

HUANGHE SHUI SHA BIANHUA YANJIU

水利部黄河水沙变化研究基金会项目

黄河水沙 变化研究

第二卷

汪岗 范昭 主编

黄河水利出版社

水利部黄河水沙变化研究基金会项目

黄河水沙变化研究

第二卷

汪 岗 范 昭 主编

黄河水利出版社

图书在版编目(CIP)数据

黄河水沙变化研究. 第2卷/汪岗, 范昭主编. — 郑州: 黄河水利出版社, 2002. 9

ISBN 7-80621-570-0

I. 黄… II. ①汪…②范… III. ①黄河-含沙水流-变化-研究 ②黄河-泥沙-变化-研究 IV. TV152

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 031051 号

出版社: 黄河水利出版社

地址: 河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码: 450003

发行单位: 黄河水利出版社

发行部电话及传真: 0371-6022620

E-mail: yrcp@public2.zy.ha.cn

承印单位: 河南第二新华印刷厂

开本: 880mm × 1 230mm 1/16

印张: 36.375

字数: 1 152 千字

印数: 1~1 000

版次: 2002 年 9 月第 1 版

印次: 2002 年 9 月第 1 次印刷

书号: ISBN 7-80621-570-0/TV·276

定价: 92.00 元

黄河水沙变化研究基金(二期)管理委员会名单

主 任:沈国衣(1996 年之前)

董哲仁(1996 年之后)

副主任:焦居仁 董保华 谭 颖

委 员:祁建华 李仰斌 王正秋 吴守信

周祖光 于德广 赵金瑛 杨小庆

陈霁巍

黄河水沙变化研究基金(二期)专家委员会名单

主 任:徐乾清

副主任:戴定忠 钱意颖 徐明权

委 员:张启舜 张 仁 赵业安 汪习军

吕光圻 高健翎 李贵启 蒋定生

万兆惠 王兆印

黄河水沙变化研究基金会(二期)办公室组成名单

主 任:杨小庆

副主任:陈霁巍 汪 岗 范 昭

目 录

黄河水沙变化及其影响的综合分析报告	水利部黄河水沙变化研究基金会(1)
黄河水沙特性变化综合分析	潘贤娣 董雪娜 李勇 等(107)
龙羊峡、刘家峡水库调节和灌溉引水对头道拐水沙变化的影响	赵文林 侯素珍 王玲(175)
河龙区间水土保持措施减水减沙作用分析	冉大川 柳林旺 赵力仪 等(198)
不同降雨条件下河口镇至龙门区间水利水保工程减水减沙作用分析	李雪梅 徐建华 王国庆 等(261)
黄河中游河口镇至潼关地区水利水土保持工程对洪水的影响	钱意颖 徐明权 戴明英 等(305)
皇甫川流域水沙变化现状和发展趋势研究	韩学士 王正文 赵昕 等(341)
无定河流域水沙变化现状、成因及发展趋势的研究	张经济 冀文慧 冯晓东(393)
汾河流域水沙变化现状和发展趋势的研究	贾汉彭 武晓林 姚金刚 等(430)
北洛河流域水土保持措施减水减沙作用分析	刘斌 冉大川 罗全华 等(462)
泾河流域水土保持措施减水减沙作用分析	冉大川 刘斌 罗全华 等(494)
渭河流域水土保持措施减水减沙作用分析	王宏 马勇 赵俊侠 等(531)

黄河水沙变化及其影响的综合分析报告*

水利部黄河水沙变化研究基金会

自 20 世纪 80 年代中期,黄河流域水沙变化已引起有关领导和专家的关注,认识到黄河水沙变化的趋势将改变黄河的某些特性,对黄河水资源开发利用和防洪等将带来新情况和新问题,急需有组织地进行全面研究。在前水电部部长钱正英倡导和部科技司支持下,成立了黄河水沙变化研究基金会,从 1988 年开始组织全国泥沙和水土保持研究单位、高等院校,以及流域、省(区)的主管部门的专家和科技人员进行专题研究。其总目标是:深入分析黄河水沙变化的历史和现状,寻求从流域产沙到河道输沙全过程的客观规律,论证今后水沙变化的发展趋势和探讨减少入黄泥沙的途径,为治理黄河的宏观决策提供科学依据。

第一期(1988~1992 年)研究,以搞清黄河水沙变化的历史和现状为主,围绕上中游各主要支流水沙变化及其成因进行分析,重点是流域面上小型水利工程和水土保持措施对入黄水沙变化的影响,同时也开展相应的计算方法的探讨。在黄河水沙变化研究基金委员会的指导和科研人员的刻苦钻研下,取得了丰硕的研究成果,提出了《黄河水沙变化及其影响的综合分析报告》,8 篇分片汇总报告和专题报告,以及 51 篇课题研究报告,刊印成 5 卷论文集进行交流。与此同时,国家自然科学基金“黄河流域侵蚀产沙规律及水保减沙效益分析”(以下简称“自然基金”)和黄河水利委员会水土保持科研基金“黄河中游多沙粗沙区水利水保措施减水减沙效益及水沙变化趋势研究”(以下简称“水保基金”)也开展了类似的研究。紧接着,国家“八五”重点攻关项目“黄河中游多沙粗沙区水土保持措施减水减沙效益研究”(以下简称“八五攻关”)、黄河上中游管理局“黄河中游河口镇—龙门区间水土保持措施减水减沙效益研究”(以下简称“中游局重点课题”)进行了第二轮的研究。上述五大项目的研究都取得了重大进展,提出了比较完整、系统的研究成果。但由于黄河水沙变化的原因非常复杂,涉及面广,影响的因素多,加上基本资料欠缺,从事研究的人员认识问题角度也不同,虽然在定性的认识上基本一致,但在定量上尚有差异,有的差距甚至很大。

黄河水沙变化研究有一个跟踪研究的任务,上述五大研究项目都把研究时段截止到 1989 年,但自 1990 年以来,随着国家对生态环境保护的重视,流域面上的水利水保工程又有了较大的发展,特别在干流龙羊峡水库投入运用后,中下游来水来沙发生了很大变化,黄河下游出现连年断流,河道主槽淤积严重,中常洪水位超过历史最高水位,河道泄洪能力衰减,增加了防洪抢险的难度,对水沙变化研究提出了更高的要求。例如:水利水保工程对不同强度暴雨的减水减沙作用,不同治理程度的支流在大暴雨条件下的减洪减沙作用,大型水利工程调蓄对径流泥沙在年际、年内分配及其对防洪、防凌和水资源利用的影响等。

有鉴于此,水利部决定自 1995 年开始开展黄河水沙变化的第二期研究工作。

经多方征求意见,结合研究经费的可能支出,在适当的范围内研究流域面上的水利水保工程减水减沙的同时,重点安排了各方面比较关心的研究课题。水利水保措施减水减沙研究重点在河口镇至潼关区间的中游地区,即包括河口镇—龙门区间(以下简称河龙区间)和泾、洛、渭、汾河流域,资料收集的截止时间要求一般到 1996 年,有条件的争取延长,力求取得 90 年代以来最新的水沙变化分析成果;强调基本资料的核实,特别是降雨资料和水水土保持措施保存面积的核实。

除研究大面积减水减沙作用外,还对一些影响较大的或不同治理度的支流进行重点研究,以深入剖析不同类型的支流水沙变化各自的影响。

* 执笔人:徐明权、钱意顺。

重点安排了不同降雨强度条件下水利水保工程减水减沙作用分析,以及黄河水沙变化的综合分析,包括对洪峰、洪量和洪沙的影响等,具体安排的研究课题如表1所示。本报告是在上述课题研究成果汇总基础上的分析成果。

表1 黄河水沙变化研究基金第二期研究课题一览表

研究课题名称	研究单位	负责人
龙羊峡、刘家峡水库调节和灌溉引水对头道拐水沙变化的影响	黄河水利科学研究院 黄河水利委员会水文局	赵文林、王玲、侯素珍
河龙区间水土保持措施减水减沙效益分析	黄河水利委员会黄河上中游管理局	于德广、冉大川、柳林旺、赵力毅
汾河流域水沙变化现状和发展趋势的研究	山西省水利厅水土保持局	贾汉彭
无定河、延河流域水沙变化现状、成因及发展趋势的研究	陕西省水土保持勘测规划研究所	张孝中 张经济
皇甫川流域水沙变化现状和发展趋势的研究	内蒙古伊克昭盟水土保持办公室	韩学士
不同降雨条件下河龙区间水利水保工程减水减沙效益分析	黄河水利委员会水文局 黄河水利科学研究院	徐建华、戴明英、李雪梅
黄河水沙特性变化综合分析	黄河水利科学研究院 黄河水利委员会水文局	李勇、董雪娜、潘贵娣
黄河中游河口镇到潼关地区水利水保工程对洪水的影响	黄河水利科学研究院 国际泥沙研究培训中心	钱意颖、徐明权
渭河、泾河、北洛河水水土保持措施减水减沙效益分析	黄河水利委员会黄河上中游管理局	冉大川、刘斌、王宏

各课题的研究,取得了很大的成绩,归纳为以下几点:

(1)对1990~1996年水利水保减水减沙提出了新成果,并进行了成因分析。综合分析过去研究水沙变化的主要成果,检验本基金委员会两次计算成果的合理性,推荐黄河水沙变化的计算成果,得到一些水利水保工程对减水减沙作用的认识。如:1960年7月至1997年6月,五站(龙门、河津、张家山、猓头和咸阳)年均减水158.5亿 m^3 ,减沙4.51亿t,分别占还原天然量的30.0%和26.7%,其中,水利工程引起的减水、减沙量分别为149.3亿 m^3 和2.17亿t,分别占减水、减沙总量的94.2%和48.0%;水土保持引起的减水、减沙量分别为9.68亿 m^3 和2.75亿t,分别占总减水、减沙量的6.1%和61.0%。另外,初步揭示了水沙变化对冲积河流的调整影响,不能简单地认为减水、减沙对河道演变就是有益的,要具体研究水沙变化对冲积河流的调整是改善,还是恶化。初步揭示了流域产沙与断面输沙量的区别,因为水沙变化引起冲积河道的冲淤变化是相当大的。对过去河口镇减沙量的不同认识提出了较好的解释。并提出了以50、60年代为基准年,1970~1996年五站水利水保工程年均减沙量为3.075亿t。

(2)从河流学和河床演变学出发分析,黄河中游干流主要水文站的水沙变化反映出1500 m^3/s 以下小流量级的历时和输沙量增大,水流输沙能力降低,这是造成河道萎缩、主槽淤积的主要原因。通过对典型支流的分析,发现汾河、无定河等支流的降雨-径流关系发生明显的变化,丰汛期在同等降雨条件下径流有所减少,而窟野河、皇甫川、孤山川等支流未见明显减少,一旦遇到强暴雨,仍有可能发生高含沙洪水。

1986年以来,干支流泥沙粒径有随着输沙总量的减少而粒径变细的趋势。但粗沙比例随着来沙量增大而增多的组成规律无明显的趋向性变化,大暴雨时期泥沙粒径变粗的机遇仍存在。

(3)首次提出了黄河中游水利水保工程对洪水的定性分析。通过实测的32次洪峰流量超过10000 m^3/s 的洪水资料分析,发现河口镇至吴堡区间出现洪峰流量的频率最高。目前无定河、三川河的治疗情况较好,洪水有明显的减少,佳芦河和清涧河有一定减少,而窟野河等大多数支流则无明显影响。

(4)对基本资料进行了广泛收集、比较分析、插补延长和调查落实。降雨和水利水保措施量是研究水

沙变化的两项基本资料 50、60 年代雨量站、降雨资料少、代表性差,后来雨量站增多、代表性好,为此对过去的资料进行了插补展延,将基准时段和水土沙变化时段降雨资料的精度尽量取得一致。水土保持措施量在收集各方面的统计资料的基础上,采用红外航片判读和典型调查相结合等办法,落实了各年代末的水土保持措施保存面积。

(5)计算方法的创新和改进。充分利用黄河中游地区径流小区的实测资料,结合水土流失规律,改进和补充完善“以洪算沙”和“传统的成因分析”水土保持措施减水减沙计算方法,比较全面地反映了降雨对产流、产沙的影响及各种水土保持措施的数量和质量对蓄水拦沙的作用,两种方法平行计算,互相检验,提高计算成果的质量。考虑到黄河中游降水和下垫面的特点,提出了“分布式”计算产流产沙模型,可以计算水土保持措施对暴雨、洪水的影响。此外,将水土保持蓄水拦沙的作用转变为“降雨的附加损失”,把过去的“水文法”和“水保法”结合起来进行尝试,提出了研究新问题的新方法。反映在计算结果上比较合理。

第二期研究工作,也存在一些不足,对上游的水土保持措施的减水减沙,特别是清水河、祖厉河的情况没有安排研究项目。典型支流在现状治理条件下,大暴雨时可能发生的入黄泥沙定量成果尚待实践的检验。计算方法虽有改进和提高,但其精度距生产的要求尚有相当大的距离。对预报今后黄河水土沙变化的发展趋势也因许多不确定因素和预报手段的不足而未能提出比较可信的数据。

本报告初稿完成后,曾以简要报告请有关主管机构领导和专家审议,并收到水利部、黄河水利委员会等有关机构和专家的书面审查意见,对此,基金会表示衷心的感谢。报告经修改后,由基金会技术委员会主任徐乾清院士和戴定忠副主任审查定稿。

1 90 年代黄河水土沙变化的新情况

1.1 黄河上中游治理开发概况

黄河上游龙羊峡水库自 1986 年蓄水运用后,经过三年的初期运用,至 1989 年 11 月底蓄水 160 亿 m^3 。进入 90 年代后逐步转入正常运用,与刘家峡水库联合调度,一般每年 6~10 月拦洪蓄水,11 月至次年 5 月向下游补水,满足发电和下游灌溉用水需求,从而改变了中下游径流在年上和年际的分配。中游万家寨水库于 1998 年 10 月投入运用,第一期设计引黄河水 6 亿 m^3 ,近期可引水约 3 亿 m^3 ,以缓解山西省太原市周围工业和城镇生活用水的需求。小浪底水库于 2000 年投入初期运用,将对黄河下游防洪形势、河道演变和水土沙关系发生巨大的变化。

90 年代黄河中游水土保持工程持续发展,截至 1996 年累积治理面积达 16 万 km^2 。黄河流域被列入国家重点治理区的无定河、皇甫川、三川河和定西县完成了第二期第一阶段(1993~1997 年)的治理目标,无定河流域重点治理小流域 252 条,5 年完成治理面积 4 460.73 km^2 ;皇甫川治理小流域 32 条,5 年完成治理面积 580.7 km^2 。1994 年接受世界银行贷款约 13 亿元,计划 8 年(1993~2001 年)在黄河中游 9 条支流约 15 600 km^2 范围内开展治理,治理水土流失面积 5 473 km^2 。截至 1996 年,一期工程已完成治理面积 1 500 km^2 。陕西省项目区累计完成各类治理措施面积 739.17 km^2 ,其中新修梯田 12 198 hm^2 ,建设淤地坝 380 座,可淤地 626 hm^2 ,新增水地 325 hm^2 ,乔木林 20 511 hm^2 ,果园 8 502 hm^2 ,人工种草 14 947 hm^2 ,修建骨干坝 16 座。

进入 90 年代后,随着农村经济改革的发展和体制的转变,相继推行了租赁、联产承包、股份合作、拍卖“四荒”使用权等新举措,把土地使用权通过合同形式真正交给群众,进一步调动了全社会治山治水、脱贫致富的积极性,使黄河流域水土保持工作充满了生机和活力。

在本次研究中,收集了历年的统计上报资料、1989 年国家土地管理部门的土地详查资料、1996 年的土地面积变更调查资料、淤地坝普查资料以及世行贷款项目实施情况报告等。研究组还采用“等距抽样法”进行调查核实。其中,河龙区间截至 1996 年水土保持措施保存面积如表 2。

表 2

河口镇—龙门区间截至 1996 年水土保持措施保存面积

(单位:万 hm^2)

截至年份	合 计	梯 田	造 林	种 草	坝 地
1959	22.292	3.313	15.127	3.574	0.278
1969	51.175	11.577	34.234	3.827	1.537
1979	125.630	23.052	88.182	10.449	3.947
1989	259.876	34.482	198.617	21.145	5.632
1996	333.222	45.589	253.734	24.082	6.817

90 年代以来,各省(区)广泛开展了雨水工程,以解决人畜饮水和发展庭院式种植经济。甘肃省的“121 工程”(即每户修造 100m^2 雨水集流场,建 2 口水窖,发展 1 亩庭院经济)、陕西的“甘露工程”、宁夏的“集水微灌工程”和山西的“山地微灌”与“径流水保林工程”等,都取得了显著的成绩。

90 年代河龙区间水土保持治理的特点如下:

(1)在治理进度上点面差距增大。国家重点治理区平均年治理进度 5.5%,是黄河中游地区面上治理进度的 3.9 倍。调查发现,黄土高原世界银行贷款项目,联合国粮食计划署援助的“3923”项目和国家重点项目等均采取集中连片、规模治理,以点带面、整体推进的模式,起到了积极的示范和推动作用,产生了一定的辐射效应。但由于受地方投资力度的限制,经费集中使用,面上的治理速度相对迟缓,治理进度不足 1%。

(2)林草措施治理面积的比重增大。国家重点治理区林草的治理面积占总治理面积的比例达 83%。陕北片重点小流域林草的治理面积的比例也达 86%,但由于造林种草时在选择树种、立地条件等方面不能因地制宜,致使林草成活率较低,保存率更低,治理后经验收,林草保存率均很低。据报道,府谷县坪墩流域麻镇乡 1986 年填图验收时,林地、草地的面积分别为 830hm^2 和 271hm^2 ,但在 3 年后土地详查时分别保存仅 278hm^2 和 88.5hm^2 ,保存率为 33.47% 和 32.6%。

(3)淤地坝建设相对迟缓。基本农田建设中,坝地是建设高产稳产基本农田的重要组成部分,并能起到抬高侵蚀基点、减轻沟蚀的作用,是减少入黄泥沙的主要措施。但进入 90 年代后,由于各方面的原因,新建淤地坝数量较少。根据陕西省水土保持局的统计,截至 1993 年,陕北地区共建淤地坝 31 924 座,其中 95% 以上是 70 年代以前修建的,加上库容淤损率达 77%,病险坝占 75.5%,洪水期水毁严重。值得有关方面的重视。

1.2 黄河上中游水沙变化概述

1.2.1 上游径流泥沙变化

黄河上游兰州以上多年平均(1919~1988 年)降雨量 488.5mm ,兰州—河口镇区间 267mm ,地区分布差异很大,玛曲水文站多年平均降雨量为 610mm ,而降雨最少的内蒙古杭锦旗仅 150mm 。黄河上游径流主要来自唐乃亥以上 12.2万 km^2 的流域面积上,实测多年平均径流量 217.1亿 m^3 (1956~1989 年),占河口镇径流量的 86%。而上游沙量则主要来自循化站以下的黄土高原地区,支流祖厉河和清水河年径流量仅 2.31亿 m^3 ,而输沙量达 0.8亿 t ,分别占河口镇水沙量的 0.92% 和 54.2%。所以,黄河上游像整个黄河流域一样具有水沙异源的特点。此外,黄河上游降雨在时间分布上也集中在汛期 7~10 月内,但往往形成持续阴雨天气,雨区面积大,历时长、强度小,降雨形成的洪峰是矮胖型,峰低而量大。但在内蒙古段两岸,例如内蒙古十大孔兑附近则经常出现短历时暴雨,产生峰高量小的含沙水流,严重时(1989 年)可短期淤堵人黄口附近黄河干流河道,造成包头市局部河段的洪灾。但其多年平均量相对不大,不影响黄河上游水沙变化总体特征。在年际变化上,自 1919 年以后的 60 年系列中,兰州以上曾出现两个连续枯水年段。第一个枯水年段为 1922~1932 年,另一个枯水年段为 1969~1974 年。自进入 90 年代以后,黄河上游又出现了第三个连续枯水年段,这对黄河总水沙量变化将产生巨大的影响。

表 3 列举了上游三站实测年均匀水沙量统计。唐乃亥以上流域受人类活动影响较小,基本上可代表天然径流量的变化,1956 年设站以来至 1989 年,多年平均径流量为 217亿 m^3 ,其中汛期 132.53亿 m^3 ,占 61%。但自进入 90 年代以后,1990~1997 年 8 年的平均年径流量 167.3亿 m^3 ,为多年平均值的 77%,减

少了 50 亿 m^3 , 属于枯水年系列。其中汛期流量 91.5 亿 m^3 , 为多年汛期平均值的 70%, 属于特枯系列。

表 3 黄河上游各主要站实测年均水沙量

站 名	时 间 (年)	汛 期 水 量 (亿 m^3)	全 年 水 量 (亿 m^3)	汛 期 沙 量 (亿 t)	全 年 沙 量 (亿 t)
唐 乃 亥	1956 ~ 1959	110.69	183.97		
	1960 ~ 1969	135.92	217.87	0.101	0.125
	1970 ~ 1979	121.86	203.30	0.095	0.122
	1980 ~ 1989	148.55	243.16	0.130	0.20
	1990 ~ 1997	91.5	167.3		
	1956 ~ 1989	132.53	217.03		
兰 州	1952 ~ 1959	184.4	306.8	1.170	1.355
	1960 ~ 1969	216.5	357.9	0.835	0.996
	1970 ~ 1979	163.2	317.9	0.517	0.574
	1980 ~ 1989	175.5	333.6	0.341	0.447
	1990 ~ 1996	107.0	271.1	0.378	0.488
	1952 ~ 1996	172.8	321.0	0.643	0.765
(头道拐) 河口镇	1952 ~ 1959	147.4	238.4	1.264	1.509
	1960 ~ 1969	167.8	271.0	1.461	1.827
	1970 ~ 1979	124.2	233.2	0.900	1.152
	1980 ~ 1989	130.3	239.1	0.776	0.978
	1990 ~ 1996	63.9	170.0	0.274	0.454
	1952 ~ 1996	130.0	234.4	0.964	1.218

龙羊峡、刘家峡两座水库(以下简称龙、刘两库)进入正常运用后,由于汛期入库水量不足,水库未能充分发挥调洪作用,自 1989 年 11 月至 1996 年 10 月汛期平均蓄水 37.10 亿 m^3 ,而非汛期因发电和灌溉供水的需求,年均泄水 48.62 亿 m^3 ,两库年均补水 11.52 亿 m^3 。

龙、刘两库的调节,改善了宁蒙河段灌区的引水条件,提高了灌溉用水的保证率,根据统计资料,90 年代前期上游工农业平均耗水达 126 亿 m^3 (而 80 年代 119 亿 m^3),比 80 年代增加用水量 7 亿 m^3 。

气候因素和人为因素两者影响的叠加,使上游出口站河口镇站的年径流量在 90 年代前期有明显的减少,汛期减少尤甚。1990 ~ 1996 年平均径流量仅为 170 亿 m^3 ,其中汛期径流量仅为 64 亿 m^3 ,分别为多年平均值 245.8 亿 m^3 和 142 亿 m^3 的 69% 和 45%。汛期洪峰调平,发生在汛期的年最大洪峰流量明显减小,绝大多数年份甚至小于汛期的洪峰流量,1997 年汛期 7 月的平均流量仅 182 m^3/s ,仅为多年平均值 1 079 m^3/s 的 17%。1997 年 6 月 28 日日均流量为 6.8 m^3/s ,接近断流。

黄河上游输沙量的变化比较复杂,自 60 年代以来,上游各梯级水库陆续投入运用与水库调洪拦沙的同时,下游河道特别是宁蒙河段冲积性游荡型河道随之发生相应的冲淤变化。因此,研究黄河上游输沙变化的人为因素时,必须同时研究人为因素引起的河道冲淤变化。90 年代河口镇站输沙量剧减,除人为因素影响外,气候因素也起着相当份额的影响,应通过还原天然输沙量来分析。但因为缺乏河道断面冲淤量的实测资料,给沙量还原计算带来很大的困难,也在某种程度上影响了分析成果的精度。下文将作重点分析。

1.2.2 河龙区间干流水沙变化

河龙区间干流水沙变化,既受河龙区间流域及其支流产流产沙的影响,又受上游河口镇站来水来沙的影响。

自 60 年代以来,河龙间的降雨量以年代平均值统计如表 4 所示,80 年代降雨量最小,为 1969 年前

均值的90.8%,1990~1995年平均值比80年代仅增加约10mm,但汛期7~8月份的年均降雨量达221.1mm,比80年代仅增加36.7mm,仅比1969年前的7~8月份降雨量小10mm,超过了多年平均值。1992年的延河流域,1994年的无定河流域,以及1996年的窟野河、皇甫川流域均遭遇到超记录暴雨的袭击。

表4 河龙区间降雨量统计 (单位:mm)

项 目	1969年前	1970~1979年	1980~1989年	1990~1995年	多年平均
年总咸	462.9	435.8	420.6	430.3	440.7
5~10月	418.0	382.0	377.1	365.5	390.9
7~8月	232.5	222.9	184.4	221.1	216.3
最大1日	31.5	30.3	30.9	33.5	31.3

注:本表摘自“不同降雨条件下河—龙区间水利水保工程减水减沙效益分析”报告

受河龙区间降雨以及上游来水来沙减少的影响,干流各主要水文站90年代前期实测年均径流量和输沙量均发生了相应的变化(见表5),吴堡站和龙门站分别为193.7亿 m^3 和218.4亿 m^3 ,比80年代实测均值的257.1亿 m^3 和275.8亿 m^3 分别减少了63.4亿 m^3 和57.4亿 m^3 ,仅占1969年前平均值的66.5%和67%。其中,河龙区间流域年均来水量为44.1亿 m^3 ,略大于80年代年均来水量,而约占1969年以前的60.5%,河口镇—吴堡区间(以下简称河吴区间)流域来水19.4亿 m^3 ,占1969年以前该区间来水量的48%。吴堡龙门两站90年代前期实测年均输沙量分别为2.86亿t和5.63亿t,为1969年以前的实测均值的39.6%和47%。吴堡站90年代前期的年均输沙量甚至还比80年代的输沙量约小0.63亿t,但龙门站的输沙量却比80年代输沙量大0.93亿t。从河龙区间来沙量分析,90年代前期河吴区间为2.41亿t,吴堡—龙门区间(以下简称吴龙区间)为2.77亿t,均大于80年代约2.27亿t和1.45亿t。

表5 河龙区间干流水文站实测水沙统计

项 目	站 名	1969年前	1970~1979年	1980~1989年	1990~1995年	多年平均
年 径 流 量 (亿 m^3)	河口镇	250.8	230.5	238.7	174.3	231.2
	府 谷	267.7	238.3	245.7	181.8	242.0
	吴 堡	291.2	255.7	257.1	193.7	259.2
	龙 门	323.7	284.6	275.8	218.4	286.1
	河龙区间	72.9	54.1	37.1	44.1	54.9
年 输 沙 量 (亿 t)	河口镇	1.693	1.137	0.976	0.454	1.189
	府 谷	3.637	2.437	1.954	0.902	2.506
	吴 堡	7.233	5.169	3.246	2.864	5.065
	龙 门	11.975	8.681	4.701	5.629	8.381
	河龙区间	10.282	7.545	3.725	5.175	7.192

从上述资料可看出,90年代前期吴堡、龙门站实测年均径流量呈继续下降的趋势,主要原因是受上游来水量减少的影响;而河龙区间流域的来水来沙量却比80年代有所增大,特别是吴龙区间增加较多,这与90年代无定河、延河等支流暴雨偏多有关。

1.2.3 龙门—潼关区间主要支流来水沙变化

龙门—潼关区间主要支流各年代实测水沙量,见表6。

表 6

龙门—潼关各支流水文站实测水沙统计

项 目	站 名	1950 ~ 1959 年	1960 ~ 1969 年	1970 ~ 1979 年	1980 ~ 1989 年	1990 ~ 1996 年
年 径 流 量 (亿 m ³)	咸 阳	52.380	63.260	35.280	46.580	26.180
	张家山	14.800	18.150	12.360	13.520	12.770
	潼 头	6.506	8.899	5.750	7.105	4.942
	河 津	17.350	17.870	10.370	6.650	6.170
年 输 沙 量 (亿 t)	咸 阳	1.588	1.948	1.392	0.856	0.550
	张家山	2.653	2.634	2.507	1.823	2.704
	潼 头	0.930	0.994	0.799	0.475	0.821
	河 津	0.699	0.347	0.188	0.045	0.044

从表 6 可看出,自 70 年代以后,各站的径流、输沙量都有不同程度的衰减。其中,咸阳、河津两站减少量尤大,而张家山站减少量相对较小,90 年代前期张家山站输沙量不仅没有减少,反而有反弹上升,潼头站也有类似的反弹情况。这与该时段泾河、北洛河连续出现几场短时暴雨有关,年径流量没有增加,而年输沙量却增加很多。

1.3 黄河流域水沙变化引起的新问题

90 年代黄河水沙变化新情况,导致黄河流域工农业生产、人民生活以及生态环境各方面出现一系列新问题。

1.3.1 黄河上游干流宁蒙河段和下游河道以及部分支流下游河道的防洪形势严峻

90 年代前期上游来水偏枯,加上龙羊峡水库的调节削减了汛期径流量,大洪峰出现的频次相应减少,河槽出现严重萎缩,主槽累积性淤积,槽槽高差减少,河势更加散乱,横河、斜河出现机遇增多,险工脱溜、平工坐湾,危胁大堤安全。洪水位异常升高,不少河段的中常洪水位,均超过历史最高洪水位,在立足防御大洪水的同时,增加了防御中常洪水的难度。如黄河下游“96·8”洪水,花园口洪峰流量 7 860 m³/s,属中常洪水,由于洪水位抬高,滩地平均水深达 1.6m,临黄大堤偎水长度达 951km,沿堤水深 2~4m,漫滩面积和漫滩水深均为历史上罕见。滩地淹没灾情是新中国成立以来黄河下游最严重的一次,直接经济损失达 40 亿元。内蒙古河段防凌任务加重、三门峡库区潼关高程居高不下,渭河下游堤防经常决口成灾。

1.3.2 黄河水资源供需矛盾突出,经常出现断流现象

断流是黄河流域径流变化影响最直观、最敏感的问题之一。黄河下游经常性断流最早出现在 1972 年,直至 80 年代末断流基本上发生在春灌高潮的 5~6 月;断流年份平均的断流天数,70 年代为 14 天,80 年代为 15 天。但自进入 90 年代以后,断流不仅发生在春灌高潮时期,竟发展到除 1.9 月和 11 月以外的 9 个月都不同程度地发生,并且是年年断流;断流天数平均达 102.6 天,1997 年最长断流天数达 206 天,最大断流长度距海口 704km。不仅在黄河下游发生断流,甚至在黄河径流主要来源区上游河口镇附近,也发生过准断流现象。

1.3.3 生态环境恶化

洪水和断流就是河流环境问题。水沙变化还影响到流域的治理开发、两岸湿地的变化及水质净化等问题。

总之,水沙变化的研究是黄河治理开发战略决策的一项基础性工作,又是一项跟踪性的研究工作。及时反映山水沙变化而引出的新情况、新问题是十分必要的。

2 黄河上游河段水沙变化的成因分析

2.1 上游(河口镇以上)径流量变化分析计算

2.1.1 农业灌溉和城市生活、工业引水的影响

黄河上游灌溉引水历史悠久,在50年代以前缺乏系统的引水引沙实测资料,50年代以后各主要灌区逐步开展水沙观测,但由于各种原因,水沙量平衡上存在一些问题。第一期水沙变化基金研究课题主要采用1985年前黄河水利委员会勘测设计研究院调查分析的成果,再根据1985年黄河水利委员会水政水资源局的资料延伸。这次研究把兰州以上划分为隆务河、大夏河、洮河、庄浪河、湟水和大通河等支流以及干流贵德以上,贵德—循化—小川—兰州共10区域,采用面积定额法计算农业耗水量。兰州—石嘴山河段的灌溉用水,主要集中在卫宁、青铜峡和陶东三大灌区,占该区间农业总耗水量的90%,计算中以引退水法为主,面积定额法为辅,并以水量平衡法校核。石嘴山—河口镇区间灌溉耗水量也以引退水法为主,面积定额法为辅,最后用水量平衡法校核。在兰州—河口镇各主要水文站1952~1990年39年累计平衡差值计算中,发现巴彦高勒站较石嘴山站水量偏小190.6亿 m^3 ,再用两站月水量平衡方程对三盛公水利枢纽1961年建成后历年逐月的引水量进行计算分析,发现(5~10月)实测月平均耗水量较计算值偏小22.1 m^3/s ,非汛期值偏小6.1 m^3/s ,对灌溉期耗水量进行修正后,使两者的月平均误差降低到-4.2 m^3/s 。城市生活按人均用水定额计算,工业用水按工业万元产值用水量计算。经这样处理后,各河段农业和城市生活、工业耗水量如表7。

表7 黄河上游工农业年均用水量、引沙量

年 限	兰州以上	兰州—安宁渡		安宁渡—下河沿		下河沿—石嘴山		石嘴山—头道拐		合 计		
	用水量 (亿 m^3)	用水量 (亿 m^3)	引沙量 (亿 t)	用水量 (亿 m^3)	引沙量 (亿 t)	用水量 (亿 m^3)	引沙量 (亿 t)	用水量 (亿 m^3)	引沙量 (亿 t)	年用水量 (亿 m^3)	汛期用水量 (亿 m^3)	年引沙量 (亿 t)
1952~1959	9.11	1.44	0.008	0.46	0.003	21.53	0.304	45.26	0.329	77.80	47.40	0.644
1960~1969	11.29	2.78	0.008	0.54	0.002	28.55	0.160	53.53	0.190	96.68	53.43	0.360
1970~1979	16.49	3.20	0.008	1.29	0.007	29.77	0.194	52.93	0.078	103.68	50.31	0.287
1980~1989	17.71	4.09	0.008	2.13	0.008	33.09	0.187	61.22	0.130	118.25	59.35	0.333
1990~1996	18.88	5.15	0.019	2.45	0.009	35.54	0.128	64.02	0.128	126.48	59.48	0.365
1952~1996	14.79	3.34	0.010	1.36	0.006	29.85	0.192	55.49	0.162	104.83	54.09	0.383

注:用水量包括城市生活、工业用水及农业用水。

从表7看出,黄河上游50年代工农业年均耗水量77.8亿 m^3 ,以后逐渐增大,到90年代已达126亿 m^3 ,年均引沙量由50年代的0.644亿 t 降到0.365亿 t 。耗水量最多的是内蒙古、宁夏诸大灌区,90年代分别为64.02亿 m^3 和35.54亿 m^3 ,占整个上游耗水量的50.8%和28%。其次为兰州以上的湟水、大通河和洮河流域,90年代引水量达18.88亿 m^3 ,占上游耗水量的15%,随着“引大济秦”等工程的投入运用,耗水量将进一步增大。

2.1.2 干流水库调节的影响

黄河上游已建成7座大、中型水利枢纽,其中,盐锅峡、八盘峡为径流电站,调节能力不大,除初期运用拦蓄部分泥沙外,后期对上游的水沙变化影响不大。青铜峡和三盛公是以灌溉为主的水利枢纽,除引水入灌区外,其调节径流能力与入库水量相比微不足道,但有一定的拦沙作用。特别是青铜峡水库有6.06亿 m^3 总库容。但自1967年投入运用后,截至1971年水库已淤5.4亿 m^3 ,基本达到冲淤平衡,在此期间,造成下游河道冲刷,对河口镇站沙量变化有一定的影响。此问题将在下文分析。这里着重分析龙羊峡和刘家峡两库调度对黄河上游水沙变化的影响。

2.1.2.1 刘家峡单库运用

刘家峡和龙羊峡水库分别于1968年和1986年建成投入运用。在1986年以前,刘家峡水库单库按不完全年调节方式调度,正常运用时每年6~10月蓄水,汛期年均蓄水26.9亿 m^3 ;非汛期11~5月年均超泄24.7亿 m^3 ,年内基本达到平衡。但蓄、泄水年际变化较大。由于水库的调节作用,使出库流量过程发生明显变化,小川站汛期水量占全年水量的百分比由建库前的61%降为51%。表8为刘家峡建库前后削峰拦沙表。由表8看出刘家峡建库前库区河段的天然滞洪能力很小,即使入库站流量为4000~3000 m^3/s ,平均削峰率仅为0.7%,1968年10月一次大洪水,入库流量超过4000 m^3/s ,削峰率曾达17%,显然已受刘家峡水库施工的影响。但在刘家峡水库单独运用期,各级洪峰流量均不同程度地受到削峰的影响,尤其是1500~2500 m^3/s 的中常洪峰的削峰率较大。在此期间,出现入库流量大于1800 m^3/s 、洪峰16次,其中11次削峰率在30%以下,5次超过30%,最大一次达65.7%。削峰作用虽然减小了下游的洪水威胁,但对河道冲淤演变带来负面的影响。

表8

刘家峡建库前后削峰拦沙情况

流量级 (m^3/s)	建库前			建库后					
	削峰率(%)			削峰率(%)			平均蓄 水率(%)	平均拦沙 率(%)	
	最大	最小	平均	最大	最小	平均			
<1500	-2.8	-2.8	-2.8	55	-7	25	15	56	
1500~2000				69	-6	31	36	85	
2000~2500	5	-6	-4	54	5	22	31	92	
2500~3000	7	-7	0.9	62	-10	15	18	76	
3000~4000	3	-4	0.7	40	-3	14	18	76	
>4000	13	-7	4	19	5	10	10	62	

注:削峰率负值为洪峰流量增加,由于支流汇入。

2.1.2.2 龙羊峡、刘家峡水库联合运用

龙羊峡、刘家峡水库联合调度改变了上游径流量的年内分配。龙羊峡水库自1986年10月至1989年11月为初期运用阶段。前两年入库水量偏枯,两库汛期平均蓄水52.4亿 m^3 ,非汛期泄水2.3亿 m^3 ,年均蓄水50亿 m^3 ;1989年是特丰水年,至11月底库水位蓄到2574.99m,蓄水量160亿 m^3 ,从而转入正常运用阶段,实现多年调节,每年6~10月蓄水,11月至次年5月泄水。刘家峡水库配合龙羊峡水库初期蓄水,大部时间均低水头运行,1989年11月以后转入正常运行。自进入90年代以来,龙羊峡上游连续出现枯水年,1990~1998年年均来水量161.27亿 m^3 ,比建库前年均212.7亿 m^3 减少51.4亿 m^3 ,减水主要在汛期,其中1994、1996、1997年和1998年汛期入库水量比建库前平均值小50%。两库汛期年均蓄水37.1亿 m^3 ,非汛期年均超泄48.62亿 m^3 ,年均超泄11.52亿 m^3 ,到1997年3月底龙羊峡水库蓄水量仅56.7亿 m^3 。图1为龙羊峡、刘家峡水库蓄水过程示意。

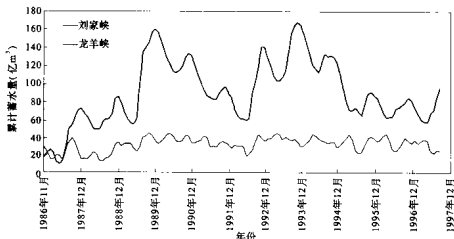


图1 龙羊峡、刘家峡水库蓄水

龙羊峡、刘家峡两库的调节作用使出库流量过程平稳(见表9),汛期出库流量一般小于 $1\,000\text{m}^3/\text{s}$, $1\,000\text{m}^3/\text{s}$ 以上流量的入库天数占34.2%,而出库天数减少到6.5%; $1\,500\text{m}^3/\text{s}$ 以上流量的入库天数占14.5%,而出库天数只有3.1%。

表9 龙羊峡水库汛期进出库各级流量天数

年 份	项 目	流量级(m^3/s)					
		< 500	500 ~ 1 000	1 000 ~ 1 500	1 500 ~ 2 000	2 000 ~ 2 500	2500 ~ 3000
1987	进 库	14	61	28	17	3	
	出 库	54	69				
1988	进 库	7	78	38			
	出 库	18	105				
1989	进 库	0	11	22	42	44	4
	出 库	7	39	39	11	27	
1990	进 库	0	106	17			
	出 库	9	114				
1991	进 库	0	102	18	3		
	出 库	30	103				
1992	进 库	0	47	44	23	6	3
	出 库	74	48	1			
1993	进 库	0	51	40	28	4	
	出 库	2	121				
1994	进 库	8	101	12	2		
	出 库	16	105	2			
1995	进 库	10	93	20			
	出 库	37	86				
1996	进 库	6	114	3			
	出 库	48	75				
1987 ~ 1996	进库总天数	45	764	242	115	57	7
	出库总天数	285	865	42	11	27	
1987 ~ 1996	进库占总天数%	2.7	62.1	19.7	9.3	4.6	0.6
	出库占总天数%	23.2	70.3	3.4	0.9	2.2	

2.1.3 龙羊峡、刘家峡水库运用及工农业用水对河口镇站径流变化的影响

2.1.3.1 龙羊峡、刘家峡水库运用对河口镇站径流变化的影响

龙羊峡、刘家峡两库径流调节改变了径流在年上和年际的分布,河口镇站汛期径流量明显减小,而非汛期则有所增加,全年的径流量增减则随着两库的年调节而异。表10为考虑了水流传播时间,以河口镇站时间为准统计计算的结果。可以看出,龙羊峡、刘家峡水库调蓄对河口镇站径流量的影响,在1986年11月~1989年10月龙羊峡初期蓄水期间,河口镇站汛期径流量累计减少 $151.50\text{亿}\text{m}^3$,年均减少 $50.51\text{亿}\text{m}^3$ 。在1989年11月~1996年10月正常运用期,河口镇站汛期累计减少径流 $279.9\text{亿}\text{m}^3$,年均 $39.84\text{亿}\text{m}^3$,非汛期累计增加径流 $338.05\text{亿}\text{m}^3$,年均 $48.29\text{亿}\text{m}^3$,全年累计增加 $59.13\text{亿}\text{m}^3$,年均增加 $8.45\text{亿}\text{m}^3$ 。汛期减少最多的是1992年,高达 $104.92\text{亿}\text{m}^3$;非汛期增加最多的是1994年11月~1995年6月,达 $73\text{亿}\text{m}^3$ 。全年减少最多的是1989年的 $89.16\text{亿}\text{m}^3$,而增加最多的是1991年的 $44\text{亿}\text{m}^3$ 。

表 10

龙羊峡、刘家峡水库调蓄对河口镇站水量的影响

(单位:亿 m³)

时 间 (年·月)	非汛期(11~6月)	汛期(7~9月)	全年(11~次年10月)
1986.11~1987.10	-7.66	58.45	50.79
1987.11~1988.10	-32.75	44.34	11.59
1988.11~1989.10	-3.44	92.60	89.16
1989.11~1990.10	-51.47	26.71	-24.76
1990.11~1991.10	-60.46	16.54	-43.92
1991.11~1992.10	-50.92	104.92	54.00
1992.11~1993.10	-15.58	53.11	37.53
1993.11~1994.10	-51.52	15.72	-35.80
1994.11~1995.10	-72.97	37.68	-35.29
1995.11~1996.10	-35.08	24.17	-10.91
1986.11~1989.10	-14.62	65.13	50.51
1989.11~1996.10	-48.29	39.84	-8.45
1986.11~1996.10	-38.19	47.42	9.23

注:以头道梁站时间统计,负号为增水

首先,水库调蓄的结果使河口镇站汛期径流量占全年的比值从调节前的 60% 变成 40%,遇 1991 年的枯水年,甚至降到 30% 以下。其次,河口镇站大流量出现几率减少,中小流量持续时间加长。表 11 为龙羊峡水库运用后河口镇站各级流量出现天数的统计分析。表中无库即还原后的流量,1987~1996 年期间“有库”时,河口镇站实测大于 2 000 m³/s 的大流量累计天数为 45 天,还原后达 181 天,水库调节减少了约 75% 的出现几率,而小于 1 000 m³/s 的实测中小流量累计天数为 984 天,还原后仅 521 天,增加了出现几率约 0.9 倍,大大减小了黄河中下游洪水期河道的基流。

另外,由于两库非汛期运用和补充农业灌溉用水,河口镇站 12 月至次年 3 月和 5 月的径流量增加,合计约增加 6 亿~8 亿 m³。这对黄河下游春灌冬蓄提供了新增水源,缓解了黄河下游两岸的春灌用水的不足。

2.1.3.2 工农业用水对河口镇站径流变化的影响

各河段、各年代工农业耗水量已在表 7 中给出。耗水量导致了河口镇站径流的减少。但与 50 年代相比,60、70、80 年代虽然灌溉用水量逐年代增加,而河口镇实测年均径流量的减少量不明显(见表 12)。主要是由于兰州以上干支流天然径流量相对偏丰,河口镇天然年均径流量分别为 371.3 亿 m³、337.5 亿 m³ 和 372.2 亿 m³,比 50 年代 316.2 亿 m³ 分别增加 55.1 亿 m³、21.3 亿 m³ 和 56.0 亿 m³。而刘家峡单库按年调节运行,对河口镇年径流总量影响不大,工农业耗水量虽有增加,但尚能以来水得到补偿。自进入 90 年代后,由于上游天然年径流偏枯,1990~1996 年河口镇站天然年均径流量为 284.5 亿 m³,虽然龙羊峡、刘家峡水库调节年均尚补水 11.5 亿 m³,但由于工农业用水增至 126 亿 m³,较 50 年代的均值增加 48 亿 m³,致使河口镇站 90 年代实测年均径流量只有 170 亿 m³,较 50 年代的均值减小 68 亿 m³。其中,因天然因素减少 32 亿 m³,占河口镇站实测减小量的 47%;人为因素占 53%,主要是工农业耗水所造成,尤其以农业灌溉引水量为最。

根据全上游 1987~1996 年年均各月引水量统计,引水量大的月份依次为 5、6、7、10 月,月均引水流量分别为 1 065、860、765 m³/s 和 747 m³/s。从汛期平均情况来说,灌溉耗水量要大于龙羊峡、刘家峡两水库的调蓄量,尤以 7、10 月份为更甚。天然径流减少以及人为因素用水量的增加,使河口镇站 7 月份实测平均水量仅 13.2 亿 m³,而 1997 年仅 4.87 亿 m³,月平均流量为 182 m³/s,仅为多年平均值的 17%,6 月 28 日的日均流量仅 6.9 m³/s,接近断流。

表 11

龙羊峡水库运用后河口镇站汛期各级流量出现天数

年 份	项 目	流 量 级 (m ³ /s)							
		< 500	500 ~ 1 000	1 000 ~ 1 500	1 500 ~ 2 000	2 000 ~ 2 500	2 500 ~ 3 000	3 000 ~ 3 500	3 500 ~ 4 000
1987	有 库	85	29	9	0	0	0	0	0
	无 库	37	35	30	14	7	0	0	0
1988	有 库	67	45	9	2	0	0	0	0
	无 库	12	48	60	3	0	0	0	0
1989	有 库	16	34	20	8	25	19	1	0
	无 库	2	5	13	16	32	34	16	5
1990	有 库	39	66	15	3	0	0	0	0
	无 库	1	17	51	41	13	0	0	0
1991	有 库	99	22	2	0	0	0	0	0
	无 库	72	41	9	1	0	0	0	0
1992	有 库	77	37	8	1	0	0	0	0
	无 库	3	21	40	39	19	1	0	0
1993	有 库	40	43	39	1	0	0	0	0
	无 库	2	13	39	21	24	19	4	1
1994	有 库	45	41	28	9	0	0	0	0
	无 库	22	50	40	11	0	0	0	0
1995	有 库	58	32	33	0	0	0	0	0
	无 库	28	29	26	34	6	0	0	0
1996	有 库	60	49	14	0	0	0	0	0
	无 库	43	40	32	8	0	0	0	0
1987 ~ 1996	有 库	586	398	177	24	25	19	1	0
	无 库	222	299	340	188	101	54	20	6
1987 ~ 1996	有库占总数%	47.6	32.36	14.39	1.95	2.03	1.54	0.08	0
	无库占总数%	18.05	24.31	27.64	15.28	8.21	4.39	1.63	0.49

表 12

黄河上游河口镇径流量变化成因分析

(单位:亿 m³)

年 限	实测年均 径流量	工农业 耗水量	水库 调蓄量	人为因素减水量		天然径流量	降雨因素减水量	
				总 量	%		总 量	%
1952 ~ 1959	238.4	77.8	0	77.8	24.6	316.2		
1960 ~ 1969	271.0	96.7	3.6	100.3	27.0	371.3	-55.1	-17.4
1970 ~ 1979	233.2	103.7	0.6	104.3	30.9	337.5	-21.3	-6.7
1980 ~ 1989	239.1	118.3	14.8	133.1	35.8	372.2	-56.0	-17.7
1990 ~ 1996	170.0	126.0	-11.5	114.5	40.2	284.5	31.7	10.0

2.1.4 河口镇站以上流域天然产流量还原计算

根据以上的分析,把河口镇以上流域各年代的工农业用水和干流水库调节的年均径流量加上河口镇站实测年均径流量进行还原,其结果得表 12。从表 12 看出,60、80 年代河口镇站天然径流量偏丰,而 90 年代则偏枯。历年天然径流量变化过程见图 2。由于上游水土保持措施减水量相对较少,这次没有研究,根据第一期的研究,70 年代和 80 年代分别减水 1.26 亿 m³ 和 3.25 亿 m³。如果与 50 年代天然径流量 316.2 亿 m³ 作比较,因降雨的天然因素影响,60、70、80 年代天然径流分别增加了 17.4%、6.7% 和 17.7%,而 90 年代(1990~1996 年)则减少了 10.0%。因工农业耗水人为因素影响在 50 年代已经存在,50 年代工农业引水 77.8 亿 m³,占 50 年代天然径流量的 24.6%,其他各年代均受水库调节和工农业耗水的影响,依次分别占天然径流量的 27.0%、30.9%、35.8% 和 40.2%。其中,80 年代由于龙羊峡水库蓄水,故减水量增大,