

黄河中游多沙粗沙区水沙变化原因分析*

尹国康

(南京大学城市与资源学系, 南京 210093)

提 要 本文通过黄河中游多沙粗沙区 21 条面积逾 1 000 km² 的独流入黄支流的实测资料, 分别建立了精度较高的降水、径流、输沙统计模型, 并对水沙变化数量进行了计算分析, 揭示了气候波动和人为原因对水沙变化影响的相对权重。

关键词 黄河 径流 产沙 暴雨

黄河中游河口镇至龙门区间及泾河、北洛河上游地区 (图 1), 总面积 129 519 km², 其中多沙粗沙区约 10⁵ km²。1969 年前, 全区平均年径流量 76×10^8 m³, 平均年输沙量 12.9×10^8 t, 是黄河中游粗颗粒泥沙的主要来源区^①。

本区自然环境的特点是: 地质地貌条件复杂多样, 降水少而集中, 水土流失严重。

1 流域水沙统计模型的比较与遴选

为了区分降水变化与人类活动对水沙变化影响的相对权重, 这里所考虑的水沙统计模型, 具有以下特点: ①在空间上, 以测站所控制的流域为单元; ②在时间上, 地面特性的变化拟分为三个阶段: 1969 年前的地面, 代表自然状态, 拟作为对比研究的基准; 1970 年~1979 年的地面, 代表水土保持措施加以修饰的地面; 1980 年以来代表治理水平较高的地面; ③模型所考虑的变量是动力条件、降水及其过程与水沙的关系; ④模型的时间尺度为年。

1.1 年产流量统计模型

年产流统计模型有多种形式, 这里仅对其中的五类作较系统的分析比较。

(1) 年径流量 W_a (10⁴ m³) 与年降水量 P_a (mm) 之间的关系为 $W_a = aP_a^b$ 。这类关系虽简单直观, 但其精度不尽人意。鉴于年径流量不仅与年降水量有关, 而且与年降水过程有很大关系, 因此, 以下产流模型, 拟考虑年降水量和年内特征降水量及其产流量的相对权重, 建立降水对产流的有效指标, 然后将其与年径流量建立关系。由于降水有效指标结构形式的多样性, 统计模型有多种形式, 以下是其中的四种。

* 国家自然科学基金资助项目, 4961006 (Supported by National Natural Science Foundation of China)。

① “八五”国家重点科技攻关项目 (85-926-03-01) 多沙粗沙区水沙变化原因分析及发展趋势预测。黄委员水科院, 1995。

来稿日期: 1996-03; 收到修改稿日期: 1996-12。

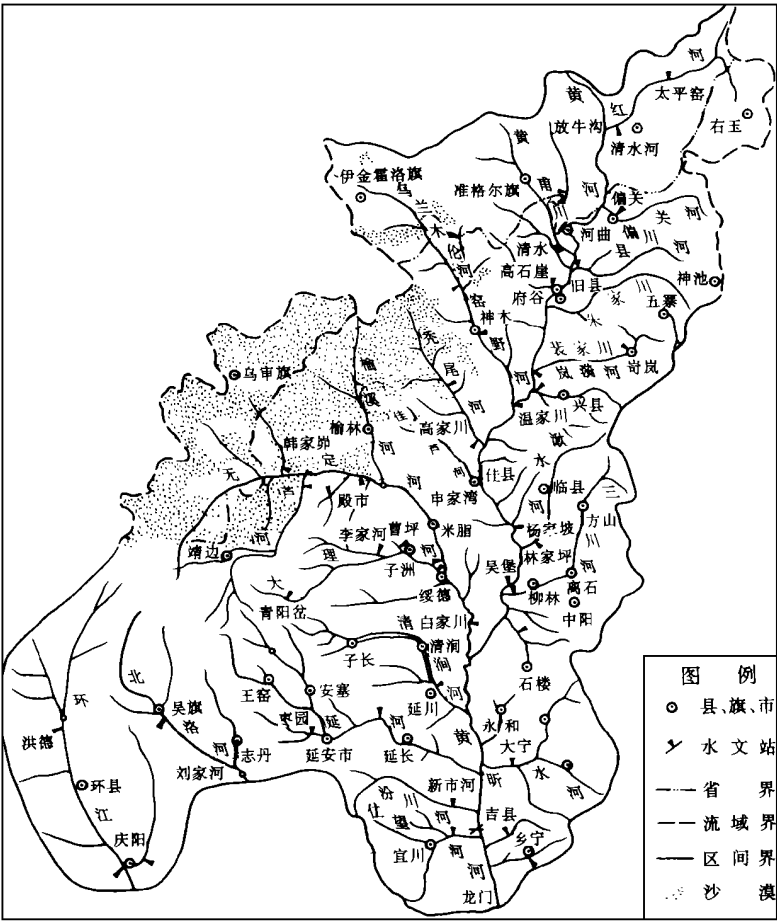


图 1 黄河中游多沙粗沙区区位图

Fig.1 Location map of sandy and coarse sediments yielding areds

(2) W_a 与年降水指标 P_{a1} 之间的关系为 $W_a = aP_{a1}^b$ 。其中, $P_{a1} = \alpha_1 \cdot P_1 / \bar{P}_1 + [\alpha_n (P_{30} - P_1) / (P_{30} - \bar{P}_1)] + [\alpha (P_f - P_{30}) / (P_f - \bar{P}_{30})] + [\alpha_n (P_a - P_f) / (P_a - \bar{P}_f)]$

式中 α 为年内各级径流权重的多年均值, $\alpha_1 = W_1 / W_a$, $\alpha_n = (W_{30} - W_1) / W_a$, $\alpha = (W_f - W_{30}) / W_a$, $\alpha_n = 1 - W_f / W_a$ 。

其中, P_1 、 P_{30} 、 P_f 、 P_a 分别为最大 1 日、最大 30 日、汛期 (6 月~9 月) 和年降水量; \bar{P}_1 、 \bar{P}_{30} 、 \bar{P}_f 、 \bar{P}_a 为相应历时降水量之多年均值; W_1 、 W_{30} 、 W_f 、 W_a 分别为最大 1 日、最大 30 日、汛期 (6 月~9 月) 和年径流量的多年均值。

(3) W_a 与年降水指标 P_{a2} 之间的关系为 $W_a = \alpha P_{a2}^b$ 。其中, $P_{a2} = \alpha_n (P_{30}^a / \bar{P}_{30}) + [\alpha (P_f - P_{30})^b / (\bar{P}_f - \bar{P}_{30})] + \alpha P_a$ 。式中 a 、 b 分别为 $W_{30} = \zeta \cdot P_{30}^a$ 及 $(W_f - W_{30}) = \eta \cdot (P_f - P_{30})^b$ 关系中的 a 、 b 值, $\alpha_n = W_{30} / W_a$, 其它符号含意同上。

(4) W_a 与年降水指标 P_{a3} 之间的关系为 $W_a = \alpha P_{a3}^b$ 。其中, $P_{a3} = \alpha_n (P_{30} / \bar{P}_{30})^a + \alpha [(P_f - P_{30}) / (\bar{P}_f - \bar{P}_{30})]^b + \alpha P_a$, 符号含意同上。

(5) W_a 与年降水指标 P_{a4} 之间的关系为 $W_a = \alpha P_{a4}^b$ 。其中, $P_{a4} = \alpha_n P_{30}^a + \alpha (P_f - P_{30})^b$ 。

+ αP_a , 符号同上。

根据研究区 21 条独流入黄支流 1969 年前实测资料对以上五种关系分析结果, 按相关系数高值择优, 得到 $W_a = \alpha P_{a4}^\beta$ 关系作为偏关河、皇甫川、孤山川、岚漪河、蔚汾河、秃尾河、湫水河、朱家川、三川河、无定河、清涧河、延河年径流变化的计算依据; 优先 $W_a = \alpha \cdot P_{a3}^\beta$ 关系作为佳芦河年径流变化计算依据; 优选 $W_a = \alpha \cdot P_{a2}^\beta$ 作为窟野河年径流变化计算依据; 优选 $W_a = \alpha \cdot P_a^\beta$ 关系作为昕水河、屈产河、北洛河、马连河西川年径流变化依据。尚有汾川河、仕望河及红河, 因缺少特征雨情资料, 无优选余地, 拟按 $W_a = \alpha \cdot P_a^\beta$ 关系, 对其作年径流变化计算。

1.2 年产沙量统计模型

根据五种类型有效降水指标结构, 建立相应的降水-产沙统计模型, 以作为遴选的样本。

(1) 年输沙量 S_a 与年降水量 P_a 之间的关系为 $S_a = c \cdot P_a^d$ 。分析结果, 在 30 条支流中, 其相关系数在 0.8 以上的有 14 条, 占 46.7%, 低于 0.6 的 4 条, 占 13.3%。以下几类, 拟考虑特征降水量及其相应的产沙权重, 作为有效降水指标, 与年输沙量建立关系。

(2) S_a 与年降水有效指标 P_{a5} 关系为 $S_a = c \cdot P_{a5}^d$ 。其中 $P_{a5} = P_1 + (P_{30}/30) + (P_f/122) + P_a$, 符号同前。由于这类关系引入雨强概念, 其相关系数较上一类略有提高。

(3) S_a 与年降水有效指标 P_{a6} 的关系为 $S_a = c \cdot P_{a6}^d$ 。其中 $P_{a6} = \beta_1 \cdot P_1 + (\beta_m - \beta_1) (P_{30} - P_1) + (\beta_f - \beta_m) (P_f - P_{30}) + (1 - \beta_f) (P_a - P_f)$ 。式中 S_1 、 S_{30} 、 S_f 为年内最大 1 日、最大 30 日及汛期 (6 月~9 月) 输沙量, β_1 、 β_m 、 β_f 分别为相应历时输沙量占年输沙量的平均权重。 $\beta_1 = [\sum (S_{1i}/S_{ai})] / n$, $\beta_m = [\sum (S_{30i}/S_{ai})] / n$, $\beta_f = [\sum (S_{fi}/S_{ai})] / n$ 。利用该类关系统计分析结果表明, 在 21 条支流中, 其相关系数 0.8 的达 16 条, 占总数的 76.2%。

(4) S_a 与降水有效指标 P_{a7} 的关系为 $S_a = c \cdot P_{a7}^d$ 。其中 $P_{a7} = Y_1 P_1 + Y_m (P_{30} - P_1) + Y_f (P_f - P_{30}) + Y_n \cdot (P_a - P_f)$ 。式中 $Y_1 = \beta_1 / P_1$, $Y_m = (\beta_m - \beta_1) / (P_{30} - P_1)$, $Y_f = (\beta_f - \beta_m) / (P_f - P_{30})$, $Y_n = (1 - \beta_f) / (P_a - P_f)$ 。其中符号 β_1 、 β_m 、 β_f 与上面相同, 但采用百分值。其余符号含意与前面相同。

P_{a7} 既反映了年内不同强度降水所产泥沙的权重, 又考虑了年际之间不同历时降水的波动情况, 因此, 统计分析结果表明, $S_a \sim S_{a7}$ 之间的相关系数, 除了延水河等少数支流以外, 均有明显的提高。

(5) S_a 与降水有效指标 P_{a8} 的关系为 $S_a = c \cdot P_{a8}^d$ 。其中 $P_{a8} = \beta_f (P_f / \bar{P}_f) + (1 - \beta_f) (P_a - P_f) / (P_a - \bar{P}_f)$, 符号含意同上。

与上述产流模型分析类似, 据研究区 21 条支流 1969 年前实测资料, 对以上五种关系进行分析, 按相关系数高值择优, 得到 $S_a = c \cdot P_{a8}^d$ 拟作为无定河、朱家川年产沙量变化的计算依据; 优选 $S_a = c \cdot P_{a7}^d$ 拟作为偏关河、皇甫川、孤山川、蔚汾河、窟野河、佳芦河、湫水河、三川河、屈产河、清涧河、昕水河的年产沙量变化的计算依据; 优选 $S_a = c \cdot P_{a6}^d$ 拟作为北洛河 (刘家河站)、岚漪河、秃尾河、延水河、马连河西川的年产沙量变化计算依据; 鉴于缺乏红河、汾川河及仕望河的特征雨情资料, 无优选余地, 拟按 $S_a = c \cdot P_a^d$ 关系, 对其作年产沙量变化计算。

2 流域水沙统计模型计算值与实测值的比较

以上遴选出来的降水与流域产水产沙关系,系根据 1969 年前实测数据建立起来的统计关系,反映了人类活动影响较小、接近自然状态下垫面条件下的一种关系,下面仍将上述 21 条主要入黄支流 1969 年前降水资料,按这些关系对年产水产沙量进行计算,所得结果与实测水量和沙量进行比较,以了解计算值的精度。

从表 1 中的数据可以看出,平均年径流量计算值 W_{ac} 与实测值 W_{ao} 之间偏离不大,各支流平均波动值 $(\sum [(W_{ao}-W_{ac})/W_{ac}]/N)$ 一般在 2%~4% (N 为统计年数)。如皇甫川,其平均波动值为 2.4%,21 条支流的总平均波动值仅 1.4%,说明遴选出来的降水-径流关系较好,作为产流计算的依据,是有一定精度的。至于各支流年输沙量计算值 S_{ac} 与实测值 S_{ao} 的离差,其值固然较年径流量的相应值偏大,这是大暴雨的随机性引起的高强度产沙随机性造成的。表 1 中的数据显示,平均值 $(\sum [(S_{ao}-S_{ac})/S_{ac}]/N)$ 在 21 条支流中,就有 19 条支流在 10% 以内或左右,其平均波动值为 11.7%。因此,遴选出来的降水-产沙关系作为流域地面特征不变情形下计算年沙量的依据,具有较高的可信度。

3 多沙粗沙区水沙变化原因分析^①

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,致使平均年径流量和平均年输沙量呈递减趋势。在这里,拟承用上述遴选出来的 1969 年前实测资料建立的降水-径流、降水-产沙关系,根据研究区 21 条主要入黄支流 70、80 及 90 年代前 4 年的降水资料,就可演算出各支流各个年份的径流量 W_{ac} 、输沙量 S_{ac} 。其值反映了 1969 年前初始下垫面特性不变情形下,仅仅由于 70 年代以来降水条件改变所产生的年径流量和年输沙量。若将 70、80 及 90 年代前 4 年由计算所得的年径流量均值 W_{ac} 、年输沙量均值 S_{ac} 与 50、60 年代的 W_{ac} 、 S_{ac} 加以比较,则可分别得到 70、80 及 90 年代前 4 年因降水变化所引起的水沙效应。

若将 70、80 及 90 年代前 4 年的水沙计算值 W_{ac} 、 S_{ac} 分别与同时期水沙实测值 W_{ao} 、 S_{ao} 加以比较,则可粗略了解到 70、80 及 90 年代前 4 年由于人类活动原因所引起的水沙效应。

为了提高 70 年代以来水沙变化计算精度,这里拟根据上述水沙统计模型验证中所揭示的计算值相对于实测值的相对误差(表 1),对其进行修正。若 $(W_{ao}-W_{ac})/W_{ac}$ 值 > 0,则表明计算值偏小,70 年代以来的平均年径流量计算值应加上该计算值与相对误差数之乘积,才与实情相符;反之,该比数 < 0,则表示计算值偏大,具体计算值应减去该计算值与相对误差之积。至于沙量计算,同样进行了类似的修正参数 $(S_{ao}-S_{ac})/S_{ac}$ 的补充处理。

计算与修正处理结果如表 2 所示,70 年代平均年径流量和平均年输沙量分析较 50、60 年代减少了 18.5% 和 23.8%;80 年代平均年径流量和年输沙量较 50、60 年代分别减少了 35.6% 及 58.4%;90 年代前 4 年,径流和输沙较 50、60 年代分别减少了 39.5% 和 54.8%。

^① “八五”国家重点科技攻关项目(85-926-03-01-02)黄河中游多沙粗沙区产水产沙特性、统计模型及水沙变化原因分析。南京大学大地海洋科学系,1995。

表 2 黄河中游多沙粗沙区 21 条支流 ($A=103\,704\text{ km}^2$) 径流与输沙相对于 50、60 年代的变化量*

Tab. 2 Variation amounts of runoff and sediment discharge compared to that of the period of 1954 ~ 1969 on the annual average for 21 streams with the total drainage area of $103\,704\text{ km}^2$ in the study area

年 代	年径流变化量 (10^4 m^3)					年输沙变化量 (10^4 t)				
	总变化量	气候波动	%	人类活动	%	总变化量	气候波动	%	人类活动	%
1970 ~ 1979	- 101 223	- 43 047	- 7.9	- 58 176	- 10.6	- 23 776	- 16 273	- 16.3	- 7 503	- 7.5
1980 ~ 1989	- 195 125	- 76 236	- 13.9	- 118 889	- 21.7	- 58 241	- 28 458	- 28.5	- 29 783	- 29.9
1990 ~ 1993	- 109 988	- 46 527	- 16.7	- 63 461	- 22.8	- 29 196	- 21 044	- 39.5	- 8 152	- 15.3

* 1990 年 ~ 1993 年资料系列中, 径流部分 12 条支流, 控制面积 $39\,307\text{ km}^2$, 输沙部分 13 条支流, 控制面积 $42\,221\text{ km}^2$; “-”表示减少。

就水沙削减的具体原因来看, 在减水方面, 气候效应和人类活动所引起的效应两者比较接近, 但以后者略占优势。其中 70 年代, 两者的削减量分别为 42.7% 和 57.3%; 80 年代分别为 39.1% 和 60.9%; 90 年代前 4 年分别为 42.3% 和 57.7%。在减沙方面, 在 70 年代, 由于治理水平还不是很, 而降水量却有明显的减少, 因此, 气候型减沙效应较为突出, 而人类活动型的减沙效应相对较小, 两者的相对削减量分别为 68.5% 和 31.5%。到了 80 年代, 由于治理水平显著提高, 人类活动的减沙效应明显增强, 而气候波动的减沙效应在绝对量上固然较 70 年代更甚, 但在相对量上尚不及人类活动引起的减沙效应。因此, 两者的相对减沙量与 70 年代相反, 分别为 48.8% (气候型) 和 51.2% (人类活动型)。至于 90 年代前 4 年, 由于水利水保工程有所老化, 并易受人为干扰, 加之管理工作未能跟上, 其滞水拦沙功能有所减弱, 加之露天煤矿、道路工程、城镇建设等人为引起的增沙现象。因此, 人类活动原因的减沙效应明显减弱, 而气候波动引起的减沙效应就显得较 70 年代更为突出, 两者的相对权重分别为 72.1% 和 27.9%。

鉴于本文所统计分析的有效范围占多沙粗沙研究区 $129\,519\text{ km}^2$ 的 80%, 因此, 这里拟根据上述控制区的分析结果, 通过面积加权, 对水沙的变化数量及其原因作出定量评估 (表 3): ①在减水方面, 与 50、69 年代相比, 70 年代年均削减了 $12.64\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$, 其中气候减水效应为 $5.38\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$; 人类活动减水效应为 $7.27\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$ 。80 年代年均减水量为 $24.37\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$, 其中气候变化效应减水 $9.52\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$, 而人类活动原因减水 $14.85\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$ 。②在减沙方面, 与 50、60 年代相比, 70 年代年均削减了 $2.97\times 10^8\text{ t}/\text{a}$, 其中

表 3 黄河中游多沙粗沙区 ($A=129\,519\text{ km}^2$) 径流与输沙相对于 50、60 年代的变化量*

Tab. 3 Variation amounts of runoff and sediment discharge compared to that of the period of 1954 ~ 1969 on the annual average for the study area as a whole, with an area of $129\,519\text{ km}^2$

年 代	年径流变化量 (10^4 m^3)					年输沙变化量 (10^4 t)				
	总变化量	气候波动	%	人类活动	%	总变化量	气候波动	%	人类活动	%
1970 ~ 1979	- 126 418	- 53 762	- 42.5	- 72 656	- 57.5	- 29 694	- 20 324	- 68.5	- 9 370	- 31.5
1980 ~ 1989	- 243 692	- 95 211	- 39.1	- 148 481	- 60.9	- 72 737	- 35 541	- 48.9	- 37 196	- 51.1
1970 ~ 1989	- 185 055	- 74 486	- 40.3	- 110 568	- 59.7	- 51 216	- 27 931	- 54.5	- 23 283	- 45.5

* % ——气候原因与人类活动原因减水减沙的相对%; “-”表示减少。

气候变化效应减沙 $2.03 \times 10^8 \text{ t/a}$; 人类活动引起的减沙量为 $0.94 \times 10^8 \text{ t/a}$ 。80 年代年均减沙量为 $7.27 \times 10^8 \text{ t/a}$, 其中气候原因减沙 $3.55 \times 10^8 \text{ t/a}$; 而人类活动原因引起的减沙量为 $3.72 \times 10^8 \text{ t/a}$ 。

4 结语

- (1) 如何正确评价水土保持建设减水减沙效益, 区分气候和人为原因对水沙变化影响的相对权重, 对促进当地生态环境建设和经济的持续发展具有现实意义; 对预测今后数十年内入黄水沙变化趋势, 决策黄河综合治理与协调发展具有极其重要的战略意义。
- (2) 多沙粗沙区年内降水、径流、尤其是输沙十分集中, 汛期 4 个月的侵蚀产沙量占到全年的 97% 以上, 而汛期的产沙又往往集中于几场大暴雨。因此, 对该地区侵蚀产沙的研究, 应把注意力放在暴雨产流产沙效应的机理上。
- (3) 鉴于该地区年内侵蚀产沙集中于几场大暴雨, 而暴雨何时出现、何地出现、覆盖范围及出现的可能强度和过程都是随机的。加之下垫面产流产沙特性在空间上的复杂性和时间上的多变性, 致使地表侵蚀产沙强度复杂多变, 同一历时的产沙量波动幅度可达数十倍, 甚至一二百倍之巨 (表 4), 这就给沙量的预测带来一定的困难。

表 4 研究区部分流域不同历时输沙量年际间的倍比关系

Tab. 4 The rates between the annual maximums and minimums of sediment discharge during various durations for some basins in the study area

河 流	测 站	$S_{1 \text{ max/min}}$	$S_{30 \text{ max/min}}$	$S_f \text{ max/min}$	$S_a \text{ max/min}$	统计年份
窟野河	温家川	168.8	105.1	88.5	57.6	1954 ~ 1969
岚漪河	裴家川	214.7	169.0	158.4	125.6	1956 ~ 1969
大理河	青阳岔	179.2	75.2	80.2	47.5	1960 ~ 1969
黑木头川	殿 市	116.0	114.3	154.5	136.8	1960 ~ 1969

- (4) 70、80 年代直至 90 年代前 4 年, 由于研究区气候趋旱、治理水平不断提高, 因此年径流量和年产沙量逐渐减少。与 50、60 年代相比, 70 年代平均年降水量减少了 9.4%, 而平均年径流量和平均年输沙量却分别减少了 18.5% 和 23.8%; 80 年代平均年降水量、径流量和输沙量分别减少了 14.4%、35.6% 及 58.4%; 90 年代前 4 年, 其降水、径流和输沙分别减少了 15.6%、39.5% 和 54.8%。
- (5) 统计分析表明, 面积约 $13 \times 10^4 \text{ km}^2$ 多沙粗沙区, 其 70 年代年水量较 50、60 年代减少了 $12.6 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中占 42.5% 属气候波动原因; 57.5% 为人为原因所致。80 年代年水量减少了 $24.4\% \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中占 39.1% 为气候原因, 而有 60.9% 为人为原因所致。在减沙方面, 70 年代年沙量较 50、60 年代削减了近 $3 \times 10^8 \text{ t}$, 其中 68.5% 由气候原因引起, 其余 31.5% 系由人为原因所致; 80 年代年沙量削减了 $7.3 \times 10^8 \text{ t}$, 其中气候波动引起的占 48.9%, 而人类活动原因占到了 51.1%。表明黄河中游多沙粗沙区近年来固然存在着大规模采矿、道路工程、城镇建设等人类活动引起的增沙现象, 但水利水保措施除了抵偿这部分负效应以外, 仍然显示出显著的减水减沙效益。自 70 年代至 80 年代, 随着治理水平不

断提高, 减水减沙效益明显增长。但是, 还必须看到, 由于治理工程容易老化及易受人为干扰, 其滞水拦沙功能有逐渐削弱趋势。因此, 今后如何加强治理措施的管理和维护至关重要。

(6) 从气候变化的历史过程来看, 黄河中游地区灾变性雨洪并不罕见, 如 1662-09-20 ~ 10-06 的一场雨洪, 为中国北方历史大雨洪之最; 1843 年的一场暴雨, 几乎覆盖了整个多沙粗沙区, 其时黄河干流陕县站的洪峰流量达到 $36\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$, 该年黄河的年输沙量竟达 $80 \times 10^8\ \text{t}$ 之巨。1933-08-10 的一场暴雨, 陕县站洪峰流量达到 $22\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$, 粗测该年输沙量 $39.1 \times 10^8\ \text{t}$, 而实际该年输沙量可能达到 $52.8 \times 10^8\ \text{t}$ ^①。然而在另一方面, 各种水土保持工程体系的滞水拦沙功能却又随着暴雨量及其强度的加大而减弱, 并对灾变性雨洪抵御能力极其有限, 当特大雨洪一旦超过其承受能力限度时, 体系就会瓦解, 从而出现突变性大量水土流失。因此, 如何准确预测灾变性雨洪及其水沙效应, 并采取有效的治理对策, 十分重要。

参 考 文 献 (Reference)

- 1 中科院黄土高原综合考察队(Loess Plateau Synthetic Surveying Team of Academia Sinica). 黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其治理途径(Regional Characteristics and control of soil erosion in loess plateau area). 北京(Beijing) 中国科学技术出版社(Chinese Science and Technology Press), 1990. 277.
- 2 唐克丽, 熊贵枢, 梁季阳等(Tang Keli, Xiong Guishu, Liang Jiyang et al). 黄河流域的侵蚀与径流泥沙变化(Erosion and change of runoff and sediment in the Yellow River valley). 北京(Beijing) 中国科学技术出版社(Chinese Science and Technology Press), 1993. 249.
- 3 张胜利, 于一鸣, 姚文艺(Zhang Shengli, Yu Yiming, Yao Wenyi). 水土保持减水减沙效益计算方法(Calculation methods of the benefits from reduction of water and sediment runoff by soil conservation measures). 北京(Beijing) 中国环境科学出版社(China Environment Press), 1994. 215.
- 4 景可, 陈永宗, 李风新(Jing Ke, Chen Yongzang, Li Fengxin). 黄河泥沙与环境(Sediment and environment in the Huanghe River). 北京(Beijing) 科学出版社(Science Press), 1993. 248.

AN ANALYSIS ON THE CAUSES OF VARIATIONS OF RUN-OFF AND SEDIMENT YIELD IN THE SANDY AND COARSE SEDIMENT REGION OF THE MIDDLE YELLOW RIVER

Yin Guokang

(Department of Geography and Ocean Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093)

Key words The Yellow River, runoff, sediment yield, storm flood

Abstract

The research area is the sandy and coarse sediment area of the middle Yellow River with some $13 \times 10^4 \text{ km}^2$ of area, of which 73 per cent are situated in loess hill and gully region. Based on some 10 000 observational data from 21 drainage basins in this region from the early part of the 1950s to 1993, by statistical analysis on temporal and spatial variations in sediment yield-runoff-precipitation, the following understandings are obtained:

1. The distributions of precipitation, runoff, and sediment load in the area within a year are very concentrated, especially sediment load. The sediment yield during flood season (from June to Supt.) makes up over 97 per cent of the annual total. In addition, the sediment yield in flood season is always concentrated in a few heavy storms. Consequently, the study of sediment yield for this area should emphasize on the mechanism of storm effects on runoff and sediment yield.

2. Though the annual sediment yield in this region often concentrates in a few heavy storms, what time and where to present such a storm and its intensity and process are all random. Furthermore, the effects of land surface characteristics in runoff and sediment yield are of complexity in temporal and variety in space so the process of producing sediment is more change-ful. As a result the fluctuation amplitude of sediment yield for the same interval of time may arrive at several tens, so far as to more than two hundreds.

3. Since the 1970s, owing to the fact that the climate in the middle Yellow River has tended to drought and the regulation level has been gradually improved, both annual runoff and sediment yield have continuously decreased. The mean annual precipitation in the study area in the 1970s, as compared with that during the period of 1954 ~ 1969, decreased by 9.4%, and the annual runoff and the annual sediment discharge on average decreased by 18.5% and 23.8% respectively. And during the 1980s, they decreased by 14.4%, 35.6% and 58.4% respectively. In the first four years of the 1990s, they respectively decreased by 15.6%, 39.5% and 54.8%.

4. By statistical analysis it is shown that the mean annual runoff in the region in the 1970s, as compared with that in the period of 1954 ~ 1969, decreased by $12.6 \times 10^8 \text{ m}^3$, of which 42.5% were caused by climatic fluctuation and the other 57.5% were caused by man's activity. And in the 1980s the mean annual runoff decreased by $24.4 \times 10^8 \text{ m}^3$, of which 39.1% were caused by the climate fluctuation and the other 60.9% were the man-made. In the aspect of decrease in

sediment load, the mean annual sediment discharge in the 1970s, as compared with that in the period of 1954 ~ 1969, decreased by approximately 3×10^8 t, of which 68.5% were caused by the climatic fluctuation and the other 31.5% were the man-made. And during the 1980s the mean annual sediment discharge decreased by about 7.3×10^8 t, of which 48.8% were caused by the climatic fluctuation and the other 51.2% were due to man's activity. It manifested that no doubt there was a phenomenon of increase in sediment yield caused by some man's activities such as large scale opencut, road engineering, city and town construction etc. in the region in recent years, but the water-and-soil conservation measures, in addition to an offset to the negative effect, still demonstrated the notable effectiveness in decreasing runoff and sediment yield. And yet, it should be pointed out that owing to the water-and-soil conservation measures being easily ageing and subjected to a man-made interference, the function of water-and-soil conservation measures would gradually weaken. For this reason, from now on, how to strengthen the management and safeguard of the regulation measures is of vital importance.

5. As it is seen from the historical sequence of climatic variation in the region, the catastrophic storm flood was not rare. For example, the storm flood occurred in the area during Sept. 20 ~ Oct. 06, 1662 caused the largest flood in history in north China. The storm occurred in 1943 almost covered the whole study area so the peak discharge at the Shexian station at the lower reach of the Middle Yellow River amounted to $36\,000\text{ m}^3/\text{s}$ and the annual sediment discharge of the Yellow River in this year amounted to 80×10^8 t. The storm occurred on Aug. 10, 1933 caused $22\,000\text{ m}^3/\text{s}$ of peak discharge at the Shexian station and 52.8×10^8 t of annual sediment discharge of the Yellow River in this year. But then the function of various regulation engineering systems in retaining both the flood runoff and sediment weakened with the increase in storm rainfall and its intensity and the capacity of these systems against catastrophic storm flood became very limited. Once a heavy storm flood goes beyond the bearing limit of the engineerings, the system will be collapsed and a lot of water-soil loss as an abrupt change will occur. Consequently, how to predict the catastrophic storm floods and their effects on both runoff and sediment yield and to use an effective regulation counter measure are very important.