

# 不同水期条件下的渭河陕西段纳污能力计算

孙小梅<sup>1,2,3,4,5\*</sup>, 师晨迪<sup>1,2,3,4,5</sup>, 徐艳<sup>1,2,3,4,5</sup>, 慕哲哲<sup>1,2,3,4,5</sup>, 李俭<sup>1,2,3,4,5</sup>

<sup>1</sup>陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

<sup>2</sup>陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

<sup>3</sup>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

<sup>4</sup>陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安

<sup>5</sup>自然资源部土地工程技术创新中心, 陕西 西安

收稿日期: 2021年9月27日; 录用日期: 2021年10月29日; 发布日期: 2021年11月5日

## 摘要

结合渭河干流陕西段水环境现状, 贯彻最严格水资源管理制度, 根据水资源保护目标, 以渭河干流陕西段水功能区为研究对象, 以COD和NH<sub>3</sub>-N为有机污染物代表, 采用国家标准纳污能力计算模型, 将年时间尺度细化为丰水期、平水期、枯水期, 计算了不同水期条件下的纳污能力, 表明纳污能力不是定值, 而是动态的, 因此, 能反映出年内纳污能力随时间的变化情况, 可充分利用水域实际的纳污能力, 为渭河流域水环境综合治理提供参考。

## 关键词

水环境, 纳污能力, 标准模型, 水期, 水功能区, 动态

# Calculation of Pollutant Carrying Capacity in Shaanxi Section of Weihe River under Different Water Periods

Xiaomei Sun<sup>1,2,3,4,5\*</sup>, Chendi Shi<sup>1,2,3,4,5</sup>, Yan Xu<sup>1,2,3,4,5</sup>, Zhezhe Mu<sup>1,2,3,4,5</sup>, Jian Li<sup>1,2,3,4,5</sup>

<sup>1</sup>Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

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

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

<sup>4</sup>Shaanxi Provincial Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an Shaanxi

<sup>5</sup>Land Engineering Technology Innovation Center, Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

Received: Sep. 27<sup>th</sup>, 2021; accepted: Oct. 29<sup>th</sup>, 2021; published: Nov. 5<sup>th</sup>, 2021

\*通讯作者。

文章引用: 孙小梅, 师晨迪, 徐艳, 慕哲哲, 李俭. 不同水期条件下的渭河陕西段纳污能力计算[J]. 世界生态学, 2021, 10(4): 518-524. DOI: 10.12677/ije.2021.104059

## Abstract

Combined with the current situation of water environment in Shaanxi section of the main stream of Weihe River, implementing the strictest water resources management system, and it takes the water functional zone in Shaanxi section of the main stream of Weihe River as the research object according to the water resources protection objectives, takes cod and  $\text{NH}_3\text{-N}$  as the representatives of organic pollutants, uses the national standard pollutant carrying capacity calculation model, the annual time scale is subdivided into wet period, normal period and dry period, the pollutant carrying capacity under different water period conditions is calculated, which shows that the pollutant carrying capacity is not a fixed value, but dynamic, so reflects the change of pollutant carrying capacity with time in the year, and makes full use of the actual pollutant carrying capacity of the water area. It provides a reference for the comprehensive management of water environment in Weihe River Basin.

## Keywords

Water Environment, Pollution Carrying Capacity, Standard Model, Water Period, Water Function Area, Dynamic

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

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。

渭河流域关中地区地处陕西中部，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。渭河 13 个监测断面，多年来重金属离子含量均符合 I、II 类水质标准，主要污染物是 COD 和  $\text{NH}_3\text{-N}$ 。关中农业发达，以麦草为资源的造纸业，以农产品为原料的啤酒酿造业发达。改革开放以来，市县企业和乡镇企业快速发展，尤以造纸业为最，都使得渭河 COD、氨氮成为主要污染物。以造纸为主的有机型污染，决定了渭河污染控制的主要行业、因子和对策。2007 年监控数据显示，渭河干流常年监控的 13 个断面中，还有 9 个断面的水质为劣 V 类，咸阳市以下的市界断面仍为劣 V 类水质，丧失了基本的水体功能[1]。

许多国家使用水污染控制系统规划来解决河流污染问题，如美国和加拿大等[2]-[8]。在 20 世纪 60 年代末期，日本该领域的专家提出了纳污能力的概念[9] [10]，利用计算水域纳污能力(水环境容量)来控制进入天然水体包括湖泊、河流等污染物的排放量，从量的方面研究入河污染物对水体的影响。水环境纳污能力是指物体在其最大载荷不具有破坏性的情况下接受物体的能力。水域纳污量计算的研究方法主

要有解析法[11]、模型试错法[12]、系统分析法[13]和概率稀释模型法[14]。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。在相关研究中,都把水体纳污能力或水环境容量作为水污染控制规划实施的重要约束条件一般用吸收能力、环境容量、最大容许纳污量和水体允许排放水平来描述纳污能力。但是,现有河流纳污能力分析的结果存在参考价值低的问题,难以有效实现水资源可持续利用的目标。

因此,本文主要研究以渭河干流陕西河段,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,计算各水期 90%保证率下的允许纳污量,对采取有效的管理措施从源头上控制污染物的排放量应对日益严重的环境问题有一定意义。

## 2. 水功能区划及分期设计流量确定

### 1) 水功能区划

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。

### 2) 设计流量确定

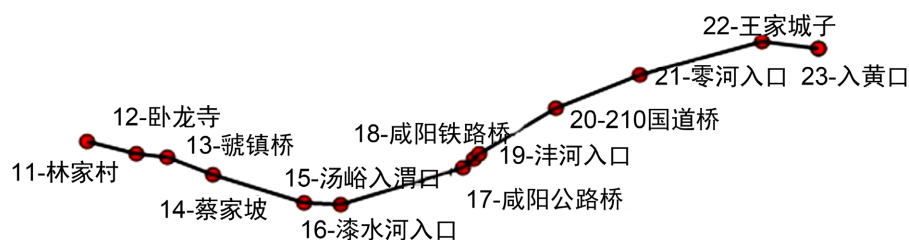
根据渭河干流陕西段水文资料,利用水文频率分析常用的皮尔逊-III 型曲线拟合法来求算,并用矩阵估算法对参数  $C_v$ 、 $C_s$  进行适线调整,得到各水文站 90%保证率下的设计流量。对于缺少径流资料的功能区断面,则采用水文比拟法进行估算。本文考虑了不同尺度下的设计流量,有水文资料情况下处理,来求不同水期条件下的设计流量。

按水期排频计算分期设计流量的思路为选取某水文站长系列的月流量数据,以目前水文领域研究习惯将水文年划分为平水期、丰水期和枯水期,其中平水期为 3 月到 6 月,丰水期为 7 月到 10 月,枯水期为 11 月、12 月、以及次年的 1 月和 2 月。各水文年以各水期的平均流量为经验点据,选用 P-III 型曲线配线,得到理论频率曲线。然后由该曲线得到不同设计保证率下的流量值。结果见表 2。

**Table 1.** Water function zoning of Shaanxi section of main stream of 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.** Overview of key water functional areas (Shaanxi section) in the main stream of Weihe River  
**图 1.** 渭河干流重点水功能区(陕西段)概化图

**Table 2.** Design flow of each hydrological station in different water periods

**表 2.** 各水文站不同水期设计流量

水文站	集水面积(km <sup>2</sup> )	丰水期月流量(m <sup>3</sup> /s)	平水期月流量(m <sup>3</sup> /s)	枯水期月流量(m <sup>3</sup> /s)
林家村	30,661	16.59	4.59	1.13
咸阳	46,827	54.7	24.41	16.51
华县	106,498	134.89	52.87	34.32

### 3. 纳污能力计算模型及参数的确定方法

#### 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的反映实际情况。

#### 2) 纳污能力计算模型[15]

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:

a) 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)。

b) 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:

$C_s$ ——水质目标浓度值, 单位为毫克每升(mg/L);

$Q_p$ ——废污水排放流量, 单位为立方米每秒(m<sup>3</sup>/s);

$Q$ ——初始断面的入流流量, 单位为立方米每秒(m<sup>3</sup>/s);

$M$ ——水域纳污能力, 单位为克每秒(g/s)。

### 3) 参数确定

① 流速确定。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期下 90% 的保证率设计流量对应的流速。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 3。

**Table 3.** Design flow velocity of each section in the driest month (unit: m/s)

**表 3.** 最枯月各断面的设计流速(单位: m/s)

断面名称	平水期	丰水期	枯水期
林家村	0.37	0.73	0.17
卧龙寺	0.42	0.79	0.25
虢镇桥	0.57	0.96	0.41
蔡家坡	0.58	0.98	0.42
汤峪入口	0.65	1.06	0.49
漆水河入口	0.76	1.20	0.60
咸阳公路桥	0.50	0.66	0.44
咸阳铁路桥	0.50	0.66	0.44
沔河入口	0.51	0.66	0.44
210 国道桥	0.63	0.86	0.55
零河入口	0.64	0.87	0.56
王家城子	0.43	0.66	0.35

② 初始断面污染物浓度值  $C_0$  的确定。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 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  作为污染物控制参数。COD 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  标准采用《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)，标准值见表 4。

**Table 4.** Limits of environmental quality standards for surface water (unit: mg/L)

**表 4.** 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
COD	≤15	≤15	≤20	≤30	≤40
$\text{NH}_3\text{-N}$	≤0.15	≤0.5	≤1.0	≤1.5	≤2.0

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。综合衰减系数  $K$  的确定，查阅相关资料，渭河干流 COD 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  的  $k$  值分别为 0.43/d 和 0.30/d [16]。

## 4. 纳污能力计算结果与分析

根据计算的各水期的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各水期的 90% 保证率下的 COD 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  河流的纳污量。结果见表 5。从结果中可以看到，河流对于 COD 的纳污量明显高于  $\text{NH}_3\text{-N}$ ；丰水期的纳污能力大于平水期纳污能力，平水期纳污能力大于枯水期，这是由于

纳污能力的主要影响因素是河道中的流量，流量越大，纳污能力越大。在每年的丰水期流量大于其他水期流量，所以纳污能力是最大的。由此也可以看出，纳污能力不是一个定值，而是随着时间而变化的，通过对年尺度的细化，纳污能力越精确。

**Table 5.** Calculation of pollutant carrying capacity of each functional area under each water period (unit: t)

**表 5.** 各水期下各功能区的纳污量计算(单位: t)

功能区名称	平水期		丰水期		枯水期	
	COD	NH <sub>3</sub> -N	COD	NH <sub>3</sub> -N	COD	NH <sub>3</sub> -N
宝鸡市景观区	92.65	3.27	153.39	5.38	64.59	2.29
宝鸡市排污控制区	1325.46	63.27	3265.50	158.46	775.79	36.55
宝鸡市过渡区	174.85	11.10	273.14	17.39	134.00	8.49
宝眉工业、农业用水区	-448.29	-19.75	-1356.71	-63.67	-220.63	-8.97
杨凌农业、景观用水区	-719.57	-27.21	-1870.99	-80.39	-426.75	-14.22
咸阳工业用水区	4090.74	184.62	8410.42	384.34	2902.07	130.25
咸阳市景观用水区	79.31	7.44	132.74	12.46	62.34	5.84
咸阳排污控制区	203.81	9.96	339.46	16.58	161.23	7.88
咸阳西安过渡区	959.92	33.77	1626.33	57.08	777.43	27.38
临潼农业用水区	3329.49	119.96	6179.21	220.77	2526.29	91.46
渭南农业用水区	608.27	51.17	1137.24	96.01	456.17	38.30
华阴入黄缓冲区	2044.37	71.74	3423.16	119.28	1608.39	56.69
合计	11,741.03	509.34	21,712.90	943.70	8820.91	381.95

## 5. 结论

本文通过计算了渭河干流陕西段水功能区的纳污能力，表明不同的水期有不同的纳污量，而不是一个定值。枯水季，河道里的水很少，其纳污能力就弱；洪水季节相对来讲纳污能力就强。而目前规划常规的算法却将纳污能力定值化，势必与水体的特性和实际管理的需求相去甚远。因此对流域的纳污能力计算方面，应该在时间尺度上进行细化处理。为防止水体污染，保持水域功能，还应从源头上控制污染物的排放量。在水体未被污染之前，严格地按水环境容量的要求实行污染物排放总量控制，这是防止水体污染最根本、最有效的方式。对于已经严重污染的水体，要恢复到要求的水质标准，需要采取综合的治理措施。如整治河道、生物治理、水库调节流量和引水稀释等。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] 馨香梅. 陕西渭河流域水功能区水域纳污能力分析[J]. 水利水电快报, 2008, 29(10): 28-30.
- [2] Heon, J. and Seok, K. (2004) A River Water Quality Management Model for Optimizing Regional Waste Water Treatment Using a Genetic Algorithm. *Journal of Environmental Management*, **73**, 229-242.

- <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.07.004>
- [3] Baeza, A. (2001) Spatial and Temporal Evolution of the Levels of Tritium in the Tagus River in Its Passage through Cacera (Spain) and the Alentejo (Portugal). *Water Research*, **35**, 705-714. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00302-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00302-X)
- [4] Andrews, K. and Barbara, J. (1999) Surface Water Quality Management Using a Multiple-Realization Chance Constrained Method. *Water Resources Research*, **35**, 1657-1670. <https://doi.org/10.1029/98WR02771>
- [5] Anbo, L. (2001) Phenanthrene Desorption from Soil in the Presence of Bacterial Extracellular Polymer: Observations and Model Prediction of Dynamic Behavior. *Water Research*, **35**, 835-843. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00324-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00324-9)
- [6] Cox, B. (2003) A River of Currently Available In-Stream Water-Quality Models and Their Applicability for Simulating Dissolved Oxygen in Low Land Rivers. *Science of The Total Environment*, **314-316**, 335-377. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(03\)00063-9](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(03)00063-9)
- [7] Lwane, T. (2001) Possible Impact of Treated Waste Water Discharge on Incidence of Antibiotic Resistant Bacteria in River Water. *Water Science & Technology*, **43**, 91-99. <https://doi.org/10.2166/wst.2001.0077>
- [8] Jia, Z., Chen, Y., Wang, H., *et al.* (2017) A Study on the Clustering Zoning Method for Water Environmental Carrying Capacity in the Watershed Scale: Analysis Exploring the Upstream Areas of Xiaoxia Bridge Section in Huang Shui River Basin. *Acta Scientiae Circumstantiae*, **2017**, 48-51.
- [9] 周到. F 河武汉段纳污能力研究[D]: [硕士学位论文]. 湖北: 华中科技大学, 2018.
- [10] 郭婧. 邯郸市水功能区纳污能力研究[D]: [硕士学位论文]. 河北: 河北工程大学, 2020.
- [11] 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.
- [12] 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>
- [13] 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.
- [14] 袁寿荣. 陆良县水污染控制系统规划研究[J]. 云南环境科学, 2000, 19(4): 21-22.
- [15] 张海欧, 闵涛, 罗军刚, 闫莉. 基于多模型的渭河陕西段纳污能力研究[J]. 水资源与水工程学报, 2012, 23(6): 89-93.
- [16] 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.