

GAOZHUODU
GEISHUI GONGCHENG

高浊度给水工程

傅文德 主编

许保玖 主审

中国建筑工业出版社

高 浊 度 给 水 工 程

傅文德 主编

许保玖 主审

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

本书全面总结了建国以来在高浊度水取水、输送和净化方面的科研成果、工程实践和生产运转经验。内容包括高浊度水的取水技术、净化流程的选择、高浊度水的输送、自然沉淀和混凝沉淀、沉淀构筑物以及高浊度水的基本特性试验和模拟实验方法等。这些经验可供黄河流域、长江上游高浊度水以及其他有关地区开发利用高浊度水资源时借鉴。本书可供城市和工业给水排水勘察设计、科研单位和自来水公司的有关管理部门及大专院校师生参考。

高 浊 度 给 水 工 程

傅文德 主编 许保玖 主审

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

煤炭工业出版社印刷厂印刷

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 25¹/₄ 插页: 1 字数: 613千字

1994年7月第一版 1994年7月第一次印刷

印数: 1—5,700册 定价: 22.10元

ISBN7-112-02352-1/X·35

(7380)

受高浊度水研究会、中国市政工程西北设计研究院和中国市政工程西南设计院的委托,系统地总结我国建国以来,在黄河、长江等高浊度水取水、输送与净化方面的科研成果、工程实践和生产运转方面的经验,编纂成本书。书中主要内容是高浊度水研究会内有关教授、专家和科技工作者多年的研究成果、工程设计和实践经验的总结。

我国是高浊度水河流众多的国家。根据多年观测资料统计,年平均输沙量在1000万t以上的河流有42条,年最大输沙量超过1000万t以上的有60条。直接入海的泥沙总量年平均为14.9亿t,其中黄河占59%,长江占25%,海河及其他河流占16%。世界大河流中,悬移质年输沙总量超过1亿t的有13条,黄河居首位,其年平均输沙量为16.4亿t。黄河和长江的总沙量占世界13条大河总沙量的29.3%。以黄河为例,其中游的含沙量最高,最大含沙量超过 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ 的干、支流有40条,窟野河含沙量最大为 $1600\text{kg}/\text{m}^3$ 左右,三门峡水库出库水含沙量最大出现过 $911\text{kg}/\text{m}^3$ 。有的河流由于年水量小,年沙量虽不大,但平均含沙量不小,如东北的大凌河,年沙量仅有0.36亿t,但该河平均含沙量为 $142\text{kg}/\text{m}^3$ 。

黄河高浊度水,是指在沉淀过程中出现浑液面的河水。长江与黄河高浊度水有较大的差别,相对来看,长江水含沙量远小于黄河。长江上游地区,对高浊度水有自己具体的含义,其沉降特性也不同于黄河高浊度水,它属于多沙高浊度水。高浊度水,目前在国际和国内由于各地区的具体情况不同,含义也不同。

开发利用高浊度水资源,在取水输送和净化技术方面,从50年代起就开始了科学研究工作。到60年代初已初步取得了一些关键数据,尤其是在70年代末和80年代,对高浊度水的流变特性、自凝作用、稳定泥沙、极限粒径、浑液面沉降特征计算、絮凝剂的水解和毒理、药剂投加浓度和剂量、分部投药、低浓度投药、投药剂量与泥沙颗粒表面的关系、最佳絮凝条件、泥渣浓缩、沉淀构筑物的排泥、泥浆输送、浑液面沉速与水温的关系、泥沙多级分离、排沙技术、模拟律与试验方法等众多方面,均取得了显著的进展。其中有些科研成果和生产实践相结合已经取得了显著的效益。希望本书出版后,能将更多的科研成果应用于生产实践,转化为生产力,产生更大的经济效益和社会效益。

本书共分九章,第一至七章是按黄河的实际情况编写的;第八章是按长江上游的实际情况编写的;第九章是基本特性试验和模拟实验。模拟实验虽然是从黄河水源总结的,但大多数实验对高浊度水具有通用性。各章编写分工如下:第一章傅文德;第二章傅文德、杨喜明、于鲁田;第三章戴之荷;第四章傅文德、张其武;第五、六章戴之荷;第七章杨喜明、张其武;第八章赵仕藩;第九章张有威。

为了提高本书的理论性、科学性和实用性,特请北京清华大学许保玖教授对全书进行了审改。

本书在编写过程中,哈尔滨建筑工程学院李圭白,兰州市自来水公司费渭泉,西安冶

金建筑工程学院金同轨，武汉城市建设学院邹藻荪，北京水利水电科学研究院范家骅、贺济生，重庆建筑工程学院刘荣光，洛阳有色冶金加工设计研究院杨由山，中国市政工程西南设计院印慧僧、任梦祺，中国市政工程西北设计研究院贾万新、刘文林、裘本昌等提供了有关高浊度水科研成果和许多宝贵资料，给予了大力的支持与帮助，特此致谢。另外，赵宏、马卫东、方淑英等也参加了本书的资料收集和编写工作。本书的取材，还得力于各有关自来水公司以及水利、铁道等部门的有关人员。在此一并致以诚挚的谢意。

限于编写水平和经验，书中不妥甚至错误之处，在所难免。诚恳欢迎读者批评指正。

目 录

第一章 概论	1
第一节 黄河干流概况	1
第二节 黄河年径流量	3
第三节 黄河泥沙	4
一、概况	4
二、泥沙的季节变化和年际变化	6
三、输沙模数	8
第四节 黄河冰凌	8
第五节 黄河地质	10
一、黄河水系形成的区域地质构造环境	10
二、黄河河谷地貌结构的基本特征	11
第二章 取水技术	16
第一节 高浊度水系取水口位置选择的特点	16
一、选择取水口位置的基本要求	17
二、取水口数量的确定	23
三、判断河道性质的方法	23
四、选择取水口时需要收集的资料	25
五、河工模型试验	27
第二节 取水构筑物形式的选择	27
一、已建取水构筑物的情况	27
二、已建取水构筑物的形式及运行情况	27
三、黄河取水构筑物的常用形式、特点和适用条件	43
第三节 取水构筑物的防泥沙措施	43
一、合理选择取水构筑物位置，在保证取水的同时减少取水含沙量	43
二、引水口或进水间设可调整高度的潜水叠梁，以防底沙，取表面水	
三、取水口前要避免产生回流	44
四、合建式取水构筑物进水间内的防淤措施	45
五、引水提升式取水构筑物的引水口门处要设闸	46
六、低坝式取水构筑物防止泥沙进入进水闸的措施	47
七、选用有闸的双向式斗槽取水，斗槽淤积后必须具有自动冲洗的能力	47
八、抽水站前池的防淤措施	48
九、取水口门内外的清淤方法	49
第四节 取水构筑物防冲刷计算	51
一、土质河床的冲刷计算	52
二、大漂石河床桥基冲刷	85
三、岩石河床桥基冲刷	88

四、基础埋置深度	90
第五节 取水设备的选择	91
一、泥沙对离心清水泵性能的影响	91
二、离心清水泵抽送高浊度水时的实际出水量、扬程、功率计算公式	94
三、减小泥沙对水泵磨蚀的措施	95
四、水泵的选择	96
第六节 取水构筑物的防草	99
一、格栅	99
二、格栅截留草的清除方法	101
三、格网	102
第七节 取水构筑物的防冰	107
一、黄河流域冰的现象	107
二、冰凌危害	109
三、除冰方法和措施	109
第八节 取水构筑物的施工	113
一、围堰法施工	113
二、围堰的类型	115
三、草土围堰施工实例	116
四、钢板桩围堰施工实例	122
五、其它施工方法	123
第三章 高浊度水的输送	124
第一节 高浊度水的基本特性	124
一、黄河高浊度水泥沙分布	124
二、黄河高浊度水泥沙特性	131
三、高浊度水流变特性	134
四、高浊度水泥沙运动特性	136
五、高浊度水流动特性	138
六、高浊度水输沙特性	139
第二节 高浊度水泥沙运动特性	142
一、泥沙落淤特点	142
二、泥沙起动特点	143
第三节 高浊度水输送的阻力特性	146
一、高浊度水的减阻规律	146
二、高浊度水输送的阻力计算	149
第四节 高浊度水输送设计	151
一、几种临界参数的确定	151
二、设计工艺流程选择	159
第五节 高浊度水输送的运行管理	165
一、正常起动和停运	165
二、系统操作与管理	166
三、运行注意事项	169
第四章 黄河高浊度水净化流程的选择	171
第一节 流程选择因素	171

一、水文和泥沙	171
二、净水用絮凝剂和混凝剂处理高浊度水的有效范围	173
三、沉淀沙池排泥和泥沙的处置	173
四、地形地质条件的选择	174
第二节 黄河高浊度水净化流程的类型和实例	174
第五章 高浊度水的自然沉淀	186
第一节 高浊度水的沉降特性	186
一、泥沙沉降特性的划分	186
二、高浊度水自然沉降规律	188
第二节 高浊度水浑液面沉速	192
一、含沙量与浑液面沉速	192
二、高浊度水浑液面沉速计算	196
第三节 高浊度水自然沉淀池计算	202
一、现有计算理论综述	202
二、现行沉淀池计算方法	205
三、高浊度水动态沉淀理论和计算	209
第六章 高浊度水的混凝沉淀	216
第一节 高浊度水的混凝特性	216
第二节 高浊度水的混凝沉淀特性	217
第三节 高浊度水的混凝剂及其使用	218
一、阴离子型有机高分子絮凝剂的应用	219
二、阳离子型有机高分子絮凝剂的应用	233
三、无机高分子絮凝剂的应用	236
四、两种絮凝剂的配合使用	240
第四节 高浊度水混凝沉淀计算	241
一、高浊度水混凝沉淀清水分离速度计算	241
二、高浊度水混凝沉淀泥沙浓缩计算	245
三、高浊度水混凝沉淀池动态计算	248
第五节 高浊度水混凝沉淀工艺	249
一、高浊度水的混凝工艺	249
二、高浊度水混凝沉淀的净化工艺	251
第七章 高浊水的沉淀构筑物	260
第一节 平流式沉淀池	260
一、沉淀池的类型	260
二、平流式沉淀池基本尺寸的确定	260
三、沉淀池排泥	267
第二节 辐流式沉淀池	273
一、辐流池沉淀面积的计算	273
二、辐流池高度的确定	278
三、辐流池的排泥	280
四、设计出水量的复核	281
五、辐流池的混凝沉淀	283
六、辐流池周边集水槽计算	284

七、环形集水槽的集水孔计算	289
八、辐流池两种沉淀方法的经济比较	294
第三节 旋流絮凝沉淀池	296
一、絮凝室	298
二、分离室	298
三、泥渣浓缩室	299
四、沉淀池高度	300
第四节 斜管(板)自然沉淀池	304
一、斜板斜管沉淀池分类	306
二、斜板斜管沉淀池尺寸的确定	307
三、斜板斜管沉淀池的集水系统	313
四、斜板斜管沉淀池底部泥渣淤积形态	313
五、沉淀效率	314
六、斜板斜管沉淀池的形式及材料选择	315
第五节 XB-1型水旋澄清池	320
一、主要设计参数	321
二、计算公式	321
第六节 斗槽式预沉池	322
一、斗槽式预沉池的形式	322
二、斗槽计算	325
三、斗槽的清淤	327
第八章 长江高浊度水的处理	333
第一节 长江上游流域概况	333
第二节 长江上游高浊度水之特征	333
一、长江上游干流和各支流是多沙高浊度水	333
二、原水自然沉降及其特点	341
三、多沙高浊度水的特征	344
第三节 多沙高浊度水处理	345
一、多沙高浊度水的处理途径	345
二、除沙技术	346
三、原水浑浊度的去除技术	352
第九章 高浊度水的基本特性试验和模拟实验	365
第一节 高浊度水的分沙试验及配沙计算	365
一、分沙试验	365
二、配沙计算	367
第二节 高浊度水的基本特性试验	369
一、沉淀性试验	369
二、浓缩性试验	372
三、絮凝性试验	374
四、粘滞性试验	378
第三节 高浊度水的动水模拟实验	382
一、关于模拟实验的简述	382
二、高浊度水沉淀池工作的模拟准则	382

三、高浊度沉淀池工作的模拟	385
四、高浊度水辐流式沉淀池模拟实验示例	386
索引	389

第一节 黄河干流概况

黄河发源于青海省巴颜喀喇山北麓的约古宗列曲。流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东九省、自治区，在山东省垦利县注入渤海。全长5463.6km，流域面积约75.2万km²。黄河因水浑色黄而得名，在我国古籍中最早称“河”。《汉书》中始有黄河之称。

黄河发育在秦岭和阴山两大纬向构造带之间，早在第三纪时分布着众多大小湖泊，直到第四纪早、中更新世。还保存有共和、银川、河套、汾渭及华北等湖盆，各自形成独立的集水系统，后来由于地壳构造运动以及河流的溯源侵蚀袭夺，各湖盆水系逐渐勾通，湖泊萎缩消亡，形成统一的黄河。

黄河流域的地势可分为3个阶梯，自西向东逐级下降。最高一级阶梯为流域西部的青海高原，海拔4000m左右，其南缘的巴颜喀喇山是黄河与长江上游通天河的分水岭。青海高原以东，太行山以西为第二级阶梯，海拔1000~2000m，本阶梯内白于山以北，属内蒙古高原的一部分，包括河套平原和鄂尔多斯高原；白于山以南为黄土高原和崤山、熊耳山、太行山等山地。第三级阶梯自太行山以东直至滨海，由鲁中丘陵和海拔100m以下的黄河下游冲积平原组成。

从河源至内蒙古托克托县的河口镇为上游，流域面积38.6万km²，河长3471km，落差3464m，平均比降千分之一左右，黄河上游水多沙少、水力资源丰富，年水量占全河55%，年输沙量仅占全河9%，是黄河主要“清水”来源区。

黄河从源头的涓涓细流，东行过茫尕峡谷入星宿海。这里是一片草滩和沼泽，水泊密布，在夕阳照耀下，灿若群星，因而得名。过星宿海入扎陵湖和鄂陵湖，这是我国两个最大的高原淡水湖，湖面面积分别为526和610km²。河出鄂陵湖流经黄河上游第一个县城玛多，河面宽已达30~40m，已俨然是一条大河了。玛多以上黄河穿行于盆地与湖泊之中，河谷两岸山势平缓，有浓厚的高寒草原景色，通常把这一河段称为河源段。

黄河过玛多沿东南方向绕积石山南麓，在若尔盖草原北部汇白河、黑河后水量大增，东面受岷山阻挡紧转180度折向西北，过玛曲进入高山峡谷，流经拉加峡、野狐峡再折转180度东流入龙羊峡，形成“S”大转折，玛曲至野狐峡流程413km，落差820m，平均比降为千分之二。

野狐峡（龙羊峡库区末端）至青铜峡，河道蜿蜒曲折。一束一放，川峡相间，著名的峡谷有龙羊峡、刘家峡、黑山峡等。本河段长1009km，落差1447m，平均比降千分之一点四，已建刘家峡、盐锅峡、八盘峡、青铜峡4座电站，装机容量203.2万kW，年发电量95.7亿度。龙羊峡电站装机容量128万kW，年发电量60亿度。龙~青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，是全国近期重点开发的水电

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、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34.4万 km^2 ，河长1206km，落差889m。黄河中游流经广大黄土高原，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11.4万 km^2 ，占全河15%，年沙量达9亿t，占全河输沙量57%，是黄河来沙最多的河段。

黄河出晋陕峡谷，河面豁然开阔，顺流125km至潼关，其间河床宽浅，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、洛河等支流汇入，流域面积18万 km^2 ，占全河24%，年沙量5.5亿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4.8万 km^2 ，先后有伊洛河、沁河等主要支流汇入，三门峡至桃花峪多年平均天然径流量约61亿 m^3 ，来沙量仅3000多万t，是黄河另一个“清水”来源区，潼关至孟津263km河道，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189.4万kW，目前已建成三门峡水电站，装机25万kW，年发电量13.9亿度，同时发挥防洪、防凌、灌溉、供水等综合效益。具有承上启下作用。对下游防洪有重要战略意义的小浪底水库，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低崖，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780多km，除山东省平阴、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，实际上已成为淮河、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演变形成的。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，是清咸丰五年黄河铜瓦厢决口后，在山东省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2200多 km^2 ，滞洪、削峰、沉沙作用显著，滩地多垦为农田，陶城埠以下至利津为窄河段，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，当陶城埠以上解冻开河

时，窄河段凌汛威胁严重。

利津以下约100km为河口段，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16亿t，平均每年进入河口地区的泥沙达11亿t，其中仅有三分之一被输往深海。大部份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5450km²。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洼附近，三角洲面积仅2200km²。

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25万km²，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，成为治黄的首要任务，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。

第二节 黄河年径流量

黄河是我国第二大河，流域面积、河长居全国第二位，水量在全国八大江河中排第五位。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。根据花园口站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563亿m³。加上花园口至河口区间平均年径流量29亿m³，全流域年径流量为592亿m³。

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。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%，而兰州站控制面积只占花园口以上集水面积的30%。兰州至河口镇一段，气候干燥少雨，区间产流量只有14亿m³，沿程蒸发、渗漏损失较大，河口镇站的多年平均年径流量比上游兰州站还少7亿m³。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267亿m³。花园口以下的地上河，集水面积很小，河道损失量也比较大。

黄河年径流多年变化较大，干流变差系数 C_v 值为0.20～0.25，支流 C_v 值为0.40～0.50，根据三门峡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1.2-1。

黄河流域主要水文站年径流特征值

表 1.2-1

河 名	站 名	集水面积 (km ²)	系列年数	多年平均 年径流量 (10 ⁸ m ³)	最大年径流量		最小年径流量		变差系数
					10 ⁸ m ³	年 份	10 ⁸ 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	13.6	1972	0.29
湟 水	民 和	15349	40	20.9	33.7	1961	14.1	1966	0.23

第三节 黄河泥沙

一、概 况

黄河是我国泥沙最大的河流,见表1.3-1,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1.3-2。

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0.11亿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0.24亿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0.41亿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0.84亿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1.13亿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0.64亿t,使黄河安宁渡站平均年输沙量达到2.23亿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量较大,至头道拐站平均年输沙量降至1.49亿t。安宁渡至头道拐区间,约淤积沙量1.4亿t。

黄河从头道拐折向南流,穿越山陕峡谷,流经黄土高原沟壑地区,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、清涧河、延水等河流汇入,使黄河龙门站平均年输沙量剧增至10.6亿t。在此区间,窟野河温家川站实测平均年输沙量达1.38亿t,无定河川口站实测平均年输沙量为1.71亿t,分别占区间来沙量的15%和19%。

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5.05亿t,汾河为0.41亿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16.1亿t,其中50年代为17.8亿t,60年代为17.0亿吨,基本持平,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、洛河淤头、汾河河津四站实测平均年输沙量之和减少至13.5亿t。

黄河三门峡水库自1960年蓄水后,到1978年泥沙淤积总量已达54.6亿t,使水库下游沙量减少,1950~1979年实测平均年输沙量为14.3亿t。黄河自孟津进入平原地区,虽有伊、洛、沁等河汇入,但来沙量不大,只有0.4亿t。由于泥沙沿程沉积,含沙量、输沙量都有所减少,花园口实测平均年输沙量只有12.9亿t。利津站年平均输沙量即黄河多年平均年入海沙量仅为11.0亿t。其中50年代平均为13.2亿t。60年代平均为10.9亿t,70年代平均为8.98亿t。

黄河三门峡以下,平均每年引黄淤灌沙量约1.1亿t,淤积在河道里的沙量2.6亿t左

中国主要江河部分测站含沙量、输沙量

表 1.3-1

江河名称	站名	面积 (km ²)	多年平均含沙量 (kg/m ³)	历年最大含沙量 (kg/m ³)	多年平均年 输沙模数 (t/km ²)	多年平均 年输沙量 (10 ⁴ t)	实测最大 年输沙量 (10 ⁴ t)	实测最大、 最小年输 沙量比值	连续最大四个 月输沙量占年 输沙量的百分 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	44000	19.3	93.2
无定河××	白家川	29662	128	1520	5760	17100	106000	21.3	92.2
渭河××	华县	106498	40.3	905	3970	42300	3380	48.4	79.4
淮河	鲁台子	91620	0.592	17.2	145	1330	75400	2.1	72.4
长江	宜昌	1005501	1.18	10.5	512	51400	57900	2.2	82.8
长江	汉口	1488036	0.61	4.42	289	43000	67800	2.0	68.3
长江	大通	1705383	0.53	3.24	274	46800	26300 ^①	11.8	67.1
汉江	皇庄	142056	2.06	16.9	893	12700	1860	8.4	79.7
赣江	外洲	80948	0.174	1.63	137	1110	2000	7.4	77.9
闽江	竹岐	54500	0.138	2.62	136	740	14000	8.3	83.7
西江	梧州	329705	0.34	4.08	219	7230	12100	2.7	82.6
元江	蛮耗	32037	3.55	49.0	30	3630	4620	8.0	80.9
澜沧江	景洪	166834	1.28	19.0	442	7380	1180	3.3	84.6
雅鲁藏布江	奴下	189843	0.30	2.31	95.8	1820	6070	4.9	86.2
伊犁河	雅马渡	49186	0.59	10.2	142	699	668	10.8	88.4
叶尔羌河	卡群	50248	4.44	153	572	2870	507	7.4	97.0
格爾木河	格爾木	16098	3.27	170	162	247	507	7.4	87.6
黑河	焉落峡	10009	1.41	105	219	219	507	7.4	94.6

① 是碱盆山资料。
××均系黄河支流。

世界一些大河的泥沙特征值统计

表 1.3-2

河 名	国 名	站 名	流域面积 (10^4km^2)	平均年 径流量 (10^9m^3)	平均年 输沙量 (10^8t)	平均年输 沙模数 (t/km^2)	年平均含沙量 (kg/m^3)
黄 河	中 国	龙门等四站①	68.8	543	16.1	2290	36.9
布拉马普特拉河	孟加拉、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	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	缅甸		40.9	4860	3.00	730	0.62
阿姆河	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	1.32		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

右。河道淤积把黄河下游河床逐年抬高，成为地上悬河。历史上经常决口泛滥，多次改道。新中国成立后，在黄河流域兴建了大量水利工程，开展了水土保持工作，对减轻洪水、凌汛威胁发挥了重要作用，黄河下游大汛未发生决口。但下游河道仍在不断淤高。1973年黄河花园口河段 $5000\text{m}^3/\text{s}$ 流量相应的水位竟高于1958年 $22300\text{m}^3/\text{s}$ 流量的相应水位，山东境内黄河水位比1958年同流量的水位高出2m左右。

二、泥沙的季节变化和年际变化

(一) 黄河泥沙的季节变化

黄河泥沙的季节变化很大，其变化过程与径流过程大体相应。黄河高含沙量主要发生在汛期，汛期多暴雨，地表受到强烈冲刷，使洪水期含沙量特别大，形成高含沙水流。以黄河中游北洛河淤头站为例，1967年汛前枯水期月平均含沙量小于 $0.1\text{kg}/\text{m}^3$ ，而同年8月月平均含沙量为 $622\text{kg}/\text{m}^3$ ，8月1日的日平均含沙量高达 $1090\text{kg}/\text{m}^3$ ，变化十分悬殊。

黄河部分测站多年月、年平均

流 域	河 名	站 名 (所在县)	集水面积 (km^2)	观测年数	一月	二月	三月
黄 河	黄 河	兰 州	222551	23	0.290	0.350	0.560
黄 河	黄 河	龙 门	497552	46	2.41	3.32	7.48
黄 河	祖 厉 河	靖 远	10647	25	0.400	2.54	80.4
黄 河	渭 河	华 县	106498	45	0.990	1.27	3.26
黄 河	北 洛 河	淤头(澄城县)	25154	32	0.089	0.210	1.52
黄 河	窟 野 河	温家川(神木县)	8645	26	0.530	0.820	9.39

由于含沙量季节变化的差异,连续最大四个月的输沙量占全年输沙量的80%左右。黄河中游一些支流集中程度更高,如无定河(白家川站)、窟野河(温家川站)连续最大四个月的输沙量占全年输沙量的90%以上,比径流更为集中。最大月份的含沙量、输沙量一般与年内最大径流出现的月份相同,其量往往为枯水期含沙量的几十至几百倍(见表1.3-3)泥沙的季节变化还具有多沙河流多沙年份变化更大的特点。从表1.3-4可以看出,多沙河流的多沙年份,有些站5~10d的沙量往往占全年沙量的50%以上,个别站达到90%以上,这表明泥沙大多产生于一、二次暴雨洪水期间。

黄河及其支流输沙量年内集中程度统计

表 1.3-4

河 名	站名(所在县)	集水面积 (km ²)	实测年数	多 年 平 均		输沙量最大年		
				连续最大四 个月占年量 的百分数 (%)	7、8月占年 量的百分数 (%)	年 份	连续最大五 天占年量的 百分数(%)	连续最大十 天占年量的 百分数(%)
黄 河	兰州	222551	45	88.2	61.4	1967	17.1	26.7
黄 河	头道拐(准格尔旗)	367898	28	81.0	39.1	1967	5.8	10.4
黄 河	龙门	497559	46	88.8	68.4	1967	33.2	49.6
渭 河	华县	106498	45	91.9	70.9	1964	37.8	49.0
汾 河	河津	38728	46	92.2	61.4	1954	36.8	52.0
洛 河	洪头(澄城县)	25154	36	97.4	87.3	1966	63.6	80.0
皇甫川	皇甫(府谷县)	3199	27	98.0	82.8	1959	56.8	70.9
孤山川	高石崖(府谷县)	1263	26	99.3	87.1	1977	90.7	96.5
窟野河	温家川(神木县)	8645	26	98.5	90.1	1959	75.2	89.0
秃尾河	高家川(神木县)	3253	24	93.5	86.5	1959	77.2	84.5
佳芦河	申家湾(佳县)	1121	22	97.9	88.3	1970	92.5	97.5
无定河	川口(清涧县)	30217	28	90.6	79.4	1959	42.2	59.4
无定河	绥德	3893	25	96.1	82.8	1959	42.1	59.3
清涧河	延川(延川县)	3468	26	98.0	88.8	1959	68.1	78.5
延 水	甘谷驿(延安县)	5891	28	97.1	85.7	1964	61.6	74.8
朱家川	后会村(保德县)	2901	24	97.4	90.8	1967	63.5	85.5
蔚汾河	碧村(尖县)	1476	24	99.3	88.1	1967	63.0	83.8
三川河	后大城(离石县)	4102	26	98.5	88.4	1959	80.0	89.4
昕水河	大宁(大宁县)	3992	25	98.7	88.2	1958	49.7	73.0

含沙量(单位: kg/m³)

表 1.3-3

四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	多年平均	历年最大
0.930	2.37	2.65	5.54	3.03	3.26	1.14	0.520	0.310	3.36	329
8.07	10.2	20.6	74.5	76.8	284	15.2	8.30	3.82	32.4	933
247	222	553	596	550	332	66.0	43.2	0.220	457	110
9.84	17.6	407	123	124	429	11.6	3.29	1.43	49.3	905
6.07	12.1	83.9	295	274	684	13.5	2.05	0.200	111	1190
8.76	12.4	156	390	313	879	8.73	5.00	1.13	184	1700