

# 泥沙运动力学

钱宁 万兆惠 著



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

# 泥沙运动力学

钱 宁 万兆惠 著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书主要阐述各种固体颗粒在江河、荒漠、海滨及管路中,在流水、风力、波浪和重力作用下的起动、搬运和沉积规律,比较系统地介绍了国内外有关本学科的最新研究成果。叙述中,力求说明现象的物理本质,勾画出不同形式的运动所遵循的统一规律。本书除对几家主要的理论做了介绍和评价以外,还着重引用了各方面所进行的大量实验成果;对现有的经验或半经验性公式和计算方法,则做了一定程度的综合、对比和归纳,以便从事实际工作的读者能从中进行必要的选择。

本书可作为水利、力学及地质地理等方面相关专业的研究生教材,亦可供这些专业的设计、科研及教学人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

泥沙运动力学/钱宁,万兆惠著. —北京:科学出版社,2003  
ISBN 7-03-011260-1

I. 泥… II. ①钱… ②万… III. 泥沙运动-流体动力学-研究  
IV. TV142

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 016455 号

责任编辑:杨家福/贾任校对:张群  
责任印制:刘士平/封面设计:张放

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

涿海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

1983年12月第一版 开本:787×1092 1/16

2003年8月第四次印刷 印张:44

印数:3 011—6 010 字数:1 018 000

定价:80.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈杨中〉)

## 说 明

本书于 1983 年出版,1984 年获第三届全国优秀科技图书奖一等奖,后重印两次。本书出版后得到了国内外泥沙界的高度评价,国内很多中青年泥沙工作者因研读本书而自认为是钱宁先生的学生。

本书英文版由美国土木工程师学会(American Society of Civil Engineers)于 1999 年在美国出版,2000 年即被美国著名书评杂志“Choice”评为该年度杰出学术著作(Outstanding Academic Title)。这是 ASCE 出版的所有书籍中,获此荣誉的第二本著作。

为了满足广大泥沙科技工作者的需要,我们决定再次出版本书。

## 序 言

泥沙运动力学属于基础技术科学,主要研究泥沙颗粒在重力、流水、波浪和风力作用下的冲刷、搬运和沉积过程。作为一门独立的学科,虽已有不少专著问世,但把各种动力作用及边界条件下的泥沙运动统一在一个体系里进行详细介绍,本书还是初次尝试。早在20世纪40年代后期,作者在国外即已开始搜集这方面的大量资料,50年代回国后曾就此编成讲稿在高等院校、科研单位及生产部门多次试讲,并根据学员的反映及学科进展所不断提供的新成果,数易其稿。60年代初期,本书前十六章的初稿业已完成,其中前十二章曾以“泥沙运动的基本规律”为题,印发了油印交流材料,该材料为不少单位再三翻印。70年代后期,作者又根据国内外最新进展,对原稿作了彻底的修改和补充,并将内容扩大为十七章,卒成此书。在最后一次订正中,万兆惠同志协助我完成二、三、四及十二章的编写工作。

回顾本书编写过程,握笔伊始,犹在华年,而今掩卷住笔,竟已白发苍苍。30年沧桑,经历了多少风风雨雨,此书方得以最后完成付梓。谨以此书献给在祖国四化建设中辛勤劳动的泥沙工作者。若能对他们今后的工作有些助益,衷心自是十分宽慰愉悦的。

我本人是在H. A. 爱因斯坦教授教导下,开始接触泥沙问题的。我和他相处七年,情谊深挚,他的谆谆教诲,言犹在耳。遗憾的是,他于1974年行将访华前夕不幸病故,未能亲眼见到中华人民共和国在共产党领导下泥沙事业的蓬勃发展。我在这里聊志数语,以寄托对他的怀念和哀思。

此书之成,是和维瑶几十年的支持帮助分不开的。张书农、范家骅、华国祥等同志曾对原稿提了不少宝贵意见,江天锦同志负责全书的描图工作,杨美卿、陈宝瑜同志最后对文稿做了细致的校正,我谨向他们深表谢意。

钱 宁

1981年11月29日于清华园

# 目 录

说明

序言

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 泥沙问题在生产实践中的重要性.....	1
第二节 学科的性质及现状.....	5
第三节 编写原则及章节安排.....	7
参考文献.....	9
<b>第二章 泥沙的形成及性质</b> .....	11
第一节 泥沙的来源和岩石的风化 .....	11
一、岩石的机械分离 .....	11
二、岩石的化学分解 .....	12
三、岩石风化的速度 .....	13
四、岩石的风化产物 .....	14
第二节 泥沙的基本性质 .....	15
一、颗粒性质 .....	15
二、群体性质 .....	21
三、细颗粒泥沙表面的物理化学作用 .....	30
第三节 浑水的性质 .....	35
一、浑水的容重、含沙量及其表示方式 .....	35
二、浑水的黏性 .....	36
第四节 泥沙的分类 .....	41
参考文献 .....	43
<b>第三章 泥沙的沉速</b> .....	45
第一节 圆球在静水中的沉淀运动 .....	45
第二节 颗粒形状对沉速的影响——天然泥沙的沉降规律 .....	50
一、泥沙在沉降过程中的方位问题.....	50
二、几何形状规则的物体的沉降规律 .....	52
三、天然泥沙的沉降规律 .....	53
第三节 边界条件对沉速的影响 .....	57
第四节 含沙浓度对沉速的影响 .....	60
一、含沙量低时浓度对均匀沙沉速的影响 .....	61
二、含沙量高时浓度对均匀沙沉速的影响 .....	62
三、混合沙的沉降规律 .....	66
四、不同排列组合的泥沙在沉降中的受力情况 .....	70
第五节 紊动对沉速的影响 .....	73



一、紊动对沉速影响的分析研究 .....	73
二、紊动对沉速影响的试验研究 .....	74
第六节 絮凝对沉速的影响 .....	76
一、产生絮凝现象的泥沙粒径范围 .....	76
二、絮团的沉速及影响絮团形成的因素 .....	76
三、絮凝结构的形成及对沉速的影响 .....	79
参考文献 .....	81
<b>第四章 水流的紊动 .....</b>	<b>85</b>
<b>第一节 紊流的性质 .....</b>	<b>85</b>
一、层流与紊流 .....	85
二、紊动的产生 .....	87
三、动量交换及紊动应力 .....	89
四、猝发现象 .....	90
五、紊动漩涡的结构和组成 .....	96
<b>第二节 经典紊流理论 .....</b>	<b>97</b>
一、掺混长度理论 .....	98
二、紊流相似假说 .....	100
三、紊动统计理论 .....	101
<b>第三节 明渠水流中紊动特性的量测资料 .....</b>	<b>105</b>
一、明渠水流中紊动特性的量测手段 .....	105
二、明渠水流紊动特性的主要量测成果 .....	105
参考文献 .....	112
<b>第五章 有关泥沙运动的一些基本概念 .....</b>	<b>114</b>
<b>第一节 床面泥沙颗粒的受力情况 .....</b>	<b>114</b>
一、拖曳力与上举力 .....	114
二、黏结力 .....	120
三、粒间离散力 .....	120
四、渗透压力 .....	122
<b>第二节 泥沙颗粒的几种运动形式 .....</b>	<b>123</b>
一、接触质 .....	123
二、跃移质 .....	123
三、悬移质 .....	126
四、层移质 .....	126
五、推移质及悬移质的相对重要性 .....	127
<b>第三节 划分推移质及悬移质的意义 .....</b>	<b>128</b>
一、泥沙运动的连续性 .....	128
二、推移质与悬移质在物理本质上的区别 .....	129
三、定床与动床上的泥沙运动 .....	131
四、划分推移质与悬移质的实际意义 .....	132

第四节 床沙质与冲泻质	133
一、问题的提出	133
二、床沙质及冲泻质运动规律的同—性	134
三、流量-输沙率关系	136
四、划分床沙质及冲泻质的标准	139
五、区别床沙质及冲泻质的意义	140
参考文献	142
<b>第六章 沙波运动</b>	145
第一节 沙波的发展消长	145
一、沙纹	145
二、沙垄	147
三、平整	148
四、沙浪	150
五、急滩与深潭	152
第二节 沙波面上的水流条件及泥沙运动	153
第三节 沙波形成的机理	156
一、沙纹的成因	157
二、沙垄及沙浪的成因	160
第四节 床面形态的判别准则	172
一、平整-沙纹-沙垄区的判别准则	172
二、沙垄-平整-沙浪区的判别准则	174
第五节 沙波的几何及运动特征	176
一、沙波几何形态的统计特征	176
二、沙波平均波长及波高与水流、泥沙条件的关系	179
三、沙波运动速度与水流、泥沙条件的关系	185
第六节 研究沙波运动的意义	186
一、沙波是冲积河流阻力的主要组成部分之一	186
二、沙波的发展消长有时会造成水位-流量关系的异常现象	187
三、根据沙波尺寸及运动条件可以估算推移质输沙率	188
参考文献	189
<b>第七章 冲积河流的阻力</b>	192
第一节 水流能量的转换过程	192
一、水流所提供的能量	192
二、就地克服阻力而损失的能量	193
三、能量的传递	193
四、能量平衡方程式	194
五、近壁流区的重要性	195
六、因克服阻力而损失的能量最后散失为热能	196
第二节 摩阻作用的组成单元	197



一、沙粒阻力 .....	197
二、沙波阻力 .....	197
三、河岸及滩面阻力 .....	198
四、河槽形态阻力 .....	198
五、人工建筑物的外加阻力 .....	198
第三节 研究冲积河流阻力问题的合理途径 .....	198
第四节 综合阻力与部分阻力之间的关系的治疗方法 .....	204
一、作用于不同周界上的阻力单元的处理方法 .....	204
二、作用于同一周界上的阻力单元的处理方法 .....	209
第五节 各阻力单元的表达方式 .....	211
一、沙粒阻力 .....	211
二、沙波阻力 .....	220
三、河岸阻力 .....	225
四、河漫滩阻力 .....	226
第六节 综合阻力的表达方式 .....	230
一、钱宁-麦乔威综合阻力公式 .....	230
二、日本吉川秀夫等的处理方法 .....	231
三、李昌华-刘建民阻力关系 .....	231
第七节 有关阻力的几个问题的讨论 .....	232
一、大糙率尺寸的阻力计算方法 .....	232
二、水温对阻力的影响 .....	234
三、河床渗透性对阻力的影响 .....	236
参考文献 .....	237
<b>第八章 泥沙的起动</b> .....	240
第一节 泥沙起动现象的随机性 .....	240
一、起动现象的描述 .....	240
二、泥沙起动的判别标准 .....	241
第二节 无黏性均匀沙的起动条件 .....	244
一、起动条件的不同表达形式 .....	245
二、三种起动条件表达形式的比较 .....	253
三、斜坡上的泥沙起动条件 .....	256
四、断面周界上的剪切力分布 .....	257
第三节 无黏性非均匀沙的起动条件 .....	261
一、非均匀沙起动条件的物理涵义 .....	261
二、给定水流及床沙组成条件下的临界粒径 .....	261
三、考虑粗化过程的混合沙临界拖曳力 .....	262
第四节 黏性土的起动条件 .....	265
一、新淤黏性土的起动条件 .....	265
二、固结黏性土的起动问题 .....	268

参考文献	271
<b>第九章 推移质运动</b>	275
第一节 均匀推移质的运动规律	275
一、梅叶-彼德公式	275
二、拜格诺公式	278
三、爱因斯坦推移质运动理论	283
四、亚林推移质公式	291
五、恩格隆公式	292
六、阿克斯-怀特公式	294
七、以平均流速为主要水力指标的推移质运动公式	294
第二节 各家推移质公式的比较	296
一、公式结构的分析与转化	296
二、梅叶-彼德、爱因斯坦、拜格诺、亚林、恩格隆及阿克斯-怀特公式的比较	298
三、沙莫夫、列维、岗恰洛夫推移质公式的比较	302
第三节 非均匀推移质的运动规律	302
一、推移质公式中床沙代表粒径的确定	303
二、混合沙中各级粒径泥沙的输沙率	304
参考文献	309
<b>第十章 悬移质运动</b>	311
第一节 紊动的猝发性质及泥沙的悬浮过程	311
一、实验条件	311
二、泥沙运动轨迹	312
三、泥沙颗粒自床面的起扬及达到悬浮最高点后的下落过程	312
四、泥沙运动速度	314
五、悬浮泥沙运动机理	314
第二节 泥沙扩散方程	316
第三节 悬移质含沙量的垂线分布	318
一、扩散理论	319
二、重力理论	333
第四节 悬移质输沙率	336
一、爱因斯坦悬移质输沙率公式	336
二、维利卡诺夫悬移质输沙率公式	338
三、拜格诺悬移质输沙率公式	339
第五节 不平衡输沙问题	341
一、冲刷过程中的含沙量沿程恢复问题	341
二、淤积过程中的含沙量沿程递减问题	345
第六节 污染物质在水体中的散布	347
一、中性物质的扩散和离散	348
二、扩散系数的确定	349

三、离散方程的解及离散系数的确定 .....	352
参考文献 .....	354
<b>第十一章 水流挟沙力</b> .....	357
第一节 床沙质挟沙力公式 .....	357
一、理论公式 .....	357
二、经验或半经验公式 .....	364
三、公式的比较及资料范围的检验 .....	375
第二节 包括冲泻质在内的全沙沙量的估算 .....	376
一、利用水文站实测流量 输沙率关系推求年沙量 .....	377
二、根据流域因素估算来自流域并汇入江河的沙量 .....	382
三、根据水库淤积量估算流域产沙量 .....	385
第三节 有关水流挟沙力的若干问题的讨论 .....	385
一、挟沙力的双值(或多值)关系问题 .....	385
二、水温对水流挟沙力的影响 .....	387
参考文献 .....	391
<b>第十二章 泥沙的存在对水流的影响</b> .....	394
第一节 泥沙颗粒对水流紊动结构的影响 .....	394
一、紊动强度的实测资料 .....	394
二、泥沙颗粒引起的反映紊动特性的参数的变化 .....	397
三、泥沙影响紊动结构的讨论 .....	399
第二节 泥沙颗粒对流速分布的影响 .....	403
一、悬移质影响流速分布的试验资料 .....	403
二、主流区的流速分布 .....	406
三、近底区的流速分布 .....	411
四、包括近壁流区在内的全部流区中的流速分布 .....	412
第三节 泥沙运动对水流能量损失的影响 .....	413
一、周界变化与泥沙运动对水流能量损失的影响 .....	413
二、推移质对水流能量损失的影响 .....	413
三、悬移质对水流能量损失的影响 .....	415
第四节 水流条件因泥沙的存在而改变后进一步对泥沙运动的影响 .....	424
一、近底含沙量梯度的存在及由此而引起的流速分布的变化对垂线含沙量分布的影响 .....	424
二、细颗粒泥沙的存在对粗颗粒泥沙的运动的影响 .....	426
参考文献 .....	427
<b>第十三章 高含沙水流及泥石流</b> .....	430
第一节 高含沙水流 .....	430
一、概况 .....	430
二、流动特性 .....	431
三、泥沙运动特性 .....	439

第二节 泥石流	450
一、概况	450
二、泥石流的类型	451
三、运动特征	452
四、水力类泥石流的运动机理	455
五、泥石流的运动速度和阻力	459
参考文献	461
<b>第十四章 异重流</b>	<b>464</b>
第一节 异重流的形成和运动	464
一、异重流与一般明渠水流的异同	464
二、异重流的形成条件	466
三、异重流的运动	468
第二节 选择性引水	492
一、各种特定条件下的选择性引水	493
二、水库异重流排出数量	493
第三节 异重流的扩散、传输和沉积	499
一、异重流界面的稳定问题	499
二、异重流失去稳定后的扩散和传输	504
三、异重流中泥沙的沉淀	505
第四节 高浓度异重流	506
一、河流高浓度异重流	507
二、水库高浓度异重流	507
三、海底高浓度浑浊流	508
参考文献	511
<b>第十五章 风沙运动</b>	<b>515</b>
第一节 风沙运动的基本形式及与流水输沙的主要差别	515
一、风沙运动的基本形式	515
二、流水和空气中泥沙运动的主要差别	518
第二节 荒漠上的风速分布	519
一、没有发生泥沙运动以前的风速分布	519
二、有泥沙运动时的风速分布	521
第三节 泥沙在风力吹扬下的运动规律	524
一、泥沙的起动	524
二、推移质运动	526
三、悬移质运动	532
第四节 风成床面形态的发生与发展	532
一、风成床面形态的基本类型	533
二、沙丘移动的规律	540
参考文献	541

<b>第十六章 波浪作用下的泥沙运动</b> .....	544
<b>第一节 概述</b> .....	544
一、问题的性质 .....	544
二、水槽试验技术 .....	545
<b>第二节 波浪的基本性质</b> .....	545
一、波浪的产生和传播 .....	545
二、波浪的运动性质 .....	547
三、边界层的发生发展 .....	551
四、波浪行近岸线时所发生的变化 .....	556
五、近岸带由波浪产生的流动 .....	558
<b>第三节 波浪掀沙的机理</b> .....	563
一、泥沙的起动 .....	564
二、波浪作用下泥沙运动的轨迹 .....	570
三、推移质运动 .....	572
四、悬移质运动 .....	576
五、全沙输沙率 .....	579
<b>第四节 泥沙的沿岸运动</b> .....	580
一、泥沙沿岸运动的基本形式 .....	580
二、沿岸流挟沙能力 .....	581
<b>第五节 垂直于海岸方向的泥沙运动及海滩剖面的塑造</b> .....	584
一、质体流所引起的垂直于岸线的泥沙运动 .....	584
二、泥沙运动方向——中立线的概念 .....	585
三、岸坡剖面的塑造 .....	585
<b>第六节 波浪作用下的浮泥运动</b> .....	587
一、浮泥运动的基本现象 .....	588
二、底部浮泥流 .....	588
三、浮泥的悬扬 .....	590
四、浮泥对波浪的阻尼作用 .....	591
<b>第七节 海成沙丘的形成和发展</b> .....	592
一、沙纹 .....	592
二、沿滨沙坝 .....	596
<b>参考文献</b> .....	599
<b>第十七章 管路中的固体输送</b> .....	604
<b>第一节 管路中泥沙运动的形式及流区的划分</b> .....	604
一、泥沙运动的基本形式 .....	604
二、管道二相水流的流区划分 .....	605
三、管道二相水流和明渠二相水流的异同 .....	606
<b>第二节 均质浆液在管路中的运动</b> .....	607
一、层流运动 .....	607

二、自层流到紊流的过渡 .....	614
三、紊流运动 .....	615
第三节 水平管路中的两相流运动 .....	618
一、以水为输送介质时的两相流运动 .....	618
二、以均质浆液为输送介质时的两相管流运动 .....	644
第四节 垂直及倾斜管路中的固体输送 .....	646
一、垂直管道中的阻力损失 .....	646
二、倾斜管道中的阻力损失 .....	647
第五节 减阻问题 .....	648
一、高分子聚合物减阻 .....	648
二、纤维状材料减阻 .....	651
三、充气减阻 .....	652
四、细颗粒减阻 .....	653
第六节 管道两相流运动研究中存在的问题及改进途径 .....	655
参考文献 .....	658
<b>结束语</b> .....	663
一、理论研究 .....	663
二、实验研究 .....	663
三、资料整理 .....	664
参考文献 .....	664
<b>附录</b> .....	665
一、常用符号表 .....	665
二、人名索引 .....	672
三、内容索引 .....	679

# 第一章 绪 论

泥沙运动学研究泥沙在流体中冲刷、搬运和沉积的规律。把自然现象及生产应用中的各种泥沙运动(包括泥沙在河渠、荒漠、水库、海滨及管路中在流水、风及波浪作用下的运动)统一在一本书内进行系统的介绍,本书还是初次尝试,这反映了生产实践的需要,象征着一门新的学科正在形成和成长。

## 第一节 泥沙问题在生产实践中的重要性

我国东北的南部以及长城以南、秦岭以北、西迄青海东部、东至海滨的广大黄河流域,都广布黄土。黄土质地均匀,粉砂含量占 60%~70%,缺乏团粒结构,粒间的固结主要依赖硫酸钙质,这种硫酸钙质遇雨水淋融极易溶解流失,加以黄土孔隙率高达 40%左右,上下节理十分发育,抗蚀能力很差。中华人民共和国成立以前,在反动阶级的长期统治下,流域内植被普遍遭到破坏,更加剧了土壤的侵蚀。以后,虽然努力开展了水土保持工作,但迄今水土流失的严重局面仍未扭转。据初步统计,黄河中游地区每年每平方公里中被冲去的土壤约为 3700t,为全世界土壤平均侵蚀模数 134t/(km<sup>2</sup>/a)的 27.5 倍。自流域内冲刷外移的巨量泥沙,通过小溪山涧,汇集于大江巨河,使我国西北及华北地区的一些河流的含沙量之高,世界无出其右。表 1-1 列出了世界各国主要河流的输水量及输沙量<sup>[1]</sup>。据统计,世界大河流中,悬移质年输沙总量超过 1×10<sup>8</sup>t 的有十三条,我国黄河总沙量和平均含沙量均居首位,其次是印度、孟加拉国的恒河,年总输沙量为 14.51×10<sup>8</sup>t,但平均含沙量只有 3.92kg/m<sup>3</sup>,孟加拉国的布拉马普特拉河居第三,年总沙量为 7.26×10<sup>8</sup>t,平均含沙量为 1.89kg/m<sup>3</sup>。黄河、长江的总输沙量占世界十三条大河总沙量的 29.3%。事实上,黄河中游的某些支流挟沙之多更在干流之上,例如甘肃祖厉河的多年平均含沙量就接近 600kg/m<sup>3</sup>,有些河流的实测最大含沙量可以达到 1600kg/m<sup>3</sup> 左右,亦即泥沙的体积占水体体积的 60%。古语说“泾水一石,其泥数斗”,指的正是这种情况。

表 1-1 世界主要河流输水量及输沙量的比较

(1)国内部分									
流域	河流	流域面积 /km <sup>2</sup>	河长 /km	测站名称	年水量 /×10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	年沙量 /×10 <sup>8</sup> t	平均含沙量 /(kg/m <sup>3</sup> )	最大含沙量 /(kg/m <sup>3</sup> )	侵蚀模数 /(t/km <sup>2</sup> /a)
黄河	黄河	752 400	5 464	三门峡	432	16.40	37.6	911	2 480
长江	长江	1 807 200	6 300	大通	9 211	4.78	0.54	3.24	280
海河	永定河	50 800	650	官厅	14	0.81	60.8	436	1 944
淮河	淮河	261 500	1 000	蚌埠	261	0.14	0.46	11.0	153
辽河	辽河	166 300	1 404	铁岭	56	0.41	6.86	46.6	240
	大凌河	23 200	360	大凌河	21	0.36	21.9	142	1 490
珠江	西江	355 000	2 055	梧州	2 526	0.69	0.35	4.08	260



(2)国外部分 <sup>1)</sup>					
国 别	河 流	流域面积 /km <sup>2</sup>	年水量 /×10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	年沙量 /×10 <sup>8</sup> t	平均含沙量 /(kg/m <sup>3</sup> )
美国	科罗拉多河	637 000	49	1.35	27.5
印度,孟加拉	恒河	955 000	3 710	14.51	3.92
美国	密苏里河	1 370 000	6 160	2.18	3.54
巴基斯坦	印度河	969 000	1 750	4.35	2.49
孟加拉,印度	布拉马普特拉河	666 000	3 840	7.26	1.89
埃及,苏丹	尼罗河	2 978 000	892	1.11	1.25
越南	红河	119 000	1 230	1.30	1.06
缅甸	伊洛瓦底江	430 000	4 270	2.99	0.70

1) 摘自 D. K. Todd, Water Encyclopedia, Water Information Center, 1970, p. 85.

多沙河流与清水河流相比,具有迥然不同的特色,会给生产带来一系列问题,其中主要包括下面几个方面:

(1) 防洪问题。我国北方地区河流的洪水多由暴雨造成,峰高量大,暴涨猛落,河槽来不及宣泄,一旦决口,数千里原野尽成泽国。洪水的泛滥成灾又与上游来沙过多并在河床大量停积有关,一则河床日益抬高,行洪能力减低,一遇非常洪水,就有漫堤溃决的危险,二则河身宽浅,主流迁徙无常,洪水一旦顶冲大堤,又有引起破堤冲决的可能。以黄河下游为例,自周定王五年到中华人民共和国成立以前的 2500 多年中,黄河决口泛滥 1593 次,较大的改道就有 26 次。北宋以后,平均说来更是无岁不决,水灾波及的地区北至天津,南可到淮河。中华人民共和国成立以后,黄河下游的面貌开始有了转变,30 年安度伏秋大汛,河决泛滥、一片汪洋、田庐人畜荡然无存的凄凉情景再未出现。但与此同时,河床的堆积仍在发展,现有河道经过长期行水,已经成为横亘华北平原的分水岭,而且千里大堤,溃于蚁穴,如何确保防洪安全,仍是一个迫切需要解决的问题。

随着水利建设事业的蓬勃发展,黄河流域清水来源区的水利资源首先得到开发利用,而水土流失区的泥沙来量则减少不多或未见改变,因而下游洪水的含沙量就越来越高。1977 年 8 月初黄河下游出现一次高含沙洪峰,小浪底的最大含沙量达到 898kg/m<sup>3</sup>。当高含沙水流漫上滩地以后,由于滩地水深小、流速低,漫滩水流停滞下来不能保持流动状态;这对下游河段来说,相当于削减了一部分水量,使得花园口以上近百公里河段在洪峰涨水过程中沿河水位突然降落 0.7~1.3m。洪峰继续上涨以后,滩地水深逐渐增加,滩面边壁剪切力不断加大,滩地上停滞的浆液又开始流动,其效果相当于增添了一部分水量,又引起下游水位的陡涨。其中驾部站在一个半小时内水位陡涨 2.84m。尽管没有支流加水,花园口站的洪峰流量不仅没有因槽蓄而削减,反而较上游站增大 40%。这些高含沙洪峰通过期间的异常水位涨落现象,给防汛工作带来一系列新的问题。

(2) 水库淤积问题。在流域中上游修建水库,调节洪水,蓄水灌溉,并利用落差发电,可以起到综合利用的效果。但是,水库在蓄水的同时,也拦蓄了水流中挟带的泥沙,库容因此不断减少,日久后终于湮废失效。水库淤积范围实际上还远不止建库初期蓄水所及的地区,由于淤积上延,水库面积还会不断扩大,使更多的上游河谷受到淹没及浸没影响。

水库淤积所造成矛盾的尖锐性,还是在近二三十年因可供建坝的地址日益减少才逐渐为人们所认识。美国水库年淤积量达到  $12 \times 10^8 \text{t}$ 。日本截至 1979 年止,据库容超过  $10^6 \text{m}^3$  的 425 座水库资料统计,泥沙淤积已侵占库容 6.3%。印度在 1969 年统计,大于  $11 \times 10^8 \text{m}^3$  的水库共 21 座,年库容损失率为 0.5%~1.0%<sup>[2]</sup>。由于水库淤积而带来的压力,人们开始提出有没有可能以流域面上的工程如水土保持及中、小型水库来代替干、支流上的点的工程(枢纽工程)<sup>[3]</sup>。

同样的问题放在多沙河流上,情况自然又要突出和复杂得多。据陕西省初步统计,全省百万立方米以上的水库淤积量已达  $512 \times 10^6 \text{m}^3$ ,占总库容的 15.3%;近几年来,新建百万立方米以上水库平均每年递增库容为  $260 \times 10^6 \text{m}^3$ ,而已成水库由于淤积平均每年递减库容 8000 多万立方米,相当当年兴建库容的 1/3<sup>[4]</sup>。据水利部直接掌握的 20 座水库观测资料,多数水库运行不足 20 年,总淤积量已达  $77.85 \times 10^8 \text{m}^3$ ,占原设计库容的 18.6%(见表 1-2)。

表 1-2 中国部分水库淤积情况表

序号	水库名称	河流	控制面积 /km <sup>2</sup>	坝高 /m	设计库容 / $\times 10^8 \text{m}^3$	统计年限	总淤积量 / $\times 10^8 \text{m}^3$	淤积量占库 容百分数 /%	备注
1	刘家峡	黄河	181 700	147	57.2	1968~1978 年	5.8	10.1	(335m 水位时)
2	盐锅峡	黄河	182 800	57	2.2	1961~1978 年	1.6	72.7	
3	八盘峡	黄河	204 700	43	0.49	1975~1977 年	0.18	35.7	
4	青铜峡	黄河	285 000	42.7	6.20	1966~1977 年	4.85	78.2	
5	三盛公	黄河	314 000	闸坝式	0.8	1961~1977 年	0.40	50	
6	天桥	黄河	388 000	42	0.68	1976~1978 年	0.075	11	
7	三门峡	黄河	688 421	106	96.4	1960~1978 年	37.6	39	
8	巴家嘴	蒲河	3 522	74	5.25	1960~1978 年	1.94	37	
9	冯家山	干河	3 232	73	3.89	1974~1978 年	0.23	5.9	
10	黑松林	冶峪河	370	45.5	0.086	1961~1977 年	0.034	39	
11	汾河	汾河	5 268	60	7.0	1959~1977 年	2.60	37.1	
12	官厅	永定河	47 600	45	22.7	1953~1977 年	5.52	24.3	
13	红山	西辽河	24 486	31	25.6	1960~1977 年	4.75	18.5	
14	闹得海	柳河	4 501	41.5	1.96	计 42 年	0.38	19.5	
15	冶源	弥河	786	23.7	1.68	1959~1972 年	0.12	7.2	
16	岗南	漳沱河	15 900	63	15.58	1960~1976 年	2.35	15.1	
17	龚嘴	大渡河	76 400	88	3.51	1967~1978 年	1.33	38	
18	碧口	白龙江	27 600	101	5.21	1976~1978 年	0.28	5.4	
19	丹江口	汉江	95 217	110	160.5	1968~1974 年	6.25	3.9	
20	新桥	红柳河	1.327	47	2.0	计 14 年	1.56	78	

黄河三门峡水库兴建初期,由于缺乏经验,对泥沙问题估计不足,设计规定的各种兴利指标很高。如原设计预期防洪指标,将千年一遇的洪峰流量  $32 500 \text{m}^3/\text{s}$  削减为