

文章编号: 1000-0585(2002)02-0179-09

# 黄河中游流域环境要素对水沙变异的影响

陈 浩<sup>1</sup>, 周金星<sup>2</sup>, 陆中臣<sup>3</sup>, 陈金荣<sup>4</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国林业科学研究院林业科学研究所, 北京 100091;  
3. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; 4. 中国水利水电科学研究院泥沙所, 北京 100044)

**摘要:** 目前, 黄河中游地区流域的水沙变化主要以水文法和水保法研究为主。由于黄河中游具有明显的自然地带性分布特征, 流域系统的水沙过程受到环境要素的综合影响。本文根据黄河中游河口镇至龙门区间已控一级支流的测站资料, 采用地理环境要素法分析水沙变异及成因。研究表明, 河龙区间流域径流量和输沙量与地理环境因子的影响密切相关。20 世纪 70 年代以来, 降雨减水减沙作用不断减小, 随着水土保持措施的提高, 人类活动减水减沙所占比重不断增大。70 年代与 80 年代气候波动和人类活动影响的平均减水减沙作用分别为 53.4%、28.6% 和 46.6%、71.4%。

**关 键 词:** 黄河中游; 流域系统; 环境要素法; 水沙变异成因

**中图分类号:** P931.1; P333.5; TV152.4 **文献标识码:** A

近几十年来, 尤其是 80 年代以来, 黄河干支流水沙发生变异, 水沙来量显著减少, 在此情况下, 下游河道发生萎缩和断流及小水大灾的新情况, 为了认识这些新情况和新问题, 我国开展了大量的探讨气候和人类活动对水沙变异的影响, 以及水沙变化特征及其成因的研究<sup>[1, 2]</sup>。

以往的研究, 主要采用水文法和水保法估算不同发展阶段气候变化和人类活动对黄河干支流水沙变异的影响。由于黄河中游具有明显的自然地带性分布特征, 流域系统的水沙过程受到环境要素的综合影响。为了反应黄河中游粗沙来源区近几十年来水沙变化过程中自然和人类活动的综合影响及空间变化特征, 本文根据黄河中游河口镇至龙门区间已控一级支流的测站资料, 采用地理环境要素法分析水沙变异及成因。

## 1 研究方法

黄河中游河口镇至龙门区间 (以下简称河龙区间) 位于黄土高原半干旱和半湿润地区, 总面积约 11.16 万 km<sup>2</sup>。本区的自然环境特点是: 丘陵起伏、沟壑纵横, 降水从西北向东南逐渐增大, 降雨主要集中在夏季, 并常以暴雨的方式为主, 水土流失严重。

河龙区间两岸有 27 条支流汇入, 其中, 有水文站控制的支流 23 条, 面积约 8.84 万

收稿日期: 2001-11-06; 修订日期: 2002-01-18

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目 (G1999043604); 地理所知识创新工程领域前沿项目 (CX10G-A09-05-02); 国家自然科学基金委和水利部联合资助重大基金 (59890200)

作者简介: 陈浩 (1954), 男, 山东鄄城人, 副研究员。主要从事土壤侵蚀、流水地貌的研究。出版专 (编) 著三部, 发表论文 70 多篇。

km<sup>2</sup>。由于本区 20 世纪 60 年代以前水土保持治理程度较低, 接近于自然情况, 将建站至 60 年代作为标准期。70 年代以后年均降雨量逐年减少, 水土保持治理程度逐年提高。为了揭示气候变化与人类活动在流域水沙变异中的作用, 采用地理环境要素综合分析法研究 70、80 年代、90~93 年降雨量和流域下垫面发生改变时的水沙变异特征及成因。所谓地理环境要素法是指: 根据不同时段流域自然地理环境要素(降水、植被、地表物质组成、地形地貌等)发生变化时, 将地理环境要素与同期流域水沙变异特征及成因相关联分析的研究方法。

黄河中游河口镇至龙门区间标准期(建站~60 年代)、非标准期自然条件及水沙变异模型, 具有以下特点: (1) 在空间上, 以黄河中游 23 个已控一级支流测站所控制的流域为单元, 其中, 黄河干流左岸有 8 条, 右岸有 15 条; (2) 在时间上, 降雨量、水沙量为相应时段多年平均值; (3) 模型的时间尺度为年。

## 2 影响水沙变异特征的因素分析

### 2.1 降雨量及自然植被分布与流域产流产沙的关系

在自然条件下, 降雨量的大小与下垫面的植被类型、覆盖度有着密切的关系, 反应了气候变化及与之相适应的植被结构和生长状况。黄河中游河口镇至龙门区间 23 个一级支流位于半湿润和半干旱地区, 朱志辉等人根据生态学、气候学等方法估算了黄土高原地区自然植被净初级生产力指标 Dnn, 利用 Dnn 的大小作为黄土高原各县自然植被的空间分布状况的分析指标。所谓净初级生产力是指从总初级生产力中扣除呼吸消耗后的剩余部分, 而总初级生产力是指生产者生物(主要指绿色植物)在单位时间和单位面积上通过光合作用所转化的有机质重量(包括地上和地下部分)<sup>①</sup>。其结果显示, 黄土高原 Dnn 的空间分布与自然地带性具有较明显的一致性<sup>[3]</sup>。根据参考文献 3 划定的黄河中游河龙区间地带性界线, 以一级支流出口站为准, 黄河干流右岸为延长以南、左岸以大宁以南为半湿润区; 以北为半干旱区。在 23 个一级支流中半湿润区占 6 条; 半干旱区占 17 条。

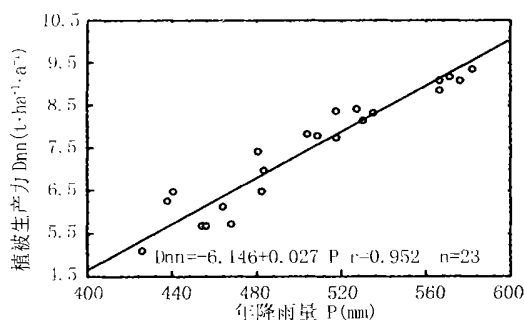


图 1 年降雨量(P)与自然植被生产力(Dnn)的关系  
Fig. 1 Relation between annual rainfall (P) and naturally vegetation productivity (Dnn)

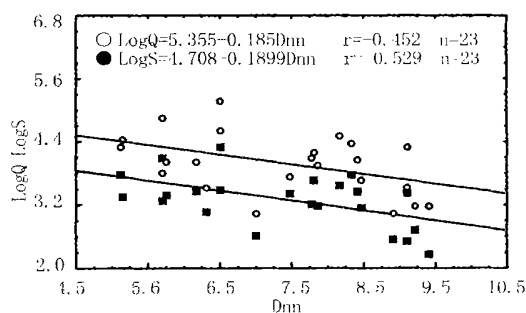


图 2 自然植被生产力 Dnn 与流域径流量(Q)和输沙量(S)的关系  
Fig. 2 Relation among naturally vegetation productivity (Dnn) with runoff load (Q) and sediment yield load (S)

根据实测资料, 黄河中游河龙区间 23 个一级支流流域在标准期(建站至 60 年代)年

① 朱志辉等. 黄土高原自然植被分布的模式研究, 1990 (未刊稿)

降雨量 (P) 与流域自然植物生产力指标 (Dnn) 呈密切的线性正相关 (图 1)。

关于降雨与产沙的关系, 据顾弼生的研究, 黄土高原不同地貌类型区降雨量与产沙呈向上凸的不对称 S 型的曲线关系<sup>[4]</sup>。这一结果与 Langbein 等人在美国半干旱地区的研究结果相近似, 可用侵蚀能量和植物密度的相互作用来解释<sup>[5]</sup>。

由图 2 可以看出, 河龙区间流域年均径流量、年均输沙量与自然植被生产力呈明显下降的趋势, 侵蚀产沙强度随着降雨量及植被密度的增大而减小, 反应了地带性植被特征对地表降雨径流消能的作用。

2.2 年降雨量及地质地貌特征与流域产流产沙的关系

黄河干流从河口镇到龙门全长 725km, 区间流域面积 111586km<sup>2</sup>。从宏观上看, 流域内地表物质组成主要分成三类: 黄土、风沙土、基岩。黄土覆盖区约占河龙区间总面积的 62%; 风沙区约占 24%, 基岩出露区约占 14%<sup>[2]</sup>。其中黄土丘陵沟壑区和砒沙岩出露区是单位面积上侵蚀强度最大的地区。

黄河中游地区风成黄土的中值粒径随西北风从西北向东南呈现越来越细的分带特征。根据熊贵枢对黄河中游河龙区间已控流域泥沙中值粒径 D<sub>50</sub>与年降雨量 P 资料的分析<sup>①</sup>, 实测的 11 个一级支流测控站 D<sub>50</sub>与降雨量 P 的关系达到密切相关水平, 在此基础上, 缺测流域由修正的等值线图插补得到, 可以看出二者关系呈较明显的负半对数线性关系 (图 3)。在降雨量大的半湿润地区, 由于地表植被较好, 土壤有机质较高, 细颗粒物成分多。反之, 在降雨量较小的半干旱地区, 除受水蚀的影响外, 还遭受风蚀的作用; 地表植被较差, 土壤有机质较低, 粗颗粒物成分多。因此, 在河龙区间年降雨量较小、植被较差、地表物质组成较粗的半干旱地区与半湿润地区相比, 流域产流产沙能力较强 (图 4)。

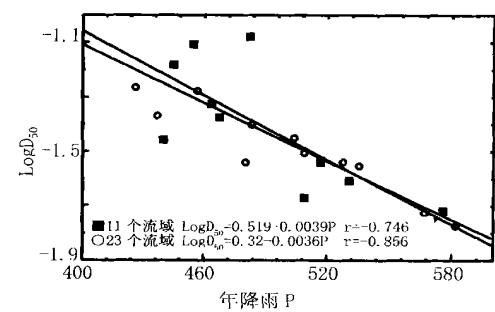


图 3 年降雨量(P) 与泥沙中值粒径(D<sub>50</sub>)的关系  
Fig. 3 Relation between annual rainfall (P) with middle value of grian diameter(D<sub>50</sub>)

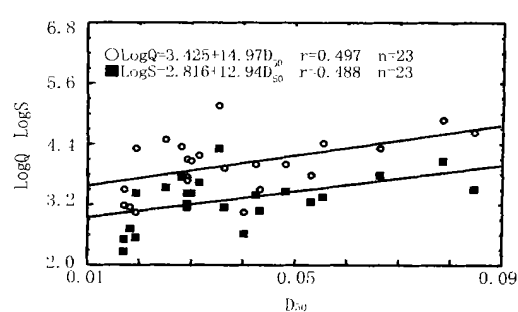


图 4 D<sub>50</sub>与流域年径流量(Q)和年输沙量(S)的关系  
Fig. 4 Relation among middle value of grian diameter (D<sub>50</sub>) with annual rainfall (P) and sediment yield bad (S)

河流输沙量是流域系统 (从坡面至各级沟道) 降雨径流分离、搬运、沉积综合作用的结果, 体现了整个流域系统侵蚀、输移和沉积的主要功能方面起着不同的作用。一般上游 (坡面、现代发育沟道) 是以侵蚀为主, 下游河道以输移和沉积为主。流域内沟谷密度

① 清华大学水电工程. 拦减粗泥沙对黄河河道冲淤变化影响. 1995.

(在大比例尺图上)、河道密度 (在小比例尺图上) 反应了不同时间尺度上地表切割程度的变化。黄河中游的一级支流在 200 万年前就已形成。龚时 等人根据黄土高原大规模开展水土保持之前 (60 年代) 实测资料的分析结果, 认为在黄土丘陵沟壑区不论大中小流域多年平均泥沙输移比约等于 1。支流河道在年际内有冲淤变化, 而从长时段来看则基本是冲淤平衡的, 所以, 黄河中游的各级支流都是输送泥沙的通道。我们根据 60 年代出版的 1: 100 万地形图, 量计得到黄河中游 23 个一级支流流域的河道密度 ( $G_m, km/km^2$ ), 量计的河道长度下限为 5km, 相当于 3~ 4 级支流 (支沟) 级别以上的河道。据陈永宗的研究, 黄土丘陵沟壑区河沟 (支沟) 发育年代约在 25 万年以前。由于比例尺的限制, 现代侵蚀沟 (切沟、发育中的冲沟) 在图上得不到反应。本文资料显示, 流域河道密度随年降雨量的增大有明显增大的趋势。

2.3 流域面积与径流量和输沙量的关系

由于流域面积直接代表了一个自然地理环境区间内某个河流汇水面积在平面上的分布范围, 实际涵盖了一个流域在特定自然地理环境区间内所处的空间位置和地理环境要素及地貌特征的综合情况, 因此, 流域面积不仅代表了许多水文因素, 而且其本身又密切地与其它形态参数有关。所以, 在国际上常被作为研究不同尺度流域产沙、泥沙输移模型的重要参数。从图 5 可以看出, 黄河中游地区流域面积与河流年均径流量 (Q) 和年均输沙量 (S) 呈十分密切的幂函数关系。这表明从长时段上看, 尽管在黄河中游粗沙多沙地区单位面积上侵蚀强度最大地区是北部的皇甫川、窟野河等砒沙岩出露区, 但由于黄土丘陵沟壑区占有比较大的区域空间及相当大的侵蚀强度, 因此, 在黄河中游河龙区间汇水面积越大流域的产流产沙的总量越大。如图 6、图 7 所示,

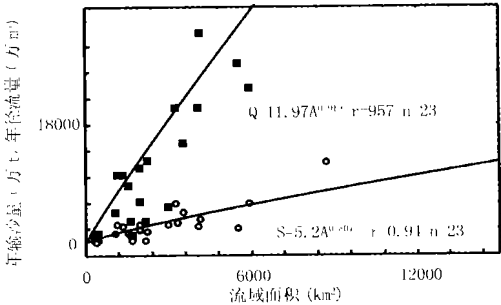


图 5 年输沙量 (S) 和年均径流量 (Q) 与流域面积 (A) 的关系

Fig. 5 Relation among basin area (A) with annual runoff load (Q) and sediment yield load (S)

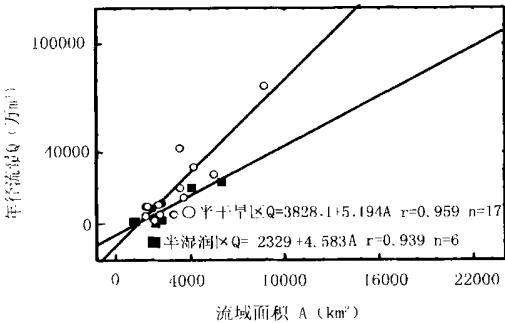


图 6 地带性年径流量(Q)与流域面积(A)的关系  
Fig. 6 Relation between natural zonality annual runoff load (Q) and drainage area(A)

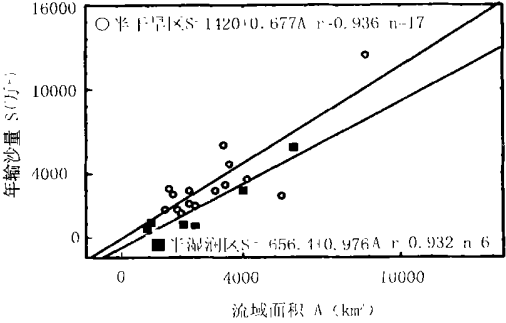


图 7 地带性年输沙量(S)与流域面积(A)的关系  
Fig. 7 Relation between natural zonality annual sediment yield load(S) and basin area (A)

虽然半干旱区的降雨量要小于半湿润区，但当流域面积相同时，半干旱区的径流量、输沙量却大于半湿润区，可见地表植被状况在流域产流产沙及蓄水保土中的作用。

2.4 地理环境要素对流域产流产沙及水沙变异的综合影响

以往有关黄土高原地理环境要素对流域产沙综合影响的定量研究主要限于中小流域尺度<sup>[6]</sup>，而且缺乏地理环境要素对径流量影响的研究内容。

我们将流域年降雨量 (P, mm)、植被生产力 (Dnn)、河道密度 (Gm, km/km<sup>2</sup>)、泥沙中值粒径 (D<sub>50</sub>, mm) 和流域面积 (A, km<sup>2</sup>) 作为影响流域径流量 (Q, 万 m<sup>3</sup>)、输沙量 (S, 万 t) 变化的地理环境特征指标，根据回归分析得到河龙区间标准期地理环境要素对流域产流产沙影响的回归方程。

由熊贵枢等人仅 11 个一级支流悬移质泥沙中值粒径的实测资料得到的回归方程:

$$Q = -66486 + 3364D_{nn} - 11210G_m + 596084D_{50} + 5.199A + 55.56P$$
$$S = 3947 - 674.1D_{nn} + 5395G_m + 26749D_{50} + 0.665A + 0.249P$$

$r = 0.99$  $r = 0.97$

$n = 11$  $n = 11$

(1)

将 D<sub>50</sub>缺测的流域由修正的等值线图插补，可以得到黄河中游 23 个一级支流流域环境要素与流域产流产沙的回归方程:

$$Q = -95063 + 2021D_{nn} - 11205G_m + 682495D_{50} + 5.388A + 117.3P$$
$$S = -5133 - 234D_{nn} + 2718G_m + 59398D_{50} + 0.719A + 9.166P$$

$r = 0.989$  $r = 0.955$

$n = 23$  $n = 23$

(2)

复相关系数表明，流域综合环境要素与产流产沙关系是密切相关的。

模型 (2) 的建立，不仅反应了在标准期流域水沙特征与地理环境要素间的变化关系，同时有助于河龙区间未控区间流域产流产沙量的预报。

3 流域环境要素与水沙变异特征

70 年代以来，由于黄河中游多沙粗沙区气候日趋干旱，治理水平不断提高以及水库拦沙、灌溉引沙等人类活动原因，致使年均径流量和年均输沙量呈减少趋势<sup>[7~9]</sup>。根据实测资料经过回归分析可以得到不同年代黄河中游流域一级支流流域系统在气候和人类活动影响下环境要素与产流产沙回归方程:

70 年代:

$$Q_n = -62550 + 895P_z + 15842G_m + 687167d_{50} + 4.41A + 61.9P$$
$$S_n = 0.0016P_z^{-6.93}G_m^{2.12}d_{50}^{-0.348}A^{1.295}P^{3.143}$$

$r = 0.957$  $r = 0.916$

80 年代:

$$Q_n = -46021 - 1393.7P_z + 8896G_m + 438684d_{50} + 3.58A + 84.6P$$
$$S_n = -9762 - 1222.4P_z + 1189G_m + 69330d_{50} + 196185A + 35.4P$$

$r = 0.983$  $r = 0.902$

(3)

90-93 年:

$$Q_n = 25487 + 474.4P_z + 4674.3G_m + 254800d_{50} + 3.1A - 102110K$$
$$S_n = 23746 - 1163.4P_z + 11476G_m - 137176d_{50} + 0.173A - 45046K$$

$r = 0.971$  $r = 0.972$

式中:  $P_z$ — 不同年代降雨量变化下自然植被生产力 ( $D_{nn}, t \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$ );  $P_z = \alpha \times D_{nn}$ ;  $\alpha$ — 雨量变异系数, 非标准期雨量/标准期雨量;  $K$ — (年降雨量— 汛期降雨量)/年降雨量;  $d_{50}$ — 不同年代实测中值粒径, 缺测的流域由修正的等值线图插补得到;  $Q_n$ 、 $S_n$  为非标准期年径流量和年输沙量; 其它符号同前。

由各年代在降雨和人类活动共同影响下, 与标准期相比, 70 年代、80 年代、90~ 93 年间, 平均年降雨量、年径流量和年输沙量均有所减少 (表 1)。

表 1 黄河中游河龙区间不同年代流域降雨、径流、水沙变化特征值  
Tab 1 The rainfall and runoff with sediment change eigenvalue of the differ year in Hekouzhen and Longmen area of the middle reaches of the Yellow River

年代	年降雨量 (mm)	年径流量 (万 m <sup>3</sup> )	年输沙量 (万 t)
建站— 1969	501. 1	21613. 8	3620. 0
1970— 1979	454. 9	17508. 8	2657. 26
1980— 1989	440. 1	13395. 5	1326. 3
1990— 1993	437. 3	20035. 8	2317. 8

4 水沙变异原因分析

在自然的条件下, 现代水文测验观测期的时间尺度与地质时期以来宏观地貌演化过程相比是十分短暂的, 而且当地形图比例尺较小时, 坡面及沟道小流域所发生的局部变化在图上反应不出来。因此, 在较大的流域空间内, 在选定的地理环境要素中 (式 1~ 2), 当不同时期降雨量发生改变时, 主要影响地表植被和地表物质组成的变化, 流域面积、河道密度可视为常量。水沙变异原因分析的关键是确定在自然条件下当降雨量发生改变时, 流域环境要素的相应变化及相应降雨期自然条件下的水沙变化的特征值。某个非标准时期的降雨及相应自然条件下水沙变异特征值确定之后, 与非标准期实测水沙量之差就是人类活动的影响量。由于植被、地表物质粒度组成是典型自然地带性因子, 与降雨量的变化密切相关。当降雨量减少时, 植被变小、 $D_{nn}$  值与土壤有机质含量减小,  $d_{50}$  增大; 降雨量增加时, 情况相反。与标准期相比, 70、80 年代、90~ 93 年年雨量变化时的自然植被生产力  $P_z$ 、泥沙中值粒径  $d_{50}$  值的变化, 可由标准期的  $D_{nn}$  和  $D_{50}$  乘以降雨变化系数 ( $\alpha$ 、 $\beta$ ) 得到 (见式 5)。由图 8 可以看出, 黄河中游河龙区间各年代年降雨量  $P$  与降雨发生变化时的自然植被生产力  $P_z (\alpha \times D_{nn})$  和  $d_{50} (\beta D_{50})$  密切相关。

当不同时期年降雨量和与之相对应的流域环境要素确定之后, 黄河中游河龙区间非标准期自然条件下流域产流产沙量由下式得到:

$$\left. \begin{aligned} Q_z &= Q (1+ a_1) \\ S_z &= S (1+ a_2) \end{aligned} \right\} (4)$$

式中:  $Q_z$ 、 $S_z$  分别为非标准期自然条件下流域年径流量和年输沙量;  $Q$ 、 $S$  分别为非标准期流域年径流量和年输沙量;  $a_1$ 、 $a_2$  为非标准期自然条件下水沙转换系数, 由水文法

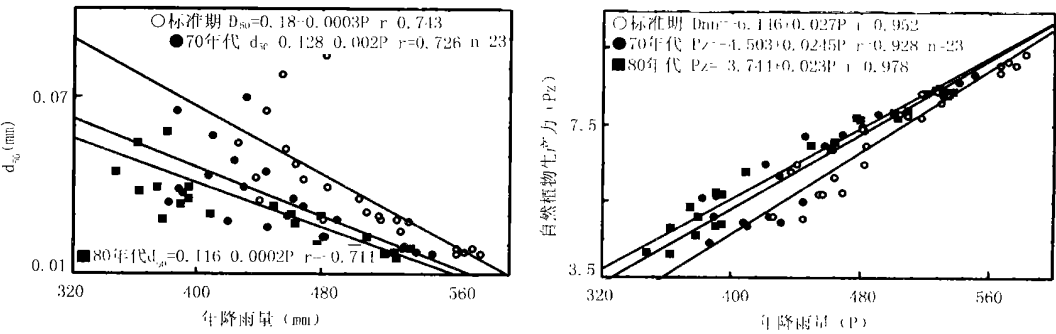


图 8 不同年代年降雨量  $P$  与  $P_z$ 、 $d_{50}$  的关系

Fig. 8 Relation among annual rainfall  $P$  with  $P_z$  and  $d_{50}$

得到的各年代流域人类活动水沙增减量 (%)。<sup>①②</sup>

式 (4) 的含义是指, 非标准期的流域产流产沙量是气候和人类活动综合作用的结果, 将各年代实测水沙量加上由于人类活动影响的水沙还原量, 就可得到非标准期某个年代年降雨量变化时的自然条件下水沙特征值。

经回归分析可得到 70、80 年代当年降雨量发生变化时, 自然条件下流域环境与水沙变异回归方程。

70 年代:

$$\left. \begin{aligned} Q_z &= -90878 + 8075\alpha D_{nn} - 7952G_m + 894242\beta D_{50} + 4.93A + 7.64P \quad r = 0.974 \\ \text{Log}S_z &= 12.88 + 1.439\text{Log}\alpha D_{nn} + 0.36\text{Log}G_m + 0.056\text{Log}\beta D_{50} \\ &\quad + 0.75\text{Log}A - 0.509\text{Log}P \quad r = 0.922 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

80 年代:

$$\left. \begin{aligned} Q_z &= -81059 + 1946\alpha D_{nn} + 1578G_m + 564806\beta D_{50} + 4.558A \\ &\quad + 95.08P \quad r = 0.986 \\ \text{Log}S_z &= -6.54 - 1.896\text{Log}\alpha D_{nn} + 0.718\text{Log}G_m + 0.889\text{Log}\beta D_{50} \\ &\quad + 0.947\text{Log}A + 3.587\text{Log}P \quad r = 0.888 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

式中:  $\beta$ —标准期年降雨量/非标准期年降雨量; 其它符号同前。

在非标准期自然条件下的流域环境要素与水沙关系确定之后, 水沙变异的原因可由下式得到:

$$\left. \begin{aligned} W_Q &= Q - Q_n \\ W_S &= S - S_n \\ \Delta Q &= Q_z - Q_n \\ \Delta S &= S_z - S_n \end{aligned} \right\} \quad (7)$$
$$\left. \begin{aligned} \Delta Q &= Q_z - Q_n \\ \Delta S &= S_z - S_n \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

式中:  $\Delta Q$ 、 $\Delta S$  分别为人类活动影响年径流量和年输沙量;  $W$ 、 $W_s$  分别为计算的降

① 黄河水沙变化研究基金会. 黄河河口镇至龙门区间水沙变化汇总报告. 黄河水沙变化研究论文集 (第一卷), 1993: 151~248.  
② 董雪娜, 熊贵枢. 黄河中游河口镇至龙门区间降雨、径流、泥沙变化分析. 黄河水沙变化研究论文集 (第二卷), 1993: 395~413.

雨和人类活动综合影响的年径流量和年输沙量，标准期与非标准期模型计算水沙之差； $\Delta Q/W_Q$ 、 $\Delta S/W_s$  为人类活动影响水沙占减少总量%； $(W_Q - \Delta Q)/W_Q$ 、 $(W_s - \Delta S)/W_s$  为降雨影响年径流量（%）和年输沙量（%）。

将不同时期年降雨量发生变化时，对应的黄河中游河龙区间 23 个一级支流流域环境要素及水沙变异特征值代入上述有关各式，得到与标准期相比（建站~ 60 年代）70、80 年代气候与人类活动影响的水沙变异成因（表 2）。

表 2 非标准期降雨变化和人类活动对河龙区间流域水沙变化的影响

Tab 2 Rainfall change and human activity of nonstandard to time influenced runoff and sediment change in Hekouzhen and Longmen area

年代	年经流量	年输沙量	降雨影响				人类活动影响			
	$W_Q$	$W_s$	$\Delta Q$	%	$\Delta S$	%	$\Delta Q$	%	$\Delta S$	%
70 年代	4105. 04	1248. 7	2807. 1	68. 38	642. 2	51. 43	1297. 9	31. 62	606. 5	48. 57
80 年代	8218. 32	2293. 4	3151. 2	38. 34	109. 7	4. 78	5067. 1	61. 66	2184. 2	95. 22

如表 2 所示，70 年代后，降雨对减水减沙作用不断减小，随着水土保持措施的提高，人类活动影响减水减沙所占比重不断增大。可以看出，70 年代治理程度不高，水沙减少主要受降雨减少的影响，80 年代黄土高原水库坝系工程治理措施减水减沙明显，人类活动影响在流域减水减沙中起主要作用，减水减沙分别达到 61. 66% 和 95. 22%。70 年代与 80 年代气候波动和人类活动影响的平均减水减沙作用分别为 53. 4%、28. 1% 和 46. 6%、71. 9%。

5 结论

- (1) 黄河中游河龙区间流域径流量和输沙量与地理环境因子密切相关;
- (2) 水沙变异是自然环境要素和人类活动综合作用的结果，70 年代治理程度不高，水沙减少主要受降雨减少的影响，80 年代黄土高原水库坝系工程治理措施减水减沙明显，人类活动影响在流域减水减沙中起主要作用；
- (3) 利用流域环境要素法定量分析水沙变异成因，70 年代与 80 年代气候波动和人类活动影响的平均减水减沙作用分别为 53. 4%、28. 1% 和 46. 6%、71. 9%。

参考文献:

[ 1 ] 尹国康. 黄河中游多沙粗沙区水沙变化原因分析. 地理学报, 1998, ( 2 ): 174~ 183.

[ 2 ] 张胜利, 等. 黄河中游多沙粗沙区水沙变化原因及发展趋势. 郑州: 黄河水利出版社, 1998.

[ 3 ] 1: 500000 黄土高原地区资料与环境遥感调查系列图编委会. 黄土高原地区资料与环境遥感调查数据集. 1991. 8 ~ 9

[ 4 ] 顾弼生. 关于黄土高原植树造林的认识. 黄河水资源研究所, 1990.

[ 5 ] Langbein W B, Schumm S A. Yield of sediment in relation to mean annual precipitation. Trans. Amer. Geophys. Union. 1958.

[ 6 ] 尹国康. 流域地貌系统. 南京: 南京大学出版社, 1991. 117~ 128.

[ 7 ] 陈浩, 蔡强国, 等. 黄土丘陵沟壑区人类活动对流域系统侵蚀、输移和沉积的影响. 地理研究, 2001, 20( 1 ): 68~ 75.

[ 8 ] 刘苏峡, 等. 黄河流域水循环研究的进展和展望. 地理研究, 2001, 20( 3 ): 257~ 265.

[ 9 ] 吴凯, 等. 黄河下游河川径流的变化趋势与对策. 地理研究, 2000, 19( 4 ): 377~ 382.



# Impact of environmental factors on runoff and sediment variations in middle reaches of the Yellow River

CHEN Hao<sup>1</sup>, ZHOU Jia-xing<sup>2</sup>, LU Zhong-chen<sup>3</sup>, CHEN Jia-rong<sup>4</sup>

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry Science, Beijing 100093, China;

3. Ecological Research Center, CAS, Beijing 100085, China;

4. China Institute of water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China)

**Abstract:** In the last decades, especially since the 1980s, variations in runoff and sediment yield have occurred to the trunk stream and the tributaries of the Yellow River. As a consequence of drastic decline of runoff volume and sediment load, downstream channel shrinkage and dried-up as well as disasters induced by a minor flooding event happened. In order to understand these new problems and new situations, a great deal of research work and investigations on impacts of climate and human activities on variations of runoff and sediment yield as well as variation characteristics and causes of changes were carried out in China. At present, runoff and sediment change investigations are mainly focused on studies of hydrologic method and water conservation method in the middle reaches of the Yellow River. Since the middle reaches of the river have distinct natural zonal distribution characteristics, both runoff and sediment processes in the drainage system are synthetically affected by environmental factors. Based on observational data of the controlled primary tributary from Hekou to Longmen at midstream section, this paper analyses the variations and causes of runoff and sediment load by using method of geographic environmental factors.

The results indicate that runoff volume and sediment load in the Hekouzhongmen section of the drainage basin are closely related to the impact of geographic environmental factors. Runoff and sediment variations are a product of synthetic action of natural environmental factors and human activities. In the 1970s, runoff and sediment reduction is mainly affected by decrease of precipitation as control and management practices then are inadequate. In the 1980s, impact of human activities plays a leading role in reducing runoff and sediment load in the basin as control measures of reservoir and dam projects are effective in reducing water and silt load on the Loess Plateau. Since the 1970s, precipitation has played a less role in reducing runoff and sediment but human activities played an increasing role as a result of improvement in soil and water conservation measures. The average water and silt reduction impacted by climate fluctuation and human activities in the 1970s and 1980s is respectively 53.4%, 28.6% and 46.6% and 71.4%.

**Key words:** middle reaches of Yellow River; drainage system; environmental factor method; causes for runoff and sediment variation