

# 黄河上游水土流失 预测模型

郭同章 张建勋 傅金镒 著

科学出版社

# 黄河上游水土流失预测模型

郭同章 张建勋 ~~傅金镒~~ 著

科学出版社

1996

## 内 容 提 要

本书是作者对黄河兰州上游地区水土流失及泥沙预测模拟模型研究的主要成果和作者多年来在水土流失及环境保护等方面研究成果的汇总。主要内容包括：黄河流域概况；黄河上游概况及水沙分析；水土流失模型概述；水流模拟预测模型；泥沙的冲刷和沉积模型；计算机系统介绍及参数率定等内容。本书主要研究了对于水土流失有影响的各种因素之间的关系，建立了可适应于一般流域的水土流失数学模型。

本书可供水文、地貌、生态和环境保护等专业的大学生、研究生、教师和有关的科研、生产人员参考。

## 黄河上游水土流失预测模型

郭同章 张建勋 傅金镗 著

责任编辑 吕 虹

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1996年9月第 一 版 开本：850×1168 1/32

1996年9月第一次印刷 印张：7 5/8 插页：1

印数：1—760

字数：197 000

ISBN 7-03-005337-0/X·42

定价：25.00 元

## 前 言

黄河是我国第二大河流，也是世界上泥沙含量最高的河流。黄河流域是中华民族古代文明的摇篮，但由于自然因素和人为破坏，流域生态环境十分脆弱。黄河中、上游地区干旱少雨、植被状态差、水土流失严重，大量泥沙输入河中，给工农业生产和人民生活带来危害。黄河流域又是土地资源、矿产资源和能源十分丰富的地区，它已经成为我国发展农林牧业、能源工业和重化工业的重要基地。在我国西部经济开发中，黄河中、上游地区占有重要的位置。因此，黄河流域生态环境的综合治理具有十分紧迫的现实意义和长远的战略意义。

根据兰州市自来水总公司进行高浊度水处理及甘肃省环保局进行流域生态环境资料统计和综合治理的需要，由兰州市自来水总公司资助，建立了黄河兰州上游地区生态环境和水沙运行规律的研究课题，由兰州铁道学院郭同章、张建勋，兰州市自来水总公司傅金镒、费胃泉、张甫本，甘肃省环保局综合管理处赵伟民、李为民，西北师范大学严喜祖等同志组成的课题组，经过近5年的研究，取得了有价值的研究成果，达到了预期的目的。课题应用泥沙运动学、地貌学、沉积学和河床动力学等多学科理论，结合数学模型和计算机辅助设计等研究方法，系统地研究了地面水流的运动规律、地表土层内水流运动规律、降水对地表的冲刷规律，地面水流与地表水流的泥沙输移规律、河道水流的运动规律及河道水流中泥沙的输移规律，并在此基础上，建立了一系列相应的基础模型，进而建立了能刻画流域范围内生态环境的预测模拟模型，最后研制出了黄河兰州上游地区水土流失及泥沙预测的计算机预测模拟系统。实际运行表明，该系统能够很好地预测模拟黄河兰州上游地区水土流失及泥沙的状况，正确地反映水土流

失及泥沙与气象、植被、地形、地貌及表土结构之间相互影响，相互制约的关系，在  $5 \times 10^4 \text{km}^2$  的范围内，模拟结果与实测资料之间的最大误差小于 30%，已取得明显的经济效益、环境效益和社会效益，有很好的实用价值和推广前景。

本书主要依据课题研究报告，同时充实了作者多年来有关的研究成果。全书共分为三部分：第一部分是黄河兰州上游地区生态环境现状及该研究领域的背景材料；第二部分是有关水土流失及泥沙运动规律的数学模型；第三部分介绍预测黄河兰州上游地区水土流失及泥沙的计算机模拟系统及参数率定。

在本书的编写过程中，惠遇甲教授和朱琨教授曾多次提出宝贵的意见和建议，许多同行和朋友提供了具体的帮助和支持，在此深表谢意！

在搜集研究资料 and 进行实地考察中，得到了甘肃、青海两省气象、水文、环保、农业和林业部门的大力支持和帮助，谨致谢忱。

由于原课题研究范围广，涉及因素多，以及人力、物力的限制，对有些问题的研究还不够深入，书中的论述也难免有疏漏和不妥之处，恳请批评指正。

作者

1995 年 8 月

# 目 录

|                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| <b>第一章 概论</b> .....                            | 1   |
| § 1.1 黄河流域概况 .....                             | 1   |
| § 1.2 黄河年径流量 .....                             | 7   |
| § 1.3 黄河泥沙 .....                               | 8   |
| § 1.4 黄河地质 .....                               | 14  |
| <b>第二章 黄河上游流域概况及水沙分析</b> .....                 | 20  |
| § 2.1 黄河上游地区的经济概况及发展前景 .....                   | 20  |
| § 2.2 湟水河流域概况 .....                            | 23  |
| § 2.3 大通河流域概况 .....                            | 30  |
| § 2.4 洮河流域及刘家峡库区概况 .....                       | 34  |
| § 2.5 黄河兰州段干流概况 .....                          | 39  |
| <b>第三章 模型概述</b> .....                          | 49  |
| § 3.1 模型建立的基本思想 .....                          | 50  |
| § 3.2 模型的实现方法 .....                            | 58  |
| § 3.3 基本参数的分类方法及原则 .....                       | 61  |
| § 3.4 各单元的气象参数与各气象（台）站的观测<br>数据 .....          | 65  |
| § 3.5 各种动态参数的分布规律 .....                        | 70  |
| § 3.6 面积单元各段的坡度模拟以及面积单元每个段<br>之间的坡度变化的模拟 ..... | 72  |
| <b>第四章 水流预测模拟模型</b> .....                      | 76  |
| § 4.1 土壤的水渗透 .....                             | 77  |
| § 4.2 蒸发和表土中的水流运动 .....                        | 89  |
| <b>第五章 泥沙的冲刷和沉积模型</b> .....                    | 98  |
| § 5.1 引言 .....                                 | 98  |
| § 5.2 模型中面积单元的细分划 .....                        | 101 |
| § 5.3 系统基本方程 .....                             | 103 |

|             |                           |            |
|-------------|---------------------------|------------|
| § 5.4       | 单元内部的冲刷-沉积模型 .....        | 104        |
| § 5.5       | 地面水流的特征 .....             | 114        |
| § 5.6       | 渠道及河道水流的模拟 .....          | 122        |
| <b>第六章</b>  | <b>计算机系统简介及参数率定 .....</b> | <b>129</b> |
| § 6.1       | 计算机系统简介 .....             | 129        |
| § 6.2       | 土壤系统参数 .....              | 133        |
| § 6.3       | 植被参数 .....                | 162        |
| <b>第七章</b>  | <b>系统功能介绍 .....</b>       | <b>177</b> |
| § 7.1       | 水土流失及泥沙预测模拟 .....         | 177        |
| § 7.2       | 输入数据 .....                | 181        |
| § 7.3       | 显示和打印预测模拟结果 .....         | 191        |
| § 7.4       | 系统参数的修改 .....             | 197        |
| § 7.5       | 系统的输入输出方式 .....           | 210        |
| § 7.6       | 系统内部的模块结构 .....           | 214        |
| § 7.7       | 系统内部数据文件结构 .....          | 216        |
| § 7.8       | 系统参数的说明 .....             | 220        |
| <b>参考文献</b> | <b>.....</b>              | <b>233</b> |

# 第一章 概 论

## § 1.1 黄河流域概况

黄河是中华民族的摇篮，是我国开发最早的经济区，历史上长期是我国政治、经济和文化的中心。她率先点燃了中华民族的文明之火，哺育了一代又一代的炎黄子孙，创造了灿烂辉煌的黄河文明。她同尼罗河、印度河、恒河、幼发拉底河和底格里斯河一起造就了世界四大文明古国，为人类社会的进步做出了巨大贡献。黄河流域自东汉起开始衰落，南宋后政治、经济和文化中心开始北移，至今黄河流域仍然是我国经济比较落后的地区之一。

黄河是世界上一条特殊的河流，是我们伟大祖国的象征。它发源于青海省巴颜喀拉山北麓的约古宗列盆地，在山东省垦利县注入渤海，全长 5464km，总落差 4480m。几千年来它在下游一次次大幅度摆动，形成了北到天津、南到淮河、东临渤海和黄海广大冲积扇。在冲积扇内，由于黄河的原因，地形、地貌、土质、水文及气候等许多特点大体相同，人们同自然斗争的方式、方法也有诸多相似，因此，广义上的黄河流域应当包括青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东、安徽、江苏和河北等 12 个省、自治区的 67 个地、市、州，462 个县(旗)。目前流域面积为  $752443\text{km}^2$ ，加上下游的冲积平原，约  $1.1 \times 10^6\text{km}^2$ ，占全国面积的 11.4%，总人口约 2 亿，占全国总人口的 18%，耕地面积 4.6 亿亩 ( $3.07 \times 10^6\text{km}^2$ )<sup>[1]</sup>，占全国总耕地面积的 31.9%，是我国的第二条大河流(见图 1.1)。

黄河流域地势西高东低，大致可以分为三个阶梯，即青海高原、内蒙古高原和黄土高原、华北平原。

(1) 青海高原位于青藏高原的东北部，平均海拔在 4000m 以

上,属高寒地区,人烟稀少,交通不便,经济尚待开发。

(2) 内蒙古高原包括黄河河套平原和鄂尔多斯高原。河套平原西起宁夏下河沿,东至内蒙古托克托(河口镇),海拔 1000—1200m,地势平坦、土壤肥沃、灌溉发达,是宁夏和内蒙古两自治区的主要农业生产基地。鄂尔多斯高原位于黄河河套以南,南界长城,大部分海拔 1000—1400m,是一块近似台状干燥剥蚀高原,风沙地貌发育。

黄土高原西起青海日月山,东至太行山,南靠秦岭,北抵鄂尔多斯高原,海拔 1000—2000m,是世界上最大的黄土分布地区,大部分在黄河中游,少部分在黄河上游。地貌特征主要由黄土塬、梁、峁、沟等组成,土层深厚、组织疏松、地形破碎、植被稀少、暴雨频繁、水土流失严重,是黄河泥沙的主要来源地。

(3) 华北平原由太行山以东至滨海,主要由黄河冲积形成,多在海拔 1000m 以下,地势低洼,地面坡度平缓。由于黄河长期淤积,下游河道形成“地上悬河”。以黄河两岸大堤为分水岭,以北属于海河流域,以南属于淮河流域。本区长期遭受黄河水患侵袭,现在和将来又都依靠黄河供水发展生产,广大平原的安危兴衰都与黄河息息相关。

现今黄河流经的地方,大约在 5 亿年前还是一片水域。后来由于地质构造运动,山地隆起,盆地拗陷。至第四纪早、中更新世,还留有共和、银川、河套、汾渭(三门峡)和华北等湖盆<sup>[12]</sup>。在这些湖盆中,除华北湖曾与海洋相连外,其余均为内陆型湖盆,各自形成独立的集水系统。后来,由于地壳变化,各湖盆河流的溯源侵蚀延伸,先后使各湖盆互相连通,湖水排出,湖泊萎缩消亡,形成目前黄河山地(高原)水流侵蚀和盆地淤泥沉积相连接的特点,纵剖面趋于夷平。

黄河河道的主要特点是干流弯曲多变、支流众多、分布不均又不对称。根据水沙特征、地形和地质条件以及河流特性,黄河干流可以分为上、中、下游共 11 个河段,河段特征见表 1.1。

从河源至内蒙古托克托县的河口镇为黄河上游地区,河长

3472km, 水面落差 3496m, 流域面积  $38.6 \times 10^5 \text{km}^2$ , 分别占全河的 63.5%, 78%, 51.3%。汇入较大的支流 43 条, 其中左岸汇入 14 条, 右岸汇入 29 条。

表 1.1 黄河干流各河段河道特征值

| 河段     | 起 点 | 终 点 | 流域面积<br>( $\text{km}^2$ ) | 河 长<br>(km) | 落 差<br>(m) | 比降<br>(‰) | 大于 $1000 \text{km}^2$ 的一级支流 |    |    |
|--------|-----|-----|---------------------------|-------------|------------|-----------|-----------------------------|----|----|
|        |     |     |                           |             |            |           | 合计                          | 左岸 | 右岸 |
| 全河     | 河 源 | 河 口 | 752443                    | 6563.6      | 4480.0     | 8.2       | 76                          | 32 | 44 |
| 上<br>游 | 河 源 | 河口镇 | 385966                    | 3471.6      | 3496.0     | 10.1      | 43                          | 14 | 29 |
|        | 河 源 | 玛 多 | 20930                     | 269.6       | 265.0      | 9.8       | 3                           | 0  | 3  |
|        | 玛 多 | 龙羊峡 | 110490                    | 1417.5      | 1765.0     | 12.5      | 22                          | 9  | 13 |
|        | 龙羊峡 | 下河沿 | 122722                    | 793.9       | 1220.0     | 15.4      | 8                           | 2  | 6  |
|        | 下河沿 | 河口镇 | 131824                    | 990.5       | 246.0      | 2.5       | 10                          | 3  | 7  |
| 中<br>游 | 河口镇 | 桃花峪 | 343751                    | 1206.4      | 890.4      | 7.4       | 30                          | 16 | 14 |
|        | 河口镇 | 禹门口 | 111591                    | 725.1       | 607.3      | 8.4       | 21                          | 11 | 10 |
|        | 禹门口 | 潼 关 | 184584                    | 125.8       | 525        | 4.2       | 4                           | 2  | 2  |
|        | 潼 关 | 桃花峪 | 47576                     | 355.5       | 230.9      | 6.5       | 5                           | 3  | 2  |
| 下<br>游 | 桃花峪 | 河 口 | 22726                     | 785.6       | 93.6       | 1.2       | 3                           | 2  | 1  |
|        | 桃花峪 | 高 村 | 4429                      | 206.5       | 37.3       | 1.8       | 1                           | 1  | 0  |
|        | 高 村 | 陶城埠 | 4668                      | 165.4       | 20.2       | 1.2       | 1                           | 1  | 0  |
|        | 陶城埠 | 利 津 | 13055                     | 301.1       | 28.7       | 0.9       | 1                           | 0  | 1  |
|        | 利 津 | 河 口 | 574                       | 103.6       | 7.4        | 0.7       | 0                           | 0  | 0  |

青海省的玛多以上为河源段, 黄河流经低的丘陵和湖盆草原地区, 河谷宽阔、地势平缓, 对于径流的调蓄作用明显。河段内的扎陵湖和鄂陵湖都在海拔 4260m 以上, 水面面积分别为 526 和  $610 \text{km}^2$ , 蓄水量分别为  $4.7 \times 10^9$  和  $1.08 \times 10^{10} \text{m}^3$ , 是我国最大的淡水湖。

玛多至玛曲, 黄河贯穿巴颜喀拉山和积石山之间的古湖盆和平川宽谷之中, 其中除有几段峡谷外, 大部分河道蜿蜒曲折, 河床宽浅, 水流平缓, 著名的黄河第一弯——唐克弯就位于此。黄河流经辽阔的松潘平原, 至唐克附近受岷山阻挡, 绕阿尼玛卿山先向东南流, 再折向西北, 形成  $180^\circ$  的大弯。

玛曲至龙羊峡, 黄河流经高山峡谷, 两岸地势险峻、岩石裸

露、峡长谷深、坡陡流急，河流蜿蜒于崇山峻岭之中，在唐乃亥附近折向东北，又形成一个  $180^\circ$  的大弯。从上到下有多石峡、多唐贡玛峡、官仓峡、拉加峡、野狐峡、拉干峡等，其中拉干峡长 216km，是黄河上仅次于晋陕峡谷的第二长峡。峡谷段河宽一般约 100m，最窄处仅 30m 左右，水力资源蕴藏丰富。

龙羊峡至下河沿，黄河流经青海高原和黄土高原的结合部分，地势由西向东呈阶梯状下降，河道蜿蜒曲折，河谷川峡相间，计有 19 个较大的峡谷和 17 个较长的川地。峡谷长度占本河段长度的 40% 以上，有著名的龙羊峡、刘家峡和黑山峡等，前两个峡谷已建成水库。各峡谷的川地长在 20—35km 之间，周围群山环抱，河谷开阔，水流较缓，两岸有河漫滩和阶地发育，较大的川地有贵德川、皋兰川、靖远川等。本段河谷河床狭窄，有的峡口仅几十米。河床覆盖厚度：兰州一般为 0—7m，局部深达 10m；兰州以下为 30—35m。本河段水量丰沛、落差集中，是黄河水力资源的“富矿”区，已建龙羊峡、刘家峡、盐锅峡、八盘峡等 5 座水电站，装机容量  $3.312 \times 10^6 \text{kW}$ ，年发电量  $1.56 \times 10^{10} \text{kW} \cdot \text{h}$ 。龙羊峡水电站装机容量  $1.28 \times 10^6 \text{kW}$ ，年发电量  $6.0 \times 10^9 \text{kW} \cdot \text{h}$ ，龙羊峡—青铜峡段已建和规划的梯级电站具有工程量小、投资省、效益大的特点，建设条件优越，是全国重点开发建设的水电基地之一。

青铜峡以下黄河流经坦荡的宁、蒙平原。早在秦汉时期这里就开始引黄灌溉，是黄河上游地区开发最早的农业区之一。解放后修建了青铜峡、三盛公两座大型灌溉枢纽工程，目前已成为宁夏和内蒙古自治区重要的商品粮基地。

河口镇到河南省郑州附近的桃花峪为中游。流域面积  $3.44 \times 10^5 \text{km}^2$ ，河长 1206km，落差约 889m。黄河中游流经广大黄土高原。那里暴雨频繁，水土流失严重，年输沙量占全河 90% 以上，是黄河泥沙的主要来源区。

黄河过河口镇急转南下禹门口，奔流在晋陕峡谷之中，流程 726km，落差 607m，是黄河干流水力资源较丰，开发条件较好的

河段之一。晋陕峡谷两岸支流众多，深切黄土高原，汛期洪水迅猛，挟带大量泥沙进入黄河，河口镇至龙门流域面积  $1.144 \times 10^6 \text{km}^2$ ，占全河 15%，年沙量达  $9 \times 10^8 \text{t}$ ，占全河输沙量的 57%，是黄河流域来沙最多的河段。

黄河出晋陕峡谷，河面豁然开阔，至潼关之间流程 125km，河床宽浅，主流摆动频繁，是游荡性冲积河道。龙门至潼关区间有汾河、渭河、北洛河等支流汇入，流域面积  $1.8 \times 10^5 \text{km}^2$ ，占全河 24%，年沙量  $5.5 \times 10^8 \text{t}$ ，占全河输沙量 35%，是黄河泥沙的另一个主要来源区。

黄河在潼关附近又折向东流，进入黄河最后一段峡谷——晋豫峡谷。潼关至桃花峪河道长 355km，流域面积  $4.8 \times 10^4 \text{km}^2$ ，先后有伊洛河、沁河等支流汇入。三门峡至桃花峪多年平均天然径流量约  $6.1 \times 10^9 \text{m}^3$ ，来沙量仅  $3.0 \times 10^7 \text{t}$ ，是黄河另一个“清水”来源区。潼关至孟津河道长 263km，穿行于崤山、熊耳山和中条山之间，落差 206m，是黄河干流水力资源集中的最后一个河段，可能开发的水电装机容量为  $1.894 \times 10^6 \text{kW}$ 。目前已建成三门峡水电站，装机  $2.5 \times 10^5 \text{kW}$ ，年发电量  $1.39 \times 10^9 \text{kW} \cdot \text{h}$ ，同时可发挥防洪、防凌、灌溉和供水等综合效益，具有承上启下的作用。对下游防洪有重要战备意义的小浪底水库，已开始修建。

黄河在孟津出峡谷后，河道放宽至 1—3km，左岸是断断续续的黄土底崖，高出河面 10—40m。右岸则为延绵的邙山黄土平岗，高出河面 100—150m。黄河游荡在左岸大堤和右岸邙山之间约 10km 宽的河谷之中，它是黄河由中游进入下游的过渡性河段，是历史上“禹河故道”的上段，历来变化不大。

桃花峪以下黄河进入华北大平原，至入海口为黄河下游，河道长约 780km，除在山东省平阴、长清两县境内有一段山岭外，全靠两岸大堤约束。河道宽浅、水流缓慢、泥沙大量淤积，平均每年约淤高 0.1m，河床一般高出两岸地面 3—5m，最高达 10m，成为世界著名的“地上悬河”。黄河下游除汶河外，无大支流汇入，区间流域面积仅占全河流域面积的 3%。横贯华北大平原脊

部的黄河下游河道，实际上是淮河、海河两大水系的分水岭。

黄河下游现行河道是在不同历史时期内逐渐形成的。沁河口至东坝头，左岸堤防始建于明弘治年间，右岸堤防明隆庆以后亦逐渐完备，迄今约有四五百年的历史。东坝头以下河道，是清咸丰5年黄河铜瓦厢决口后，在山东境内夺大清河入海形成的。

黄河下游河道具有上宽下窄的外型。山东省陶城埠以上373km为宽河段、两岸堤距1.5—20km，平均比降八千分之一左右，其中滩区面积约2200多 $\text{km}^2$ ，滞洪、削峰、沉沙作用显著，滩地多垦为农田，陶城埠以下至天津为窄河段，两岸堤距仅0.45—5km，一般0.5—2km，河道长310km，平均比降万分之一。因位于纬度较高地区，当陶城埠以上解冻天河时，窄河段凌汛威胁严重。

天津以下100km河段，位于渤海湾与莱州湾之间，属于陆相弱潮强烈堆积性河口。黄河下游多年平均输沙量 $1.6 \times 10^9 \text{t}$ ，平均每年进入河口地区的泥沙达 $1.1 \times 10^9 \text{t}$ ，其中仅有三分之一被输往深海。大部分淤积在河口三角洲和滨海地区。使河口处于淤积—延伸—摆动—改道的循环演变过程中。建国前，三角洲以宁海为顶点，北起徒骇河，南至支脉沟，扇形面积 $5450 \text{km}^2$ 。建国以来，随着河口地区工农业的发展，特别是胜利油田的开发，允许摆动、改道的范围逐渐缩小，三角洲顶点也随之下移到渔尘附近，三角洲面积仅 $220 \text{km}^2$ 。

黄河为害，突出表现在下游的洪水灾害。据历史记载，解放前的2000多年中，黄河下游共决溢1500余次。平均3年两决口，百年一改道，北抵天津，南达淮河，洪水波及范围达 $2.5 \times 10^5 \text{km}^2$ ，给广大地区人民生命财产造成惨重损失。建国以后，确保黄河下游防洪安全，成为治黄的主要任务。经过多年努力，已初步建成“上拦下排，两岸分滞”的防洪工程体系，抗洪能力显著增强，建国以来从未决口。

## § 1.2 黄河年径流量

黄河是我国第二大河，流域面积、河长居全国第二(见插图 1.1)，水量在全国八大江河中居第五位。黄河流域气候大部分属中温带和南温带。在贵德以上属高原气候，从全国降水、径流分带来看，流域处于半干旱半湿润地带，降水不多，径流比较贫乏。据花园口站 1919—1979 年系列(其中 1919—1948 年为延长值)计算，多年平均年径流量为  $5.63 \times 10^{10} \text{m}^3$ 。加上花园口到河口区间平均年径流量  $2.9 \times 10^9 \text{m}^3$ ，全流域年径流量为  $5.92 \times 10^{10} \text{m}^3$ 。

黄河年径流量在地区上分布很不均匀，水量主要来自兰州以上地区。根据 1956—1979 年资料，兰州以上年来水量占花园口年径流量的 55%，而兰州站的控制面积只占花园口以上集水面积的 33%。兰州至河口镇一段，气候干燥少雨，区间产流量只有  $1.4 \times 10^9 \text{m}^3$ ，而且沿程蒸发、渗漏损失较大，造成河口镇站的多年平均径流量比兰州站还少  $7 \times 10^8 \text{m}^3$ 。河口镇至桃花峪为黄河中游，支流众多，是黄河流域产流量的次高区，根据 1956—1979 年资料计算，区间产流量为  $2.67 \times 10^{10} \text{m}^3$ 。花园口以下为“地上悬河”，集水面积很小，河道损失量也比较大。

黄河年径流量多年变化较大，干流变差系数  $C_v$  值为 0.20—0.25，支流  $G_v$  为 0.40—0.50，根据三门峡连续 61 年资料分析，有长达 11 年的连续枯水期。主要站年径流特征值见表 1.2。

表 1.2 黄河流域主要水文站年径流特征值

| 河 名 | 站 名 | 集水面积<br>$\text{m}^2$ | 系列<br>年数 | 多年平均<br>年径流量<br>$10^8 \text{m}^3$ | 最大年径流量            |      | 最小年径流量            |      | 变差系数 |
|-----|-----|----------------------|----------|-----------------------------------|-------------------|------|-------------------|------|------|
|     |     |                      |          |                                   | $10^8 \text{m}^3$ | 年 份  | $10^8 \text{m}^3$ | 年 份  |      |
| 黄 河 | 兰 州 | 222551               | 45       | 346                               | 517               | 1967 | 240               | 1956 | 0.19 |
| 黄 河 | 三门峡 | 688421               | 61       | 504                               | 823               | 1964 | 242               | 1928 | 0.25 |
| 黄 河 | 花园口 | 730036               | 61       | 563                               | 1004              | 1964 | 284               | 1928 | 0.25 |
| 渭 河 | 咸 阳 | 46827                | 46       | 56.5                              | 114               | 1964 | 26.9              | 1972 | 0.33 |
| 汾 河 | 河 津 | 38728                | 29       | 25.9                              | 44.1              | 1964 | 13.5              | 1972 | 0.29 |
| 湟 水 | 民 和 | 15349                | 40       | 20.9                              | 33.7              | 1961 | 14.1              | 1966 | 0.23 |

## § 1.3 黄河泥沙

### 1.3.1 概 况

黄河是我国泥沙最大的河流(见表 1.3),也是世界上罕见的多沙河流,年输沙量和年平均含沙量均居世界大江河的首位,见表 1.4。

黄河泥沙主要来自中上游黄土高原地区,而径流则主要来自上游。黄河上游贵德以上,地处青藏高原,植被较好,暴雨少,河流含沙量较小,青海省唐乃亥站年平均含沙量仅有  $0.55\text{kg}/\text{m}^3$ ,平均年输沙量为  $1.1 \times 10^7\text{t}$ 。贵德站年平均含沙量增至  $1.11\text{kg}/\text{m}^3$ ,平均年输沙量为  $2.4 \times 10^7\text{t}$ 。贵德以下进入黄土高原地区,泥沙逐渐增多,循化站平均年输沙量为  $4.1 \times 10^7\text{t}$ 。循化至永靖县上埝(湟水汇口以上)区间有大夏河、洮河汇入,其下游段属强侵蚀地区,成为刘家峡水库的主要沙源地区之一。上埝站实测年平均含沙量为  $2.89\text{kg}/\text{m}^3$ (刘家峡水库建库前数据,下同),平均年输沙量为  $8.4 \times 10^7\text{t}$ 。上埝至兰州区间,由于日月山以东广大地区黄土沟壑比较发育,由湟水输入的泥沙较多,使兰州站平均年输沙量达  $1.13 \times 10^8\text{t}$ 。兰州至安宁渡区间有著名的多沙河流祖厉河等汇入,该河靖远站平均年含沙量为  $457\text{kg}/\text{m}^3$ ,平均年输沙量  $6.4 \times 10^7\text{t}$ ,使黄河安宁渡站年平均输沙量达到  $2.23 \times 10^8\text{t}$ 。安宁渡以下,除支流清水河来沙较多外,其余大部分为干旱风沙地区,来沙较少。又由于宁蒙灌区引走沙量及河道淤积较大,至头道拐站平均年输沙量降至  $1.49 \times 10^8\text{t}$ 。安宁渡至头道拐区间,年淤积沙量约  $1.4 \times 10^8\text{t}$ 。

黄河头道拐折向南流,穿越晋陕峡谷,流经黄土高原沟壑地区。那里植被差、汛期暴雨集中、降雨强度大、水土流失极为严重,是黄河流域泥沙来源的主要地区之一。头道拐至龙门区间,相继有多沙支流红河、皇甫川、窟野河、三川河、无定河、清涧

表 1.3 中国主要江河部分站含沙量、输沙量表

| 江河名称  | 站名  | 面积<br>(km <sup>2</sup> ) | 多年平均<br>含沙量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 历年最大<br>含沙量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 多年平均<br>输沙模数<br>(t/km <sup>2</sup> ) | 平均年<br>输沙量<br>(10 <sup>8</sup> t) | 最大年<br>输沙量<br>(10 <sup>8</sup> t) | 最大、<br>最小年<br>输沙量<br>比值 | 最大四月<br>输沙量占<br>年输沙量<br>百分数 |
|-------|-----|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 松花江   | 佳木斯 | 527795                   | 0.16                                | 1.27                                | 20.3                                 | 1070                              | 1770                              | 3.4                     | 72.5                        |
| 辽河    | 巨流河 | 129311                   | 2.59                                | 27.1                                | 79.2                                 | 1020                              | 6780                              | 39.6                    | 91.1                        |
| 大凌河   | 锦县  | 23048                    | 13.3                                | 139                                 | 1190                                 | 2740                              | 10700                             | 17.5                    | 96.6                        |
| 滦河    | 滦县  | 44100                    | 4.73                                | 31.1                                | 501                                  | 2210                              | 8790                              | 37.4                    | 96.7                        |
| 永定河   | 官厅  | 43402                    | 49.2                                | 436                                 | 1860                                 | 8070                              | 49700                             | 131.5                   | 90.3                        |
| 黄河    | 兰州  | 222551                   | 3.56                                | 329                                 | 508                                  | 11300                             | 26700                             | 12.0                    | 88.0                        |
| 黄河    | 陕县  | 687869                   | 33.9                                | 590                                 | 2290                                 | 181000                            | 391000                            | 8.0                     | 83.7                        |
| 黄河    | 利津  | 751869                   | 25.6                                | 222                                 | 1470                                 | 110000                            | 210000                            | 8.7                     | 83.6                        |
| 窟野河   | 温家川 | 8645                     | 184                                 | 1700                                | 16000                                | 13800                             |                                   |                         | 93.2                        |
| 无定河   | 白家川 | 29662                    | 128                                 | 1520                                | 5760                                 | 17100                             | 44000                             | 19.3                    | 92.2                        |
| 渭河    | 华县  | 106498                   | 40.3                                | 905                                 | 3970                                 | 42300                             | 106000                            | 21.3                    | 79.4                        |
| 淮河    | 鲁台子 | 91620                    | 0.592                               | 17.2                                | 145                                  | 1330                              | 3380                              | 48.4                    | 72.4                        |
| 长江    | 宜昌  | 1005501                  | 1.18                                | 10.5                                | 512                                  | 51400                             | 75400                             | 2.1                     | 82.8                        |
| 长江    | 汉口  | 1488036                  | 0.61                                | 4.42                                | 289                                  | 43000                             | 57900                             | 2.2                     | 68.3                        |
| 长江    | 大通  | 1705383                  | 0.53                                | 3.24                                | 274                                  | 46800                             | 67800                             | 2.0                     | 67.1                        |
| 汉江    | 皇庄  | 142056                   | 2.06                                | 16.9                                | 893                                  | 12700                             | 26300                             | 11.8                    | 79.7                        |
| 赣江    | 外洲  | 80948                    | 0.174                               | 1.63                                | 137                                  | 1110                              | 1860                              | 8.4                     | 77.9                        |
| 闽江    | 竹歧  | 54500                    | 0.138                               | 2.62                                | 136                                  | 740                               | 2000                              | 7.4                     | 83.7                        |
| 西江    | 梧州  | 329705                   | 0.34                                | 4.08                                | 219                                  | 7230                              | 14000                             | 8.3                     | 82.6                        |
| 元江    | 蛮耗  | 32037                    | 3.55                                | 49.0                                | 30                                   | 3630                              |                                   |                         | 80.9                        |
| 澜沧江   | 景洪  | 166834                   | 1.28                                | 19.0                                | 442                                  | 7380                              | 12100                             | 2.7                     | 84.6                        |
| 伊犁河   | 雅马渡 | 49186                    | 0.59                                | 10.2                                | 142                                  | 699                               | 1180                              | 3.3                     | 88.4                        |
| 黑河    | 莺落峡 | 10009                    | 1.41                                | 105                                 | 219                                  | 219                               | 507                               | 7.4                     | 94.6                        |
| 雅鲁藏布江 | 奴下  | 189843                   | 0.30                                | 2.31                                | 95.8                                 | 1820                              | 4620                              | 8.0                     | 86.2                        |
| 叶尔羌河  | 卡群  | 50248                    | 4.44                                | 153                                 | 572                                  | 2870                              | 6070                              | 4.9                     | 97.0                        |
| 格尔木河  | 格尔木 | 16098                    | 3.27                                | 170                                 | 162                                  | 247                               | 668                               | 10.8                    | 87.6                        |

河、延水等河流汇入，使黄河龙门站平均年输沙量剧增至  $1.06 \times 10^9 \text{t}$ 。在此区间，窟野河温家川站实测年平均输沙量达  $1.38 \times 10^8 \text{t}$ ，无定河川口站实测平均年输沙量为  $1.71 \times 10^8 \text{t}$ ，分别占区

间来沙量的 15% 和 19%。

表 1.4 世界一些大河的泥沙特征值统计表

| 河 名         | 国 名           | 站 名   | 流域面积<br>( $10^4\text{km}^2$ ) | 平均年<br>径流量<br>( $10^8\text{m}^3$ ) | 平均年<br>输沙量<br>( $10^8\text{t}$ ) | 平均年输<br>沙模数<br>( $\text{t}/\text{km}^2$ ) | 年平均<br>含沙量<br>( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) |
|-------------|---------------|-------|-------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|
| 黄 河         | 中 国           | 龙门等四站 | 68.8                          | 543                                | 16.1                             | 2290                                      | 36.9                                     |
| 布拉马普<br>特拉河 | 孟加拉国、<br>巴基斯坦 | 杜拉巴特  | 53.7                          | 6140                               | 7.35                             | 1370                                      | 1.16                                     |
| 印度河         | 巴基斯坦          | 卡拉巴格  | 30.5                          | 1100                               | 6.80                             | 2230                                      | 6.18                                     |
| 长 江         | 中 国           | 宜昌    | 100.6                         | 4468                               | 5.14                             | 512                                       | 1.18                                     |
| 恒 河         | 孟加拉国          | 尔丁吉桥  | 97.6                          | 3680                               | 4.80                             | 492                                       | 1.31                                     |
| 亚马逊河        | 巴 西           |       | 615                           | 69300                              | 3.62                             | 59                                        | 0.05                                     |
| 密西西比河       | 美 国           |       | 322                           | 5800                               | 3.12                             | 97                                        | 0.54                                     |
| 伊洛瓦底江       | 緬 甸           |       | 40.9                          | 4860                               | 3.00                             | 730                                       | 0.62                                     |
| 阿姆河         | 前苏联           | 阿姆河中段 |                               | 606                                | 2.18                             |                                           | 3.59                                     |
| 密苏里河        | 美 国           | 赫尔曼   | 137                           | 715                                | 2.18                             | 159                                       | 3.05                                     |
| 干达克河        | 印 度           |       | 4.6                           | 630                                | 1.96                             | 4250                                      | 3.12                                     |
| 科罗拉多河       | 美 国           | 大峡    | 35.7                          | 156                                | 1.81                             | 507                                       | 11.6                                     |
| 湄公河         | 老 挝           | 巴色    | 54.0                          | 3020                               | 1.3                              |                                           | 0.44                                     |
| 红 河         | 越 南           | 越 池   | 11.3                          | 1230                               | 1.30                             | 244                                       | 1.06                                     |
| 尼罗河         | 埃 及           | 开 罗   | 290                           | 840                                | 1.11                             | 1150                                      | 1.32                                     |
| 阿特察法<br>拉亚河 | 美 国           | 克罗茨泉  |                               | 1640                               | 1.10                             |                                           | 0.67                                     |
| 阿肯色河        | 美 国           | 小石城   | 41.0                          | 370                                | 1.05                             | 256                                       | 2.84                                     |

龙门至三门峡区间，主要支流有泾、洛、渭河和汾河，其中泾、洛、渭河平均年输沙量之和为  $5.05 \times 10^8\text{t}$ ，汾河为  $4.1 \times 10^7\text{t}$ ，据 1950—1979 年资料统计，龙门、华县、淤头、河津四站的实测平均年输沙量之和为  $1.61 \times 10^9\text{t}$ ，其中 50 年代为  $1.78 \times 10^9\text{t}$ ，60 年代为  $1.7 \times 10^9\text{t}$ ，70 年代由于支流水库先后投入运行，拦洪淤沙，加之来水偏枯，致使黄河干流龙门、渭河华县、北洛河淤头、汾河河津四站实测平均年输沙量之和减少至  $1.35 \times$