

黄河下游新的防洪形势

齐璞, 孙赞盈, 张世安

(1. 黄河水利科学研究院, 河南省郑州市 450003)

摘要: 自小浪底水库投入运用, 至2019年黄河下游河床产生强烈冲刷, 共冲刷21.5亿 m^3 、河南段冲深近3m, 山东段河槽冲深1.3~2m, 河槽的过洪能力迅速增大; 中上游近几十年来大规模的治理导致了下游河道来水来沙趋势性变化: 黄河来沙量逐年大幅度减少、由16亿t变成2~4亿t; 进入下游河道的大洪水再未出现、近年来没有发生高于警戒水位的洪水流量, 下游河道防洪形势发生巨变。此外, 输送到河口的沙量也大幅度减小, 河口淤积延伸减弱, 其对上游河道影响可以忽略。鉴于小浪底水利枢纽持续进行的泥沙多年调节, 充分利用洪水排沙, 河槽还会长期发生冲刷。目前的下游河道已经成为安全的河流。为了防止发生华北地区河流过度治理局面出现, 引起黄河下游环境变坏, 维持黄河的健康生命, 调整控制黄河中上游治理工程开发目标与规模, 在下游修建桃花峪水利枢纽进行控制也是必要的。

关键词: 黄河; 小浪底水库; 冲刷; 水沙趋势性; 多年调沙; 河槽泄洪; 水量分配

中图分类号:

文献标识码: A

河床演变受流域自然地理和地质地貌大环境、来水来沙条件与河床边界条件等因素制约, 当其中一些方面发生改变时, 会引起河流的自动调整; 当其中一些因素改变剧烈时, 河床就会随之发生迅速的调整。

黄河是世界有名的多沙河流。历史上, 黄河“三年两决口, 百年一改道”, 制造灾难无数。泥沙在下游淤积是黄河洪水泛滥的重要原因。为了从根本上治理, 曾以“节节蓄水、分段拦泥”的规划原则, 对黄河做了全面规划, 企图使黄河水变清, 从根本上解决下游的洪水灾害。

经过几十年来对黄河上中游流域范围内和河道本身的治理, 目前的黄河其来水来沙条件已经发生重大的改变。自20世纪70~80年代以来黄河上中游干支流上修建了大量水利和水保工程, 洪水和泥沙已经得到有效控制, 使黄河来水来沙条件与下游河道情况发生巨大变化, 黄河来沙量与洪水流量均大幅度减小, 小浪底水库投入运用以来更是使下游河床发生强烈冲刷, 洪水位大幅度下降, 河槽过洪能力迅速增大。

由于黄河长期多沙, 且水沙组合不合理, 小水挟沙多, 造成河道淤积。为了能使自身所挟带的过多泥沙能输送入海, 通过自动调整黄河下游自然形成较陡的河道纵比降, 约为万分之二到万分之一(淮河泄洪河道比降为三万分之一, 长江下游比降为三万分之一到五万分之一, 均比黄河小得多), 洪水期流速可以达到3~4m/s。在这样的情形下到了涨水期就有充分的能力使得河槽部分可以被冲刷(仅在滩上发生淤积, 即通常所说的槽冲滩淤), 水深迅速增大, 最大洪峰过境时河床最低, 过流能力达到最大。黄河下游花园口站河床高程为黄海高程90多米, 而长江武汉站的海拔高程只有20多米。可以看出, 优化来水来沙组合后, 目前的河道纵比降利用洪水输送泥沙入海具有很大的潜力。

小浪底水库投入运用初期, 下泄清水并造峰冲刷下游河道, 改变了多年小水挟沙淤积河槽, 形成游荡型河道的历史, 使黄河下游成为世界上较为安全的大河。以下即对小浪底水库投入运用后黄河下游防洪形势现状、原因进行分析, 并对治理方向进行探讨。

1 小浪底水库投入运用下游防洪形势的变化

收稿日期:

作者简介: 齐璞(1942-), 男, 汉族, 北京人, 教授级高级工程师, 主要从事河床演变与河道整治等方面研究。

E-mail: 478108809@qq.com

1.1 河道发生强烈冲刷 1999~2018年小浪底水库共淤35亿 m^3 ，下游河道冲刷21.5亿 m^3 ，河槽的泄洪能力迅速增大。河南河段河槽因冲刷流量3000 m^3/s 水位较2015年与1999年下降2.56~3.01m(见图1)，河道的平滩流量由3650~2700 m^3/s 增加至7200~6500 m^3/s ；高村以下河道3000 m^3/s 水位下降1.3~2.15m，河槽的平滩流量由2800~3200 m^3/s 增加至4350~4650 m^3/s （见表1）。

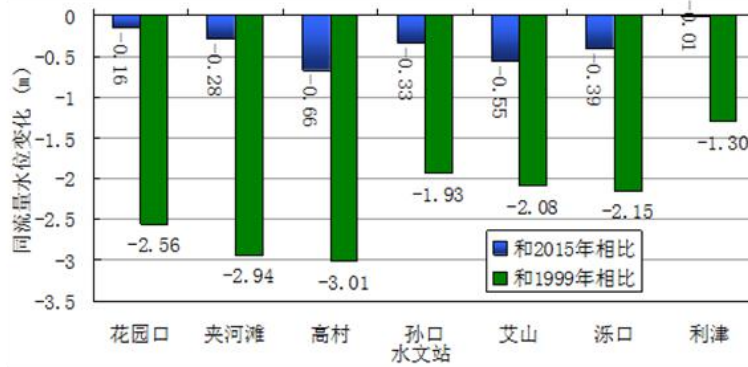


图1 黄河下游河道1999~2018年各河段流量3000 m^3/s 水位下降值

表1 小浪底水库1999~2018年下游河道冲刷与泄洪能力

水文站	花园口	夹河滩	高村	孙口	艾山	涑口	利津
平滩流量（警戒流量）	1999年(m^3/s)	3650	3400	2700	2800	3100	3200
	2018年(m^3/s)	7200	6800	6500	4350	4300	4650
	平滩流量增大值(m^3/s)	3550	3400	3800	1550	1150	1450
滩面高程（警戒水位,大沽）	93.85	76.85	63.20	48.65	41.65	31.40	14.24
3000(m^3/s)水位下降值（m）	2.56	2.93	3.01	1.93	2.08	2.15	1.30
生产堤的作用	加1.5m后高程	95.35	78.35	64.70	50.15	43.15	32.9
	河槽过流(m^3/s)	22000	15000	15000	9000	7000	6800
2000年前河道大堤设防流量(m^3/s)	22000	21500	20000	17500	11000	11000	10000
北岸大堤顶高程(大沽)	99.48	83.56	68.62	55.52	49.22	38.47	19.15
南岸大堤顶高程(大沽)	99.51	82.56	69.04	54.92		38.03	19.56
堤顶比滩面高（m）	5.3	5.7	5.4	6.3	7.6	6.6	5.0

1.2 河道过洪能力 迅速增大 黄河下游堤防在小浪底水库建成（2000年）前按百年洪水设计标准，花园口站设计洪峰流量22000 m^3/s ，花园口一字线高村河段大堤顶高程按设计洪水水位超高3m修建，大堤后淤背宽度100m，小浪底水库建成后成为千年一遇。高村以下河段大堤顶高程按设计洪水水位超高2.5m修建。

在2003年蔡集出险后，黄河下游的生产堤普遍大幅度加高培厚，已经形成高出当地滩面2~3.5m，堤顶宽4~8m的比较完整的堤内防洪体系。若考虑1.5m高生产堤防洪作用：利用报汛报告上各站给的设计水位流量关系曲线查得：目前花园口河段生产堤内河道可以下泄洪峰流量为22000 m^3/s ；高村以上河段能下泄15000 m^3/s 以上洪峰流量；艾山以下河道可下泄洪水流量达7000~8000 m^3/s 。

随着小浪底水库下泄清水与水库调水调沙的运用，黄河下游河道还会继续发生冲刷，河槽的过洪能力还会不断增大^[1]。小浪底水库的调节同时也避免了下游河道断流，增加河南、山东两省用水保证率，保证下游灌溉用水。

目前黄河下游游荡型河段主流还在下切后的宽浅河槽中不断摆动冲刷，对稳定主流、引水防洪均不利，应通过有效工程设施加以控制，如进行两岸整治形成窄深稳定中洪水河槽和形成高效排洪输沙通道。

1.3 兴建桃花峪水库控制小花间洪水与河槽沿程冲刷部位 由于小浪底水库投入运用后下游河道强烈冲刷，同流量下的水位还可能进一步降低，可以考虑修建桃花峪水利枢纽以进行控制，其可以发挥以下作用：

- (1) 可进一步控制小浪底水库以下干支流无控制区的洪水。
- (2) 对小浪底水库投入运用后下泄的清水进行调配，满足中原经济区发展的需要。
- (3) 控制黄河下游河道上河段河床冲刷，保证花园口以上河段引水，使黄河下游的冲刷能充分向下游发展。

2 黄河及海河流域水沙量大幅度减小

2.1 黄河实测最大洪水流量变化趋势 黄河流域绝大部分属半湿润、半干旱乃至干旱地区，中上游区间范围内大量兴建水库，灌溉农业与水土保持的发展，引起下垫面汇流条件的巨大变化，也使黄河实测洪水大幅减小。

据1994年统计，黄河支流上已有的大中小型水利枢纽达600余座，总库容达110亿 m^3 ，黄河干流总库容达626多亿 m^3 ，两者之和使得总库容达到736多亿 m^3 ，大大超过黄河的天然年水量580亿 m^3 ，具有较大的调节能力。仅龙羊峡、刘家峡、三门峡、小浪底四库防洪库容就达156.2亿 m^3 （相当原有设计黄河千年一遇洪水12天的总量）。在小浪底水库以下的主要支流上也兴建有许多大型水库，如伊河陆浑、洛河故县水库，防洪库容分别为6.77亿 m^3 和6.98亿 m^3 ，沁河河口村水库库容3.3亿 m^3 。百年一遇洪水的洪峰流量由29200 m^3/s 降为15700 m^3/s ；若发生1958年的22300 m^3/s 洪水，花园口站洪峰流量将降为9620 m^3/s ；自1982年发生15300 m^3/s 大洪水以来，花园口站洪峰没有出现大于8100 m^3/s ，小浪底水库投入运用以来没有出现大于5000 m^3/s ，洪水已经得到有效控制，大洪水发生的次数大幅度减少，图2给出花园口站1950~2018年历年实测最大洪峰流量逐渐变小的变化过程^[1]。

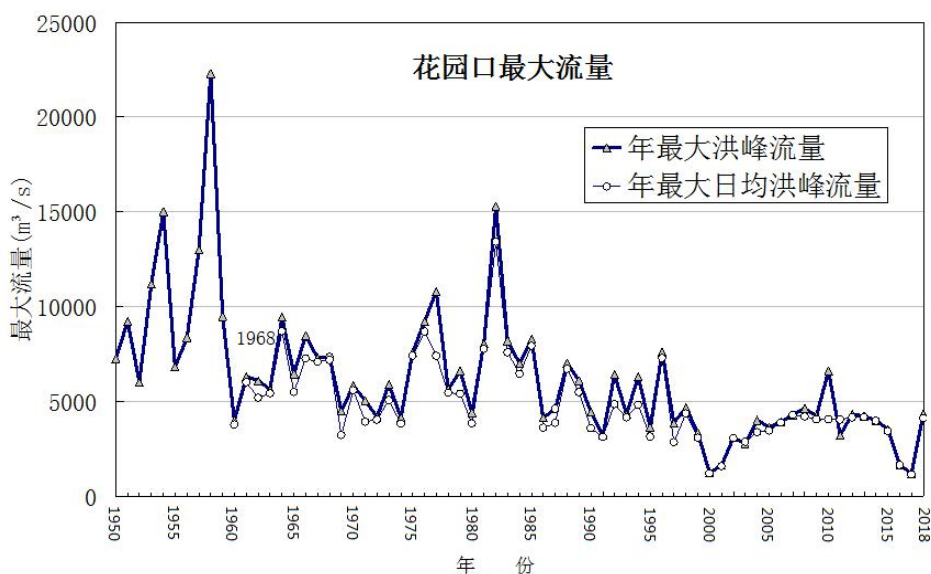


图2 花园口站1950~2018年历年实测最大洪峰流量变化过程

2.2 黄河来沙量也大幅度减小 黄河水沙主要来自于上中游地区，中游的潼关站控制黄河流域面积的91%、径流量的90%、来沙量的近100%。分析潼关水文站各个年代水沙状况发现，由于多种水利水土保持措施作用的不断增长，黄河水沙自20世纪60年代之后发生显著变化。基于全流域水利水土保持

措施情况、干流水库投入运用情况以及潼关水文站累积年径流量、输沙量变化过程综合考虑，对黄河水沙变化系列长度超过20年的三个时段重点开展分析：图3给出了潼关水文站实测年(1919~2017年)输沙量过程变化^[2]：

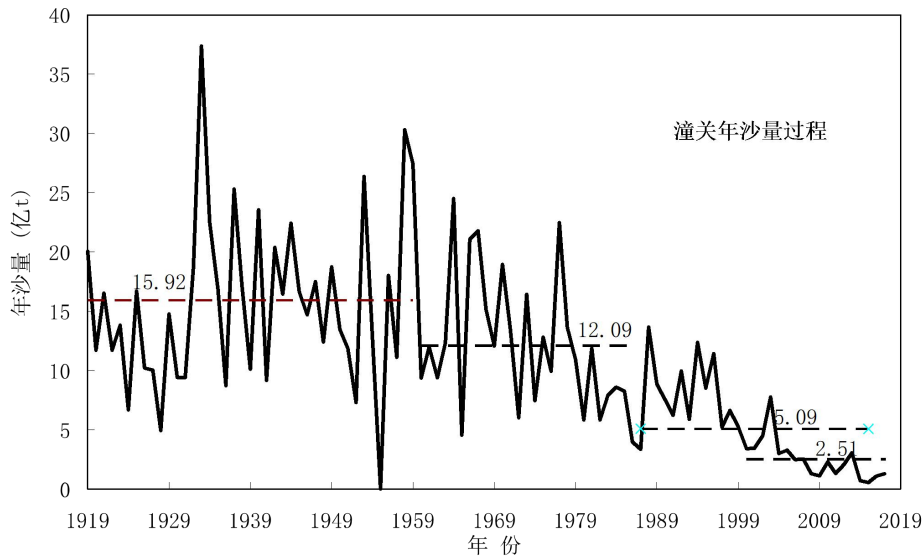


图3 潼关水文站1919~2017年实测年沙量的变化过程

20世纪60年代以前，黄河水沙受水利水土保持措施影响较小，实测输沙量基本可以代表水利水土保持措施实施前的天然情况。1919~1959年潼关水文站实测年平均径流量426.1亿 m^3 、输沙量15.92亿t、平均含沙量37.4 kg/m^3 。

20世纪80年代中期以来，黄河干流盐锅峡、青铜峡、刘家峡、龙羊峡多年调节水库的蓄水运用以及黄土高原水土流失治理力度进一步加大，1999年以来实施退耕还林还草工程，及2003年以来实施“淤地坝亮点工程”。

2000~2012年与1987年以来的26年系列相比，潼关站径流量、输沙量更少，含沙量也进一步减小，径流量、输沙量分别为231.2亿 m^3 、2.76亿t、平均含沙量为12.0 kg/m^3 。在2010年以来年沙量只有2.51亿t。

黄河中上游进一步治理，进入黄河下游洪峰还会进一步逐渐减小。以汾河上水库为例：流域上兴建小I型以上水库69座，总库容达13.3亿 m^3 ，已经超过汾河年径流9.7亿 m^3 ，使得河津站洪水基本消失。

2.3 华北地区河流的巨大变化 华北地区河流的流域特性与黄河流域相近似，经过干支流水库群的调节，已经几十年没有大洪水发生，其治理经验与教训对指导黄河治理具有重要指导意义。

由于海河流域的治理，华北平原上的河流已经相继都变成干河，偶尔才会有洪水下泄。据环保部调查华北地区北方河流已经有2/3变为干河(干河比总数227/333)。海河流域已有大、中型水库141座，其中的123座水库的总库容达247亿 m^3 ，蓄水量常达70~80亿 m^3 。永定河、拒马河、滹沱河、漳河各大支流及汾河已经长期断流，多年来没有洪水发生，河道的环境破坏严重。华北地区海河支流，永定河的年径流量与总库容比为14/21、滹沱河为22/29、漳河岳城库容13亿 m^3 ，均已经几十年没有大洪水发生了，洪水入海机会更谈不上。

2.4 黄河进入河口地区水沙量的变化趋势 据利津水文站1950~1999年的资料统计，其多年平均径流量为343.3亿 m^3 ，多年平均来沙量为8.68亿t。可知黄河泥沙是黄河三角洲迅速造陆的主要动力。图4给出黄河口利津站1950~2016年的来水来沙特征，充分显示出来水量来沙量的逐年减少，主要表现在以下几个方面特征：

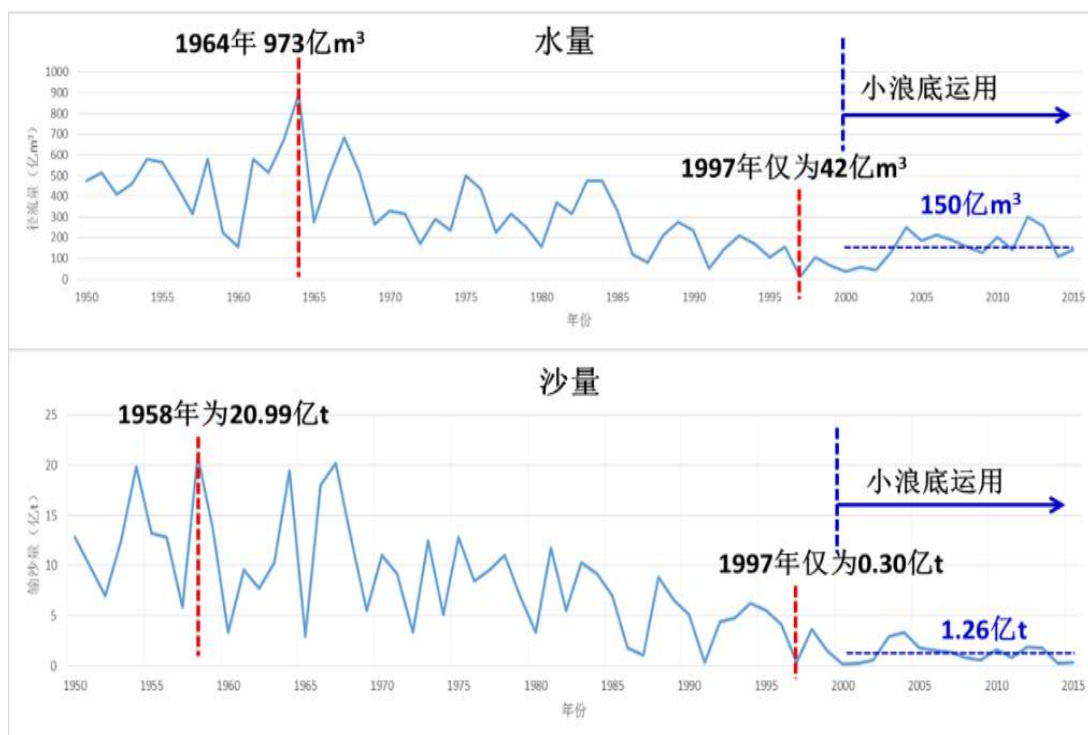


图4 黄河口利津站1950~2015年逐年来水、来沙量的变化过程

(1) 黄河进入河口区来水来沙年际间变化过程极不均匀，年最大来水量发生在1964年为973亿 m^3 ，发生在1997年仅为42亿 m^3 ；1958年为20.99亿t，而1997年仅为0.30亿t；来水来沙主要集中于汛期的洪水期。

(2) 进入河口地区来水来沙年际间变化呈现逐年变小的趋势，利津站多年平均径流量和输沙量分别为229.2亿 m^3 和5.82亿t，与1950~1999年多年平均流量和输沙量相比均有较大幅度的减小，1970年后没有出现年沙量大于13亿t的情况，1986~1999年利津站的年平均沙量只有4.04亿t，1986年以后年沙量最大发生在1988年，年沙量为8.12亿t。

(3) 小浪底水库投入运用以来，2000~2015年利津站的平均年水量还有150亿 m^3 ，而平均年沙量只有1.26亿t。最大年沙量只有3.32亿t，不足天然情况下年沙量（12亿t）的30%。其变化趋势与黄河中游的沙量变化趋势相同。

由以上的这些实际情形可以合理地推论，如果今后长时期输沙到河口地区的年沙量减小到小于河口地区海岸动力自然侵蚀能力3~4亿t/a，河口淤积延伸对下游河道淤积造成影响可以忽略^[3]。

3 对黄河治理中存在的新问题与前景分析

图5给出了1950~2019年汛前，黄河下游花园口、夹河滩、高村、孙口、艾山、泺口、利津历年3000 m^3/s 水位变化过程，可知，2000年小浪底水库投入运用后水位连续下降。改变了黄河下游1950年以来，多年来洪水位逐渐抬高变化趋势。

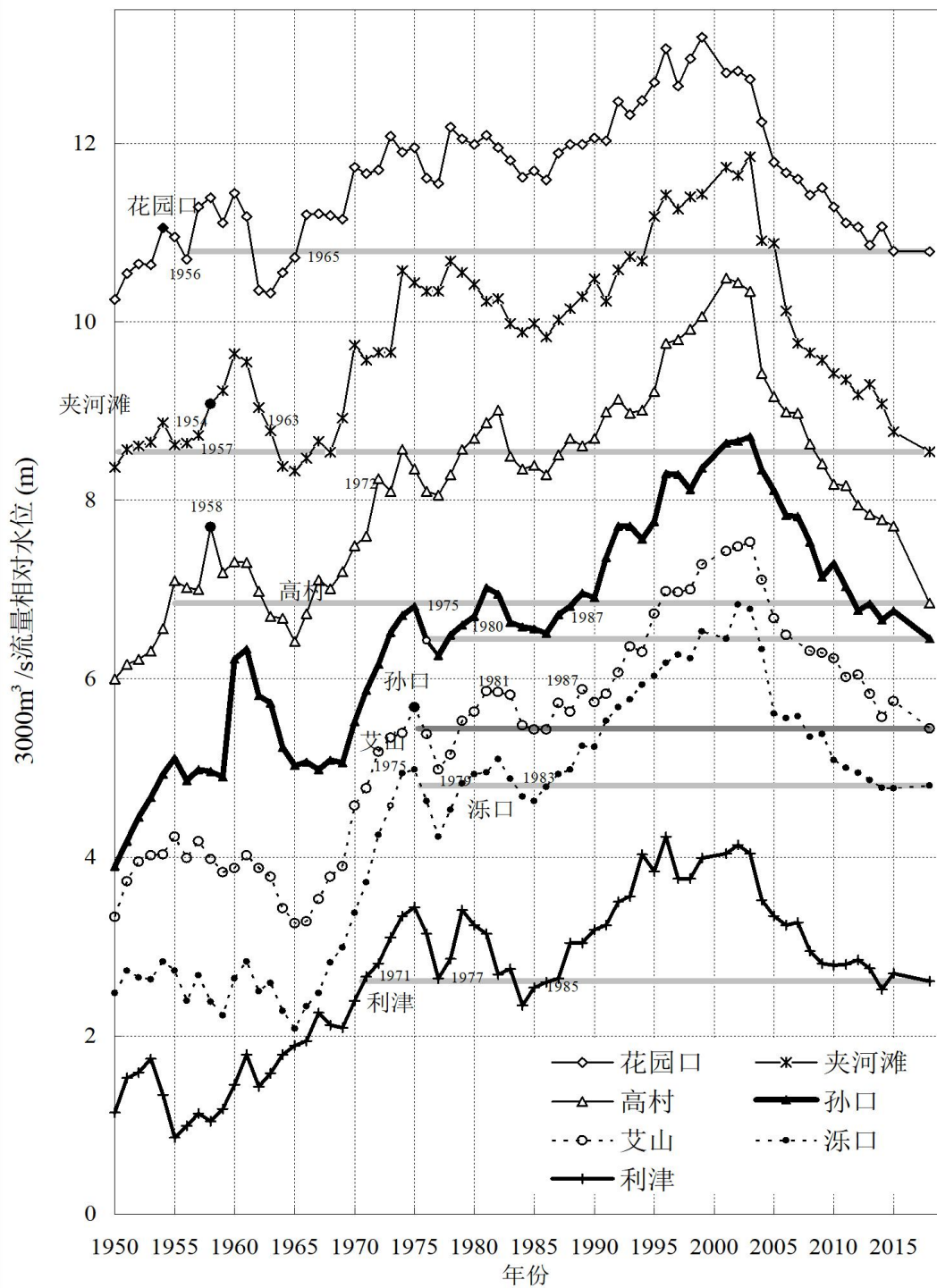


图5 黄河下游1950-2019年流量3000m³/s情况下河床沿程水位变化过程

小浪底水库可以长期发挥泥沙多年调节的巨大作用。小浪底水库总库容126亿m³，按小浪底水库初步设计运用到15年后254m高程以下70亿m³的库容要被淤满。实际上到目前水库淤积泥沙只有32亿m³，可利用库容还有94亿m³。洪峰流量的减小，所需防洪库容也变小。不管黄河水沙怎样变化都要通过小浪底水库调节进入下游河道，总之搞好小浪底水库运用方式，优化进入下游的水沙组合是关键。

利用洪水涨冲落淤的输沙特性^[4-6]，可以制定不同目的调水调沙运用方式。如要提高冲刷河道效率，应造峰形成非恒定流洪水输沙；若为了输沙输水入海为主目，应放平头洪峰。可根据黄河下游河道平滩泄流能力，制定具体的小浪底水库调水调沙运用指标。

黄河经过几十年的治理大水带大沙现象出现机会明显减少，但黄河的来沙主要由洪水携带的特点不会改变。1986年以前，泥沙多由大洪水携带，年水量大的年份，年沙量也大，这种特点较为明显；1986~1999年已经不太明显。因此，更需要小浪底水库进行泥沙多年调节，充分利用洪水输沙入海，充分发挥水库的调节能力，其控制运用水位参数也有调整的必要性。

4 结论

1、黄河小浪底水库投入运用以来，由于调水调沙作用，已造成下游河道的强烈冲刷，同流量下的水位大幅度降低，河槽泄流能力显著增大。

2、由于中上游区间多种水利水土保持措施作用的不断增长，黄河来水来沙自20世纪60年代之后持续出现趋势性的减少，特别是来沙的减少更是突出，与下游河道的冲刷相结合，导致黄河下游防洪形势出现的新的变化。

3、来沙量减少的另一后果是黄河河口的延伸大大减缓，甚至被侵蚀后退，由此原来因河口延伸而导致的溯源淤积问题也得到缓解，无疑对于下游河道的防洪是有利因素。

4、小浪底水库的建成和运用和中上游的水利水保建设是导致黄河下游防洪新形势和河道状况好转的根本因素，为了维持这一良性发展趋势，继续做好这两方面的事情十分重要。特别是可以对小浪底水库进行泥沙多年调节，充分发挥水库的调节能力，充分利用洪水使之输沙入海。通过多种措施以发挥小浪底水库的最大效益，维持黄河下游河道的长治久安，是可以实现的。

参 考 文 献:

- [1] 齐璞,孙赞盈,齐宏海.黄河下游防洪形势变化与治理前景展望[J].泥沙研究,2016(01):58-62.
- [2] 刘晓燕,党素珍,张汉.未来极端降雨情景下黄河可能来沙量预测[J].人民黄河,2016,38(10):13-17.
- [3] 李泽刚.黄河近代河口演变基本规律与稳定入海流路治理[M].河南郑州:黄河水利出版社,2006:108-154
- [4] 齐璞,孙赞盈.黄河冲积河道动床阻力,冲淤特性与输沙特性形成机理探讨[J].泥沙研究,1994(2):1-10.
- [5] 齐璞,孙赞盈,侯起秀,彭红.黄河洪水的非恒定性对输沙及河床冲淤的影响[J].水利学报,2005(06):637-643.
- [6] 齐璞,彭红,齐宏海,张明武.基于洪水涨冲落淤特性分析游荡性河道两岸整治对冲淤的影响[J].泥沙研究,2017,42(02):67-73.

New Flood Control Situation in The Lower Yellow River

QI Pu, SUN Zanying, ZHANG Shian

(Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: Since the Xiaolangdi Reservoir was put into operation, by 2019, there will be strong scour in the lower Yellow River, with a total scour of 2.15 billion m³, a depth of nearly 3 m in the Henan section, and a depth of 1.3 to 2 m in the channel of the Shandong section. The flooding capacity of the channel increases rapidly; The large-scale control over the past few decades has led to a trend change in the inflow and sediment of the lower river channel: the amount of inflow sediment in the Yellow River has decreased drastically year by year, from 1.6 billion tons to 200-400 million tons; In recent years, there has been no flood flow above the warning water level, and the situation of flood control in the downstream rivers has changed dramatically. In addition, the amount of sand transported to the estuary is also greatly reduced, and the siltation extension of the estuary is weakened, and its impact on the upstream channel is negligible. In view of the ongoing sediment regulation of the Xiaolangdi Water Control Project for many years and full use of flood discharge, the river channel will also be scoured for a long time. The current downstream channel has become a safe river. In order to prevent the occurrence of over-regulation of the rivers in North China, which will cause the environment of the lower Yellow River to deteriorate, maintain the healthy life of the Yellow River, adjust and control the development goals and scale of the Yellow River middle and upper reaches of the governance project, it is also necessary to construct the Taohuayu Water Control Project downstream.

Key words: Yellow River; Xiaolangdi Reservoir; Scour; Water and sand trend; Sand adjustment for many years; River channel discharge; Water distribution

作者简介：齐璞（1942-），男，北京人，教授级高级工程师，主要从事河床演变与河道整治等方面研究。

E_mail: 478108809@qq.com

通讯地址：河南省郑州市金水区顺河路黄河水利科学研究院

电话：13526815410