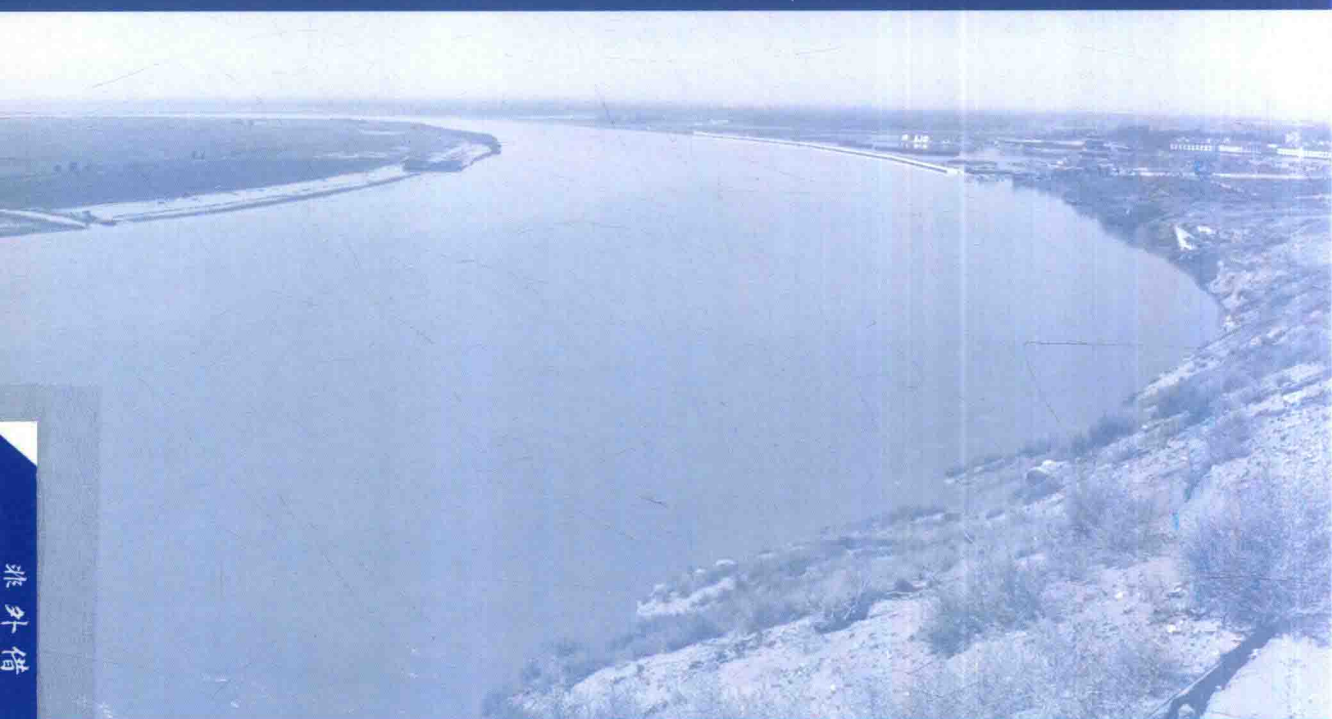


黄河上游宁蒙河段 水沙变化及河道的响应

董占地 著



非外借



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

黄河上游宁蒙河段 水沙变化及河道的响应

董占地 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书以黄河上游宁蒙河段为主要研究对象，总结了宁蒙河段河道概况及主要存在的问题，系统分析了自 20 世纪 50 年代以来宁蒙河段的来水来沙变化特点和河道淤积萎缩特征。以此为切入点，综合研究揭示了水沙过程变异条件下宁蒙河段河道产生“小水大灾”的机理，建立了水沙过程变化与河道特征值的响应关系，并对宁蒙河段河道凌情特征及变化进行了深入分析，得到了其与河槽过流能力的相关关系。在综合上述分析的基础上，从防洪安全、防凌安全和高效输沙等三个方面的需求角度，提出了目前宁蒙河段较为适宜的中水河槽规模。

本书可供从事泥沙运动力学、河床演变与河道整治、水土保持、防洪减灾、黄河治理等方面研究的科技人员及高等院校有关专业的师生参考。

图书在版编目（C I P）数据

黄河上游宁蒙河段水沙变化及河道的响应 / 董占地
著. — 北京：中国水利水电出版社，2017. 10
ISBN 978-7-5170-5930-1

I. ①黄… II. ①董… III. ①黄河—上游—含沙水流
—变化—研究②黄河—上游—河道整治—研究 IV.
①TV152②TV882. 1

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第244721号

书 名	黄河上游宁蒙河段水沙变化及河道的响应 HUANG HE SHANGYOU NING MENG HEDUAN SHUISHA BIANHUA JI HEDAO DE XIANGYING
作 者	董占地 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 9 印张 213 千字
版 次	2017 年 10 月第 1 版 2017 年 10 月第 1 次印刷
印 数	0001—1000 册
定 价	56.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究



前言

Preface

黄河是我国的第二大河流，源远流长；黄河也是闻名于世的多沙河流，是世界上最难治理的河流之一。黄河流域在我国社会经济的可持续发展中占有举足轻重的地位，在流域内居住着全国 8% 的人口，拥有全国 13% 的耕地；在全国已探明的 45 种矿藏储量中，黄河流域占了 32%，其中煤占 46.5%、石油占 26.6%、铝占 44%；后备的可开垦土地资源在 3000 万亩以上，是实现我国 21 世纪发展目标的重要基地。

黄河上游宁蒙河段西起宁夏的下河沿，东至内蒙古的头道拐，长 990.3km。河道两岸土地辽阔，地势平坦，引黄灌溉历史悠久，有著名的卫宁灌区、青铜峡灌区、内蒙古河套灌区和土默特川灌区，是西部地区的主要产粮区，也是西部地区经济较为发达地区。堤防保护范围内有人口 354.6 万人，还有各种灌溉供水工程、包兰铁路、110 国道、109 国道、西北电网高压输电线路、“京—呼—银—兰”通信光缆等国家重要基础设施，以及煤炭、钢铁、稀土等重要工矿企业。保障宁蒙河段防洪安全，直接影响到两自治区社会的持续发展。

宁蒙河段防洪工程建设历史较长，到 2004 年宁蒙河段共有干支流堤防 1439.043km；河道整治工程 138 处，坝垛 2111 道，工程长度 173.359km；同时加强工程管理建设，对减轻宁蒙河段洪水和凌汛灾害、保障沿岸人民生命财产安全和经济建设发展起到了重要作用。但是，统一规划和系统的建设始于 20 世纪 80 年代，由于工程建设基础较差，目前河防工程堤防高度不足，堤身质量较差，部分河段堤防残缺不全，穿堤建筑物数量多、标准低，河道整治工程少，河势得不到控制，危及堤防安全。自 20 世纪 90 年代以来，由于进入宁蒙河段的水沙条件日趋恶化，河道淤积日趋严重，导致排洪输沙功能不断降低，使该河段的防洪防凌形势日趋严峻。随着 21 世纪我国西部大开发战略的逐步实施，该地区将是西部最具发展活力的地区之一，社会经济的迅速

发展，对保证防洪安全提出的要求也越来越高，因此，进一步加快宁蒙河段的治理是十分必要的。

目前，在黄河流域严重缺水、现状来沙情况下，如何充分利用黄河有限的水资源，既最大限度地满足沿程的工农业用水，又使宁蒙河段现状严重淤积的状况有所改善，是宁蒙河段治理开发中的一个重要问题，也是恢复宁蒙河道排洪输沙功能的关键问题。因此，对黄河上游宁蒙河段水沙变化及河道响应研究，对黄河上游水沙调控，减缓宁蒙河段主河槽的淤积，减轻宁蒙河段的防洪、防凌压力具有重要的理论与实际意义。

本书是在国家重点研发计划“黄河流域水沙变化机理与趋势预测”的课题“水沙变化情势下黄河治理策略”（2016YFC0402408-2）和中国水利水电科学研究院重点科研专项“非均匀沙运动理论前沿研究（二）”课题（SE0145B362016）及自然科学基金项目“面向2035的黄河水沙变化趋势与治理战略研究”（C1624052）的部分研究成果基础上，通过系统总结编写而成。全书共分7章，主要内容及编写人员如下：第1章绪论，由董占地、胡海华执笔；第2章宁蒙河段水沙变化特征，由董占地、胡海华、孙高虎执笔；第3章宁蒙河段河道冲淤演变与河道萎缩成因分析，由董占地、胡海华执笔；第4章宁蒙河段河道断面形态与水沙变化的响应，由董占地执笔；第5章宁蒙河段河道凌情特征及变化分析，由董占地、赵慧明执笔；第6章宁蒙河段中水河槽规模需求分析，由董占地执笔；第7章结语，由董占地执笔。全书由董占地审定统稿。

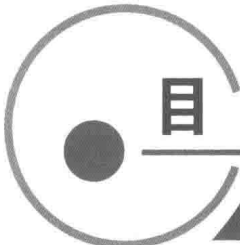
特别需要说明的是，本书的研究成果在研究过程中，得到了许多领导、专家的指导和支持以及同事的帮助，主要有胡春宏、陈建国、郭庆超、王崇浩、胡海华、赵慧明、孙高虎、张志昊、刘飞等，在此表示诚挚的感谢！

鉴于黄河宁蒙河段水沙变异情势下河道响应的复杂性，加之作者水平有限，书中定有不少欠妥或谬误之处，竭诚欢迎读者批评指正。

本书受国家重点研发计划“黄河流域水沙变化机理与趋势预测”的课题“水沙变化情势下黄河治理策略”（2016YFC0402408-2）及中国水利水电科学研究院重点科研专项“非均匀沙运动理论前沿研究（二）”课题（SE0145B362016）的资助，特此感谢！

董占地

2017年7月于北京



目 录 Contents

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 宁蒙河段河道概况	1
1.2 大型水利工程概况	5
1.3 宁蒙河段存在的主要问题	6
第 2 章 宁蒙河段水沙变化特征	9
2.1 干流来水来沙变化过程	9
2.2 区间来水来沙变化过程	18
2.3 不同时期宁蒙河段来水来沙变化的特点	25
第 3 章 宁蒙河段河道冲淤演变与河道萎缩成因分析	43
3.1 河道冲淤特性	43
3.2 河道萎缩特征	53
3.3 河道萎缩成因分析	68
第 4 章 宁蒙河段河道断面形态与水沙变化的响应	75
4.1 河道输沙能力分析	75
4.2 河道冲淤与来水来沙的响应	77
4.3 断面形态与水沙变化的响应	86
4.4 平滩流量与来水来沙的响应	88
4.5 造床流量与来水来沙的响应	93
第 5 章 宁蒙河段河道凌情特征及变化分析	100
5.1 宁蒙河段凌情特征分析	100
5.2 凌情特征变化与河槽过流能力的相关分析	112
第 6 章 宁蒙河段中水河槽规模需求分析	126
6.1 现状条件下的中水河槽规模	126

6.2 满足防洪需求的中水河槽规模 127

6.3 满足防凌需求的中水河槽规模 127

6.4 满足高效输沙需求的中水河槽规模 129

第7章 结语..... 130

参考文献 134

第 1 章 绪 论

1.1 宁蒙河段河道概况

黄河上游是指从河源至内蒙古托克托县河口镇（头道拐）河段，跨越了青藏高原和内蒙古高原，河道长 3472km，约占全河长 5468km 的 63.5%；水面落差 3496m，约占全河水面落差 4482m 的 78.0%；控制流域面积 38.6 万 km²，约占全河流域面积 75.2 万 km² 的 51.3%，河道平均比降 1‰。宁夏回族自治区境内的下河沿以上为黄河上游的上段；下河沿至头道拐为黄河上游的下段，又称宁蒙河段，全长 990.3km，位于宁夏回族自治区和内蒙古自治区境内，其中下河沿—石嘴山河段为宁夏河段，石嘴山—头道拐河段为内蒙古河段，如图 1-1 所示。

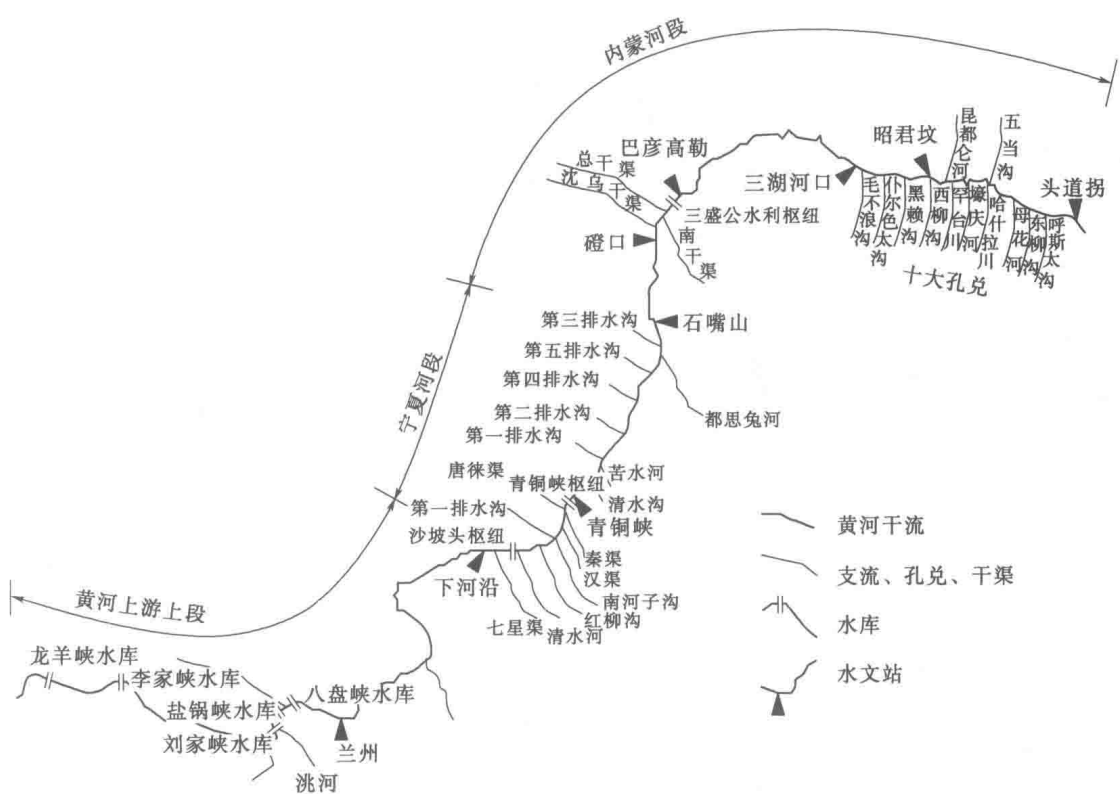


图 1-1 黄河上游龙羊峡水库至头道拐河段主要水利枢纽、水文站、支流、引水渠分布示意图

宁夏河段共有 3 个水文站，从上至下分别为下河沿站（1951 年 5 月设立）、青铜峡站（1939 年 5 月设立）、石嘴山站（1942 年 9 月设立），其中下河沿站为入境站，石嘴山站为



出境站；石嘴山站为内蒙古河段入境站，内蒙古河段有 5 个水文站，从上至下分别为磴口站、巴彦高勒站、三湖河口站、昭君坟站和头道拐站，其中巴彦高勒设站最晚，设站时间为 1961 年 4 月。

1.1.1 宁夏河段河道概况

宁夏河段自下河沿入境，至石嘴山全长 318.1km，偏东转偏北流向，跨北纬 $37^{\circ}17' \sim 39^{\circ}23'$ 。该河段较大的支流有清水河、红柳沟、苦水河和都思兔河 4 条河流，均分布在黄河右岸。其中，都思兔河为宁夏、内蒙古的分界河流，清水河为该河段的最大支流。较大的引水渠主要有七星渠、汉渠、秦渠和唐徕渠 4 条。排水沟主要包括清水沟、第一排水沟、第二排水沟、第三排水沟、第四排水沟和第五排水沟等。宁夏河段主要分为下河沿—青铜峡和青铜峡—石嘴山两个河段，其主要特征值见表 1-1。

表 1-1 宁夏河段各河段主要特征表

序号	河段	河型	概 述	河长 /km	河宽 /m	平均 河宽 /m	主槽 宽 /m	平均 槽宽 /m	比降 /‰	弯曲 率
下河沿— 青铜峡 河段	下河沿— 白马	非稳定分 汊	河岸具有典型的二元结构，下部为砂卵石，上部覆盖有砂土；河道内心滩发育，汊河较多，水流分散，水流多为 2~3 汊；河床演变表现为主支汊的兴衰及心滩的消长，主流顶冲滩岸	82.6	500~ 1500	915	300~ 1000	520	0.80	1.16
	青铜峡 库区	库区	库区坝上 8km 为峡谷河道，峡谷以上河床宽浅，水流散乱；河床演变除受来水来沙条件及河床边界条件的影响外，还与水库运用密切相关	40.9			500~ 700			
青铜峡— 石嘴山 河段	青铜峡— 头道墩	过渡	平面上出现多处大的河湾，心滩较少，边滩发育；河床演变主要表现为单向侧蚀，主流摆动较大；主流多靠右岸，左岸顶冲点变化不定，平面变化较大	107.6	1000~ 4000	2500	400~ 900	550	0.15	1.21
	头道墩— 石嘴山	游荡	平面上宽窄相同，呈藕节状，断面宽浅，水流散乱，沙洲密布；河岸抗冲性差，主流游荡摆动剧烈，两岸主流顶冲点不定	87.0	1800~ 6000	3300	500~ 1000	650	0.18	1.23
石嘴山— 三盛公 河段	石嘴山— 磴口	峡谷	平面外形呈弯曲状；主流常年基本稳定	86.4	1000~ 1300	400	400		0.56	1.5
	三盛公库区	库区	平原型水库	54.2	2000	2000	1000		0.15	1.31
三盛公— 头道拐 河段	巴彦高勒— 三湖河口	游荡	平面上河身顺直，断面宽浅，水流散乱；河道内沙洲众多，主流游荡摆动剧烈	221.1	2500~ 5000	3500	500~ 900	750	0.17	1.28
	三湖河口— 昭君坟	过渡	河岸宽广，河岸黏性土分布不连续，加之孔兑泥沙的汇入；主流摆动幅度仍然较大，其河床演变特性介于游荡性和弯曲性河段之间	126.4	2000~ 7000	4000	500~ 900	710	0.12	1.45
	昭君坟— 头道拐	弯曲	平面上呈弯曲状，由连续的弯道组成，南岸有五大孔兑汇入，北岸有数条阴山支流汇入	184.1	1200~ 5000	上段 3000 下段 2000	400~ 900	600	0.10	1.42



1. 下河沿—青铜峡河段

下河沿—青铜峡河段长 123.5km, 河道迂回曲折, 河床由粗沙卵石组成, 并以卵石为主, 河心滩较多, 河道迂回曲折, 河宽 0.2~3.3km, 比降 0.8‰~0.9‰。

白马为青铜峡水库的入库断面, 下河沿—白马河段长 82.6km, 河宽 500~1500m, 平均宽为 915m, 主槽宽 300~1000m, 平均宽约为 520m。河道纵比降 0.8‰。由于黄河出峡谷后, 水面展宽, 卵石推移质沿程淤积, 洪水漫溢时, 悬移质泥沙落淤于滩面, 因此, 河岸具有典型的二元结构, 下部为砂卵石, 上部覆盖有砂土。河道内心滩发育, 汉河较多, 水流分散, 水流多为 2~3 汉, 属非稳定分汉型河道, 其河床演变主要表现为主、支汉的兴衰及心滩的消长, 主流顶冲滩岸, 造成险情。

白马—青铜峡坝址长约 40.9km, 为青铜峡水库库区段。青铜峡库区段坝上 8km 为峡谷河道, 峡谷以上河床宽浅, 水流散乱。其河床演变除受来水来沙条件及河床边界条件的影响外, 还与水库运用密切相关。20 世纪 80 年代以来, 水库已形成较为稳定的滩槽形态, 主槽宽度为 500~700m。

2. 青铜峡—石嘴山河段

青铜峡—石嘴山河段长 194.6km, 为平原型河流, 河宽 1.0~6.0km, 比降 0.1‰~0.2‰, 砂质河床, 河道支汉横生, 河心滩星罗棋布, 主流摆动较大, 素有“三十年河西, 三十年河东”之说。该河段大部分属于干旱地区, 降水量少, 蒸发量大, 加之灌溉引水量大, 且无大支流加入, 黄河水量有所减少。

青铜峡—头道墩河段为平原冲积河道, 为卵石分汉河道向游荡性河道的过渡段, 受鄂尔多斯台地控制, 右岸形成若干处节点, 因此, 平面上出现多处大的河湾, 心滩较少, 边滩发育。其河床演变主要表现为单向侧蚀, 主流摆动较大。抗冲能力弱的一岸, 主流坐湾, 常造成滩岸坍塌, 出现险情。该河段长 107.6km, 河宽 1000~4000m, 平均宽 2500m。主槽宽 400~900m, 平均宽约 550m。河道纵比降 0.15‰, 弯曲率 1.21, 主流多靠右岸, 左岸顶冲点变化不定, 平面变化较大。

头道墩—石嘴山河段受右岸台地和左岸堤防控制, 平面上宽窄相间, 呈藕节状, 断面宽浅, 水流散乱, 沙洲密布, 河床河岸抗冲性差, 冲淤变化较大, 主流游荡摆动剧烈, 两岸主流顶冲点不定, 经常出现险情, 属游荡性河道。该河段长 87.0km, 河宽 1800~6000m, 平均宽约 3300m。主槽宽 500~1000m, 平均宽约 650m。河道纵比降 0.18‰, 弯曲率 1.23。

1.1.2 内蒙古河段河道概况

内蒙古河段地处黄河流域最北端, 介于东经 106°10′~112°50′、北纬 37°35′~41°50′之间。从石嘴山入境至磴口河道流向大致是西南流向东北, 磴口至包头基本自西向东, 包头至清水河县喇嘛湾由西北流向东南, 以下至出境基本自北向南。由于上游流经黄土高原及沙漠边缘, 河水含沙量剧增, 致使河床落淤抬升, 河身逐渐由窄深变为宽浅, 河道中浅滩湾道迭出, 坡度变缓。

该河段自新中国成立以来陆续地增设引黄渠道, 并修建水利枢纽, 逐渐合并形成三大主引黄干渠: 总干渠、沈乌干渠和南干渠; 该河段支流主要有十大孔兑和昆都仑河、五当



沟两条支流。十大孔兑位于黄河河套内（三湖河口至头道拐河段右岸一侧），发源于鄂尔多斯台地，它们流向都是由南向北，流经库布齐沙带，横穿下游冲积平原后泄入黄河。集水面积 10767km^2 ，从西向东依次为毛不浪沟、仆尔色太沟、黑赖沟、西柳沟、罕台川、壕庆河、哈什拉川、母花河、东柳沟和呼斯太沟。十大孔兑地势南高北低，地表覆盖有极薄的风沙残积土，颗粒较粗，粒径大于 0.05mm 的粗沙占 60% 左右；地面坡度一般在 40° 左右，最大可达 70° 左右。这些洪沟上游坡度陡，比降约为 1% ，河流冲蚀强烈；中游为库布齐沙漠横贯东西，沙带主要分布于罕台川以西，多属流动沙丘，面积 1963km^2 ，约占沙漠面积的 71.1% ，罕台川以东，沙漠面积仅 799km^2 ，多属半固定沙丘，季风一到，库布齐沙漠黄沙滚滚，大量的风沙堆积在河床两岸；下游为冲洪积扇区，属黄河冲积平原，坡度突然变缓，比降为 $0.77\text{‰} \sim 1.25\text{‰}$ ，地势平坦，土地肥沃。内蒙古河段主要分为石嘴山—三盛公和三盛公—头道拐两个河段，其主要特征值见表 1-1。

1. 石嘴山—三盛公河段

石嘴山—三盛公河段河长 140.6km ，上段为峡谷，下段为三盛公水利枢纽，已形成相对稳定的砂质河床，河道冲淤基本平衡。

石嘴山—磴口河段穿行于右岸桌子山及左岸乌兰布和沙漠之间，长 86.4km ，属峡谷河道，河宽约 400m ，局部地段达 $1000 \sim 1300\text{m}$ ，河道纵比降 0.56‰ 。受右岸山体和左岸高台地制约，平面外形呈弯曲状，弯曲率为 1.5 ，主流常年基本稳定。

从入库站磴口站到三盛公坝址全长 54.2km ，整个内蒙古河段三大主引黄干渠（总干渠、沈乌干渠和南干渠）都集中于该河段；三盛公水库为平原型水库，库区平均宽 2000m ，其主槽平均宽度约 1000m 左右。其出库站为巴彦高勒站，上距三盛公坝址 422m 。

2. 三盛公—头道拐河段

三盛公—头道拐河段为冲积性河道，长约 531.6km ，河床宽阔，河势游荡摆动。该河段又可分为以下两个河段。

（1）巴彦高勒—三湖河口河段。巴彦高勒—三湖河口河段河长 221.1km ，河身顺直，断面宽浅，水流散乱。河道内沙洲众多，主流游荡摆动剧烈，属游荡性河段。该河段河宽 $2500 \sim 5000\text{m}$ ，平均宽约 3500m ，主槽宽 $500 \sim 900\text{m}$ ，平均宽约 750m ，河道纵比降 0.17‰ ，弯曲率 1.28 。

（2）三湖河口—头道拐河段。三湖河口—头道拐河段南岸的十大孔兑易发生突发性暴雨洪水，流经库布齐沙漠，携带大量泥沙进入黄河，当干流流量较小时在干流河道内容易形成沙坝，甚至淤堵黄河。

其中三湖河口—昭君坟河段横跨乌拉山山前倾斜平原，北岸为乌拉山，南岸为鄂尔多斯台地，河长 126.4km 。由于河道宽广，河岸黏性土分布不连续，加之孔兑泥沙的汇入，该河段主流摆动幅度仍然较大，其河床演变特性介于游荡性和弯曲性河段之间。本河段河宽 $2000 \sim 7000\text{m}$ ，平均宽约 4000m 。主槽宽 $500 \sim 900\text{m}$ ，平均宽约 710m ，河道纵比降 0.12‰ ，弯曲率 1.45 。

昭君坟—头道拐河段自包头折向东南，沿北岸土默川平原南边缘与南岸准格尔台地奔向喇嘛湾，河段长度 184.1km 。平面上呈弯曲状，由连续的弯道组成，南岸有孔兑汇入，北岸有昆都仑河、五当沟两条支流汇入。本河段河宽 $1200 \sim 5000\text{m}$ ，上段较宽，平均约

1.2 大型水利工程概况

黄河上游的水利工程尤其是大型水利工程,分布较为集中,如图 1-2 所示。下河沿站以上已建成的有龙羊峡、刘家峡、盐锅峡等水利枢纽工程,下河沿—石嘴山建有青铜峡水利枢纽工程,石嘴山—巴彦高勒建有三盛公水利枢纽工程。

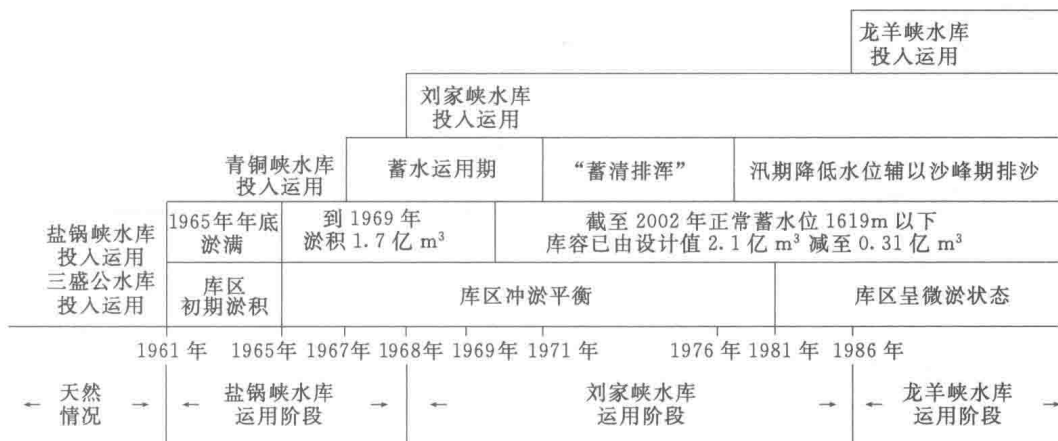


图 1-2 黄河上游干流大型水利工程运用概况

1. 三盛公水库运用概况

黄河三盛公水利枢纽工程，位于内蒙古巴彦淖尔盟磴口县巴彦高勒镇（原名三盛公）东南的黄河干流上，居内蒙古河套平原的西南端。该枢纽工程是迄今黄河干流上最大的平原低水头闸坝工程，以灌溉为主，兼有防洪、供水、发电、交通、旅游等综合功能。其主要灌区河套灌区也是全国三大灌区之一，灌溉面积达 60 万 hm^2 。三盛公水库于 1961 年投入运用，水库本身基本无调洪能力，每年 5—10 月壅水灌溉，11 月至次年 4 月敞泄冲刷。1961 年 11 月至 1965 年 10 月为库区初期淤积发展阶段，1965—1981 年库区冲淤基本平衡，1981 年以后库区呈微淤状态。

2. 盐锅峡水库运用概况

盐锅峡水库位于刘家峡水库下游 31.6km 处,该水库于 1961 年 11 月蓄水发电,总库容 2.16 亿 m^3 ,1965 年底淤满。1961—1969 年淤积 1.7 亿 m^3 。截至 2002 年正常蓄水位 1619m 以下库容已由设计值 2.16 亿 m^3 减至 0.31 亿 m^3 ,库容损失达 85.8%。

3. 青铜峡水库运用概况

青铜峡水库自 1967 年投入运用以来,该水库运用共经历了 3 个阶段。①1967—1971 年为蓄水运用期,该时段水库运用控制水位较高,均维持在 1151m 以上运用,期间 1968 年上游刘家峡水库投入运用,青铜峡出库水沙量均大幅度减少,水库淤积严重。②1971 年青铜峡水库基本上已淤满,出库水沙量有所增加。1971—1976 年水库采用汛期降低水位排沙、冲沙,非汛期或含沙量较小时抬高水位发电,即“蓄清排浑”运用。③1971 年



以后,采取结合沙峰排沙运用方式,汛期抬高水位运用,仅在大沙时才降低水位运用。

4. 刘家峡水库运用概况

刘家峡水库位于下河沿以上 461km 处,控制流域面积 18.18 万 km^2 ,占全流域面积的 24%。水库库容 57 亿 m^3 ,其中有效库容 41.5 亿 m^3 ,是一座不完全年调节水库。1968 年 10 月 15 日下闸蓄水,以发电为主,兼有灌溉、防洪、防凌、航运及养殖等综合效益。

5. 龙羊峡水库运用概况

龙羊峡水库是黄河上游具有多年调节能力的大型水库,该水库以发电为主,兼有灌溉、防洪、防凌、航运及养殖等综合效益。其位于刘家峡水库坝址上游 332km 处,控制流域面积 13.14 万 km^2 ,占全流域面积的 17.5%。水库总库容 247 亿 m^3 ,有效库容 193.6 亿 m^3 。1986 年 10 月 15 日下闸蓄水,1987 年 9 月 29 日第一台机组发电,至 1989 年 6 月 7 日,共装机 4 台,总容量 128 万 kW,设计年发电量 59.4 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

1.3 宁蒙河段存在的主要问题

近年来,黄河上游大型水利枢纽运用时间的延长和调控力度的加大以及天然径流条件的变化致使宁蒙河段暴露出来的问题日趋严重。

1. 宁蒙河段水沙条件发生较大变化,河道淤积严重,主河槽萎缩

由于上游引黄水量增加,宁蒙河道来水大幅减少;同时,龙羊峡水库、刘家峡水库的联合调度运用,虽然发挥了巨大的兴利效益,但同时也改变了宁蒙河段径流过程的分配,加剧了宁蒙河段水沙关系的不协调。刘家峡水库运用前的 1951—1968 年,下河沿站汛期与非汛期水量比例为 61.95 : 38.05,刘家峡水库投入运用后至龙羊峡水库运用前的 1969—1986 年,下河沿站汛期与非汛期水量比例为 53.05 : 46.95,龙羊峡水库投入运用后的 1987—2004 年,汛期与非汛期水量比例为 42.06 : 57.94。下河沿站和头道拐站的年输沙量逐年减少,特别是头道拐站的年输沙量减少幅度更大,其输沙量从刘家峡水库修建(1968 年)前的 1.76 亿 t 减少到 1968—1987 年的 1.09 亿 t,龙羊峡水库运用后,其输沙量进一步减至 0.39 亿 t。龙羊峡、刘家峡两库联合调度后,黄河宁蒙河段呈现出水沙量减少、年内各月水沙分配趋于均匀、洪峰流量减小、汛期大流量时间缩短、小流量时间增长的特点。也正是因为龙羊峡、刘家峡两库联合调度,使得进入宁蒙河段的汛期洪峰流量减小、流量过程调平。就下河沿站而言,刘家峡水库运用期间,汛期平均流量由刘家峡水库建库前的 $1975\text{m}^3/\text{s}$ 减小到 $1591\text{m}^3/\text{s}$,平均削减率为 19.4%;龙羊峡水库运用以后,其汛期平均流量进一步减小到 $945\text{m}^3/\text{s}$,其削减作用明显增大, $1000\text{m}^3/\text{s}$ 以上的流量均受到削减,平均削减率为 40.6%。

因此,水库汛期的控制,减少了下泄水量,使进入宁蒙河道的洪峰流量大幅削减,大流量出现天数大幅减少,减少了汛期宁蒙河道基流,恶化了进入宁蒙河段的水沙条件,降低了其汛期河道的冲刷能力,致使河道淤积严重。根据输沙率法计算可得,宁蒙河段的淤积主要集中在内蒙古河段,内蒙古河段 1986 年 11 月至 2004 年 10 月年均淤积量达 0.748 亿 t。河道淤积造成中小洪水流量水位明显抬高,平滩流量减小,防洪标准大大降低。就三湖河口站而言,该站的平滩流量由 1986 年的 $4100\text{m}^3/\text{s}$ 左右减小到 2004 年的 $1100\text{m}^3/\text{s}$



左右,主河槽严重萎缩。2003年8月河道流量只有 $1000\text{m}^3/\text{s}$ 即造成堤防决口。

2. 汛期洪水灾害严重

黄河宁蒙河段游荡型河段较长,河流摆动剧烈,汛期洪水灾害频繁。例如比较典型的1964年和1981年洪水,洪水过程如图1-3所示。两次大洪水都造成多处决口,大量农田和房屋被淹,给沿河两岸造成不同程度的灾害。

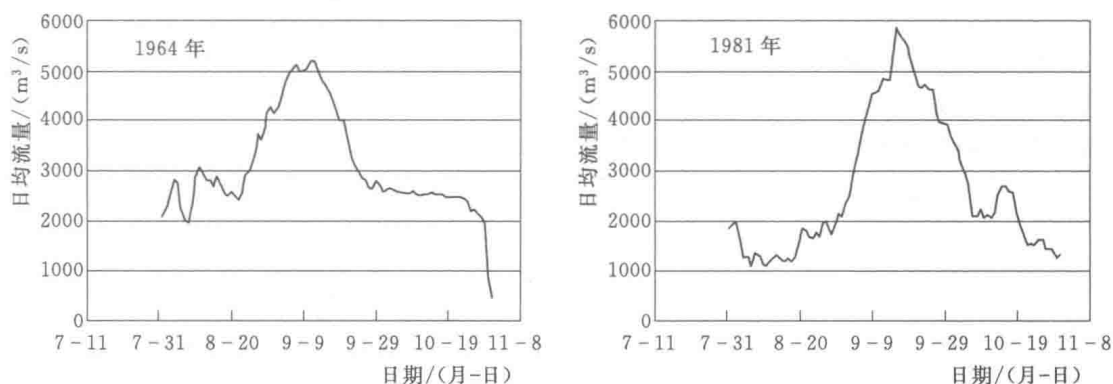


图1-3 宁蒙河段1964年和1981年洪水下河沿站日均流量过程

1964年洪水,下河沿站最大日均洪峰流量 $5200\text{m}^3/\text{s}$ (9月11日),历时60天,洪量 $138\text{亿}\text{m}^3$,大于 $5000\text{m}^3/\text{s}$ 的洪峰流量为期5天。当时正在施工的青铜峡水利枢纽打开上、下游围堰并拆除施工铁路过洪,淹没基坑,影响工期半年。据调查统计,在这次洪水中,宁夏地区受淹农田4万多亩,淹没房屋700多间,倒塌68间,陶乐县惠民渠发生决口,七星渠和跃进渠淤积几十千米。

1981年8月13日至9月13日,黄河上游地区连降长达30天的阴雨。经刘家峡水库调蓄后,9月16日下河沿水文站出现 $5840\text{m}^3/\text{s}$ 的洪峰流量,其中 $3000\text{m}^3/\text{s}$ 以上洪水持续了28天。9月21日石嘴山洪峰流量达 $5660\text{m}^3/\text{s}$,经河套灌区总干渠适时分洪后,巴彦高勒站、三湖河口站和昭君坟站洪峰流量分别达 $5380\text{m}^3/\text{s}$ 、 $5450\text{m}^3/\text{s}$ 和 $5500\text{m}^3/\text{s}$,其中 $4000\text{m}^3/\text{s}$ 以上洪水持续了约20天左右。据调查统计,此次洪水共造成9段堤防决口,淹没耕地27.72万亩,冲毁输电线路28km、电塔2处、扬水站18处、公路21km,直接经济损失达9248.5万元(1994年价),给国家和当地人民群众造成严重损失。

3. 内蒙古河段防凌问题突出

除汛期洪水外,宁蒙河段冰凌洪水灾害也很严重,给沿岸广大人民群众的生命财产造成了巨大的损失。内蒙古河段为稳定封冻河段,结冰期长达3~4个月。河道比降小,流速缓,冬季封河时从下游往上游,开河时自上游而下游。在封河期,封河从下游开始,水流阻力加大,上游流凌易在封河处卡冰结坝,壅水漫滩,严重时会造成堤防决口。在开河时,上游先开河,而下游仍处于结冰状态,上游解冻的大量冰水沿程汇集涌向下游,越积越多,如冰凌排泄不畅,极易发生冰凌壅高水位而威胁堤防安全和产生凌汛灾害的情况。如2001年12月8日三湖河口站断面平封(“平封”是指在持续低温下,黄河自岸边开始结冰,称为“岸冰”,岸冰不断增长加宽,两岸岸冰逐渐合龙,自然冻结形成的封河现象),12月13日头道拐站断面平封。三湖河口站流量从封河前 $600\text{m}^3/\text{s}$ 左右,减少到



150m³/s, 且流量一直在 150m³/s 附近徘徊, 持续了 22 天, 到 12 月 30 日才增加到 196m³/s。由此可见, 从头道拐站到三湖河口站之间形成冰塞, 过流能力迅速减小, 但由于天气冷, 封河速度快, 封河时间短, 区间槽蓄水量少, 三湖河口站水位只涨了 0.8m。随着封河位置向上推移, 纬度减小, 温度增高, 封河速度变得缓慢, 石嘴山至巴彦高勒区间槽蓄水量逐渐增大, 12 月 6—9 日石嘴山至头道拐槽蓄水量增到 4 亿 m³, 水位上涨, 两岸大堤吃水, 于 12 月 17 日内蒙古乌海段黄河民堤发生决口, 灾情严重, 水淹一乡一镇, 涉及 5 个村庄、3 个养殖场和 2 所学校, 直接经济损失约 1.3 亿元。

4. 十大孔兑泥沙淤堵黄河严重

内蒙古河段十大孔兑河短坡陡, 干旱少雨, 降雨时空分布非常不均, 且主要以暴雨形式出现, 形成峰高量少、陡涨陡落的高含沙洪水。洪水涨落时间很短, 一般只有 10h 左右。十大孔兑的洪水泥沙高度集中, 汛期 7—10 月沙量占年沙量的 98% 以上; 一次洪水沙量就占年沙量的 35% 以上, 最高的可达 99% 以上。绝大多数洪水均发生在 7 月上旬至 8 月下旬。

据资料统计, 1961—1998 年十大孔兑的西柳沟、毛不浪沟、罕台川曾发生 7 次泥沙淤堵黄河的现象。尤其是近年来, 由于龙羊峡、刘家峡两库的联合运用, 致使黄河上游宁蒙河段洪峰流量大幅削减, 很难将淤堵黄河的泥沙冲开, 这也是造成内蒙古河段淤积严重的主要原因之一。例如, 1989 年 7 月 21 日西柳沟发生 6940m³/s 洪水, 来水量 0.735 亿 m³, 来沙量 0.474 亿 t, 实测最大含沙量 1240kg/m³。黄河流量在 1000m³/s 左右, 在入黄口处形成长 600 多 m、宽约 7km、高 5m 多的沙坝, 堆积泥沙约 3000 万 t, 使河口上游 1.5km 处的昭君坟站同流量水位猛涨 2.18m, 造成包钢 3 号取水口 1000m 长管道淤死, 4 座辐射沉淀池管道全部淤塞, 严重影响了包头市和包钢的供水。8 月 15 日主槽全部冲开, 水位恢复正常。这次洪水黄河上游来水较丰, 入库流量为 2300m³/s, 出库流量却只有 700m³/s, 加重了河道淤堵。据时明立等的调查, 在此次洪水中, 西柳沟两岸多处决堤, 相当一部分泥沙淤积在龙头拐以下的平原地带。由于本次洪峰大, 均超过各孔兑的防洪标准, 造成多处决口, 其中较大的有 43 处, 决口长度约 34km, 数乡被水淹, 大片农田、草场变成一片汪洋。

5. 现有河道整治工程无法满足宁蒙河段的防洪防凌要求

由于刘家峡和龙羊峡两个水库相继投入运用, 黄河宁蒙河段水沙过程发生了显著的变化。为了适应其变化, 宁蒙河段河床需要不断调整, 结果是主流摆动剧烈, 河势变化加大, 致使游荡型河道的游荡进一步加剧, 弯曲型河道坐弯而形成畸形弯道, 造成主流直冲堤岸, 有可能造成中常洪水冲决大堤。同时, 主流摆动频繁, 使大型灌区引水困难。

“九五”以来按规划的治导线进行了河道整治工程建设, 防洪工程体系得到了逐步改善。但是, 由于两自治区经济发展相对落后, 投资不足, 工程建设基础较差, 目前, 整治工程还存在数量少、标准低, 河势得不到控制, 危及堤防安全、工程管理和防洪非工程措施建设薄弱等问题。按照总体规划, 宁蒙河段规划需要建设河道整治工程 224 处, 坝垛 5387 道, 工程长度 513.3km。现状河道整治工程有 138 处, 占规划的 61.6%; 坝垛 2111 道, 占规划的 39.2%; 工程长度 173.4km, 占规划的 33.7%。现有工程中, 其工程布点、工程长度及工程质量与整体规划规模相比存在较大差距, 河势摆动难以控制、毁堤塌岸现象仍时有发生。

第 2 章 宁蒙河段水沙变化特征

宁蒙境内的黄河河道多具有宽浅的冲积性河流特征，其冲淤变化取决于流域的来水来沙条件和河床边界条件，而河床边界条件又随来水来沙条件而变化，故水沙条件对宁蒙河段河道的冲淤变化起着主导作用。因此，全面了解宁蒙河段来水来沙变化过程，是研究宁蒙河段河道冲淤演变的基础。

本章采用 1950 年以来的实测资料，对不同时期宁蒙河段干流来水来沙量及过程、区间引水引沙量、支流来水来沙量、十大孔兑入黄沙量和入黄风积沙量进行系统研究，并分析了上游大型水利工程对宁蒙河段来水来沙量及过程的影响。

需要说明的是，本次研究过程中所依据的资料主要包括各干流水文测站（宁夏河段从上至下有下河沿、青铜峡、石嘴山等 3 个水文站，内蒙古河段从上至下有巴彦高勒、三河口、头道拐等 3 个水文站，其中石嘴山站为宁夏河段的出境站，也是内蒙古河段的入境站）历年观测的水位、流量和输沙率等水文资料及实测大断面资料；同时还包括宁蒙河段各支流、引水渠、排水沟、十大孔兑以及风积沙等资料。

2.1 干流来水来沙变化过程

2.1.1 干流水沙变化概况

图 2-1~图 2-3 所示为 1951—2012 年宁蒙河段沿程典型水文站逐年的年径流量、汛期

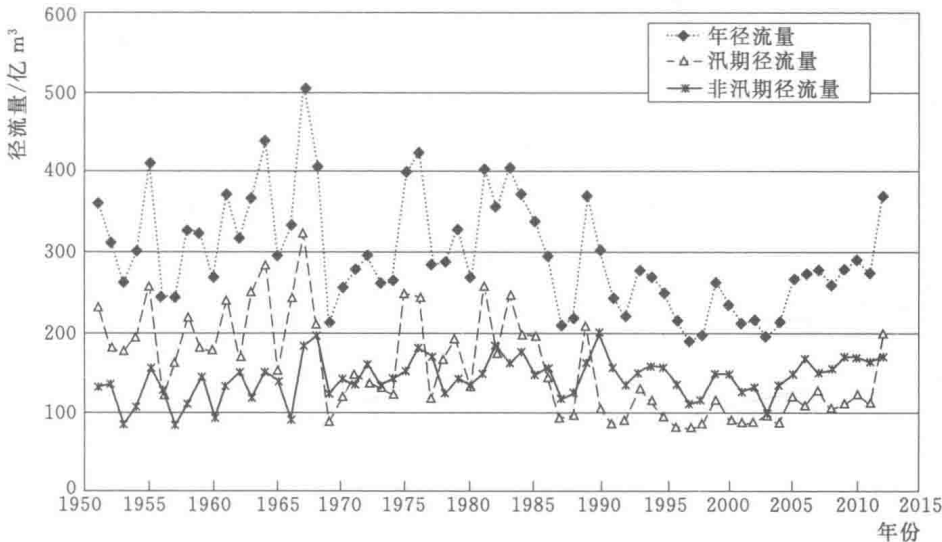


图 2-1 下河沿站 1951—2012 年年径流量、汛期径流量、非汛期径流量变化



径流量、非汛期径流量变化过程。由图 2-1~图 2-3 可见, 1951—2012 年下河沿、石嘴山和头道拐 3 个水文站多年平均年径流量分别为 297.17 亿 m^3 、275.44 亿 m^3 和 213.76 亿 m^3 , 相应的最大年径流量均为 1967 年的 509.13 亿 m^3 、491.14 亿 m^3 和 434.87 亿 m^3 , 相应的最小年径流量均为 1997 年的 188.66 亿 m^3 、160.15 亿 m^3 和 105.90 亿 m^3 , 其最大年径流量分别为最小年径流量的 2.7 倍、3.1 倍和 4.1 倍; 3 个水文站汛期多年平均径流量分别为 155.36 亿 m^3 、148.19 亿 m^3 和 112.41 亿 m^3 , 分别约占相应站多年平均径流量的 52.3%、53.8% 和 52.6%, 相应的最大汛期径流量均为 1967 年的 326.19 亿 m^3 、323.65 亿 m^3 和 292.34 亿 m^3 , 相应的最小汛期径流量分别为 79.65 亿 m^3 、70.04 亿 m^3 和 32.83 亿 m^3 , 其最大汛期径流量分别为最小汛期径流量的 4.1 倍、4.6 倍和 8.9 倍; 3 个水文站非汛期多年平均径流量分别为 141.81 亿 m^3 、127.24 亿 m^3 和 101.35 亿 m^3 , 3 个水文站历年非汛期径流量变幅相对较小。

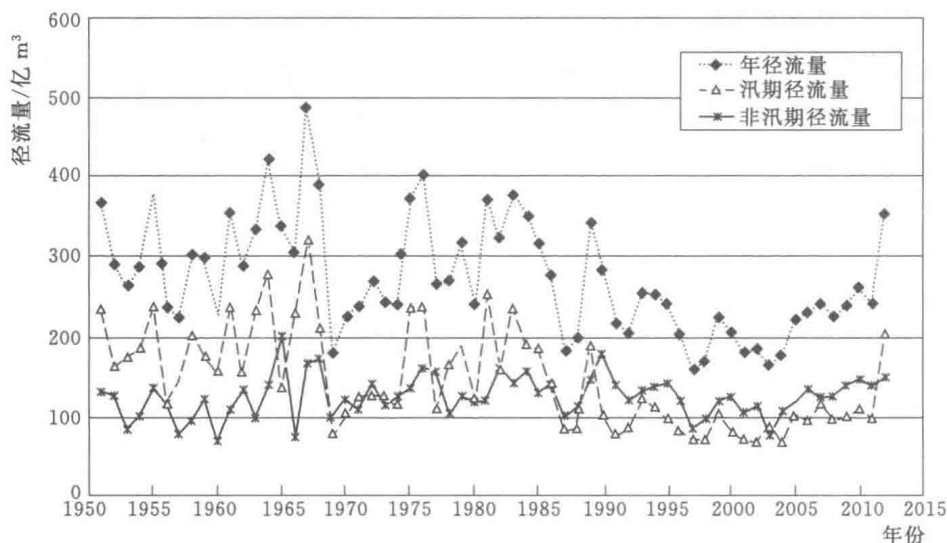


图 2-2 石嘴山站 1951—2012 年年径流量、汛期径流量、非汛期径流量变化

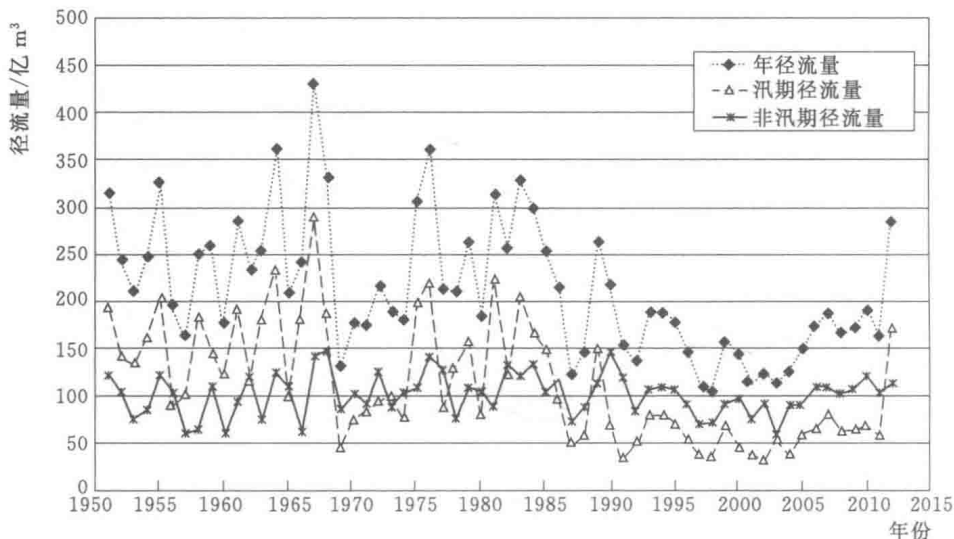


图 2-3 头道拐站 1951—2012 年年径流量、汛期径流量、非汛期径流量变化