

文章编号:0559-9350(2017)03-0317-08

考虑取水口和支流的河流纳污能力计算模型研究与应用

张晓, 罗军刚, 解建仓

(西安理工大学 陕西省西北旱区生态水利工程重点实验室, 陕西 西安 710048)

摘要: 为了给人河污染物总量控制以及明确水功能区限制纳污红线提供技术支持, 本文基于一维稳态条件下的水质模型, 建立了考虑取水口和支流的分段求和模型来计算河流纳污能力。该模型以排污口、取水口或支流入口为控制断面将功能区划分为若干河段, 确定各河段的流速, 逐段计算纳污能力。相对于传统纳污能力计算模型, 模型在考虑了支流和取水的基础上, 能更灵活地对应功能区水质目标等级在水环境质量标准限值范围内合理选择水质目标浓度, 从而避免出现纳污能力过严格或过宽松的情况。将模型应用于渭河干流陕西段, 考虑取水口和支流的模型计算结果为 73 814.43 t/a, 相比于断首控制模型的 36 159.96 t/a 和功能区段末模型的 85 365.49 t/a, 考虑取水口和支流的模型计算结果更适中, 同时模型可以得出任意两个控制断面之间的纳污能力; 模型中考虑了取水口、支流及分段流速等因素, 得到的纳污能力也更科学、合理, 能为明确水功能区限制纳污红线及入河污染物总量控制提供技术支持。

关键词: 河流; 纳污能力; 取水口; 支流

中国分类号: TV213.4; X522

文献标志码: A

doi: 10.13243/j.cnki.slxb.20160270

1 研究背景

2011年我国开始推进最严格水资源管理制度建设, 提出“三条红线”概念, “明确水功能区限制纳污红线, 严格控制入河排污总量”是其中之一^[1]。要限制纳污, 控制排污总量首先须确定河流的纳污能力。纳污能力是指在一定的设计水文条件下, 污染物满足计算河流的水质目标时该河流所能容纳的最大值^[2]。

目前, 计算一维河流纳污能力的方法模型^[3-8]很多, 周孝德等^[9]提出在一维稳态条件下计算河流纳污能力的段首控制、段尾控制以及功能区段末控制方法, 并应用于渭河干流陕西段; 刘昭伟等^[10]提出了一种计算岸边水环境容量的方法并应用于三峡水库万州段; 周刚等^[11]提出基于 WESC2D 模型水质模拟和粒子群算法中 RPSM 非线性优化的河流纳污能力计算方法, 并对赣江下游化学需氧量和氨氮的纳污能力进行了计算; 陈丁江等^[12]基于一维水质模型, 结合 Monte Carlo 模拟方法, 建立了非点源污染河流纳污能力的分期不确定性分析方法, 并对长乐江的总氮纳污能力进行了不确定性分析; 李如忠等^[13]运用盲数理论, 在考虑河流水文水质条件变化及参量取值可信度的基础上对河流纳污能力计算问题进行了探讨。

上述学者虽然运用不同的模型和方法对河流纳污能力进行了求解, 但是模型方法中没有同时涉及取水口和支流的因素。计算纳污能力时, 以水功能区为计算单元的水量采用就近水文控制断面, 没有考虑中间的取水因素, 所以大流量的取水会引起纳污能力计算的偏差; 支流汇入干流后增加了

收稿日期: 2016-03-23; 网络出版日期: 2016-11-09

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1882.TV.20161109.1632.001.html>

基金项目: 国家自然科学基金项目(51679186, 51679188); 水利部公益性行业科研专项(201401019); 陕西省青年科技新星项目(2015KJXX-30)

作者简介: 张晓(1989-), 男, 陕西咸阳人, 博士生, 主要从事水文水资源研究。E-mail: mdkxiao1989@163.com

干流中的水量，同时也带入了支流中的污染物，水量及污染物的增加都会改变河流的纳污能力，因此不能忽视支流和取水对河流纳污能力所带来的影响。虽然《水域纳污能力计算规程(SL348-2006)》中提出“有较大支流汇入或流出的水域，应以汇入或流出断面为节点，分段计算纳污能力”，但是划分后的河段流速，降解系数，水质目标浓度等纳污参数如何确定，计算模型中如何考虑，《规程》中没有明确给出。同时大多学者采用的段首控制模型严格控制了功能区段内的水质不超标，计算得到的纳污能力偏小；功能区段末控制模型是以功能区终止断面达标为目的，功能区段内是否达标不予考虑，纳污能力计算结果往往偏大。由于段首控制非常严格，功能区段末控制又较宽松，同时河流中取水以及支流汇入对纳污能力也有一定影响。基于此，本研究在一维水质模型的基础上，建立一种考虑取水口和支流的分段求和模型来计算河流纳污能力。模型以排污口、取水口及支流入口作为控制断面将功能区划分为若干河段，确定各河段的流速，分段求解河流纳污能力。该模型考虑了支流和取水因素，使得纳污能力的计算结果更为科学合理，同时模型可以分段求解功能区的纳污能力，为入河污染物总量控制分配及明确水功能区限制纳污红线提供技术支持。

2 考虑支流和取水的纳污能力计算模型

2.1 传统算法中存在的问题 传统的纳污能力计算模型中比较经典的算法要属断首控制模型^[9]和功能区段末控制模型，由于段首控制模型非常苛刻，严格限制了功能区所在地区的污染物排放，因而会导致不能充分利用水功能区的纳污能力；功能区段末控制模型对水质要求较低，不要求处处达标，即处于功能区上游的排污口可超标排放，只要污染物经过降解与稀释，到达功能区段末时满足功能区的水质目标要求即可，因此容易出现功能区上游水质超标，下游水质达标的情况，这样显然难以达到控制功能区内水质的要求；段首控制模型与功能区段末控制模型中没有明确考虑支流及取水口因素，对于沿岸取水口较多的河流，在枯水期取水流量比较大时对河流水量条件影响较大，同时河流有支流汇入时会增大河流中的水量，从而影响水体的自净稀释能力，对河流的纳污能力也会造成影响。因此在计算河流纳污能力时，需要考虑取水口和支流的因素。同时取水和支流汇入也会导致河流的流速发生改变。基于此，本文在一维水质模型的基础上，提出了考虑取水口和支流的分段求和模型计算河流纳污能力。

2.2 建模思想 如图1所示，假设功能区起始断面的流量和初始污染物质量浓度分别为 Q_0 和 C_0 ，水功能区长度为 L ，流速和污染物综合降解系数分别为 u 和 K ，功能区水质目标浓度为 C_s 。

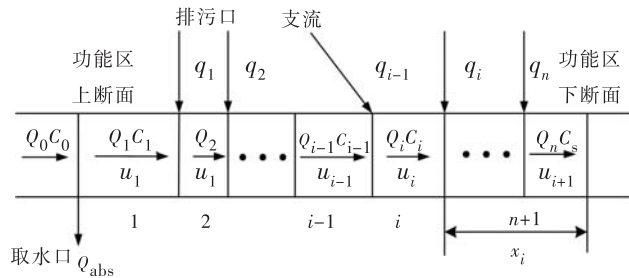


图1 分段求和纳污能力计算模型

将水功能区按取水口，排污口及支流入口为控制断面划分为若干段，水量与污染物在控制断面前后满足物质平衡规律。假设功能区内取水口，排污口及支流入口共有 n 个，则水功能区被划分为 $n+1$ 段。在控制断面处，对其进行物质平衡分析，确定控制断面处的流量和污染物质量浓度。控制断面后的河段要以控制断面平衡后的流量和污染物质量浓度为初始条件，根据一维水质模型计算到下一个控制断面前的污染物质量浓度。重新划分的各河段纳污能力之和即为该水功能区的纳污能力。

2.3 模型建立 考虑支流和取水的分段求和模型是基于—维水质模型，物质平衡方程和流量平衡方程建立的，—维水质模型，在控制断面处的物质平衡方程和流量平衡方程分别为：

—维水质模型：

$$C_x = C_0 \exp\left(-K \frac{x}{u}\right) \quad (1)$$

式中：\$C_x\$ 为污染物经过 \$x\$ 后的质量浓度，mg/L；\$x\$ 为沿河段的纵向距离，m；\$u\$ 为设计流量下断面的平均流速，m/s；\$K\$ 为污染物综合降解系数，1/s。

物质平衡方程：

$$Q_{i-1}C_{i-1}e^{-K \frac{x_{i-1}-x_i}{u}} + W_i = Q_i C_i \quad (2)$$

式中：\$Q_{i-1}\$ 为第 \$i\$ 个河段的入流量，m³/s；\$Q_i\$ 为第 \$i\$ 个河段的出流量，m³/s；\$C_{i-1}\$ 为第 \$i\$ 个河段的污染物初始质量浓度，mg/L；\$C_i\$ 为第 \$i\$ 个河段的污染物质量浓度，mg/L；\$x_i\$ 为第 \$i\$ 个控制断面到功能区下断面的距离，m；\$W_i\$ 为第 \$i\$ 个河段的纳污能力，g/s。

流量平衡方程：

$$Q_{i-1} + q_i = Q_i \quad (3)$$

式中：\$q_i\$ 为第 \$i\$ 个河段排污口的排污量或支流流量或取水流量，m³/s。

假设所有的取水都发生在功能区的起始断面，同时功能区终止断面处水质的控制标准为该功能区的水质目标浓度 \$C_s\$，如图 1 所示，根据式(1)——(3)得：

第 1 个河段的纳污能力为：

$$W_1 = (Q_0 + q_1 - Q_{\text{abs}})C_1 - (Q_0 - Q_{\text{abs}})C_0 e^{-K \frac{L-x_1}{u_1}} \quad (4)$$

式中：\$Q_{\text{abs}}\$ 为取水流量，m³/s；\$u_1\$ 为第一个河段的流速，m/s。

第 \$i\$ 个河段的纳污能力为：

$$W_i = (Q_{i-1} + q_i)C_i - Q_{i-1}C_{i-1}e^{-K \frac{x_{i-1}-x_i}{u_i}} \quad (5)$$

式中：\$u_i\$ 为第 \$i\$ 个河段的流速，m/s。

最后一个河段，即第 \$n+1\$ 个河段的纳污能力为：

$$W_{n+1} = Q_n C_s - Q_n C_n e^{-K \frac{x_n}{u_{n+1}}} \quad (6)$$

式中：\$n\$ 为排污口及支流的个数。

河流的纳污能力为 \$W = \sum_{i=1}^{n+1} W_i\$，可得

$$W = Q_1 C_1 - (Q_0 - Q_{\text{abs}})C_0 \exp\left(-K \frac{L-x_1}{u_1}\right) + \sum_{i=2}^n \left(Q_i C_i - Q_{i-1} C_{i-1} \exp\left(-K \frac{x_{i-1}-x_i}{u_i}\right) \right) + Q_n C_s - Q_n C_n \exp\left(-K \frac{x_n}{u_{n+1}}\right) \quad (7)$$

令各河段的污染物质量浓度 \$C_i\$ 等于该功能区的水质目标浓度 \$C_s\$，即可实现功能区段的整体达标，则式(7)变为

$$W = Q_1 C_s - (Q_0 - Q_{\text{abs}})C_0 \exp\left(-K \frac{L-x_1}{u_1}\right) + \sum_{i=2}^n C_s \left(Q_i - Q_{i-1} \exp\left(-K \frac{x_{i-1}-x_i}{u_i}\right) \right) + C_s \left(Q_n - Q_n \exp\left(-K \frac{x_n}{u_{n+1}}\right) \right) \quad (8)$$

3 实例应用

选择渭河干流陕西段为例进行实例研究，如图 2 所示，采用断首控制模型，功能区段末控制模型以及建立的考虑取水口和支流的分段求和模型计算渭河干流陕西段各水功能区的 COD 纳污能力。

渭河^[14]作为黄河的最大支流，发源于甘肃省渭源县鸟鼠山，流经甘肃、宁夏、陕西三省，全长 818 km。渭河干流在陕西段长 502 km，流经宝鸡、杨凌、咸阳、西安、渭南五市，陕境渭河流域支流较多，主要有千河、黑河、灞河、泾河等 9 个大流量的支流，同时包括了 69 个排污口和 5 个较大的取水口。

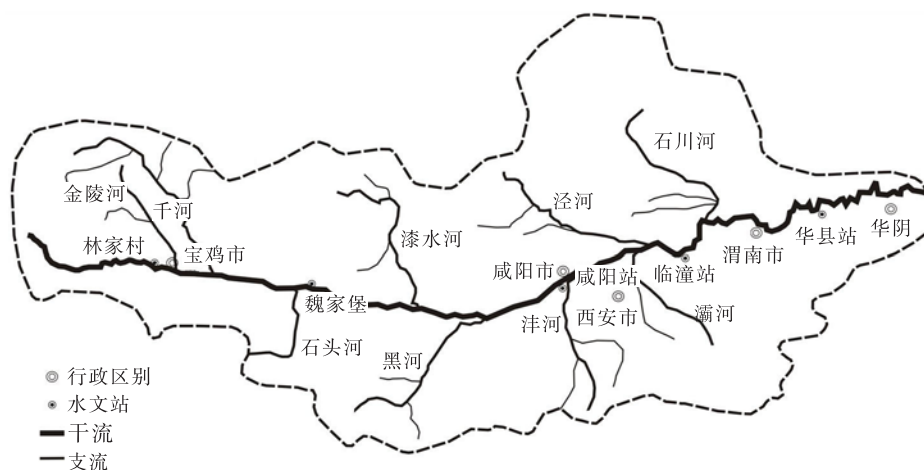


图2 渭河流域

3.1 渭河干流陕西段功能区的划分 根据陕西省环保局水环境功能区划，渭河干流陕西段被划分为14个功能区，具体如表1所示。

表1 渭河干流陕西段水功能区段的划分

编号	功能区名称	河长/km	水质目标等级	编号	功能区名称	河长/km	水质目标等级
1	甘陕缓冲区	72.4	II	8	咸阳工业用水区	63	IV
2	宝鸡农业用水区	43.9	III	9	咸阳市景观用水区	3.8	IV
3	宝鸡市景观区	20	III	10	咸阳排污控制区	5.4	IV
4	宝鸡市排污控制区	12	IV	11	咸阳西安过渡区	19	IV
5	宝鸡市过渡区	22	IV	12	临潼农业用水区	56.4	IV
6	宝眉工业、农业用水区	44	III	13	渭南农业用水区	96.8	IV
7	杨凌农业、景观用水区	16	III	14	华阴入黄缓冲区	29.7	IV

3.2 参数率定 设计流量，水质目标浓度，设计流速以及污染物综合降解系数是计算河流纳污能力的主要参数，计算结果见表2所示。(1)设计流量。设计流量是河流水文参数中最基本的一个参数，它的大小直接影响着河流水功能区的纳污能力。本研究选择渭河干流陕西段40年(1971—2010)的流量数据对90%保证率下的河道断面流量进行计算。(2)水质目标浓度 C_0 、 C_s 。水质目标浓度 C_s 取功能区水质目标等级对应水环境质量标准限值范围的上限；初始污染物质量浓度 C_0 采用前一个功能区的水质目标浓度。(3)设计流速。根据渭河干流陕西段实测断面的水文资料，绘制流速—流量关系曲线，根据设计流量采用插值法计算设计流速。(4)综合降解系数 K 。污染物综合降解系数是河流纳污能力计算中最主要的参数之一，直接反映了河流中污染物衰减的快慢程度^[15]。不同的污染物，不同水体和环境，衰减系数也不同。本文采用实测资料反推法^[16]计算渭河干流陕西段的综合衰减系数 K ，即

$$K = (\ln C_1 - \ln C_2) \mu / \Delta x \quad (9)$$

式中： C_1 、 C_2 分别为上、下断面的污染物质量浓度，mg/L； Δx 为上下断面的距离，m。

3.3 计算结果及分析

3.3.1 单一功能区纳污能力计算 基于一维水质模型，物质平衡原理和流量平衡原理，本文建立了考虑支流和取水的分段求和纳污能力计算模型，并选择渭河干流陕西段作为研究流域。本文首先以渭河干流陕西段中的“渭河宝鸡排污控制区”功能区作为研究对象，该功能区内有4个排污口，分别为：新桥、石油厂、铁五处和商校，同时有千河支流汇入以及宝鸡峡引渭灌溉魏家堡枢纽站取水口。以排污口、取水口、支流入口为控制断面将“渭河宝鸡排污控制区”功能区划分为6段，采用建立的模型分段计算纳污能力，划分示意图如图3所示。

“渭河宝鸡排污控制区”功能区中各段的主要计算参数见表3所示，其他参数采用该功能区的计算

表2 渭河干流陕西段计算参数

编号	功能区名称	90%保证率设计流量/(m ³ /s)	设计流速/(m/s)	衰减系数/(1/s)	水质目标浓度/(mg/L)
1	甘陕缓冲区	1.54	0.117	0.36	15
2	宝鸡农业用水区	0.80	0.117	0.36	20
3	宝鸡市景观区	1.69	0.295	0.45	20
4	宝鸡市排污控制区	3.81	0.295	0.45	30
5	宝鸡市过渡区	4.30	0.295	0.45	30
6	宝眉工业、农业用水区	5.12	0.295	0.45	20
7	杨凌农业、景观用水区	8.15	0.295	0.45	20
8	咸阳工业用水区	8.21	0.295	0.45	30
9	咸阳市景观用水区	9.35	0.218	0.51	30
10	咸阳排污控制区	13.61	0.218	0.51	30
11	咸阳西安过渡区	16.81	0.218	0.51	30
12	临潼农业用水区	17.45	0.218	0.51	30
13	渭南农业用水区	18.75	0.218	0.51	30
14	华阴入黄缓冲区	12.04	0.218	0.51	30

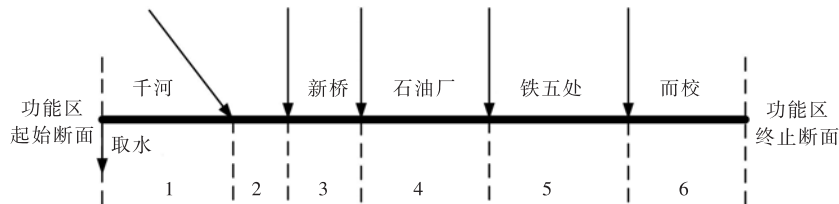


图3 渭河宝鸡排污控制区河段划分

表3 河段主要计算参数

河段编码	1	2	3	4	5	6
河段长度/km	1.37	2.76	1.14	3.83	0.86	2.04
流速/(m/s)	0.257	0.288	0.287	0.286	0.317	0.317
入河流量/(m ³ /s)	-0.595	0.703	0.089	0.041	0.127	0.07

注：入河流量为负值说明在该河段有取水口。

参数。其中入河流量指支流汇入，排污流量和取水的流量。

为了便于对比分析，本文同时采用段首控制模型以及功能区段末控制模型对此功能区进行纳污能力计算，计算结果见表4。

表4 渭河宝鸡排污控制区COD计算结果

河段编号	段首控制模型纳污能力/(t/a)	功能区段末控制模型纳污能力/(t/a)	分段求和模型纳污能力/(t/a)
1			568.05
2			190.70
3			254.52
4	1789.71	2195.96	319.93
5			461.35
6			151.28
合计	1789.71	2195.96	1945.83

从表3中可以看出，考虑支流和取水的分段求和模型计算的纳污能力为1 945.83 t/a，大于段首控制模型的1 789.71 t/a，小于功能区段末控制模型的2 195.96 t/a，表明分段求和模型可以避免纳污能力过于严格或者宽松的情况；模型中考虑了支流和取水，计算的纳污能力更合理，更科学；同时分段求和模型能求出排污口之间或者排污口和支流入口之间河段的纳污能力，可以为入河污染物总

量控制分配提供支持。

3.3.2 渭河干流陕西段纳污能力计算 利用上述3种模型计算90%保证率下渭河干流陕西段各水功能区COD纳污能力，计算结果见表5。

表5 渭河干流陕西段水功能区COD计算结果 (单位：t/a)

编号	功能区名称	段首控制模型 纳污能力	功能区段末控制模型 纳污能力	分段求和模型 纳污能力
1	甘陕缓冲区	574.41	2 735.80	1 264.30
2	宝鸡农业用水区	376.38	947.74	488.06
3	宝鸡市景观区	194.40	732.11	356.31
4	宝鸡市排污控制区	1 789.71	2 195.96	1 945.83
5	宝鸡市过渡区	406.33	1 670.35	1 137.84
6	宝眉工业、农业用水区	80.84	1 914.82	810.39
7	杨凌农业、景观用水区	1 759.62	2 582.44	2 014.66
8	咸阳工业用水区	1 685.86	5 829.30	3 907.90
9	咸阳市景观用水区	2 925.78	4 934.89	2 065.84
10	咸阳排污控制区	1 312.09	3 633.61	3 242.58
11	咸阳西安过渡区	1 684.12	10 077.82	9 609.48
12	临潼农业用水区	4 384.35	12 623.01	11 883.46
13	渭南农业用水区	10 016.17	22 136.40	22 794.30
14	华阴入黄缓冲区	8 969.90	13 351.24	12 293.48
合计		36 159.96	85 365.49	73 814.43

从表5可知，基于分段求和模型计算得到的渭河干流陕西段纳污能力为73 814.43 t/a，而段首控制模型及功能区段末控制模型计算得到的纳污能力分别为36 159.96 t/a和85 365.49 t/a，功能区段末控制模型的计算结果最大，其次为分段求和模型，段首控制模型最小，说明分段求和模型较段首控制模型宽松，比功能区段末控制模型严格，计算得到的纳污能力较适中。模型计算结果验证了段首控制模型较为严格、功能区段末控制模型较为宽松的特点；同时模型中考虑了取水口、支流及分段流速，计算的纳污能力更合理、科学。3种模型统计计算所得到的功能区纳污能力变化过程，如图4所示。

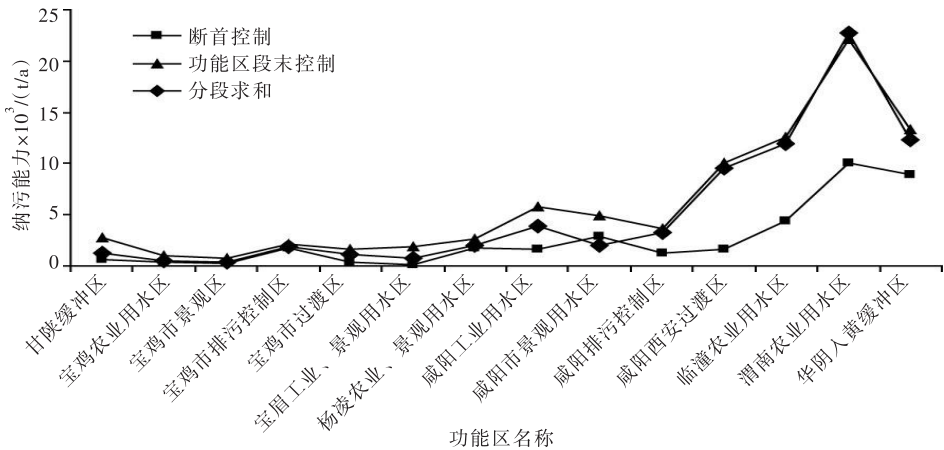


图4 渭河干流陕西段各功能区纳污能力

综合分析图4可知，渭河干流陕西段各功能区纳污能力也基本遵循上述规律，即段首控制模型计算结果<分段求和模型计算结果<功能区段末控制模型计算结果，但是“咸阳市景观用水区”中分段求和模型计算的纳污能力小于段首控制模型和功能区段末控制模型计算结果，这是

由于分段求和模型考虑了取水因素,而其他两种模型没有考虑。在“咸阳排污控制区”之前的功能区三种模型计算的纳污能力相差不大,然而从“咸阳西安过渡区”开始,分段求和模型计算得到的纳污能力急剧增长,这是由于“咸阳西安过渡区”有大流量的支流汇入使得功能区流量增大,从而纳污能力增大,这同时也体现了在其他计算参数相同的情况下,纳污能力与河段内流量成正比的关系。

4 结论

河流纳污能力计算是水环境管理工作的一项重要内容^[13],纳污能力计算得是否合理、准确,至关重要。本研究基于一维水质模型,按排污口、取水口及支流入口作为控制断面将功能区划分为若干河段,建立了考虑取水口及支流的分段求和纳污能力计算模型,并应用于求解渭河干流陕西段的纳污能力。研究表明:(1)相比于断首控制模型和功能分段模型,分段求和纳污能力计算模型考虑了支流,取水口及分段流速,因此计算得到的纳污能力更精准、合理;(2)模型采用分段求和的方法,灵活控制河段水质目标,可以避免出现纳污能力过严格或过宽松的情况;(3)模型可以求得相邻排污口之间或者排污口与支流入口,取水口之间的纳污能力,计算得到的纳污能力可为入河污染物总量控制分配和明确水功能区限制纳污红线提供技术支持。

参 考 文 献:

- [1] 周娜,贾仰文,胡鹏,等.松花江流域冰封期水功能区限制纳污控制研究[J].水利学报,2014,45(5): 557-565.
- [2] GB/T 25173-2010,水域纳污能力计算规程[S].北京:中国水利水电出版社,2010.
- [3] LIU R M, SUN C C, HAN Z X, et al. Water environmental capacity calculation based on uncertainty analysis: A case study in the Baixi watershed area, China[J]. Procedia Environmental Sciences, 2012, 13: 1728-1738.
- [4] NEILA S, SUMAGAYSAY C, MALOURDES S D-M. Water quality and holding capacity of intensive and semi-intensive milkfish (*Chanos chanos*) ponds[J]. Aquaculture, 2003, 219(3): 413-429.
- [5] LIU R Z, ALISTAIR G L B. Measurement and assessment of carrying capacity of the environment in Ningbo, China[J]. Journal of Environmental Management, 2011, 92(8): 2047-2053.
- [6] 周洋,周孝德,冯民权.渭河陕西段水环境容量研究[J].西安理工大学学报,2011,27(1): 7-11.
- [7] 徐仲翔,孙建富,章献忠,等.WASP水质模型在兰江流域水体纳污能力计算中的应用[J].北方环境,2011,23(10): 30-36.
- [8] 张海欧,闵涛,罗军刚,等.基于多模型的渭河干流陕西段纳污能力研究[J].水资源与水工程学报,2012,23(6): 89-93.
- [9] 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.
- [10] 刘昭伟,陈永灿,付健,等.三峡水库万州段岸边环境容量的计算与分析[J].水力发电学报,2006,25(4): 51-56.
- [11] 周刚,雷坤,富国,等.河流水环境容量计算方法研究[J].水利学报,2014,45(2): 227-234.
- [12] 陈丁江,吕军,金培坚,等.非点源污染河流水环境容量的不确定性分析[J].环境科学,2010,31(5): 1215-1219.
- [13] 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.
- [14] 赵串串,马宏瑞,杨晓阳,等.渭河咸阳段水环境有机污染负荷与环境容量分析[J].环境科学与技术,2008,31(8): 65-67.
- [15] 汪亮,张海欧,解建仓,等.黄河龙门至三门峡河段污染物降解系数动态特征研究[J].西安理工大学学报,2012,23(8): 293-297.
- [16] 董飞,彭文启,刘晓波,等.河流流域水环境容量计算研究[J].水利水电技术,2012,43(12): 9-14.

Study on the calculation model of river water environment capacity considering water intake and tributary

ZHANG Xiao, LUO Jungang, XIE Jiancang

(State Key Laboratory of Eco-Hydraulic Engineering in Shaanxi,
Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: In order to provide technical support for total amount control of pollutants and for defining red lines of received-pollutant limits in water function areas, a stepwise summation model is built to calculate water environment capacity, which considers water intake and tributary based on one-dimensional water quality model. The water function area was divided into several reaches to calculate water environment capacity by the control section with sewage outlet, water intake or entrance of tributary. Comparing to the traditional model, this model could control the function area of water quality target neatly, and avoid water environment capacity too strict or too loose. The model was adopted to Shaanxi section of the Weihe River. The calculated results of water environment capacity by the new model, segment first control model and the section-end control model were 73814.43, 36159.96 and 85365.49t/a, respectively. The results show that the new model is more modest and it could calculate water environment capacity between any two control sections. Because of considered intake, tributary and sectional velocity, water environment capacity is also more accurate and reasonable. The new model could provide technical support for the total amount control of pollutants and for defining the red lines of water functional areas.

Keywords: river; water environment capacity; water intake; tributary

(责任编辑: 韩 昆)

(上接第 316 页)

A method for flood forecasting based the operation chart of aggregated reservoir

SUN Xinguo^{1, 2}, PENG Yong¹, ZHANG Xiaoli^{1, 3}, ZHOU Huicheng¹

(1. Faculty of Infrastructure Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. School of Engineering Management, Huaiyin Institute of Technology, Huaian 223030, China;

3. School of Water Conservancy, North China University of Water Resources and Electric, Zhengzhou 450045, China)

Abstract: Hydraulic constructions can dramatically alter the hydrological characteristics of the basin, especially the process and volume of the flood, which make it more difficult to accurately forecast flood. In the present study, we propose a new method for flood forecasting, which can effectively account for the hydraulic constructions. In this method, the hydraulic constructions is firstly aggregated as the equivalent reservoir, whose operation chart of holding and discharging is obtained according to the rule of the single hydraulic construction. Then, the new flood forecasting method is formed by combing the operation chart with the original TOPMODEL calibrated with the natural flood. The proposed method has been applied for forecasting flood in Subarea II of the Fengman basin in Northeast China and results show that the precision is significantly improved with an advance of the qualified ratio of forecasting runoff yield. The situation that the value at beginning of flood season and after a long drought is usually underestimated has also been modified. Three types of typical flood process simulated by the new method are more suitable to observed process. All the results indicate that the method developed can effectively account for the impacts of hydraulic constructions on flood process.

Keywords: flood forecasting; hydraulic constructions; aggregated reservoir; operation chart of holding and discharging; TOPMODEL

(责任编辑: 王成丽)