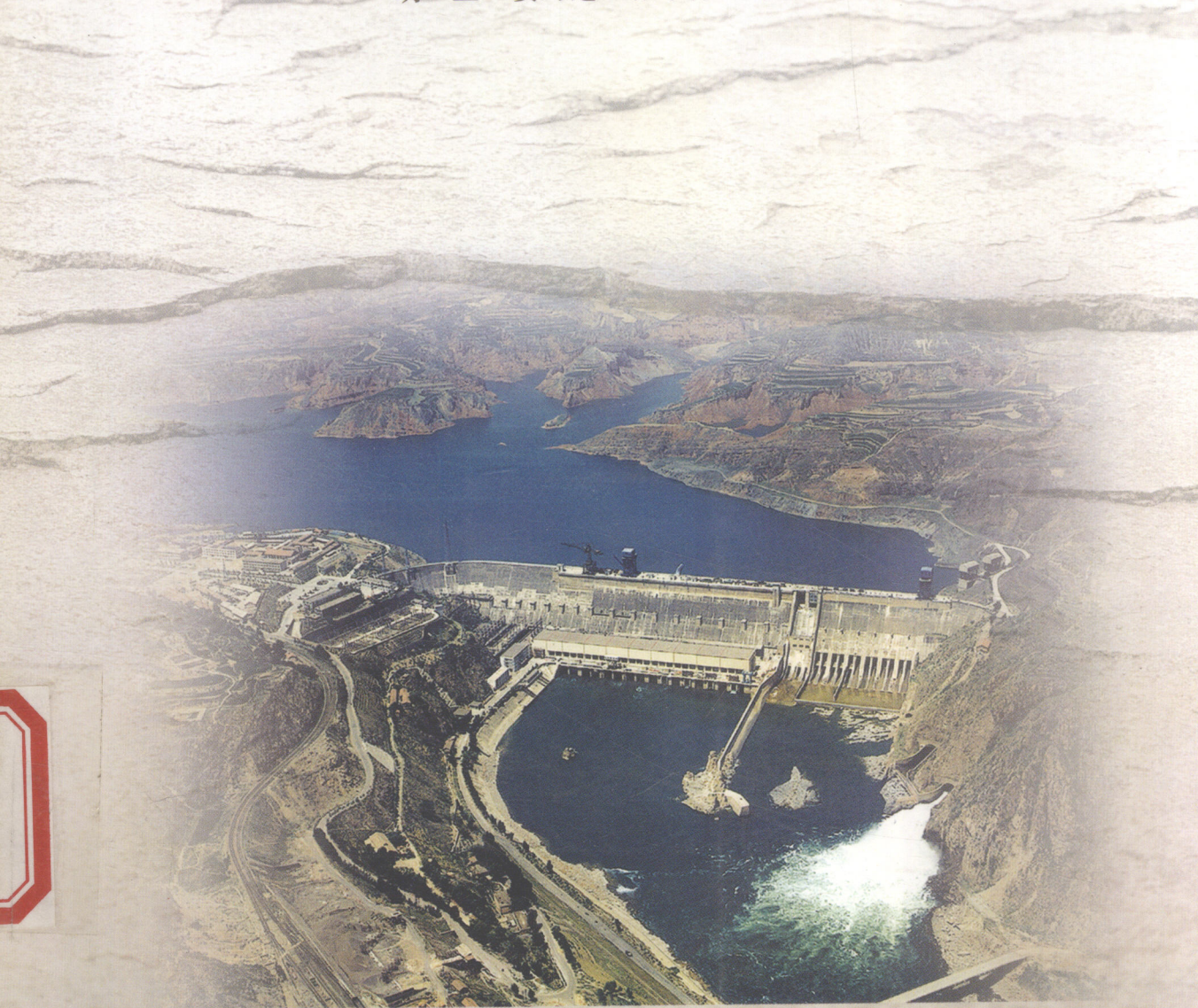


“九五”国家重点科技攻关项目

黄河中下游水资源开发利用及河道减淤清淤关键技术研究

小浪底水库运用初期 三门峡水库运用方式研究

胡一三 姜乃迁 张翠萍 等著



“九五”国家重点科技攻关项目
黄河中下游水资源开发利用及河道减淤清淤关键技术研究

小浪底水库运用初期 三门峡水库运用方式研究

胡一三 姜乃迁 张翠萍 等著

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书针对小浪底水库运用后和黄河水沙变化的新情况,研究和分析了小浪底水库运用后发挥三门峡水库综合效益的运用方式,并提出了改善黄河潼关高程的治理措施

本书可供从事防汛与工程管理的水利科技人员、广大治黄职工参考。

图书在版编目(CIP)数据

小浪底水库运用初期三门峡水库运用方式研究 / 胡一三, 姜乃迁, 张翠萍等著. — 郑州: 黄河水利出版社, 2004.7
ISBN 7 - 80621 - 802 - 5

I. 小… II. ①胡… ②姜… ③张… III. 水库—运行—研究—三门峡市 IV. TV697

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 063890 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@public.zz.ha.cn

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: 6.875

字数: 159 千字

印数: 1—1 000

版次: 2004 年 7 月第 1 版

印次: 2004 年 7 月第 1 次印刷

书号: ISBN 7 - 80621 - 802 - 5/TV · 361

定价: 16.00 元

前 言

三门峡水利枢纽工程是黄河干流上兴建的第一座以防洪为主要目标的综合利用水利工程,1960年9月投入运用,初期库区淤积严重,潼关高程快速抬升。1973年年底以来一直采取蓄清排浑的运用方式。

潼关位于黄河和渭河汇流区下游出口,距三门峡水库大坝113.5 km,是渭河下游和小北干流的局部侵蚀基准面。潼关高程的变化与来水来沙条件、水库运用方式、上下游河道冲淤等因素密切相关,对渭河下游和黄河小北干流河道冲淤及防洪有着重要影响。因此,长期以来,潼关高程的升降一直受到人们的特别关注。

1974~1985年水沙条件与水库运用方式比较适应,潼关高程保持相对稳定。1986年以来,由于黄河水量特别是汛期水量大幅度减少,库区发生累积性淤积,潼关高程再次呈上升趋势,并居高不下。

随着小浪底水库的投入运用,三门峡水库承担的防洪、防凌等任务都有不同程度的减轻,排沙条件也大为改善,这为研究解决三门峡库区问题创造了历史性机遇。在三门峡水库所承担的任务和来水来沙条件已发生较大变化的情况下,为控制潼关高程,有必要研究三门峡水库运用方式适当调整的问题;同时,在小浪底水库投入运用后,三门峡水库如何防洪调度也应进行深入研究。

本书所介绍内容是国家“九五”攻关专题“小浪底水库运用初期防洪减淤运用关键技术”的一个子专题,目的是根据小浪底运用后和黄河水沙变化的新情况,研究和提出小浪底水库运用后发挥三门峡水库综合效益的运用方式,并提出改善潼关高程的治理措施。研究工作于1999年开始,2001年完成。

本书内容包括以下几个方面:小浪底水库运用初期三门峡水库承担任务分析;不同水沙条件和运用条件下三门峡水库冲淤规律分析;潼关高程演变规律、发展趋势及改善潼关河段淤积措施分析;三门峡水库调度运用方案分析;小浪底水库运用初期三门峡水库优化运用方式综合分析。

参加研究报告及本书编写的人员有:胡一三、姜乃迁、张翠萍、缪凤举、王桂娥、侯素珍、曲少军、梁国亭、孙绵惠。

本项目研究的主要完成人还有:乐金苟、张金良、李连祥、张原锋、季利、林秀芝、王育杰、李文学、王平、焦恩泽、张隆荣、周建波、伊晓燕、高德松、楚卫斌等。

项目研究主要参加单位有黄河水利科学研究院、黄河水利委员会总工办、三门峡水利枢纽管理局和三门峡水文水资源局。

本项研究成果是集体智慧的结晶,没有项目成员的共同努力,是不可能得到如此丰富的成果的。

三门峡水库涉及的问题十分复杂，不同时期影响潼关高程的主要因素又有所不同。本书对三门峡水库在小浪底水库投入运用后的运用方式和控制潼关高程的措施等方面作了一些初步性的探讨，深入的工作还应继续进行。

由于作者水平有限，书中有不妥和错误之处，恳请读者指正。

作 者
2004 年 2 月

目 录

第一章 三门峡水库概况.....	(1)
1 库区及坝址地理地貌特征.....	(1)
2 三门峡水库运用及改建.....	(2)
3 三门峡水库库容变化及其特征.....	(2)
4 三门峡水库的基本任务及作用.....	(5)
第二章 三门峡水库冲淤及潼关高程演变分析.....	(7)
1 来水来沙条件及其变化趋势.....	(7)
1.1 水沙特征.....	(7)
1.2 水沙变化原因及发展趋势.....	(10)
2 库区冲淤分布及不同运用水位对库区淤积影响.....	(13)
2.1 非汛期运用水位变化及不同水位影响分析.....	(13)
2.2 纵向淤积分布特点.....	(18)
2.3 横向冲淤分布及调整.....	(24)
3 潼关以下库区汛期排沙规律分析.....	(26)
3.1 汛期排沙分析.....	(26)
3.2 溯源冲刷和沿程冲刷.....	(35)
4 水库不同运用期潼关高程演变特点.....	(42)
4.1 三门峡建库前潼关高程变化特点.....	(42)
4.2 三门峡建库后潼关高程变化特点.....	(43)
4.3 影响潼关河床冲淤变化的原因分析.....	(45)
5 小结.....	(50)
第三章 小浪底水库运用初期三门峡水库运用方式.....	(52)
1 三门峡水库承担任务分析.....	(52)
1.1 防洪.....	(52)
1.2 防凌.....	(55)
1.3 春灌.....	(56)
1.4 发电与减淤.....	(56)
1.5 水库运用原则.....	(57)
2 三门峡水库防洪运用方式.....	(57)
2.1 小浪底水库初期可能的防洪运用方式.....	(57)
2.2 三门峡水库可能的防洪运用方式.....	(58)
2.3 “上大洪水”水库防洪方案的计算与分析.....	(58)
2.4 “下大洪水”时三门峡水库防洪运用分析.....	(66)

3	三门峡水库运用方案计算	(67)
3.1	计算方案及设计原则	(67)
3.2	水沙系列及初始边界条件	(68)
3.3	泥沙数学模型及其验证	(69)
3.4	计算结果及分析	(71)
3.5	不同方案发电运用效果分析	(75)
4	不同流量级排沙效果分析和计算	(83)
5	小结	(90)
第四章	潼关高程发展趋势及改善措施	(92)
1	潼关高程变化发展趋势	(92)
1.1	非汛期潼关高程变化趋势	(92)
1.2	汛期潼关高程演变发展趋势	(94)
1.3	潼关高程演变的发展趋势	(95)
2	改善潼关高程措施	(95)
2.1	改善水库调度运用方式	(96)
2.2	实施清淤疏导工程	(97)
2.3	河道整治	(97)
2.4	其他措施	(98)
3	小结	(98)
第五章	结论	(100)
1	蓄清排浑后,三门峡水库调度运用和库区冲淤及排沙基本规律	(100)
2	小浪底水库建成运用后,三门峡水库承担任务分析	(101)
3	潼关高程演变及改善措施	(102)

第一章 三门峡水库概况

1 库区及坝址地理地貌特征

三门峡水利枢纽是黄河干流上兴建的第一座以防洪为主的大型综合利用水利工程,控制流域面积 68.8 万 km^2 ,占黄河流域面积的 91.5%;控制黄河水量的 89%,沙量的 98%。

三门峡大坝处在地势峻峭的峡谷地带,左岸大部分为陡崖峭壁,右岸较为平缓。黄河流至三门峡峡谷处,河道由向东急转为向南,形成 90° 的河湾。河流在峡谷中受矗立河中的鬼门岛和神门岛所挡,将河水劈为鬼门、神门和人门三股激流,故为三门峡。

三门峡水库位于陕西、山西和河南三省交界地区,库区分布在中条山和秦岭之间的山间盆地。潼关将库区分为两部分,潼关以上库区黄河河谷较宽,且有辽阔的渭河平原,约占总库容的 70%;潼关以下河谷变窄,至三门峡坝址地区,两岸山岩夹峙,山高沟深,地势陡峻,整个库区呈“小颈大肚子”形态。

潼关以上库区的黄河干流部分为黄河小北干流(禹门口至潼关),河段长 132.5 km,河谷宽窄相间,最窄处仅 3 km,最宽处可达 18 km,两岸为黄土台塬,高出河床 50~200 m,河道总面积约 1 107 km^2 ,其中滩地面积约 696 km^2 。河道穿行于汾渭地堑谷凹地区,上陡下缓,纵比降为 6‰ ~ 2.3‰ 。黄河小北干流属于冲淤变化剧烈的游荡性河道,黄河出龙门峡谷后,河宽由几百米骤然成扇形扩展到几公里,最宽处达十几公里,致使河道宽浅,水流分散,流速减小,输沙能力降低,水流中挟带的大量泥沙沿程逐渐沉积,主流游荡摆动频繁,素有“三十年河东,三十年河西”之称;潼关以上的渭河下游和北洛河下游库区部分为黄土冲积形成的渭河河谷盆地,地势平坦,是关中平原的重要组成部分。

潼关以下库区部分(潼关至三门峡坝址),长 113.5 km,河谷宽 1~6 km,两岸为黄土台塬,其高程多为 380~420 m,岸顶一般高出河床 20~60 m,河道上宽下窄,滩高槽深,为带状河道型库区。

潼关位于黄河小北干流、渭河和北洛河三河交汇区的下游出口。河道宽阔的小北干流至潼关处受秦岭阻挡转折 90° 向东流,中条山和华山将该处的河谷宽度限制到 850 m,形成天然“卡口”。因此,潼关河床高程的变化,对黄河小北干流部分河段和渭河下游起着侵蚀基面的作用。同时,由于黄河小北干流的河床纵比降较大,而渭河下游下段河道较平缓(纵比降仅为 1.5‰),纵比降的差异使得当黄河、渭河洪水遭遇或黄河流量大、渭河流量小时,常发生黄河顶托或倒灌渭河的现象。由于潼关为天然“卡口”,所以当潼关来水流量超过一定数量时,会发生卡水作用,致使汇流区出现自然滞洪现象。

2 三门峡水库运用及改建

三门峡水库投入运用以来分几个运用阶段:1960年9月~1962年3月为蓄水拦沙运用,1962年3月~1966年6月为原建规模下滞洪排沙运用,1966年7月~1973年10月为水库改建期滞洪排沙运用,1973年11月以后为蓄清排浑控制运用。

三门峡水库于1960年9月开始蓄水拦沙运用,10月回水直接影响潼关,1961年2月9日达最高蓄水位332.58 m,蓄水量72.3亿 m^3 。蓄水后库区泥沙淤积严重,至1962年2月淤积泥沙15.3亿t,有93%的来沙淤在库内,淤积末端出现“翘尾巴”现象,淤积速度和部位超出预计值。由于水库回水超过潼关,1962年3月潼关河床高程较蓄水前淤积抬高4.67 m;渭河口形成拦门沙,渭河下游河道排洪能力迅速下降,河道淤积严重,水库淤积末端上延,两岸肥沃农田被淹,地下水位抬高,土地盐碱化范围扩大。

为了减缓库区淤积,1962年3月三门峡水库改为滞洪排沙运用,闸门全部开启敞泄,但由于泄流排沙能力不足,入库泥沙仍有60%淤在库内,淤积末端继续上延。在严峻的形势下,1964年决定对三门峡水利枢纽工程泄流建筑物进行第一次改建,即增建“两洞四管”:在大坝左岸增建进口高程为290 m、隧洞直径为11 m的两条泄流隧洞;把进口高程为300 m、直径为7.5 m的4条发电钢管改建为泄流排沙钢管。“两洞四管”分别于1966年7月和1968年8月投入运用。第一次改建工程完成之后,枢纽的泄流规模增大了一倍,水库排沙泄流效益明显增大,缓解了水库的严重淤积,但仍有20%左右的来沙淤积在库内。潼关以下库区由淤积变为冲刷,但冲刷范围尚未影响到潼关。

1969年“四省(晋、陕、豫、鲁)会议”之后,国务院批准了三门峡枢纽第二次改建方案,相继打开1~8号进口高程为280 m的原施工导流底孔,1~5号机组进水口高程由300 m降至287 m。1970年7月~1973年10月,水库敞泄排沙,库区冲刷剧烈,潼关河床高程有较大的下降。1973年底,水库开始按“蓄清排浑”方式运用,使年内进出库泥沙和库区冲淤基本平衡。水库淤积减缓,潼关高程下降,使枢纽工程在新的条件下发挥了综合利用效益。

为了增大低水位时的泄洪排沙能力,又相继打开了9~12号施工导流底孔,1990年7月9~10号底孔投入运用,1999年6月11号底孔投入运用,2000年6月12号底孔投入运用。

经过水库排沙泄流设施的改建和增建,到目前为止,枢纽工程泄流设施共有2条隧洞(进口高程290 m)、12个底孔(进口高程280 m)、12个深水孔(进口高程300 m)、1条泄流钢管(进口高程300 m),共27个孔洞;当水库控制水位在315 m高程时,泄量达 $9\,701\text{ m}^3/\text{s}$ (天津水利水电勘测研究院资料),基本上达到了1969年“四省会议”的要求。

3 三门峡水库库容变化及其特征

对多泥沙河流上的水库来讲,除在汛期和凌汛期拦蓄洪水,减轻下游洪水及凌汛威胁外,还可利用水库进行灌溉、供水、发电等兴利之用,而水库库容的变化直接影响水

库各项目标的实现。三门峡水库运用的实践经验表明，要想保持一定的可供长期运用的有效库容，水库在进行径流调节的同时，还必须时刻注意对泥沙的合理调节，这样才能不断地发挥水库的综合利用效益。

三门峡水库 335 m 高程以下库容包括黄河干流和渭河、北洛河下游部分河道，库容分配在横向上包括滩地和河槽两部分。三门峡水库蓄水运用前、后，335 m 高程以下的总库容变化见表 1-1；潼关以下库区 330 m 高程以下的滩库容、槽库容变化见表 1-2。

表 1-1 三门峡水库 335 m 高程以下总库容变化

时间 (年·月·日)		库容(亿 m ³)			
		335 m	330 m	328 m	324 m
蓄水运用前(1960.4.30)		97.50	59.58	51.08	38.23
蓄水运用后(1964.10.11)		57.00	22.10	15.47	5.88
蓄清排浑运用	1973.9.26	60.55	32.57	25.82	15.10
	1990.10.2	58.23	30.41	23.87	13.19
	1998.5.22	55.60	29.50	22.82	12.15

表 1-2 潼关以下库区 330 m 高程以下滩库容、槽库容变化

时间 (年·月·日)		库容(亿 m ³)		
		滩库容	槽库容	总库容
蓄水运用前(1960.4.30)		32.15	23.25	55.40
蓄水运用后(1964.10.11)		10.87	10.66	21.53
蓄清排浑运用	1973.9.26	9.58	22.10	31.68
	1988.9.21	8.24	22.56	30.80
	1998.5.22			29.26

注：1990 年以后缺滩、槽库容资料，故暂未列。

三门峡水库由于初期高水位蓄水拦沙运用，最高蓄水位为 332.58 m(1961 年 2 月 9 日)，回水超过潼关，渭河至华县附近(距坝址 165.2 km)库水位保持在 330 m 高程以上的长达 200 天，造成水库严重淤积，库容损失严重。由表 1-1 可知，水库蓄水前 335 m 高程以下库容为 97.50 亿 m³，而 1964 年汛后减至 57.00 亿 m³，库容损失约 42%。从表 1-2 看出，潼关以下库区 330 m 高程以下库容在水库蓄水运用前为 55.40 亿 m³(1960 年 4 月)，1964 年 10 月仅剩 21.53 亿 m³，库容损失 33.87 亿 m³，损失约 61%。从潼关以下滩库容、槽库容变化看，三门峡水库蓄水运用前(1960 年 4 月 30 日)滩库容、槽库容分别为 32.15 亿、23.25 亿 m³，滩库容占总库容的 58%，槽库容占 42%；蓄水运用后，由于库区发生淤积，滩库容、槽库容分别损失 21.28 亿 m³ 和 12.59 亿 m³，滩库容、槽库容分配比例发生变化，各占 50%。水库经过增建和改建并改变运用方式以后，槽库容逐步恢复，至 1973 年 9 月槽库容由 1964 年 10 月的 10.66 亿 m³ 恢复到 22.10 亿 m³。1973 年 11 月开始采用“蓄清排浑”调水调沙控制运用以来，潼关以下槽库容一直维持在 22 亿 m³ 左右，滩、槽总库容维持在 30 亿~32 亿 m³(图 1-1、图 1-2)，而 335 m 高程以下库容基

本上维持在 55 亿 ~ 60 亿 m^3 。

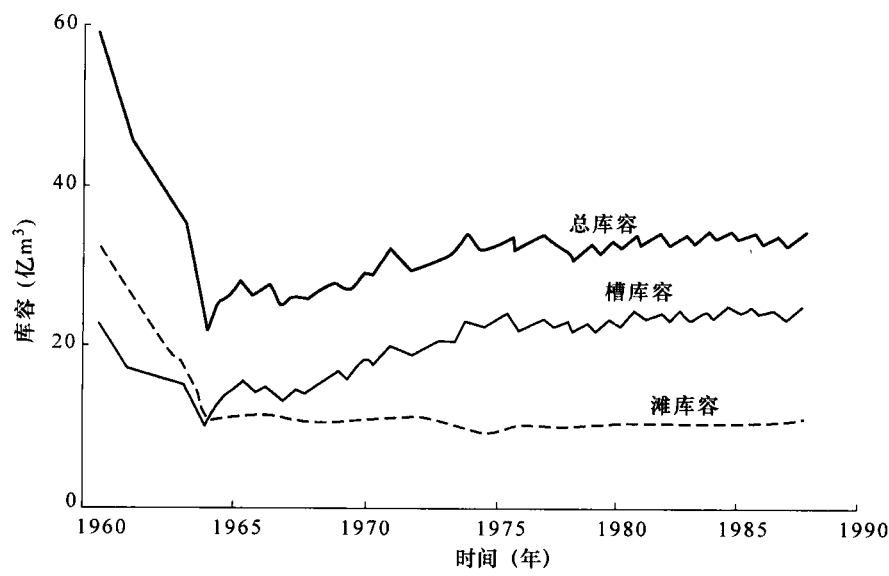


图 1-1 三门峡水库 330 m 高程以下库容变化

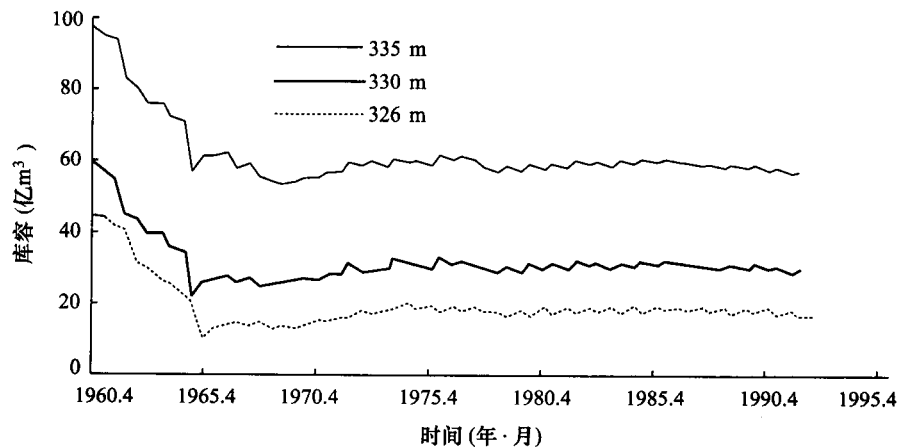


图 1-2 三门峡水库各级水位库容历年变化图

由于黄河来沙量大，库区冲淤变化非常迅速，河床调整较快。库区冲淤变化与来水来沙条件、水库的泄流规模、运用方式和库区的地形、地质条件密切相关。根据河床调整过程中滩、槽的冲淤变化规律，滩地淤积很难冲刷，所以滩库容损失后就很难恢复。而槽库容的变化则不同，当水库蓄水时，槽库容淤积；当坝前水位下降以及来水量大时，河槽冲刷，槽库容增大，可恢复原有的槽库容。三门峡水库改为蓄清排浑运用后，非汛期蓄水进行防凌、发电、春灌等综合利用，库区发生淤积；汛期降低水位及利用洪水冲刷排沙。20 多年的运用表明，槽库容在冲淤交替中基本保持稳定，虽然在非汛期蓄水运用时也使用了一部分滩库容，但由于含沙量小，所以库容变化并不大。

蓄清排浑的运用实践表明,三门峡水库槽库容的恢复主要是通过汛期降低水库水位引起自下而上的溯源冲刷和自上而下的沿程冲刷来实现的。水库降低水位发生的溯源冲刷一般在太安(大禹渡)附近(甚至可发展到圪塔),只要不是枯水或连续枯水年份,一般都能发展为溯源冲刷与沿程冲刷相衔接。溯源冲刷能把库区河槽中大量淤积的泥沙带出库外,沿程冲刷可冲刷上段淤积的泥沙;而冲刷量的大小与水沙过程及来源组成、库区比降、坝前水位等因素有关。考虑到流量大时排沙对黄河下游输沙有利,从兼顾上下游而言,要充分利用洪水期大流量的排沙能力,将非汛期淤积在河槽内的泥沙排出库外,以恢复槽库容。

三门峡水库的运用实践表明,修建在多泥沙河流上的水库,滩库容一旦损失以后很难恢复。为了有效地保持库容,防御特大洪水,应采用合理的调度运用方式并合理地确定水库的防洪目标。在一般洪水情况下,使回水不要影响潼关,潼关以下也力求减少洪水出槽的机遇,以期较长时期内保留滩库容作为防御大洪水之用。为此,三门峡水库运用水位应不断调整和改善,尽量减少高水位的持续时间,以期使水库在防洪运用中不断地发挥作用。

4 三门峡水库的基本任务及作用

三门峡水库是修建在多泥沙河流上以防洪、防凌为主,兼顾灌溉、发电、供水的综合利用水库。三门峡水库控制了黄河中游河口镇至龙门和龙门至三门峡区间两个主要洪水来源区,防御特大洪水、确保黄河下游防洪安全是三门峡水利枢纽的首要任务,对一般洪水不拦蓄,仅起削峰滞洪作用。根据1969年晋、陕、豫、鲁四省会议制定的原则,当三门峡以上地区发生特大洪水时,敞开闸门泄洪;当花园口站可能发生超过 $2.2 \text{ 万 m}^3/\text{s}$ 洪水时,应根据上、下游来水情况关闭部分或全部闸门,增建的泄水孔原则上应提前关闭,以防增加黄河下游的防洪负担。

三门峡水库防洪运用水位 335 m 高程以下的有效库容近 60 亿 m^3 ,用于防御特大洪水。当三门峡以上地区出现流量大于 $10\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 的洪水时,可通过对三门峡的控制运用来削减洪峰流量,以减轻下游堤防负担和减少漫滩淹没损失。另外,可通过对三门峡、陆浑和故县水库联合调度运用,来减少下游花园口洪峰流量超过 $22\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 的出现几率,使黄河下游防洪调度灵活、可靠。

自三门峡水库建成后,由于水库的防凌蓄水运用,不仅有效地削减了凌汛洪峰,还使凌情较重年份的河道由“武开河”变为“文开河”。利用水库调节黄河下游流量,对保证下游凌汛安全起到了关键作用。同时,三门峡水库在灌溉、供水、发电和减淤等方面也发挥了效益。

40余年来,三门峡水库的作用是显著的,但库区河道淤积及潼关高程上升也带来了一些不利影响。小浪底水库建成投入运用后,三门峡水库原有的防洪、防凌、灌溉、蓄水等任务将相应进行调整,特别是在小浪底水库运用初期,有些任务将主要由小浪底水库来承担。为使三门峡水库继续发挥作用而不影响潼关高程,本书对水库运用、库区冲淤变化和潼关高程演变规律及影响因素进行了分析,在此基础上,通过对不同方案进行

计算及综合对比,研究小浪底水库运用初期三门峡水库的运用方式,并对潼关高程的发展趋势和改善措施进行探讨。

参考文献

- [1] 黄河三门峡水利枢纽志编纂委员会. 黄河三门峡水利枢纽志. 北京: 中国大百科全书出版社, 1993
- [2] 程龙渊, 刘拴明, 等. 三门峡库区水文泥沙实验研究. 郑州: 黄河水利出版社, 1999
- [3] 杨庆安, 龙毓骞, 缪凤举. 黄河三门峡水利枢纽运用与研究. 郑州: 河南人民出版社, 1995

第二章 三门峡水库冲淤及潼关高程演变分析

1 来水来沙条件及其变化趋势

三门峡水库 1973 年底开始采用“蓄清排浑”运用方式，潼关以下库区呈汛期冲刷、非汛期淤积的基本特性。其中 1974~1986 年，库区冲淤基本平衡，潼关高程保持相对稳定；1986 年以后，由于上游龙羊峡水库与刘家峡水库联合运用，工农业用水持续增加、降雨量减少和水土保持的减水减沙作用等，水库的来水来沙条件发生了很大的变化，库区累积淤积，潼关高程持续抬升，给三门峡水库运用和渭河下游防洪均带来不良影响。水沙条件的变化主要表现在来水来沙数量、水沙年内分配、洪峰大小和频率上，而发展趋势则取决于上游水库运用情况、工农业用水量变化情况、气候因素等。

1.1 水沙特征

1.1.1 年际变化

潼关水文站 1950~2000 年(指运用年，即上年度 11 月到本年度 10 月，下同)长系列年平均水量 367 亿 m^3 、沙量 11.8 亿 t，其中汛期水量 204 亿 m^3 、沙量 9.8 亿 t，分别占年水量、沙量的 56%和 83%。1974~2000 年潼关站年均水量 322 亿 m^3 、沙量 8.8 亿 t，其中汛期水量 170 亿 m^3 、沙量 7.1 亿 t，分别占年水量、沙量的 53%和 81%；年平均含沙量 27 kg/m^3 ，汛期平均含沙量 42 kg/m^3 ，非汛期平均含沙量 12 kg/m^3 ，见表 2-1。

表 2-1 不同时段潼关站水沙量

时段	水量(亿 m^3)			沙量 (亿 t)			含沙量(kg/m^3)		
	非汛期	汛期	运用年	非汛期	汛期	运用年	非汛期	汛期	运用年
1950~2000 年	163	204	367	2.0	9.8	11.8			
1974~2000 年	152	170	322	1.7	7.1	8.8	12	42	27
1974~1985 年	165	236	401	1.6	8.9	10.5	10	38	26
1986~2000 年	141	117	258	1.9	5.6	7.5	14	48	29

图 2-1 为“蓄清排浑”运用以来潼关站历年水沙过程，以 1985 年为界，来水量明显表现为不同的特征。1974~1985 年总体为丰水系列，12 年中除了 1974 和 1980 年来水量偏枯(少于 280 亿 m^3)以外，其他年份或平或偏丰，其中 1975、1976、1981、1983、1984、1985 年 6 年的来水量均超过了 400 亿 m^3 ，最丰的 1976 年达 539 亿 m^3 。1986~2000 年为连续枯水系列，15 年中来水最多的 1989 年为 377 亿 m^3 ，1987、1991~2000 年 11 年的来水量均少于 300 亿 m^3 ，1997 年的来水量最少，只有 161 亿 m^3 。

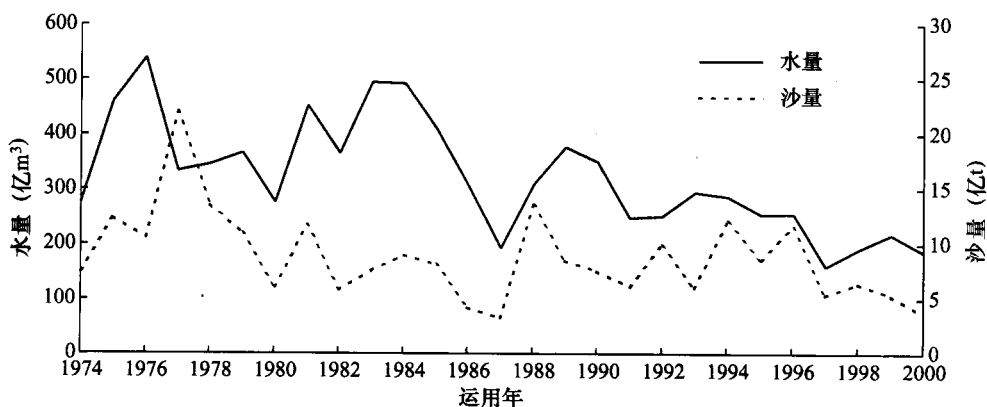


图 2-1 潼关站历年水沙量

两个时段的来沙量与长系列相比均偏少，后一时段偏少更多，但不像来水量那样表现出明显的系统差异。1974~2000 年 27 年中来沙量较多(超过 10 亿 t)的年份有 1975~1979、1981、1988、1994、1996 年 9 年，其中，1977 年为特大来沙年，来沙量达 22 亿 t；来沙量较少(6 亿 t 以下)的年份有 1982、1986、1987、1993、1997、1999、2000 年 7 年，其中，1987 年来沙量最少，只有 3.2 亿 t。

表 2-2 给出了潼关站不同时期的水沙量变化特征值。1974~1985 年平均年来水量 401 亿 m^3 ，与长系列相比偏丰 9%，其中汛期 236 亿 m^3 ，偏丰 16%；年平均来沙量 10.5 亿 t，与长系列相比偏少 11%，其中汛期 8.9 亿 t，偏少 9%。1986~2000 年平均来水量 258 亿 m^3 ，与长系列相比偏枯 30%，其中汛期 117 亿 m^3 ，偏枯 43%；年平均来沙量 7.5 亿 t，与长系列相比偏少 36%，其中汛期 5.6 亿 t，偏少 43%。

表 2-2 潼关站水沙变化百分数

(%)

项目	时段	非汛期	汛期	运用年	汛期占年百分比
水量距平	1974~1985 年	1	16	9	59
	1986~2000 年	-13	-43	-30	45
沙量距平	1974~1985 年	-20	-9	-11	85
	1986~2000 年	-5	-43	-36	75
系列变化	水量	-15	-50	-36	
	沙量	19	-37	-29	

注：距平系与 1950~2000 年系列相比较；系列变化为 1986~2000 年系列与 1974~1985 年系列相比较。

1986~2000 年与 1974~1985 年相比，潼关站年来水量减少 36%，汛期减少 50%，非汛期减少 15%，可见来水量减少主要发生于汛期；年来沙量减少 29%，汛期减少 37%，非汛期增多 19%。由于来水量减少的比例远大于来沙量，所以年均含沙量由 1974~1985 年的 26 kg/m^3 提高到 1986~2000 年的 29 kg/m^3 ，汛期平均含沙量由 38 kg/m^3 增加到 48 kg/m^3 ，非汛期平均含沙量由 10 kg/m^3 增加到 14 kg/m^3 。

1.1.2 水沙年内分配

潼关站 1986~2000 年系列不仅来水来沙量比 1974~1985 年系列大大减少,而且由于上游龙羊峡水库汛期蓄水、非汛期泄水,导致水沙的年内分配也发生了较大变化。汛期来水量占全年的比例由 1974~1985 年系列的 59%下降为 1986~2000 年系列的 45%,汛期来沙量占全年的比例由 85%下降为 75%。

由表 2-3 潼关站逐月水沙变化可见,与 1974~1985 年系列相比,1986~2000 年系列汛期减水量最大的月份是 10 月,由 60.1 亿 m³减为 18.7 亿 m³,减水幅度达 69%,其次是 9 月,由 68.4 亿 m³减为 30.8 亿 m³,减水幅度达 55%;非汛期减水主要发生在 11 月,由 28.2 亿 m³减为 16.3 亿 m³,减水幅度达 42%。汛期减沙量最大的月份是 9 月份,由 1.866 亿 t 减为 0.843 亿 t,减沙幅度达 55%,其次是 10 月,由 0.962 亿 t 减为 0.230 亿 t,减沙幅度达 76%;非汛期 6 月份的沙量增加最多,由 0.176 亿 t 增为 0.390 亿 t,增沙幅度达 122%。1986 年以后,汛期来水主要集中在 7~9 月,来沙则主要集中在 7~8 月,10 月份的来水来沙不再具备汛期的特征。

表 2-3 潼关站逐月水沙变化

月份	水量 (亿 m ³)				沙量 (亿 t)			
	1974 ~ 1985 年	1986 ~ 2000 年	变化量	变化(%)	1974 ~ 1985 年	1986 ~ 2000 年	变化量	变化(%)
1	16.1	14.4	-1.7	-11	0.159	0.165	0.006	4
2	19.3	16.6	-2.7	-14	0.185	0.191	0.006	3
3	26.1	27.2	1.1	4	0.249	0.361	0.112	45
4	25.5	24.5	-1.0	-4	0.199	0.232	0.033	17
5	18.3	12.6	-5.7	-31	0.155	0.170	0.015	10
6	13.9	14.6	0.7	5	0.176	0.390	0.214	122
7	44.4	27.8	-16.6	-37	2.469	1.908	-0.561	-23
8	63.3	39.9	-23.4	-37	3.550	2.604	-0.946	-27
9	68.4	30.8	-37.6	-55	1.866	0.843	-1.023	-55
10	60.1	18.7	-41.4	-69	0.962	0.230	-0.732	-76
11	28.2	16.3	-11.9	-42	0.309	0.184	-0.125	-40
12	17.3	15.4	-1.9	-11	0.177	0.218	0.041	23

1.1.3 水沙来源组成

潼关站的水沙量主要来自黄河龙门以上和渭河华县以上。1974~2000 年系列龙门站年均水量 251 亿 m³,占潼关水量的 78%,沙量 5.6 亿 t;华县站年均来水量 60 亿 m³,占潼关水量的 19%,沙量 2.9 亿 t。由表 2-4 龙门、华县水沙变化统计可见,龙门站 1986~2000 年系列多年平均水量比 1974~1985 年系列减少约 105 亿 m³,华县站减少约 28 亿 m³,两站汛期、非汛期的减水幅度与潼关站同期相当。龙门和华县站沙量变幅与潼关站有较大差异,汛期两站的减沙幅度均小于潼关站,反映了汛期河道的淤积作用;非汛期两站的来沙量均有所提高,以华县的提高更为显著。

表 2-4 龙门、华县水沙变化统计

站名	项目	时段	非汛期	汛期	运用年	汛期占年来水比(%)
龙门	水量 (亿 m ³)	1974~1985 年	135.8	173.5	309.2	56
		1986~2000 年	118.0	86.4	204.4	42
		系列变化(%)	-13	-50	-34	
	沙量 (亿 t)	1974~1985 年	0.83	5.64	6.48	87
		1986~2000 年	0.89	4.01	4.90	82
		系列变化(%)	7	-29	-24	
华县	水量 (亿 m ³)	1974~1985 年	24.0	51.7	75.7	68
		1986~2000 年	21.2	26.8	48.0	56
		系列变化(%)	-12	-48	-37	
	沙量 (亿 t)	1974~1985 年	0.22	2.93	3.15	93
		1986~2000 年	0.40	2.22	2.62	85
		系列变化(%)	82	-24	-17	

1.1.4 洪水流量及频率变化

潼关站的水沙变化除了来水来沙总量减少和年内分配趋于均匀外,汛期洪水特征也发生了很大的变化。由表 2-5 可见,1986 年以后,洪水发生频次减少;最大峰值减小;洪水平均持续天数由 72 天降为 36 天;洪量变化最为显著,由 187 亿 m³ 减为 53 亿 m³,减幅达 72%。

从流量级来看,1986 年以后,大流量出现频率减少,小流量出现频率增加。1974~1985 年大于 2 500 m³/s 流量的水量占汛期水量 50%以上,大于 1 500 m³/s 流量的天数占汛期的 67%,而 1986~2000 年小于 1 500 m³/s 流量的水量由 1974~1985 年的 15.3% 增加为 52.9%,小于 1 500 m³/s 流量天数由 1974~1985 年的 34% 增加为 77.1%(见表 2-6)。汛期平均流量 1974~1985 年为 2 220 m³/s,1986~2000 年只有 1 100 m³/s。

1.2 水沙变化原因及发展趋势

1986 年以来,汛期水量大幅减少,主要是黄河上中游地区降雨偏少和人类活动给河道径流带来的影响。兰州以上为黄河流域主要产流区,汛期径流量的丰枯取决于流域降雨量的大小。1986 年前后该区的降水量和径流量都发生了一个突变,由丰枯相间转变为持续的枯水阶段。进入 20 世纪 90 年代以后的 6 年间,降水量比常年偏少 14%,这对于降水变率较小的兰州以上地区来说,为有史以来所罕见的。河口镇至龙门区间,近 10 年降水量与多年均值相比,干流以东大部分地区降水较丰,偏丰 10%~15%;干流以西地区偏枯 10%~30%。黄河上游和河口镇至龙门区间受降水变化的影响,径流量大幅减少。黄河唐乃亥站以上流域基本不受人类活动的影响,1956~1968 年年均径流量 213 亿 m³,其中汛期水量 131 亿 m³,占年水量的 61.5%。1990~1997 年年均水量减至 167 亿 m³,与 1956~1968 年年均值相差 46 亿 m³;汛期水量 91.5 亿 m³,比 1956~1968 年汛期均值