

# Revised Data Series of Water and Sediment

Ruishan Peng

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

Received: Jul. 14<sup>th</sup>, 2016; accepted: Jul. 28<sup>th</sup>, 2016; published: Aug. 9<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by author and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

---

## Abstract

Hekouzhen-Longmen reach is the basin of the most soil erosion in the Yellow River. As water and soil conservation works have been implemented for many years, consequential quantities of sediment into the Yellow River have remarkably reduced. River basin's underlying surface has been definitely ecologically restored, so that data series of water and sediment measured early cannot return again and must be revised. The substance of revising data series of water and sediment is to exchange underlying surface, by taking underlying surface of predicted time to alternate that of measured time, so that analysis calculation needs many data and is extraordinarily complex. Rainfall amount is a basic factor for soil and water loss. Rainfall intensity and rainfall area have important effects on the quantities of runoff and sediment discharge. Runoff coefficient is the percentage of runoff amount over rainfall amount belonging to water body conversion. Soil loss coefficient is the ratio of sanding amount to rainfall amount, and sanding amount is eroded and carried by kinetic energy of water body of contact ground in rainfall belonging to energy conversion. Different underlying surfaces have different responses in poundage, infiltration, energy to consume and scour resistance of rainfall, which directly reflect in changes of runoff coefficient and soil loss coefficient. The ratio of runoff coefficient to soil loss coefficient in various times of recent stage and early stage is taken as the correction factor for water and sediment amount in various times of early stage. Again the influence of regional difference of rainstorm and rainfall in various times is considered. This method has been used to revise the quantities of water and sediment in eight years of much sediment in early stage on He-Long reach. The revised data series of water and sediment is more accurate than the data series measured early for predicting future water and sediment quantities.

## Keywords

Yellow River, Variation of Underlying Surface, Revising Data Series of Water and Sediment, Runoff Coefficient, Soil Loss Coefficient, Revised Coefficient

---

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。

文章引用: 彭瑞善. 修正水沙资料系列初探[J]. 水资源研究, 2016, 5(4): 368-378. <http://dx.doi.org/10.12677/jwrr.2016.54043>

# 修正水沙资料系列初探

彭瑞善

中国水利水电科学研究院泥沙研究所, 北京

Email: pengrs@iwahr.com

收稿日期: 2016年7月14日; 录用日期: 2016年7月28日; 发布日期: 2016年8月9日

## 摘要

河口镇至龙门是黄河产沙最多的河段, 经过多年水土保持治理, 进入黄河的泥沙已显著减少, 流域下垫面的生态修复, 使早期观测的水沙资料不再具有可重现的性质, 必须修正。修正水沙资料的实质是交换下垫面, 用预测期的下垫面替换观测期的下垫面, 其分析计算需要大量资料, 非常复杂。降水量是产生水沙径流的基本因素, 降水强度和降水地区对产沙的多少有重要影响。径流系数是降水量中产生径流量的百分数, 产沙系数是降水中与地面接触水体的动能, 冲动并带走的泥沙量与降水量的比值。不同的下垫面对降水的储存、下渗、消能和抗冲有不同的响应, 直接在径流系数和产沙系数的变化上反映出来。把近期和早期各时段径流系数、产沙系数的比值, 作为对早期各时段水沙量的修正系数, 再考虑各时段暴雨和降水地区差异的影响。用此方法修正了河口镇至龙门早期8个大沙年的水沙量。对于预测未来的水沙条件, 可以肯定, 用本次修正的成果比直接用早期观测的水沙资料会更接近实际。

## 关键词

黄河, 下垫面变化, 修正水沙资料, 径流系数, 产沙系数, 修正系数

## 1. 引言

水沙条件是影响江河演变和决定江河治理方案的基本因素, 黄河难治的根源是水少沙多, 河床持续淤积抬高。由于长时间大规模水土保持工作的成效, 从黄土高原进入黄河的泥沙已大量减少, 随着生态文明建设的推进, 泥沙减少的趋势是不可逆转的, 用早期观测的水沙资料来预测未来的水沙条件肯定是不符合实际的, 必须根据下垫面的变化对早期观测的水沙资料进行修正, 修正后的水沙资料才能作为黄河治理规划的依据。修正水沙资料是一项新的非常复杂的研究课题, 必须摸索进行。河口镇(头道拐)至龙门是黄河产沙最多的河段, 也是水土保持工作成效最显著的河段, 修正该河段流域进入黄河的水沙(特别是泥沙)资料, 对于黄河中下游的开发治理具有重要意义。在倡导生态文明建设的新时期, 许多江河的开发治理, 都需要首先研究并修正水沙资料[1]。

## 2. 修正水沙资料的必要性和可行性

### 2.1. 水沙径流的产生

水沙径流是降水和流域下垫面相互作用的产物, 降水是主动作用因素, 当流域地面遭遇降水, 雨水(包含水体和水能)冲击地面带来的后果主要有两个方面, 一是地面的变化, 二是雨水的去向。各种地貌形态对雨水的作用产生不同的响应, 由于承受雨水作用的能力不同, 地面变化的程度和对雨水去向的安排也不相同[2]。坡耕地在大雨暴雨的冲击和重力作用下, 会发生大量水土流失, 坡度陡的会形成高浓度的挟沙水流甚至泥石流下泄, 也会有少部分雨水渗入地下。当坡耕地改为梯田后, 一般中大雨主要起浇地保墒作用, 有利于作物生长, 大雨

暴雨可以在排水沟道形成高速水流，但地面的流速一般不会太大，水流带走的泥沙较少；当坡地有茂密的林草植被时，雨水很难直接冲击地面，大多是经过林草枝叶消能后才能接触地面，对地表的冲刷能力大大降低，地面的变化较小，停留蒸发下渗的水量增多，产生的径流减少，产沙量更少；城镇建设所形成的硬化地面，能抗衡暴雨的冲击而不变化，雨水除湿润地表蒸发以外，不能与泥土接触，故无泥土流失，几乎无水下渗，其余的雨水全部转化为地表径流，超过城市原设计的排水能力，从而加重内涝。遭遇特大暴雨时，除硬化地面以外，各种地貌形态的水土流失都可能大幅度增加，具体增加的数量，取决于水土保持措施的设计标准，施工质量和管理水平。降水和流域下垫面相互作用所产生的水沙径的数量和过程，决定于降水特性(降水量、降水强度、降水过程、持续时间和降水地区等)和下垫面的状况(地形、地质、地貌、土壤种类、密实度、含水量、植被的种类、生长情况、覆盖率及各种人工措施等诸多因素)，情况非常复杂。雨水的去向一般为就地停留、蒸发、下渗、挟带一些固体物质(泥土、树草枝叶及地面零散物等)形成挟沙水流，汇入沟道、支流、干流河道，在输送过程中，会有部分水流储存在池塘、洼地、湖泊和水库[3]。

## 2.2. 水沙条件是江河演变和开发治理的基本依据

平原冲积河流的河型及演变均决定于来水来沙条件，来沙量的大幅度减少可能引起河床冲淤性质上的变化甚至河型转换。河流开发治理规划、水利枢纽工程设计和运用，都要以水沙条件为基本依据。预测水沙条件的准确性对做好江河治理规划和工程设计十分重要。1955年的黄河流域综合治理规划，由于对黄河中游流域水土保持成效估计过高、预测进入黄河的沙量过少，因而把三门峡水利枢纽设计成蓄水拦沙运用的高坝大库，并认为下游河道主要是防御冲刷，故在黄河下游规划了7座低水头水利枢纽工程。1960年三门峡水库投入运用后，库区发生严重淤积，潼关河床迅速抬高，渭河的防洪标准下降，以致威胁西安市的防洪安全，三门峡水库被迫改建，降低蓄水位并改变运用方式，投资增大、效益减少。下游河道建成的花园口水利枢纽、位山水利枢纽相继破坝恢复原河道，已施工了部分建筑物的淤口水利枢纽和王旺庄水利枢纽半途而废；近年，又直接引用过去观测的水沙资料，预测中游流域进入黄河的沙量过多，算得小浪底水库运用10年后下游河道即开始回淤，因而仍然把防止下游河道淤积作为主要任务，继续采用“宽河固堤”治河方略，滩地随时都可能上水，使居住在下游滩地的190万人民不能搞基本建设，生产生活十分困难。近15年的实测资料表明，来沙量远小于预测值，下游河道仍是冲刷发展的趋势，持续淤积的情况不可能再发生，黄河已进入规划根治的新时期[4]。来沙量的减少，对水利枢纽工程的设计和运用都比较有利，不但可以延缓水库的淤积，而且可以考虑调整水库运用方式，以增加水库的综合效益，更是为多沙河流的根治创造了条件，河道由持续淤积转变为持续冲刷，直到冲淤基本平衡，通过整治，可以使游荡型河道转变为稳定的弯曲型河道。

## 2.3. 修正水沙资料是必要和可行的

预测未来水沙条件的常规方法是利用已有的水沙观测资料及调查考证搜集的参考资料，进行数理统计分析，把设想的降水周期性变化转化为水沙的周期性变化，因而认为观测资料系列的时间越长，预测的成果越可靠。由于水沙径流量和过程是降水和下垫面相互作用的产物，降水和下垫面任何一方发生变化都会改变水沙条件重现的性质[5]。降水决定于气象条件，现时还很难准确预报未来甚至当年的降水状况，因此，降水应属于不确定因素，而下垫面现时和未来一段时间的状况基本上是确定的，可根据需要和技术经济条件去测量、规划和表述。所以，按照下垫面的变化修正水沙资料是合理的、可行的。新中国成立后所实施的水土保持工作、退耕还林还草、生态文明建设和江河开发治理工程，已经极大地改变了黄河流域下垫面的状况，根据生态文明建设的要求，下垫面还将向绿水青山的方向变化，过去观测的严重水土流失所形成的大沙年资料，今后很难甚至不可能再现。用将来不可能出现的水沙条件作为江河治理规划和工程设计的依据是不合理的，因而修正水沙资料是非常必要的。当前全球的气候正在发生变化，人们也正在研究和采取控制变化的措施，待气候变化的规律研究确定之后，

还需要根据黄河流域气候变化的特征，修正前期观测的水沙资料。

### 3. 修正水沙资料的方法与成果

#### 3.1. 修正水沙资料的基本方法

修正水沙资料的理想方法是分别对比近期和早期各降雨地区下垫面的变化，把各种水土保持措施(梯田、淤地坝、植树种草等)的实施情况，降水特征与水沙量的变化建立定量关系，以便根据未来各时段水土保持工作的进展情况，计算出相应的水沙量。这需要大量调查、测量、考证、搜集资料、分析计算和试验研究工作[5]。另一种比较简要概括的方法，是在确认水土保持工作逐步进展的基础上，直接利用降水量、径流量、输沙量等资料，分别计算出各时段汛期平均、非汛期平均的径流系数、产沙系数，用近期与早期各时段径流系数和产沙系数的比值，作为对早期各时段水沙量的初步修正系数，再考虑近期和早期各时段之间降水强度和降水地区差异的影响，选择一组暴雨地区系数，该系数与早期相应时段汛期初步修正系数的乘积，构成该时段汛期水沙量的修正系数。时段的长短，可以是一年、多年、也可以是一个汛期或一次洪峰，根据需求和资料情况确定。降水量是产生水沙径流的基本因素。径流系数是单位降水量所产生的径流量，即通过降水与下垫面的相互作用，降水量中除储存、下渗和蒸发以外的水量与降水量的比值，其实质是水体的转化。增加雨水在当地和流经地带的储存和下渗，径流系数就会减小。产沙系数是单位降水量所产生的输沙量，即降水量中接触地面水体的动能冲刷土壤并挟带走的泥沙量与降水量的比值，其实质是能量的转化。尽可能增加雨水接触地面前动能的消耗，使雨水与地面和缓相遇，并增强地面土壤的抗冲能力，减缓地表径流汇集的速度并途中拦沙，就可减小产沙系数。径流系数和产沙系数的减小，基本与流域下垫面的生态修复相对应，正是水土保持工作成效的反映。

#### 3.2. 修正水沙资料河段选择

黄河是世界上输沙量最多的河流，河口镇(头道拐)至龙门是黄河产沙最多的河段(见图 1)，流域面积 13 万  $\text{km}^2$ ，占黄河流域面积 17%，平均年产沙量 8.29 亿 t，占潼关年输沙量 13.79 亿 t 的 60%，平均年水量 61 亿  $\text{m}^3$ ，占潼关年径流量 414 亿  $\text{m}^3$  的 15% (1950~1985 年)。是黄河下游三大洪水来源区之一，龙门最大洪峰流量 21,000  $\text{m}^3/\text{s}$  (1967 年)，峰型高瘦。河龙段长 735 km，落差 608 m，比降 8.3/万，有集水面积在 1000  $\text{km}^2$  以上的一级支流窟野河、无定河、延河等 21 条。黄河从三湖河口东流至河口镇，前方受吕梁山阻挡折转南流，切开黄土高原，形成黄河最长的一段峡谷。基岩主要是砂页岩，由于坡陡流急，水势集中，河宽较小，大多为 200~400 m，只有河曲、保德、府谷三处河谷较宽。两岸黄土岸壁陡峻，高出水面数十米至百余米。两岸支流深切黄土层，汛期遭遇暴雨冲击，水土大量流失，由地面汇入沟壑、支流、干流河道，形成高浓度挟沙水流。该河段流域有多处多沙粗沙区，因而是黄土高原水土保持治理的重点地区，也是治理成效最显著的地区，修正该河段的水沙(主要是泥沙)资料，对于黄河中下游的开发治理具有重要意义。

1949 年新中国成立以后，黄土高原的水土保持工作受到重视，在当时的社会环境下，只是无规划的零星开展，一时轰动，一时冷落，有时还存在一边建设一边破坏的现象，20 世纪 70 年代以后，才逐渐走上正轨，有计划的治理多沙粗沙区，并摸索出一套以小流域为单元，以淤地坝为主的综合治理措施。进入 21 世纪以后，有规划地开展退耕还林还草，并注重淤地坝的维修保护和改进，因而成效更好。

#### 3.3. 修正水沙资料的初步成果

年径流量、年输沙量是反映河流水沙条件的基本物理量。为了修正黄河河口镇至龙门区间流域进入黄河的水沙量，利用文献[6]整理的水沙资料，计算出各个时段年平均、汛期平均、非汛期平均及汛期 7、8、9、10 月各月平均的径流系数、产沙系数如表 1~表 4。根据前述情况，认为 1956~1969 年时段为水土保持治理前的天然状态，其径流系数、产沙系数与以后各时段的比值，可粗略反映水土保持治理的成效(未考虑降水强度和降水地

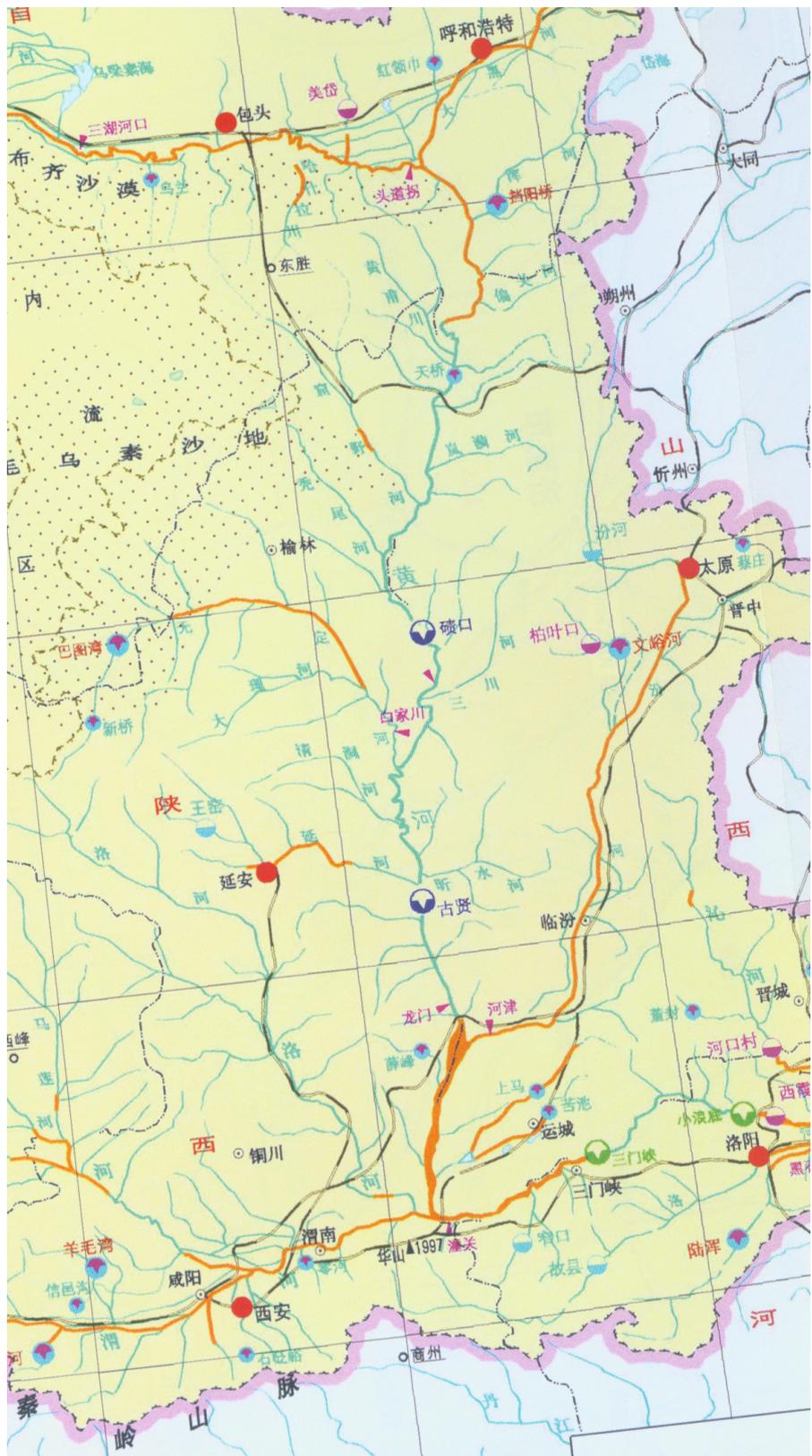


Figure 1. Hokouzhen (Toudaoguai)-Longmen reach  
图 1. 河口镇(头道拐) - 龙门河段示意图(引自黄河流域防洪规划)

Table 1. Hokouzhen-Longmen variation of annual rainfall with runoff soil loss

表 1. 河龙间年降水量产流产沙量变化

时段(年)	符号	降水量(mm)	径流量(亿 m <sup>3</sup> )	输沙量(亿 t)	径流系数(万 m <sup>3</sup> /mm)	产沙系数(万 t/mm)	含沙量(kg/m <sup>3</sup> )
1956~1969	A	477.2	69.3	10.25	1452.2	214.8	147.9
1970~1979	B	428.4	51.4	7.54	1199.8	176.0	146.7
1980~1989	C	416.8	37.1	3.72	890.1	89.3	100.3
1990~1999	D	403.1	42.9	4.7	1064.2	116.6	109.6
2000~2010	E	432.4	32.6	1.63	753.9	37.7	50
1956~1999	F	435.6	51.9	6.89	1191.4	158.2	132.8
1956~2010	G	434.96	48.04	5.838	1104.4	134.2	116.2
	B/A	0.898	0.742	0.736	0.826	0.819	0.992
	C/A	0.873	0.535	0.363	0.613	0.416	0.678
	D/A	0.845	0.619	0.459	0.733	0.543	0.741
	E/A	0.906	0.470	0.159	0.519	0.176	0.338
	E/B	1.009	0.634	0.216	0.628	0.214	0.341
	E/C	1.037	0.879	0.438	0.847	0.422	0.499
	E/D	1.072	0.760	0.347	0.708	0.323	0.456
	E/F	0.993	0.628	0.237	0.633	0.238	0.377

Table 2. Hekouzhen-Longmen variation of flood season rainfall with runoff soil loss

表 2. 河龙间汛期降水量产流产沙量变化

时段(年)	符号	降水量(mm)	径流量(亿 m <sup>3</sup> )	输沙量(亿 t)	径流系数(万 m <sup>3</sup> /mm)	产沙系数(万 t/mm)	含沙量(kg/m <sup>3</sup> )
1956~1969	A	335.4	39	9.38	1162.8	279.7	240.5
1970~1979	B	302.1	26.3	6.91	870.6	228.7	262.7
1980~1989	C	263.2	16.4	3.11	623.1	118.2	189.6
1990~1999	D	265.1	22.3	3.89	841.2	146.7	174.4
2000~2010	E	292.5	16.8	1.27	574.4	43.4	75.6
1956~1999	F	295.4	27.3	6.14	924.2	207.9	224.9
1956~2010	G	294.82	25.2	5.166	854.8	175.2	195.0
	B/A	0.901	0.674	0.737	0.749	0.818	1.092
	C/A	0.785	0.421	0.332	0.536	0.423	0.788
	D/A	0.790	0.572	0.415	0.723	0.525	0.725
	E/A	0.872	0.431	0.135	0.494	0.155	0.314
	E/B	0.968	0.639	0.184	0.660	0.190	0.288
	E/C	1.111	1.024	0.408	0.922	0.367	0.399
	E/D	1.103	0.753	0.326	0.683	0.296	0.433
	E/F	0.990	0.615	0.207	0.621	0.209	0.336

**Table 3. Hokouzhen-Longmen variation of non-flood season rainfall with runoff soil loss**  
**表 3. 河龙间非汛期降水量产流产沙量变化**

时段(年)	符号	降水量(mm)	径流量(亿 m <sup>3</sup> )	输沙量(亿 t)	径流系数(万 m <sup>3</sup> /mm)	产沙系数(万 t/mm)	含沙量(kg/m <sup>3</sup> )
1956~1969	A	141.8	30.3	0.87	2136.8	61.3	28.7
1970~1979	B	126.3	25.1	0.63	1987.3	49.9	25.1
1980~1989	C	153.6	20.7	0.61	1347.7	39.7	29.5
1990~1999	D	138	20.6	0.81	1492.8	58.7	39.3
2000~2010	E	139.9	15.8	0.36	1129.4	25.7	22.7
1956~1999	F	140.2	24.6	0.75	1754.6	53.5	30.5
1956~2010	G	140.14	22.84	0.672	1629.8	48.0	28.9
	B/A	0.891	0.828	0.724	0.930	0.813	0.874
	C/A	1.083	0.683	0.701	0.631	0.647	1.026
	D/A	0.973	0.680	0.931	0.699	0.957	1.369
	E/A	0.987	0.521	0.414	0.529	0.419	0.794
	E/B	1.108	0.629	0.571	0.568	0.516	0.908
	E/C	0.911	0.763	0.590	0.838	0.648	0.773
	E/D	1.014	0.767	0.444	0.757	0.438	0.579
	E/F	0.998	0.642	0.48	0.644	0.481	0.747

**Table 4. Hokouzhen-Longmen variation of monthly in flood season rainfall with runoff soil loss**  
**表 4. 河龙间汛期各月降水量产流产沙量变化**

符号	时段(年)	7月			8月			9月			10月		
		降水量(mm)	径流系数(万 m <sup>3</sup> /mm)	产沙系数(万 t/mm)	降水量(mm)	径流系数(万 m <sup>3</sup> /mm)	产沙系数(万 t/mm)	降水量(mm)	径流系数(万 m <sup>3</sup> /mm)	产沙系数(万 t/mm)	降水量(mm)	径流系数(万 m <sup>3</sup> /mm)	产沙系数(万 t/mm)
A	1956~1969	110.3	830	340	122.4	1320	363	71.9	860	135	30.8	2400	84
B	1970~1979	102.1	680	230	111	970	334	62.8	940	107	26.2	1030	76
C	1980~1989	98.1	420	120	88.7	700	161	53.1	340	64	23.3	1850	60
D	1990~1999	103.3	540	140	92.5	810	200	44.3	1220	120	22.3	1610	27
E	2000~2010	79.3	430	54	103.4	440	54	80.6	600	29	29.2	1370	17
F	1950~1999	104.1	640	220	105.9	1020	284	59.3	840	111	26.1	1840	65
G	1950~2010	99.1	600	188	105.4	900	238	63.6	790	95	26.7	1750	56
B/A		0.926	0.81	0.678	0.907	0.735	0.921	0.873	1.09	0.791	0.851	0.429	0.904
C/A		0.889	0.501	0.364	0.725	0.528	0.444	0.739	0.393	0.475	0.756	0.768	0.712
D/A		0.937	0.65	0.403	0.778	0.611	0.55	0.616	1.416	0.887	0.724	0.672	0.319
E/A		0.719	0.514	0.161	0.845	0.336	0.149	1.121	0.691	0.212	0.948	0.57	0.203
E/B		0.777	0.634	0.238	0.932	0.457	0.162	1.283	0.634	0.267	1.115	1.329	0.224
E/C		0.808	1.026	0.443	1.166	0.636	0.336	1.518	1.757	0.446	1.253	0.742	0.285
E/D		0.768	0.791	0.4	1.086	0.55	0.271	1.819	0.489	0.239	1.309	0.849	0.636
E/F		0.762	0.666	0.245	0.976	0.436	0.191	1.359	0.706	0.256	1.119	0.745	0.263

区差异的影响)。以 2000~2010 年时段代表近期的情况,分别以近期与此前各时段径流系数、产沙系数的比值,作为对此前各时段水沙资料的初步修正系数。表 1 为河龙区间不同时段年平均降水量及其产流产沙量变化。

从表 1 可知:1) 降水量在 20 世纪后半世纪呈递减势态,1990~1999 年时段最小,只有 1956~1969 年时段的 85%,进入 21 世纪以后,降水量回升,2000~2010 年时段降水量为 1956~1969 年时段的 91%,并多于其他 3 个时段,与 1956~1999 年长时段接近;2) 径流量、输沙量、径流系数、产沙系数、含沙量都基本呈逐渐减少的趋势,只有 1990~1999 年时段大于 1980~1989 年时段;3) 2000~2010 年时段与 1956~1999 年长时段的比值,降水量为 0.99,输沙量和产沙系数均为 0.24,径流量和径流系数均为 0.63,含沙量为 0.38。2000~2010 年时段与其前各时段比值的变化范围,降水量为 0.91~1.07,输沙量为 0.16~0.44,产沙系数为 0.18~0.42,径流量为 0.47~0.88,径流系数为 0.52~0.85,含沙量为 0.34~0.50,输沙量和产沙系数的减少远多于径流量和径流系数的减少,表明已实施的水土保持措施对产沙的减少远大于对径流的减少。

表 2 为汛期平均降水量产流产沙量变化,与全年的变化趋势基本一致,2000~2010 年时段与其前各时段比值的变化范围,降水量为 0.87~1.11,输沙量为 0.14~0.41,产沙系数为 0.16~0.37,径流量为 0.43~1.02,径流系数为 0.49~0.92,含沙量为 0.29~0.43。

表 3 为非汛期平均降水量产流产沙量变化:1) 在 5 个时段中,降水量呈波动变化,1980~1989 年时段为 153.6 mm,属最大,1970~1979 年时段为 126.3 mm,属最小;2) 径流量呈递减势态。径流系数基本呈递减趋势,只是 1990~1999 年时段大于 1980~1989 年时段。输沙量和产沙系数基本上都是递减,只有 1990~1999 年时段大于其前的两个时段;3) 2000~2010 年时段与 1956~1999 年长时段的比值,降水量为 1,输沙量和产沙系数均为 0.48,径流量和径流系数均为 0.64,含沙量为 0.75。2000~2010 年时段与其前各时段比值的变化范围,输沙量为 0.41~0.59,产沙系数为 0.42~0.65,径流量为 0.52~0.77,径流系数为 0.53~0.84,含沙量为 0.58~0.91。

表 4 为汛期各月平均降水量产流产沙量变化:1) 各时段与 1956~1969 年时段相比,各月的降水量均呈波动减少的势态,只有 2000~2010 年时段 9 月的降水量超过 1956~1969 年时段,比值为 1.12,相应径流系数的比值为 0.69,产沙系数的比值为 0.21,表明在雨量增多的情况下,径流系数,特别是产沙系数仍大幅度减少;2) 汛期各月的降水量和产沙系数都是 8 月最大,7 月第 2,10 月,最小,径流系数 10 月最大,8 月第 2,7 月最小;3) 2000~2010 年时段与其前各时段比值的变化范围,径流系数,7 月为 0.51~1.02,8 月 0.34~0.64,9 月为 0.49~1.76,10 月为 0.57~1.33;产沙系数,7 月为 0.16~0.44,8 月为 0.15~0.34,9 月为 0.21~0.45,10 月为 0.20~0.64。以上分析表明,进入 21 世纪的 10 余年与 20 世纪后半世纪各时段相比,汛期 7、9、10 月的径流系数有时加大,有时减小,8 月都是减小,总的大约减小 30%多,产沙系数都是减小,总的大约减小 80%。

表 5 为水沙特征值汛期与非汛期比值。2000~2010 年时段与 1956~1969 年时段比较,汛期与非汛降水量比值减小 12%,径流系数比值减小 6%,而产沙系数比值减小 63%。表明水土保持治理后,径流系数汛期与非汛期的比值变化较小,而产沙系数汛期减少的幅度远大于非汛期,因而汛期与非汛期的差距缩小。再从表 2、表 3 中可以看出,2000~2010 年时段汛期的产沙系数 43.24 万 t/mm,已经小于其前 3 个时段非汛期的产沙系数,即 1956~1969 年时段 61.35 万 t/mm,1970~1979 年时段 49.88 万 t/mm,1990~1999 年时段 58.70 万 t/mm,相应于此 3 个时段非汛期的降水量分别为 141.8 mm、126.3 mm,138.0 mm,远小于 2000~2010 年时段汛期降水量 292.5 mm。

根据以上分析成果,粗略认为各时段之间降水强度、降水地区差异对汛期产沙的影响较大;对汛期产水量的影响尚不明显,暂不考虑。参考各时段汛期的洪水泥沙情况及有关研究成果[6]-[10],初步选定各时段的水沙修正系数及暴雨地区系数如表 6。

汛期径流量、非汛期径流量和输沙量的修正系数均采用 2000~2010 年时段与早期各时段径流系数、产沙系数的比值,只有汛期输沙量用该比值再乘以相应的暴雨地区系数作为修正系数。用此方法对龙门年输沙量大于 16 亿 t 的 8 个大沙年河龙区间的年径流量、年输沙量的修正成果如表 7、表 8。

**Table 5.** Ratio of flood seasons to non-flood seasons about characteristics of water sediment**表 5.** 河龙间水沙特征值汛期与非汛期比值

符号	时段 (年)	降水量 (mm)	径流系数 (万 m <sup>3</sup> /mm)	产沙系数 (万 t/mm)
A	1956~1969	2.38	0.544	4.56
B	2000~2010	2.09	0.509	1.69
C	1956~2010	2.1	0.524	3.65
B/A		0.88	0.94	0.37

**Table 6.** Revised coefficient of various times for quantities of water and sediment**表 6.** 河龙间各时段径流量输沙量修正系数

时段 (年)	径流量		输沙量			
	非汛期	汛期	非汛期	汛期	暴地系数	汛期(暴地)
1956~1969	0.53	0.49	0.42	0.16	2	0.32
1970~1979	0.57	0.66	0.52	0.19	1.6	0.3
1980~1989	0.84	0.92	0.65	0.37	1	0.37
1990~1999	0.76	0.68	0.44	0.3	1.2	0.36

**Table 7.** Hokouzhen-Longmen revised results of runoff for excessive sediment years**表 7.** 河龙间大沙年径流量修正成果(亿 m<sup>3</sup>)

年	河口镇			龙门			河龙间			河龙间(修正后)		
	汛期	非汛期	全年	汛期	非汛期	全年	汛期	非汛期	全年	汛期	非汛期	全年
1953	133.9	86.4	220.3	178.3	122.7	301	44.4	36.3	80.7	21.76	19.24	41
1954	160.1	123.5	283.6	220.7	160.5	381.2	60.6	37	97.6	29.69	19.61	49.3
1958	186.9	112.6	299.5	254.1	144	398.1	67.2	31.4	98.6	32.93	16.64	49.57
1959	147.5	58	205.5	220.8	89.3	310.1	73.3	31.3	104.6	35.92	16.59	52.51
1964	239.1	110.1	39.2	294.9	142.2	436.1	55.8	31.1	86.9	27.34	16.48	43.82
1966	178.9	142.9	321.8	215.8	167.9	383.7	36.9	25	61.9	18.08	13.25	31.33
1967	292.3	151.8	444.1	367.6	184.1	551.7	75.3	3.3	107.6	36.9	17.12	54.02
1977	85	76	161	132	103.8	235.8	47	27.8	74.8	31.02	15.85	46.87

#### 4. 结语

1) 水沙径流是降水和下垫面相互作用的产物,降水和下垫面任何一方发生变化都会改变水沙径流重现的性质。现时较过去,黄河中游流域的下垫面已发生巨大变化,随着生态文明建设的推进,下垫面还会继续改善,仍用早期观测的水沙资料来预测未来的水沙条件,肯定是脱离实际的,必须对早期观测的水沙资料按下垫面的变化进行修正。降水决定于气象条件,现时还很难准确预测未来的降水状况,属于不确定因素,具有随机性。而现时和未来一定时期的下垫面状况基本上是确定的,可根据需要和技术经济条件去测量、规划和表述。所以,按下垫面变化修正水沙资料不但必要,而且可行。

2) 修正水沙资料的理想方法就是交换下垫面,降水条件不变,把观测期的下垫面转换为预测期的下垫面,

**Table 8. Hokouzhen-Longmen revised results of silt discharge for excessive sediment years**  
**表 8. 河龙间大沙年输沙量修正成果(亿 t)**

年	河口镇			龙门			河龙间			河龙间(修正后)		
	汛期	非汛期	全年	汛期	非汛期	全年	汛期	非汛期	全年	汛期	非汛期	全年
1953	0.77	0.21	0.98	14.87	1.56	16.43	14.1	1.35	15.45	4.51	0.57	5.08
1954	1.25	0.45	1.7	18.2	1.36	19.56	16.95	0.91	17.86	5.42	0.38	5.8
1958	1.87	0.38	2.25	16.77	1.67	18.44	14.9	1.29	16.19	4.77	0.54	5.31
1959	1.84	0.09	1.93	19.45	0.61	20.06	17.61	0.52	18.13	5.64	0.22	5.86
1964	2.42	0.33	2.75	15.87	0.89	16.76	13.45	0.56	14.01	4.3	0.24	4.54
1966	1.69	0.8	2.49	15.9	1.51	17.41	14.21	0.71	14.92	4.55	0.3	4.85
1967	2.33	0.54	2.87	23.01	1.22	24.27	20.68	0.68	21.36	6.62	0.29	6.91
1977	0.4	0.14	0.54	15.5	0.59	16.09	15.1	0.45	15.55	4.53	0.23	4.76

用此时所产生的水沙径流替换原来观测的水沙径流，以恢复早期观测水沙资料再重现的性质。把各种水土保持措施的实施情况，降水特征与水沙量的变化之间建立定量关系，以便根据规划未来水土保持工作的进展情况，计算出相应的水沙量，这需要大量调查、测量、考证、搜集资料、分析计算和试验研究工作。

3) 降水量是产生水沙径流的基本因素，降水强度和降水地区对汛期产沙量有重要影响。径流系数是单位降水量所产生的径流量，即通过降水与下垫面的相互作用，降水中除被下垫面储存，下渗和大气中蒸发以外的水量与降水量的比值，其实质是水体的转化，增加雨水在当地和汇集途中的储存和下渗，就会减少径流系数。产沙系数是单位降水量所产生的输沙量，即降水的动能通过对下垫面的冲击作用，其中接触地面的动能冲刷土壤并挟带入江河的泥沙量与降水量的比值，其实质是能量的转化，尽可能在雨水接触地面前消耗其动能，使雨水与地面和缓相遇，并增强地面的抗冲能力，减缓地表径流汇集的速度并沿途拦沙，就可以减少产沙系数。植树种草、坡耕地改梯田、淤地坝等水土保持措施就能起到消能、蓄水拦沙、加固地表和减缓径流汇集速度等作用。径流系数、产沙系数的减少正是水土保持工作成效的反映。

本次所采用的修正水沙资料的方法是在确认下垫面逐步改善的前提下，直接采用近期与早期各时段径流系数、产沙系数的比值作为对早期各时段汛期、非汛期水、沙量的修正系数，并考虑各时段之间暴雨和降水地区的差异，对汛期沙量的修正系数再乘上一个暴雨地区系数，按此法对 8 个大沙年的水沙量进行了修正。尽管此修正方法是比较简要概括的，但抓住了最主要的影响因素和引起水沙量变化的规律，对于预测未来的水沙量，利用本次修正的成果比直接利用早期观测的水沙资料肯定会更接近未来实际发生的情况。在全球都已重视生态文明建设的新时期，本文提出的修正水沙资料的基本概念和所采用的修正方法，对其他下垫面逐步改善江河的开发治理亦有参考价值。

## 致 谢

本研究得到中国水科院科研专项(泥集 0820)基金资助，谨此致谢。

## 参考文献 (References)

- [1] 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)
- [2] 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)

- [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. 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)
- [6] 尚红霞, 彭红, 田世民, 任林雪. 黄河河口镇-龙门区间近期水沙变化特点分析[J]. 人民黄河, 2014, 36(2): 1-2.  
SHANG Hongxia, PENG Hong, TIAN Shimin and REN Linxue. Variation features of runoff and sediment in Hekou-zhen—Longmen reach of the Yellow River during 2000-2010. Yellow River, 2014, 36(2): 1-2. (in Chinese)
- [7] 王万忠, 焦菊英, 魏艳红, 王志杰. 近半个世纪以来黄土高原侵蚀产沙的时空分异特征[J]. 泥沙研究, 2015(2): 9-16.  
WANG Wanzhong, JIAO Juying, WEI Yanhong and WANG Zhijie. Spatial-temporal differentiation characteristics of erosion-sediment yield on the Loess Plateau during the recent half century. Journal of Sediment Research, 2015(2): 9-16. (in Chinese)
- [8] 何毅, 穆兴民, 赵广举, 高鹏. 基于黄河河潼区间输沙量过程的特征性降雨研究[J]. 泥沙研究, 2015(2): 53-59.  
HE Yi, MU Xingmin, ZHAO Guangju and GAO Peng. Variation of erosive rainfall and extreme rainfall based on processes of sediment discharge in Hekou-Tongguan reach of the Yellow River. Journal of Sediment Research, 2015(2): 53-59. (in Chinese)
- [9] 史红玲, 胡春宏, 王延贵, 胡健. 黄河流域水沙变化趋势分析及原因探讨[J]. 人民黄河, 2014, 36(4): 1-5.  
SHI Hongling, HU Chunhong, WANG Yangui and HU Jian. Analysis on variation trend of runoff and sediment of the Yellow River basin and reasons discussion. Yellow River, 2014, 36(4): 1-5. (in Chinese)
- [10] 李敏, 穆兴民. 黄河河龙区间年输沙量对水土保持的响应机理研究[J]. 泥沙研究, 2016(3): 1-4.  
LI Min, MU Xingmin. Study on response mechanism of annual sediment transport to soil and water conservation in He-Long reach of the yellow river. Journal of Sediment Research, 2016(3): 1-4. (in Chinese)