

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2012.04.013

# 山西汾河复流前后水环境承载能力分析

张泽宇<sup>1</sup> 梁存峰<sup>2</sup>

(1. 太原理工大学水利科学与工程学院, 山西 太原 030024; 2. 晋中水文水资源勘测分局, 山西 晋中 030600)

**摘要** :在对汾河水质、入河排污量监测的基础上,选取计算模型及相关参数,以掌握汾河复流前后水环境承载能力为主要目的,以各水功能区为基本计算单元,分析计算水功能区不同来水条件下的水域纳污能力,进而提出汾河复流后各行政分区的污染物限排总量及污染物削减率。结果表明:复流后各功能区 COD 和 NH<sub>3</sub>-N 限制排污总量分别为 25 139 t/a 和 1 158 t/a,污染物削减量分别为 24 704 t/a 和 7 857 t/a,平均削减率分别为 49.6% 和 87.2%。若各入河排污口达标排放后,COD、NH<sub>3</sub>-N 仍要削减 15 936 t/a 和 4 356 t/a。

**关键词** :水环境;复流;入河排污量;纳污能力;削减率;山西省;汾河

中图分类号:X32 文献标识码:A 文章编号:1004-6933(2012)04-0058-03

## Analysis of water environmental carrying capacity before and after flow recovery in Fenhe River in Shanxi Province

ZHANG Ze-yu<sup>1</sup>, LIANG Cun-feng<sup>2</sup>

(1. College of Water Conservancy Science and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;

2. Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Jinzhong of Shanxi Province, Jinzhong 030600, China)

**Abstract** :Based on monitoring data of the water quality and pollutant discharge of the Fenhe River, a calculation model and relevant parameters were selected to study the water environmental carrying capacity before and after flow recovery in the river. The water function zone was selected as the basic calculation unit, in order to analyze the water environmental capacity under different water intake conditions. Then, the discharge limit and reduction rate of pollutants in the administrative areas before and after flow recovery in the Fenhe River were calculated. The results show that the discharge limits of pollutants were 25 139 t/a and 1 158 t/a, the reduction amounts of pollutants were 24 704 t/a and 7 857 t/a, and the average reduction rates were 49.6% and 87.2%, respectively, for COD and NH<sub>3</sub>-N in the function zones after flow recovery. If the pollution discharge met the standard at all the discharge outlets of the river, the reduction amounts of COD and NH<sub>3</sub>-N would be 15 936 t/a and 4 356 t/a, respectively.

**Key words** :water environment; flow recovery; pollutant discharge into river; environmental capacity; reduction rate; Shanxi Province; Fenhe River

汾河一直是山西省经济发展的重要资源保障之一。随着经济的发展,快速增长的工农业生产和城市生活取水量使得大部分汾河水量被引用消耗,河道实际流量迅速减少。据统计,汾河流域 1980—2000 年平均地表水利用消耗率为 64.8%,同期平均汇入黄河的水量为 58 471 万 m<sup>3</sup>。根据水文站历年观测资料分析,汾河水库以上各监测断面未有河干和断流现象出现,汾河水库以下各站除赵城、河津两站外均不同程

度出现河干和断流现象,其中断流最严重的汾河二坝站平均断流 138 d/a,义棠站平均断流 100 d/a<sup>[1]</sup>。大量未经处理达标的污水直接排入河道,使汾河干流水质远低于山西省水功能区划规定的水质目标。2008 年山西省政府提出再现“汾河流水哗啦啦”和汾河水生态明显改善的目标,在汾河上中游和下游分别建设了万家寨引黄入晋工程南干线和临汾马房沟引沁入汾工程两个大型调水工程。引黄入晋工程南干线向

汾河引水 3.2 亿  $m^3/a$  临汾马房沟引沁入汾工程设计引水量 5 902 万  $m^3$  除满足生产、生活用水外,用于维持汾河生态需水,保证汾河不断流。污染治理是清水复流工程的一个重要方面。笔者重点针对功能区水质目标,根据 1956—2006 年系列不同水文条件分析计算汾河复流前后的纳污能力,旨在为汾河清水复流后水环境的综合治理提供参考依据。

## 1 复流前水功能区达标状况

根据《山西省水功能区划》,汾河干流总长 693.8 km,共划分 5 个一级水功能区:静乐源头保护区、静乐娄烦开发利用区、古交保留区、太原运城开发利用区和河津缓冲区。在开发利用区内又划分了 20 个二级水功能区,具体见表 1。

表 1 汾河复流前水功能区纳污能力

功能区		总纳污能力/( $t \cdot a^{-1}$ )			
一级	二级	个数	长度/km	COD	NH <sub>3</sub> -N
保护区		1	80.4		
保留区		1	28.2		
缓冲区		1	38.3	812	34
开发利用区	饮用水水源区	1	41.5		
	工业用水区	2	54.7	904	46
	农业用水区	8	361.4	9 489	409
	景观娱乐用水区	2	12.0	387	24
	过渡区	3	39.3	1 130	58
	排污控制区	4	38.0	8 965	404
	二级区小计	20	546.9	20 875	941
	合计	23	693.8	21 687	975

汾河干流有入河排污口 110 处(包括入汾支流口 15 处),其中入河废污水量小于 300 万  $m^3/a$  的排污口 81 处,300 万 ~ 500 万  $m^3/a$  的排污口 8 处,大于 500 万  $m^3/a$  的排污口 21 处,废污水入河量达 33 654 万  $m^3/a$ ,COD 入河量达 49 843  $t/a$ ,NH<sub>3</sub>-N 入河量达 9 015  $t/a$ 。在不同水功能区上,污废水排放主要集中在排污控制区,其污废水年排放量达 17 413 万  $m^3/a$ ,COD 入河量达 31 326  $t/a$ ,NH<sub>3</sub>-N 入河量达 6 858  $t/a$ 。

根据 2006 年汾河水功能区水质监测资料,汾河干流 23 个功能区中,水质达到Ⅱ类的功能区为 1 个;达到Ⅲ类的为 1 个,达到Ⅳ类的 2 个,达到劣Ⅴ类的 19 个,占汾河水功能区总数的 82.6%。对照水功能区水质目标,仅 3 个功能区水质达标,达标率仅为 13%。

## 2 纳污能力计算与分析方法

纳污能力计算的重点区是水功能区的开发利用区(饮用水源区除外),对于需要改善水质的保留区和缓冲区,也同时计算其纳污能力。根据各二级水功能区的设计条件和水质目标,以各水功能区为计算单元,自上而下逐段进行水域纳污能力计算。

## 2.1 选用模型

根据污染物在各河段横断面上均匀混合的特点,采用河流一维模型<sup>[2-4]</sup>:

$$W = 31.53d[(Q + q)\rho_s - Q\rho_0 e^{\frac{-kx}{86.4u}}] e^{\frac{-kx_1}{86.4u}}$$

式中:W 为水功能区纳污能力,  $t/a$ ; Q 为水功能区设计流量,  $m^3/s$ ; q 为水功能区入河污水量,  $m^3/s$ ;  $\rho_s$  为水功能区水质目标,  $mg/L$ ;  $\rho_0$  为水功能区上断面污染物质量浓度,  $mg/L$ ; k 为污染物综合降解系数,  $d^{-1}$ ; x 为水功能区上断面到下断面的距离,  $km$ ;  $x_1$  为简化后排污口到下计算断面的距离,  $km$ ; u 为水功能区设计流量下的河段平均流速,  $m/s$ 。

## 2.2 水功能区水质目标的确定

水功能区水质目标按照《山西省水功能区划》规定的水质目标对照相应标准予以确定。以 COD、NH<sub>3</sub>-N 为主要污染控制指标。

## 2.3 水功能区设计流量和流速的确定

①设计流量。汾河复流前,有水文站的水功能区,设计流量采用 1956—2006 年系列实测资料进行分析计算。无水文资料的河段,设计流量按以下原则确定:距水文站较近,区间无较大支流加入或大的取水口,直接借用邻近水文站的资料推求设计流量;距水文站较远,区间有较大支流加入或大的取水口,通过水量平衡计算,确定设计流量。汾河复流后,各控制站设计流量采用“汾河清水复流工程水量调度方案”中的相应资料确定。②设计流速。有水文资料的根据水文站断面水位流速关系确定;无水文资料的,采用曼宁公式<sup>[5]</sup>计算。

## 2.4 综合降解系数的确定

综合降解系数根据汾河实测资料确定,COD 的 k 值取值范围在 0.20 ~ 0.48  $d^{-1}$ ,平均为 0.34  $d^{-1}$ ; NH<sub>3</sub>-N 的 k 值取值范围在 0.12 ~ 0.32  $d^{-1}$ ,平均为 0.22  $d^{-1}$ <sup>[6]</sup>。

## 3 纳污能力分析

### 3.1 复流前不同水量条件下纳污能力

根据 SL 348—2006《水域纳污能力计算规程》,采用 90% 保证率最枯月平均流量对汾河复流前即汾河未实施引黄、引沁输水前的纳污能力进行分析计算。经计算,复流前 COD 和 NH<sub>3</sub>-N 的纳污能力分别为 21 687  $t/a$  和 975  $t/a$ ,其中开发利用区纳污能力分别为 20 875  $t/a$  和 941  $t/a$ ,占各功能区纳污能力总和的 96.3% 和 96%(表 1)。

为反映汾河在不同水量条件下的纳污能力,结合北方季节性河流的特点,选取不同保证率(20%、50%、75% 及 95%) 枯季(10 月至翌年 5 月)平均流量进行纳污能力的分析计算(表 2)。结果显示:在不同

保证率来水条件下, COD 的平均纳污能力由 95% 保证率来水条件下的 29 495 t/a, 增大到 20% 保证率来水条件下的 85 375 t/a, 增加了 1.89 倍; NH<sub>3</sub>-N 平均纳污能力由 95% 保证率来水条件下的 1 343 t/a, 增大到 20% 保证率来水条件下的 3 054 t/a, 增加了 1.27 倍。

偏枯水年、枯水年枯季(75%、95% 保证率来水条件)全河 COD、NH<sub>3</sub>-N 总纳污能力小于现状污染物入河量, 也即在偏枯水年、枯水年现状污染物入河量大于汾河本身的水环境承载能力。平水年(保证率 50% 来水条件)全河 COD 纳污能力总体上大于现状污染物入河量, 但太原、介休、霍州、稷山等区县污染物现状入河量仍大于其纳污能力, 表明上述城市附近河段污染物入河量已超过其水环境承载能力。偏丰水年(20% 保证率来水条件)全河总纳污能力远大于现状污染物入河量, 但就局部河段如太原市区、介休等区县所在河段而言, 其纳污能力仍小于现状入河量, 尤其是太原市现状入河量为其纳污能力的 1.6 倍。

### 3.2 复流后纳污能力

汾河复流后各控制站设计流量采用山西省水利厅编制的《汾河清水复流工程水量调度方案》中相应资料。复流后各控制断面设计流量平均较复流前增大 0.5 m<sup>3</sup>/s 左右。汾河入黄口设计流量由复流前的 0.12 m<sup>3</sup>/s 增加为复流后的 1.34 m<sup>3</sup>/s。经计算, 复流后 COD 和 NH<sub>3</sub>-N 的纳污能力分别为 30 275 t/a 和 1 283 t/a(表 3)。

表 3 汾河复流后水功能区纳污能力 t/a

功能区		总纳污能力	
一级	二级	COD	NH <sub>3</sub> -N
保护区			
保留区			
缓冲区		900	34
开发利用区	饮用水源区		
	工业用水区	1 361	85
	农业用水区	15 653	597
	景观娱乐用水区	410	34
	过渡区	1 479	70
	排污控制区	10 472	463
	二级区小计	29 375	1 249
合计		30 275	1 283

表 2 复流前不同水量条件下水功能区纳污能力 t/a

功能区		不同保证率枯季来水条件纳污能力							
一级	二级	P = 20%		P = 50%		P = 75%		P = 95%	
		COD	NH <sub>3</sub> -N	COD	NH <sub>3</sub> -N	COD	NH <sub>3</sub> -N	COD	NH <sub>3</sub> -N
缓冲区		1 474	135	1 343	70	467	59	412	7
开发利用区	工业用水区	1 741	127	1 624	119	1 294	96	1 129	74
	农业用水区	56 953	1 787	35 753	986	26 821	706	15 917	646
	景观娱乐用水区	1 432	129	1 095	102	866	79	591	60
	过渡区	4 079	89	2 897	75	1 941	63	1 257	83
	排污控制区	19 696	787	16 593	950	13 182	788	10 189	473
二级区小计		83 901	2 919	57 962	2 231	44 104	1 732	29 083	1 336
合计		85 375	3 054	59 305	2 302	44 571	1 791	29 495	1 343

## 4 污染物总量控制方案

### 4.1 限排总量

考虑汾河中下游水质已遭受严重污染的实际, 本次限制排污总量的原则是流域内各行政区排放的主要污染物总量不再增加, 具体计算方法为: 若功能区现状入河量小于或等于该功能区允许纳污量, 则将该目标控制总量视为功能区入河污染物控制总量; 反之, 将该功能区允许纳污量作为其入河污染物控制总量。分析计算得汾河干流复流后 COD、NH<sub>3</sub>-N 限制排污总量分别为 25 139 t/a 和 1 158 t/a。

### 4.2 现状排放削减率

以各功能区纳污能力以及现状污染排放状况为基础, 统计得出汾河干流复流后水力条件下, COD、NH<sub>3</sub>-N 应削减量分别为 24 704 t/a 和 7 857 t/a(表 4), 平均削减率分别为 49.6% 和 87.2%。现状排放各行政区主要污染物削减率见图 1。

表 4 汾河复流后现状排放行政区污染物削减量 t/a

行政区	复流后纳污能力		现状 2006 年 排污量		应削减量	
	COD	NH <sub>3</sub> -N	COD	NH <sub>3</sub> -N	COD	NH <sub>3</sub> -N
太原市	12 676	595	29 574	6 442	18 138	5 902
晋中市	3 391	114	4 565	600	1 703	490
临汾市	11 222	471	12 960	1 624	3 568	1 195
运城市	2 986	103	2 744	349	1 295	270
合计	30 275	1 283	49 843	9 015	24 704	7 857

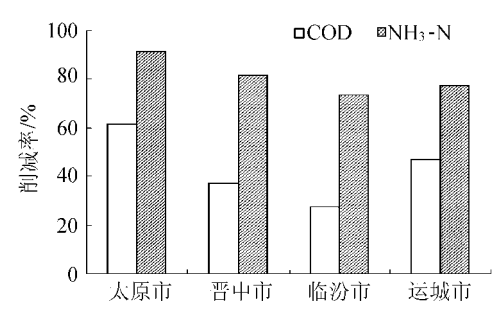


图 1 现状排放各行政区主要污染物削减率

### 4.3 达标排放削减率

达标排放削减率是指假设现有排污口都达到污水综合 II 类排放标准, 按照水功能区纳污能力和限

价[J].安徽农业科学 2008 36(9):3860-3862.

[27]斯卡特.大坝的未来[M].齐晔,杨明影,译.北京:科学出版社,2008:1-24.

[28]ROSENBERG D M,Mc CULLY Y P,PRINGLE C M. Global environmental effects of hydrological alterations: introduction [J].Bioscience 2000 50(9):746-751.

[29]祁继英,阮晓红.大坝对河流生态系统的环境影响分析[J].河海大学学报:自然科学版,2005 33(1):37-40.

[30]CHEN Guo-sheng,ZHANG Jian-hui,CHEN Chan. The research on restrictive factors and countermeasures of environment governance in reservoir:an experimental study on Shanxi hydraulic project in Wenzhou[J].Energy Procedia, 2011(5):725-733.

[31]《民勤县志》编撰委员会.民勤县志[M].兰州:兰州大学出版社,1994:25-38.

[32]马金珠,朱中华,于保静.石羊河流域水环境演化与水资源可持续利用[M].兰州:兰州大学出版社,2005:12-26.

[33]民勤县统计局.民勤县2007年国民经济和社会发展统计公报[R].民勤:民勤县统计局,2008.

[34]TOMAN M. Why not to calculate the value of the world's

ecosystem services and natural capital[J].Ecol Econ,1998, 25:57-60.

[35]TURNER P K,ADGER W N,BROUWER R. Ecosystem services value, research needs, and policy relevance: a commentary[J].Ecol Econ,1998 25:61-65.

[36]BALMFORD A,BRUNER A,COOPER P,et al. Economic reasons for conserving wild nature[J].Science 2002 297:950-953.

[37]肖玉,谢高地,安凯.莽措湖流域生态系统服务功能经济价值变化研究[J].应用生态学报,2003,14(5):676-680.

[38]甘肃省水利厅.甘肃省1-5万亩灌区续建配套与节水改造规划[R].兰州:甘肃省水利厅,2007:13-18.

[39]丁宏,王贵玲,黄晓辉.红崖山水库水量减少与民勤绿洲水资源危机分析[J].中国沙漠,2003(1):84-89.

[40]陈绍金,王勇泽,刘华平,等.湖南皂市大坝对河流生态系统的影响因子辨析[J].水资源保护,2010,26(6):47-50.

[41]李文华.生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用[M].北京:中国人民大学出版社,2008:26-33.

(收稿日期:2011-09-16 编辑:徐娟)

(上接第60页)制排污总量的要求计算的污染物削减率<sup>[7]</sup>。以汾河干流主要行政区为单元,达标排放后COD、NH<sub>3</sub>-N入河量分别为38247t/a和5510t/a,仍不能满足各水功能区的水质目标,仍需削减15936t/a和4356t/a。达标排放后COD、NH<sub>3</sub>-N平均削减率41.7%和79.0%,各行政区主要污染物削减率见图2。

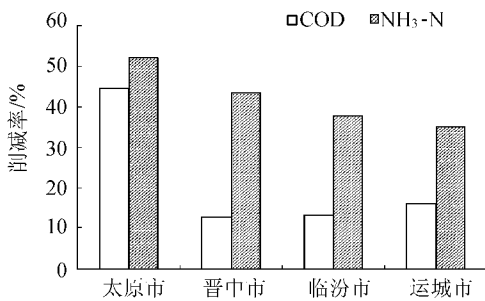


图2 达标排放后各行政区主要污染物削减率

## 5 结 语

经计算,汾河复流前COD和NH<sub>3</sub>-N的纳污能力分别为21687t/a和975t/a,其中开发利用区纳污能力分别为20875t/a和941t/a,占各功能区纳污能力总和的96.3%和96.6%。

复流后各功能区COD和NH<sub>3</sub>-N的纳污能力分别为30275t/a和1283t/a,总纳污能力分别较复流前增加39.6%和31.6%。限制排污总量分别为25139t/a和1158t/a,污染物削减量分别为24704t/a和7857t/a,平均削减率分别为49.6%和87.2%。

若各入河排污口达标排放后,COD、NH<sub>3</sub>-N 仍要削减15936t/a和4356t/a。

可见要达到“汾河清水复流”的水质目标要求,污染源达标排放是远远不够的,必须依据限制排污总量进行控制:①要以水功能区管理为载体,依法向环保部门提出限制排污的意见;②要加强重要断面的水质监测以及入河排污总量的监控,将确定的水功能区纳污能力作为污染物减排依据和河道管理依据;③强化入河排污口审批和监督检查,严格污染物总量控制和污染物浓度控制,确保水质目标的最终实现<sup>[8]</sup>。

## 参考文献:

[1]张晓斌,张建国,白继中.汾河水环境容量计算及特征分析[J].水资源与水工程学报,2010(2):135-138.

[2]韩龙喜,朱党生,蒋莉华.中小型河流纳污能力计算方法研究[J].河海大学学报:自然科学版,2003(1):35-38.

[3]张永良,刘哲晋.水环境容量综合手册[M].北京:清华大学出版社,1991.

[4]宋宏杰,马军霞,左其亭.郑州市水环境承载能力计算及调控对策[J].郑州大学学报:工学版,2005(1):103-107.

[5]卢伟.浙江省主要饮用水源地水环境承载能力与对策[J].水文,2003(5):38-41.

[6]陈永灿,刘昭伟.三峡水库水环境承载能力的评价和分析[J].水科学进展,2005(5):715-719.

[7]王秀兰,李红亮.河北省水环境承载能力及污染物总量控制方案研究[J].海河水利,2004(4):31-33.

[8]汪恕诚.水环境承载能力分析 with 调控[J].水利发展研究,2003(1):2-6.

(收稿日期:2011-10-10 编辑:徐娟)