

汾河中下游复流前后水环境容量及 排污控制量研究

邢肖鹏,王少璇,冯民权

(西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室,陕西 西安 710048)

[摘要] **【目的】**明确汾河中下游水环境容量,改善水质不断恶化的状况,促进地区经济与水环境容量的协调发展。**【方法】**在一维稳态水质模型的基础上对排污口进行概化,推导出河段水环境容量计算公式。根据已有水质、水文监测资料和沿岸排污情况,选取污染物中所占比例最大的化学需氧量(COD)和氨氮作为河段的主要污染控制因子,计算出复流前枯、平、丰各频率年和复流后 COD、氨氮的水环境容量。**【结果】**汾河中下游复流前枯、平、丰各频率年 COD、氨氮的全年水环境容量分别为 27 454.63 t,1 107.40 t;40 910.53 t,1 621.34 t;55 832.85 t,2 202.48 t。复流后 COD 和氨氮的全年水环境容量分别为 26 512.22 t,1 031.60 t。**【结论】**汾河中下游污染严重,结合现状排污量计算得 COD 和氨氮在各设计条件下全年削减量分别为 0~20 949.08 t 和 6 443.72~7 614.61 t。

[关键词] 汾河中下游;水环境容量;一维稳态水质模型;污染物削减

[中图分类号] X522

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2010)05-0217-07

Research of the water environmental capacity and the sewage control amount in the lower-middle reaches of the Fen River on the condition of pre-reflow and after reflow

XING Xiao-peng, WANG Shao-xuan, FENG Min-quan

(Key Laboratory of Northwest Water Resources and Environmental Ecology of Education Ministry,
Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: **【Objective】** The study was done in order to know the environmental capacity and improve the continual deterioration of the water quality of lower-middle reaches of the Fen River, and promote the harmonious development of economy and aquatic environment. **【Method】** Based on the 1-D steady-state water quality model, we generalized the outfall, then derived the formula for calculating water environmental capacity of each reach. We chose COD and ammonia nitrogen as main control factors, with the information of water quality, hydrology data and the discharge points distribution of dry year, normal-water year and wet year in pre-reflow and after reflow, and calculated the water environmental capacity of COD and ammonia with the formula. **【Result】** Annual water environmental capacity of COD and ammonia in the lower-middle reaches of the Fen River on the condition of dry year, normal-water year and wet year in pre-reflow is respectively 27 454.63 t, 1 107.40 t; 40 910.53 t, 1 621.34 t; 55 832.85 t, 2 202.48 t, and after reflow is respectively 26 512.22 t and 1 031.60 t. **【Conclusion】** There is serious pollution in lower-middle reaches of the Fen River, under different design terms with the status quo emissions, the annual quantity of pollutants

* [收稿日期] 2009-11-09

[基金项目] 山西省水利厅科技计划基金项目(2008-6-19)

[作者简介] 邢肖鹏(1960—),男,河北深泽人,高级工程师,在读博士,主要从事水环境模拟与污染控制研究。

[通信作者] 冯民权(1964—),男,山西永济人,教授,博士生导师,主要从事水环境数值模拟研究。

E-mail: wangshaoxuan@gmail.com

reduction of COD and ammonia arrive at 0—20 949.08 t and 6 443.72—7 614.61 t.

Key words: lower-middle reach of the Fen River; water environmental capacity; 1-D water quality model; quantity of pollutants reduction

水环境容量是指水体在规定的目标下所能容纳的最大污染量,它反映了污染物在环境中的迁移、转化和积存规律,也反映了水环境容量在满足特定功能条件下对污染物的承受能力,其容量大小与水体特征、水质目标及污染物特性有关^[1]。国外一般采用随机理论和系统理论对水环境容量进行研究。Ecker^[2]、Liebman 等^[3]、Louks 等^[4]将流量等参数作为确定性变量并建立模型,对超标风险下的污染负荷进行了研究。Fujiwara 等^[5]则将流量等作为已知概率分布的随机变量,用概率约束模型研究污染负荷及其分配。Donald 等^[6]用一阶不确定性分析方法,将水质随机变量转化为不确定性变量来计算排污量。在国内,对水环境容量的研究始于 20 世纪 70 年代^[7],70 年代至 80 年代初,在对黄河兰州段、松花江、淮河蚌埠段和漓江段等水环境质量评价中,分别研究和探讨了水环境自净规律、水质数学模型的数学处理方法,从不同角度提出和应用了水环境容量的概念^[8]。“六五”期间,国家科技攻关项目的开展使人们在一些数学模型改进、参数识别方法、二维动态流体力学方程和扩散方程模拟、河口海湾流场模拟、污染物浓度场模拟等方面均取得了重大进展。“七五”期间开发了多目标评价模型、非点源模型、富营养化生态模型、大规模系统规划模型等,并提出了可分配水环境容量的概念。20 世纪 90 年代以来,水环境容量研究已全面进入了应用阶段。

汾河径流量时空分布变幅大,年际年内变化显著,丰、枯水期径流量相差悬殊,水污染严重。但迄今为止,对于汾河水域的研究仅限于水质现状的监测与分析、单一的化学需氧量污染现状和改善,以及部分河段水污染分析与防治措施研究等。为此,本研究针对汾河干流中下游主要污染物水环境容量和污染物削减量进行研究,以全面而重点地掌握河流污染程度及污染物种类、数量、性质及时空变化规律,以期为其排放水污染物总量控制提供科学依据。

1 汾河水环境现状

汾河是山西省最大的河流,发源于宁武县境内管涔山脚下的雷鸣寺,全长 716 km,于天津县汇入黄河。据多年资料统计,汾河年平均接纳污水量约占全省污水排放总量的 50%,其中太原、晋中、临汾

3 地市污水排放量占汾河接纳污水总量的 90%。除汾河源头太原兰村 218 km 河段基本符合地表水三类标准外,汾河中下游河段水体都已受到不同程度的污染。

近 20 年来,汾河中下游流域内乡镇企业发展迅猛,相继建起了大批洗煤、选矿、炼焦、造纸等污染企业,加重了汾河的污染状况。在对汾河中下游代表断面 10 年水质状况的分析中可以看出,位于汾河中游太原排污控制区的小店桥断面,水质始终为劣 V 类,超标项目达 7 项之多,主要污染物有氨氮(NH₃-N)、化学需氧量(COD)、挥发酚、溶解氧、5 日生化需氧量、亚硝酸盐氮、氟化物、总汞及石油类等,其中前 3 项污染物每年均超标;下游临汾水质监测断面水质始终为劣 V 类,超标项目为 5~8 项,主要污染物有氨氮、化学需氧量等,其中氨氮超标达 8.9~51.0 倍,化学需氧量超标为 1.1~7.2 倍^[9]。同时,由于排放的污水中含有重金属元素,导致汾河沉积物中富集了较多重金属,但从水文局提供的河流水体水质资料可以看出,近几年水质重金属的监测资料中并没有发现重金属严重超标情况。因此,本研究主要以污染物中所占比例最大的 COD 和氨氮作为水环境容量的控制污染物进行研究。

2 水环境容量模型的建立

水质模型是描述河流水体中污染物变化的数学表达式。由于研究区域内的汾河中下游流域属于中小河流,且同时满足以下条件:(1)宽深比较小;(2)污染物在横向和垂向上能快速混合;(3)横向和垂向的污染物质量浓度梯度可以忽略。因而,污染物质量浓度的变化可以由式(1)的一维稳态水质模型进行描述^[10-11],

$$u \frac{\partial C}{\partial x} = E \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - KC, \quad (1)$$

式中: u 为河道断面的平均流速,m/s; C 为污染物质量浓度,mg/L; x 为沿河段的纵向距离,m; E 为河流纵向离散系数,m²/s; K 为污染物综合衰减系数,s⁻¹。若忽略离散作用,即 $E=0$ 时,式(1)的解析式为:

$$C_x = C_0 \exp\left(-K \frac{x}{u}\right), \quad (2)$$

式中: C_x 为流经 x 距离后的污染物质量浓度,

mg/L; C_0 为上游断面的污染物质量浓度,mg/L;其余符号意义同上。

污染物一般是沿河岸分多处排放的,即每 1 个计算河段内可能存在多个污染源。为简化排污口分布所带来的水环境容量计算的复杂性,将计算河段内的多个排污口概化为 1 个集中的排污口,假定概化排污口位于计算河段始端,即相当于 1 个集中点源^[12]。

当河段下断面水质目标为 C_s 时,即 $C_x=C_s$,根据式(2)可以推导出河段 i 的水环境容量计算模型为:

$$W_i=86.4[(Q_i+q_i)\cdot C_{si}\cdot \exp\left(\frac{K_i\cdot L_i}{86\,400\,u_i}\right)-C_{0i}\cdot Q_i],\tag{3}$$

其中

$$C_{0i}=\begin{cases} C_{si}, & \text{上方河段水质目标要求} < \text{本河段}; \\ C_{0i}, & \text{上方河段水质目标要求} \geq \text{本河段}. \end{cases}$$

式中: W_i 为第 i 河段的水环境容量,kg/d; Q_i 为第 i 河段的设计流量, m^3/s ; q_i 为第 i 河段的排污量, m^3/s ; C_{si} 为第 i 河段所在功能区水质目标值,mg/L; K_i 为第 i 河段污染物降解系数, d^{-1} ; L_i 为第 i 河段长度,m; u_i 为第 i 河段设计平均流速,m/s; C_{0i} 为第

i 河段上方河段所在功能区水质目标值,mg/L。

3 水环境容量模型计算条件的确定

1980 年以来,汾河大部分水量被引用消耗,汾河断流严重,其中中游是断流最严重的河段,在非灌溉引水期基本处于断流状态,河道内往往只有少量污水,下游河段断流情况相对较好。1998 年,规划从黄河干流和沁河跨流域向汾河调水,其中水量调度方案分为近期 2 年(2008—2009 年)、中期 3 年(2010—2012 年)和远期 8 年(2013—2020 年)。近期规划中引黄工程增加的 1.5 亿 m^3 和引沁入汾工程用于汾河生态的 0.5 亿 m^3 ,为本次生态修复供水增加的可用水量^[13]。本研究分别对汾河复流前枯、平、丰水年与复流后 95% 频率年,不同条件下水环境容量进行计算。

3.1 河流功能区段的划分

水环境容量计算的前提条件:一是进行区段划分,二是选好功能区段所要求的水质目标。水质目标取决于使用功能,参考《山西省水功能区划》(2006 年晋水字(2006)283 号文颁布实施),可以得到汾河干流中下游水功能区段的划分及水质目标要求,如表 1 所示。

表 1 汾河干流中下游各河段的划分及水质目标

Table 1 Water quality target in each section of lower-middle reaches of the Fen River						
功能区段编号 Function section number	水功能区名称 Name of water function areas	范围 Bound			水质现状 Water quality status	水质目标 Water quality target
		起始断面 Starting section	终止断面 End section	长度/km Length		
1	汾河太原排污控制区 Emission control area of the Fen River in Taiyuan	南内环桥 South Inner Ring Bridge	小店桥 Xiaodian Bridge	13	劣 V Worse than grade V	V
2	汾河小店过渡区 Xiaodian transition zone of the Fen River	小店桥 Xiaodian Bridge	二坝 2nd Dam	24	劣 V Worse than grade V	V
3	汾河太原农业用水区 Agricultural water district of the Fen River in Taiyuan	二坝 2nd Dam	市界 Municipal border	23	劣 V Worse than grade V	V
4	汾河晋中农业用水区 Agricultural water district of the Fen River in Jinzhong	市界 Municipal border	介休宋古 Jiexiu Songgu	65.4	劣 V Worse than grade V	V
5	汾河介休排污控制区 Emission control area of the Fen River in Jiexiu	介休宋古 Jiexiu Songgu	义棠 Yitang	12	劣 V Worse than grade V	V
6	汾河介休灵石过渡区 Transition zone of the Fen River in Jiexiu Lingshi	义棠 Yitang	两渡 Liangdu	10.3	劣 V Worse than grade V	V
7	汾河灵石工业农业用水区 Lingshi industrial agricultural water district of the Fen River	两渡 Liangdu	市界 Municipal border	36.7	劣 V Worse than grade V	V
8	汾河汾西灌区农业用水区 Irrigation water for agricultural use zone in the east of the Fen River	市界 Municipal border	南王 Nangwang	58.7	劣 V Worse than grade V	Ⅳ
9	汾河洪洞农业用水区 Agricultural water district of the Fen River in Hongtong	南王 Nanwang	北郊 Northern suburb	30	劣 V Worse than grade V	V

续表 1 Continued table 1

功能区段编号 Function section number	水功能区名称 Name of water function areas	范围 Bound			水质现状 Water quality status	水质目标 Water quality target
		起始断面 Starting section	终止断面 End section	长度/km Length		
10	汾河临汾景观娱乐用水区 Landscape entertainment water district of the Fen River in Linfen	北郊 Northern suburb	外环桥 Outer Bridge	6	劣 V Worse than grade V	V
11	汾河临汾排污控制区 Emission control area of the Fen River in Linfen	外环桥 Outer Bridge	尧庙 Yaomiao	5	劣 V Worse than grade V	V
12	汾河临汾过渡区 Transition zone of the Fen River in Linfen	尧庙 Yaomiao	金殿 Mirage	5	劣 V Worse than grade V	V
13	汾河临汾农业用水区 Agricultural water district of the Fen River in Linfen	金殿 Mirage	市界 Municipal border	54.9	劣 V Worse than grade V	V
14	汾河汾南农业用水区 Agricultural water district in the north of the Fen River	市界 Municipal border	稷山 Millet Mountain	62.7	劣 V Worse than grade V	V
15	汾河稷山排污控制区 Emission control area of the Fen River in Millet Mountain	稷山 Millet Mountain	新店 Xindian	8	劣 V Worse than grade V	V
16	汾河河津缓冲区 The buffer area of the Fen River in Hejin	新店 Xindian	入黄口 Into the yellow port	38.3	劣 V Worse than grade V	IV

3.2 评价因子及其水环境质量标准

根据水质监测资料,入河污染物中化学需氧量(COD)和氨氮(NH₃-N)所占的比例最大,因此选取这 2 项作为水环境容量的评价因子,其水环境质量标准限值如表 2 所示。

表 2 地表水环境质量标准限值

Table 2 Standards for surface water

environmental quality			mg/L
类型 Type	化学需氧量 COD	氨氮 NH ₃ -N	
I 类 Class I	≤15	≤0.15	
II 类 Class II	≤15	≤0.5	
III 类 Class III	≤20	≤1.0	
IV 类 Class IV	≤30	≤1.5	
V 类 Class V	≤40	≤2.0	

3.3 计算参数的选择

3.3.1 降解系数 根据汾河实际情况, COD

的降解系数值取为 0.20~0.48 d⁻¹,平均为 0.34 d⁻¹;氨氮的 *k* 值取为 0.12~0.32 d⁻¹,平均为 0.22 d⁻¹。

3.3.2 水文参数 不同河段、不同流量条件下河流的水环境容量是不同的。根据相关资料^[14]提供的有水文站控制的水功能区,采用 1956—2006 年系列资料,结合北方季节性河流的特点,复流前选取不同频率年(50%,75%,95%)枯季(10 月至翌年 5 月)平均流量进行水环境容量计算,对复流后按 95%保证率最枯月平均流量进行计算。

本研究在对以上各计算参数进行选择时采用文献^[14]所提供的数据,其中包括河长、入河排污量、不同频率年各河段的设计流量和降解系数等参数。所得结果如表 3,4 所示。

表 3 汾河干流中下游复流前各水功能区的计算参数

Table 3 Different parameters in different function areas of lower-middle reaches of the Fen River pre-reflow

功能区段 编号 Function section number	枯水年(95%) Dry season			平水年(75%) Normal-water period			丰水年(50%) Wet season		
	流量/ (m ³ ·s ⁻¹) Flow	降解系数/d ⁻¹ Degradation factor		流量/ (m ³ ·s ⁻¹) Flow	降解系数/d ⁻¹ Degradation factor		流量/ (m ³ ·s ⁻¹) Flow	降解系数/d ⁻¹ Degradation factor	
		COD	NH ₃ -N		COD	NH ₃ -N		COD	NH ₃ -N
1	2.110	0.42	0.31	5.320	0.44	0.33	9.44	0.46	0.34
2	5.970	0.41	0.32	9.180	0.43	0.34	13.30	0.45	0.35
3	0.110	0.28	0.18	1.940	0.29	0.19	2.15	0.31	0.20
4	0.140	0.25	0.15	1.970	0.26	0.16	2.18	0.28	0.17
5	0.300	0.32	0.28	2.130	0.34	0.29	2.34	0.35	0.31
6	0.110	0.25	0.20	1.270	0.26	0.21	3.18	0.28	0.22
7	0.110	0.25	0.20	1.270	0.26	0.21	3.18	0.28	0.22
8	0.990	0.35	0.25	2.260	0.37	0.26	4.17	0.39	0.28
9	3.580	0.38	0.32	9.600	0.40	0.34	11.70	0.42	0.35
10	4.150	0.32	0.28	8.580	0.34	0.29	11.12	0.35	0.31
11	3.980	0.33	0.30	8.470	0.35	0.32	16.38	0.36	0.33

续表 3 Continued table 3

功能区段 编号 Function section number	枯水年(95%) Dry season			平水年(75%) Normal-water period			丰水年(50%) Wet season		
	流量/ (m ³ ·s ⁻¹) Flow	降解系数/d ⁻¹ Degradation factor		流量/ (m ³ ·s ⁻¹) Flow	降解系数/d ⁻¹ Degradation factor		流量/ (m ³ ·s ⁻¹) Flow	降解系数/d ⁻¹ Degradation factor	
		COD	NH ₃ -N		COD	NH ₃ -N		COD	NH ₃ -N
12	3.810	0.38	0.30	8.300	0.40	0.32	16.21	0.42	0.33
13	4.180	0.41	0.30	8.670	0.43	0.32	16.58	0.45	0.33
14	4.180	0.30	0.23	8.670	0.32	0.24	16.58	0.33	0.25
15	4.770	0.38	0.30	9.260	0.40	0.32	17.17	0.42	0.33
16	4.370	0.42	0.35	8.080	0.44	0.37	20.58	0.46	0.39

表 4 汾河干流中下游复流后各水功能区的计算参数

Table 4 Different parameters in different function areas of lower-middle reaches of the Fen River after reflow

功能区段编号 Function section number	流量/ (m ³ ·s ⁻¹) Flow	降解系数/d ⁻¹ Degradation factor		功能区段编号 Function section number	流量/ (m ³ ·s ⁻¹) Flow	降解系数/d ⁻¹ Degradation factor	
		COD	NH ₃ -N			COD	NH ₃ -N
1	1.04	0.46	0.33	9	1.81	0.42	0.34
2	4.90	0.45	0.34	10	1.23	0.35	0.29
3	2.50	0.31	0.19	11	1.14	0.36	0.32
4	2.53	0.28	0.16	12	0.97	0.42	0.32
5	2.61	0.35	0.29	13	1.34	0.45	0.32
6	1.81	0.28	0.21	14	1.34	0.33	0.24
7	1.81	0.28	0.21	15	0.93	0.46	0.33
8	2.80	0.39	0.26	16	1.10	0.46	0.37

4 水环境容量模型的应用及排污削减量分析

4.1 水环境容量模型的应用

在确定不同频率年各河段计算参数的基础上,根据式(3)计算丰水年、平水年、枯水年的日水环境容量,

日水环境容量之和即为年水环境容量,结果见表 5。

从表 5 可以看出,在不同水文条件下汾河水环境容量是不同的,河段流量越大水环境容量相对越大,因此可以在不同流量下提出不同的排污量,以更加合理充分地利用河流的自净能力进行排污。

表 5 汾河流域复流前后各频率年的 COD、NH₃-N 的水环境容量

Table 5 Capacity of COD and NH₃-N in different seasons of Fen River pre-reflow and after reflow kg/d

功能区段 编号 Function section number	复流前 Pre-reflow						复流后 After reflow	
	COD			NH ₃ -N			COD	NH ₃ -N
	枯水年 Dry season	平水年 Normal-water period	丰水年 Wet season	枯水年 Dry season	平水年 Normal-water period	丰水年 Wet season		
1	16 771.50	20 369.90	24 738.54	797.20	968.40	1 174.02	15 792.10	745.48
2	5 157.58	7 586.74	10 490.30	202.13	298.06	403.02	4 896.05	185.78
3	213.90	1 149.06	1 288.81	7.72	37.57	41.34	1 564.42	47.35
4	2 701.81	4 608.71	4 971.04	71.09	135.97	144.05	5 312.78	145.07
5	1 020.07	1 494.25	1 525.92	49.30	69.09	71.74	1 737.64	78.12
6	57.72	327.02	720.17	2.30	13.11	28.07	502.25	18.63
7	736.10	1 273.14	2 179.51	31.05	52.85	86.38	1 582.02	60.91
8	13 223.34	14 938.68	18 849.71	509.85	586.37	754.65	17 371.32	648.55
9	6 590.98	10 538.24	11 875.53	294.41	461.08	508.62	6 419.74	278.60
10	1 101.25	1 570.55	1 827.36	50.74	69.95	83.20	732.82	33.94
11	1 637.86	2 087.20	3 205.49	79.37	100.02	151.28	1 366.18	66.75
12	494.45	902.47	1 495.26	19.53	36.06	58.64	203.33	7.80
13	8 009.56	14 323.20	23 927.47	272.80	500.28	826.10	5 838.26	179.85
14	12 442.67	23 258.72	32 296.58	435.12	794.07	1 139.50	5 330.20	171.93
15	1 641.68	2 454.51	3 725.56	69.55	102.47	150.66	932.35	40.04
16	3 417.69	5 201.27	9 849.48	141.83	216.70	412.92	3 054.74	117.49
合计 Total	75 218.15	112 083.65	152 966.71	3 033.98	4 442.02	6 034.18	72 636.21	2 826.29

4.2 排污削减量的分析

排污削减量的计算公式^[15]如下：
$$X=P-W。$$
(4)

t/a;W 为水环境容量,t/a。

根据式(4)求得汾河中下游河段排污削减量值,如表 6 所示。

式中:X 为排污削减量,t/a;P 为污染物入河量,

表 6 汾河流域复流前后各频率年的 COD、NH₃-N 排污削减量

Table 6 The quantity of pollutants reduction of COD and NH₃-N in different seasons of Fen River pre-reflow and after reflow

t/a

功能区段 编号 Function section number	复流前 Pre-reflow						复流后 After reflow	
	COD			NH ₃ -N			COD	NH ₃ -N
	枯水年 Dry season	平水年 Normal-water period	丰水年 Wet season	枯水年 Dry season	平水年 Normal-water period	丰水年 Wet season		
1	19 525.30	18 211.89	16 617.33	5 563.62	5 501.14	5 426.08	19 882.78	5 582.50
2	-412.32	-1 298.96	-2 358.76	141.42	106.41	68.10	-316.86	147.39
3	-2.87	-344.21	-395.22	1.38	-9.51	-10.89	-495.81	-13.08
4	443.34	-252.68	-384.93	142.95	119.27	116.32	-509.67	115.95
5	1 665.07	1 492.00	1 480.44	359.71	352.48	351.52	1 403.16	349.19
6	-15.87	-114.16	-257.66	-0.74	-4.69	-10.14	-178.12	-6.70
7	824.62	628.60	297.78	41.47	33.51	21.27	515.86	30.57
8	852.08	225.98	-1 201.54	636.41	608.48	547.05	-661.93	585.78
9	1 963.89	523.14	35.03	264.34	203.51	186.16	2 026.40	270.11
10	201.75	30.45	-63.29	60.58	53.57	48.73	336.22	66.71
11	1 566.88	1 402.87	994.70	300.03	292.49	273.78	1 666.04	304.64
12	-167.37	-316.30	-532.67	-5.13	-11.16	-19.40	-61.12	-0.85
13	-2 793.39	-5 097.87	-8 603.43	-80.07	-163.10	-282.03	-2 000.87	-46.15
14	-4 413.97	-8 361.83	-11 660.65	-131.62	-262.63	-388.72	-1 817.92	-35.56
15	877.79	581.10	117.17	271.12	259.10	241.51	1 136.69	281.88
16	-108.26	-759.26	-2 455.86	-26.67	-54.00	-125.61	24.22	-17.78
合计 Total	20 006.67	6 550.77	-8 371.55	7 538.80	7 024.86	6 443.72	20 949.08	7 614.61

从表 6 可以看出,基本上所有的河段在各条件下都需要对污染物进行削减,说明汾河中下游段污染严重,现状排放量严重超标,因此现阶段为了改善这种状况,对入河污染物的控制是必需的。

5 结 论

本研究选用一维水环境容量模型,参考文献[14]中所提供的各项计算参数,对汾河中下游水环境容量进行求解,通过对计算结果的分析可得出以下结论:

(1)经计算,汾河中下游复流前 COD 水环境容量在枯、平、丰各频率年分别为 27 454.63,40 910.53 和 55 832.85 t/a,氨氮水环境容量分别为 1 107.40,1 621.34和 2 202.48 t/a;复流后的 COD 和氨氮水环境容量分别为 26 512.22 和1 031.60 t/a。

(2)通过水环境容量计算结果与汾河现状排污量的对比可以看出,现状排污量已严重超出功能区段的水环境容量。汾河中下游复流前 COD 排污削减量在枯、平、丰各频率年分别为 20 006.67,6 550.77和-8 371.55 t/a,NH₃-N 排污削减量分别为 7 538.80,7 024.86 和 6 443.72 t/a;复流后的

COD 和 NH₃-N 排污削减量分别为 20 949.08 和 7 614.61 t/a.因此,应对现状污染源排放量进行削减,同时应有针对性地采取措施,在远期规划中增建污水处理厂,并且加强工业污染源的治理。

(3)对比复流前后枯水年的水环境容量可见,汾河中游始端及下游河段复流后的水环境容量略低于复流前枯水年,且复流后总的水环境容量较复流前枯水年略低,这是由于当 2.0 亿 m³ 生态水量进入汾河以后,在中游大约有 60% 入渗补给给了地下水,部分水量在下游河段被提水灌溉,流入黄河的水量还基本维持现状的总量,只有在断流和接近断流的情况下予以补充。因此,在汾河生态修复水量调度方案中,中期与远期规划的实施是有重大意义并值得期待的。

[参考文献]

[1] 夏 青.流域水污染物总量控制 [M]. 北京:中国环境科学出版社,1996.
Xia Q. The river basin pollutants total quantity control [M]. Beijing:China Environmental Science Press,1996. (in Chinese)
[2] Ecker J G A. Geometric model for optimal allocation of stream dissolved oxygen [J]. Management Science, 1975, 21(6): 658-

668.

[3] Liebman J C,Lynn W R. The optimal allocation of stream dissolved oxygen [J]. Water Resource Research,1966,2(3):581-591.

[4] Loucks D P,Revelle C S,Lynn W R. Mangement models for water quality control [J]. Management Science,1967,14(4):166-181.

[5] Fujiwara O,Gnanendran S K,Ohgaki S. River quality management under streamflow [J]. Journal of Environmental Engineering,1986,112(2):180-181.

[6] Donald H B,Edward A M. Optimization modeling of water quality in an uncertain environment [J]. Water Resource Research,1985,21(7):934-940.

[7] 张永良,刘培哲. 水环境容量综合手册 [M]. 北京:清华大学出版社,1991:138-145.

Zhang Y L,Liu P Z. Comprehensive manual of water environmental capacity [M]. Beijing: Tsinghua University Press,1991:138-145. (in Chinese)

[8] 张永良. 水环境容量基本概念的发展 [J]. 环境科学研究,1992(3):59-60.

Zhang Y L. Water environmental capacity development of the basic concept [J]. Research of Environmental Sciences,1992(3):59-60. (in Chinese)

[9] 梁新阳. 汾河 10 年水质污染分析与治理保护建议 [J]. 山西水利科技,2009(1):71-78.

Liang X Y. On analysis of Fen River's water quality pollution in recent ten years and suggestion of its improvement and protection [J]. Shanxi Hydrotechnics,2009(1):71-78. (in Chinese)

[10] 杨杰军,王琳,王成见,等. 中国北方河流环境容量核算方法研究 [J]. 水利学报,2009,40(2):194-200.

Yang J J,Wang L,Wang C J,et al. Environmental capacity of rivers in North China [J]. Journal of Hydraulic Engineering,2009,40(2):194-200. (in Chinese)

[11] 慕金波,甄文栋,王忠训,等. 山东省河流环境容量及最大允许排污量研究 [J]. 山东大学学报:工学版,2008,38(5):77-93.

Mu J B,Zhen W D,Wang Z X,et al. The water environmental capacity and maximal permitted discharge amount of rivers in Shandong Province [J]. Journal of Shandong University:Engineering Science,2008,38(5):77-93. (in Chinese)

[12] 韩龙喜,朱党生,蒋莉华. 中小型河道纳污能力计算方法研究 [J]. 河海大学学报,2002,30(1):35-38.

Han L X,Zhu D S,Jiang L H. Methods for calculation of water environment capacity of small and mediuin river channels [J]. Journal of Hohai University,2002,30(1):35-38. (in Chinese)

[13] 山西省水利厅. 汾河清水复流工程水量调度方案 [R]. 太原:山西省水利厅,2008.

Department of Water Resource of Shanxi Province. The water resources plan of water-flow project of the Fen River [R]. Taiyuan:Department of Water Resource of Shanxi Province,2008. (in Chinese)

[14] 山西省水资源管理委员会办公室,山西省水文水资源勘测局. 汾河水环境承载能力及限制排污总量研究(初稿) [R]. 太原:山西省水资源管理委员会办公室,2008.

The Office of Water Resources Management Committee of Shanxi Province,Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Shanxi Province. The research of bearing capacity of water environmental and the savage control amount in the Fen River(Draft) [R]. Taiyuan:The Office of Water Resources Management Committee of Shanxi Province,2008. (in Chinese)

[15] 张利民,刘洋,孙卫红,等. 太湖流域漕桥河小流域水环境容量估算及污染物削减分配 [J]. 湖泊科学,2009,21(4):502-508.

Zhang L M,Liu Y,Sun W H,et al. Estimation of water environmental capacity of pollutants reduction in a small watershed of Caoqiao River in Taihu Basin [J]. Journal of Lake Sciences,2009,21(4):502-508. (in Chinese)