DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2013.01.005

黄河龙门—三门峡区间纳污能力计算

张 刚,解建仓,罗军刚

(西安理工大学西北水资源与环境教育部重点实验室,陕西 西安 710048)

摘要:针对黄河龙门-三门峡区间水质变化复杂的特点,用多个设计流量、多个控制指标、多个纳污模型对其区间纳污能力进行计算,用 90%、75%、50% 不同设计保证率下的河道断面流量计算 COD 和 NH_3-N 的纳污能力,且不同设计流量采用不同的降解系数,从而计算出多组纳污能力值。对于多组纳污能力,提出采用纳污能力最小值和最大值区间作为纳污能力计算结果,为决策者留有决策空间。

关键词:水污染;纳污能力;多模型;黄河流域

中图分类号:TV752;TM614 **文献标志码**:A **文章编号**:1004-6933(2013)01-0018-04

Calculation of water environmental capacity of Longmen-Sanmenxia section of Yellow River

ZHANG Gang, XIE Jiancang, LUO Jungang

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

Abstract: It is difficult to calculate the water environmental capacity of the Longmen-Sanmenxia section of the Yellow River due to the complex variation of water quality. A new calculation method is proposed to calculate the water environmental capacity by applying multi-design discharge, a multi-model, and a multi-index. The water environmental capacities of COD and NH_3-N were calculated using the discharge at design reliabilities of 90%, 75%, and 50%. In order to calculate multiple groups of water environmental capacities, different degradation coefficients were used for corresponding design discharge. The minimum and maximum intervals of water environmental capacity are proposed, which can provide decision space for decision-makers.

Key words: water pollution; water environmental capacity; multi-model; Yellow River Basin

水域纳污能力是指特定水体在一定环境目标条件下某种污染物的容许排放量[1]。近年来,关于水域纳污能力计算方面的研究层出不穷,1999 年,文献[2]提出了基于托马斯模型的一维稳态条件下水域纳污能力计算的 3 种方法,即段首控制法、段尾控制法和功能区段位控制法。2003 年,文献[3]提出不确定信息下的河流纳污能力计算方法。2006 年,文献[4]提出黄河流域纳污能力计算单元的划分、设计流量和水质目标的确定,以及河道纳污、取水条件的概化等关键技术问题的解决方法。现有的研究成果对流域纳污能力计算具有很大的参考价值。

近年来由于黄河沿岸城镇的快速发展,城市人口、工矿企业的剧增,特别是乡镇企业的迅速发展,取、用水量和废水排放量同步增加,污染物自净能力减弱,水体功能也逐渐下降,水污染日益严重,水生态环境遭到破坏,这对黄河沿岸人民生活质量的提高,经济的可持续发展和生态环境保护构成了威胁。加强黄河纳污能力研究,有利于实施污染物总量控

基金项目:公益性行业科研专项(201001011);中国博士后科学基金(20110490170);国家自然科学基金(51109175, 51079120)

作者简介:张刚(1984—),男,博士研究生,研究方向为水资源管理。E-mail: zhanggang3463003@163.com

制,促进黄河流域水资源的管理和保护[5]。

黄河龙门—三门峡区间(以下简称龙三区间)连接晋、陕、豫三省,其污染物及水质变化复杂。由于纳污能力本身的不可监测性,导致了黄河龙三区间纳污能力计算更加复杂。若纳污能力计算值较小,就会限制该区域经济的发展;若纳污能力计算值较大,又会污染区间河流水质。基于此,本文提出采用多个保证率、多个控制指标、多个纳污模型对龙三区间纳污能力进行计算,分别采用 95%、75% 和 50% 设计保证率下的河道断面流量,采用 COD 和 NH_3-N 控制指标以及"高标准"、"低标准"两种模型对龙三区间纳污能力进行计算,并对计算结果进行分析,提出决策空间概念,为决策服务。

1 流域概况

龙三区间地处黄河中游地区,流域面积为 90 316 km^2(包括支流流域),其中黄河最大支流渭河由此汇入,汾河也由此汇入。由于多河汇入,来水水质状况不一,水域纳污能力计算较为复杂。笔者对龙三区间流域进行概化,如图 1 所示。

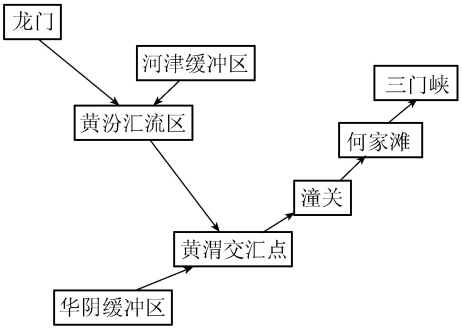

图 1 龙三区间流域概化图

2 水域纳污能力计算模型

2.1 "高标准"纳污计算模型

所谓"高标准"纳污模型,指的是对河流水质要求较高。本文采用文献[2]提出的段首控制模型,该模型的基本理念是保证全河段水质达标,如图 2 所示。

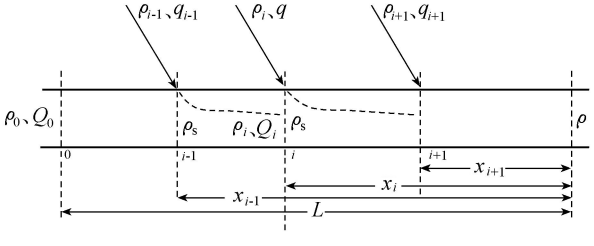

图 2 高标准纳污计算模型

图 2 中,段首中的"段"指的是排污口断面,假设功能区段有多个排污口,段首控制模型的高标准体现在全功能区段处处达标,那么功能区段污染物浓度最高的应为排污口断面,由于处处达标的要求,排污口断面(概化排污口断面)的水质应为 ρ_s,由于污染物经过一段时间稀释和降解,到达功能区段末是污染物浓度必然低于 ρ_s。因此段首控制模型的计算方法如下。

a. 功能区段首。来水水质浓度和功能区段水质要求有差别,为来水提供了稀释容量。

$$W_0 = Q_0(\rho_s - \rho_0) \tag{1}$$

式中:W_0 为稀释容量,kg/s;Q_0 为上一功能区来水流量,m^3/s;ρ_s 为本功能区的水体质量浓度目标值,mg/L;ρ_0 为来水水体的污染物质量浓度本底值,mg/L,取上一功能区水体质量浓度目标值。

b. 第 i 个断面的纳污能力为

$$W_i = (Q_i + q_i)\rho_s - Q_i\rho_s \exp\left(-\frac{K(x_i - x_{i+1})}{\mu}\right) \tag{2}$$

式中:W_i 为第 i 断面的纳污能力,kg/s;q_i 为第 i 断面的污水排放流量,m^3/s;$Q_i = q_{i-1} + Q_{i-1}$ 为第 i 断面的来水流量,m^3/s;K 为污染物降解系数,1/s;x_i 为第 i 断面至功能区段末的距离,m;μ 为断面平均流速,m/s。

因此,功能区段纳污能力为

$$W = W_0 + \sum_{i=1}^{n} W_i \tag{3}$$

上述的"高标准"纳污能力计算模型在计算中比较复杂,需要的条件较多,实际计算中,可以将排污口进行概化,从而简化计算过程和计算量,排污口概化方法参见文献[6-7]。

2.2 "低标准"纳污计算模型

所谓"低标准"纳污模型,指的是对水质要求较低,即功能区段并不是处处达标,而是局部达标,最长用的是功能区段末控制断面达标模型。此模型强调水质只在功能区段末断面达标,如图 3 所示。

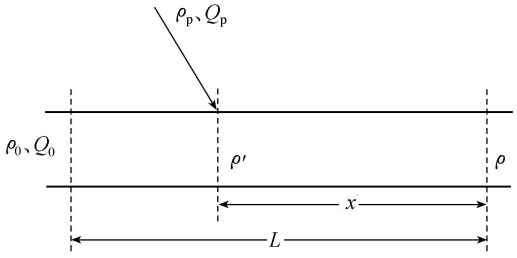

图 3 低标准纳污计算模型

图 3 中,ρ_0 和 Q_0 分别为河道上游来水污染物质量浓度和流量,ρ_p 和 Q_p 分别为污水的污染物质量浓度和排放量,ρ' 为混合后的污染物质量浓度,ρ 为距排污口(或概化后排污口)距离为 x 的功能区段末断面的污染物浓度,L 为功能区段长度。则

$$\rho = \rho' \exp\left(-\frac{Kx}{\mu}\right) \tag{4}$$

其中

$$\rho' = \frac{\rho_0 \exp\left(-\frac{K(L-x)}{\mu}\right) Q_0 + \rho_p Q_p}{Q_0 + Q_p} \tag{5}$$

那么,若功能区段末断面水质达标,则 $\rho=\rho_s$,水域纳污能力 $W=\rho_p Q_p$,可得

$$W = (Q_0 + Q_p)\rho_s \exp\left(\frac{Kx}{\mu}\right) - \rho_0 Q_0 \exp\left(-\frac{K(L-x)}{\mu}\right) \tag{6}$$

2.3 模型主要参数的确定

2.3.1 设计流量

纳污能力是一种天然赋予的资源,设计流量的大小直接决定着纳污能力的大小,一般采用近 10 a 最枯月平均流量数据进行频率分析得到。本文采用龙三区间的近 10 a 流量数据分别对 90%、75% 和 50% 设计保证率下的河道断面流量进行计算。同时采用 COD 和 NH_3-N 作为控制指标,水质目标采用水功能区规划的目标。龙三区间主要分为 5 个功能区,其设计流量及水质目标如表 1 所示。

表 1 设计流量及水质目标

功能区名称	流量/($m^3 \cdot s^{-1}$)			水质目标/($mg \cdot L^{-1}$)	
	$P=90\%$	$P=75\%$	$P=50\%$	COD	NH_3-N
黄河汾河汇流点	157.5	215.2	305	20	1.0
黄河渭河汇流点	170.9	250.6	376	20	1.0
黄河渭南运城渔业农业用水区	164.0	300.0	398	20	1.0
黄河三门峡运城渔业农业用水区	201.0	287.0	391	20	1.0
黄河三门峡饮用工业用水区	217.0	282.0	388	20	1.0

从表 1 中可以看出,在龙三区间,河道流量并不是逐渐增大,而是有波动,这是因为其间有两个农业用水区和一个工业用水区。

2.3.2 污水流量

污水流量的大小对水域纳污能力的计算有一定的影响,本文对龙三区间的排污口进行统计(表 2),其中污水排放量涉及工业、农业、生活及混合排放量。

表 2 排污口统计

功能区序号	功能区名称	排污口个数	污水流量/($m^3 \cdot s^{-1}$)
1	黄河汾河汇流点	5	0.52
2	黄河渭河汇流点	0	0
3	黄河渭南运城渔业农业用水区	9	0.30
4	黄河三门峡运城渔业农业用水区	14	0.13
5	黄河三门峡饮用工业用水区	12	0.99

2.3.3 水质降解系数

水质降解系数是 K 是计算水体纳污能力的一项重要参数。不同的污染物、不同的水体、不同的环境条件,其衰减系数是不同的。污染物降解系数 K 可通过实测资料反推获得,即

$$K = (\ln\rho_1 - \ln\rho_2)\mu/\Delta x \tag{7}$$

式中:ρ_1、ρ_2 为分别为上、下断面污染物质量浓度,mg/L; Δx 为上、下断面距离,km。

实际计算时,可采用多组数据的平均值作为最终的降解系数。由于不同量级流量的流速不同,本文提出在不同设计流量、不同功能区的不同降解系数,根据近年实测资料,计算结果如下。

表 3 龙三区间降解系数

功能区名称	降解系数 K					
	$P=90\%$		$P=75\%$		$P=50\%$	
	COD	NH_3-N	COD	NH_3-N	COD	NH_3-N
黄河汾河汇流点	0.26	0.044	0.28	0.047	0.30	0.05
黄河渭河汇流点	0.31	0.055	0.33	0.057	0.36	0.59
黄河渭南运城渔业农业用水区	0.20	0.039	0.22	0.042	0.33	0.43
黄河三门峡运城渔业农业用水区	0.21	0.033	0.23	0.047	0.25	0.05
黄河三门峡饮用水工业用水区	0.20	0.038	0.22	0.041	0.24	0.44

3 纳污能力计算

分别采用 90%、75%、50% 设计保证率下的河道断面流量,COD 和 NH_3-N 作为控制指标,通过"高标准"和"低标准"两种模型对龙三区间的 5 个功能区断面的纳污能力进行计算,结果如表 4 所示。

从表 4 中可以看出,对于相同模型下的同一种控制指标,设计流量越小,纳污能力越小,这是由于纳污

表 4 龙三区间不同模型的纳污能力计算结果 t/a

功能区序号	"低标准"模型纳污能力						"高标准"模型纳污能力					
	COD			NH_3-N			COD			NH_3-N		
	$P=90\%$	$P=75\%$	$P=50\%$	$P=90\%$	$P=75\%$	$P=50\%$	$P=90\%$	$P=75\%$	$P=50\%$	$P=90\%$	$P=75\%$	$P=50\%$
1	8311	11044	15366	81.9	104.4	140.2	7902	10029	13590	70.5	91.3	129.2
2	33205	47842	71293	326.1	471.3	705.4	32011	45903	68275	300.2	443.6	659.4
3	1833	2565	3734	23.6	29.9	40.4	1699	2416	3579	18.5	22.1	31.7
4	13339	24169	32035	100.3	178.8	235.8	12167	23054	30991	88.5	151.4	203.6
5	4156	5669	7501	55.6	66.4	79.6	3125	4438	6071	42.1	57.8	67.5

能力和设计流量成正比;对于相同模型下的同一种设计保证率,COD 的纳污能力比 NH_3-N 的大,这是由于 NH_3-N 的降解系数较小。同时,将两种模型对 COD 纳污能力的计算结果进行对比,如图 4 所示。

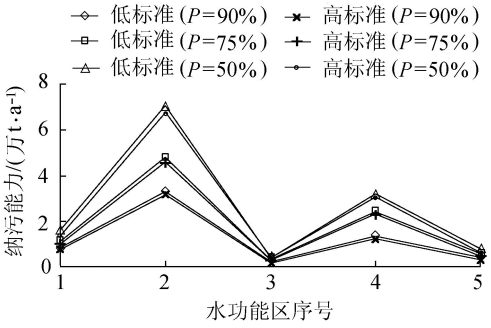

图 4　两种模型对 COD 纳污能力计算结果对比

从图 4 中可以看出,对于同一设计流量,高标准模型计算的纳污能力值较小,这是由高标准模型的性质决定的。高标准模型要求整个功能区水质达标,那么纳污能力值必然较小。由于纳污能力的不可监测性,导致了不同模型的计算结果无优劣之分。

本文同时采用两种模型进行计算,并将两种模型计算结果的区间作为水功能区纳污能力,这个区间同时成为决策者的决策空间。所谓决策空间,是指决策人员进行决策过程中的可行域。对于有经验的决策人员,可从决策空间取值作为最终的纳污能力,从而为决策者提供帮助,而不是一味地追求纳污能力值的大小。

4　结　论

龙三区间作为黄河中游重要的一段,有两条支流汇入,其水质变化复杂,纳污能力难以计算。研究从此基础条件出发,提出"高标准"和"低标准"两种纳污模型,同时采用 90%、75%、50% 的设计流量计算 COD 和 NH_3-N 的纳污能力,且计算中不同设计流量采用不同的降解系数,其中,从而计算多组纳污能力值;对于多组纳污能力,本文提出采用纳污能力最小值和最大值区间作为纳污能力计算结果,为决策者留有决策空间,其中对于黄河汾河汇流功能区,90% 设计流量下的 COD 和 NH_3-N 的决策空间分别为[7 092,8 311],[70.5,81.9];75% 设计流量下的 COD 和 NH_3-N 的决策空间分别为[10 029,11 044],[91.3,104.4];50% 设计流量下的 COD 和 NH_3-N 的决策空间分别为[13 590,15 366],[129.2,140.2]。

参考文献:

[1] 李红亮,李文体. 水域纳污能力分析方法研究与应用[J]. 南水北调与水利科技,2006, 4(增刊 1):58-59. (LI Hongliang, LI Wenti. Methods for calculation of water pollutant capacity and application [J]. South-to-north Water Transfers and Water Science & Technology, 2006, 4 (Sup1):58-59. (in Chinese))

[2] 周孝德,郭瑾龙,程文,等. 水环境容量计算方法研究[J]. 西安理工大学学报,1999,15(3):1-6. (ZHOU Xiaode, GUO Jinlong, CHENG Weng, et al. The comparison of the environmental capacity calculation methods[J]. Journal of Xi'An University of Technology, 1999,15(3):1-6. (in Chinese))

[3] 李如忠,汪家权,王超, 等. 不确定性信息下的河流纳污能力计算初探[J]. 水科学进展,2003,14(4):459-463. (LI Ruzhong, WANG Jiaquan, WANG Chao, et al. Calculation of river water environmental capacity under unascertained information [J]. Advances In Water Science, 2003,14(4):459-463. (in Chinese))

[4] 张建军,张世坤,徐晓琳,等. 黄河流域纳污能力计算技术难点浅析[J]. 人民黄河, 2006, 28(12):30-32. (ZHANG Jianjun, ZHANG Shikun, XU Xiaolin, et al. Technical difficulties analysis of environment capacity in Yellow River[J]. Yellow River, 2006, 28(12):30-32. (in Chinese))

[5] 陈沛云. 黄河干流河南段水环境容量与水污染防治对策研究[D]. 开封:河南大学,2005.

[6] 逄勇,陆桂华. 水环境容量计算理论及应用[M]. 北京:科学出版社,2010.

[7] 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:自然科学版,2002,30(1):35-38. (HAN Longxi , ZHU Dangsheng, JIANG Lihua. Methods for calculation of water environment capacity of small and medium river channels[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2002, 30(1): 35-38. (in Chinese))

(收稿日期:2012-03-01　编辑:高渭文)