

# Discussion on the Formation, Evolution and Harnessing of Rivers

Ruishan Peng

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

Received: Dec. 18<sup>th</sup>, 2019; accepted: Dec. 31<sup>st</sup>, 2019; published: Jan. 7<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

Rivers generated by the air-water cycle of oceans and lands provide flowing fresh water, transportation channels and reproducible clean energy for human life and production. The only disaster of rivers is flood hazard. The excessive sediment loss in the river basin will cause the riverbed deposited to rise and the main flow to vibrate, which is not conducive to reservoirs, navigable channels, etc. many item water conservancy projects and flood control safety. Therefore, the river harnessing should be carried out with the water and soil conservation works so as to reduce the amount of sediment entering the river basin. They are the criteria that maintain the stability of the coastline in the river mouth area, balance sediment transport in the river channel and improve the ecological environment of the river basin area. The results of water and soil conservation will produce effectiveness of planning, design and management. It needs the previous water and sediment data to be revised according to the variation of underlying surface.

## Keywords

River, Basin, Harnessing, Water and Soil Conservation, Effectiveness

---

# 粗谈河流的形成、演变和治理

彭瑞善

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: 2019年12月18日; 录用日期: 2019年12月31日; 发布日期: 2020年1月7日

---

## 摘要

海洋与陆地气水循环产生的河流, 为人类的生活、生产提供流动的淡水、运输航道和可再生的清洁能源, 其唯一的灾害是洪水泛滥。流域流失过多的泥沙, 会引起河床淤积抬高和主流摆动, 对水库、航道等各项兴利事业  
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), 主要从事江河演变和开发治理研究。

和防洪安全都不利。因此,河流的开发治理应与流域的水土保持工作一起进行。减少流域进入河流沙量的程度,以维持河口地区海岸线的稳定、河道的平衡输沙以及改善流域地区的生态环境为标准。水土保持工作的成效需通过按下垫面变化修正前期的水沙资料,才能在规划设计和管理运用工作中产生效益。

## 关键词

河流, 流域, 开发治理, 水土保持, 效益

Copyright © 2020 by author(s) 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

祖国的大好河山, 河山往往是一个国家的象征, 具有深远的内涵, 而江河的治理实质上是河山的治理。江河位于山谷, 其水沙均来自比它高的山地(流域), 其下游的平原就是它输送山地的泥沙冲积出来的。当平原冲积到一定高度的时候, 由于平原最适合人们居住和从事各种生产活动, 因而人越来越多, 不能再容许洪水冲积, 只能修堤阻挡, 让水沙从河道内流入海洋, 人们的生活生产需要河中的水, 但要保持河床的平衡稳定, 就不能有太多的泥沙。大暴雨不仅冲毁山地, 而且造成河床泥沙淤积抬高, 主流摆动甚至堤防决口, 洪水泛滥。因此, 治河必须同时治理产生洪水泥沙的山地, 水土保持工作, 既保护了当地水土, 改善了生态环境、有利于发展生产, 对江河的开发治理更是非常有利, 减少了进入河流的泥沙, 就减轻了干支流水库的淤积, 改善了航道的通航条件等; 对于多沙的黄河, 效益更为巨大, 流域进入黄河沙量的大幅度减少, 彻底解决了黄河下游持续淤积的难题, 为根治黄河创造了最重要的前提。

## 2. 河流的形成及与人类生存发展的关系

### 2.1. 河流是海洋与陆地气水循环的产物

地球上的水在太阳辐射作用下, 不断蒸发成水汽上升到空中, 被气流带动运输到各地, 在运输过程中, 水汽遇冷凝结形成降水, 降落到地面和海洋, 以陆地上的年降水量  $119,000 \text{ km}^3/\text{a}$  为基准 100, 则海洋蒸发量为 424, 海洋降水量为 385, 海洋输送到陆地的水汽为 39, 等于  $46,410 \text{ km}^3/\text{a}$ , 陆地蒸散发量为 61, 等于  $72,590 \text{ km}^3/\text{a}$ , 地表径流量为 38 等于  $45,220 \text{ km}^3/\text{a}$ , 地下径流量为 1 等于  $1190 \text{ km}^3/\text{a}$ 。降落到地面的雨水, 随地形向低处流动, 冲出沟道, 汇集成支流干流河道, 最终流入高程最低的海洋。河流水系是雨水受重力作用的产物, 雨水是大气环流生成的, 天上有大气环流, 地面必然会产生江河水流, 江河是海洋与陆地气水循环的地面通道, 没有这个通道, 气水循环就不能封闭, 不能持久, 海洋就不能保持常态[1]。形成什么类型的河流, 取决于降水情况和下垫面的地形地质地貌条件及地理位置。长江、黄河为单出口的大江大河, 珠江、海河为扇形多出口江河, 都是下垫面的地形条件所决定的。当下垫面为植被稀少的荒山坡地, 遭遇暴雨即发生大量水土流失, 汇入河道的水流挟带大量泥沙, 形成黄河、永定河、辽河类型的多沙河流; 若下垫面为植被良好的森林山地, 遭遇暴雨, 表土流失较少, 汇入河道的水流挟沙相对较少, 形成长江、松花江、珠江类型的少沙河流。我国东南沿海地区特别是南方, 气温高, 年降水量达  $1000\sim 2000 \text{ mm}$ , 河流水系发达, 水量充沛, 如珠江、闽江。距海较远的内陆, 由于遭遇海洋暖湿气流的机遇少, 相应河流也少, 我国西北地区, 年降水量只有  $20\sim 200 \text{ mm}$ , 蒸发、下渗和人们利用之后, 几乎消失殆尽或少量余水流入湖泊洼地, 成为内陆河流, 如新疆的塔里木河、玛纳斯河。少沙河流容易达到输沙平衡, 一般形成较稳定的弯曲型或分岔型河道; 多沙河流大多处于淤积造床过程中, 难以达到

输沙平衡,一般形成游荡型河道[2]。流域下垫面的状况对产水产沙有巨大影响,远古时期黄土高原林草茂盛,进入黄河的泥沙较少。近年在黄土高原大规模种植林草,坡耕地改梯田,沟道筑淤地坝,由于林草能消煞雨水冲击地面的动能,增大汇流的阻力,梯田能增强地面的稳定性,避免雨水对坡面的冲刷,淤地坝能拦截下行的泥沙,从而使进入河道的泥沙大幅度减少,黄河下游不再持续淤积,而是向平衡输沙方向转变[3]。

## 2.2. 河流与人类生存发展的关系

人类的生存离不开水,河流为人类提供优质流动的淡水资源,满足人们生活的基本要求,饮用、洗涤、灌溉,古代人多居住在河畔。河流是廉价的运输通道,除了利用天然河流运输以外,2600年前就开始人工开挖运河,公元前486年,吴王夫差在扬州开挖邗沟,沟通了长江与淮河,1400年前建成弯向隋朝京城洛阳长达2700 km的京杭大运河,700年前,元朝定都北京后,才取直经山东东平到杭州,全长1974 km的京杭大运河,对我国南北交流发挥了重要作用。引水灌溉已有2000多年历史,早在战国时期,李冰父子在岷江修建都江堰,分岷江水灌溉成都平原。公元前246年秦国修建郑国渠,引泾河水灌溉关中平原,随后,在宁夏黄河修建秦渠、汉渠及在广西修建灵渠,汉武帝时期修建了引北洛河水的洛惠渠。古代水车为人们生产生活服务,现代水力发电提供可再生的清洁能源。截止2017年,全国农业、工业、生活、生态环境等的用水量已达6043.4亿 $m^3$ ,其中约82%由地表水供给。河流给人们带来的唯一灾害是洪水淹没,其主要表现是堤防决口,洪水泛滥,淹没人们居住生活生产的堤防保护区。

## 3. 平原冲积河流的演变与治理

河流的自然属性是输水输沙,把流域降水所产生的水沙径流输送到海洋。河床演变是来水来沙与河床边界相互作用的过程,主要反映在河床的平面形态变化和纵向冲淤变化两方面。

### 3.1. 河床的平面形态变化

平原河流河床为床沙组成,河床的侧向边界有软硬之分,软边界是可冲动的,由水流的冲积物等松散物质构成;硬边界为不可冲动的,由山脚或防护建筑物等硬物质构成。河床的平面形态变化,取决于来水来沙与河床边界相互作用时的强弱对比关系,来水来沙是造床的主动作用因素,河床边界起被动的反作用,并对水流产生一定程度的约束和导向,侧向硬边界只在河床底部发生冲淤变化,当流量不变时,其对水流的约束导向作用是基本不变的;侧向软边界,当水流的冲击作用强于边界的抵御能力时,边界的形式将发生变化,其对水流的约束导向作用也会相应发生变化[4],当变化的程度超过可适应的范围以后,将引起河势流路和河床平面形态的变化。水流对河床的作用随流量的大小、含沙量的多少以及河床形态等因素而变化。河床水流的一般特性是小水行弯,大水趋直,水流动力轴线的走向取决于惯性动量 $\rho VQ$ ( $\rho$ 为水流的密度, $V$ 为流速, $Q$ 为流量)与边界阻抗的强弱对比关系。平原河流一般是流速随流量的增大而增大,因此,惯性动量随流量的增大而显著增大,惯性动量大则水流克服边界阻力保持水流原有流动方向的能力强,动力轴线的弯曲半径大;流量小则惯性动量明显减小。水流克服边界阻力保持水流原有流动方向的能力弱,容易发生弯曲,加之横向环流的影响,动力轴线的弯曲半径小。在制订河道治导线和整治工程布置中必须考虑水流的此种特性[5]。

### 3.2. 河床的冲淤变化

河床的冲淤变化取决于来水的含沙量与水流挟沙能力的对比关系。挟沙能力(有一定的变化范围)大于含沙量则河床发生冲刷,反之则河床发生淤积。影响水流挟沙能力的因素十分复杂,当前实际应用较多的挟沙能力公式有下列3式:

改进的张瑞瑾公式[6]

$$S_* = 0.89 \left( \frac{r_m}{r_s - r_m} \frac{v^3}{gh\omega_m} \right)^{0.742} \left( \frac{h}{D_{50}} \right)^{0.167} \quad (3-1)$$

韩其为公式[7]

$$S_* = 0.0803K \frac{J^{1.192} Q^{0.376}}{\omega^{0.92} n^{2.38}} \quad (3-2)$$

张红武公式[8]

$$S_* = 2.5 \left( \frac{(0.0022 + s_v) v^3}{k \frac{r_s - r_m}{r_m} gh\omega_m} - \ln \left( \frac{h}{D_{50}} \right) \right)^{0.62} \quad (3-3)$$

式中： $S_*$ 为挟沙能力； $\gamma_s$ 、 $\gamma_m$ 分别为泥沙和浑水的重率； $v$ 为流速； $g$ 为重力加速度； $\omega_m$ 为泥沙在浑水中的沉速； $n$ 为糙率； $J$ 为比降； $Q$ 为流量； $D_{50}$ 为床沙中值粒径； $K$ 为系数； $\omega$ 为悬沙平均沉速。式中的系数指数都是用黄河的实测资料率定的。

由于泥沙的重率远大于水，所以泥沙要下沉。水流能挟带泥沙的根本动力是水流的紊动，因为水流向上向下的紊动流速是相等的，所以悬沙浓度的垂线分布必须是上小下大。只有这样，才能形成向上紊速上举的泥沙多于向下紊速下推的泥沙，其差值是构成水流挟沙能力的基本因素，此差值主要源于水流的紊动强度和悬沙浓度垂线分布梯度。泥沙越粗，沉速越大，要求水流的紊动强度和悬沙浓度垂线分布梯度均大，才能保持悬浮状态。泥沙越细，沉速越小，则要求水流的紊动强度和悬沙浓度垂线分布梯度较小，即可保持悬浮状态。冲泻质泥沙的浓度垂线分布梯度几乎为零。水流的挟沙能力，从某种意义上理解，就是水流挟带床沙质泥沙的数量，在重力、紊动力、浮力、粘滞力和水流冲击力等力的共同作用下，在一个时段内，河床在冲淤交替变化中，总体上冲淤量为零，既悬移质泥沙平均沉速为零。水流运动的基本能率是  $r_m Q J$ ，水流挟带泥沙所消耗的能量也包括其中，若水流挟带了冲泻质泥沙， $r_m$ 增大，不但增加了水流的能量，也增加了水流中阻抗泥沙下沉的浮力和粘滞力，冲泻质随水流运动，基本不下沉，几乎不消耗水流的能量，从而较大的增加水流挟带床沙质泥沙的能力。(顺便讨论一下对冲泻质定义的一种观点，认为冲泻质泥沙的沉速  $\omega = vJ$ ，泥沙就不下沉了，这样来定义冲泻质是不妥当的，因为  $vJ$  是水流相对于空间，而  $\omega$  是水中的悬沙相对于水流，如果  $\omega = vJ$ ，在水中的悬沙还是要下沉的，只有  $\omega = 0$ ，悬沙才一直悬浮在水中)。  $n\omega_m$  是水流运动的阻力和负载，是降低挟沙能力的主要因素。 $n$  代表河床的综合糙率，是消耗水流能量最重要，最基本的因素[5]。因此，可以用下式来定性表示挟沙能力的基本关系：

$$S_* = f \left( \frac{r_m Q J}{n\omega_m} \right) \quad (3-4)$$

式中各因素用什么形式的物理量和什么样的函数关系来表征，各家在公式推导过程中有所区别，但都符合上述基本关系。由于河流形态，泥沙的级配及温度等许多因素均对水流的挟沙能力有影响，故所有公式的部分系数指数都需要用所应用河流本身和同类型河流的实测资料来率定。平衡输沙要求各河段的输沙能力与来沙量一致，也就是来水的含沙量与河道的挟沙能力相等。因此，首先要加强流域地区的水土保持工作，减少进入河流的沙量，减少的程度以维持河口地区海岸线稳定，河道平衡输沙以及有利于改善流域地区的生态环境为基本标准。河道整治的目标就是依据河床演变规律，采取各种措施，形成一个有利于防洪、航运、引水、生态环境、水生生物繁殖等各项水利事业的河床形态，并长期基本保持主槽稳定和纵向平衡输沙[9]。

### 3.3. 江河与流域共同治理

江河的治理必须与产生江河水沙的流域一起治理，才能取得更好的成效。流域的水土保持工作，既保护了

当地的水土，改善了生态环境，有利于当地人民的生产和发展生产，对江河的开发治理更是非常有利。对于少沙河流，减少了进入长江的泥沙，就减少了三峡等水库的淤积量及对重庆港的影响，对整个长江航道的畅通也是有益的；对于多沙河流，效益更为巨大，由于中上游黄土高原进入黄河沙量的大幅度减少，不仅减轻了小浪底等水库的淤积，而且彻底解决了黄河下游持续淤积的难题，加上小浪底、三门峡等水库的调洪拦沙、调水调沙作用，下游河道已由持续淤积转为冲刷造床并向平衡输沙方向演变，为根治黄河创造了最重要的前提，可以把游荡型河道整治成较稳定的弯曲型河道，实现全面根治黄河的目标[10]。

### 3.4. 修正水沙资料提高预测的准确性

流域治理的成果需要通过修正水沙资料才能在江河治理中体现出来。水沙资料是江河开发治理的基本依据。江河的治理规划主要是根据江河的水沙等自然条件和社会需求等因素，采取各种措施，在保障防洪(防凌)安全的基础上，持续，充分，全面地发挥江河的各种效益。因此，规划所依据的水沙资料必须尽可能接近未来实际出现的情况，否则，规划将发生错误并出现各种问题，造成损失。从流域进入河流的水沙过程是流域内降水与下垫面互相作用的结果，当下垫面发生巨大变化后，遭遇与过去同样的降水，将产生与过去不同的水沙过程，其变化的程度与下垫面的变化程度相对应[11] [12]。

**Table 1.** Variation of water and sediment quantities on the national main rivers in recent years

**表 1.** 全国主要江河近年水沙量变化

河流	代表水文站	1950~2000			2003~2017			2003~2017/1950~2000		
		W	W <sub>s</sub>	S	W	W <sub>s</sub>	S	W	W <sub>s</sub>	S
长江	大通	9051	43300	0.478	8635.1	13730.7	0.159	0.954	0.317	0.332
黄河	潼关	364.7	118500	32.49	237.17	21468.7	9.052	0.65	0.181	0.279
淮河	蚌埠 + 临沂	285.4	1241	0.435	287.86	395.84	0.138	1.009	0.319	0.316
海河	4 站 + 2 站*	16.904	2060	12.19	6.4317	43.322	0.674	0.38	0.021	0.055
珠江	高要 + 石角 + 博罗	2864	7990	0.279	2702.5	2584.93	0.096	0.944	0.324	0.343
松花江	佳木斯	675.2	1270	0.188	526.32	1079.67	0.205	0.78	0.85	1.091
辽河	铁岭 + 新民	35.02	1868	5.334	22.209	144.1	0.649	0.634	0.077	0.122
钱塘江	兰溪 + 诸暨 + 花山	202.7	292.3	0.144	210.58	291.74	0.139	1.039	0.998	0.961
闽江	竹岐 + 永泰	577.1	695.7	0.121	576.47	289.6	0.05	0.999	0.416	0.417
塔里木河	阿拉尔 + 焉耆	72.75	2403.9	3.304	71.111	1475.07	2.074	0.977	0.614	0.628

注：W 为年水量亿 m<sup>3</sup>；W<sub>s</sub> 为年沙量万 t；S 为年平均含沙量 kg/m<sup>3</sup>。

\*4 站为石匣里、响水堡、张家坟、下会，2006 年以后加观台、元村集 2 站。

表 1 列出了全国主要江河近年水沙量的变化，长江大通站沙量减少是流域下垫面的变化和干支流已建水库拦沙共同作用的结果，而黄河潼关站沙量减少的原因主要是流域下垫面的变化。我国已进入绿色发展的新时代，山变青、水变绿是总的变化趋势。因此，前期观测的水沙资料已不再具有可重现的性质，用来预测未来的水沙条件时，必须根据未来下垫面的变化情况并考虑到终期的变化结果，对前期观测的水沙资料进行动态的修正，修正后的水沙资料才能作为江河治理规划，工程设计和运用管理的依据[2] [3]。大江大河的流域面积辽阔广大，情况复杂，已有的观测资料，难以全面描述过去所发生的大暴雨及其降落地区下垫面的状况，不确定的因素较多，修正水沙资料时，在充分考虑各种影响因素的基础上计算出预测值，同时，要给出一个变化范围，采用的方案需对此范围内的变化都能适应。

## 4. 我国江河开发治理的状况

### 4.1. 全国水资源量及供用水量

由表 2 可以看出, 全国水资源量变化在 23,257 亿  $\text{m}^3$  ~34,017 亿  $\text{m}^3$  之间, 平均为 27,754 亿  $\text{m}^3$ 。构成水资源量的主要是地表水, 地表水占水资源总量的比例为 95.51%~96.48%, 变幅不足 1%, 平均为 96.13%。水资源量占降水量的比例变化在 42.2%~50.3%之间, 平均为 45.4%。

由表 3 可知, 地表水约占供水总量的 81%, 用水总量变化在 5320 亿  $\text{m}^3$  ~6183 亿  $\text{m}^3$  之间, 平均为 5822 亿  $\text{m}^3$ 。2013 年以前略呈逐年增加的趋势, 2013 年以后稍有下降。农业用水最多, 占用水总量的 63.8%, 工业占 22.3%, 生活占 12%, 生态环境占 2%。生活用水和生态环境用水有逐年增加的趋势, 农业用水随气候等因素而变化, 灌溉面积的扩大会增加用水量, 但节水灌溉技术的提高和节水灌溉面积的扩大会减少用水量。

Table 2. National quantities water resources in 1997-20017 years

表 2. 1997~2017 年全国水资源量

时间	降水量		地表水资源量	水资源总量	水资源总量/降水量	地表水资源量/水资源总量
年	mm	亿 $\text{m}^3$	亿 $\text{m}^3$	亿 $\text{m}^3$	%	%
1997	613	58,168.6	26,835.39	27,854.76	47.89	96.34
1998	713	67,631	32,726	34,017	50.3	96.2
1999	629.1	59,702.4	27,203.8	28,195.7	47.23	96.48
2000	633.2	60,092.34	26,561.94	27,700.81	46.1	95.89
2001	612	58,126	25,933	26,868	46.22	96.52
2002	660	62,610	27,243	28,255	45.13	96.42
2003	638	60,416	26,251	27,460	45.45	95.6
2004	601	56,876	23,126	24,130	42.43	95.84
2005	644.3	61,009.6	26,982.4	28,053.1	45.98	96.18
2006	610.8	57,840	24,358	25,330.1	43.79	96.16
2007	610	57,763	24,242.5	25,255.2	43.72	95.99
2008	654.8	62,000.3	26,377	27,434.3	44.25	96.15
2009	591.1	55,965.5	23,125.2	24,180.2	43.21	95.64
2010	695.4	65,849.6	29,797.6	30,906.4	46.93	96.41
2011	582.3	55,132.9	22,213.6	23,256.7	42.18	95.51
2012	688	65,159.1	28,373.3	29,528.8	45.32	96.09
2013	661.9	62,674.4	26,839.5	27,957.9	44.61	96
2014	622.3	58,966.9	26,263.9	27,266.9	46.24	96.32
2015	660.8	62,569.4	26,900.8	27,962.6	44.69	96.2
2016	730	69,172.1	31,273.9	32,466.4	46.94	96.33
2017	664.8	62,994	27,746.3	28,761.2	45.66	96.47
平均	643.6	60,986.2	26,684.48	27,754.34	45.44	96.13

**Table 3.** National service discharge and water consumption in 1997-2017 years (unit: hundred million m<sup>3</sup>)  
**表 3.** 1997~2017 年全国供用水量(单位: 亿 m<sup>3</sup>)

时间 年	供水量				用水量						
	地表水	地下水	其他	总量	地表/总量	生活	工业	农业	生态补水	总量	农业/总量
1997	4565.94	1031.49	25.7	5623.16	0.8120	525.15	1121.16	3919.72		5566.03	0.7042
1999	4514.22	1074.63	24.48	5613.33	0.8042	562.77	1158.95	3869.17		5590.88	0.6921
2000	4440.42	1069.17	21.14	5530.73	0.8029	574.92	1139.13	3783.54		5497.59	0.6882
2001	4448	1096.7	22.3	5567	0.7990	601.24	1141.24	3483.94		5567	0.6258
2002	4403.1	1071.92	22	5497	0.8010	615.66	1143.38	3375.16		5497	0.6140
2003	4287.92	1016.12	15.96	5320	0.8060	633.28	1175.72	3431.4	79.8	5320	0.6450
2004	4504.98	1026.38	16.64	5548	0.8120	649.12	1231.66	3584	83.22	5548	0.6460
2005	4572.2	1038.8	22	5633	0.8117	675.1	1285.2	3580	92.7	5633	0.6355
2006	4706.8	1065.5	22.7	5795	0.8122	693.8	1343.8	3664.4	93	5795	0.6323
2007	4723.5	1069.5	25.7	5818.7	0.8118	710.4	1404.1	3598.5	105.7	5818.7	0.6184
2008	4796.4	1084.8	28.7	5909.9	0.8116	729.2	1397.1	3663.4	120.2	5909.9	0.6199
2009	4839.5	1094.5	31.2	5965.2	0.8113	748.2	1390.9	3723.1	103	5965.2	0.6241
2010	4881.6	1107.3	33.1	6022	0.8106	765.8	1447.3	3689.1	119.8	6022	0.6126
2011	4953.3	1109.1	44.8	6107.2	0.8111	789.9	1461.8	3743.6	111.9	6107.2	0.6130
2012	4952.8	1133.8	44.6	6131.2	0.8078	739.7	1380.7	3902.5	108.3	6131.2	0.6365
2013	5007.3	1126.2	49.9	6183.4	0.8098	750.1	1406.44	3921.5	105.4	6183.4	0.6342
2014	4921	1117	57	6095	0.8074	767	1356	3869	103	6095	0.6348
2015	4969.5	1069.2	64.5	6103.2	0.8142	793.5	1334.8	3852.2	122.7	6103.2	0.6312
2016	4912.4	1057.3	70.8	6040.2	0.8133	821.6	1308	3768	142.6	6040.2	0.6238
2017	4945.5	1016.7	81.2	6043.4	0.8183	838.1	1277	3766.4	161.9	6043.4	0.6232
平均	4717.32	1073.81	36.22	5827.33	0.8094	699.2270	1295.2190	3709.4315	110.2147	5821.6950	0.6377

#### 4.2. 全国江河开发治理的有关成果

从表 4 可知, 2004 年到 2017 年, 灌溉面积由 61,511 千公顷增加到 73,946 千公顷[13], 水土流失治理面积由 92 万 Km<sup>2</sup> 增加到 125.8 万 Km<sup>2</sup>, 建成的水库由 84,363 座(其中大型水库 460 座)增加到 98795 座(其中大型水库 732 座), 水库总库容由 5541 亿 m<sup>3</sup> (其中大型水库 4147 亿 m<sup>3</sup>)增加到 9035 亿 m<sup>3</sup> (其中大型水库 7210 亿 m<sup>3</sup>), 水电装机容量及年发电量由 10,813 万 kw 及 3277 亿 kw·h 增加到 34,168 万 kw 及 11961 亿 kw·h。

**Table 4.** Associated results of harnessing on the national rivers in 2004-2017 years  
**表 4.** 2004~2017 年全国江河开发治理的有关成果

指标名称	灌溉面积 千公顷	水土流失治理面积 万 km <sup>2</sup>	水库 座	大型水库 座	水库总容积 亿 m <sup>3</sup>	大型水库库容 亿 m <sup>3</sup>	水电装机容量 万 kw	年发电量 亿 kw·h
2004 年	61,511	92	84,363	460	5541	4147	10,813	3277
2005 年	61,898	94.65	84,577	470	5623	4197	11,652	3952
2006 年	62,559	97.49	95,249	482	5841	4379	12,847	4163
2007 年	63,413	99.87	85,412	493	6345	4836	14,523	4870

Continued

2008年	64,120	101.6	86,353	529	6924	5386	17,090	5614
2009年	65,165	104.3	87,151	544	7064	5506	19,683	5055
2010年	66,352	106.8	87,873	552	7162	5594	21,157	6813
2011年	67,743	109.7	88,605	567	7201	5602	23,007	6507
2012年	67,780	103	97,543	683	8255	6493	24,881	8657
2013年	69,481	106.9	97,721	687	8298	6529	28,026	9304.2
2014年	70,652	111.6	97,735	697	8394	6617	30,183	10,661
2015年	72,061	115.5	97,988	707	8581	6812	31,937	11,143
2016年	73,177	120.4	98,460	720	8967	7166	33,153	11,815
2017年	73,946	125.8	98,795	732	9035	7210	34,168	11,961

Table 5. National navigable mileage of all level inland waterway in 2003-2018 years (unit: km)

表 5. 2003~2018 年全国各级内河航道通航里程(单位: km)

航道等级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级	7 级	等级合	等级外	总合
2003年	1346	2512	4195	7003	7784	19,228	18,797	60,865	63,099	123,964
2004年	1404	2513	4389	6948	8093	18,904	18,592	60,800	62,500	123,300
2005年	1404	2513	4714	6697	8331	18,771	18,584	61,000	62,300	123,300
2006年	1407	2538	4742	6768	8584	18,407	18,589	61,000	62,400	123,400
2007年	1407	2538	4877	6943	8586	18,401	18,445	61,197	62,298	123,495
2008年	1385	2634	4802	7213	8526	18,160	18,374	61,100	61,700	122,800
2009年	1385	2741	4716	7402	8521	18,433	18,348	61,500	62,200	123,700
2010年	1385	3008	4887	7802	8177	18,806	18,226	62,300	61,900	124,200
2011年	1392	3021	5047	8291	8201	18,506	18,190	62,600	62,000	124,600
2012年	1395	3014	5485	8366	8160	19,275	18,023	63,700	61,300	125,000
2013年	1395	3043	5763	8796	8600	19,190	18,113	64,900	61,000	125,900
2014年	1341	3443	6069	9301	8298	18,997	17,913	65,400	60,900	126,300
2015年	1341	3443	6760	10,682	7862	18,277	17,891	66,300	60,700	127,000
2016年	1342	3681	7054	10,862	7486	18,150	17,835	66,400	60,700	127,100
2017年	1828	3947	7686	10,732	7613	17,522	17,114	66,400	60,700	127,100
2018年	1828	3947	7686	10,732	7613	17,522	17,114	66,400	60,700	127,100

从表 5 可看出,总的通航里程略有增加,由 2003 年 123,964 km 增加到 2018 年 127,100 km,主要是通过河道整治等措施,使低等级航道及等级外航道升级,高等级航道通航里程明显增加,2003~2018 年,1 级航道的通航里程由 1346 km 增加到 1828 km,2 级航道由 2512 km 增加到 3947 km,3 级航道由 4195 km 增加到 7686 km,4 级航道由 7003 km 增加到 10,732 km,低等级及等级外航道的通航里程均有所减少,从而增加了航行安全和提高了航行速度。

### 4.3. 江河流域生态环境的改善

由表 6 可知, 全国森林面积从 1973 年的 12,200 万公顷增加到 2018 年的 26,072 万公顷, 45 年增长了 1.14 倍, 相应森林覆盖率由 12.7% 提高到 27.2%, 其中人工林面积从 1994 年的 4709 万公顷增加到 2018 年的 8950 万公顷, 24 年增加了 90%。由表 4 可知, 全国水土流失治理面积从 2004 年的 92 万  $\text{Km}^2$  增加到 2017 年的 125.8 万  $\text{Km}^2$ , 13 年增加了 27.2%。

Table 6. National probing results of all times forest resources

表 6. 历次全国森林资源清查成果

查次	时段 年	林业用地面积 万公顷	森林面积 万公顷	人工林面积 万公顷	森林覆盖率 %	森林蓄积量 万 $\text{m}^3$
第 1 次	1973~1976	25,760	12,200		12.7	865,600
第 2 次	1977~1981	26,713.02	11,500		12	902,800
第 3 次	1984~1988	26,742.89	12,500		12.98	914,100
第 4 次	1989~1993	26,288.85	13,400		13.92	1,013,700
第 5 次	1994~1998	26,329.47	15,894.09	4708.95	16.55	1,126,659.14
第 6 次	1999~2003	28,492.56	17,490.92	5364.99	18.21	1,245,584.58
第 7 次	2004~2008	30,590.41	19,545.22	6168.84	20.36	1,372,080.36
第 8 次	2009~2013	31259	20,768.73	6933.38	21.63	1,513,729.72
第 9 次	2014~2018	32,649.25	26,072.19	8950.34	27.16	1,811,887.5

注: 第 9 次为预测值。

前面 6 张表格的数据均引自水利部网站、交通运输部网站和林业和草原局网站。

### 4.4. 全国主要江河水沙量的变化

由于全国森林面积的大幅度增加和水土保持面积的扩大等原因, 从流域进入江河的泥沙显著减少。表 1 为全国主要江河近年水沙量的变化, 表中把 2003~2017 年平均年水、沙量及含沙量与 1950~2000 年的平均值进行对比, 可以看出, 钱塘江、淮河、闽江、塔里木河、长江、珠江的年水量基本不变或略有减少, 松花江、黄河年水量减少, 海河年水量显著减少; 年沙量只有来沙量本来就很少的钱塘江基本不变, 松花江、塔里木河有不同程度的减少以外, 其余江河的减少均超过 50%, 海河减少了 98%, 辽河减少 92%, 黄河减少 82%, 长江、淮河、珠江的减少程度均超过 67%。黄河潼关站沙量减少的主要原因是流域下垫面的变化, 而长江、淮河、海河等江河沙量的减少是流域下垫面的变化和干支流已建水库拦沙等因素共同作用的结果。

## 5. 结语

1) 太阳的辐射使海洋的水蒸发成水汽上升输送到陆地, 遇冷气团形成水滴降落到地面后, 顺地形汇集成河流水系, 再回流入海洋, 河流是海陆气水循环的陆地通道, 不同的地形、地质、地貌和降水条件, 形成不同大小、不同类型的河流。河流为人类的生存发展提供流动的淡水资源、水运航道和可再生的清洁能源等等, 故绝大多数大城市都建设在河畔。河流唯一的灾害是洪水泛滥, 治河的目标是采取各种措施, 调节洪水, 稳定主槽, 平衡输沙, 在保障防洪(防凌)安全的前提下开发各种水利事业。

2) 新中国成立以来, 我国在江河开发治理方面取得了巨大成就, 特别是近 20 年, 改善生态环境的措施更加落实, 水土保持治理面积和森林面积不断扩大, 建成水库的数量和库容快速增加, 洪水灾害减少, 农业灌溉面积逐年增加, 生活、工业用水基本得到保障, 水电装机容量和发电量大幅度增加, 内河等级航道的通航里程增加较多, 有利于提高通航速度和保障航行安全。

3) 江河的治理必须与产生江河水沙的流域地区同时治理, 才能取得更好的成效。大规模的水土保持工作和植树造林等工程, 首先是改善了流域地区的生态环境, 有利于当地人民的生产和发展生产, 同时使进入河道的沙量显著减少, 黄河减少了 82%, 海河、辽河、长江、淮河、珠江均有大幅度的减少, 从而对江河的开发治理非常有利。对于少沙河流, 减少了进入长江的泥沙, 就减少了三峡等水库的淤积量及对重庆港的影响, 对整个长江航道也是有利的; 对于多沙河流, 效益更为巨大, 由于大幅度减少了进入黄河的泥沙, 彻底解决了下游河道持续淤积的难题, 为根治黄河创造了最重要的前提, 可以把游荡型河道整治成较稳定的弯曲型河道。

4) 流域的治理成果需要通过修正水沙资料才能在江河开发治理中体现出来。我国已进入绿色发展的新时代, 大好河山正在不断的变化过程中, 山变青水变绿是总的变化趋势, 因此, 前期观测的水沙资料已不再具有可重现的性质, 用于预测未来的水沙条件时, 必须根据未来下垫面的变化过程并考虑到终期的变化状况, 对前期观测的水沙资料进行动态的修正。水沙资料是江河开发治理的基本依据, 预测的水沙资料不准, 将导致规划错误或出现各种问题, 造成损失。不同的下垫面遭遇相同的暴雨所产生的水沙量是不同的, 所以, 只有修正后的水沙资料才能符合预测期的实际情况, 才能作为江河治理规划、工程设计和运用管理的依据, 修正水沙资料是把上中游的绿水青山使全河特别是下游河道变成金山银山的转化剂。

## 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] 杨大文, 杨汉波, 雷慧闽. 流域水文学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2014: 5-10.  
YANG Dawen, YANG Hanbo and LEI Huimin. Watershed hydrology. Beijing: Tsinghua University Press, 2014: 5-10. (in Chinese)
- [2] 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)
- [3] 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): 3-9. (in Chinese)
- [4] 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)
- [5] 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)
- [6] 吴保生. 水流输沙能力[M]//王光谦, 胡春宏. 泥沙研究进展. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 69-72.  
WU Baosheng. Sediment transporting capacity of water flow. In WANG Guangqian, HU Chunhong. Sediment research advance. Beijing: China Water Resources and Hydropower Press, 2006: 69-72. (in Chinese)
- [7] 韩其为. 黄河泥沙若干理论问题研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2010: 8-9.  
HAN Qiwei. Research of some theory problems about Yellow River sediment. Zhengzhou: Yellow River Water Resources Press, 2010: 8-9. (in Chinese)
- [8] 张红武, 吕昕. 弯道水力学[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993: 39-42.  
ZHANG Hongwu, LU Xin. Bend hydraulics. Beijing: Water Resources and Electric Power Press, 1993: 39-42. (in Chinese)
- [9] 彭瑞善. 新时代黄河治理方向探讨[J]. 水资源研究, 2018, 7(6): 584-594.  
PENG Ruishan. Direction of harnessing the Yellow River in the new period. Journal of Water Resources Research, 2018, 7(6): 584-594. (in Chinese)
- [10] 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)
- [11] 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. Revised 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)
- [12] 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)
- [13] 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*, 2017, 6(4): 384-391. (in Chinese)