

Direction of Harnessing the Yellow River in the New Period

Ruishan Peng

Department of Sediment Research, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing
Email: pengrs@iwhr.com

Received: Nov. 18th, 2018; accepted: Dec. 3rd, 2018; published: Dec. 10th, 2018

Abstract

It is the main reason of the difficult for harnessing the Yellow River that the condition of less water with more sediment and both no appropriate collocation, led to sustain deposition lifting the riverbed in the past. As marked effect of long time and large scale water and soil conservation works, especially with the achievements of the ecological civilization construction in the past more ten years, in the loess plateau, the sediments entering the Yellow River have been significantly reduced. Coupled with the regulation of water and sediments by the Main Yellow River and its tributaries reservoirs, the flood entering the lower reaches can be basically controlled. The sediment is less than one tenth of the past. From 2000 to 2017 years, the riverbed continued to be eroded. It is expected that the future development trend will be an eroded continually until alternating quasi-equilibrium state between erosion and deposition. With the advancement of the innovative green development concept, it will become unlikely to observe a sustained sediment deposition. In addition, with the help of the amount of water supplemented by the South-to-North Water Diversion project, the management of the Yellow River has entered a new era for a complete control. With a comprehensive exploitation of hydropower potentials in the upper and middle reaches and a vigorous to promote of the water-saving irrigation technology, the Loess Plateau is expected to be built into a stable underlying surface base. The amount of sediment loss will be compatible with the sediment transport capacity of the downstream river and the stability of the coastline near the estuary. The downstream river harnessing guiding can be modified from "widen river channel and consolidate riverbank" to "stabilize the main channel, balance the sediment transport, take care of the floodplain, diversion in both banks, ecological environment, and navigation and detention area". Constructing an embankment on floodplain can resist a 10,000 m³/s flood discharge; the standard of flood control in the floodplain can be enhanced to once in one hundred years, thus improving the production and living conditions of the 1.9 million residents in the floodplain area.

Keywords

Sustain Deposition, Water and Soil Conservation, Reservoir Regulation, Sustain Erosion, The New Period, Comprehensive Harnessing the Yellow River, Protection Floodplain Area

新时代黄河治理方向探讨

彭瑞善

作者简介: 彭瑞善(1933-), 男, 湖北武汉人, 1956年毕业于武汉水利学院, 高级工程师(教授级), 主要从事江河的演变和开发治理研究。

中国水利水电科学研究院, 泥沙研究所, 北京
Email: pengrs@iwhr.com

收稿日期: 2018年11月18日; 录用日期: 2018年12月3日; 发布日期: 2018年12月10日

摘要

水少沙多, 搭配失调, 造成河床持续淤积抬高是黄河难治的根本原因。经过大规模长时间的水土保持工作, 特别是近十多年生态文明建设的成效, 进入黄河的泥沙显著减少, 再加上干支流水库调节水沙的作用, 进入下游河道的洪水基本可以控制, 泥沙不到过去的十分之一, 2000至2017年, 河道持续冲刷, 预计未来的发展趋势是由冲刷到冲淤交替的准平衡状态。随着绿色发展理念的推进, 不可能再发生持续淤积, 再加上南水北调的补充水量, 已进入可以根治黄河的新时代。上中游充分开发水能, 大力推广节水灌溉技术, 把黄土高原建设成基本稳定的下垫面, 其泥沙流失量与下游河道的输沙能力和维持河口地区海岸线的稳定相适应。下游的治河方略可将“宽河固堤”修改为“稳定主槽, 平衡输沙, 关注滩区、两岸引水、生态环境、航运和滞洪区”。修建防御 $10,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 流量的生产堤, 把滩区的防洪标准提高到百年一遇, 从而改善滩区190万居民的生产生活条件。

关键词

持续淤积, 水土保持, 水库调节, 持续冲刷, 新时代, 根治黄河, 保护滩区

Copyright © 2018 by authors and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

黄河难治的根本原因是水少沙多, 搭配失调, 造成河道持续淤积。过去是由决口改道来减缓河床的淤积抬高速度。人民治黄以来, 70 多年伏秋大汛未发生决口, 河床迅速淤积抬高, 主要是依靠 1950~1985 年三次系统性全面堤防加高, 东坝头以上加高了 2~3 m, 东坝头以下加高了 4~5 m [1]。为了从根本上治理黄河, 在中上游黄土高原开展了大规模长时间的水土保持工作, 特别是近十多年, 工作更加踏实有效, 进入黄河的泥沙显著减少, 再加上龙羊峡、刘家峡、三门峡、小浪底等干支流控制性水库的建成运用, 下游河道发生持续冲刷, 考虑到未来的绿色发展和已开工修建的东庄水库与即将修建的古贤、磴口等水库, 洪水和泥沙基本得到控制, 黄河已进入可以根治的新时代。

2. 黄河流域概况及治黄思想的发展过程

2.1. 黄河流域概况

黄河发源于青藏高原巴颜喀拉山北麓海拔 4500 m 的约古宗列盆地, 流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南、山东省(区), 在山东省垦利县注入渤海。干流河道全长 5464 km, 流域面积 79.5 万 km^2 (包括内流区 4.3 万 km^2)。河口镇以上为上游, 河道长 3472 km, 流域面积 42.8 万 km^2 ; 河口镇至桃花峪为中游, 河道长 1206 km, 流域面积 34.4 万 km^2 ; 桃花峪以下为下游, 河道长 786 km, 流域面积 2.3 万 km^2 。黄河多年平均天然径流量 534.8 亿 m^3 , 62% 的水量来自兰州以上, 多年平均天然输沙量 16 亿 t, 多年平均天

然含沙量 35 kg/m^3 , 90%的泥沙来自中游河口镇至三门峡区间的黄土高原流域, 其中多沙粗沙区面积为 7.86 万 km^2 , 仅占黄土高原水土流失面积 45.4 万 km^2 的 17.4%, 输沙量占总沙量的 62.8%, 其中粒径大于 0.05 mm 的粗泥沙占全河粗泥沙量的 72.5%。黄河作为联接河源, 上中下游及河口湿地生态单元的“廊道”, 是维持河流水生生物和洄游鱼类栖息、繁殖的重要基础。同时也是我国生态脆弱区分布面积最大的流域之一。水少沙多, 水沙异源, 搭配失调, 从而造成黄河下游河道持续淤积, 形成地上悬河, 河床高于背河地面一般为 $4\sim 6 \text{ m}$, 成为海河和淮河流域的分水岭。从周定王 5 年(公元前 602 年)至 1938 年的 2540 年间共决口 1590 次, 决溢范围北至天津, 南达江淮, 纵横 25 万 km^2 的华北平原。黄河下游河道上宽下窄, 比降上陡下平, 流量上大下小, 两岸大堤之间的滩地面积约 3154 km^2 , 耕地约 340 万亩, 居住人口约 190 万人。由于生产堤的修建, 一般洪水集中在河槽内淤积, 东坝头至陶城铺之间部分河段形成槽高滩低堤跟洼的“二级悬河”, 严重威胁防洪安全, 故于 1974 年经国务院批准废除生产堤。黄河宁海以下为河口段, 具有淤积, 延伸、摆动的特性, 摆动范围北起徒骇河口, 南至支脉沟口, 扇形面积约 6000 km^2 。近 20 年, 由于入海沙量大幅度减少, 河口趋于相对稳定[1]。

2.2. 治黄思想的发展过程

黄河流经祖国中原大地, 气候适宜, 物产丰富, 历代王朝大多在黄河流域建都。古代人民的物质生活主要是保障居住安全和发展农业生产, 然后是交通运输, 所以保障防洪安全是最重要的, 其次是引水灌溉和航运。早在 4000 多年以前, 大禹治水主要是适应水性就下的自然规律, 采用“疏川导滞”的办法, 开凿行水通道, 让水自然下泄。随着经济的发展, 人口增加, 需要占用更多的平地, 开始修建堤防, 到战国时期, 黄河下游堤防已达到一定规模。由于黄河中上游黄土高原地区, 生产方式落后, 坡地开荒, 广种薄收, 造成水土流失, 大量泥沙随水下泄, 在下游两岸任意修建的堤防间发生日益严重的淤积, 逐渐形成地上悬河, 到西汉时期, 汛期洪水慢堤、溃堤、冲决堤防的现象日渐增多, 对于如何治理黄河意见纷纭, 东汉时期王景提出的“宽河行洪”的方针受到重视, 并被采纳。由于宽河道的行洪断面大、洪水位较低, 河床淤高的速度较慢。而且容许主流有一定的摆动范围, 所以能够维持近千年河患较少的局面。但毕竟河床还是在不断淤积, 到明朝时, 潘季发现水流分散, 虽可降低水位, 但流速小, 水流挟带的泥沙少, 淤积在河床上的泥沙多, 为了减轻河床淤积, 输送更多的泥沙入海, 提出“以堤束水, 以水攻沙”的集流学说, 这也是人口增多的要求和经济发展、技术进步才有可能。对洪水和泥沙由退让转向进攻, 此时堤防不单是挡水, 而且要修筑更多的防护工程抗冲, 从而取得一个时期“河道安流、粮运无阻”的成效。河流的自然属性不单是输水, 而且要输沙, 由于黄土高原严重的水土流失, 来沙量超过河道的输沙能力, 河床仍要淤积抬高, 主流摆动, 决口常有发生。民国时期, 李仪祉提出上、中、下游全面治理的方略, 上中游蓄水拦沙, 植树造林、修梯田, 在支干沟打坝留淤, 建库蓄水, 在下游尽量给洪水筹划出路, 开辟减河, 整治河道, 固定中水河槽, 洪水时能淤滩刷槽, 安全泄流入海, 这是一个很大的进步。1955 年第一届全国人民代表大会第二次会议, 通过了邓子恢副总理所作的《关于根治黄河水害和开发黄河水利的综合规划报告》, 并相应作出了组织实施的决议, 开创了全面治理黄河的新纪元。规划注意到对水、沙的控制和利用, 在黄土高原水土流失区大力开展水土保持工作, 在干支流修建一系列水库, 蓄水拦沙, 调节水量, 以利于防洪、灌溉、航运和充分利用水力资源发电, 选定的第一期工程为在干流上修建三门峡、刘家峡两座综合性大水库和青铜峡、渡口堂、桃花峪三座灌溉枢纽, 在支流修建一批防洪、拦沙和综合兴利的水库[2]。配合三门峡水库的修建, 为了全面解决黄河下游的防灾兴利问题, 在黄河下游规划了 6 座低水头水利枢纽, 并于 1960 年 6 月建成花园口、位山两座枢纽, 冻口、王旺庄两枢纽正在施工。1960 年 9 月三门峡水库开始蓄水拦沙运用后, 库区大量淤积, 末端迅速上延, 淹没浸没影响严重, 于 1962 年 3 月即改为汛期滞洪排沙运用, 但因泄洪能力小, 库尾淤积继续快速上延, 威胁渭河乃至西安市的防洪安全, 1964 年决定改建两洞 4 管, 以后又打开 12 个底孔, 1973 年 11 月正式改为蓄清排浑、控制运用, 非汛期灌溉防凌蓄水, 汛期畅泄排沙。三门峡改为滞洪

排沙运用后,下泄沙量增大,黄河下游的花园口枢纽和位山枢纽于 1963 年先后破坝恢复原河道。淤口、王旺庄两枢纽停建废弃[3]。

改革开放以来,治黄工作迅速发展,先后建成龙样峡、小浪底两座综合性大水库和 20 多座电站(引水)工程,水土保持工作取得了很大的成效。但在编制黄河流域防洪规划和综合规划中,由于没有充分考虑流域下垫面变化对过去观测的水沙资料进行修正,预测到 2030 年入黄泥沙还有 8 亿 t,因而对下游河道的治理仍然采用“稳定主槽、调水调沙,宽河固堤、政策补偿”,的治河方略,使滩区 190 万居民长期处于年年汛期都要准备逃避可能遭受洪水淹没的环境中生产和生活。如果按照下垫面的变化,对过去观测的水沙资料进行修正[4],则预测未来的水沙条件会更接近实际发生的情况,来沙量会大幅度减少,下游的治河方略可修改为“稳定主槽,平衡输沙,关注滩区、两岸引水、生态环境、航运和滞洪区”,修建生产堤保护滩区。实施根治黄河水害,全面开发黄河水利的治河方略。历代的治河方略均与当时的社会因素(人口、生产力水平、社会是否安定等)和人们对黄河的认识水平有关,“疏川导滞”、“宽河行洪”都是在人口稀少、生产力落后的条件下发挥了一段时间的作用。随着人口的增加和生产力水平的提高,才有实行“束水攻沙”的必要和可能。20 世纪 30 年代李仪祉提出的上中下游全面治理是一个很大的进步,但当时的社会因素没有实现的条件。新中国成立后,治黄工作呈波浪式向前推进,改革开放以来,全面快速发展,特别是退耕还林还草,在国家实行粮食补贴后成效显著,在绿色发展的新时代,从治河方略的发展过程来看,当今社会安定,生产力水平和人们对黄河的认识已达到了一个新的高度,应该放弃宽河固堤的治河方略,实施全面根治黄河的治河方略。

3. 黄河流域水土保持工作的主要成效

3.1. 水沙径流产生的机理

河流水沙径流的数量和过程,主要是流域降水和下垫面相互作用的产物,降雨是主动作用因素,下垫面被动遭受雨滴冲击作用后,在自身发生相应变化(产沙)的同时,对雨水的去向进行分配,即多少水保持在原地或流动途中储存、入渗、蒸发;多少水形成地表径流,并挟带从地表冲起的泥沙由支沟汇入河道。对雨水分分配的状况和自身变化的程度及水流挟带泥沙的多少,决定于降水的强度、数量、过程和下垫面的条件(地形、地貌、地质、植被、土质、含水量和工程措施等),以及日照等气候因素。对于中常降雨,平坦缓坡地形或梯田,良好的植被,一般在原地附近入渗、蒸发和储存的水量多,汇入河流的水流少,带走的泥沙更少;下垫面若为黄土高原坡耕地,则原地附近入渗、蒸发和储存的水量少,挟带泥沙汇入支沟河道的水流多。遭遇暴雨、大暴雨都会不同程度的增加水土流失量。茂盛的林草可以阻挡雨滴对地面土壤的直接冲击,消减其冲刷地面的动能,并增加雨水汇集流动的阻力,从而有利于保护土壤被水侵蚀并增加下渗和蒸发的水量。梯田、淤地坝、拦砂坝等措施,可以缓解和拦截坡面和沟道的水土流失,以利于当地发展生产。植树种草,坡耕地改梯田、修建淤地坝、拦沙坝等水土保持措施,可明显改善下垫面条件,从而大大减轻土壤流失,并优化分配雨水的去向,就地保存更多的水量。硬化地面不产生泥土流失,几乎全部雨水都转变为地表径流,从而大大增加了城市排涝的负担。上述事实充分证明下垫面条件对降雨产生水沙径流的数量和过程有极其重要的影响[5][6]。

3.2. 水土保持的措施和成效

黄土高原水土保持的主要措施为淤地坝和水库、坡耕地改梯田、退耕还林还草和封禁。根据较全面的最新研究成果[7],现摘录整理如下:

3.2.1. 措施

1) 淤地坝和水库。截至 2011 年底,潼关以上黄土高原地区共有骨干坝(大型淤地坝)5470 座,总库容约

55 亿 m³, 已淤库容 22.4 亿 m³, 其中河龙区间为 3726 座和库容 40 亿 m³, 约占潼关以上总数的 68%和 73%。2000 年以后建成的占总量的 52%; 潼关以上黄土高原共有中小型淤地坝 52,444 座(不包括库容小于 1 万 m³ 的微型淤地坝), 其中 1990 年以后建成的 6371 座。大中小型淤地坝共有坝地面积 846 km², 其中河龙区间 743 km², 占总面积的 87.8%; 潼关以上地区共有水库 853 座(不含小(2)型水库), 其中大型水库 26 座, 中型水库 170 座, 小型水库 657 座, 大中小型水库共有库容 499.7 亿 m³, 水库多建于 20 世纪 50 年代后期至 70 年代末。

2) 梯田。截至 2014 年, 潼关以上共有水平梯田 3.6 万 km², 其中 68.5%分布在甘肃省和宁夏自治区。截至 2012 年, 潼关以上地区共有梯田 33,939 km², 其中, 重点地区的梯田面积见表 1。

Table 1. Terrace areas of all parts on the upstream Tongguan in 2012 year
表 1. 2012 年潼关以上各地区的梯田面积

区域	唐乃亥 - 青铜峡	河龙区间	汾河流域	北洛河状头以上	怪水张家山以上	渭河咸阳以上	合计
梯田面积/km ²	7308.0	4716.5	2170.0	9332.6	7473.2	9117.8	32,318.1

注: 本次遥感调查未计入修建在平缓河川阶地上的梯田和窄幅梯田, 故与统计数据稍有差别。

为了描述梯田对流域主要产沙区的控制程度, 引入“梯田比”概念, 它是指某地区梯田面积占其轻度以上水土流失面积的比例, 潼关以上典型地区 2014 年梯田比如表 2。

Table 2. Terrace scale of type area on the upstream Tongguan in 2014 year
表 2. 潼关以上典型地区 2014 年梯田比

河龙区间黄丘区	汾河黄丘区	北洛河上游	泾河黄丘/残原区	渭河拓石以上	祖历河上中游
6.44%	19.1%	6.72%	22.7%	40.4%	28.3%

梯田的垂向位置不同, 对坡面水沙的控制程度亦不相同, 位于坡面中下部的梯田有机会拦截其上部坡面的水沙, 将梯田对方坡面的控制面积称为上控面积, 潼关以上各地区梯田的上控面积如表 3。

Table 3. Areas of upward control of terrace on the all parts upstream Tongguan
表 3. 潼关以上各地区梯田的上控面积

地区	河龙区间	汾河流域	泾渭洛河	青铜峡以上	潼关以上合计
梯田上控面积/km ²	4697	1428	8986	4937	20,048

3) 林草地。1998 年长江大水以后, 国家在黄土高原全面实施了退耕还林还草和封禁治理措施, 退耕后的土地主要转为林草地, 原林草地内的林草种植密度也显著增加。黄河主要产沙区林草地面积 2010 年达到 115,768 km², 较 1978 年 104,513 km² 增加 11,255 km²。

林草植被是通过叶径及其枯落物挡蔽雨滴对地面的直接冲击, 增加雨水汇集流动的阻力, 从而发挥保持水土的作用, 流域内林草叶径覆盖的面积占易侵蚀区面积的比例是决定该地区水土保持成效的关键因素, 因此, 定义流域内易侵蚀区林草叶茎正投影面积占易侵蚀区面积的百分比为易侵蚀区林草覆盖率。林草地植被盖度是指林草叶茎正投影面积占草地面积的比例, 反应林草叶茎对林草地的保护程度。当易侵蚀区内没有耕地和建设用地时, 覆盖率就是盖度。植被盖度小于 20%~30%的林草地对遏制水土流失作用不大, 现将黄河主要来沙区 30%以上三级盖度的林草地面积变化列于表 4。

Table 4. Variance of areas covered by forest and grass for various covered degree in the main corrosion arias of Yellow River Basin (unit: km²)

表 4. 黄河主要来沙区不同盖度等级的林草地面积变化(单位: km²)

类别	时间	河龙间 黄丘区	北洛河 上游	径河景村 以上	渭河括石 以上	汾河上游 黄丘区	孔兑 黄丘区	清水河 上中游	祖历河 上中游	合计
全部林草地	1978 年	48,821	4374	20,884	10,008	3669	5272	5908	5577	104,513
	2014 年	55,718	5912	21,851	10,424	3997	5270	6301	6295	115,768
	2014~1978	6897	1538	967	416	328	-2	393	718	11,255
	2014/1978	1.14	1.35	1.05	1.04	1.09	1.00	1.07	1.13	1.11
盖度≥30%	1978 年	20,580	2,410	14,044	5683	2045	324	3085	3661	51,832
	2014 年	53,457	5887	21,487	10,097	3284	5087	6062	6167	111,528
	2014~1978	32,877	3477	7443	4414	1239	4763	2977	2506	59,696
	2014/1978	2.60	2.44	1.53	1.78	1.61	15.70	1.96	1.68	2.15
盖度≥50%	1978 年	12,023	1800	5182	2503	1464	100	357	14	23,443
	2014 年	42,385	5511	14,688	8047	3084	3635	1605	1322	80,277
	2014~1978	30,362	3711	9506	5544	1620	3535	1248	1308	56,834
	2014/1978	3.53	3.06	2.83	3.21	2.11	36.35	4.50	94.43	3.42
盖度≥70%	1978 年	7105	610	2181	941	925	46	34	0	11,842
	2014 年	20,027	2861	8569	4514	2351	151	381	46	38,900
	2014~1978	12,922	2251	6388	3573	1426	105	347	46	27,058
	2014/1978	2.82	4.69	3.93	4.80	2.54	3.28	11.21	46	3.28

由表 4 可知, 2014 年与 1978 年比较, 盖度 ≥ 30%的林草地面积增加了 1.15 倍, 增加值达 59,696 km²; 盖度 ≥ 50%的林草地面积增加了 2.42 倍, 增加值达 56,834 km²; 盖度 ≥ 70%的林草地面积增加了 2.28 倍, 增加值达 27,058 km², 都是在河龙间黄丘区增加最多。高盖度林草地面积的大幅度增加, 对于保护土壤, 减少进入黄河的沙量发挥了重要作用。

3.2.2. 成效

通过对黄河主要产沙区 6045 个雨量站 1966~2014 年日降雨数据的分析表明, 2007~2014 年(代表现状年)降雨总体偏丰, 因而降雨不是近年黄河来沙锐减的原因。1919~1975 年, 黄河潼关(陕县)站实测年均输沙量 16.286 亿 t, 龙门、河津、状头、张家山和咸阳五站实测年均输沙量 17.354 亿 t。近十几年, 相近降雨情况下来沙量较 20 世纪亟剧减少, 2007~2014 年, 潼关站实测平均输沙量 1.794 亿 t, 龙门、河津、状头、张家山和咸阳五站实测年均输沙量 1.925 亿 t, 分别较 1919~1975 年减少 14.292 亿 t 和 15.43 亿 t。现以 2007~2014 年作为现状年, 采用识别和遴选对产沙敏感降雨因子, 构建了各支流(区间)在下垫面变化较小时期的降雨~产沙关系模型群, 计算了各支流(区间)2007~2014 年非降雨因素变化所导致的总减沙量, 并分析核查了淤地坝、林草、梯田各项措施的减沙量如表 5。

Table 5. Quantities of decreased sidement account on the situation of now underlying surfaces upstream Tongguan in rain condition 2007-2014 year

表 5. 潼关以上现状下垫面在 2007~2014 年降雨情况下的计算减沙量

区间	非降雨因素总减沙量/万 t	主要下垫面因素减沙量/万 t				
		水库拦沙	淤地坝拦沙	灌溉引沙增量	河道淤积	林草梯田等因素减沙
河龙区间	96,887~104,686	8778	8604	250	500	78,136~88,489
北洛河状头	7657~9824	356	673	0	100	8000~8410
泾河张家山	23,613~26,800	1293	1348	50	100	15,590~17,760
渭河咸阳	11,208~13,126	1450	395	300	0	10,220~11,990
汾河河津	6070~6100	431	350	200	150	4840~4852
十大孔兑	885~1117	0	120	0	0	904~1232
青铜峡以上	15,440~16,812	5780	1036	200	0	7800~8360
宁蒙冲积性河段	-			-1820	-940	0
中游冲积性河段	-			900	-260	0
潼关以上合计	161,760~178,448	18088	12526	80	-350	125,400~141,093

注：引沙增量指现代灌溉引沙量较 50 年代以前的增量。

根据黄河泥沙公报，近年进入黄河的泥沙显著减少，2000~2017 年 18 年平均为 2.418 亿 t，2008~2017 年 10 年平均为 1.474 亿 t。经过小浪底水库拦调后，花园口站的年输沙量，2000~2017 年平均为 0.847 亿 t，2008~2017 年平均为 0.585 亿 t，分别为花园口站 1950~1999 年 50 年平均 10.734 亿 t 的 7.89%和 5.45%。1999 年 10 月小浪底水库投入运用以后，下游河道持续发生冲刷，1999 年 10 月~2017 年 10 月共冲刷泥沙 21.16 亿 m³，其中高村以上冲 14.49 亿 m³，高村以下冲 6.67 亿 m³。

以上资料充分表明，水土保持措施已取得相当大的减沙效果，只要今后继续巩固发展，就能基本控制黄土高原的水土流失，创造了根治黄河的基本条件。在绿色发展的新时代，进行江河开发治理，修正水沙资料就是绿水青山变成金山银山的转化剂。

4. 黄河的治理方向和亟需研究的主要问题

4.1. 黄河中上游的开发治理

黄河中上游的开发治理要从全河的角度考虑，首要的是调节洪水、减少进入河道的泥沙。按照规划继续完成干支流梯级水利枢纽工程的修建，充分开发利用水能资源，完善径流泥沙调控体系，保障全河防洪(防凌)安全。并有利于河道平衡输沙[8]、引水、生态环境和航运。大力发展节水灌溉技术，增大河道中的基流、不但可以增加梯级电站的发电量和保证出力[9] [10]，而且对于保护生态环境、水产养殖、航运以及两岸引水等多方面都是有益的。中上游流域黄土高原的治理，要以绿水青山就是金山银山的理念为指导，大力发展和加强水土保持工作，在林草种植、修建梯田等地貌地形修复改造工作中完善创新，使林草地和梯田遇中小雨能保水保土，并给暴雨和大暴雨产生的径流安排稳定的出路，沟道的淤地坝要布置相应的泄流设施，保持排洪系统畅通。长远的目标是把黄土高原建设成既有利于改善生态环境，发展生产，又能经受风雨作用，地表保持相对稳定的下垫面，其流入黄河的泥沙量，要与黄河下游河道的输沙能力及维持河口地区海岸线的稳定相适应。把黄河中上游流域建设成绿水青山，就有利于全河(特别是黄河下游滩区)变成金山银山。

4.2. 黄河下游的治理方向

前述分析表明，由于中上游黄土高原长期水土保持工作的成效，流域下垫面已发生巨大变化，暴雨所产生的沙量显著减少，在新时代，国家实施绿色发展的进程中，下垫面的地形和植被肯定是向好的方向变化，产沙量是由减少到基本稳定的变化趋势。大量水土流失的情况只能在特大暴雨的异常气候条件下发生，而且产沙量也会比过去减少很多。因此，早期观测的水沙资料已不再具有可重观的性质，必须按照下垫面的变化进行修正[4] [11]，修正后的水沙资料系列，会更接近未来实际发生的水沙情况，才能作为河道治理规划、工程设计和运用管理的依据[6] [12]。1999 年 10 月小浪底水库建成投入运用后，黄河下游河道即由持续淤积转变为持续冲刷，其发展趋势是冲刷量逐渐减少至达到准平衡状态。此后，即随来水来沙的多少，河床发生冲刷交替变化，持续淤积的现象不会再发生。由于三门峡、小浪底和伊洛河、洛河故县、沁河河口村诸水库的建成联合运用，黄河下游的洪水基本得到控制。再加上黄土高原水土保持工作的进一步发展，未来进入黄河下游的泥沙将变成基本可控的状态，在洪水、泥沙均达到可控制的情况下，黄河下游河道已进入可以根治(效益充分发挥，灾害可以防治)的新时代，今后的治理方向，要从主要保障黄河大堤防洪安全转向全面根治，通过采取各种治河措施，结合水库群调节水沙，可以实现控导河势，稳定主槽，满足泄洪要求，缩窄河宽，增大水深，平衡输沙，保证两岸自流引水，不但要全年不断流，而且要增大基流流量，保护湿地、水产养殖和生态环境，争取在非冰冻期均能通航。按照防御 10,000 m³/s 洪水修建生产堤，不但可以确保黄河大堤的防洪安全，而且可以把滩区的防洪标准提高到百年一遇，从而改善滩区 190 万居民的生产生活条件。黄河下游的洪水主要来自河口镇至龙门，龙门至三门峡和三门峡至花园口三个地区，以三门峡为界，分为上大洪水，下大洪水和上下较大洪水[13]，见表 6。

Table 6. Compose of flood peak discharge and flood volume for larger flood of all kinds on the Huayuankou station (Units: discharge: m³/s; flood volume: 100 million m³)

表 6. 花园口站各类较大洪水的峰量组成(单位: 流量 m³/s; 洪量 亿 m³)

洪水类型	洪水年份	花园口	三门峡		三门峡	
		洪峰流量	12 日洪量	洪峰流量	相应洪水流量	12 日洪量
上大洪水	1933	20,400	100.5	22,000		91.90
	1954	15,000	76.98		4460	36.12
下大洪水	1958	22,300	88.85		6520	50.79
	1982	15,300	65.25		4710	28.01
上下较大洪水	1957	13,000	66.30		5700	43.10

三花间干支流已建成三门峡，小浪底，陆浑，故县和河口村 5 座水库，总库容为 253.64 亿 m³，其中干流水库的有效库容为 111.45 亿 m³，大于 1933 年三门峡 12 d 洪量 91.90 亿 m³ 和花园口 12 d 洪量 100.50 亿 m³，通过水库调节，可以控制下泄流量[12]。黄河下游的防洪主要是防御小浪底至花园口之间的洪水。从 1919 年有实测资料以来，三花间共发生过 3 次(1954 年，1958 年，1982 年)较大洪水[13]，其地区组成见表 7。

Table 7. Areas compose for larger flood of space in Sanmenxia-huayuankou

表 7. 三花间较大洪水的地区组成

年份	区间	洪峰流量	5d 洪量 亿/m ³	5d 平均流量/m ³ /s	12d 洪量亿/m ³	12d 平均流量/m ³ /s
1954	三花间	12,240	24.00	5556	40.55	3911
	小花间	10,900	18.78	4347	31.90	3077
	三小间	1340	5.22	1208	8.65	834

Continued

	三花间	15,700	30.80	7130	37.31	35.99
1958	小花间	10,000	22.90	5301	27.92	2693
	三小间	5700	7.90	1829	9.39	906
	三花间	10,730	29.01	6715	37.50	3617
1982	小花间	8350	20.60	4769	27.77	2678
	三小间	2380	8.41	1947	9.73	938

三小间的洪峰流量可以由小浪底水库拦蓄，小花间产生的洪峰流量分别为 10,900 m³/s、10,000 m³/s 和 8500 m³/s。小花间洪水来自伊洛沁河和小花间黄河干流，伊河陆浑水库，洛河故县水库和沁河河口村水库共控制流域面积 18,085 km²，占小花间流域面积 35,881 km² 的 50.4%。充分发挥陆浑、故县、河口村 3 水库(均系 1965 年以后建成运用)的削峰调节作用，把 1954 年，1958 年的洪峰流量调控到 9000 m³/s 以下是可能的，这表明从 1919 到 2018 年共 100 年所发生的洪水都可以保障滩区的防洪安全[12]，因此。建议把“稳定主槽，调水调沙，宽河固堤，政策补偿”的治河方略修改为“稳定主槽，平衡输沙，关注滩区、两岸引水、生态环境、航运和滞洪区”。近年开始建设的泾河东庄水库和即将在北干流建设的古贤水库、磧口水库、共有拦沙库容 200 多亿 m³，可拦沙超过 300 亿 t，有效库容 82 亿 m³，可进一步增大拦调洪水和泥沙的能力。

4.3. 亟需研究的主要问题

1) 黄河防洪、枢纽工程的规划设计和管理运用、水土保持措施、以及河床演变和治理等多方面均与气象因素有密切关系，黄河流域的气候变化、长中短期天气预报需要不断加强研究。

2) 研究提高中短期天气预报的准确性，对枢纽工程的管理运用有一定价值，由于进入黄河的泥沙大量减少，水库因排沙而降低库水位的要求更灵活，可以研究在汛期的某些时段，根据天气预报，在确保防洪安全的前提下，高于汛限水位运行，可增加兴利效益。

3) 研究完善防御大暴雨的水土保持措施。

4) 黄河下游河道的防洪主要是防御小花区间的洪水，为了减少花园口的洪峰流量，保障黄河大堤和生产堤的防洪安全，修建桃花峪水库是一个能够满足要求的方案，但又带来两个问题，一是库区损失大，麻烦多；二是使用的几率极小。因此，最好是利用现代先进技术，从以下几方面研究措施：

a) 计算小花间 1954 年、1958 年洪峰流量 10,900 m³/s、10,000 m³/s 中，陆浑、故县、河口村 3 水库以上流域占比的数量，可由该 3 水库调控削减为多少洪峰流量；

b) 研究减少减缓小陆故河花区间流域暴雨产流、汇流的各种措施(生物措施和工程措施等)，以及人工干预暴雨降落地区的方法；

c) 研究提高小花间流域发生特大暴雨的中期天气预报，以便提前采取防御措施；

d) 研究提高小花间流域发生大暴雨的短期预报的精度，建立小花间流域暴雨产流、汇流及在花园口出现洪峰流量的数值和时间的快速测报系统，以及浑陆、故县、河口村、三门峡、小浪底五水库联合调度运用的决策支持系统；

e) 研究花园口发生超过 10,000 m³/s 洪水的分洪预案，在保障全河防洪安全的前提下，损失最小。

5) 研究塑造黄河下游的河床形态。要实现稳定主槽、维护两岸自流引水等兴利目标，必须固定基本流路，塑造一个合适的纵剖面、平面和横断面形态，需研究以下问题：

a) 研究制订规划治导线，作为全河平面控制的依据，以协调上下游，左右岸的关系和河势衔接；

b) 研究选择有利的纵剖面形态，控制在冲刷造床过程中实现并长期保持，以满足两岸自流引水的要求；

c) 根据纵比降的沿程变化,按照平衡输沙[8]的要求研究选择各河段的整治河宽;

d) 按照枯水期通航的要求,研究选择枯水河槽的流路和宽度,并布置相应的潜水丁坝加以控制。

6) 黄河下游河道的整治工程。黄河下游河道的基本特征是上宽下窄,纵比降上陡下平,河床组成上粗下细,洪峰流量上大下小,峰型上尖下缓,含沙量上大下小,河床沿程淤积。高村以上为游荡型河道,陶城铺以下为工程控制的微弯型河道。由于人民治黄后修建了大量控导工程,以及对险工的加固和延修,西霞院至桃花峪和高村至陶城铺两河段也初步成为工程控制的弯曲型河段,河势变化小。过去黄河治理,由于各种条件的限制,防护工程多在旱滩施工,坝头根基浅,须要通过抢险来加深根基,为便于抢护,一般都采取“以坝护湾,以湾导流”的形式,布置控导工程,形成两岸锯齿型河湾对应衔接的流路。坝头附近水流紊乱。如今要按照根治黄河的要求,把黄河下游河道整治成长期稳定,顺畅的弯曲型河道,不但要确保黄河大堤的防洪安全,而且要缩小河宽,冲深河槽,减少河岸对行洪排沙的阻力,提高滩区的防洪标准。因此,今后布置护湾工程要从丁坝群组成的锯齿形逐步摸索改为平顺形,以减少阻力,增大河槽的行洪排沙能力。国家实施创新驱动发展战略,要研究把各种新材料、新结构、新技术、新理念应用于治理黄河的途径,近些年已开始采用管柱筑坝,一次做到要求的基础深度,不需要通过迎流抢险来加深基础,这将有利于修建平顺型防护工程。为了枯水期通航,又不影响汛期泄洪,需要布置潜水丁坝,缩窄枯水河槽,以增加水深,适用于黄河下游细沙河床的潜水丁坝是一项新的研究课题。

5. 结语

黄河中上游黄土高原地区,生产方式落后,坡地开荒,广种薄收,造成严重水土流失,平均每年进入黄河的泥沙为 16 亿 t,经过长时间的水土保持工作,已摸索出林草种植,坡耕地改田梯,沟道修淤地坝等措施是比较有效的方法,特别是近 10 多年,按照生态文明建设的要求,工作更加踏实有效,进入黄河的泥沙显著减少,2000~2017 年 18 年平均为 2.42 亿 t,2008~2017 年 10 年平均为 1.47 亿 t。经过小浪底水库拦调后,花园口站的年输沙量,2000~2017 年平均为 0.847 亿 t,2008~2017 年平均为 0.585 亿 t,分别为花园口站 1950~1999 年 50 年平均 10.734 亿 t 的 7.89%和 5.45%。1999 年 10 月小浪底水库投入运用以后,下游河道持续发生冲刷,1999 年 10 月~2017 年 10 月共冲刷泥沙 21.16 亿 m^3 ,其中高村以上冲 14.49 亿 m^3 ,高村以下冲 6.67 亿 m^3 ,预计冲刷还将继续,直至达到冲淤交替的准平衡状态,再加上南水北调的补充水量,水少沙多,搭配失调的状况已经改变,黄河已进入可以根治的新时代。今后,黄河中上游的开发治理是继续完成干支流梯级水利枢纽工程的修建,调控水沙,保障全河的防洪(防凌)安全,大力发展节水灌溉技术,增大基流,充分利用水能,并有利于河道的平衡输沙、引水、生态环境和航运。水土保持的成效是根治黄河的基础,加强、改进和完善黄土高原的水土保持工作,目标是建成环境优美,生产发达,长期保持相对稳定的下垫面,其流失的泥沙量与下游河道的输沙能力和维持河口地区海岸线稳定的沙量相适应。黄河下游的治理,在绿色发展的新时代,持续淤积的现象不可能再发生,依据按下垫面变化修正后的水沙资料,预测下游河道的演变趋势,修订整治规划,改变宽河固堤的治河方略,充分发挥干支流水库群调节水沙的作用,在确保黄河大堤防洪安全的前提下,缩窄河宽,修建防御 10,000 m^3/s 流量的生产堤,把滩区的防洪标准提高到百年一遇。考虑到对黄河下游防洪安全威胁最大的洪水是来自小陆故河花无控制区,要研究采取各种措施,减缓其产流汇流的速度,以降低花园口的洪峰流量。把天气预报、产流汇流计算、洪水预报和干支流水库群的联合调度联系在一起,以充分发挥水库群的综合效益和拦洪滞洪调节水沙的作用。采用潜水丁坝缩窄枯水河槽,集中水流,固定流路,以利于两岸自流引水、生态环境、水产养殖和航运等兴利事业。要研究管柱筑坝、潜水丁坝等新型建筑物,减少边界对水流的扰动和阻力损失,尽力把新材料、新结构、新技术、新认识(例如人工干预降雨等)应用到河道开发治理工作中去,逐步实现根治黄河的目标。

基金项目

本研究得到中国水科院科研专项(泥集 0820)基金资助。

参考文献

- [1] 黄河水利委员会. 黄河流域综合规划(2012~2030 年)概要[EB/OL]. 2015-03-21.
<http://www.yellowriver.gov.cn/zwzc/lygh/201303/t20130321-129411.html>
Yellow River Conservancy Commission. Yellow River basin comprehensive planning (2012~2030) essentials. 2015-03-21.
<http://www.yellowriver.gov.cn/zwzc/lygh/201303/t20130321-129411.html> (in Chinese)
- [2] 黄河水利委员会治黄研究组. 黄河的治理与开发[M]. 上海: 上海教育出版社, 1984.
Research Team of Harnessing Yellow River. Yellow River Conservancy Commission. Harnessing and development on the Yellow River. Shanghai: Shanghai Education Press, 1984. (in Chinese)
- [3] 彭瑞善. 对近期治黄科研工作的思考[J]. 人民黄河, 2010, 32(9): 6-9.
PENG Ruishan. Ponder over scientific research work for harnessing the Yellow River in the near future. Yellow River, 2010, 32(9): 6-9. (in Chinese)
- [4] 彭瑞善. 修正水沙资料是当前治黄的基础性研究课题[J]. 人民黄河, 2012, 34(8): 1-5.
PENG Ruishan. Revise data of water and sediment are basic study task for harnessing the Yellow River at present. Yellow River, 2012, 34(8): 1-5. (in Chinese)
- [5] 彭瑞善. 黄河综合治理思考[J]. 人民黄河, 2010, 32(2): 1-4.
PENG Ruishan. Ponder over integrated management of the Yellow River. Yellow River, 2010, 32(2): 1-4. (in Chinese)
- [6] 彭瑞善. 新时期许多江河治理都需要研究修正水沙资料[J]. 水资源研究, 2015, 4(4): 303-309.
PENG Ruishan. Many Rivers' harnessing all needs to study and revise data of water sediment in the new period. Journal of Water Resources Research, 2015, 4(4): 303-309. (in Chinese)
- [7] 刘晓燕, 等. 黄河近年水沙锐减成因[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
LIU Xiaoyan, et al. Reason of sharp reduction of water and sediment on the Yellow River in recent years. Beijing: Beijing Science Press, 2016. (in Chinese)
- [8] 彭瑞善. 黄河下游河道整治与平衡输沙[J]. 人民黄河, 2011, 33(3): 3-7.
PENG Ruishan. River harnessing and balance sediment transporting on the Lower Yellow River. Yellow River, 2011, 33(3): 3-7. (in Chinese)
- [9] 彭瑞善. 粗谈黄河的治理规划[C]//治黄规划座谈会秘书组. 治黄规划座谈会文件及代表发言汇编. 郑州: 黄河水利委员会, 1988: 134-136.
PENG Ruishan. Discuss on harnessing planning of the Yellow River. Secretariat of forum on Harnessing Planning of the Yellow River. The documents collection on forum of harnessing planning of the yellow river. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Commission, 1988: 134-136. (in Chinese)
- [10] 彭瑞善. 提高黄河水资源利用效益的途径[J]. 水资源研究, 2017, 6(4): 384-391.
PENG Ruishan. The way of enhancing effectiveness for utilization water resources on the Yellow River. Journal of Water Resources Research, 2017, 6(4): 384-391. (in Chinese)
- [11] 彭瑞善. 修正水沙资料系列初探[J]. 水资源研究, 2016, 5(4): 368-378.
PENG Ruishan. Revised data series of water and sediment. Journal of Water Resources Research, 2016, 5(4): 368-378. (in Chinese)
- [12] 彭瑞善. 适应新的水沙条件加快黄河下游治理[J]. 人民黄河, 2013, 35(8): 3-9.
PENG Ruishan. Conforming to new condition of water and sediment and speeding up harnessing the Lower Yellow River. Yellow River, 2013, 35(8): 6-9. (in Chinese)
- [13] 黄河水利委员会. 黄河流域防洪规划[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2008.
Yellow River Conservancy Commission. Yellow River basin planning of flood prevention. Zhengzhou: Yellow River Water Resources Press, 2008. (in Chinese)