

黄河泥沙与不竟

科学出版社

景 可 陈永宗 李风新 著

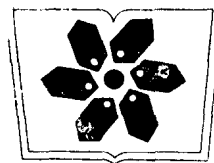
黄河泥沙与环境

科学出版社

V882.1



国家自然科学基金委员会资助出版



中国科学院科学出版基金资助出版

黄河泥沙与环境

景 可 陈永宗 李风新 著

科学出版社

1993

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书是依据流域系统原理论述黄河泥沙的侵蚀、输移、堆积过程的专著。全书共分十章。第一章至第五章以翔实资料论述了黄河中游的侵蚀产沙环境、侵蚀产沙地层、侵蚀产沙类型和方式、侵蚀产沙的时空分布及趋势、粗泥沙的来源及其对下游河道淤积的影响；第六章论述了流域沟道与河道泥沙输移特征；第七章至第九章论述了黄河泥沙的堆积环境、泥沙堆积的时空特点、现行河道的泥沙淤积形式；第十章论述了控制下游泥沙灾害的对策与措施。

本书可供研究河流泥沙、水土保持、生态环境、自然地理、水利等方面专业研究人员及高等院校有关专业师生参考。

黄 河 泥 沙 与 环 境

景 可 陈永宗 李风新 著

责任编辑 刘卓澄

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

北京市怀柔县黄坎印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1993年8月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1993年8月第一次印刷 印张: 16

印数: 1—750

字数: 368 000

ISBN 7-03-003421-X/P·670

定价: 15.10 元

105-522

前 言

横贯中华大地的万里黄河是中华民族的母亲河。她的乳汁哺育了两岸肥沃的土地，养育了炎黄子孙，是世界古文明的发祥地之一。然而，自远古时代的鲧、禹治河传说起，迄今 4 000 多年的历史长河中，黄河决溢改道不断，给两岸人民带来深重灾难，始终是中华民族的心腹之患。黄患虽得到历代朝政的重视，进行多方治理，但终因问题的复杂性、难度大，始终未得到根治。

中华人民共和国成立以后，国家十分重视黄河的治理，决心“一定要把黄河的事情办好”。与此同时，黄河的研究也得到重视，开展了有关中游土壤侵蚀、下游河床演变、黄河治理方略等课题研究。但至今许多重大课题尚未获得突破性进展，对黄河问题的看法与认识意见分歧颇大。追溯原因，固然与黄河问题的复杂性和难度大有一定的关系，但不能不说以往对黄河的治理与研究多半是孤立进行的，而没有把黄河作为一个流域系统，把有关问题作为子系统来对待；也没有在系统论指导下研究中游与下游、侵蚀与堆积、治本与治标等子系统之间的关系。

《黄河泥沙与环境》一书系作者在“六五”与“七五”期间参加黄河中下游国家重大科技攻关项目和国家重大自然科学基金项目的研究成果基础上，吸收了前人的有关研究成果，经总结归纳而成。本书写作思想体系是尽量依据流域系统理论，将中游的侵蚀产沙与下游的沉积，通过泥沙输移将二者有机地联系起来，以此探求侵蚀产沙与沉积的耦合关系，探求自然与人为在侵蚀产沙与沉积中的作用。所以本书的出版可说是为黄河的泥沙侵蚀、输移和堆积系统的研究开辟一个范例，为今后深入、全面研究黄河的治理与开发提供有益的思路。

在本书出版之际，在此特别要致谢战斗在黄河流域上的水文站、水保站的同志们，他们直接或间接地为本书无私地奉献了丰富的实验与观测资料。此外，本书在编写过程中参阅了不少的专著与论文及其他有关资料，并引了其中部分内容。因此，在一定意义上说本书是工作和战斗在万里黄河上众多同志的集体成果。本书出版以后若能起到抛砖引玉的作用，这将是作者最大的欣慰。

同时，本书也是在中国科学院地理研究所各级领导和同志们的关怀和帮助下完成的。尤其是地貌研究室的龚国元、叶青超、高善明、金德生等同志，对本书的撰写和出版都给予了热情的支持和帮助，无私的提供了资料；徐静芳同志清绘了全书插图。在此谨向上述同志以及帮助过作者的所有同志表示衷心的感谢。

本书共分十章。陈永宗研究员撰写了第四章的第一、二、三节；特邀中国科学院西北水土保持研究所张平仓同志撰写了第五章第三节中的二（二）部分；李风新同志负责全书的矿物分析和部分资料的整理、统计分析；其余均由景可执笔。全书最后由景可汇总定稿。

目 录

前言	
第一章 绪论	1
第一节 泥沙及其特性.....	1
第二节 侵蚀与产沙.....	10
第三节 流域的几个地理界线.....	12
第二章 现代侵蚀环境的形成与特点	24
第一节 自然侵蚀产沙环境的形成.....	24
第二节 自然侵蚀产沙环境特点.....	37
第三节 人为侵蚀环境特点.....	46
第三章 侵蚀产沙地层与侵蚀产沙类型	53
第一节 侵蚀产沙地层.....	53
第二节 产沙地层的区域组合特征.....	64
第三节 侵蚀产沙的类型与方式.....	67
第四章 侵蚀产沙量的时空分布及变化趋势	79
第一节 确定侵蚀产沙强度的方法与等级划分.....	79
第二节 侵蚀产沙强度的空间分布.....	82
第三节 侵蚀产沙强度的时间变化.....	87
第四节 侵蚀产沙量的由来剖析.....	90
第五节 侵蚀产沙的趋势.....	100
第五章 粗泥沙及粗泥沙区	107
第一节 概述.....	107
第二节 粗泥沙的来源.....	111
第三节 基岩侵蚀产沙.....	116
第四节 黄河粗泥沙的沿程变化.....	125
第五节 多沙粗沙区产沙对下游河道冲淤影响.....	131
第六章 侵蚀产沙的输移特征	137
第一节 泥沙输移比.....	137
第二节 泥沙输移比的形态标志.....	149
第三节 泥沙输移比的区域分异.....	152
第四节 泥沙输移比与流域面积的关系.....	157
第五节 河道泥沙输移特性.....	159
第七章 泥沙的堆积环境	166
第一节 泥沙堆积的地质构造环境.....	166

第二节	地貌环境过程.....	172
第三节	河口的海洋环境.....	175
第四节	现代地理环境特征.....	179
第八章	泥沙堆积的时空变化及堆积形态形成机理.....	184
第一节	中下游贯通时间讨论.....	184
第二节	下游泥沙堆积的时空变化.....	188
第三节	泥沙堆积形态及形成机理.....	198
第九章	下游现行河道泥沙淤积形式及其前景.....	209
第一节	概述.....	209
第二节	下游河道纵剖面特征.....	213
第三节	与河道泥沙淤积形式相关的几个现象.....	219
第四节	河口延伸对淤积的影响.....	226
第五节	下游现行河道发展趋势.....	230
第十章	下游泥沙调控的对策.....	236
第一节	调控泥沙的主要观点及评述.....	236
第二节	控制泥沙的方略与措施.....	239
第三节	水土保持与治黄的关系.....	243

图片说明

封面: 黄河壶口瀑布

封底: 上. 黄河侵蚀地貌

中. 第三纪红层侵蚀地貌

下. 中生代基岩崩坍

SEDIMENT AND ENVIRONMENT IN THE HUANGHE RIVER

CONTENTS

Preface

Chapter I Introduction	1
Sediment and its characteristics	1
Erosion and sediment yield	10
Several geographical boundaries	12
Chapter II Formation and Characteristics of modern erosion environment	24
Formation of natural characteristics of erosion and sediment yield	24
Natural characteristics of erosion and sediment yield	37
Characteristics of man-induced erosion environment	46
Chapter III Stratigraphic and types of erosion and sediment yield.....	53
Stratigraphic of erosion and sediment yield.....	53
Regional characteristics of stratigraphic of sediment yield	64
Types and ways of erosion and sediment yield	67
Chapter IV Temporal fluctuation and spatial distribution of erosion and sediment yield and their trends	79
Methods to calculation intensity of erosion and sediment yield	79
Spatial distribution of erosion and sediment yield	82
Changes of intensity of erosion and sediment yield with time	87
Changes of intensity of erosion and sediment yield in history	90
Trends of erosion and sediment yield	100
Chapter V Coarse silt and its region	107
General statement	107
Source of coarse silt	111
Erosion and silt yielding in base rock area	116
Coarse silt along the Huanghe River.....	125
Influence of coarse silt in regions of sediment wealth and yielding on	

washing and silting in the Lower Huanghe River channel	131
Chapter VI Delivery characteristics of erosion and sediment	
yielding.....	137
Sediment delivery ratio	137
Form sign of sediment delivery ratio	149
Regional differences of sediment delivery ratio	152
Relationship between sediment delivery ratio and drainage basin area	157
Characteristics of sediment delivery of river channel	159
Chapter VII Environment of sediment deposition	166
Geological structural environment of sediment deposition	166
Processes in geomorphological environment	172
Oceanic environment of estuary	175
Characteristics of modern geographic environment.....	179
Chapter VIII Changes of sediment deposition with time and	
 space and forming mechanism of depositional body	184
Discussion on the period linking up the Middle and Lower Huanghe	
River	184
Changes of sediment deposition in the Lower Huanghe River with time	
and space	188
Depositional body and its forming mechanism	198
Chapter IX Deposit ways and development trends of sediment	
 in the modern Lower Huanghe River channel	209
General statement	209
Characteristics of longitudinal profile of the Lower Huanghe River	
channel	213
Several phenomena related to sediment depositing forms of river channel ...	219
Influences of river mouth stretching on depositing	226
Developing trends of the modern Lower Huanghe River channel	230
Chapter X Countermeasures of controlling on sediment in	
 Lower Huanghe River channel	236
Main viewpoints of control on sediments and their appraisals	236
Countermeasures of control on sediment	239
Relations of soil and water conservation to administering the Huanghe	
River.....	243

第一章 绪 论

第一节 泥沙及其特性

一、概 述

泥沙的真正的涵义尚未统一认识,至今大致有两种解释:一是广义的泥沙概念,即凡在流体中运动或受水流、风力、波浪、冰川及重力作用移动后沉积下来的固体颗粒碎屑,称之为泥沙^[1];二是狭义的泥沙概念,是指疏松的未粘结的粒状物,其颗粒或格架要素必须属于砂粒级^[2]。目前泥沙研究的对象多半指后者。

我国劳动人民对泥沙早就有所认识,先秦时期就把黄河称之为浊河,西汉时有“石水六斗泥”之说。远在公元前 246 年修建郑国渠和公元前 256—251 年修建的都江堰就是以发展灌溉为目的的用水用沙和取水防洪的治河工程的光辉典范。随着生产实践的需要和科学技术的发展,人们对泥沙的认识逐渐由宏观走向微观。近代河流专家或泥沙专家不仅研究泥沙的群体,而且研究每粒泥沙起动及起动后的受力状况和运动状态、泥沙的沉积条件等。同时还研究泥沙在不同水流状态下的运动特点,泥沙的造床作用,河床泥沙堆积形态的再造过程,以及泥沙对水流的反作用等等。河流及泥沙专家所有的这些研究,在空间仅局限于河床中,又多半是集中在冲积性河床中。研究的对象是泥沙的运动和水流对泥沙的作用,如水流的挟沙能力,泥沙的输移过程等等。我国在这方面的研究已取得很大成绩,并在治河中发挥了巨大作用。

如果说泥沙专家研究的是泥沙的微观世界,那么,本书是要研究泥沙的宏观世界。研究的空间着眼于整个流域,研究的对象不局限于泥沙本身,还包括与此有关的环境问题。所以本书名为《黄河泥沙与环境》。本书研究内容主要包括以下三方面: 其一是泥沙的来源,包括侵蚀产沙的区域环境特征、侵蚀产沙地层及侵蚀产沙类型、侵蚀产沙量的时空分布规律; 其二是泥沙的输移,包括泥沙输移的环境特征、泥沙输移特征、泥沙输移比、泥沙输移比的区域分异; 其三是泥沙的堆积,包括泥沙堆积与区域环境的关系、泥沙堆积的时空变化及泥沙堆积形态。

本书以上研究的三个内容,以往分别是由地理学家和土壤学家研究侵蚀产沙过程;由河流泥沙专家研究泥沙的输移过程;由沉积学家研究泥沙沉积过程和沉积特点。尽管这三部分研究内容之间存在紧密的有机联系,但由于受专业知识的限制,因而各家多半局限于某一方面的研究,它们之间内在关系往往被疏忽了。随着生产实践的需要,更多的人已认识到泥沙过程研究的现实意义和重要的理论价值。尤其是黄河下游治理的实践,已清楚地告诉人们,黄河的问题在下游,但根子则产生在中游。如果还像以往那样孤立地各自研究与本专业相关的领域,那么黄河的许多泥沙问题都将得不到圆满的解决。以

上三部分内容概括起来就是侵蚀、输移、沉积。它们是河流系统中的三个子系统。80年代以来,国外已重视三者之间的关系研究。而我国早在30年代水利学家李祉就提出了黄河中上游侵蚀与下游河床堆积的关系;60年代黄河水利委员会水利科学研究所泥沙室在钱宁教授的指导下,研究了粗泥沙的来源及其对下游河道的影响^[3];70年代姜达泉也指出,掌握水土流失的侵蚀、搬运、沉积等地区作用的发展规律才能更好地运用自然规律和经济规律。尽管人们对三者之间的关系的紧密性已有一定的认识,但是并没有真正地开展研究工作。

二、泥沙的环境效应

黄河流域不仅以其悠久和文明历史著称,而且更以黄河输沙量大、含沙量高闻名于世(表1.1)。黄河泥沙的来源集中在中游地区,中游地区的强烈侵蚀产沙对下游的生态环境已产生了深刻的影响。黄河中游产沙区由于长期遭受强烈的侵蚀,目前大部分地区是光山秃岭,沟壑纵横,地面支离破碎。据统计:沟长大于1km的沟道有320480条,其中1—5km的为271100条,6—10km的为47000条,11—50km为2300条,大于50km为180条;0.5—1.0km为42132条;小于0.5km的沟道不知其数,多到难以统计。在1/5万子洲幅地形图上统计表明:长度大于0.3km的沟道每平方公里就有21条。可见黄河

表 1.1a 全国主要河流多年平均水沙特征值统计

河 流	测 站	水 量		沙 量		
		流 量 (m ³ /s)	径 流 量 (×10 ⁸ m ³)	含 沙 量 (kg/m ³)	输 沙 量 (×10 ⁴ t)	输沙模数 (t/(km ² ·a))
松花江	哈尔滨	1210	381.8	0.156	751	19.2
辽 河	铁 岭	165	52.0	6.83	4070	336
永定河	官 厅	43.1	13.6	60.8	8070	1900
黄 河	陕 县	135.0	425.9	36.9	157000	2290
无定河	川 口	47.0	14.8	139.0	21000	7020
渭 河	华 县	287	90.5	47.0	4200	3900
淮 河	蚌 埠	855	269.6	0.456	1410	116
长 江	宜 昌	14300	4512	1.18	5210	518
金沙江	屏 山	4640	1464.0	1.66	24300	502
岷 江	高 场	2870	905.2	0.162	5440	409
嘉陵江	北 碚	2130	672.4	2.490	17000	1070
湘 江	湘 潭	2010	633.7	0.173	1070	133
赣 江	外 洲	2030	640.3	0.18	1110	137
闽 江	竹 歧	1740	547.1	0.135	751	138
西 江	梧 州	6970	2199.0	0.345	6920	210
北 江	石 角	1280	403.0	0.133	515	134
东 江	博 罗	710	224.0	0.152	341	135
红水河	迁 江	2130	6724	0.628	4250	332
澜沧江	允景洪	1840	580.1	1.300	7730	561
雅鲁藏布江	如 下	2010	634.6	0.318	1820	108
伊犁河	雅马度	393	116.7	0.539	672	134
叶尔羌河	卡 群	203	64.0	4.560	2910	604

表 1.1b 国外若干河流多年平均水沙特征值统计表

河 流	测 站	水 量		沙 量		
		流 量 (m^3/s)	径 流 量 ($\times 10^8 \text{m}^3$)	含 沙 量 (kg/m^3)	输 沙 量 ($\times 10^8 \text{t}$)	输沙模数 ($\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$)
亚马孙河	河 口	18 100	57 200	0.07	4.0	69
密西西比河	河 口	17 820	5 640	0.6	3.44	107
密苏里河	赫 尔 曼	1 950	616	3.9	2.4	181
科罗拉多河	大 峡 谷	155	49	30.4	1.49	234
布拉马普特拉河	河 口	12 190	3 850	2.1	8.0	1 200
恒 河	河 口	11 750	3 710	4.3	16.0	1 680
科 西 河	楚 特 拉	1 810	570	3.3	1.9	3 060
印 度 河	柯 特 里	5 500	1 740	2.8	4.8	495
伊洛瓦底江	普 朗 姆	13 550	4 290	0.8	3.3	768
尼 罗 河	格 拉	2 830	895	1.4	1.22	41.6

中游由于侵蚀所形成的各种不同等级的沟道总数在一般地形图上已无法做到精确统计。许多沟谷已经深深地切割到基岩，切割深度多在 100m 左右，谷坡陡峻。在丘陵沟壑区大于 25° 的坡地面积占 20% 以上。由于强烈的侵蚀产沙，土地资源遭受到严重破坏，土地肥力日益贫瘠，生态环境严重恶化，这给当地农业生产带来巨大的影响。据测定，黄土高原流失的每吨泥土中含氮 0.5—0.8kg，全磷 1.5kg，全钾 20kg。目前黄土高原大部分地区的土壤有机质含量不足 1%，有些地区甚至低于 0.5%，团粒结构极差，自然肥力很低，农作物的产量不仅低，而且不稳定，一般年景坡地亩产只有几十公斤，旱年就更低了。

由于强烈侵蚀产沙，兴建在黄土高原上的水利设施淤积十分严重。据不完全统计，陕西省兴建在黄土高原上的大小水库平均每年损失库容 $8.216 \times 10^7 \text{m}^3$ 。如陕西省延安地区共修水库 127 座，总库容 $5.31 \times 10^8 \text{m}^3$ ，已淤积 $2 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占总库容的 37%，其中有 15 座百万立方米的水库全部淤满。榆林地区有水库 400 座，库容 $1.0 \times 10^9 \text{m}^3$ ，已淤 $3.8 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占总库容的 38%。陕西省安塞县石马科水库(库容 $4.0 \times 10^8 \text{m}^3$) 1961 年建成，1966 年淤满。山西省汾河水库库容 $7 \times 10^8 \text{m}^3$ ，17 年淤了 $2.94 \times 10^8 \text{m}^3$ ，损失库容 42.0%。三门峡水库是黄河干流上的第一期控制工程，1960 年 9 月建成蓄水，到 1962 年 3 月淤积泥沙 $1.534 \times 10^9 \text{t}$ ，约占正常高水位的 1/6。自 1962 年改变运用方案，并进行改建，到 1980 年已损失库容 $4.47 \times 10^9 \text{m}^3$ ，约为原库容的一半(表 1.2)。

黄河中游的侵蚀产沙不仅影响其本身的环境质量和工农业生产，而且还严重地影响

表 1.2 黄河中游(河口镇—三门峡)大中型及小(一)型水库淤积量

水库型	水库数	总库容 ($\times 10^8 \text{m}^3$)	累积淤积量 ($\times 10^8 \text{m}^3$)			淤积量占总库容百分数(%)
			1970	1979	1986	
大 中	112	57.03	7.04	13.96	17.44	30.6
小(一)	452	14.23	0.44	2.44	3.99	28.0
合 计	564	71.26	7.48	16.40	21.43	30.1

到黄河下游，使之成为黄河下游水患之源。据历史记载，在过去的 2 500 年间，黄河下游决溢 1 500 多次，大改道 5 次^[4]，又一说 26 次和 7 次^[5, 6]。若 26 次，则平均百年改道一次。黄河泛滥涉及的范围南至淮河，北达天津，横扫华北平原 $2.021 \times 10^5 \text{ km}^2$ 的范围¹⁾。黄河的水患给下游人民带来巨大的经济损失和环境的不良后果。如近代 1933 年的大洪水，将 $3.3 \times 10^9 \text{ t}$ 泥沙输入下游，使下游 50 余处决口，黄河两岸的河南、山东、河北、江苏和安徽五省的 50 余县受灾，受灾面积达 12 000 余平方公里，受灾人口 339.6 万人，死亡 18 000 余人^[7]。

黄河下游每次决溢与改道以后，留下大片缺乏植被覆盖的沙地或者潮湿洼地。建国前在下游有不同等级湿地 1 900 万亩，盐碱地 5 000 万亩，虽经 30 多年的治理，现在仍有盐碱地 2 010 万亩有待治理。同时还由于黄河是地上河，需从根本上改变地上水与地下水之间的关系。黄河水位控制了两岸地下水位的变化，黄河的侧渗可达 180 km 外的微山湖，黄河对海河流域地下水的补给量每年达 $8.3 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。由于黄河水的反补给，给黄河两岸土地盐碱化的治理带来许多困难。

自 1947 年以来，黄河下游虽 40 余年未决溢，但由于黄土高原的产沙并未根本减少，泥沙的危害依然存在。据水文泥沙测验资料统计，平均每年通过三门峡的泥沙为 $1.6 \times 10^9 \text{ t}$ ，其中大约有四分之一，即 $4 \times 10^8 \text{ t}$ 泥沙沉积在下游河道，总沙量的二分之一堆积在陆上和水下三角洲，只有大约四分之一被扩散到渤海海域。下游河道因淤积，河床平均每年抬高 8—10 cm (表 1.3)，因此下游河道成为高出两岸地面的地上悬河。三角洲海岸

表 1.3 黄河下游 1855—1982 年河道沉积厚度^[8] (m)

河 段	1855—1954		1954—1959		1960—1964		1965—1969		1970—1974		1975—1982		1954—1982	
	沉积厚度	平均厚度	沉积厚度	平均厚度	沉积厚度	平均厚度	沉积厚度	平均厚度	沉积厚度	平均厚度	沉积厚度	平均厚度	沉积厚度	平均厚度
花园口—东坝头	3.64	0.04	1.03	0.17	-1.08	-0.22	0.49	0.10	0.21	0.04	0.27	0.093	2.10	0.074
东坝头—艾山	6.12	0.068	1.00	0.17	-1.00	-0.20	0.27	0.05	0.49	0.10	0.40	0.099	2.86	0.102
艾山—利津	6.35	0.071	0.46	0.076	-1.85	-0.37	0.52	0.10	0.97	0.19	0.52	0.08	1.98	0.071
花园口—利津	5.37	0.06	0.83	0.14	-1.31	-0.26	0.42	0.083	0.56	0.11	0.40	0.096	2.31	0.082

每年平均以 0.43 km/a 的速度向外淤积。由于泥沙的堆积，现在大堤随时有决溢的危险，将严重地威胁着两岸人民的生命财产安全，严重地影响到国民经济发展。因此开展黄河泥沙及其环境研究，不仅具有重要的经济意义，而且还具有重大的政治意义。

三、黄河泥沙研究的历史回顾

黄河是一条历史悠久的河流，我国劳动人民对它早有认识，先秦时期就把黄河称之为浊河，西汉末年的张戎曾用“石水六斗泥”形容黄河多沙特点。“俟河之清，人寿几何”反映黄河多沙和黄河难治。公元 69 年东汉王景治河时期就采取了“防遏冲要，疏决壅积”的防与疏兼施办法，以沙为对象。800 多年前北宋的沈括已认识到黄河泥沙主要来

1) 1/100 万地形图上量计。

自黄土高原的强烈侵蚀。在他所著《梦溪笔谈》一书（1096年）中，对于河流的侵蚀、搬运和堆积作用的相互关系及其所造成的地形有精辟的论述，他说“所谓大陆者皆浊泥所湮开，尧殛鲧于羽山，归说在东河中，今乃在平陆。凡大河、漳水、滹沱、涿水、桑干之类，悉是浊流，今关陕以西，水行地中不减百余尺，其泥岁东流，皆为大陆之土，此理必然”。从对河流淤积规律认识的这些记载中，解释了华北平原是黄河、滹沱河、漳河等携带泥沙淤积而成。这说明沈括对水流的侵蚀作用与堆积作用已有明确认识，并了解其内在联系。沈括这些论述比西方早六百多年。在欧洲一直到18世纪中叶才有俄国学者罗蒙诺索夫（М.В. Ломоносов）和英格兰学者郝登（J. Hutton），在他们的《论地层》和《地球概论》等著作中提出了这些观点和概念。明代周用提出的“治河、垦田事相因，水不治田不可治，田治则当益，事项表里”。明代徐贞明确提出“治水先治源”。明代潘季训在长期治河的实践中提出水分则缓，势缓则沙停，沙停则河跑，水合则势猛，势猛则沙刷，沙刷河深等水沙关系的论断。清代有“汰沙澄源”之说。清代兰孙指出：“因时而变者，如大雨行时，山川洗涤，洪流下注，山石崩坠，久久不穷，则高下局住，流久则损，损久则变，高者淘洗而日下，卑者因堵塞而日平，故日变盈则流谦”。兰孙的变盈兼论不但总结了流水的侵蚀和堆积作用，而且还提出了流水使地面夷平，甚至使高岸为谷，深谷为陵的观点。

19世纪至20世纪40年代，黄土高原的侵蚀和黄河下游的泥沙堆积研究有了一定的发展，对黄河泥沙的来源和泥沙对下游的影响都有了较深的认识。这时有一些外国学者来黄河考察，如公元1889年荷兰工程师单百克和魏舍曾来黄河下游进行考察，公元1899年比利时人卢法尔对黄河下游也作了考察；进入20世纪德国的方修世，美国的弗礼门、雷巴德、葛罗和萨凡奇等人先后都对黄河作过考察。德国著名的河工模型试验专家恩格思虽未来过中国，但他素以研究黄河为志，20余年搜集关于黄河资料，孜孜研讨不倦。他是第一个利用模型试验对黄河进行大量研究的人，著有《制驭黄河论》。

在这个时期，我国水利学者学习了国外技术，于1878年在黄河上用公制海拔计高来观测水位；到了1919年在河南陕县和山东洛口两处分别设立水文站，测验流量、水位、含沙量、雨量。此后，相继在汾河、沁河、黄河其他地方设站。这是黄河流域泥沙从定性认识到定量研究的开端。至30年代，著名的水利学家李仪祉对黄河治理进行过深刻的钻研，他著有《黄河之根本治法商榷》、《黄河治本的探讨》等著作。他提出上、中、下游全面治理的治河方针，使我国的治河方略向前推进了一大步。

自1949年以后，开创了黄土高原侵蚀和黄河下游泥沙研究的新纪元。1951—1954年，水利电力部黄河水利委员会组织了三次大规模的黄河流域的全面勘查，基本上完成了黄土高原主要支流流域勘查任务。1955—1958年，中国科学院又组织了有七个研究所和黄河水利委员会、北京大学等十几个单位参加的“黄河中游水土保持考察队”，对黄河中游进行了全面的考察。通过这次考察，对泥沙的来源有了进一步的认识，并对侵蚀产沙进行分区。黄河水利委员会还于1953年在陕西的韭园沟、辛店沟和陇东西峰南小河沟建立了水土保持试验站。与此同时，黄河下游也开展了河床演变和泥沙运动的研究。特别要指出的是钱宁在这方面的研究有卓越贡献。他首先提出对黄河下游危害最大的泥沙是粒径大于0.05mm的泥沙。钱宁还进行了黄河下游的河型、河床的平面形态、纵横剖面的河相关系、水沙和边界条件等研究，并著《黄河下游河床演变》一书。

进入 80 年代,黄河中游的侵蚀产沙和下游泥沙沉积研究进一步得到重视,无论是研究的领域和仪器设备,还是研究队伍都有了较大的发展。这里需要特别指出的是研究比较薄弱的泥沙输移比有了突破性的发展,龚时暘等人提出黄河中游的泥沙输移比为 1 的论断。此外,进入 80 年代以后,泥沙研究不仅视线开拓了,而且广泛地运用了新技术,使黄土高原的侵蚀、输移和沉积研究进入了新的发展时期。

四、泥 沙 特 性

河道泥沙的侵蚀、输移和沉积的过程,不仅取决于水流的运动特性、河床的边界条件、流域的条件,而且与泥沙本身的一系列特性有密切的关系。如泥沙的几何特性、重力特性、泥沙的沉速等。本文只论述黄河泥沙的粒配、絮凝、矿物及化学等特性。

1. 泥沙的粒配特性

河流泥沙是来自流域的不同地层,因而泥沙的粒级不是均匀的,各地泥沙粒配相差很大(表 1.4)。表 1.4 展示黄河中游(三门峡)与长江中游(宜昌)两站多年平均

表 1.4 黄河、长江泥沙(悬移质)粒配比较

地 点		小于某粒径 (mm) 的百分数 (%)								d_{80}
河 流	站 名	<0.007	0.01	0.025	0.05	0.10	0.25	0.50	1.0	
黄 河	三门峡	21.3	27.3	45.4	69.9	94.9	99.5	100	—	0.0312
长 江	宜 昌	11.8	19.5	38.4	65.5	88.8	97.5	99.9	100	0.035

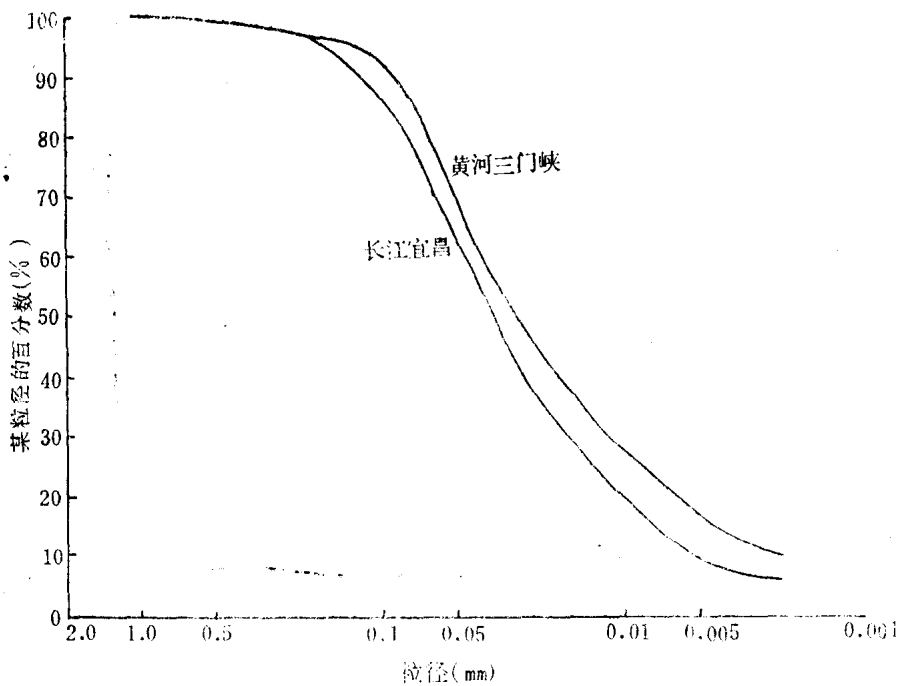


图 1.1 长江、黄河泥沙粒配曲线比较

泥沙粒配，黄河的泥沙粒配组成相对比较均一，而且粘粒占的比重大。如果将表 1.4 点绘于半对数坐标纸上（图 1.1），更能清晰地看出黄河泥沙比长江要细。尽管黄河泥沙粒配与其他河流比较要均一而且细，但黄河本身各河段泥沙变化比其他河流（例如长江）显著（表 1.5、表 1.6）。表 1.5 示出上下游各站泥沙的粒配总是变化的，自上而下由粗变细，而且递减率比较大。表 1.6 泥沙粒配中粗细变化波动的幅度大于长江。黄河中游支流泥沙粒配变化更大（表 1.7）。这表明黄河泥沙的来源比长江泥沙来源更为复杂。

表 1.5 长江下游的泥沙粒配

站 名	小于某粒级(mm)的百分含量 (%)								d_{50}
	<0.007	0.01	0.025	0.05	0.10	0.25	0.50	1.0	
奉 节	13.8	19.9	38.8	63.4	85.1	95.5	99.9	100	0.0346
宜 昌	11.8	19.5	38.4	65.5	88.8	97.5	99.9	100	0.035
监 利	22.2	30.5	46.0	73.6	89.1	98.0	100	—	0.022
累 山	17.4	27.3	50.6	74.0	90.7	98.6	100	—	0.024
汉 口	20.1	28.1	50.7	74.2	92.6	99.6	100	—	0.027
大 通	16.4	26.4	47.9	72.7	94.6	99.4	100	—	0.012

表 1.6 黄河上、中、下游的泥沙粒配

站 名	小于某粒级(mm)的百分含量 (%)								d_{50}
	<0.007	0.01	0.025	0.05	0.10	0.25	0.50	1.0	
循 化	23.4	28.6	43.9	61.4	80.4	96.3	99.5	100	0.032
兰 州	21.6	29.7	49.2	71.0	91.9	98.7	99.9	100	0.025
青铜峡	16.1	22.6	44.1	71.8	69.3	98.8	99.9	100	0.0291
河口镇	20.5	26.2	44.7	69.8	96.1	99.8	100	—	0.03
龙 门	15.5	18.7	31.9	56.8	89.0	96.8	99.3	100	0.044
三门峡	21.3	27.3	45.4	69.9	94.9	99.5	100	—	0.0312
小浪底	19.3	24.5	41.5	67.7	94.7	100	—	—	0.0325
花园口	20.4	25.7	42.9	69.1	95.9	100	—	—	0.031
洛 口	28.1	33.9	53.0	77.6	97.4	100	—	—	0.022
利 津	26.3	32.1	52.0	78.5	98.5	100	—	—	0.0225

表 1.7 黄河中游主要河流的泥沙粒配

站 名	小于某粒级(mm)的百分含量 (%)									d_{50}
	<0.007	0.01	0.025	0.05	0.10	0.25	0.5	1.0	2.0	
皇甫川	10.6	13.2	21.0	33.3	55.2	73.7	87.6	99.3	100	0.084
孤山川	12.4	15.2	24.7	41.9	78.8	94.9	98.9	100	—	0.059
窟野河	11.4	14.2	21.9	34.3	59.0	79.1	93.5	99.6	100	0.079
大理河	10.9	14.4	27.3	54.8	89.5	95.5	98.1	100	—	0.046
延 河	13.0	16.2	29.2	55.3	88.6	96.8	99.3	100	—	0.046
清涧河	13.8	17.0	31.7	62.1	94.4	99.1	99.7	99.9	100	0.04
湫水河	15.1	18.1	30.6	51.1	90.3	97.9	99.8	100	—	0.039

2. 泥沙的絮凝性

泥沙处于水中由于其比重大于水的比重,在水中的泥沙颗粒将受重力作用下沉。泥沙在静态的清水中等速下沉时的速度为泥沙的沉降速度 (m/s)。也称之为泥沙的水力粗度^[14]。但是运动的水流由其本身的紊流作用克服水流阻力,使泥沙处于运动状态。因而水流中细颗粒泥沙达到一定浓度以后则产生絮凝。它是决定泥沙沉降速度的一个主要因素。而影响泥沙絮凝作用的因素有三个:其一是颗粒的吸附作用,吸附作用的强弱与颗粒比表面积(颗粒表面积与其体积之比)的大小关系甚大,粒径越小其颗粒比表面积越大;其二是含沙量对絮凝的作用,当只有很小的含沙量时,泥沙颗粒在沉降过程中彼此干扰很少,为自由沉降。当含沙量达到一定浓度以后,泥沙颗粒的相互干扰逐渐严重,就不能自由沉降;其三是泥沙的形状,砂土、粉砂土和粘土形状不规则,尤其是极细颗粒,一般认为细颗粒的形状对絮凝影响意义不大。钱意颖等通过对我国永定河、长江、黄河泥沙的静水沉降资料的分析,得出粒径小于 $0.01mm$ 的泥沙絮凝作用显著^[15]的结论。黄河汛期悬移质泥沙中小于 $0.01mm$ 的泥沙大约占到 35—40%。试验表明,在极细沙浓度达到 $385kg/m^3$ 的悬浮液中加入 25% 粒径 $0.1-0.25mm$ 的粗沙,含沙量达到 $465kg/m^3$ 并不影响流体的宾汉屈服值。可见,黄河具有高含沙特性是与黄河泥沙的絮凝特性分不开的。

3. 泥沙的矿物特性

黄河悬移质的矿物组成如表 1.8^[16]。对照黄土矿物组成,可见悬移质的矿物明显地复杂化。由于黄河沿程物质的来源不同,各河段悬移质的矿物组成有明显的差异,如果泥沙主要来自于基岩地区,那么石英占首要地位(大于 30%)。如上游的唐乃亥、循化,下游的黑石关、花园口、利津石英含量都比较高。其中下游的花园口受黑石关和小董的影响;利津是受大汶河来沙的影响。凡是来自基岩产沙,其悬移质泥沙中石英、长石、云母的含量比较高,三者之和 $>80\%$,而在中游地区石英矿物含量让位于长石与云母,粘土矿物高岭石有所增加,这与中游地区泥沙主要来自黄土分不开。

4. 泥沙的化学特性

黄河悬移质泥沙的化学组成如表 1.9^[16]。表 1.9 反映黄河上游地区的 SiO_2 含量大于 70%,而在中下游地区 SiO_2 一般小于 70%;这可能由于上游的海拔高,气温低,化学风化弱,而物理风化较强的结果。中游与上下游另一个显著差别是 CaO , Na_2O 较高,其余化学成分含量没有明显的差异。正因为上述泥沙的矿物和化学特性的区域差异,因此更有利于中游泥沙的絮凝作用,也更有利于高含沙水流的形成和泥沙的输移。

表 1.8 黄河悬移质的矿物组成 (%)

地 点		石 英	长 石	方解石	白云石	角闪石	云 母*	高岭石	绿泥石
上 游	唐乃亥	31.98	28.94	7.00	1.25	1.25	19.54	6.84	3.20
	循 化	35.38	32.62	6.49	0.75	0.87	14.81	6.00	3.10
中 <									

* 包括伊利石; ** 细砂区; *** 粗砂区。

表 1.9 黄河悬移质化学组成 (%)

地 点	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	TiO ₂
上 游	唐乃亥	71.70	12.40	4.22	5.66	1.58	1.78	1.63	0.53
	循 化	72.49	13.36	4.17	5.21	1.71	1.87	1.71	0.53
中 游	小川*	65.03	13.44	4.62	9.71	2.73	2.05	1.49	0.44
	享堂*	57.0	13.77	5.07	7.47	3.09	1.99	1.46	0.58
	民和*	59.48	15.62	5.94	10.50	3.72	2.31	1.21	0.67
	兰州*	55.90	16.95	6.00	11.70	4.00	2.37	0.95	0.68
	石咀山*	62.37	14.53	5.30	9.89	3.20	2.12	1.41	0.64
	巴彦高勒*	62.03	14.61	5.80	9.99	3.11	2.16	1.33	0.63
	昭君坟*	61.80	14.95	5.71	10.03	3.24	2.13	1.29	0.64
	白家川**	71.91	11.80	3.96	6.60	2.03	1.79	1.72	0.53
	龙门**	68.77	13.48	4.27	6.93	2.27	1.82	1.58	0.43
	河津*	60.51	15.95	5.93	10.08	2.97	2.13	1.05	0.67
	华县*	66.80	13.89	4.52	7.68	2.36	1.94	1.54	0.62
	潼关	64.30	14.92	4.67	9.38	3.37	1.96	1.43	0.74
下 游	三门峡	71.91	11.78	3.96	6.15	2.00	1.78	1.72	0.59
	黑石关	64.90	13.50	5.76	5.26	2.87	2.12	1.03	0.74
	花园口	66.39	17.03	4.65	8.12	2.60	1.83	1.40	0.60
	利 津	67.87	13.24	4.28	7.29	2.44	1.77	1.49	0.54

* 细砂区; ** 粗砂区。