是古环境演化研究一般常用的方法。第四纪沉积物沉积表观特征包括沉积层理、面理等,需要通过野外寻找标准剖面观察解决。第四纪沉积物粒度特征和包含物属性则需要通过探孔取样进行室内测试分析。第四纪沉积物的沉积时代研究,通常采用同位素测年的方法来解决。根据放射性衰变的原理,进行同位素测年的方法主要有三类:第一类是以单一核素的放射性衰变为依据,如 ^{14}C 、 ^{10}Be 等测年技术;第二类是以放射性核素的母子体衰变关系为基础,如铀-镭、铀-铅、铀子系列;第三类则是以放射性核素所产生的辐射效应为基础,如热释光、光释光、电子自旋共振、 α -衰变径迹和裂变径迹等。这些