

HUANGHE SHUISHA FENXI JI FANGHONG GONGCHENG SHIJIAN

黄河水沙分析及 防洪工程实践

程建伟 刘猛 杨晓亮 寇祖河 段柏林 等 编著



黄河水利出版社

黄河水沙分析及防洪工程实践

程建伟 刘 猛 杨晓亮 寇祖河 段柏林 等 编著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

图书在版编目(CIP)数据

黄河水沙分析及防洪工程实践/程建伟等编著. —郑州:
黄河水利出版社, 2016. 10

ISBN 978 - 7 - 5509 - 1569 - 5

I. ①黄… II. ①程… III. ①黄河 - 含沙水流 - 研究
②黄河 - 防洪工程 - 研究 IV. ①TV152②TV882.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 257337 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:河南新华印刷集团有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:14.75

字数:349 千字

印数:1—1 000

版次:2016 年 10 月第 1 版

印次:2016 年 10 月第 1 次印刷

定价:39.00 元

《黄河水沙分析及防洪工程实践》

撰写人员

程建伟	刘 猛	杨晓亮	寇祖河
段柏林	李 菲	郭瑞丽	唐 明
赵正伟	胡德祥		

前 言

人民治黄以来,黄河治理与开发取得了辉煌的成就,防洪项目体系不断完善,抗洪能力大大增加,黄河水资源有力地支撑了我国经济社会的发展。可是,目前来看仍有很多问题没有解决,黄河洪水隐患还没有彻底根除,抗御洪涝灾害的能力还比较低。因此,必须认清黄河水沙情势,上、中、下游统筹兼顾,在黄河上、中游做好水土保持工作,在黄河下游做好河道堤防建设管理工作,同时做好各水库水量调度和除险加固等工作,保障流域群众生命财产安全,使黄河顺利流入东海,确保黄河岁岁安澜。

作者基于多年来的工作经验和研究成果,结合有关工程建设实践,编写出《黄河水沙分析及防洪工程实践》一书,希望能对黄河水沙治理研究者和相关工程建设管理人员有一定的帮助。

本书共分9章,系统地介绍了黄河水沙方面的情况和有关工程技术。主要内容包括黄河流域概述、流域径流分析、洪水和泥沙分析、黄河上中游水土保持工程、黄河下游堤防工程施工组织设计和涵闸工程施工控制、堤基的清理、河道堤防防护工程监控、黄河下游河道和滩区综合整治、防洪水库除险加固等。本书可供从事黄河水沙治理研究和工程建设的技术人员参考使用。

本书由华北水利水电大学程建伟,黄委河南水文水资源局刘猛,海委海河下游管理局独流减河进洪闸管理处杨晓亮,新乡黄河水利工程维修养护有限公司寇祖河,黄河水土保持西峰治理监督局段柏林,黄河上中游管理局李菲,黄河流域水资源保护局郭瑞丽,黄委河南水文水资源局唐明,黄河勘测规划设计有限公司赵正伟、胡德祥编写。具体编写分工如下:第1、9章由程建伟负责编写,第2章由刘猛、杨晓亮、唐明负责编写,第3章由刘猛、杨晓亮、寇祖河、段柏林、唐明负责编写,第4章由刘猛、李菲、赵正伟、胡德祥负责编写,第5章由刘猛、杨晓亮、寇祖河、胡德祥、赵正伟负责编写,第6章由段柏林、郭瑞丽负责编写,第7章由刘猛、杨晓亮、寇祖河、郭瑞丽负责编写,第8章由李菲、郭瑞丽、赵正伟、胡德祥负责编写。全书由程建伟负责统稿。

在编写过程中,作者参考和引用了一些文献资料的内容,在此对有关文献资料的作者表示衷心的感谢。另外,华北水利水电大学李跃鹏和刘海艳对本书的编写给予了指导和帮助,在此一并表示感谢。

由于黄河水沙问题的复杂性,加之作者水平有限,且编写时间仓促,书中错误和不妥之处在所难免,恳请各位读者和专家批评指正!

作 者

2016年8月

· 1 ·

目 录

前 言

第 1 章 黄河流域概述	(1)
1.1 自然地理	(1)
1.2 水利工程	(3)
1.3 气候	(3)
第 2 章 流域径流分析	(5)
2.1 径流资料	(5)
2.2 流域径流量	(7)
2.3 黄河水资源利用	(10)
第 3 章 洪水和泥沙分析	(14)
3.1 洪水资料	(14)
3.2 洪水分析	(17)
3.3 泥沙特性	(51)
3.4 泥沙分析	(59)
第 4 章 黄河中上游水土保持工程	(68)
4.1 林草工程	(68)
4.2 淤地坝工程	(74)
4.3 拦沙(砂)坝工程	(81)
4.4 沟道滩岸防护工程	(85)
4.5 滚水坝和塘坝工程	(91)
4.6 防洪截排水工程	(94)
4.7 支毛沟治理工程	(102)
4.8 临时防护工程	(113)
第 5 章 黄河下游堤防工程施工组织设计与涵闸工程施工控制	(116)
5.1 编制施工组织设计前的准备工作	(116)
5.2 编制施工组织设计	(117)
5.3 堤防项目施工方案、方法的选择	(118)
5.4 堤防项目施工场地的布置	(119)
5.5 堤防项目施工进度计划的编制与控制	(120)
5.6 堤防工程施工总体布置	(125)
5.7 涵闸工程施工控制	(129)

第6章 堤基的清理	(152)
6.1 堤防系统	(152)
6.2 堤基清理的基本要求	(160)
6.3 堤基清理的一般处理方法	(160)
6.4 软弱堤基清理	(161)
6.5 透水堤基施工处理	(161)
6.6 多层堤基施工控制	(162)
6.7 岩石堤基施工控制	(162)
6.8 堤基清理单元工程质量控制检测项目与标准	(162)
6.9 堤防加固	(162)
第7章 河道堤防防护工程监控	(175)
7.1 砌石筑堤(墙)监理控制	(175)
7.2 耐特龙石枕的质量控制要求	(176)
7.3 铰链式模袋混凝土沉排的质量控制	(176)
7.4 混凝土灌注桩护岸质量控制	(178)
7.5 土工合成材料施工质量监理	(179)
7.6 水泥土防渗质量控制	(181)
7.7 堤防土方工程初步验收	(183)
第8章 黄河下游河道和滩区综合整治	(188)
8.1 对黄河下游河道输沙能力的再认识	(188)
8.2 黄河下游河道的治理方向与前景	(189)
8.3 放淤沿革及其作用	(190)
8.4 放淤技术	(194)
8.5 引洪放淤数学模型	(204)
8.6 滩区放淤模式及淤筑潜力	(213)
8.7 滩区放淤试验方案	(218)
第9章 防洪水库除险加固	(225)
9.1 水库混凝土坝加固	(225)
9.2 水库大坝降渗排水	(227)
9.3 水库大坝灌浆防渗加固	(228)
9.4 土石坝加固	(228)

第1章 黄河流域概述

黄河流域位于我国的中东部,地理位置在东经 $96^{\circ} \sim 119^{\circ}$ 、北纬 $32^{\circ} \sim 42^{\circ}$,西起青藏高原的巴颜喀拉山,东临渤海,北抵阴山,南至秦岭,流域面积 79.5 万 km^2 (其中内流区为 4.2 万 km^2)。黄河发源于青藏高原巴颜喀拉山北麓的约古宗列盆地,流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东九省(区),在山东垦利县注入渤海,干流全长 5 464 km。自河源至内蒙古托克托县的河口镇为上游,河口镇至河南郑州桃花峪为中游,桃花峪至河口为下游。小浪底坝址位于黄河中游的河南省洛阳市境内。

1.1 自然地理

黄河流域的地势西高东低,大致分为三个阶梯。第一阶梯是流域西部的青藏高原,一般海拔 2 500 ~ 4 500 m。有一系列的西北—东南向山脉,如北部的祁连山,南部的积石山和巴颜喀拉山,黄河迂回于山峦之间,在兰州以上呈“S”形大转弯。雄踞黄河第一大曲的阿尼玛卿山(又称积石山)主峰玛卿岗日海拔 6 282 m,是黄河流域的制高点,山顶终年积雪,冰峰起伏,气象万千。

第二阶梯是青藏高原以东至太行山,海拔 1 000 ~ 2 000 m,由河套平原、鄂尔多斯高原、黄土高原和秦岭山脉、太行山脉等组成。本阶梯内白于山以北属内蒙古高原的一部分,包括黄河河套平原和鄂尔多斯高原两个自然地理区域;白于山以南为黄土高原和崤山、熊耳山、太行山等。

鄂尔多斯高原的西、北、东三面均为黄河所环绕,南界长城,高原面积为 13 万 km^2 ,大部分海拔为 1 000 ~ 1 400 m,是一块近似方形的台状干燥剥蚀高原,风沙地貌发育,高原内盐碱湖泊众多,地表径流大部分汇入湖中,是黄河流域内最大的闭流区,面积达 4.22 万 km^2 。

黄土高原北起鄂尔多斯高原,南界秦岭,西抵青藏高原,东至太行山脉,海拔 1 000 ~ 2 000 m。黄土塬、梁、峁、沟是黄土高原的地貌主体。黄土高原土质疏松,垂直节理发育,植被稀疏,水土流失严重,是黄河泥沙的主要来源地区。

横亘黄土高原南部的秦岭,是我国亚热带和暖温带的南北分界线和黄河与长江的分水岭,它阻挡了部分来自西南方向的水汽,使秦岭以北的年降水量显著减少。豫西山由秦岭东延的崤山、熊耳山、外方山、伏牛山、嵩山组成,大部分海拔在 100 m 以上,这些山脉也是黄河流域同长江流域、淮河流域的分水岭。太行山耸立在黄土高原与华北平原之间,是黄河流域与海河流域的分水岭,也是华北地区一条重要的自然地理界线。

第三阶梯自太行山系以东至滨海,是黄河下游冲积平原和鲁中南低山丘陵。黄河下游冲积平原包括豫东、豫北、鲁西、鲁北、冀南、皖北、苏北等地区,面积达 25 万 km^2 。平原地势大体以黄河大堤为分水岭,其北为黄海平原,属海河流域;大堤以南为黄淮平原,属淮

河流域。

黄河上游在玛多(黄河沿)以上称为河源区。该区河谷宽阔,湖泊沼泽众多,水源丰富,湖沼水面面积达 $2\,000\text{ km}^2$ 。其中,扎陵湖和鄂陵湖相对较大,扎陵湖面积为 526 km^2 ,平均水深 9 m 左右;鄂陵湖面积 610 km^2 ,平均水深 17.6 m ,最大水深 30.7 m 。自玛多至玛曲,黄河顺势蜿蜒而下,流经山区和丘陵地带,河道切割渐深。玛曲以上是黄河最大的弯曲段,区域内地势相对平坦、开阔,水草丰富且有较多的成片灌木。最大的支流白河、黑河自右岸汇入,流域蓄水能力强,调蓄作用大。自西南、东南气流输入的水汽,由于该区首当其冲,所以降水量大,是黄河上游水量的主要来源区。自玛曲以下至唐乃亥,河道穿行于崇山峻岭之中,山高谷深,坡陡流急,蕴藏着丰富的水力资源。本河段植被一般较好,在沟谷坡地上灌木丛生,兼有小片的松柏森林。该段河网密度大,降水量也较大。唐乃亥至龙羊峡河段河谷切割很深,植被稀疏,水量增加很少;龙羊峡至青铜峡,河道蜿蜒曲折,一束一放,川峡相间。该段有 19 个较大峡谷和 17 个较大川地,峡谷长度占河段长度的 40% 以上。该河段总落差 $1\,324\text{ m}$,在刘家峡库区至兰州之间有大夏河、洮河、湟水、庄浪河等大支流汇入。

黄河出青铜峡后,流经宁夏和内蒙古两大河套平原,这两大平原是夹峙在贺兰山、阴山与鄂尔多斯高原之间的一系列断陷湖积冲积平原。整个河段长 867 km ,平均比降为 $1/6\,000$,是宽浅的平原河道。该河段大部分属于干旱地区,降水量小,蒸发量大,加之灌溉引水量大,且无大支流汇入,所以黄河水量有较大幅度的减少。

黄河中游的河口镇至禹门口河段,河长 725 km ,落差达 607 m ,比降近 $1/1\,000$ 。除河曲、保德附近几处河道较为宽阔外,大部分河宽为 $200\sim 400\text{ m}$ 。右岸一部分支流上游为盖沙区,左岸一部分为石质山区,其余大部分属黄土丘陵及黄土丘陵沟壑区,水土流失极其严重,输沙模数一般都在 $1\text{ 万}\sim 2\text{ 万 t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 之间,最高的可达 $2.5\text{ 万 t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,集中分布在河口镇至无定河口区间各支流的中下游,河口镇至吴堡区间右岸较大支流有黄甫川、窟野河、秃尾河,左岸有浑河汇入,是形成三门峡以上洪峰的主要来源区。吴堡至龙门区间,右岸有无定河、延水、清涧河,左岸有三川河等较大支流汇入。

河出晋陕峡谷后,河道豁然开阔。龙门至潼关河段长 128 km ,两岸为黄土台地,河宽达 $3\sim 15\text{ km}$,平均宽约 8.5 km ,对龙门以上的陡峻洪峰有较大的滞洪削峰作用。本河段内有渭河、洛河、汾河等较大支流汇入,这些支流除一部分为石质山区及林区外,大部分为黄土丘陵及黄土塬区,水土流失也比较严重。泾河、洛河上游输沙模数可达 $1.5\text{ 万 t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 以上,是黄河洪水泥沙的又一主要来源区。

黄河三门峡至花园口区间,有伊洛河、沁河等大支流汇入。支流的上游为石质山区,植被较好;中下游为黄土丘陵区及冲积平原区。干流三门峡至小浪底区间,两岸支沟众多,源短坡陡,是三门峡至花园口区间洪峰的主要来源区之一。小浪底至花园口间河道展宽达 $5\,000\sim 9\,000\text{ m}$,有一定的滞洪削峰作用。伊洛河下游龙门镇、白马寺至黑石关之间为河谷盆地,面积有 200 多 km^2 ,河道两岸有堤防,遇较大洪水均决口漫溢,滞洪削峰作用也较为显著。沁河五龙口以下,流经冲积平原,两岸有堤,遇较大洪水时,沁阳以上北岸部分堤段即可自然漫溢或在沁阳以下右岸堤段有计划分洪,使入黄洪峰流量有一定限制。

干流桃花峪以下为“地上河”,全靠堤防束水。上段河南境内,河道宽阔,堤距一般达

10 km 左右。下段流经山东境内,河道变窄,堤距一般 1 ~ 3 km。黄河下游的较大支流有两条,即左岸的金堤河和右岸的大汶河。

1.2 水利工程

小浪底以上的黄河干流上已经建成了龙羊峡、李家峡、刘家峡、盐锅峡、八盘峡、青铜峡、三盛公、天桥、三门峡等大中型水利工程 10 余座,总库容 426 亿 m^3 (原始库容),总装机容量 5 816 MW。其中,龙羊峡、刘家峡水库总库容 304 亿 m^3 ,对黄河上游洪水及水量具有较显著的调蓄作用。支流已建的大中型水库 130 多座,其中伊河陆浑水库与洛河故县水库,设计总库容 24.3 亿 m^3 ,对伊洛河の入黄洪水具有一定的调蓄作用。三门峡、陆浑、故县 3 座大型水库工程与下游的河防工程和分滞洪工程,组成了黄河下游的防洪工程体系。小浪底水库位于三门峡大坝下游 130 km 处,建成后,黄河下游的防洪工程体系将进一步完善,黄河下游的防洪标准将进一步提高。

1.3 气候

黄河流域位于我国北中部,属大陆性季风气候。冬季受流域极地大陆冷气团(以蒙古高压为主)控制,多西北风,气候寒冷干燥,雨雪稀少。夏季蒙古高压逐渐北移,流域大部分受西太平洋副热带高压的影响,自印度洋和南海北部湾带来大量水汽,雨水增多。由于地域广阔,距海洋远近不同及地形影响,黄河流域的降水量不仅季节分配不均,年际变化较大,而且地区分布也极不平衡。

黄河流域多年平均降水量为 466 mm,年平均降水量约 3 510 亿 m^3 。降水的地区分布是自东南向西北递减。年降水量 400 mm 等值线的走向是:自内蒙古的托克托,经榆林、靖边、环县、定西、兰州绕祁连山过循化、贵南、同德至玛多,该线以南年平均降水量向东南递增,秦岭北坡年平均降水量高达 800 ~ 900 mm,此线以北,除祁连山局部地区受地形影响年平均降水量约 600 mm 外,其他地区降水量向西北部递减,到内蒙古后套一带,年平均降水量约 150 mm。

由于季风气候和地形的影响,年降水量在时间分配上变化很大,连续最大 4 个月降水量大部分地区出现在 6 ~ 9 月。4 个月降水量占年降水量的百分率随着降水量的减少而增大,由南部的 60% 逐渐向北增加到 80% 以上。7 月、8 月两月是黄河流域降水量最集中的月份。

黄河降水的另一个特点是年际变化大,而且降水愈少的地区,其降水量年际之间的变化越大。从最大、最小年降水量的对比看,流域内丰水年的降水量一般为枯水年降水量的 3 ~ 4 倍。流域北部少雨地区,丰水年的降水量为枯水年降水量的 7 ~ 10 倍。如宁夏石嘴山站,1947 年降水量 358 mm,1965 年降水量仅有 48 mm,1947 年降水量是 1965 年的 7.5 倍。

流域内气温西部低于东部,北部低于南部,高山低于平原。年平均气温为 10 $^{\circ}\text{C}$ 的等温线从陕西省的潼关,沿秦岭北麓到宝鸡市折向东北,经陇县、彬县、黄龙、佳县,过黄河进

入山西省的柳林、蒲县、平遥、晋城,至陵川出流域。此线南侧和西北侧年平均气温均低于 10°C 。

流域内气温年较差大,大部分地区的年较差在 $25\sim 30^{\circ}\text{C}$,山西省的太原至宁夏的中宁一线以北,年较差最大,为 $30\sim 36^{\circ}\text{C}$ 。一年内7月平均气温最高,大部分地区均在 $20\sim 29^{\circ}\text{C}$,洛阳市的极端最高气温达 44.2°C 。1月平均气温最低,大部分地区均在 0°C 以下。

第2章 流域径流分析

2.1 径流资料

2.1.1 黄河干、支流主要控制站实测资料系列

黄河水文站设立最早的是干流上的陕县站(三门峡坝址上游 21 km),始于 1919 年;其次是支流泾河的张家山站及干流的兰州站,分别建于 1932 年和 1934 年。1952 年以前设站很少,资料不全,1952 年后始形成较完整的水文站网。陕县站(1951 年 7 月设三门峡站观测,陕县站观测至 1959 年 6 月)至今已有 80 年的实测资料。黄河干、支流主要控制站实测资料系列情况见表 2-1。

表 2-1 黄河干、支流主要控制站实测资料系列

河名	站名	始测时间 (年·月)	系列年份(年·月)
黄河	贵德	1954.1	1954 年 1 月迄今
黄河	兰州	1934.8	1934 年 8 月迄今
黄河	安宁渡	1953.7	1953 年 7 月迄今
黄河	河口镇	1952.1	1952 年 1 月迄今
黄河	龙门	1934.6	1934.6 ~ 1937.12, 1944.3 ~ 1944.12, 1945.7 ~ 1945.10, 1950 年 4 月迄今
黄河	陕县	1919.4	观测至 1959 年 6 月
黄河	三门峡	1951.7	1951 年 7 月迄今
黄河	小浪底	1955.6	1955 年 6 月迄今
汾河	河津	1934.6	1934.6 ~ 1937.10, 1950 年 7 月迄今
北洛河	湫头	1933.5	1933.5 ~ 1935.5, 1935.8 ~ 1935.12, 1936.5 ~ 1948.10, 1949 年迄今
泾河	张家山	1932.1	1932 年 1 月迄今
渭河	华县	1935.3	1935.3 ~ 1943.12, 1950 年 6 月迄今
伊洛河	黑石关	1934.8	1934.8 ~ 1934.12, 1935 年 7 月, 1936.1 ~ 1937.9, 1950 年 7 月迄今
沁河	小董	1950.7	1950 年 7 月迄今

小浪底水文站始建于 1955 年 6 月,坝址多年平均(1955 ~ 1999 年水文年 45 年)径流量 361.60 亿 m^3 ,其中 1990 ~ 1999 年连续枯水,平均年径流量 227.19 亿 m^3 ,占多年平均实测径流量的 62.8%。据 1955 ~ 1990 年实测资料统计,三门峡到小浪底区间平均径流

量为 5.9 亿 m^3 。

2.1.2 干、支流各主要站资料插补及检验

黄河干、支流各主要站,年径流资料系列长度不一,断续不全,只有陕县(三门峡)、兰州两站历年资料较完整。1962 年黄河水利委员会(简称黄委)水文处利用三门峡、兰州两参证站的实测资料辗转相关插补,将全河干、支流 44 个主要站的年径流均延长到 1919 年,正式刊印出《黄河干、支流各主要断面 1919~1960 年水量、沙量成果》。

由陕县站实测年径流系列分析,1922~1932 年(水文年,即 1922 年 7 月~1932 年 6 月,下同)出现连续 11 年的枯水段。黄河流域其他站,这段时间均无实测资料,是否也同步出现枯水段,关系到能否借用陕县站进行插补延长的问题。1968 年原水电部水电总局曾组织有关单位,对黄河上、中游进行了全面调查。调查结果表明,黄河上、中游干、支流主要河段均出现上述 11 年的枯水段,与三门峡站枯水基本是同步的。因此,可以利用三门峡站对全河主要站进行插补延长。

在小浪底水利枢纽初步设计阶段,又增加了 1960~1980 年的 20 年的实测资料,点绘并分析了三门峡与兰州、龙门、花园口、河口镇及四站(龙门+华县+河津+湫头)等站汛期(7~10 月)径流量和非汛期径流量的相关关系,以进一步检验原延长成果是否合理。结果表明,1962 年以陕县、兰州为参证站所插补的黄河干、支流其他主要站的年径流量,从定量上看基本上是合理的。

1987 年国务院批准的黄河可供水量分配方案(国办发[1987]61 号文)选用 1919~1975 年 56 年系列(水文年),花园口站多年平均实测径流量为 469.8 亿 m^3 ,兰州、河口镇站分别为 315.3 亿 m^3 、247.4 亿 m^3 ,详见表 2-2。

表 2-2 黄河干、支流主要站多年平均实测年径流量(1919~1975 年 56 年系列)

河名	站名	多年平均实测径流量(亿 m^3)			最大值		最小值	
		全年	汛期 (7~10 月)	非汛期 (11 月~来年 6 月)	年径流量 (亿 m^3)	年份 (水文年)	年径流量 (亿 m^3)	年份 (水文年)
黄河	贵德	202.0	121.7	80.3	324.0	1967~1968	101.9	1928~1929
黄河	上埝	267.2	156.0	111.2	466.5	1967~1968	137.0	1928~1929
黄河	兰州	315.3	185.5	129.8	503.6	1967~1968	163.0	1928~1929
黄河	安宁渡	316.8	189.8	127.0	525.3	1967~1968	158.3	1928~1929
黄河	河口镇	247.4	149.4	98.0	440.0	1967~1968	118.8	1928~1929
黄河	龙门	319.1	188.0	131.1	549.2	1967~1968	155.2	1928~1929
黄河	三门峡	418.5	245.3	173.2	656.5	1937~1938	198.3	1928~1929
黄河	花园口	469.8	279.2	190.6	802.3	1964~1965	230.1	1928~1929
汾河	河津	15.6	9.7	5.9	34.1	1964~1965	7.8	1936~1937
北洛河	湫头	7.0	4.0	3.0	17.4	1964~1965	2.8	1957~1958
渭河	华县	80.0	48.7	31.3	193.0	1937~1938	30.1	1928~1929
伊洛河	黑石关	33.7	20.7	13.0	84.5	1964~1965	6.1	1936~1937
沁河	小董	13.4	9.1	4.3	29.6	1963~1964	3.6	1936~1937

2.2 流域径流量

2.2.1 天然年径流计算

黄河实测径流受人类活动影响较大,其中影响最大的是农业灌溉耗水和大型水库的调蓄。除这两项因素外,水土保持、中小型水库蓄水以及因修建水库所增加的蒸发渗漏等,对天然径流还原也有一定影响,由于缺乏资料并且所占比重较小,未进行还原。工业、城市生活耗水量,在1949年以前几乎没有,1949年以后耗水量也很小,而且多为地下水。据统计,花园口以上1979年工业、城市生活耗用河川水量仅5亿 m^3 ,影响很小,未曾还原。因此,天然径流的还原,主要考虑了农业灌溉耗水量及干、支流大型水库的调蓄还原。

为了进行黄河水资源利用规划,黄委设计院于1982年12月完成了《黄河流域天然年径流》成果,主要控制站天然年径流量统计特征值见表2-3。该成果中主要控制站天然径流系列为1919年7月~1975年6月,个别站为1919年7月~1980年6月。在小浪底水利枢纽初步设计阶段,采用了《黄河流域天然年径流》成果,主要控制站的天然年径流系列为1919年7月~1975年6月,共56年。

在招标设计阶段,黄委设计院在《黄河流域天然年径流》成果的基础上,将主要控制站的天然年径流还原到1989年6月,系列年数达到70年,花园口站70年系列天然年径流量为574亿 m^3 ,比56年系列的559亿 m^3 多15亿 m^3 ,增大2.7%。1999年,在开展“黄河的重大问题及对策”研究过程中,黄委会水文局又将主要站的天然年径流还原到1997年6月,系列年数达到78,花园口站78年系列天然年径流量为562亿 m^3 ,与56年系列均值相比仅相差0.5%,说明56年系列具有一定的代表性。考虑到经国务院批准的黄河可供水量370亿 m^3 分配方案,是根据56年系列径流资料制定的,且56年系列成果已被广泛应用于黄河流域规划工作中,因此在小浪底工程各设计阶段均采用56年径流系列。

按56年系列计算,三门峡站、三门峡至小浪底区间、小浪底站多年平均天然年径流量分别为498.4亿 m^3 、5.6亿 m^3 和504亿 m^3 。

2.2.2 年径流特性

黄河花园口以上天然年径流深77mm(三门峡以上径流深只有72mm),与全国其他河流比较,黄河流域河川水资源量是比较贫乏的,具有以下特性。

2.2.2.1 水资源贫乏,水量与土地、人口分布不协调

黄河流域河川径流主要由大气补给,由于受大气环流及季风影响,降水量少而蒸发能力很强,花园口以上多年平均径流深77mm,只相当于全国平均径流深276mm的28%,比海河流域山区径流深111mm还小31%。

黄河流域面积占全国国土面积的8.3%,而年径流量只占全国的2%。流域内人均水量527 m^3 ,为全国人均水量的22%;耕地亩均水量294 m^3 ,仅为全国耕地亩均水量的16%。再加上流域外的供水需求,人均占有水资源量更少。

表 2-3 黄河流域主要控制站天然年径流量统计特征值

1919 ~ 1975 年天然年径流量统计特征值													
河名	站名	控制面积 (万 km ²)	多年 平均值 (亿 m ³)	7 ~ 10 月 径流量 (亿 m ³)	11 月至 翌年 6 月 径流量 (亿 m ³)	C _v	最大年径流量		最小年径流量		最大与最 小年径流 量之比	不同保证率年径流量 (亿 m ³)	
							径流量 (亿 m ³)	年份	径流量 (亿 m ³)	年份		P = 50%	P = 75%
黄河	贵德	13.36	202.8	121.8	81.0	0.22	326.2	1967 ~ 1968	101.9	1928 ~ 1929	3.2	201.8	164.8
黄河	上埭	18.28	269.7	160.0	109.7	0.23	469.4	1967 ~ 1968	137.1	1928 ~ 1929	3.4	261.6	217.2
黄河	兰州	22.25	322.6	191.1	131.5	0.22	515.1	1967 ~ 1968	165.5	1928 ~ 1929	3.1	314.4	267.7
黄河	安宁渡	24.38	325.6	195.7	129.3	0.23	539.3	1967 ~ 1968	160.8	1928 ~ 1929	3.4	313.6	266.7
黄河	河口镇	38.59	312.6	190.6	122.0	0.23	541.7	1967 ~ 1968	160.2	1928 ~ 1929	3.4	295.6	260.5
黄河	龙门	49.75	385.1	229.4	155.7	0.22	652.6	1967 ~ 1968	196.6	1928 ~ 1929	3.3	377.1	313.6
黄河	三门峡	68.84	498.4	294.2	204.2	0.24	770.2	1964 ~ 1965	239.7	1928 ~ 1929	3.2	477.4	411.8
黄河	花园口	73.00	559.2	331.7	227.5	0.25	938.7	1964 ~ 1965	273.5	1928 ~ 1929	3.4	537.2	463.8
汾河	河津	3.87	20.1	11.5	8.6	0.41	41.8	1964 ~ 1965	7.8	1936 ~ 1937	5.4	18.5	13.3
北洛河	袱头	2.51	7.6	4.3	3.3	0.42	18.5	1964 ~ 1965	3.7	1957 ~ 1958	5.0	6.4	5.1
渭河	华县	10.64	87.3	51.6	35.7	0.39	194.2	1937 ~ 1938	30.1	1928 ~ 1929	6.5	84.0	61.5
伊洛河	黑石关	1.85	35.9	21.7	14.2	0.41	88.0	1964 ~ 1965	7.3	1936 ~ 1937	12.0	34.0	25.7
沁河	小董	1.28	15.1	9.8	5.3	0.49	31.8	1963 ~ 1964	4.6	1936 ~ 1937	6.9	14.0	9.3

2.2.2.2 地区分布不均

由于受地形、气候、产流条件的影响,河川径流在地区上的分布很不平衡。黄河径流大部分来自兰州以上及龙门到三门峡区间。兰州以上控制流域面积占花园口控制流域面积的30%,但多年平均径流量占花园口年平均径流量的58%;龙门到三门峡区间,流域面积占花园口控制流域面积的26%,年径流量占花园口年平均径流量的20%;兰州到河口镇区间集水面积达16万 km^2 (占花园口的22%),区间较大支流产水量仅5亿 m^3 (占花园口年径流量不到1%),考虑河道损失后,兰州到河口镇区间的多年平均水量为负值。

2.2.2.3 年际、年内变化大

黄河流域是典型的季风气候区,因受大气环流和季风的影响,河川径流量的年际变化较大,年内分配很不均衡。

龙门以上干流各站年径流 C_v 值为0.22~0.23;龙门以下汇入了一些流域内涵蓄能力很小的大支流,年径流 C_v 值有所增大,如三门峡、花园口两站的 C_v 值分别为0.24和0.25。干流各站最大年径流量与最小年径流量之比为3~4,黄河流域较大支流年径流量的年际变化大,中游黄土丘陵干旱地区的中、小支流年径流量年际变化更大。

黄河流域径流量的年内分配很不均匀,干流及较大支流汛期径流量占全年的60%左右,3~6月经流量只占全年的10%~20%;陇东、宁南、陕北、晋西北等黄土丘陵干旱地区的一些支流,汛期径流量占全年的80%~90%,3~6月的径流量所占比重很小,有些支流基本上呈断流状态。

2.2.2.4 上、下游站年径流量丰、枯同步遭遇概率大

由于黄河年径流主要来自兰州以上,因此造成黄河干流各站年径流量丰、枯的同步遭遇概率大。不论是1919~1975年的56年系列,还是1950~1975年的25年系列,同丰、同枯出现的概率都在50%以上,见表2-4。如三门峡与花园口两站年径流量同步丰、枯级别的概率达85%左右,兰州与龙门到三门峡区间(汾河、洛河、渭河)年径流量同步丰、枯级别出现的概率为40%~50%。

表2-4 黄河干流主要站年径流量同步丰、枯级别出现的概率

系列段	项目	兰州与 龙门	兰州与 三门峡	兰州与 花园口	兰州与龙门到 三门峡区间	龙门与 三门峡	三门峡与 花园口
1919 ~ 1975 年	丰枯同级年数	38	40	36	28	44	48
	占全系列(%)	67.9	71.4	64	50.0	78.6	85.7
1950 ~ 1975 年	丰枯同级年数	20	19	17	10	21	21
	占全系列(%)	80.0	76.0	68.0	40.0	84.0	84.0

黄河流域自有实测资料以来(至2000年),出现了3次连续5年以上的枯水段,即1922~1932年的11年、1969~1974年的6年及1990~2000年的11年枯水段。

2.2.2.5 水质污染日益严重

黄河干、支流大部分天然水质良好,部分山区、干旱区有苦水、高含氟水或其他有害水源。苦水区多分布在祖厉河、清水河、泾河西川、北洛河上游以及内蒙古鄂托克旗一带。

近年来干、支流水质污染日趋严重,据1990年统计,全流域日接纳废污水量达893万t,年总量将近32.6亿t。在黄河干支流12 550 km的评价河长中,属于Ⅰ、Ⅱ类水质河长为1 750 km,占13.9%;Ⅲ类水质河长2 160 km,占17.2%;Ⅳ、Ⅴ类水质河长6 290 km,占51.3%;劣于Ⅴ类水质河长达2 350 km,占18.7%。黄河干流刘家峡以下及大部分主要支流的中下游均遭受不同程度的污染。

2.3 黄河水资源利用

2.3.1 黄河水资源利用现状分析

新中国成立以来,黄河流域修建了大量的蓄水、引水、提水工程,为水资源的开发利用创造了条件。截止到1993年底,全流域共建成大、中、小型水库及塘堰坝等蓄水工程10 077座,总库容606亿 m^3 ;引水工程9 858处,提水工程23 597处,机电井工程37.8万眼。此外,在黄河下游还兴建了向海河、淮河平原地区供水的引黄涵闸65座、虹吸10处、提水站25座。

小浪底坝址以上已建的大中型水库共159座,总库容474亿 m^3 ,占全流域总库容的78%;万亩以上灌区453处,设计灌溉面积5 142万亩,实际灌溉面积3 035万亩,占全流域(含下游引黄灌区)的46.3%。

1993年,黄河流域及下游引黄灌区各类工程总供水量505亿 m^3 ,其中小浪底坝址以上333.1亿 m^3 ,占全河的66%;河川径流供水量378.8亿 m^3 ,其中小浪底坝址以上248.6亿 m^3 ,亦占全河的66%。

现状耗用的河川径流量为294.3亿 m^3 ,其中农林牧业灌溉耗水量258.1亿 m^3 ,占全河的87.7%。河川径流耗水量主要集中在兰州至河口镇和花园口以下两个河段,分别占全河总耗水量的43.5%和40.3%。小浪底坝址以上耗用的河川径流量为168.2亿 m^3 ,占全河的57.2%。目前,黄河河川水资源利用率已达51%。

由于黄河水资源不足,20世纪70年代以来,随着中上游地区工农业用水量的不断增长,进入下游的水量明显减少。以三门峡站为例,年平均实测径流量1950~1979年为437亿 m^3 ,1970~1989年为361亿 m^3 ,1990~1995年由于流域内降水量偏少,年平均径流量只有277亿 m^3 。

2.3.2 黄河水资源开发利用预测

为使黄河水资源最大限度地满足沿黄地区社会经济持续发展的要求,开发利用水资源的主要原则是:坚持节约用水,上、中、下游统筹,兴利与除害兼顾,优先保证国家重点发展的城镇、工矿企业和能源基地用水及人畜饮水,控制农田灌溉用水的增长,干流沿程应保持必要的水量,以保护环境和输沙入海。

黄河是一条多泥沙河流,在水资源开发利用规划中,必须考虑输沙入海的用水。黄河河川水资源量扣除要求的输沙入海水量,即为可供水量。

为了不加重黄河下游河道淤积,应控制下游河道年平均淤积量不超过4亿t(相当于