

文章编号: 1006-4710(2011)01-0007-05

# 渭河陕西段水环境容量研究

周洋, 周孝德, 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:** 运用一维稳态水质模型和水环境容量模型, 采用段首控制高功能区和段末控制低功能区相结合的方法计算渭河陕西段水环境容量。根据水质、水文监测资料和沿岸排污情况, 计算了丰水年、平水年、枯水年各频率年 COD 的水环境容量。水环境容量计算结果与渭河现状排污量进行对比, 得出渭河陕西段中下游现状排污量已远超出功能区段的水环境容量, 结合排污资料对污染严重功能区 COD 进行削减以及对削减量进行分配。

**关键词:** 渭河陕西段; 水环境容量; 一维稳态水质模型; COD 削减

**中图分类号:** X26      **文献标志码:** A

## The Research on the Water Environmental Capacity for Weihe River in Shaanxi

ZHOU Yang, ZHOU Xiaode, FENG Minquan

(Key Lab of Northwest Water Resources and Environment Ecology of MOE,  
Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** By using the 1-D water quality and water environmental capacity models, with the method of the section-beginning control in the higher function section and the section-ending control in the lower function section, water environmental capacity for Weihe River in Shaanxi is calculated. According to the information of water quality, hydrology data and the discharge points distribution, water environmental capacity of COD is calculated for every frequency year in the abundant average and drought years. Comparing the calculation results of water environmental capacity with the present pollutant discharge for Weihe River, it shows that present pollutant discharge of the middle and lower reaches of Weihe River in the Shaanxi section has far exceeded the water environmental capacity of the function section. On the basis of the information about the pollutant discharge, the quantity of COD for serious polluted function areas is reduced and distributed in this paper.

**Key words:** Weihe River in Shaanxi; water environmental capacity; 1-D water quality model; reduction of COD

水环境容量是指某一水环境单元在规定的目标下所能容纳的最大污染物的数量, 即环境单元依靠自身特性使本身功能不至于破坏的前提下能够允许的污染物的量。国外一般采用随机理论和系统理论进行研究。Fujiwarra<sup>[1]</sup> 根据随机理论, 在已知流量、流速等变量概率分布的情况下, 运用约束模型研究污染负荷及其分配量。Donald<sup>[2]</sup> 考虑了水质现象的随机不确定性, 用一阶不确定性分析方法, 将水质随机变量转化为确定性变量, 通过水质优化模型, 计算水环境容量。我国对环境容量的

研究最早始于 20 世纪 70 年代, 诸多学者给出了不同的水环境容量概念及其计算方法。20 世纪 90 年代以来, 环境容量研究已全面进入了应用阶段。

本文针对渭河陕西段 COD 水环境容量和削减量进行计算与分析。计算出不同频率年的水环境容量。结合 2005 年陕西省水文水资源勘测局提供的黄河流域入河排污口排污资料, 得知渭河陕西段中下游污染严重, 对污染严重的功能区进行了 COD 的削减, 并把各区段的削减量具体分配到渭河干流的排污企业及支流, 从而为总量控制、水资源的合

收稿日期: 2010-10-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50079022); 水体污染控制与治理科技重大专项基金资助项目(2009ZX07212-002)。

作者简介: 周洋(1982-), 女, 辽宁铁岭人, 博士生, 研究方向为水污染控制。E-mail: zhouyang\_xx2009@126.com。

周孝德(1960-), 男, 江西玉山人, 教授, 博导, 博士, 研究方向为水污染控制和环境水力学。E-mail: zhouxd@mail.xaut.edu.cn。

理开发,环境规划提供依据。

## 1 水环境容量模型的建立

### 1.1 水质模型的建立

水质模型描述了污染物在水环境中的复杂运动规律,并为水环境容量计算提供了重要依据。水质模型假定:河段均匀,河流污染物的浓度不随时间变化,污染物仅在水流方向变化,并且忽略另外两个方向的污染物浓度变化。因而,污染物的浓度变化可用一维稳态水质模型进行描述<sup>[3]</sup>:

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

式中, $u$ 为河道断面的平均流速(m/s), $C$ 为污染物浓度(mg/L), $x$ 为沿河段的纵向距离(m), $D$ 为河流纵向离散系数(m<sup>2</sup>/s), $K$ 为污染物降解系数(1/d)。

忽略离散作用,即 $E = 0$ 时,式(1)的解析解为:

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

式中, $C_x$ 为流经 $x$ 距离后的污染物浓度(mg/L), $C_0$ 为上游断面的污染物浓度(mg/L)。

### 1.2 水环境容量模型的选择

本研究选择段首和段末相结合的水环境容量计算方法<sup>[3-7]</sup>,对不同设计条件下的水环境容量进行估算。

#### 1.2.1 段首控制法

段首控制法指控制上游断面的水质达到功能区段的要求,由于污染物的降解与自净作用,段首控制可以保证各功能区段的水质不超标。水环境容量计算公式可以表示为:

$$E = 0.0864 \left\{ Q_0 (C_s - C_0) + \sum_{i=1}^n C_s \left[ Q_i \left( 1 - \exp\left( -\frac{KL_i}{86400u_i} \right) \right) \right] + q_i \right\} \quad (3)$$

式中, $E$ 为功能区段的总环境容量(t/d), $Q_0$ 为来水

流量(m<sup>3</sup>/s), $C_s$ 为功能区段水质标准(mg/L), $C_0$ 为来水的COD浓度(mg/L), $Q_i$ 为混合后干流流量(m<sup>3</sup>/s), $L_i$ 为第 $i$ 河段长度(m), $u_i$ 为第 $i$ 河段设计平均流速(m/s), $q_i$ 为第 $i$ 河段的排污量(m<sup>3</sup>/s)。

#### 1.2.2 段末控制法

段末控制法指控制下游断面的水质达到功能区段的要求,由于功能区各段水质低于水质要求,河段计算长度较短,污染物降解能力处于较低水平,可以认为水质超标不严重。水环境容量计算公式可以表示为:

$$E = 0.0864 \left\{ Q_0 (C_s - C_0) + \sum_{i=0}^{n-1} C_s \left[ Q_{i+1} \left( \exp\left( -\frac{KL_i}{86400u_i} \right) - 1 \right) \right] + q_{i+1} \right\} \quad (4)$$

式中, $Q_{i+1}$ 为第 $i+1$ 个断面前的干流流量(m<sup>3</sup>/s), $q_{i+1}$ 为第 $i+1$ 个断面处的排污流量(m<sup>3</sup>/s)。

## 2 计算条件的确定

### 2.1 河流功能区段的划分

水环境容量是相对于水体能满足一定的功能和用途而言的,因此,根据水体不同的功能和用途,确定其纳污能力,从而计算水环境容量。

我国地面水水质标准按水体的功能分为5类。每类水体的水质标准都对水环境容量计算起决定性作用。

国家和陕西省人民政府对渭河流域陕西段进行了水功能区划分。参考陕西省环保局水环境功能区划,即《渭河干流(陕西段)地面水功能区划方案表》(DB61—224—1996),执行的地面水环境质量标准为《地表水环境质量标准》(GB3838—2002),可以得到渭河陕西段水功能区段的划分及水质目标要求,如表1所示。

表1 渭河陕西段水功能区段的划分及水质目标要求

Tab. 1 Water function section differentiation and water quality target of Shannxi reach of the Weihe River

编号	水域范围	功能区名称	河段长度/km	水质目标	编号	水域范围	功能区名称	河段长度/km	水质目标
1	林家村-卧龙寺	宝鸡市景观区	20	Ⅲ	7	咸阳公路桥-铁路桥	咸阳市景观用水区	3.8	Ⅳ
2	卧龙寺-虢镇	宝鸡市排污控制区	12	Ⅳ	8	铁路桥-沔河入口	咸阳排污控制区	5.4	Ⅳ
3	虢镇-蔡家坡	宝鸡市过渡区	22	Ⅳ	9	沔河入口-210国道桥	咸阳西安过渡区	19	Ⅳ
4	蔡家坡-汤峪入渭口	宝眉工业、农业用水区	44	Ⅲ	10	210国道桥-零河入口	临潼农业用水区	56.4	Ⅳ
5	汤峪入渭口-漆水河口	杨凌农业、景观用水区	16	Ⅲ	11	零河入口-王家城子	渭南农业用水区	96.8	Ⅳ
6	漆水河口-咸阳公路桥	咸阳工业用水区	63	Ⅳ	12	王家城子-入黄口	华阴入黄缓冲区	29.7	Ⅳ

### 2.2 评价因子及其水环境质量标准

由渭河流域陕西段水质现状、综合评价结果和水

污染情况分析表明,该河段的污染主要属于化学需氧量COD污染和NH<sub>3</sub>-N污染。所以COD和NH<sub>3</sub>-N

应该作为主要研究指标,根据水质监测资料入河污染物中COD占的比例最大,因此选取COD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

Tab. 2 Standards for surface water environmental quality

项目	分类				
	I类	II类	III类	IV类	V类
化学需氧量 COD/(mg/L)	≤ 15	≤ 15	≤ 20	≤ 30	≤ 40

## 2.3 计算参数的选择

### 2.3.1 降解系数 $K$

污染物降解系数  $K$  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,其降解系数是不同的。对水环境容量的计算来说,考虑的主要水质参数是COD。污染物降解系数  $K$  可用实测资料反推或水团追踪法求取,这里采用实测资料反推法<sup>[7]</sup>。

实测资料反推法采用如下计算公式:

$$K = 86.4u(\ln c_1 - \ln c_2)/x \quad (5)$$

式中,  $c_1$  为河段上断面污染物浓度(mg/L),  $c_2$  为河段下断面污染物浓度(mg/L),  $x$  为上下断面的距离(km),换算系数为86.4。

根据已知上下两个监测断面污染物浓度实测值,率定出降解系数  $K$ ,为使计算准确,河段选择需足够长,使得  $c_1$ 、 $c_2$  有明显差别。

现有陕西省水文水资源勘测局提供的2000—2004年各监测断面污染物实测值,本研究根据现状频率年所计算出的各断面流速值来推断其对应的降解系数  $K$  值与2000—2004年计算出的各月降解系数作比较,得出现状频率年污染物降解系数(1/d)列于表3。

表3 渭河陕西段COD降解系数

Tab. 3 Degradation factor of COD of Weihe River in Shannxi

监测断面	降解系数 (95%频率年)	降解系数 (75%频率年)	降解系数 (50%频率年)
林家村至咸阳	0.43	0.45	0.47
咸阳至潼关	0.50	0.53	0.56

### 2.3.2 水文参数

设计流量是最基本的河流水文参数,它不仅直接影响其它水文参数,而且在河流水环境容量的计算中至关重要。本文通过对渭河陕西段近40年

(1955—2005年)年径流量的分析计算,并结合北方季节性河流的特点,选取保证率为95%的特枯水年,保证率为75%的枯水年、保证率为50%的平水年最枯月平均流量分别进行水环境容量的计算。

## 3 渭河陕西段水环境容量计算和分析

### 3.1 水环境容量计算结果

结合渭河陕西段水功能区段的划分及水质目标要求,对于渭河陕西段,高功能区段采用段首控制法,低功能区段采用段末控制法,运用水质模型和水环境容量模型,并结合2005陕西省水文水资源勘测局提供的黄河流域入河排污口排污资料计算水环境容量。针对水环境质量为III类的功能区,采用段首控制法计算其水环境容量;水环境质量为IV类的功能区,采用段末控制法进行计算。计算结果见表4。

表4 渭河流域各频率年的COD水环境容量计算

Tab. 4 Capacity of COD in different seasons of WeiHe River

功能区段	河段长度	COD年允	COD年允	COD年允
		许排放量 (保证率95% 特枯水年) /(t/a)	许排放量 (保证率75% 枯水年) /(t/a)	许排放量 (保证率50% 频率平水年) /(t/a)
1	20	1 568.52	2 537.98	4 182.04
2	12	521.60	1 016.13	1 810.94
3	22	633.82	1 422.76	2 688.68
4	44	838.52	1 904.27	3 174.37
5	16	604.22	1 422.71	2 040.51
6	63	4 106.26	7 788.92	10 404.87
7	3.8	1 076.71	2 905.58	4 177.35
8	5.4	99.46	278.64	404.78
9	19	5 282.21	7 931.41	9 770.40
10	56.4	8 367.84	16 597.34	24 009.9
11	96.8	28 025.68	36 240.15	53 537.0
12	29.7	3 535.31	5 048.40	7 020.88
合计		54 660.16	85 094.28	123 221.7

从表4计算出的水环境容量结果可以得知,在枯水期各功能区段的水环境容量值比平水期和丰水期的水环境容量值要小,这是由于枯水期的水文条件流量、流速等比丰水、平水两期要小,在排污量相同的情况下,枯水期的水环境容量必然会小。

渭河陕西段各功能区水环境容量的大小与相应河段的计算长度有很大的关系,一般河段越长,水环境容量越大。由于河段越长,污染物在河流中经过扩散、稀释后浓度降低,所以与污染物排放量相差不多的河段相比,河段较长的其水环境容量较大。

### 3.2 削减量计算

削减量的计算公式<sup>[8]</sup>如下:

$$X = P - W \quad (6)$$

式中, $X$ 为污染物削减量(t/a), $P$ 为污染物入河量(t/a), $W$ 为环境容量(t/a)。

根据陕西省水文水资源勘测局提供的黄河流域入河排污口排污资料,对入河排污口进行调查,得出各个排污口的COD入河量。

根据(6)式求得渭河陕西段排污削减量值如表5所示。

表5 渭河流域各频率年的COD排污削减量

Tab.5 The quantity of pollutants reduction of COD in different seasons of Weihe River

功能区 段编号	50% 频率年			75% 频率年			95% 频率年		
	年允许排 放量/(t/a)	COD入 河量/(t/a)	削减量 /(t/a)	年允许排 放量/(t/a)	COD入 河量/(t/a)	削减量 /(t/a)	年允许排 放量/(t/a)	COD入 河量/(t/a)	削减量 /(t/a)
1	4 182.04	7 826.9	3 644.86	2 537.98	7 826.9	5 288.92	1 568.52	7 826.9	6 258.38
2	1 810.94	2 709.8	898.86	1 016.13	2 709.8	1 693.67	521.60	2 709.8	2 188.2
3	2 688.68	195.48	-2 493.2	1 422.76	195.48	-1 227.28	633.82	195.48	-438.34
4	3 174.37	1 474.85	-1 699.52	1 904.27	1 474.85	-429.42	838.52	1 474.85	636.33
5	2 040.51	228.7	-1 811.81	1 422.71	228.7	-1 194.01	604.22	228.7	-375.52
6	10 404.87	37 723.3	27 318.5	7 788.92	37 723.3	29 934.4	4 106.26	37 723.3	33 617.0
7	4 177.35	5 258.19	1 080.84	2 905.58	5 258.19	2 352.61	1 076.71	5 258.19	4 181.48
8	404.78	984.41	579.63	278.64	984.41	705.77	99.46	984.41	884.95
9	9 770.40	25 832	16 061.6	7 931.41	25 832	17 900.59	5 282.21	25 832	20 549.79
10	24 009.9	33 683	9 673.1	16 597.34	33 683	17 085.66	8 367.84	33 683	25 315.16
11	53 537.0	8 132.41	-45 404.6	36 240.15	8 132.41	-28 107.7	28 025.68	8 132.41	-19 893.3
12	7 020.88	92.5	-6 928.38	5 048.40	92.5	-4 955.9	3 535.31	92.5	-3 442.81
合计	123 221.7			85 094.28			54 660.16		

注:表中正值表示削减量,负值表示剩余水环境容量。

从表5可以看出,渭河陕西段下游功能区还有剩余水环境容量可以利用。上游区段以及中下游功能区段污染严重,需要对污染物进行削减,削减量是保证污染物排放量和规划目标实现的重要指标,对入河污染物的控制刻不容缓。

### 3.3 削减量分配

我们对污染严重的功能区6,9,10进行削减量分配。本文采用等比例分配原则,对6,9,10各个功能区段的削减量具体分配到渭河干流的各个排污企业及支流。

等比例分配法所需的数据量少,同时可表现一定程度的公平性。

削减量分配结果见表6。从表6中可以看出,导致渭河污染严重的原因主要是漆水河、皂河和泾河等支流的汇入,其次是渭河干流的市政排污口。渭河污染的根本原因在于支流污染源的排污,应该严格控制支流的排污企业排污和生活污染源。

表6 削减量分配

Tab.6 The quantity of pollutants reduction of COD in different seasons of pollution sources

污染源 名称	现 状 排放量 /(t/a)	50% 频率 年削减量 /(t/a)	75% 频率 年削减量 /(t/a)	95% 频率 年削减量 /(t/a)
漆水河	17 854.7	12 930.03	14 168.15	15 911.15
方寨纸厂	738	534.45	585.62	657.66
兴包公司	1.3	0.94	1.03	1.15
黑河	34.6	25.06	27.46	30.83
兴平市排污口	7 101.2	5 142.55	5 634.98	6 328.21
市政	11 981.92	8 677.08	9 507.95	10 677.64
涝河	11.6	8.40	9.20	10.33
沔河	46	28.60	31.88	36.60
皂河	18 523.6	11 517.45	12 836.15	14 735.84
漕运河	7 262.4	4 515.55	5 032.57	5 777.36
渭河发电厂	98.6	28.32	50.01	74.10
幸福渠	5 200	1 493.34	2 637.69	3 908.17
泾河	26 786.3	7 692.50	13 587.32	20 131.80
泾河	1 262.3	362.51	640.30	948.71
石川河	335.8	96.44	170.33	252.38

## 4 结 论

1) 本文对渭河陕西段水环境容量进行了计算,采用段首控制高功能区和段末控制低功能区相结合的方法计算河段水环境容量;

2) 通过水环境容量计算结果与渭河现状排污量的对比,得出渭河陕西段中下游现状排污量已远远超出功能区段的水环境容量。因此,应对现状污染源排放量进行削减,同时应有针对性的采取措施,推行排污交易制度对工业污染源加以治理;远期规划中,在污染严重的地区增建污水处理厂;

3) 对污染严重的功能区进行削减量分配。导致渭河污染严重的原因主要是漆水河、皂河和泾灞河等支流的汇入,其次是渭河干流的市政排污口。

### 参考文献:

- [1] Fujiwara O, Gnanendran S k, Ohgaki S. River quality management under streamflow [J]. Journal of Environmental Engineering, 1986, 112(2):180-181.
- [2] Donald H B, Edward A M. Optimization modeling of water quality in an uncertain environment [J]. Water Resource Research, 1985, 21(7):934-940.
- [3] 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 Jiejun, Wang Lin, Wang Chengjian, et al. Environmental capacity of rivers in North China[J] Journal of Hydraulic Engineering, 2009, 40(2):194-200.
- [4] 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 Jinbo, Zhen Wendong, Wang Zhongxun, et al. The water environmental capacity and the maximal permitted discharge amount of rivers in Shandong Province[J] Journal of Shandong University(Engineering Science), 2008, 38(5):77-93.
- [5] 周孝德,郭瑾珑,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 Wen, et al. The Comparison of the Environmental Capacity Calculation Methods[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 1999, 15(3):1-6.
- [6] 胡国华,赵沛伦,王任翔. 黄河孟津—花园口河段水环境容量研究[J]. 水资源保护, 2002, 18(1):26-28.  
Hu Guohua, Zhao Peilun, Wang Renxiang. Study on water environment capacity for Mengjin-Huayuankou Section of Yellow River [J]. Water Resources Protection, 2002, 18(1):26-28.
- [7] 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.  
Song Ce, Tang Yunji, Wang Keping. Study on water environmental capacity for the mainstream of the Hangjiang River in Shaanxi Province [J]. Journal of Shaanxi Water Power, 2001, 17(4):57-60.
- [8] 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 Limin, Liu Yang, Sun Weihong, et al. Estimation of water environmental capacity and allocation of pollutants reduction in a small watershed of Caoqiao River in Taihu Basin [J]. Journal of Lake Sciences, 2009, 21(4):502-508.

(责任编辑 杨小丽)