

基于下游河流健康的黄土高原土壤容许流失量

张世杰^{1,2}, 焦菊英¹

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 712100 陕西杨凌; 2. 梧州水利电力设计院, 543002 广西梧州)

摘要 在总结分析前人有关黄河下游冲淤平衡时不同含沙量的临界流量和水体污染物质质量浓度研究成果的基础上, 利用花园口、高村水文站逐日水沙资料, 推算不同水文年黄河下游水沙冲淤平衡时的临界输沙量为平水年 6.54 亿 t、丰水年 8.83 亿 t、枯水年 3.95 亿 t、平均 6.44 亿 t。以氨氮和全磷为指标, 分析三门峡、花园口和高村断面因水土流失引起的非点源污染状况, 参照地表水环境质量标准, 得到黄河下游河道达到 III 类和 II 类水质标准的临界输沙量三门峡至高村河段平均为 7.93 亿和 5.20 亿 t。同时, 以黄河下游河道水沙平衡和满足某一水质标准为河流健康的约束条件, 结合水利水土保持措施减沙量、头道拐水文站多年平均输沙量和黄土高原泥沙输移比的研究成果, 推算黄河下游河道水沙平衡且分别达到 III 类或 II 类水质标准时, 黄土高原土壤容许流失量相应为 9.41 亿和 8.41 亿 t。研究结果可为黄土高原水土流失治理提供科学依据。

关键词 冲淤平衡; 水质污染; 输沙量; 土壤容许流失量; 黄土高原

Soil loss tolerance in the Loess Plateau based on the healthy function of the lower reaches of the Yellow River

Zhang Shijie^{1,2}, Jiao Juying¹

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Minister of Water Resources, 712100 Yangling, Shaanxi

2. Design Institute of Water Conservancy and Electric Power, 543002 Wuzhou, Guangxi, China)

Abstract Based on previous researches on critical flow of different sediment concentration under equilibrium between scouring and deposition and pollutants concentration in the lower reaches of the Yellow River, using the daily flow and sediment yield of Huayuankou and Gaocun hydrologic station, we calculated the critical sediment discharge, which is 6.54×10^8 t in average year, 8.83×10^8 t in high flow year and 3.95×10^8 t in dry year with an average of 6.44×10^8 t when the lower reaches of Yellow River is in equilibrium between scouring and deposition. Taking ammonia nitrogen and total phosphorus as indicators, we analyzed the non-point source pollution caused by water and soil loss in Samenxia, Huayuankou and Gaocun section, and got the critical sediment discharge, which is 7.93×10^8 t and 5.20×10^8 t in Samenxia to Gaocun interval averagely when the lower reaches of Yellow River up to the standard of III and II water quality based on environment quality standards of surface water. Considering equilibrium between scouring and deposition and water quality criterion as the constraint conditions of the healthy function of the lower reaches of the Yellow River, and combining the reduced sediment discharge by water conservancy and soil and water conservation, average sediment discharge of Toudaoguai hydrologic station, sediment discharge ratio of the Loess Plateau, we obtained soil loss tolerance of Loess Plateau.

收稿日期: 2010-09-05 修回日期: 2010-11-30

项目名称: 国家重点基础研究发展计划项目“区域水土流失过程与趋势分析”(2007CB407203); 国家科技支撑计划项目“黄土高原水土流失综合防治技术研究”(2006BAD09B10)

第一作者简介: 张世杰(1985—), 男, 硕士研究生。主要研究方向: 流域侵蚀产沙。E-mail: shijie8433@163.com

- 责任作者简介: 焦菊英(1964—), 女, 研究员, 博士生导师。主要研究方向: 植被恢复与水土保持效益评价。E-mail: jyjiao@ms.iswc.ac.cn

eau which is 9.41×10^8 t or 8.41×10^8 t when water quality up to III or II standard with equilibrium between scouring and deposition as well in the Lower reaches of the Yellow River. It provides scientific basis for the soil erosion control in the Loess Plateau.

Key words equilibrium between scouring and deposition; water pollution; sediment discharge; soil loss tolerance; Loess Plateau

土壤侵蚀是限制当今人类生存与发展的全球性环境问题之一, 严重制约着全球经济社会的可持续发展。黄土高原严重的水土流失不仅造成当地生态环境脆弱, 生活贫困, 而且导致黄河下游河道淤积、水质恶化, 严重威胁着黄河下游的安全运行。三门峡水库修建以前, 每年进入下游河道的泥沙量平均为 16 亿 t, 其中有 12 亿 t 输送入海, 4 亿 t 淤积在下游河道中, 使下游河道每年以 10 cm 左右的速率抬升, 形成了地上悬河^[1]。20 世纪 90 年代, 进入黄河下游河道泥沙量(以花园口站为代表)为 7.27 亿 t/a, 相当于 1950—1960 年平均值的 46.6%, 但是, 由于径流量大幅度减少, 黄河下游河道泥沙淤积仍较严重。1986—1999 年, 黄河下游河道年均泥沙淤积量为 2.23 亿 t, 下游各站 $3\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 流量的水位年均抬升 0.10~0.15 m^[2], 给黄河下游河道的稳定和防洪安全带来了极大影响。黄河流域雨季明显, 60%~80% 的降水集中在汛期(7—10 月)^[3], 多以暴雨形式出现, 而径流冲刷和淋溶是非点源污染形成和迁移的直接动力, 降雨在冲刷了表层土壤的同时, 也带走了大量营养物质, 成为非点源污染的重要来源^[4]。韩凤鹏等^[5]的研究结果表明, 黄河流域 95% 的全磷和 53% 的全氮来自非点源污染; 孟伟等^[6]的研究结果也表明, 黄河下游的氨氮和全磷主要来自中游黄土高原的水土流失(面源), 而与工业废水排放量(点源)无统计学相关性。可见, 非点源污染已成为黄河水质污染的重要来源。为此, 黄河水利委员会提出了“维持黄河健康生命”的治河理念, 并将黄河健康的标志概括为连续的河川径流、安全通畅的水沙通道、良好的水质、可持续的河流生态系统和一定的供水能力^[7]。而这些标志与黄土高原严重的水土流失及其治理有着密切联系, 其根本就是河流输沙问题, 究竟河流携带多少泥沙不会导致泥沙淤积, 达到泥沙冲淤平衡, 也就是说, 河流上游产沙源区产生多少沙, 进入河道以后是低于或等于河流的临界输沙量, 这些产沙量会不会引起河道的泥沙大量沉积和水质污染。这个问题涉及到黄河上游的土壤容许流失量(T 值)。

随着人们对于洪水、泥沙淤积、水体富营养化等

危害认识的提高, T 值的双值性得到越来越多的重视^[8-9]。 T 值的双值性是指每一种土地类型的 T 值应该包括 T 值下限 T_1 和 T 值上限 T_2 ^[10]; T_1 主要考虑土壤的固有生产力, 在土层较薄时是与土壤的更新速度保持一致的, 而在土层较厚时则是维持作物产量在人们可以接受范围之内的 T 值; T_2 则与影响社会目的的后果相联系, 是在考虑社会、环境、经济甚至政治的需要而制定的值, 主要包括防洪的安全、水体水质的污染、可以接受的泥沙淤积损失等。因此, 在“维持黄河健康生命”理念的指导下, 在充分考虑黄河下游水体水质健康和河道泥沙淤积影响的基础上, 推算的黄土高原土壤容许流失量应为其值的上限, 即 T_2 值(下同)。笔者利用所总结的估算方法, 通过黄河下游冲淤平衡和水体水质达标推求合理的 T_2 值, 以期为进一步确定黄土高原不同侵蚀类型区与土地利用类型的土壤容许流失量及黄土高原水土流失治理目标的制定提供科学依据。

1 研究方法

在分析黄河下游花园口至高村河段泥沙冲淤平衡和水质健康时临界输沙量的基础上, 确定中游(河口镇至桃花峪区间, 下同)黄土高原的土壤容许流失量。花园口至高村河段是下游“二级悬河”发育最严重的河段之一^[11], 花园口站实测多年(1950—2007 年)平均径流量为 $382.04\ \text{亿}\ \text{m}^3$ (黄河流域泥沙公报), 多年平均含沙量为 $37.3\ \text{kg}/\text{m}^3$ ^[8]。中游河口镇至桃花峪区间(1206 km)流域面积 $34.4\ \text{万}\ \text{km}^2$, 是流域泥沙主要来源区, 来沙量占全流域的 90%^[12], 可分为河口镇至龙门区间的多沙粗沙区和龙门至三门峡区间的多沙细沙区, 90% 粒径大于 0.05 mm 的粗沙来自多沙粗沙区, 而 50% 的粗沙淤积在下游河道中, 使黄河下游河床逐年抬高, 造成严重威胁^[2]。

黄河下游河道的冲淤平衡与河道来水来沙量密切相关, 河道水沙的平衡是一个相对状态, 因此, 从平均意义上探讨黄河下游冲淤平衡。通过年径流量将下游河道划分为不同水文年(丰水年、平水年、枯水年), 根据黄河流域降雨特性, 将 1 年划分为汛

期 (7—10 月) 和非汛期 (11 月—翌年 6 月)。利用不同水文年逐日水沙资料, 划分不同流量级, 统计不同流量级出现频次及占汛期和非汛期总时间 (d) 的比例 (P_i), 以 P 作为黄河下游冲淤平衡临界输沙量的权重系数, 结合前人^[13-14]对黄河下游冲淤平衡时不同含沙量的临界流量值, 总结出不同流量级临界含沙量。在此基础上, 利用加权平均法, 计算出汛期和非汛期不同流量级流量的临界含沙量, 再乘以汛期和非汛期径流量, 即得到汛期和非汛期的临界输沙量, 具体计算公式为

$$S_c = R_n \sum_{i=1}^n S_{ci} P_i \quad (1)$$

式中: S_c 为汛期或非汛期的临界含沙量, kg/m^3 ; S_{ci} 为 i 流量级的临界含沙量, kg/m^3 ; P_i 为 i 流量级出现频次占某时段 (汛期或非汛期) 的比例, %。

因此, 利用花园口和高村水文站逐日水沙资料 (1962—1988 年), 选择不同水文年典型代表年分别为平水年 (1976—1978 年)、丰水年 (1982—1984 年)、枯水年 (1986—1988 年), 来估算黄河下游不同水文年达到冲淤平衡时的临界输沙量。

黄河下游水质标准约束条件下临界输沙量的确定, 是以水体中氨氮和全磷污染物为指标。采用根据黄河流域现状对平均浓度法^[15]改进的估算公式^[4], 根据潼关断面 2006 年汛期 (7—10 月) 和非汛期 (11 月—翌年 6 月) 水体和泥沙氨氮和全磷质量分数, 还有三门峡站、花园口站、高村站以及头道拐水文站 1962—1988 年实测水沙资料, 估算来自头道拐至各水文站不同水沙组合下水体的氨氮和全磷非点源污染质量浓度, 并参考 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》采用单项最高水质类别作为该河段综合水质类别的综合水质评价法^[16], 统计达到或超过 IV 类水质的水沙组合, 并与 III 类或 II 类水质标准浓度相减, 得到不同水沙组合条件下超出 III 类或 II 类水质标准的浓度, 结合对应水沙组合的汛期径流量和水体污染物浓度, 得到携带超出污染物的径

流量 (具体计算方法如式 (2)), 利用含沙量计算出超出部分径流量携带的泥沙量。由于非点源污染主要来自汛期^[4-5], 因此, 利用汛期输沙量减去超出部分输沙量即为达到特定水质标准的临界输沙量。对同一污染物, 以临界输沙量平均值作为该污染物达到特定水质标准的临界输沙量, 对于不同污染物 (氨氮和全磷), 以二者均能达到水质标准的要求作为达到特定水质标准的临界输沙量, 即取二者中的小值。

$$R_c = \frac{C_f - C_b}{C_f} R_n \quad (2)$$

式中: R_c 为携带超出污染物部分径流量, m^3 ; C_f 为某组合下非点源污染物质量浓度, mg/L ; C_b 为特定水质类别的标准质量浓度, mg/L ; R_n 为各断面对应水沙组合的汛期径流量, m^3 。

在参考健康黄河标志中“安全通畅的水沙通道”和“良好的水质”的基础上, 选取下游河道泥沙冲淤平衡和达到某种水质标准作为黄河下游河流健康的指标。在下游河道冲淤平衡和水质健康的共同约束下, 结合黄土高原泥沙输移比、水利水土保持措施减沙量和头道拐水文站多年平均输沙量, 反推出黄河中游黄土高原土壤容许流失量上限值, 即 T_2 值。

2 基于黄河下游冲淤平衡的临界输沙量

以前人^[13-14]对黄河下游河道冲淤临界含沙量和流量关系的研究结果为基础, 总结出不同流量级的临界含沙量, 即流量级为 $< 1\ 000$ $1\ 000 \sim 2\ 000$ $2\ 000 \sim 3\ 000$ 和 $3\ 000 \sim 4\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 的临界含沙量分别为 $10\ 20\ 25$ 和 $35\ \text{kg}/\text{m}^3$ 。以花园口至高村河段为代表, 依据孙高虎^[17]根据花园口水文站逐年径流量与多年平均值 (1961—1999 年) 比值的变异程度得出的水文年型, 平水年 (1976—1978 年)、丰水年 (1982—1984 年) 和枯水年 (1986—1988 年) 平均来水量分别为 411.1 亿、 525.7 亿和 292.3 亿 m^3 , 并统计出各流量级流量出现频次, 见表 1。

表 1 花园口水文站典型代表年汛期和非汛期逐日流量特征

Tab 1 Characteristic of daily runoff in flood season and non-flood season in typical years of Huayuankou hydrologic station

流量级 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	平水年				丰水年				枯水年			
	汛期		非汛期		汛期		非汛期		汛期		非汛期	
	频次	比例 /%	频次	比例 /%	频次	比例 /%	频次	比例 /%	频次	比例 /%	频次	比例 /%
$Q < 1\ 000$	54	14.6	560	77.1	14	3.8	447	61.4	167	45.2	672	92.3
$1\ 000 \leq Q < 2\ 000$	137	37.1	165	22.8	95	25.7	246	33.9	122	33.1	54	7.7
$2\ 000 \leq Q < 3\ 000$	88	23.8	0	0	101	27.4	31	4.4	52	14.1	0	0
$3\ 000 \leq Q < 4\ 000$	35	9.6	0	0	64	17.4	2	0.3	14	3.8	0	0
$Q \geq 4\ 000$	55	14.9	1	0.1	95	25.7	0	0	14	3.8	0	0

根据式(1)和表1计算出不同水文年汛期和非汛期达到冲淤平衡的临界含沙量。由于流量大于 $4000\text{m}^3/\text{s}$ 以后,下游河道易发生冲刷和漫滩现象^[18],故忽略此流量级的临界含沙量。利用典型代表年汛期和非汛期来水量,求得不同水文年典型代表年份汛期和非汛期临界输沙量(表2)。花园口不

同水文年临界输沙量分别为平水年6.54亿、丰水年8.83亿和枯水年3.95亿;平均值为6.44亿;而同一时段内,高村断面临界输沙量平均值为5.82亿;相比花园口断面偏小0.62亿;这是因为黄河下游河段引黄灌溉年均引沙量达1.2亿^[19]。

表2 花园口和高村断面冲淤平衡时的临界输沙量

Tab 2 Critical sediment discharge of equilibrium between scouring and deposition between Huayankou and Gaocun section

水文年型		径流量 /亿 m ³	临界含沙量 / (kg m ⁻³)	临界输沙量 /亿 t	花园口临界输沙量 /亿 t	高村临界输沙量 /亿 t
平水年	汛期	252.65	18.2	4.60	6.54	5.89
	非汛期	157.54	12.3	1.94		
丰水年	汛期	321.43	18.5	5.95	8.83	8.35
	非汛期	204.28	14.1	2.88		
枯水年	汛期	151.89	16.0	2.43	3.95	3.22
	非汛期	140.41	10.8	1.52		

3 基于黄河下游水质达标的临界输沙量

据测定,黄土高原流失的每t泥土中含有氮0.8~1.5kg,全磷1.5kg,全钾20kg^[20]。氮、磷是生物体必需的元素,也是引起水体富营养化的主要元素,同时氮氮是黄河最主要的污染物^[21]。孟伟等^[6]对花园口断面的研究结果表明,氮质量分数和上游流域的人口和化肥施用量呈显著相关性,而与工业废水排放量没有显著相关关系,并且得出黄河下游水体中磷主要来自黄土高原的水土流失。因此,选取氮氮和全磷作为水质参数,以探索黄河下游水体水质与中游黄土高原水土流失造成的污染来源的关系。

潼关是黄河干流流经黄土高原的末端控制断面,也是下游三门峡水库的进库控制断面,因此,以

潼关断面2006年汛期和非汛期全磷和氮氮污染物浓度^[4](汛期水体氮氮和全磷质量浓度分别为3.11和0.82mg/L,泥沙质量分数分别为氮氮13.71mg/kg和全磷0.06%;非汛期水体氮氮和全磷质量分数和质量浓度分别为3.09mg/kg和0.39mg/L,泥沙和氮氮质量分数为12.25mg/kg和全磷0.06%)为依据,以三门峡站、花园口站、高村站以及头道拐水文站1962—1988年实测水沙资料,估算来自头道拐至各水文站不同水沙组合条件下水体的氮氮和全磷非点源污染负荷,结合各断面汛期和非汛期年径流量,得到不同断面不同水沙组合条件下氮氮和全磷的非点源污染质量浓度。三门峡、花园口和高村水文站断面不同水沙组合条件下水体氮氮和全磷的非点源污染质量浓度如图1,各断面水体水质类别出现频次及比例见表3。

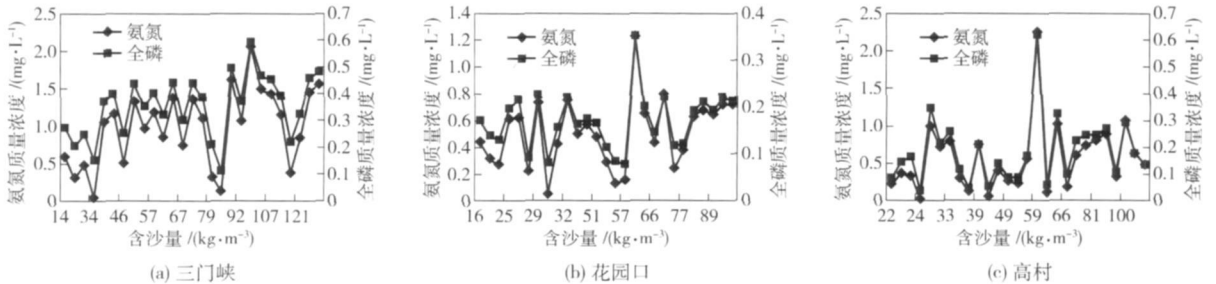


图1 三门峡、花园口和高村断面不同水沙组合条件下氮氮和全磷非点源污染质量浓度

Fig 1 Concentration of ammonia nitrogen and total phosphorus in Sanmenxia, Huayankou and Gaocun sections

从图1可以看出:三门峡断面氮氮和全磷非点源污染质量浓度均较高,氮氮质量浓度出现在1.0 mg/L以上较多,全磷质量浓度绝大部分出现在0.2

mg/L以上;花园口断面和高村断面非点源污染质量浓度明显低于三门峡断面。由表3可以看出:三门峡断面水体水质非点源污染非常严重,出现IV类和

劣于 IV 类水质比例高达 92.6%; 相比三门峡断面和高村断面, 花园口断面出现 III 类水质类别的比例最高, 达 55.6%, 优于 III 类 (含 III 类) 水质类别的比例更高达 70.4%; 高村断面优于 II 类 (含 III 类) 水质类别比例占到总比例的 59.2%。根据 2003 年《黄河水资源公报》公布的结果, 黄河干流评价的 3 613.0 km 河长中, 劣于 III 类水质的河长达 2 821 km, 比例高达 78.1%; 2006 年同河长评价中, 全年 IV 类、V 类

水质标准河长分别占 34.8%、3.5%, 劣 V 类水质标准河长占 3.1%, 其中石嘴山、乌素图、潼关、三门峡河段水质达到劣 V 类, 且氨氮为最主要超标污染物之一^[16]。赵沛伦等^[22]对黄河下游花园口断面的研究表明, 下游水体的氨氮无论是清水 (不含泥沙) 还是原状水 (含泥沙), 水体水质仅达到 IV 类, 而全磷污染更为严重, 清水和原状水水体水质均为劣 V 类。由此可见, 文中评价结果较合理。

表 3 不同水沙组合条件下 (n=27) 黄河下游各断面水土流失带来非点源污染综合水质类别统计值

Tab 3 Comprehensive water quality of non-point source pollution caused by soil loss in different water and sediment discharge conditions (n=27) in different section of the lower reaches of the Yellow River

断面	II 类		III 类		IV 类		V 类		劣 V 类	
	频次 / 次	比例 / %	频次 / 次	比例 / %	频次 / 次	比例 / %	频次 / 次	比例 / %	频次 / 次	比例 / %
三门峡	0	0	2	7.4	7	25.9	9	33.3	9	33.3
花园口	4	14.8	15	55.6	7	25.9	1	3.7	0	0
高村	8	29.6	8	29.6	8	29.6	2	7.4	1	3.7

注: 无 I 类水质出现。

根据式 (2) 和各站实测水沙资料, 得到不同区间断面达到 III 类水质标准的临界输沙量为三门峡 6.43 亿 t、花园口 9.90 亿 t、高村 7.45 亿 t, 平均值 7.93 亿 t; 达到 II 类水质标准的临界输沙量为三门峡 4.91 亿 t、花园口 5.70 亿 t、高村 4.99 亿 t, 平均值 5.20 亿 t。

4 基于黄河下游河流健康的土壤容许流失量推算

以下游河流健康的临界输沙量应同时满足水沙冲淤平衡和水质健康 2 个约束条件的原则, 即以二者中小值作为标准, 得到下游河道不同水文年的临界输沙量 (表 4)。

表 4 黄河下游临界输沙量及中游黄土高原土壤容许流失量

Tab 4 Critical sediment discharge in the lower reaches of Yellow River and soil loess tolerance of Loess Plateau in the middle reaches of Yellow River 亿 t

水文年	III 类水质		II 类水质	
	临界输沙量	土壤容许流失量	临界输沙量	土壤容许流失量
平水年	6.54	9.84	5.20	8.41
丰水年	7.93	11.32	5.20	8.41
枯水年	3.95	7.08	5.20	8.41
平均值	6.14	9.41	5.20	8.41

关于黄土高原泥沙输移比, 龚时旻等^[23]考虑黄河泥沙主要来源区的河口镇至龙门区间的黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀和进入黄河的泥沙量大致相等, 得出黄土丘陵沟壑区泥沙输移比为 1。景可^[24]也认为黄土高原绝大多数地区泥沙输移比接近 1, 只有渭河下游、河套谷地、汾河中下游及晋西北宽谷区泥沙略有沉积。许炯心^[25-26]研究得出, 龙门至三门峡 1965—1985 年排沙比平均值为 0.931, 三门峡至花园口河段 1950—1984 年排沙比平均值为 0.883, 综合上述研究结果, 河口镇至龙门区间泥沙输移比为 1, 龙门至三门峡区间泥沙输移比为 0.931 和三门峡至花园口区间泥沙输移比为 0.883, 即以三者平均值 0.938 为黄河中游黄土高原的泥沙输移比。

关于黄土高原水利水土保持措施减沙量, 因研究方法和研究区域的差异结果差别较大: 冉大川^[27]对黄河中游河龙区间及泾河、北洛河、渭河流域水土保持减沙效益的研究结果表明, 在 1970 年以前水利水土保持措施减沙量的基础上, 1970—1996 年, 以上区域水利水土保持措施年均减沙量 4.5 亿 t; 有关研究结果^[28]表明, 至 20 世纪 80 年代, 黄河上中游水利水土保持措施年平均减少泥沙量约为 3 亿 t; 根据水利部、中国科学院和中国工程院 2005—2007 年对西北黄土高原考察结果^[29], 至 2005 年底, 黄土高原地区水土保持措施平均每年减少入黄泥沙约 4.1 亿 ~ 4.5 亿 t。因此, 充分考虑河口镇以上黄土高原水土保持措施减沙量以及中游黄土高原水利措施减

沙量的相对稳定性,在推算黄河中游黄土高原土壤容许流失量上限值(即 T_2 值)的前提下,选取4.0亿t作为黄土高原水利水土保持措施年均减沙量,以此来推算黄土高原土壤容许流失量的上限值。

在黄河下游河道临界输沙量的基础上,加上黄土高原水利水土保持措施年均减沙量,减去黄河中游上端头道拐水文站多年(1960—1988年)平均输沙量1.31亿t,然后利用黄河中游黄土高原泥沙输移比,最终得到黄河中游黄土高原土壤容许流失量。以达到Ⅱ类水质标准为前提,不同水文年黄土高原土壤容许流失量分别为丰水年11.32亿t,平水年9.84亿t和枯水年7.08亿t,平均值为9.41亿t;而达到Ⅱ类水质标准的不同水文年黄土高原土壤容许流失量平均值均为8.41亿t(表4)。

5 结论

1) 黄河下游花园口至高村河段水沙平衡时的临界输沙量为平水年6.54亿t,丰水年8.83亿t,枯水年3.95亿t,平均值6.44亿t。

2) 黄河下游水体水质达到Ⅲ类和Ⅱ类水质标准的临界输沙量分别为三门峡断面6.43亿和4.91亿t,花园口断面9.90亿和5.70亿t,高村断面7.45亿和4.99亿t,三门峡至高村河段平均值为7.93亿和5.20亿t。

3) 黄河下游达到Ⅲ类水质标准和水沙平衡的中游黄土高原土壤容许流失量平均值为9.41亿t,达到Ⅱ类水质标准和水沙平衡的中游黄土高原土壤容许流失量平均值为8.41亿t。

6 讨论

1) 关于黄河下游的冲淤平衡,胡春宏等^[30]以1974—1979年实际水沙为蓝本,得到黄河下游冲淤率为0的临界含沙量为 21 kg/m^3 ;刘继祥等^[31]根据大量实测资料分析表明,黄河下游小浪底以下河道在 $2\ 600 \text{ m}^3/\text{s}$ 流量和 20 kg/m^3 含沙量时,河道基本可维持冲淤平衡;龙毓骞等^[32]根据黄河下游三门峡以下河段1950年以来的实测冲淤资料分析得到黄河下游临界冲淤平衡的含沙量也接近 21 kg/m^3 。依据以上研究结果,根据花园口站多年(1974—2007年)平均径流量 320.70 亿 m^3 ,计算出黄河下游河道冲淤平衡时的临界输沙量为6.70亿t;许炯心等^[1]以1962—1985年水沙资料为依据,得出下游河道泥沙不淤的年来沙量应小于7.00亿t,因此,笔者得出的6.44亿t作为平衡状态下黄河下游冲淤平

衡时的临界输沙量具有一定的合理性。但需要指出的是,笔者没有考虑高含沙洪水、下游不同河段的河床及边界条件的差异、洪水沿程衰减及人类引水引沙的影响,通过高村水文站的计算,结果略小于花园口站,偏小9.6%。对于大于 $4\ 000 \text{ m}^3/\text{s}$ 的洪水,可能会形成漫滩,或主槽冲刷滩区淤积现象^[18],在计算临界含沙量时没有考虑此流量级流量的影响,可能会对结果产生一定的影响;此外,结果是在全沙条件下得出的,对于不同粒径组泥沙,黄河下游的输沙能力是不同的,而来自黄河中游多沙粗沙区的 $>0.025 \text{ mm}$ 的粗泥沙是黄河下游淤积的主体。因此,冲淤平衡条件下的临界输沙量有待进一步深入研究,以便得出更合理的结果。

2) 对于黄河下游水体水质非点源污染情况,李强坤等^[4]对潼关断面不同水文年非点源污染负荷占总污染负荷的比例分析结果表明,氨氮所占比例为24.6%~61.3%,全磷变化范围为71.7%~89.8%。在利用根据黄河流域现状对平均浓度法^[15]进行改进的非点源估算公式^[4]估算过程中,将污染物看成是均匀分布的平衡状态,未考虑泥沙对污染物的吸附和解吸作用及沉积和冲刷对污染物再分布的影响;另外,仅以潼关断面的污染浓度,而且由于潼关断面2006年为枯水年份,输沙量为有实测资料以来的最低值2.47亿t,可能导致估算的非点源污染负荷结果偏低,估算的临界输沙量的结果可能偏小。因此,仍需在估算方法及干流非点源污染资料进行完善的基础上,研究污染物在水体和泥沙中的分布情况,特别是泥沙吸附和解吸的双重作用对污染物分布的影响,进一步科学分析水质标准要求下的临界输沙量。

3) 黄土高原全新世中期(距今7 000~3 000年)土壤侵蚀量约9.75亿t,由于人类活动有限,可视为自然侵蚀量^[33]。申元村等^[34]也以9.75亿t作为黄土高原治理目标的第2目标(第1目标是从黄河下游行洪安全考虑,黄土高原土壤侵蚀的泥沙来源量应减至12亿t/a),这与笔者得出的结果比较接近。而目前黄河下游河道的输沙量已低于这个标准,如2000—2008年,潼关、花园口水文站的平均输沙量为3.34亿和1.11亿t,但并不意味着黄土高原的水土流失治理就达到了目标,因为入黄泥沙量的减少主要是由于水土保持工程拦沙和降雨减少所致,1971—1985年,黄河输沙量较1954—1970年减少了7.93亿t,其中水利水土保持措施减沙量3.35亿t占42.2%,而降雨因素占57.8%^[35]。一旦降

水,尤其是暴雨增加,高强度的土壤侵蚀状况仍会出现^[34],就某一区域来说,遇到特大暴雨,土壤流失量仍然是很严重的。例如:1994年,北洛河流域吴旗县以上 3 440 km²区域的输沙模数达到了 5 万 8 720.9 t/km²;1994年,无定河流域李家河和绥德 2 站的输沙模数也分别达到了 3 万 2 961.6 和 2 万 5 687.1 t/km²;1996年,延河流域延安水文站的输沙模数达到了 2 万 6 870.3 t/km²;2002年,清涧河上游子长站的输沙模数达到了 7 万 4 044.0 t/km²。而且,黄土高原侵蚀产沙主要集中于汛期的几场暴雨,年最大一次降雨的侵蚀产沙量就占全年总产沙量的 60%,最大 2 次降雨量可占全年产沙量的 80% 以上^[36]。关于黄土高原的治理标准,笔者认为:一是应是常态下的土壤流失量,因为特殊年份的特大暴雨所造成的土壤流失状况是难以避免的;二是应根据不同土壤侵蚀类型和不同区域特征来制订,如对于土壤容许流失量为 1 000 t/km²的标准,一些侵蚀类型区是永远达不到的,而一些植被较好的土石山区早已低于这个标准;三是黄土高原的治理标准应着眼于黄土高原区域的生态环境问题,而不是单从黄河的角度来考虑。因此,还需在本文研究的基础上进一步完善,依据黄土高原不同治理区的土壤侵蚀产沙特征、水土保持效益及区域的生态与社会功能的要求,研究黄土高原不同侵蚀类型区以及不同土地利用类型的土壤容许流失量及其上限值 (T_2),这将对黄土高原治理目标的确定和“维持黄河健康生命”具有重要的指导意义。

7 参考文献

- [1] 许炯心,胡春宏,陈建国. 不同粒径组泥沙对黄河下游沉积的影响及其在黄河治理中的意义[J]. 中国科学 E 辑:技术科学, 2009, 39(2): 310-317
- [2] 申冠卿,张晓华,李勇,等. 1986年来黄河下游水沙变化及河道演变分析[J]. 人民黄河, 2000, 22(9): 10-16
- [3] 高宏,暴维英,张曙光. 多沙河流污染化学与生态毒理研究[M]. 郑州:黄河水利出版社, 2001
- [4] 李强坤,李怀恩,胡亚伟,等. 黄河干流潼关断面非点源污染负荷估算[J]. 水科学进展, 2008(4): 460-466
- [5] 韩凤鹏,郑纪勇,王云强,等. 黄河支流非点源污染物(N、P)排放量的估算[J]. 环境科学学报, 2006, 26(11): 1893-1899
- [6] 孟伟,于涛,郑丙辉,等. 黄河流域氮磷营养盐动态特征及主要影响因素[J]. 环境科学学报, 2007, 27(12): 2046-2051
- [7] 刘晓燕,张建中,张原峰. 黄河健康生命的指标体系[J]. 地理学报, 2006, 61(5): 451-460
- [8] 关君蔚. 水土保持原理[M]. 北京:中国林业出版社, 1996: 55-180
- [9] 樊振国. 保持长期土壤生产力的容许土壤流失量[J]. 水土保持科技情报, 1988(2): 39-41
- [10] Schertz D L. The basis for soil loss tolerance[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1983, 38(1): 10-14
- [11] 胡一三,张晓华. 略论二级悬河[J]. 泥沙研究, 2006(5): 1-9
- [12] 叶青超. 黄河流域环境演变与水沙运行规律[M]. 济南:山东科学技术出版社, 1994
- [13] 黄河水利委员会勘测设计研究院. 黄河下游冲淤特性研究[R]. 郑州:黄河水利委员会勘测设计研究院, 1999
- [14] 韩其为. 黄河下游输沙及冲淤的若干规律[J]. 泥沙研究, 2004(3): 1-14
- [15] 李怀恩. 估算非点源污染负荷的平均浓度法及其应用[J]. 环境科学学报, 2000, 20(4): 397-400
- [16] 黄河水资源公报[EB/OL]. [2010-03-18]. <http://www.yellowriver.gov.cn/other/hhgb/2006.htm>
- [17] 孙高虎. 水沙变异条件下黄河下游河道纵横剖面的影响[D]. 北京:中国水利水电科学研究院, 2006
- [18] 刘继祥,安催花,曹芹,等. 小浪底水库拦沙初期调控流量分析论证[J]. 人民黄河, 2000, 22(8): 26-27
- [19] 戴清,张治昊,胡健,等. 黄河下游引黄灌区渠系工程技术问题及解决对策[J]. 中国水利, 2008(26): 10-12
- [20] 陈静生,余涛. 对黄河泥沙与水质关系的研究:回顾及展望[J]. 北京大学学报:自然科学版, 2005, 41(06): 950-956
- [21] 蔡志恒. 水土流失的发生与危害[J]. 中国水土保持, 1981(3): 1-7
- [22] 赵沛伦,申献辰,夏军,等. 泥沙对黄河水质影响及重点河段水污染控制[M]. 郑州:黄河水利出版社, 1998: 91-106
- [23] 龚时暘,熊贵枢. 黄河泥沙的来源和地区分区[J]. 人民黄河, 1979(1): 7-17
- [24] 景可. 黄土高原泥沙输移比的研究//陈永宗. 黄河粗泥沙来源及侵蚀产沙机理研究文集[G]. 北京:气象出版社, 1989: 14-26
- [25] 许炯心. 黄河下游排沙比研究[J]. 泥沙研究, 1997(1): 49-54
- [26] 许炯心. 黄河干流龙门至三门峡间泥沙沉积汇的研究[J]. 地理学报, 2009, 64(5): 515-530
- [27] 冉大川. 黄河中游水土保持措施减沙量宏观分析[J]. 人民黄河, 2006, 28(11): 39-41

(下转第 23 页)

20 年 NDVI 值的时空变化及其与降雨量的关系, 对退耕还林政策对植被变化的影响做了初步探讨。由于综合因素和资料限制, 目前很难将降雨影响和人为影响所占的比例区分开来, 这也是今后应当继续研究的。

6 参考文献

- [1] 唐克丽. 中国水土保持 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 60
- [2] Schardt H, Gitelson A. Temporal and spatial vegetation cover changes in Israeli transition zone: AVHRR-based assessment of rainfall impact [J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21: 1997-2010
- [3] Nicholson S E, Davenport M L, Malo A R. A comparison of the vegetation response to rainfall in the Sahel and East Africa using NDVI from NOAA AVHRR [J]. Climatic Change, 1990, 17: 209-241
- [4] 孙睿, 刘昌明, 朱启疆. 黄河流域植被覆盖度动态变化与降水的关系 [J]. 地理学报, 2001, 56 (6): 667-672
- [5] 杨忠东, 杨虎, 谷松岩. 西北地区陆地生态系统植被状态参数业务化遥感研究 [J]. 气候与环境研究, 2004, 9 (1): 54-64
- [6] 韦红波, 李锐, 杨勤科. 我国植被水土保持功能研究进展 [J]. 植物生态学报, 2002, 26 (4): 489-496
- [7] 李震, 阎福礼, 范湘涛. 中国西北地区 NDVI 变化及其与温度和降水的关系 [J]. 遥感学报, 2005, 9 (3): 308-313
- [8] 钱林清. 黄土高原气候 [M]. 北京: 气象出版社, 1991
- [9] 杨勤科. 黄土高原和秦巴山地的土地资源类型区划分 [J]. 西北农学报, 1995 (增刊): 19-22
- [10] Hoben B N. Characteristics of maximum-value composite images for temporal AVHRR data [J]. Remote Sensing, 1986, 7: 1435-1445
- [11] 刘志红. 基于遥感与 GIS 的全国水蚀区水土流失评价 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2007
- (责任编辑: 宋如华)
- (上接第 15 页)
- [28] 王玲. 黄河水沙变化对河流系统的影响 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1998
- [29] 西北黄土高原考察组. 分区一: 西北黄土高原 [J]. 中国水利, 2009(7): 15-19
- [30] 胡春宏, 郭庆超. 黄河下游河道泥沙数学模型及动力平衡临界阈值探讨 [J]. 中国科学 E 辑: 技术科学, 2004, 34(增刊 I): 133-143
- [31] 刘继祥, 郜国明, 曾芹, 等. 黄河下游河道冲淤特性研究 [J]. 人民黄河, 2000, 22(8): 11-12
- [32] Long Y Q, Liang G T, Zhang Y F, et al. Range survey of deposition in the lower Yellow River [J]. International Journal of Sediment Research, 2002, 17(2): 91-101
- [33] 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其治理途径 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1990: 82-219
- [34] 申元村, 洪清华. 黄土高原土壤侵蚀有效防治战略 [J]. 中国水土保持科学, 2003, 1(2): 22-27
- [35] 陈永宗. 黄河泥沙来源及侵蚀产沙的时间变化 [J]. 中国水土保持, 1988(1): 23-29
- [36] 王万忠, 焦菊英. 黄土高原水土保持减沙效益预测 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002
- (责任编辑: 宋如华)