

中国水利学会泥沙专业委员会 主编

# 泥沙手册

中国水利学会泥沙专业委员会 主编

中国环境科学出版社

# 泥 沙 手 册

中国水利学会泥沙专业委员会 主编

中国环境科学出版社

1992

(京)新登字 089 号

## 内 容 简 介

《泥沙手册》是我国第一部权威性泥沙专业工具书。它搜集了国内外泥沙研究成果及技术经验，内容包括泥沙来源与性质、泥沙运动力学、工程泥沙问题和泥沙的量测试验技术。它以图表和公式为主要表达形式，辞句简练，概念清晰，重点突出。

本书可供水利、水电、水运、铁道、交通、石油、化工、选矿等部门从事勘测、规划、设计、管理及水文泥沙的工程技术人员查阅参考。

## 泥 沙 手 册

中国水利学会泥沙专业委员会 主编

中国环境科学出版社出版

北京崇文区北岗子街8号

北京崇文区亚光电脑服务部照排

北京通县建新印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

1992年4月第一版 开本 787×1092 1/16

1992年4月第一次印刷 印张 53 3/4 插页 1

印数 精1—1500 字数 1314千字

平1—1000

ISBN 7-80010-395-1/X·225 (精)

定价: 35.00元

ISBN 7-80010-396-X/X·226 (平)

定价: 32.00元

## 《泥沙手册》编辑委员会名单

主 任	钱 宁	谢鉴衡			
副 主 任	丁联臻	龙毓骞	杜国翰	张 仁	唐日长
	龚时旻	黄 胜	曾庆华	窦国仁	戴定忠
委 员	王明甫	方 铎	刘旭东	麦乔威	向治安
	华国祥	刘家驹	朱鹏程	李光炳	陈怀汲
	陈志昌	张启舜	李保如	李昌华	张定邦
	何国祯	陈国祥	张 浩	杨国炜	沈淦生
	周玉泉	范家骅	侯晖昌	赵文林	惠遇甲
	潘庆桑	潘贤娣	戴泽衡		
顾 问	方宗岱	仝允杲	吴以敦	张书农	林秉南
	张瑞瑾	夏震寰	蒋德麒		
总 编 辑	朱鹏程				
责任编辑	周玉泉	贺济生	高速进	刘 峡	
秘 书	贺济生				

## 编写及审稿人名单

- |      |                |     |                |     |     |
|------|----------------|-----|----------------|-----|-----|
| 第一篇  | 主编: 谢鉴衡        |     |                |     |     |
| 第一章  | 编写: 龚时旸<br>牟金泽 | 华绍祖 | 审稿: 蒋德麒<br>谢鉴衡 |     |     |
| 第二章  | 朱鹏程            |     | 谢鉴衡            | 钱宁  |     |
| 第二篇  | 主编: 谢鉴衡        |     |                |     |     |
| 第三章  | 编写: 夏震寰        | 惠遇甲 | 审稿: 林秉南        |     |     |
| 第四章  | 华国祥            |     | 陈怀汲            |     |     |
| 第五章  | 谢鉴衡            |     | 范家骅            |     |     |
| 第六章  | 谢鉴衡            |     | 窦国仁            |     |     |
| 第七章  | 万兆惠            |     | 方宗岱            | 丁联臻 |     |
| 第八章  | 范家骅            |     | 侯晖昌            |     |     |
| 第三篇  | 主编: 黄胜         | 李保如 |                |     |     |
| 第九章  | 编写: 韩其为        |     | 审稿: 夏震寰        | 张启舜 |     |
| 第十章  | 麦乔威            | 潘贤娣 | 尹学良            |     |     |
|      | 唐日长            |     |                |     |     |
| 第十一章 | 黄胜             | 刘家驹 | 戴泽衡            | 薛鸿超 |     |
| 第十二章 | 刘旭东            | 张浩  | 严镜海            | 李保如 |     |
|      | 杨廷瑞            | 张永昌 | 杜国翰            |     |     |
| 第十三章 | 张浩             | 蒋素绮 | 方宗岱            | 刘德忠 |     |
|      | 刘德忠            |     | 万兆惠            |     |     |
| 第十四章 | 李保如            | 严镜海 | 张启舜            | 杜国翰 |     |
| 第四篇  | 主编: 唐日长        |     |                |     |     |
| 第十五章 | 编写: 向治安        |     | 审稿: 龙毓骞        |     |     |
| 第十六章 | 向治安            |     | 龙毓骞            |     |     |
| 第十七章 | 李昌华            | 屈孟浩 | 屈孟浩            | 李昌华 | 徐基丰 |
| 总编辑  | 朱鹏程            |     |                |     |     |

# 前 言

中国河流众多，流域面积在  $1000\text{km}^2$  以上的河流就有 1500 多条，水利资源丰富，但水土流失严重。我国黄河年输沙总量和平均含沙量均居世界首位。

泥沙的侵蚀、输移和沉积，给水利工程建设带来许多复杂问题，诸如：

1. 水库淤积 全国 20 座重点水库的观测资料表明，多数水库运行不足 20 年，总淤积量即达设计库容的 18.6%。黄河三门峡水库，蓄水后不仅库容淤损较此更为严重，而且淤积末端不断向上游延伸，威胁着关中平原和西安市的工农业生产和人民生活，被迫进行工程改建。举世瞩目的长江三峡水库中的泥沙问题，正作为重要专题进行论证。

2. 河道淤积 平原河道泥沙淤积对防洪和航运影响极大，黄河下游河道多年平均淤积量 4 亿 t 为世界所仅有，各水文测站水位比 50 年代初期同流量水位高出 2m 左右，为此，国家付出了巨大的资金和劳力，多次加高黄河大堤。长江在枯水季节，局部河段通航要靠挖泥船疏浚，河口航道每年挖泥量达 1400—1800 万  $\text{m}^3$ 。沿海挡潮闸下游河道淤积问题也很突出，有的已被淤废。

3. 低水头枢纽及引水口泥沙问题 许多枢纽工程运行中存在着推移质泥沙入渠，粗沙磨损水轮机，泥沙和水草堵塞拦污栅，枢纽上、下游航道及回水变动区泥沙淤积等方面的突出问题。由于河道冲淤变化造成主流摆动，引水口引水得不到保证，引黄灌区每年冬春都要进行大量的渠道清淤工作。

新中国成立以来，为解决水利工程建设中的泥沙问题，布设了大量的野外观测站网，广泛收集第一手资料，建立泥沙专业研究机构，在高等院校设置泥沙专业或有关课程，培养专门人才。经过广大泥沙科技工作者 30 多年来的努力，在流域产沙与水土保持、泥沙运动力学、河床演变、水库淤积、河口泥沙、引水防沙及渠系泥沙、高含沙水流运动、野外及室内泥沙测验及河工模型试验技术等方面积累了大量经验，丰富了知识。

1978 年在中国水利学会泥沙专业委员会建立之初，首届执行副主任钱宁教授倡议编写《泥沙手册》，亲自动手制定了编写大纲，为此书奠定了基础。其宗旨为：全面介绍泥沙运动及河床演变的基本理论，总结泥沙工程技术经验，便于从事勘测、规划、设计、管理工作及水文泥沙工程技术人员了解泥沙问题的基本情况，查阅泥沙文献资料，并初步掌握解决和处理泥沙问题的基本手段，亦便于科研及教学工作者参考。内容要求：简明扼要，突出要点，概念清晰，辞句简练，以图表及公式为主要表达形式；为阐明问题要着重介绍有代表性的观点，并注意介绍中国的研究成果。

此后，即由泥沙专业委员会组织专家、教授进行编写与审稿，同时邀请泥沙界有关专家组成《泥沙手册》编委会，并请一些编委兼任分篇主编。

本书内容丰富，不仅广泛参考有关国外文献，而且注意吸收国内研究成果。各章的撰稿人多年从事解决水利工程泥沙问题的研究和规划设计工作，内容中反映了他们在专题研究中的独到心得与体会。

由于水利部领导的关心，中国水利学会和水利电力部科技司的大力支持，以及各有关

专业单位的共同努力，才使本书最终得以出版问世。

本书经谢鉴衡教授、朱鹏程、李保如高级工程师终审定稿，他们为提高本书质量付出了辛勤的劳动。

本书系初次编纂，为时间等条件所限，定有不少缺点，如数学模型未立专章介绍，泥沙污染已为举世重视的问题未及编入，不无遗憾。欢迎广大读者多多提出宝贵意见，以便再版时做出改进。

兹将各篇章编写人、审稿人名单开列于上，以便于读者咨询联系。

中国水利学会

泥沙专业委员会

1988年11月

# 目 录

第一篇 泥沙来源和性质 .....	1
第一章 泥沙来源 .....	3
第一节 土壤侵蚀概述 .....	3
第二节 流域产沙及河流输沙量 .....	12
第三节 产沙预估 .....	14
第四节 人类活动对侵蚀与流域产沙的影响 .....	31
第二章 泥沙的性质 .....	47
第一节 泥沙的几何性质 .....	47
第二节 泥沙的重力性质 .....	55
第三节 泥沙的沉速 .....	58
第四节 细颗粒泥沙的性质 .....	71
第五节 浑水的物理化学性质 .....	77
第二篇 泥沙运动力学 .....	91
第三章 冲积河流水力学 .....	93
第一节 水流的紊动 .....	93
第二节 床面形态 .....	107
第三节 冲积河流的水流阻力 .....	122
第四节 泥沙的存在对水流的影响 .....	136
第四章 推移质运动 .....	151
第一节 泥沙的起动 .....	151
第二节 推移质输沙率 .....	172
第五章 悬移质运动 .....	190
第一节 泥沙的悬移运动 .....	190
第二节 悬移质运动的扩散方程 .....	191
第三节 含沙量沿垂线分布的扩散理论 .....	193
第四节 含沙量沿垂线分布的重力理论 .....	203
第五节 绝对含沙量沿垂线分布 .....	205
第六节 非饱和输沙 .....	211
第六章 水流挟沙力 .....	220
第一节 床沙质与冲泻质 .....	220
第二节 水流挟沙力公式(一维处理方式) .....	223
第三节 水流挟沙力公式(二维处理方式) .....	240



第四节	悬移质输沙率 .....	249
第七章	高含沙水流 .....	257
第一节	高含沙水流现象 .....	257
第二节	高含沙浑水的流变特性 .....	257
第三节	高含沙水流的类型 .....	260
第四节	流动特性 .....	262
第五节	输沙特性 .....	276
第六节	泥石流 .....	282
第八章	异重流 .....	286
第一节	自然界的异重流现象 .....	286
第二节	异重流的运动特性 .....	290
第三节	异重流的孔口出流 .....	306
第三篇	工程泥沙问题 .....	315
第九章	水库淤积 .....	317
第一节	水库悬移质运动 .....	317
第二节	水库排沙 .....	320
第三节	水库淤积形态 .....	335
第四节	推移质淤积、变动回水区的冲淤及淤积与回水的相互作用 .....	344
第五节	水库淤积的平衡 .....	359
第六节	水库淤积计算 .....	371
第七节	水库糙率和淤积物干容重 .....	380
第八节	水库淤积控制 .....	390
第十章	河床演变及河道整治 .....	401
第一节	河流的分类 .....	402
第二节	河道的水流、泥沙运动及河床演变 .....	412
第三节	造床流量 .....	421
第四节	河流纵剖面 .....	423
第五节	河相关系 .....	429
第六节	修建水库后下游河道的冲刷和淤积 .....	436
第七节	河床变形计算 .....	445
第八节	河道防洪中的泥沙的问题 .....	450
第九节	通航河道的泥沙问题 .....	453
第十节	河道整治 .....	458
第十一章	河口海岸泥沙问题 .....	472
甲、河口泥沙问题 .....	472	
第一节	河口水流 .....	472
第二节	河口泥沙运动 .....	478
第三节	河口河床演变及河相关系 .....	485
第四节	河口水力计算 .....	492

第五节 河口河床变形计算 .....	502
<b>乙、海岸泥沙问题 .....</b>	<b>509</b>
第一节 概述 .....	509
第二节 海岸水流系统 .....	510
第三节 海岸泥沙运动 .....	520
第四节 海岸演变 .....	529
<b>第十二章 渠首渠系泥沙问题 .....</b>	<b>539</b>
<b>甲、渠首引水防沙问题 .....</b>	<b>539</b>
第一节 渠首类型和选择条件 .....	539
第二节 无坝渠首 .....	541
第三节 低坝渠首 .....	548
第四节 拦河闸式渠首 .....	553
第五节 人工弯道式渠首 .....	555
第六节 底栏栅式引水渠首 .....	560
<b>乙、渠系泥沙问题 .....</b>	<b>563</b>
第七节 稳定渠道的设计 .....	563
第八节 高含沙浑水输水渠道的设计和管理运用 .....	581
第九节 放淤区的设计 .....	583
<b>第十三章 管道输沙问题 .....</b>	<b>587</b>
第一节 管道中均质浆体的运动 .....	587
第二节 管道中非均质浆体的运动 .....	599
第三节 管道中非均质复合浆体的运动 .....	607
第四节 浆体管道的设计与管理 .....	611
<b>第十四章 水工建筑物的泥沙问题 .....</b>	<b>629</b>
第一节 水电站取水口的引水防沙 .....	629
第二节 闸坝及引航道的淤积与防止 .....	636
第三节 沉沙池 .....	643
第四节 水工建筑物下游的局部冲刷 .....	661
第五节 桥渡冲刷 .....	675
<b>第四篇 泥沙的量测试验技术 .....</b>	<b>691</b>
<b>第十五章 野外泥沙测验 .....</b>	<b>693</b>
第一节 量测仪器 .....	693
第二节 河流输沙率测验 .....	717
第三节 水库泥沙测验 .....	729
第四节 河床演变观测 .....	734
第五节 河口、港湾与海岸泥沙观测 .....	736
第六节 遥感技术应用 .....	739
<b>第十六章 室内泥沙分析及试验 .....</b>	<b>743</b>
第一节 含沙量测定 .....	743

第二节	泥沙颗粒分析 .....	748
第三节	泥沙性质的室内测定 .....	773
第四节	流变特性的测定 .....	781
第十七章	泥沙模型试验 .....	786
第一节	泥沙模型试验的理论基础及相似条件 .....	786
第二节	动床泥沙模型试验的相似条件 .....	787
第三节	动床泥沙模型的设计及试验方法 .....	791
第四节	泥沙模型试验的仪器和设备 .....	821
附录	常用计量单位及换算 .....	843
编后语	.....	845

# Handbook of Sedimentation Engineering

## Contents

<b>Part I</b>	<b>Sources and Properties of Sediment .....</b>	<b>1</b>
Chapter 1	Sediment Sources .....	3
Chapter 2	Properties of Sediment .....	47
<b>Part II</b>	<b>Mechanics of Sediment Transport .....</b>	<b>91</b>
Chapter 3	Fluvial Hydraulics .....	93
Chapter 4	Bed Load .....	151
Chapter 5	Suspended Load .....	190
Chapter 6	Sediment Carrying Capacity .....	220
Chapter 7	Flow at Hyperconcentration of Sediment .....	257
Chapter 8	Density Current .....	286
<b>Part III</b>	<b>Aspects of Sedimentation Engineering .....</b>	<b>315</b>
Chapter 9	Reservoir Sedimentation .....	317
Chapter 10	Fluvial Process and River Training .....	401
Chapter 11	Esturine and Coastal Sedimentation .....	472
Chapter 12	Sedimentation Problems in Water Intakes and Irrigation Systems .....	539
Chapter 13	Sediment Transportation in Pipelines .....	587
Chapter 14	Miscellaneous Problems in Hydraulic Structures .....	629
<b>Part IV</b>	<b>Measuring Techniques and River Modelling .....</b>	<b>691</b>
Chapter 15	Field Measuring Techniques .....	693
Chapter 16	Laboratory Practice of Sediment Sampling .....	743
Chapter 17	Laboratory Modelling .....	786

# 第一篇

## 泥沙来源和性质



# 第一章 泥沙来源

环境问题是当代一个十分重大的课题。隶属环境的生态系统，是指生命系统和自然系统在特定空间的组合。所谓生命系统是指动植物及微生物等有机体的集合；所谓自然系统是指水、热、气、光、土等各种环境因子的集合。地表层有三大耗散结构类型，即自然地理系统、自然生态系统和人工生态系统。农业系统中的农田、山林、牧场等实际上已不再是单纯的自然生态系统，而是自然生态系统和社会经济系统相结合的人工生态系统。人类对资源开发利用的不当会导致生态环境的失调、恶化与破坏，它主要可分为水土流失与环境污染两大类。水土流失或土壤侵蚀是影响基本生态过程的重大问题，而水土流失的发生、发展与控制，与维护生态系统的良性循环关系密切。美国《公元 2000 年全球情况调查报告》的主编巴尔尼 (Barney, G.O.) 指出：“在环境问题中，空气和水的污染固然十分重要，但第一位的问题却是土壤侵蚀，或称水土流失，解决这一问题对发展中国家更为迫切。”

## 第一节 土壤侵蚀概述

表 1-1 土壤侵蚀状况说明表

土壤侵蚀 (Soil erosion)	在地表层内，外营力及人类生产活动作用下，地表土壤及其母质发生的侵蚀、输移及沉积的过程。它可分为自然侵蚀与加速侵蚀
自然侵蚀 (Natural erosion)	在天然或无人类活动下发生的地表侵蚀，其土壤流失速率小于土壤成土速率，也即是在人类前的地史时期，在构造运动等所造成古地形基础上进行的侵蚀作用
加速侵蚀 (Accelerate erosion)	人类生产活动所引起的侵蚀，使土壤流失速率大于土壤成土速率
现代加速侵蚀	由于人类在社会、经济、文化等因素的制约下，违背自然规律，进行不合理的生产活动等，所引起的强烈的水土流失

说明：

(1) 土壤成土速率——在土壤没有扰动的自然状态，形成 25mm 的表土层约需 300 年。但在耕作条件下，因为加速了土壤的扰动等作用，成土时间可缩短为 30 年左右。

(2) 侵蚀营力——地表面现代地貌形态取决于内、外营力的相互作用。内营力指构造运动所造成的地壳升降，从而构成侵蚀、堆积、环境变化的宏观地质背景；外营力指太阳辐射、降水及微生物活动等导致岩石风化、剥蚀及输移。根据侵蚀营力的不同，侵蚀方式可分为：水力侵蚀、重力侵蚀、风力侵蚀、溶解侵蚀等。

表 1-2 水力侵蚀说明表

<p>水力侵蚀 (Rain Wash)</p>	<p>简称水蚀，是在降水、地表径流及亚地表径流作用下，土壤或土体被分离、输移及沉积的全过程。常见的水蚀形式有面蚀和沟蚀两种，前者包括溅蚀、片蚀和细沟侵蚀；后者有浅沟、切沟、冲沟和河沟等侵蚀</p>
<p>溅蚀 (Splash erosion)</p>	<p>雨滴打击地面，使土壤颗粒从土体表面剥离，并被雨滴带起而产生位移的过程。其溅蚀量及土粒移动情况取决于坡度、雨滴动能及打击方向、土粒间的切应力和土壤团聚状态等。伍德拉夫(Woodrugh, C.M.)试验证明：在缓坡，土壤侵蚀量中的 90%是由溅蚀造成的，只是在 <math>&gt;9^\circ</math> 的坡地，径流冲刷才起重要作用</p>
<p>片蚀 (Sheet erosion)</p>	<p>又称细沟间侵蚀，在地表径流分散、流速低的情况，所引起的地表土均匀流失的现象。此种地表流是在细沟间流动的极薄水层，根据杨及威斯玛 (Young, R.A &amp; Wiersma, J.L.1973) 的实验观测，其流速在 1.5—4.0cm/s，水深在 0.08—0.015mm 之间，一般发生在缓坡和近分水岭处。严格地说，真正的片蚀是不存在的，它实际上是无数的纹沟、细沟网络所组成。片蚀还分如下几类：在土壤具有发生剖面的片蚀称剖面片蚀；在成土母质已裸露的片蚀称母质片蚀；在植被稀疏的荒坡，片蚀形状和鱼鳞相似，称鳞片状片蚀；在土石山区，不易冲走的较大砂砾常残积地表，经耕作后又与细的底土相混合，如此反复多次后，表土逐渐粗化，称砂砾化片蚀</p>
<p>细沟侵蚀 (Rill erosion)</p>	<p>它是薄层水流沿坡面运动并逐渐汇集成股流，将地面冲刷成细沟的过程。根据实测的细沟流，在坡度 5.7—40%，雨强 32—117mm/h 时，其流速为 5.4—32cm/s，水深达 0.28—0.99mm，细沟的宽度一般不超过 20cm，在农地中常以耕作层为界，耕作时能加以平复</p>
<p>浅沟侵蚀 (Shallow channel erosion)</p>	<p>主要发生在较陡的坡面上，是若干细沟袭夺兼并，汇聚了足够水量，产生了强烈拖曳力的结果。浅沟下端或与切沟相接，或与悬沟相连，沟形比较稳定，耕作已不能加以平复，其下切深度一般在 0.5—1.0m 之间，据陕西省绥德县测定，浅沟汇水面积为 700—1900m<sup>2</sup>，沟头至分水线距离为 20—55m</p>
<p>切沟侵蚀 (Gully erosion)</p>	<p>多发育于凹形斜坡，它汇聚了细沟和浅沟丰富的来水量，具有强烈的下切作用。沟床下切至少 1m，深的可达数米至数十米。由于径流更为集中，加速沟底下切、沟岸扩张和沟头前进</p>



表 1-3 重力侵蚀说明表

<p>重力侵蚀 (Gravitational erosion)</p>	<p>地表物质因重力作用失去塑性平衡,产生破坏、位移和堆积的现象。当土石介质松散或地层易滑、临空面陡、地面缺乏植被时,一旦受到地震、降水、地表径流及地下水、波浪、冰川、人工采掘和爆破等任何一种营力作用时,便会激发重力侵蚀。重力侵蚀形式主要有滑坡、崩塌、泻溜三种</p>
<p>滑坡 (Landslide)</p>	<p>在重力作用下,斜坡上的土体,遇到下层不同岩性的弱透水层,在地下水的作用下,形成一个滑动面,当其中一个或几个软弱结构面上的下滑力大于抗滑力时,块体沿此面发生整体下滑的现象</p> <p>滑坡体的大小相差很大,巨型深层滑坡,常使梁崩坡整体下移,造成灾害性后果。如 1983 年 3 月 7 日甘肃省东乡族自治县洒勒山大滑坡,滑动及覆盖堆积范围约 1.4—1.5km<sup>2</sup>,据推算,滑动的总方量约为 4000—5000 万 m<sup>3</sup>。浅层小型滑坡,比较普遍常见,是造成坡面支离破碎,流域产沙剧增的主要来源之一。例如 1981 年夏秋之际,四川省成都、绵阳等七个地区,遭到罕见的暴雨袭击,90 个县发生了 6 万处滑坡;1977 年 3 号台风带来的特大暴雨使海南岛的白沙县 1/3 的荒坡产生了群体浅层滑坡</p>
<p>崩塌 (Avalanche)</p>	<p>陡崖上的土石岩体失去平衡,在自重力作用下,突然脱离母体坠落的现象。它有基岩崩塌和土崖崩塌之分。规模巨大的崩塌也叫山崩。1971 年云南省东川市狮子山铜矿区,因采空围岩而大规模崩塌,在沟底形成底宽 910m、高 46m、总量 700 万 m<sup>3</sup> 的堆石坝;在黄土地区,常可见到崩塌的土体堵塞侵蚀沟,形成天然蓄水坝,当地群众称之为“聚湫”</p>
<p>泻溜 (Debris slide)</p>	<p>陡坡上的土石体经过物理与化学风化作用形成碎屑,在自重力作用下沿坡面滚下堆积在坡麓的现象</p>

表 1-4 风力侵蚀说明表

<p>定性叙述</p>	<p>风蚀 (Wind erosion) 是地表土壤被风力破坏、搬运和沉积的现象。它主要发生在干旱和半干旱区,在无植被保护的干燥松散的土壤上,当风速极大时,就发展为尘暴或尘霾,给国民经济及人类生活带来严重的损害。它吹走表土、伤害幼苗、掩埋交通线路和村庄、污染环境,进而使土地沙化 (Desertification)</p>
<p>风力搬运 沙粒形式</p>	<p>(1) 悬移——粒径小于 0.1mm 的粉沙、粘粒,被卷扬至高空,随风飘行; (2) 跃移——粒径 0.25—0.50mm 的中细沙粒,受风力冲击脱离地表 10cm 后,又重返地表; (3) 蠕移——粒径 0.5—2.0mm 的较大颗粒,不易被风吹离地表,沿地面滚滑</p>