

# 基于未确知理论的小清河水环境容量计算

马惠群<sup>1</sup>, 张丽静<sup>2</sup>, 孙秀玲<sup>3</sup>

(1. 山东电力工程咨询院有限公司, 山东 济南 250013; 2. 临沂市水利勘测设计院, 山东 临沂 276000;  
3. 山东大学 土建与水利学院, 山东 济南 250061)

**摘要:** 河流系统存在一定的不确定性。设计流量的确定对于水环境容量的计算具有决定作用。将未确知理论引入水环境容量计算, 采用未确知理论中未确知有理数概念, 将设计流量作为未确知有理数, 分别计算其不同情况下的取值可能值以及可信度。以山东省小清河济南段为例, 计算得到 90% 设计流量下水环境容量的区间值及其对应可信度, 旨在更充分的了解小清河水环境容量的实际情况, 为水环境治理提供更科学的依据。

**关键词:** 水环境容量; 未确知有理数; 可信度; 设计流量

**中图分类号:** TV213.4      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1672-643X(2012)06-0160-03

## Calculation of water environment capacity in Xiaqinghe River based on uncertain theory

MA Huiqun<sup>1</sup>, ZHANG Lijing<sup>2</sup>, SUN Xiuling<sup>3</sup>

(1. Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute Corp. LTD, Jinan 250013, China;  
2. Linyi Water Survey and Design Institute, Linyi 276000, China;  
3. School of Civil Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

**Abstract:** River system has certain uncertainty. Determination of design flow is crucial to the calculation of water environment capacity. Uncertainty theory was introduced into water environmental calculation in the paper. It took design flow as a unascertained rational number, and calculated the value and its probability in different situations. Taking Jinan section of Xiaqinghe in Shandong Province as example, it calculated the interval value and corresponding credibility under 90% design frequency by using unascertained rational number to ascertain practical situation of its water environment capacity. The result can supply scientific basis for water environment treatment.

**Key words:** water environment capacity; unascertained rational number; credibility; design flow

水环境系统是一个充满不确定性因素的开放性大系统。这些不确定性因素的存在有些是客观的, 有些事人们对其认知的原因造成的<sup>[1]</sup>。在水环境容量计算中, 参数流量确定了入水污染物的稀释自净能力以及污染物在水中分布, 因此, 其时水环境容量众参数中需要解决的核心问题。然而其计算方法众多, 究竟哪种最为合适, 仍没有定论<sup>[2]</sup>。因此, 本文尝试从模型、参数的不确定性方面入手, 将流量作为未确知有理数, 采用多种方法进行计算, 从而得到流量的可能值和可信度, 在此基础上, 以小清河济南市区段为例进行水环境容量的计算, 以期污染物消减提供思路<sup>[3]</sup>。

## 1 水环境容量未确知有理数定义

相同的径流系列样本, 采用不同适线方法得到的均值、变差系数、偏差系数均不同, 设计流量亦不同, 因此, 有个区间范围, 则用未确知有理数可表示为:

$$\begin{aligned} \bar{Q} &= \{[\bar{Q}_1, \bar{Q}_n], \varphi(\bar{Q})\}; \\ \varphi(\bar{Q}) &= \begin{cases} \alpha(\bar{Q})_i & \bar{Q} = \bar{Q}_i \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1) \\ 0 < \sum \alpha(\bar{Q})_i = \alpha(\bar{Q}) \leq 1 \end{aligned}$$

式中:  $\alpha(\bar{Q})_i$ ,  $[\bar{Q}_1, \bar{Q}_n]$ ,  $\varphi(\bar{Q})$  分别称为设计流量  $\bar{Q}$  的总可信度、取值区间和可信度分布函数。同理,  $C_v, C_s, Q_p$  亦可类似表示。

收稿日期: 2012-07-09; 修回日期: 2012-07-19

基金项目: 国家核电 2011 年员工自主创新课题(SNP-KJ-CX-2012-7)

作者简介: 马惠群(1981-), 男, 山东济南人, 博士, 研究方向为水文气象。

## 2 水环境容量

设计流量是水环境容量计算过程中的一个参数<sup>[4]</sup>,既然设计流量  $Q_p$  是未确知有理数,为区间取值,设  $W$  为水体的环境容量,则  $W$  的取值亦为区间值,那么水环境容量的未确知有理数可定义如下:

$$\begin{aligned} \bar{W} &= \{[\bar{W}_1, \bar{W}_n], \varphi(\bar{W})\}; \\ \varphi(\bar{W}) &= \begin{cases} \alpha(\bar{W})_i & \bar{W} = \bar{W}_i \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (2) \\ 0 < \sum \alpha(\bar{W})_i &= \alpha(\bar{W}) \leq 1 \end{aligned}$$

式中符号意义同式(1)。

## 3 小清河水环境容量

小清河流域发源于济南诸泉群,历史上小清河水量充沛,水质优良,但近几十年却成了“小污河”,亟待治理<sup>[5]</sup>。本研究选取小清河干流济南市区段 4 个监测断面为计算断面,各断面基本情况见表 1。

表 1 小清河水环境容量计算断面  $\text{km}^2$

序号	断面名称	控制流域面积	与水文站流域面积比
1	陆里庄	0	0
2	马鞍山	89.9	0.2801
3	五柳闸	234.2	0.7296
4	还乡店	330.3	1.0290
水文站	黄台桥	321	1.0000

### 3.1 设计流量推求

在济南市区小清河干流上仅有黄台桥水文站一个测站,本研究利用利 1997 - 2003 年的实测资料计算小清河设计流量,实测资料见表 2。

表 2 小清河黄台桥水文站 1974 - 2003 年最枯月流量  $\text{m}^3/\text{s}$

年份	流量	年份	流量	年份	流量
1974	5.70	1984	3.41	1994	5.91
1975	6.16	1985	4.26	1995	6.16
1976	5.70	1986	4.28	1996	5.83
1977	4.61	1987	4.35	1997	5.55
1978	3.98	1988	4.26	1998	6.48
1979	4.51	1989	3.94	1999	6.06
1980	4.50	1990	4.10	2000	6.01
1981	4.37	1991	5.66	2001	5.46
1982	3.46	1992	4.13	2002	6.16
1983	3.99	1993	5.23	2003	5.88

采用求矩适线法、三点适线法、权函数适线法,

分别求出各参数结果见表 3。

表 3 各种适线方法结果

适线方法	$\bar{Q}$	$C_v$	$C_s$
求矩适线法	5.01	0.20	0.44
三点适线法	4.96	0.18	0.58
权函数适线法	5.01	0.22	0.48

可得到如下信息:

$$\bar{Q} = \{[4.96, 5.01]\}; \varphi(\bar{Q}); C_v = \{[0.18, 0.22]\}; \varphi(C_v); C_s = \{[0.44, 0.58]\}; \varphi(C_s)$$

$$\begin{aligned} \varphi(\bar{Q}) &= \begin{cases} 0.67 & \bar{Q} = 5.01 \\ 0.33 & \bar{Q} = 4.96 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \\ \varphi(C_v) &= \begin{cases} 0.33 & C_v = 0.18 \\ 0.33 & C_v = 0.20 \\ 0.33 & C_v = 0.22 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3) \\ \varphi(C_s) &= \begin{cases} 0.33 & C_s = 0.44 \\ 0.33 & C_s = 0.48 \\ 0.33 & C_s = 0.58 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \end{aligned}$$

设计值  $Q_p = \bar{Q}(C_v \varphi_p + 1)$ ,设计保证率取  $P = 90\%$ ,由于  $\varphi_p$  是  $C_s$  的函数,故取  $\varphi_p$  的可信度等于  $C_s$  的可信度,经未确知有理数运算得到黄台桥设计流量的可能值和对应的可信度见表 4。

表 4 黄台桥设计流量可能值及可信度  $\text{m}^3/\text{s}$

$C_v \varphi_p + 1$		$Q_p$			
		$\bar{Q} = 5.01$		$\bar{Q} = 4.96$	
可能值	可信度	可能值	可信度	可能值	可信度
0.7294	0.1122	3.6543	0.0752	3.6178	0.0370
0.7316	0.1122	3.6653	0.0752	3.6287	0.0370
0.7360	0.1157	3.6874	0.0775	3.6506	0.0381
0.7540	0.1090	3.7775	0.0730	3.7398	0.0359
0.7560	0.1090	3.7876	0.0730	3.7498	0.0359
0.7600	0.1122	3.8076	0.0752	3.7696	0.0370
0.7786	0.1090	3.9008	0.0730	3.8619	0.0359
0.7804	0.1090	3.9098	0.0730	3.8708	0.0359
0.7840	0.1122	3.9278	0.0752	3.8886	0.0370
$\bar{Q}$ 的可信度		0.67		0.33	

### 3.2 水环境容量计算

小清河水环境容量可采用一维水环境容量公式:

$$W = 86.4 [C_s(q + Q_p) - C_p Q_p e^{-k \frac{L}{86.4u}}] \quad (4)$$

式中:  $W$  为水环境容量;  $C_p$  为上游断面污染物浓度,  $\text{mg/L}$ ; 睦里庄断面为小清河的源头, 其水质较好, 根据多年水质监测资料, 本研究取 COD 的背景浓度为  $22.76 \text{ mg/L}$ ,  $\text{NH}_3\text{-N}$  由于超标严重, 在本研究中采用水质标准  $2.0 \text{ mg/L}$ , 其余断面的水体污染严重, 均按水质标准考虑。  $C_s$  为水质标准,  $\text{mg/L}$ ; 小清河污染严重, 需要分期制定目标, 在本研究中暂定 V 类水标准, COD:  $40 \text{ mg/L}$ ,  $\text{NH}_3\text{-N}$ :  $2.0 \text{ mg/L}$ , 在污染逐步得到控制下再逐步提高标准, 达到人体非直接接触景观用水标准 IV 类水标准。  $k$  为污染物综合降解系数,  $\text{d}^{-1}$ 。 结本研究 COD 综合降解系数取  $0.25 \text{ d}^{-1}$ ;  $\text{NH}_3\text{-N}$  综合降解系数取  $0.15 \text{ d}^{-1}$ 。  $q$  为污水流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ; 在本研究中, 假设小清河济南市区段的污水量不变, 且每段的排污口都简化到河段下游断面, 各段排污口污水流量为: 睦里庄—马鞍山:  $0.73 \text{ m}^3/\text{s}$ ; 马鞍山—五柳闸:  $0.39 \text{ m}^3/\text{s}$ ; 五柳闸—还乡店:  $0.41 \text{ m}^3/\text{s}$ 。  $u$  为设计平均流速,  $\text{m/s}$ ; 设计流速的确定选用《山东省环境容量及主要污染物排放总量控制研究》中小清河上游段干流的有关水文参数经验公式计算得到。  $Q_p$  为设计流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ; 不同河段设计流量根据黄台桥水文站的流量通过水文比拟法由面积比计算得到。

通过计算, 可以得到未确知理论下小清河水环境容量见表 5。

表 5 未确知理论小清河水环境容量

设计 保证率	控制因子	未确知理论	
		可能值区间	概率意义上均值
90%	COD	[6985.9, 7232.5]	7113.1
	$\text{NH}_3\text{-N}$	[305.9, 310.1]	308.0

(上接第 159 页)

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、SS 等污染物排放浓度可满足《污水综合排放标准》GB8978—1996 中表 4 中一级排放标准。

(2) 该组合工艺具有以下特点: 投资低、能耗和运行成本低、管理简单; 废水中  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、SS 去除效率高, 耐冲击负荷能力强, 剩余污泥量少。

#### 参考文献:

- [1] 周正伟, 吴军, 夏金雨, 等. 我国南方农村生活污水处理技术的研发现状[J]. 山东建筑大学学报, 2009, 24(3): 261—266.
- [2] 陈俊敏, 贾滨洋, 付永胜. 表面流人工湿地用于农家乐

## 4 结 语

本研究以小清河为例, 将设计流量作为未确知有理数, 采用三种适线方法求其参数, 并由此得到可能值和可信度, 在此基础上, 计算基于未确知理论的济南市区段小清河干流 COD 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  90% 设计流量下的水环境容量。通过结果可以看出, 根据未确知理论计算的水环境容量是个区间值, 其考虑了更多因素, 将各种可能性均考虑进去, 而且将取值的可信度亦表达出来, 从而为小清河治理提供了更好的数据支持。

本研究仅考虑了统计方法的未确知性, 实际上水体这个复杂的开放性系统存在相当多的不确定性因素, 还有待进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 李如忠, 钱家忠, 汪家权, 等. 基于盲数理论的河流水质未确知风险分析初探[J]. 水电能源科学, 2003, 21(1): 18—21.
- [2] 孙秀玲, 霍太英, 褚君达. 水环境容量不确定性分析计算[J]. 人民黄河, 2005, 27(3): 34—36.
- [3] 刑肖鹏, 张园园, 冯民权. 基于盲数理论的汾河新店—入黄口段水环境容量及消减量研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011, 39(5): 73—78.
- [4] 闫欣荣, 史忠科. 盲信息下渭河水环境容量及消减量研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2007, 39(5): 684—689.
- [5] 郑昭佩, 宋德香, 张俊成. 小清河济南段水污染现状与防治对策[J]. 资源开发与市场, 2008, 24(12): 1103—1105.
- [6] 旅游设施污水处理的试验研究[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(增刊): 191—193.
- [7] 刘大银. ABR 反应器处理生活污水的研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2003, 37(4): 514—517.
- [8] 付融冰, 杨海真, 顾国伟. 潜流人工湿地对农村生活污水氮去除的研究[J]. 水处理技术, 2006, 32(1): 18—22.
- [9] 奚旦立, 孙裕生, 刘秀英, 等. 环境监测[M](第三版). 北京: 高等教育出版社, 2007: 553—567.
- [10] 《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. (第三版)北京: 中国环境科学出版社, 1998: 253—266.