

考虑不同保证率下的渭河陕西段纳污能力计算

孙小梅^{1,2,3,4,5}, 杨晨曦^{1,2,3,4,5}, 张海欧^{1,2,3,4,5}, 徐艳^{1,2,3,4,5}, 慕哲哲^{1,2,3,4,5}, 李俭^{1,2,3,4,5}

¹陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

²陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

³自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安

⁴陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安

⁵自然资源部土地工程技术创新中心, 陕西 西安

Email: xiaomeisun1020@foxmail.com

收稿日期: 2021年8月17日; 录用日期: 2021年9月19日; 发布日期: 2021年9月27日

摘要

目前, 在计算纳污能力时, 用保证率90%计算的水功能区纳污能力偏小, 以此为基础进行污染物总量控制是比较严格苛刻的, 没有充分利用水域实际的纳污能力, 从而对社会经济的发展将形成明显的制约影响。而且利用这种方法得到的年尺度下的纳污能力给实际水环境管理考核工作带来了不便。因此, 本文以中国渭河陕西段为例, 以COD和NH₃-N为有机污染物代表, 计算了不同保证率下的纳污能力, 并以国家标准纳污能力计算模型为手段, 反映不同保证率下河流的纳污能力, 为渭河流域水环境综合治理提供参考。

关键词

纳污能力, 水功能区, 时间尺度, 标准模型

Calculation of Pollutant Carrying Capacity in Shaanxi Section of Weihe River Considering Different Assurance Rates

Xiaomei Sun^{1,2,3,4,5}, Chenxi Yang^{1,2,3,4,5}, Hai'ou Zhang^{1,2,3,4,5}, Yan Xu^{1,2,3,4,5}, Zhezhe Mu^{1,2,3,4,5}, Jian Li^{1,2,3,4,5}

¹Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

²Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

³Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

⁴Shaanxi Provincial Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an Shaanxi

⁵Land Engineering Technology Innovation Center, Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

Email: xiaomeisun1020@foxmail.com

文章引用: 孙小梅, 杨晨曦, 张海欧, 徐艳, 慕哲哲, 李俭. 考虑不同保证率下的渭河陕西段纳污能力计算[J]. 可持续发展, 2021, 11(5): 654-660. DOI: 10.12677/sd.2021.115080

Received: Aug. 17th, 2021; accepted: Sep. 19th, 2021; published: Sep. 27th, 2021

Abstract

At present, in the calculation of water pollution carrying capacity, only the guarantee rate of the driest month is 90% to calculate it. The water pollution carrying capacity of the water function area is relatively small, so it is stricter to control the total amount of pollutants on this basis, and the actual water pollution carrying capacity is not fully utilized, which will form a significant constraint on the social and economic development. Moreover, it is inconvenient to assess the actual water environment management by using the annual pollution capacity obtained by this method. Therefore, this paper takes Shaanxi section of Weihe River in China as an example to calculate the pollutant carrying capacity under different guarantee rates, taking cod and NH₃-N as the representatives of organic pollutants, and taking the national standard pollutant carrying capacity calculation model as a means to reflect the river's pollutant carrying capacity under different guarantee rates, so as to provide reference for the comprehensive treatment of water environment in Weihe River basin.

Keywords

Pollution Carrying Capacity, Water Function Area, Time Scale, Standard Model

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

全球可供人类利用的淡水资源已严重不足，且水质不断恶化，水污染造成的水体功能丧失进一步加重水资源危机的形势，全世界每年排入河流和湖泊的废水使全球水资源总量 14% 以上的水源受到不同程度的污染。严重的水质污染问题，不仅使水资源无法使用，也使农产品受到污染，影响了人民健康和农民的收入。因此，我国水污染问题已经成为不亚于洪灾、旱灾甚至更为严重的灾害。合理地利用环境资源，控制和减少环境污染已成为各国经济及其发展应当考虑的主要问题之一。迅速有效地控制水环境污染，对保护水资源质量，以水资源的可持续开发利用支持社会经济的可持续发展具有极其重要的意义。2009 年我国提出以水资源配置、节约和保护为重点，实行更为严格的水资源管理制度，其中“明确水功能区限制纳污红线，严格控制入河排污总量”是三条“红线”之一。随着人口的增加和经济的发展，人类生存的环境日益受到破坏，尤其是水环境破坏倍受世人关注，纳污能力理论研究成为当前的研究热点之一。

渭河流域是陕西省重要的工农业科研和生产基地，人口多，然而渭河干、支流水质日益加剧恶化，严重影响着城市居民生产、生活用水，水污染治理是当务之急。为保证进入黄河的水质，从环保目标和管理需求出发，分析预测渭河流域各河流的水域纳污能力和进入河流污染物控制研究，对渭河水污染控制、水环境管理与水资源保护规划具有重要的意义[1]。因此，对渭河流域水环境纳污能力计算研究和入河污染物控制研究能够为渭河流域综合治理提供依据，为关中地区提供有限的水资源，缓解水资源紧缺的现状，促进经济发展。

水域纳污量的概念多是以水质管理和水环境承载力的方式提出。美国环境保护局于 1972 年最先提出

最大日负荷总量(total maximum daily loads, TMDL)概念及最大年负荷总量(total maximum yearly loads, TMYL)概念。污染负荷量可以表示为单位时间的质量、毒性和其他适合测定的指标。TMDL 计划总的目标就是用来识别具体污染区和土地利用状况, 并且考虑对这些具体区域点源和非点源污染物浓度和数量提出控制措施, 从而引导整个流域执行最好的流域管理计划[2]。TMDL 计划在美国广泛实施, 在点源和非点源综合控制方面成效显著[3]。1983 年 12 月 8 日, 美国正式立法, 实施以水质限制为基点的排污控制路线。

水域纳污量或水环境容量的计算方法是水域纳污量研究的一个重要组成部分, 其适当与否直接影响计算结果的准确性。但由于我国地域广大, 水体特性分异明显, 加深了水域纳污量计算方法研究的难度。水域纳污量计算的研究方法主要有解析法[4]、模型试错法[5]、系统分析法[6]和概率稀释模型法[7] [8] [9] [10]。制定一个能够使用于不同水体水环境容量计算的理论体系, 从而推动水资源保护工作的深化, 是一个重要课题。

因此, 本文主要研究以渭河干流陕西河段, 收集各种资料, 开展入河排污口调查和水质监测, 根据渭河水体水功能区划和水质保护目标, 研究渭河开发利用的各个二级水功能区的纳污能力, 由于水功能区水体纳污能力受多种因素的影响, 尤其是水文设计条件对水功能区的纳污能力的影响至关重要, 计算不同保证率下的允许纳污量, 为水功能区限制纳污红线管理及水质监督管理提供技术支持。

2. 研究区域

渭河流域关中地区(图 1)地处陕西中部, 西安、宝鸡、咸阳、渭南等大中城市均坐落于内, 是陕西省政治、经济、文化、金融及信息中心。但是由于人口增加、经济发展、用水剧增和排污量不断增大, 生态环境恶化、污染加重的双重压力, 渭河水环境严重超载。

根据黄河流域有关水利部《全国水功能区划技术大纲》中提供的方法和环保部门先后制定的有关黄河流域的水环境功能区划, 区划结果按 5 类水环境功能区执行《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)水质标准, 可得到渭河干流陕西段的水功能区划, 见表 1。

渭河干流重点水功能区(陕西段)概化图, 如图 1。

Table 1. Water function zoning of the Shaanxi section of the main stream of the Weihe River

表 1. 渭河干流陕西段水功能区划

编号	功能区名称	起始断面	终止断面	河长(km)	水质目标等级
11	宝鸡市景观区	林家村	卧龙寺	20	III
12	宝鸡市排污控制区	卧龙寺	虢镇	12	IV
13	宝鸡市过渡区	虢镇	蔡家坡	22	IV
14	宝眉工业、农业用水区	蔡家坡	汤峪入渭口	44	III
15	杨凌农业、景观用水区	汤峪入渭口	漆水河口	16	III
16	咸阳工业用水区	漆水河口	咸阳公路桥	63	IV
17	咸阳市景观用水区	咸阳公路桥	咸阳铁路桥	3.8	IV
18	咸阳排污控制区	咸阳铁路桥	沔河入口	5.4	IV
19	咸阳西安过渡区	沔河入口	210 国道	19	IV
20	临潼农业用水区	210 国道	零河入口	56.4	IV
21	渭南农业用水区	零河入口	王家城子	96.8	IV
22	华阴入黄缓冲区	王家城子	入黄口	29.7	IV

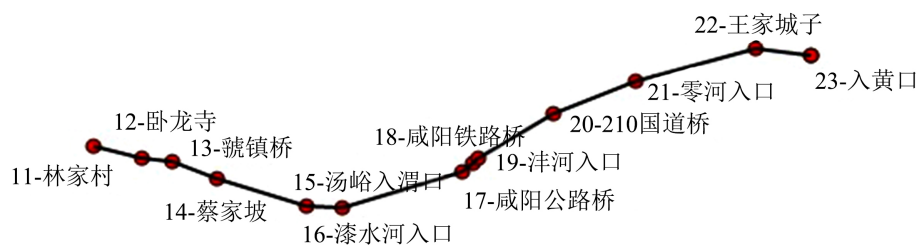


Figure 1. Generalized map of key water function areas (Shaanxi section) of the main stream of the Weihe River

图 1. 渭河干流重点水功能区(陕西段)概化图

3. 纳污能力集散模型及参数的确定方法

3.1. 污染源概化

在河流纳污能力计算中, 污染源的概化方式对河段纳污能力有较大影响, 应尽量使污染源的概化符合实际情况, 以准确反映功能区河段在现有污染源分布方式下的纳污能力。实际操作时, 需对排入功能区河段的污染源进行必要的调查统计, 对排污量大或集中排放、排入位置固定的点污染源按其实际情况进行概化, 对排污量较小且分布较散的点污染源和面污染源采用均匀分布的概化方式, 以此计算的河段纳污能力能较准确地反映实际情况。

3.2. 纳污能力计算模型

适用于污染物在横断面上均匀混合的中小型河段($Q \leq 150 \text{ m}^3/\text{s}$), 其计算模型如下:

1) 河段的污染物浓度按式(1)计算:

$$C_x = C_o \exp(-kx/u) \quad (1)$$

式中:

C_x : 流经 x 距离后的污染物浓度, 单位为毫克每升(mg/L);

X : 沿河段的纵向距离, 单位为米(m);

U : 设计流量下河道断面的平均流速, 单位为米每秒(m/s);

K : 污染物综合衰减系数, 单位为负一次方秒(1/s);

其余符号意义同前。

2) 相应的水域纳污能力按式(2)计算:

$$M = (C_s - C_x)(Q + Q_p) \quad (2)$$

式中符号意义同前。

3.3. 参数确定

3.3.1. 流速确定

本课题利用各水文站实测流量、流速资料, 建立流量 - 流速关系曲线, 分析计算渭河干流各水文条件下 90%、75%、50% 的保证率设计流量对应的流速。

根据已有的资料, 拟合后的流量(Q)流速(u)关系为:

$$1) \quad \text{林家村 } u = 0.163Q^{0.5349} \quad (0 < Q < 50) \quad (3)$$

$$2) \quad \text{咸阳 } u = 0.1736Q^{0.3328} \quad (0 < Q < 2000) \quad (4)$$

$$3) \quad \text{华县 } u = 0.0664Q^{0.4695} \quad (0 < Q < 2000) \quad (5)$$

可以通过这样的相关关系由已知的设计流量去推求流速。对于其他断面可根据附近区域的流量流速关系估计设计流速, 以此, 可计算出各断面不同设计水文条件下设计流量相对应的流速见下表所示表 2。

Table 2. Design flow velocity of each section in the driest month (unit: m/s)

表 2. 最枯月各断面的设计流速(单位: m/s)

断面名称	90%	75%	50%
林家村	0.077	0.14	0.32
卧龙寺	0.127	0.21	0.38
虢镇桥	0.229	0.36	0.54
蔡家坡	0.237	0.37	0.56
汤峪入口	0.275	0.43	0.62
漆水河入口	0.341	0.53	0.74
咸阳公路桥	0.31	0.41	0.50
咸阳铁路桥	0.31	0.41	0.50
泔河入口	0.31	0.41	0.50
210 国道桥	0.35	0.47	0.56
零河入口	0.35	0.47	0.57
华县	0.18	0.28	0.36

3.3.2. 初始断面污染物浓度值 C_0 的确定

目前渭河干流污染严重, 除上游部分河段外基本上不存在河流水体的天然状态, 而且由于河流水体的连续传递性, 自下河沿断面以下河段, 上游河段的污染均在一定程度上影响到下游水体的水质, 若 C_0 值仍沿用通常取值法显然是不尽合理的, 因此在进行水域纳污能力审定时, 为体现“上游河段污染不影响下游河段”, 初始断面污染物浓度 C_0 选用上游计算河段的水功能区水质目标, 这既能够强化上游水质较好河段的水资源保护, 又对下游河段是公平的, 容易被各计算河段或水功能区所接受[11]。

水质目标值是根据黄河流域总体规划目标要求, 参考《西安市城市水资源保护规划报告》、《陕西省渭河流域综合治理五年规划(2008 年~2012 年)》, 依据《全国水资源保护规划技术大纲》和黄河流域水污染特点, 采用 COD_{Cr} 和氨氮作为污染物控制参数。 COD_{Cr} 和氨氮标准采用《地表水环境质量标准》(GB3838-2002), 标准值见表 3。

Table 3. Limits of surface water environmental quality standards (unit: mg/L)

表 3. 地表水环境质量标准限值(单位: mg/L)

项目	分类				
	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
化学需氧量 COD	≤15	≤15	≤20	≤30	≤40
氨氮 NH_3-N	≤0.15	≤0.5	≤1.0	≤1.5	≤2.0

3.3.3. 降解系数 K 的确定

污染物降解系数反映了污染物在水中的降解速率, 是计算纳污能力的关键参数。参数能否准确确定, 直接影响到纳污能力的计算结果。综合上述方法, 渭河干流 COD 和 NH_3-N 的 K 值分别为 0.43/d 和 0.30/d [12]。

4. 纳污能力计算结果

4.1. 纳污能力计算步骤

根据渭河干流陕西段地表水各功能区的划分与水质目标值,并结合 2008 陕西省水文水资源勘测局提供的渭河流域入河排污口排污资料,以及 1951 年到 2010 年的水文资料,进行本论文针对不同保证率下对于 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的纳污能力计算。

本课题利用国家标准模型(一维模型)进行计算,具体计算步骤如下:

步骤 1: 按式(1)计算第一个水功能区的污染物浓度 C_x ;

步骤 2: 按式(2)计算第一个水功能区的纳污能力 M_1 ;

步骤 3: 重复步骤 1, 2, 算出所有断面的纳污能力并求和,即为渭河干流陕西段的纳污量。

4.2. 纳污能力计算结果

根据前两章计算的最枯月设计流量和设计流速,以及确定的其他参数,利用上面的步骤以此计算最枯月的 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 河流的纳污量。结果见表 4,在计算中出现了负值的现象,是与 C_s 的选择有关,由于本次毕设选择本功能区的水质类别下限值作为目标浓度 C_s ,下一断面的目标浓度值 C_s 小于上一断面的目标浓度值 C_s ,利用国标模型计算公式计算才会出现这种情况,这不是计算错误导致的,它不影响本文的结论,本次毕设是由计算的结果来反映总体的变化的。从结果中,也可以看出对于 COD 的纳污量会高于 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的纳污量。

Table 4. Calculation of pollutant holding capacity in each functional area based on the driest month (unit: t/a)

表 4. 基于最枯月各功能区的纳污量计算(单位: t/a)

功能区名称	90%		75%		50%	
	COD	$\text{NH}_3\text{-N}$	COD	$\text{NH}_3\text{-N}$	COD	$\text{NH}_3\text{-N}$
宝鸡市景观区	155.29	5.73	154.94	5.57	226.78	8.02
宝鸡市排污控制区	858.52	39.18	1634.25	76.22	3262.88	155.05
宝鸡市过渡区	241.21	15.14	337.10	21.30	477.70	30.31
宝眉工业、农业用水区	-464.20	-19.74	-1278.16	-58.70	-2914.19	-138.28
杨凌农业、景观用水区	314.66	26.27	430.65	36.50	570.74	48.78
咸阳工业用水区	3092.19	138.31	5830.83	265.70	9754.64	451.56
咸阳市景观用水区	104.36	9.76	162.40	15.21	234.90	22.03
咸阳排污控制区	278.57	13.61	420.25	20.53	599.23	29.27
咸阳西安过渡区	1507.25	53.37	1913.47	67.50	2443.87	86.04
临潼农业用水区	3440.45	127.14	5602.41	204.11	7976.24	288.49
渭南农业用水区	542.88	45.18	980.34	82.09	1432.53	120.32
华阴入黄缓冲区	2192.13	78.97	3641.09	129.14	5008.57	176.40
合计	12,263.32	532.93	19,829.57	865.18	29,073.89	1278.00

5. 结论

本文在不同保证率下对于 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的纳污能力进行了计算,在年最枯月的 90%条件下计算的纳污能力,在年内的纳污能力是一个定值,计算结果比较严格,应用于管理也比较安全。本论文根据我

国 2009 年提出的水资源管理制度中三条红线之一——“明确水功能区限制纳污红线，严格控制入河排污总量”，结合各水功能区的水质管理目标，计算了年最枯月的 90% 条件下计算的纳污能力，从结果可以看出，对渭河干流陕西段污染严重的功能区必须采取一定的措施来有效治理，防止水质的进一步恶化。以便缓解水资源短缺的状况。

水域的纳污能力是排污总量控制的基础，其定量评价对于有效地保护水资源具有重要的现实意义。根据纳污能力制定科学的改善策略，具有一定的前瞻性和可操作性，不仅可以改善水环境，还可以节约人力、物力和财力，实现人与自然和谐相处和社会经济的可持续发展。

基金项目

长安大学省重点实验室开放基金(2019-JC08)；陕西省土地工程建设集团内部项目(DJNY2021-25)。

参考文献

- [1] 瞿香梅. 陕西渭河流域水功能区水域纳污量分析[J]. 水利水电快报, 2008, 29(10): 28-30.
- [2] 李锦秀, 马巍, 史晓新, 等. 污染物排放总量控制定额确定方法[J]. 水利学报, 2005, 36(7): 812-817.
- [3] 袁弘任. 三峡水库纳污能力分析[J]. 中国水利, 2004(20): 19-22.
- [4] 梁博, 王晓燕. 我国水环境污染物总量控制研究的现状与展望[J]. 首都师范大学学报, 2005, 26(1): 93-98.
- [5] Wang, C.F. and Edwin, D.O. (2004) Transjurisdictional Water Pollution Management: The Huai River Example. *Water International*, **29**, 290-298. <https://doi.org/10.1080/02508060408691783>
- [6] Hughes, R.M. and Larsen, D.P. (1988) Ecoregions: An Approach to Surface Water Protection. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, **60**, 486-493.
- [7] 袁寿荣. 陆良县水污染控制线性规划研究[J]. 云南环境科学, 2000, 19(4): 21-22.
- [8] 戴正德, 王蕾, 马生伟, 等. 祀麓湖水污染总量控制和工程治理的效益分析[J]. 云南大学学报自然科学版, 2000, 22(1): 18-19.
- [9] 赵军. 浅论污染物排放总量控制[J]. 山东环境, 2000(S1): 28-29.
- [10] 林国强. 南流江玉林城区段污染物总量控制方案[J]. 广西水利水电, 2002(1): 54-57.
- [11] 宋策, 唐允吉, 王克平. 陕西汉江干流有机质环境容量的研究[J]. 陕西水力发电, 2001, 17(4): 57- 60.
- [12] 张宏斌, 赵洁, 瞿香梅. 渭河干流纳污能力与限制排污总量计算分析[J]. 陕西水利, 2010(1): 35-38.