

2009

黄河河情咨询报告

2009 HUANGHE HEQING ZIXUN BAOGAO

黄河水利科学研究院



黄河水利出版社

2009 黄河河情咨询报告

黄河水利科学研究院



黄河水利出版社

· 郑州 ·

图书在版编目(CIP)数据

2009黄河河情咨询报告/黄河水利科学研究院.
郑州:黄河水利出版社,2013.4
ISBN 978-7-5509-0453-8

I.①2… II.①黄… III.①黄河-含沙水流-泥沙
运动-影响-河道演变-研究报告-2009 IV.①TV152

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第072666号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhslwlp@126.com

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:hhslcbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:22

字数:510千字

版次:2013年4月第1版

印数:1—1 000

印次:2013年4月第1次印刷

定价:75.00元

《2009 黄河河情咨询报告》编委会

主任委员：时明立

副主任委员：高 航

委 员：康望周 姜乃迁 江恩惠 姚文艺

张俊华 李 勇 史学建

《2009 黄河河情咨询报告》编写组

主 编：时明立

副 主 编：姚文艺 李 勇

编写人员：尚红霞 侯素珍 李 涛 蒋思奇 王 婷

张晓华 李小平 张 敏 孙赞盈 彭 红

郑艳爽 王卫红 田世民 王万战 王开荣

茹玉英 胡 恬 马怀宝 张俊华 陈书奎

陈孝田 李昆鹏 王 岩 常温花 韩巧兰

张防修 侯志军 罗立群 李 萍 张 辛

李 勇 赵 阳 赖瑞勋 于守兵 王 明

窦身堂 樊文玲

技术顾问：潘贤娣 赵业安 刘月兰 王德昌 张胜利

2009 咨询专题设置及主要完成人员

序号	专题名称	负责人	主要完成人
1	2009 年黄河河情及近期水沙变化	尚红霞 侯素珍	尚红霞 侯素珍 蒋思奇 彭 红 胡 恬
2	小浪底水库异重流排沙效率主要影响因素及敏感性分析	李 涛 蒋思奇 王 婷	李 涛 王 婷 马怀宝 张俊华 蒋思奇 陈书奎 陈孝田 李昆鹏 王 岩 常温花
3	黄河下游河床粗化对河道冲淤的影响	张晓华 李小平 张 敏	张晓华 李小平 张 敏 田世民 郑艳爽 孙赞盈 彭 红 韩巧兰 张防修 侯志军 罗立群 李 萍 张 辛
4	小浪底水库运用以来黄河下游河道冲淤演变及发展趋势	孙赞盈 彭 红 郑艳爽	孙赞盈 李 勇 彭 红 郑艳爽 尚红霞 张 敏 赵 阳
5	小浪底水库运用前后游荡性河段河势变化分析	王卫红 田世民	王卫红 田世民 赖瑞勋 张 敏 孙赞盈 张 辛 尚红霞
6	黄河河口海洋动力及海岸演变特征	王万战 王开荣 茹玉英	王万战 王开荣 于守兵 茹玉英 张防修 王 明 窦身堂 赖瑞勋 樊文玲 赵 阳

前言

根据黄河河情年度咨询第二个五年计划的指导思想,以“新建议、新发现、新解释”为目标,从黄河流域水沙特性、中游水土保持、三门峡库区冲淤演变和潼关高程控制、小浪底库区淤积形态及输沙规律、下游河道河床演变等5个方面,系统跟踪黄河河情变化,并紧密结合黄河治理中心工作,对黄河治理开发与管理的重点和热点问题,开展针对性的咨询研究,为黄河治理决策提供技术支撑。2009年度咨询工作重点围绕异重流排沙主导因素及提高小浪底水库异重流排沙效果的措施、下游河道床沙粗化对冲刷效果影响等内容,有针对性地开展较为系统的研究工作。研究工作中,突出了对问题成因的理论分析,并把数学模型计算作为分析的重要手段,进一步提高了年度咨询成果的实用性和学术水平,得到以下初步认识和建议:

(1)通过小浪底水库拦沙运用及调水调沙,下游河道得到持续冲刷,平滩流量全线恢复到 $4\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 以上,其中艾山以下窄河段冲刷效果也较为明显,基本达到了维持黄河下游河道排洪输沙等基本功能的河槽低限指标。目前,高村—孙口—艾山河段冲刷效果较好,受河口相对有利条件的影响,泇口—利津河段的冲刷稍大于艾山—泇口河段,艾山—泇口河段冲刷效果相对较弱。未来几年艾山附近及艾山—泇口河段将成为平滩流量相对较小的瓶颈河段。建议进一步开展大汶河加水对艾山以下窄河道冲淤影响的研究,探讨提高艾山—泇口河段冲刷效果的可能措施。

(2)由于下游河道持续冲刷引起床沙粗化,冲刷效率有所降低。冲刷效率降低河段主要在高村以上,高村以下河段降低幅度较小。艾山—利津河段冲刷效率降低,主要是大流量出现时间短造成的,床沙粗化对冲刷效率也有一定的影响。

对高村—艾山河段冲刷效率变化的原因分析表明,粗化起到了主要作用,减少85%左右;其次是水力因子变化,减少约45%,而有利的来沙条件可以起到提高冲刷效率的作用,估计增加30%左右。

(3)在现有河道粗化的边界条件下,调水调沙期冲刷量随平均流量的增大而增大, $4\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 流量级全断面冲刷效率最大,不过若增大到 $4\,500\text{ m}^3/\text{s}$,全断面冲刷效率则有所降低,但主槽冲刷效率仍有所提高。建议调水调沙期尽可能增大洪峰平均流量,提高下游主槽冲刷效果。

(4)河道整治工程有效稳定了河势,减小了主槽游荡摆动幅度,2009年河势较1999年的明显趋于规划治导线方向发展,控导工程靠河几率显著提高。但是,部分河段存在着明显的河势下控、下败现象,部分控导工程上首心滩增多、局部河势散乱。

(5)2010年汛前调水调沙期,小库底库区37断面以上库段的冲刷补给沙量少,异重流排沙效果主要取决于潼关水沙过程、小浪底坝前水位等因素。为提高小浪底水库异重流排沙比,建议:①降低小浪底水库异重流排沙对接水位;②维持三门峡水库泄空后 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 以上流量的持续时间;③在三门峡水库水位降低到305~300 m时,适当控制库水位

下降速度,尽可能使出库含沙量趋于均匀,以减少集中排沙期小浪底库区顶坡段(至异重流潜入点)的淤积,增大异重流潜入点附近的含沙量。

(6)小浪底水库主汛期低水位运用情况下,如果潼关流量大于 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 且持续3 d 以上,输沙率大于 50 t/s 能够维持1 d 以上,建议小浪底水库和三门峡水库联合运用,适当延长三门峡水库敞泄时间、增强异重流输移后续动力,在桐树岭监测浑水层,如出现异重流,及时开启排沙洞排沙出库。

另外,通过资料分析和数学模拟手段,在黄河河口海洋动力特征及海岸演变规律等方面也取得了一些新认识。

本报告主要由时明立、姚文艺、李勇、尚红霞、侯素珍、马怀宝、李涛、张晓华、李小平、孙赞盈、王卫红、田世民、王万战、王开荣等完成,其他人员不再一一列出,在此一并表示致谢。工作过程中得到了潘贤娣、赵业安、刘月兰、王德昌、张胜利等前辈的指导和帮助,黄河水利委员会有关部门领导、专家也给予了指导,并提出了不少很有价值的意见和建议,对此深表谢意。

姚文艺负责报告修改和统稿。黄河水利出版社对本报告的出版给予了大力支持,在编排上付出了辛勤劳动,特此一并感谢。

在报告编写过程中,参考了他人以前的不少相关成果,除已列出的参考文献外,还有一些文献未能一一列出,敬请相关作者给予谅解,在此表示歉意和衷心感谢。

黄河水利科学研究院
黄河河情咨询项目组

2011 年 10 月

目 录

前 言

第一部分 综合咨询报告

第一章 2009 年黄河基本河情	(3)
一、流域降水及水沙特点	(3)
二、三门峡水库库区冲淤及潼关高程变化	(10)
三、小浪底水库库区冲淤情况	(13)
四、黄河下游河道冲淤变化	(18)
第二章 专项咨询	(22)
一、小浪底水库排沙主要影响因素分析	(22)
二、下游河道冲刷效率与河床粗化的响应关系	(42)
三、下游河道冲淤演变及发展趋势	(65)
四、下游河势变化特点及成因分析	(79)
五、黄河三角洲海域海洋动力、输沙、海岸演变特征	(88)
第三章 主要认识和建议	(94)
一、主要认识	(94)
二、建议	(96)

第二部分 专题研究报告

第一专题 2009 年黄河河情及近期水沙变化	(99)
第一章 流域降水及水沙特点	(100)
第二章 主要水库运用情况	(107)
第三章 三门峡水库库区冲淤及潼关高程变化	(115)
第四章 小浪底水库库区冲淤变化	(125)
第五章 黄河下游河道冲淤演变	(133)
第六章 2000 ~ 2009 年水沙变化特点	(141)
第七章 主要认识及建议	(152)
第二专题 小浪底水库异重流排沙效率主要影响因素及敏感性分析	(154)
第一章 小浪底水库运用概况	(155)
第二章 异重流排沙量计算	(159)
第三章 异重流排沙影响因子分析	(161)
第四章 提高小浪底水库异重流排沙比的建议	(179)
第五章 主要认识及建议	(183)

第三专题 黄河下游河床粗化对河道冲淤的影响	(185)
第一章 泥沙级配及断面形态调整特点	(186)
第二章 河道冲刷效率变化特点	(198)
第三章 河床粗化机理及冲刷机理分析	(213)
第四章 边界条件变化对河道冲刷效率的影响	(233)
第五章 黄河下游冲刷发展模式	(246)
第六章 主要认识	(256)
第四专题 小浪底水库运用以来黄河下游河道冲淤演变及发展趋势	(258)
第一章 进入下游的水沙条件	(259)
第二章 下游河道排洪能力变化	(268)
第三章 冲淤时空变化	(274)
第四章 主槽横向变化	(279)
第五章 下游河道冲刷发展趋势分析	(284)
第六章 主要认识	(294)
第五专题 小浪底水库运用前后游荡性河段河势变化分析	(295)
第一章 黄河下游基本情况	(296)
第二章 水沙变化特点	(298)
第三章 小浪底水库运用前后游荡性河段河势变化特点	(300)
第四章 河势变化成因分析	(308)
第五章 畸形河湾成因分析	(312)
第六章 主要认识与建议	(315)
第六专题 黄河河口海洋动力及海岸演变特征	(316)
第一章 现行入海流路溯源影响分析	(317)
第二章 三角洲海域海洋动力特征与海岸演变规律	(323)
第三章 初步认识	(341)
参考文献	(342)

第一部分 综合咨询报告

第一章 2009 年黄河基本河情

一、流域降水及水沙特点

(一) 降水特点

2009 年(指日历年)黄河流域年降水量 420 mm(不含内流区),与 1956~2000 年均值 456.9 mm 相比偏少 8%,其中汛期(7~10 月)降雨量 269 mm,偏少 7%。降雨量主汛期(7~8 月)占全年的 46%,与多年同期均值基本持平。

与多年均值相比,汛期降雨区域分布不均,主要产水区兰州以上偏少 6%,主要来沙区山陕区间(山西、陕西区间)偏多 21%(见图 1-1),其中主汛期偏多 24%。图 1-1 中兰托区间系指兰州—托克托区间,泾渭河指泾河、渭河,龙三干流指龙门—三门峡区间干流,三小区间指三门峡—小浪底区间,小花干流指小浪底—花园口区间干流。

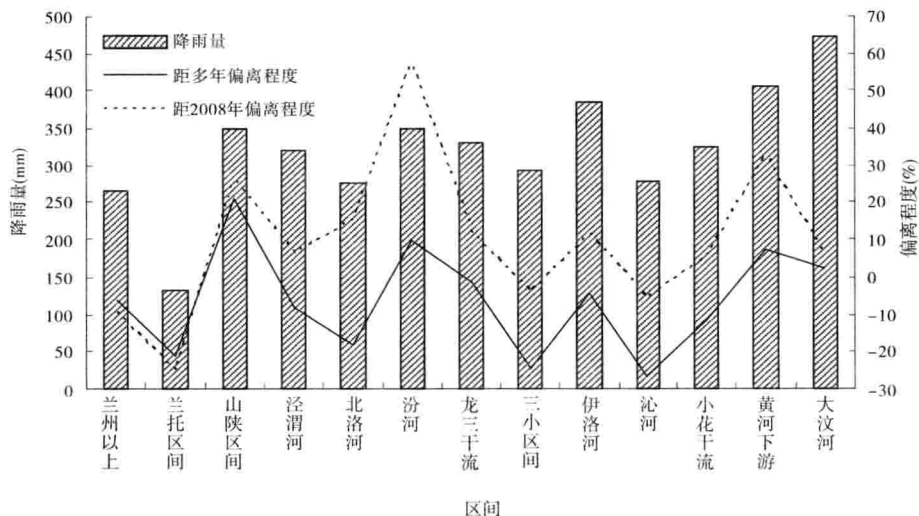


图 1-1 2009 年汛期黄河流域不同区间降雨量

(二) 水沙特点

1. 径流特点

2009 年(运用年,指 2008 年 11 月至 2009 年 10 月)干流主要控制站唐乃亥、头道拐、龙门、潼关、花园口和利津站年水量分别为 258.15 亿 m^3 、170.43 亿 m^3 、181.47 亿 m^3 、208.43 亿 m^3 、230.52 亿 m^3 和 128.24 亿 m^3 ,与长系列相应控制站均值 203.8 亿 m^3 、227.37 亿 m^3 、280.83 亿 m^3 、364.68 亿 m^3 、403.59 亿 m^3 和 331.18 亿 m^3 相比,只有唐乃亥偏多 27%,其他各站偏少程度基本从上至下逐渐增加,从头道拐的 25% 增加到利津的 61%;汛期变化规律同全年的基本一致,唐乃亥增加 31%,其他各站减幅高于全年,从兰州的 29% 增加到利津的 68%(见图 1-2)。支流主要控制站华县(渭河)、河津(汾河)、淤

头(北洛河)、黑石关(伊洛河)、武陟(沁河)来水量分别为 39.99 亿 m^3 、3.44 亿 m^3 、2.07 亿 m^3 、12.68 亿 m^3 、0.79 亿 m^3 , 分别较多年均值 70.08 亿 m^3 、11.31 亿 m^3 、6.98 亿 m^3 、27.91 亿 m^3 、8.96 亿 m^3 偏少 43%、70%、70%、55%、91%; 汛期减幅与全年相差不大。

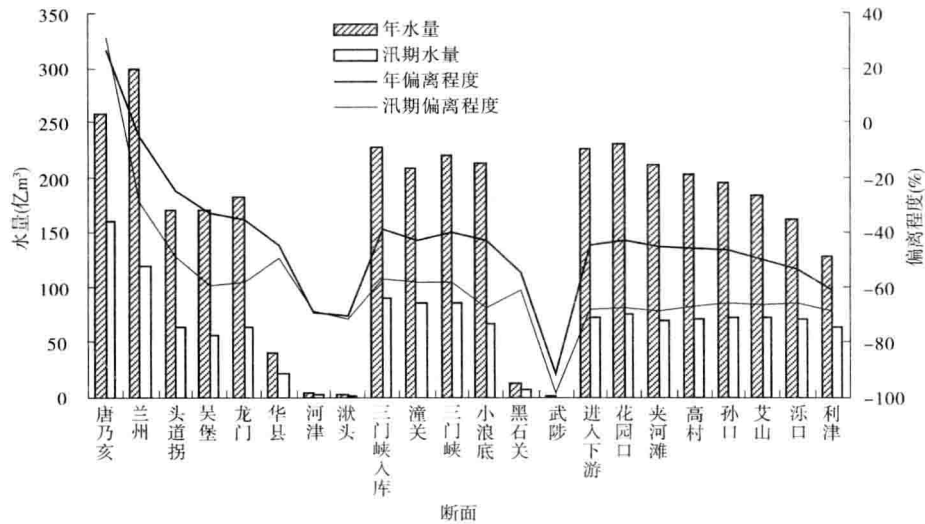


图 1-2 2009 年主要干流水文断面实测水量

全年无较大洪水过程(见图 1-3)。唐乃亥最大洪峰流量 2 370 m^3/s , 兰州最大洪峰流量仅 1 780 m^3/s 。秋汛期潼关出现全年最大洪峰流量 2 370 m^3/s 。头道拐、吴堡、龙门最大流量出现在凌汛期及优化桃汛洪水降低潼关高程试验期, 洪峰流量分别为 1 410 m^3/s 、2 700 m^3/s 、2 750 m^3/s ; 三门峡以下最大流量出现在调水调沙期间, 三门峡、小浪底、花园口和利津的洪峰流量分别为 4 460 m^3/s 、4 180 m^3/s 、4 190 m^3/s 和 3 730 m^3/s 。

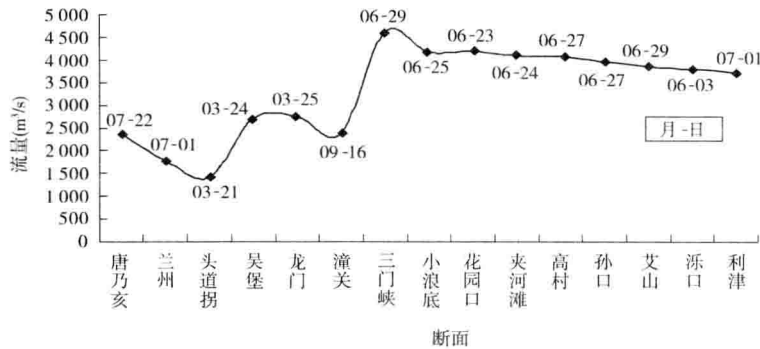


图 1-3 2009 年干流典型水文断面最大流量及发生时间

花园口和利津在汛前调水调沙期分别出现 11 d 和 9 d 日均 3 000 m^3/s 以上的流量过程(见表 1-1); 1 000 m^3/s 以下流量历时占据全年大部分时间, 唐乃亥、兰州占全年的比例分别为 62% 和 47%, 中游各站达到 80% 以上, 下游超过 90%, 利津达到 96%。

表 1-1 2009 年度干流主要站各流量级出现天数

(单位:d)

流量级(m^3/s)	唐乃亥	兰州	头道拐	龙门	潼关	花园口	利津
<1 000	227	173	305	318	303	329	350
1 000 ~ 2 000	129	192	60	45	60	22	3
2 000 ~ 3 000	9	0	0	2	2	3	3
$\geq 3 000$	0	0	0	0	0	11	9

2. 泥沙特点

龙门和潼关输沙量继 2008 年又一次出现历史最小值,分别为 0.579 亿 t、1.133 亿 t,仅为 1956 ~ 2000 年长系列均值 8.219 亿 t、11.878 亿 t 的 7% 和 10% (见图 1-4)。支流主要控制站华县(渭河)、湫头(北洛河)以及河口镇—龙门(简称河龙区间)年沙量分别为 0.603 亿 t、0.009 亿 t 和 0.539 亿 t,较 1956 ~ 2000 年长系列均值分别偏少 83%、99% 和 93%。

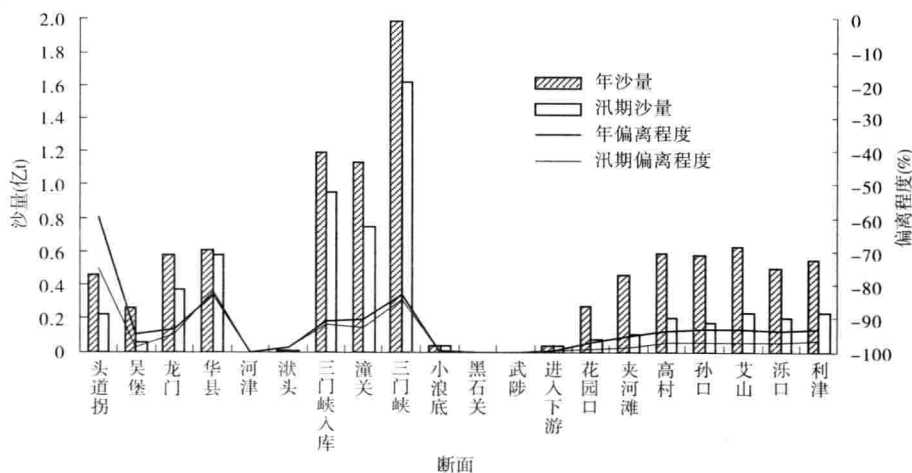


图 1-4 2009 年主要干支流水文断面实测沙量

(三) 水库运用特点

截至 2009 年 11 月 1 日,黄河流域 8 座主要水库蓄水总量 305.15 亿 m^3 (见表 1-2),与 2008 年同期相比,蓄水总量增加 44.86 亿 m^3 ,其中龙羊峡水库增加 44.00 亿 m^3 ,占全年蓄水增量的 98%,水库蓄水量达到 224.00 亿 m^3 ,水位达到 2 593.77 m。非汛期 8 座水库共补水 73.74 亿 m^3 ,汛期增加蓄水 118.60 亿 m^3 ,其中龙羊峡、小浪底水库汛期蓄水量分别增加 88.00 亿 m^3 和 18.20 亿 m^3 ,分别占汛期蓄水总量的 74% 和 15%。

唐乃亥以上的河源区是兰州水量的来源,多年平均而言,全年和汛期的天然径流量都占到兰州站的 60% 左右,同时,两站径流量基本丰枯同频率。龙羊峡水库和刘家峡水库修建后调节年内径流过程,改变了汛期唐乃亥和兰州径流量的对应关系 (见图 1-5)。1968 ~ 1986 年,刘家峡水库单库调节,汛期水库蓄水量稳定在 20 亿 ~ 30 亿 m^3 ,因唐乃亥

来水量变化不大,汛期兰州水量与唐乃亥水量的关系虽然较水库运用前稍有降低,但基本上仍是丰枯同频率。1986~2009年,龙羊峡水库和刘家峡水库(简称龙刘水库)联合调节,汛期两库蓄水量随唐乃亥水量增大而增大,汛期出库流量基本按兴利要求下泄,无论来水多少,龙羊峡水库出库流量一般不足 $800\text{ m}^3/\text{s}$,兰州汛期水量也基本稳定在80亿~140亿 m^3 。2009年唐乃亥汛期径流量158.6亿 m^3 ,属偏丰年份,但兰州汛期水量也只有117.9亿 m^3 。与唐乃亥同水量条件下,刘家峡水库单独运用,兰州相应水量可达到200亿 m^3 ,1968年前约为260亿 m^3 。

表 1-2 2009 年主要水库蓄水情况

水库	2009 年 11 月 1 日		非汛期蓄水 变量(亿 m^3)	汛期蓄水 变量(亿 m^3)	主汛期蓄水 变量(亿 m^3)	年蓄水 变量(亿 m^3)
	水位(m)	蓄水量(亿 m^3)				
龙羊峡	2 593.77	224.00	-44.00	88.00	50.00	44.00
刘家峡	1 723.42	26.40	-4.00	3.80	6.20	-0.20
万家寨	975.24	4.08	-2.71	1.95	1.30	-0.76
三门峡	317.75	3.65	-3.40	3.65	0	0.25
小浪底	240.63	33.00	-19.60	18.20	2.60	-1.40
陆浑	313.37	4.38	0.10	1.30	0.84	1.40
故县	530.05	5.60	-0.13	1.24	0.55	1.11
东平湖	42.14	4.04	0	0.46	0.19	0.46
合计		305.15	-73.74	118.60	61.68	44.86

注：-为水库补水。

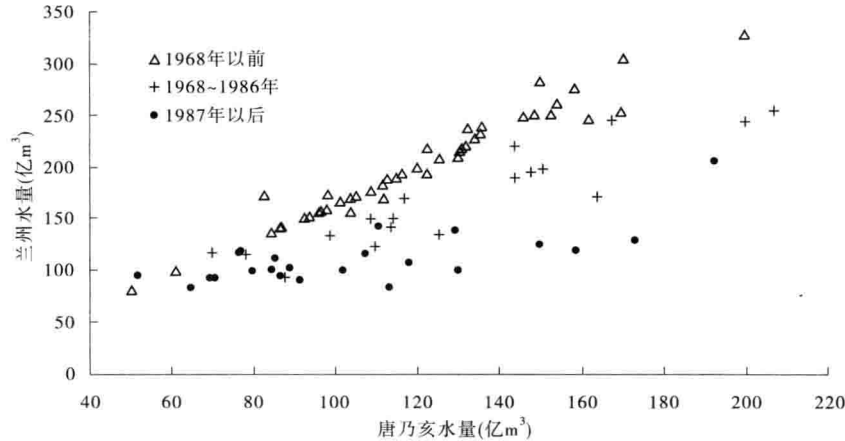


图 1-5 汛期兰州水量与唐乃亥水量关系

由于水库拦蓄大流量过程,水库下游大流量历时缩短,兰州汛期 $1\,500\text{ m}^3/\text{s}$ 历时从1968年以前的年均85.6 d减少到1968~1986年的49.2 d,再减少到1987年后的8.1 d。唐乃亥1987年后汛期还有比较大的洪峰流量,最大 $4\,840\text{ m}^3/\text{s}$,而兰州汛期基本上没有较大洪水,最大流量除1989年的 $3\,530\text{ m}^3/\text{s}$,其余年份均在 $3\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 以下(见图1-6)。

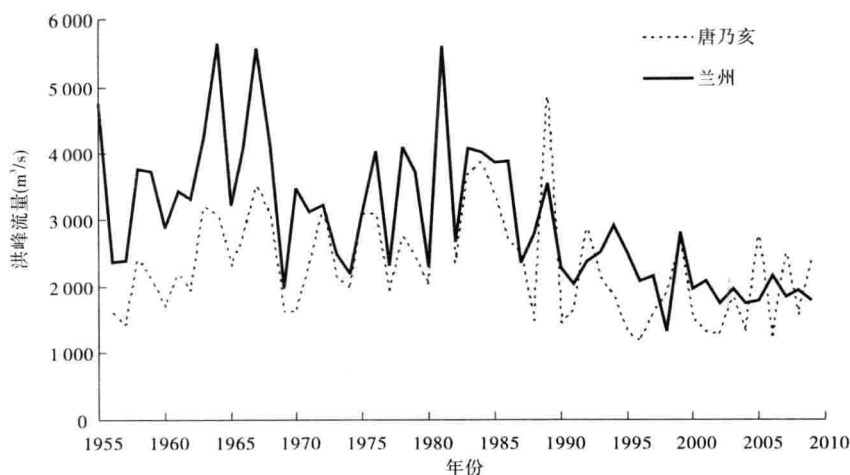


图 1-6 唐乃亥和兰州历年最大洪峰流量过程

2005 年是龙刘水库汛期蓄水最多的一年,达到 120.6 亿 m^3 。由图 1-7 可见,唐乃亥从 6 月即开始涨水,到 10 月底有两次日均洪峰流量在 $2500 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上,最大日均流量 $2720 \text{ m}^3/\text{s}$,汛期 $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上历时达到 121 d,相应水量 171.2 亿 m^3 ,分别占到汛期总数的 98% 和 99%;两场洪水均被龙羊峡水库削减,相应最大洪峰的削峰率达到 83%,形成出库最大流量仅 $1080 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上历时仅 2 d、相应水量 1.8 亿 m^3 的小水过程。2009 年龙羊峡水库同样削减了 5 次洪峰流量超过 $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ 的洪水过程,日均流量基本上在 $800 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下,见图 1-8。

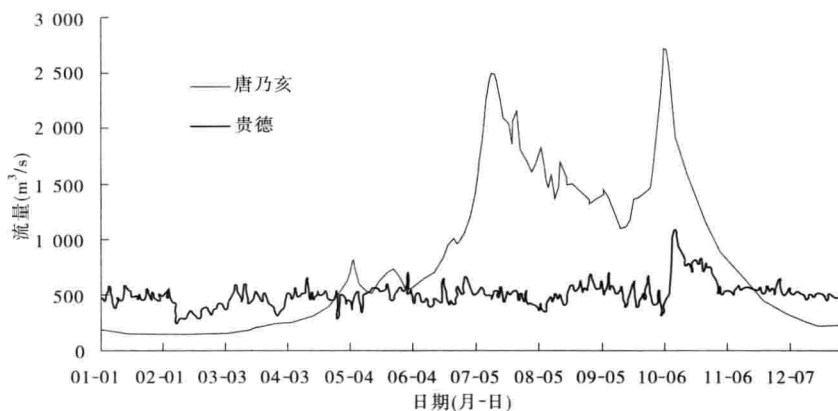


图 1-7 龙羊峡水库 2005 年进出库流量过程

由此可见,由于龙刘水库的调节能力较大,在现有的运用方式下,除非出现连续的丰水年份,上游河道汛期难以再出现较大的径流和流量过程。

(四) 河龙区间水沙关系变化

河龙区间是黄河泥沙尤其是粗泥沙的主要来源区。2006 ~ 2009 年汛期降雨基本为平、丰年份,但是水沙量持续偏少,沙量出现了历史最小值(见图 1-9)。2009 年较典型时

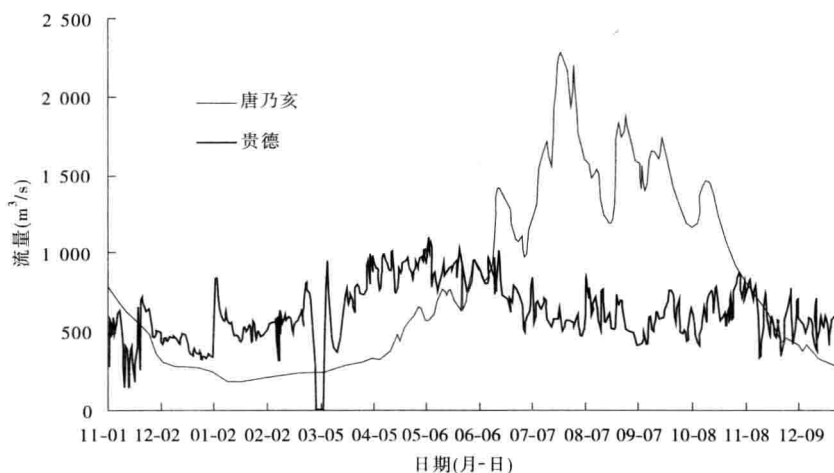


图 1-8 龙羊峡水库 2009 年进出库流量过程

段(见表 1-3),汛期、主汛期降雨量分别偏多 19% 和 25%,而实测水量则分别偏少 66% 和 83%,实测沙量偏少更多,达到 94% 和 95%。

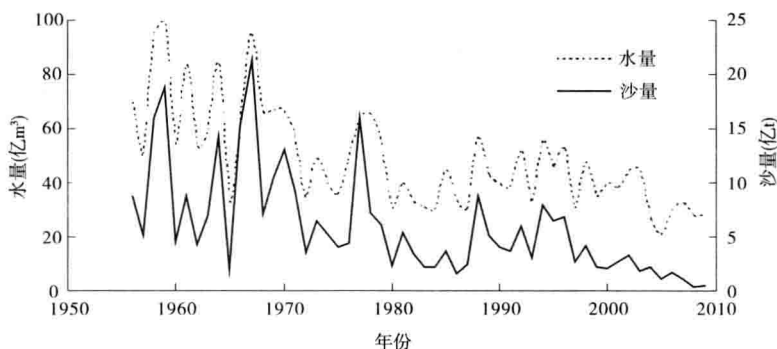


图 1-9 河龙区间实测水沙量历年过程

表 1-3 2009 年汛期河龙区间降雨和水沙变化

时段	水沙特征值	1956 ~ 2000 年	2001 ~ 2009 年	2009 年	
				总量	与长系列相比变幅(%)
汛期	降雨量(mm)	294	306.3	350	19
	水量(亿 m³)	26.99	16.39	9.15	-66
	沙量(亿 t)	6.044	1.311	0.375	-94
主汛期	降雨量(mm)	208.7	189.0	260	25
	水量(亿 m³)	17.29	7.95	2.92	-83
	沙量(亿 t)	5.225	1.039	0.275	-95

注:1998 年后水沙量为河曲与龙门差值,未考虑引水引沙。

根据河龙区间主汛期降雨量与径流量关系进行分析(见图 1-10),径流量随着降雨量