

辽宁省典型流域水环境容量计算与分析

张帆, 徐建新, 徐晨光
(华北水利水电学院, 郑州 450011)

摘要: 根据一维、二维水质模型, 建立了水环境容量计算模型。在全面分析辽宁省某典型河流的水质状况、污染源及污染物特征的基础上, 选取一维水环境容量模型进行计算。以河段功能分区情况为基础, 结合该典型流域各断面水质及水文站的水文监测资料, 对该河流的主要污染物 COD 在不同保证率(90%, 50%, 20%)情况下的水环境容量进行计算, 全河段平水年水环境容量达 2 520. 71 t/d, 并对结果进行了分析, 在计算结果的基础上, 提出了针对典型流域进一步改善和控制水环境的规划建议。

关键词: 水环境容量; COD; 模型与参数; 规划

中图分类号: P332. 4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)05-0231-04

Calculation and Analysis of the Water Environment Capacity for the Typical Watershed in Liaoning Province

ZHANG Fan, XU Jiannxin, XU Chenguang

(North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: According to the one dimensional and two dimensional water quality model, the model of water environmental capacity was established. Under the comprehensive analysis of the water quality conditions, pollution sources of the typical watershed in Liaoning province and the characteristics of pollutants, one dimensional model was selected to calculate the water environmental capacity of the typical watershed. Basis of the river function zoning case, combined the various water quality cross section of the typical watershed and the monitoring data from the hydrological stations, the water environmental capacity was calculated on the main pollutant COD in different guaranteed rate (90%, 50%, 20%), the water environmental capacity of the river in 50% is 2 520. 71 t/d, and base on the results, the measures were put forward to further improve the water environment for the typical watershed.

Key words: water environmental capacity; COD; model and parameter; planning

近代社会, 由于资源的过度开发和消耗、污染物大量排放, 导致了全球性的资源短缺、环境污染、生态破坏。这些问题的不断累积, 不但加剧了自然界的压力, 更加剧了人类与自然界的矛盾, 这对社会经济的持续发展以及人类自身的生存构成了障碍。水危机也成了当今社会关注的头等大事。在这种情形下, 为充分利用水资源并能保护水环境不遭破坏, 水环境容量这个概念应运而生。目前, 水环境容量计算大多用于区域环境影响评价, 对水环境保护及流域水环境规划具有重要意义。

本文拟采用一维水环境容量模型对辽宁省某典型流域不同径流保证率下的水环境容量进行计算, 并

对结果进行分析, 在此基础上从水功能区划角度对今后水环境的规划与控制提出建议。

1 水环境容量计算模型

水环境容量又称水体的纳污能力, 是指在给定水域范围和水文条件, 规定排污方式和水质目标的前提下, 单位时间内该水域最大允许纳污量。它主要取决于水资源量、水环境功能区划、排污方式、污染物自身的性质、国家水环境质量标准以及水文气象等因素^[1], 是一个综合性评价指标。由于各因素之间的相互关系复杂, 而且污染物的降解、迁移过程复杂, 因此, 利用数学模型对河流进行概化, 进而对水质做出

收稿日期: 2010-06-19

资助项目: 国家自然科学基金国家重大水专项(2008ZX07526-004-T004); 华北水利水电学院研究生教育创新计划基金(YK2010-003)

作者简介: 张帆(1984-), 女, 河北邯郸人, 硕士研究生, 主要研究方向为区域水资源高效利用。E-mail: zhangfan2282@126.com

预测,计算水环境容量是十分必要的。

按照污染物降解机理,水环境容量可划分为稀释容量($W_{\text{稀释}}$)和自净容量($W_{\text{自净}}$)两部分。

根据水环境功能区的实际情况,环境容量计算一般用一维水质模型。对有重要保护意义的水环境功能区、断面水质横向变化显著的区域或有条件的地区,可采用二维水质模型计算。在模型计算时尤其是对于大江大河的水环境容量计算,必须结合混合区或污染带的范围进行水环境容量计算。

1.1 一维模型

所谓一维水体是指河流宽度与深度比不大的水体。对于河流而言,一维模型假定污染物浓度仅在河流纵向上发生变化,主要适用于同时满足以下条件的河段(1)宽浅型河段;(2)在较短的时间内污染物在河道中基本能混合均匀;(3)污染物浓度在 y 方向变化不大, y 和 z 方向的污染物浓度梯度可以忽略。当同时考虑稀释作用与自净作用时,排污口与控制断面之间水域的有机物允许纳污量为稀释容量与自净容量之和。

一维水质稳态模型:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} = E \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - kc \quad (1)$$

在忽略离散作用时,河流污染物一维稳态衰减微分方程为^[2]:

$$udC/dx = -kc \quad (2)$$

式中: u ——河流断面平均流速(m/s); x ——沿程距离(m); k ——衰减系数($1/d$); C ——污染物沿程浓度(mg/L)。

上式积分可得:

$$C = C_0 e^{-kx/u} \quad (3)$$

式中: C_0 ——前一个节点后的污染物浓度(mg/L)。其余符号含义同上。

一维水环境容量可由下式进行计算^[3]:

$$W = W_{\text{稀释}} + W_{\text{自净}} = C_s \exp(kx/86.4u)(Q_0 + q_w) - Q_0 C_0 \quad (4)$$

式中: W ——排污口与控制断面之间水域允许纳污量(g/s); $W_{\text{稀释}}$ ——河流稀释容量(g/s); $W_{\text{自净}}$ ——河流自净容量(g/s); C_s ——控制断面水质标准(mg/L); Q_0 ——上游来水设计水量(m^3/s); q_w ——污水设计排放流量(m^3/s);86.4——换算系数。

1.2 二维模型

二维模型是指污染在河流各断面的深度方向分布均匀,即认为污染物在 z 方向的浓度梯度为零,而在 x 方向和 y 方向都存在着迁移和扩散。

当河流的宽深比较大时,计算水环境容量就要采

用二维水环境容量模型进行计算。则各排污口混合区的水环境容量计算公式为^[3]:

$$W = \frac{(C_s - C_0)}{2} (u_x h \sqrt{4E_y x^* / u_x}) \exp\left[\frac{u_x y^2}{4E_y x^*}\right] \exp\left[-\frac{kx^*}{u_x}\right] \quad (5)$$

式中: E_y ——横向弥散系数;其余符号含义同前。

2 区域概况

本文选取辽宁省某典型河流作为研究对象计算水环境容量,该河流为辽宁省较大河流之一,流经本溪等城市境内,全长464 km,流域面积约4 000 km²。

根据2008年辽宁省水资源规划水质监测数据,该河流流域水质情况见图1。

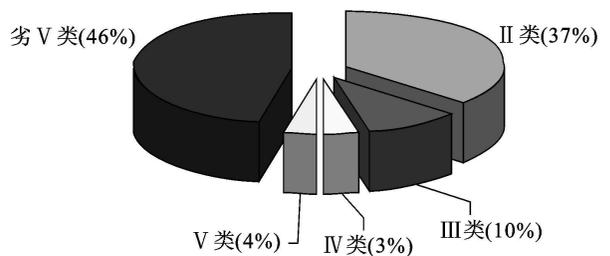


图1 太子河河流水质状况图

图1显示,该河流大部分水质为劣V类,III类以下河流长度占据了河流总长度的一半以上,水质严重超标,大部分河流受到了严重污染。目前,干流部分河段及部分支流都出现IV类到劣V类水质,大部分断面均有超标现象,其主要污染物为COD、总氮和氨氮。主要污染源可分为:工业、生活及混合污染,废污水直接排入总量为8.55亿t/a,河流废污水入河具体状况见表1。

表1 废污水入河状况统计表

废污水/ (亿t·a ⁻¹)	主要污染物/(万t·a ⁻¹)			
	化学需氧量	氨氮	总氮	总磷
8.550	28.300	1.440	2.160	0.216

表1显示,废污水中化学需氧量的排放量最大,总氮排放量其次,总磷排放量最小。本次计算选用排放量最大的COD作为研究指标计算水环境容量。

3 参数确定

3.1 设计流量的确定

决定水环境容量的最重要因素就是水文条件,对于北方河流而言,降雨径流年际和年内变化均非常明显,因此,根据该河流季节性变化的特点,从实际情况出发,对典型流域内某水文站的实测长系列(1961-2006年)资料进行分析,通过对实测资料的分析与筛选,利用水文学中的矩法及P-III型配线法得出不同保证率下该河流设计年平均径流量。结果见表2。

表 2 水文站各水文特征年径流量 m^3/s

水文站	枯水年	平水年	丰水年
	90% 保证率	50% 保证率	20% 保证率
09TM	24.86	63.20	102.27

在分析河流不同水平年的流量和水质变化规律的基础上, 选取各河段典型大断面, 利用流量与流速的相互关系确定河流的平均流速, 计算结果见表 3。

表 3 河流各断面设计水文条件

河段	平均流速 $W (m \cdot s^{-1})$		
	枯水年	平水年	丰水年
	90% 保证率	50% 保证率	20% 保证率
1	0.0206	0.0498	0.0796
2	0.0199	0.0491	0.0789
3	0.0203	0.0495	0.0793
4	0.0193	0.0485	0.0782
5	0.0194	0.0486	0.0783
6	0.0196	0.0488	0.0785
7	0.0202	0.0494	0.0791
8	0.0190	0.0482	0.0780
9	0.0191	0.0483	0.0780
10	0.0194	0.0486	0.0784
11	0.0209	0.0501	0.0798
12	0.0193	0.0485	0.0783
13	0.0205	0.0497	0.0794

表 4 研究区域水功能区划及水质目标

河段	水功能区	长度/km	水质现状	水质目标	相对应 COD 含量 标准值(\leq)/($mg \cdot L^{-1}$)
1	源头水保护区	62	II	II	15
2	水库饮用水源区、工业用水区	36	II	II	15
3	饮用水源区、农业用水区	51	II	II	15
4	工业用水区、饮用水源区	12	III	II	15
5	工业用水区、排污控制区	16	劣 V	IV	30
6	工业用水区、农业用水区	23	III	III	20
7	工业用水区、农业用水区	45	III	III	20
8	排污控制区	2	III	II	15
9	过渡区	5	V	III	20
10	饮用水源区、工业用水区	17	II	II	15
11	农业用水区	72	劣 V	V	40
12	农业用水区	15	劣 V	V	40
13	农业用水区	57	劣 V	V	40

表 5 国内部分河流 COD 降解系数值表

河流	淮河	乐安河	黄河(宁夏段)	黄河(兰州段)	桃花江	小清河
k 值	0.009~ 0.34	0.47	0.20	0.185~ 0.24	0.30	0.327

由表 5 可知, 国内部分河流 COD 降解系数值在 $0.009 \sim 0.47d^{-1}$ 之间, 本文根据实际资料情况通过以下公式对 k 值进行计算^[7]: $k = 86.4u(\ln c_1 - \ln c_2)/x$ 式中: k —— 污染物综合降解系数 ($1/d$); c_1, c_2 —— 上下断面的污染物浓度 (mg/L); u —— 河段平均流速

3.2 各断面控制目标浓度确定

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。

根据辽宁省水功能区划, 该河流各断面的水质目标如表 5 所示。并以 COD 作为主要分析因子, 依据《国家地表水环境标准》(GB3838-2002)^[5], 各类水 COD 对应的浓度限值见表 4。

3.3 降解系数 k 值的确定

一般说来, 河流自身对污染物都有一定的自然净化能力, 即污染物进入河流在输移过程中通过物理降解、化学降解和生物降解等, 可使水中污染物的浓度逐渐降低。污染物降解系数 k 是计算水体纳污能力的一个重要参数, 也是一个综合性的参数, 反映了污染物在水体作用下降解速度的快慢。其影响因素包括: 污染物的性质、河流污染物初始浓度及浓度梯度、水文特征等。具体计算方法有类比法、水团追踪法、实测法、经验估值法和分析借用法等^[6]。参照我国部分河流 COD 降解系数值见表 5。

(m/s); x —— 上下断面间的距离(km)。

由于降解系数受水文特征的影响, 故不同频率年河道流速的改变会对降解系数 k 造成影响。因此根据以上公式计算该典型河流不同频率年的 COD 降解系数在 $0.08 \sim 0.20 d^{-1}$ 之间。

4 结果分析与规划建议

4.1 水环境容量计算

由于二维模型涉及到复杂的水文水力状况,通过二维模型模拟混合区内的水环境容量状况较为复杂,并且对典型河流污染物在横向方向的扩散情况了解较少,因此,本文选取一维水环境模型对河流水环境容量进行模拟。将以上预定参数代入一维水环境模型进行计算可得该典型流域各河段水环境容量。计算结果见表 6。

表 6 各河段不同保证率下的水环境容量

河段	水质目标	水环境容量 $W/(t \cdot d^{-1})$		
		枯水年	平水年	丰水年
		90% 保证率	50% 保证率	20% 保证率
1	II	184.87	224.95	236.57
2	II	51.39	74.75	87.21
3	II	104.29	135.90	148.64
4	II	12.03	22.02	29.49
5	IV	48.66	90.01	122.30
6	III	28.31	44.33	53.46
7	III	100.70	136.21	151.99
8	II	3.20	7.17	10.84
9	III	16.52	36.83	55.68
10	II	14.35	23.74	29.60
11	V	958.76	1104.07	1125.73
12	V	42.68	75.97	100.14
13	V	430.23	544.77	588.60
全区段	II-V	1995.98	2520.71	2740.25

4.2 结果分析

(1) 由于二维模型模拟混合区的水环境容量过程较复杂,且缺乏该典型河流污染物横向扩散、降解的基本资料,本文只选取一维水环境模型对典型河流的水环境容量进行模拟,由于一维计算模型的限制因素只侧重于控制断面的水质目标,而二维模型计算除了满足控制断面上的水质目标外,还对污染物的横纵向的分布进行模拟并且对控制断面内的污染范围作了限制,因此应用二维模型计算的水环境容量值会较小,本次研究选取一维模型进行计算,其计算结果存在一定的偏差,结果偏于大胆。

(2) 由表 6 可见,在满足不同水功能区划的基础上,全河段不同保证率下的 COD 环境容量分别为枯水年 1 995.98 t/d,平水年 2 520.71 t/d,丰水年 2 740.25 t/d。

(3) 各功能区河段的水环境容量与河段长度间存在密切联系,一般规律为河段越长,则该段的水环境容量越大,例如:河段 11 长度为 72 km,其水环境容量是所有河段中的最大值,在 50% 保证率下其水环境容量达到 1 104.07 t/d。这是由于河段越长,污染

物在河道内转化、降解、扩散、沉淀的程度越高,上下游断面间的污染物浓度相差越大,因此,与河段较短的河流相比,河段较长的其水环境容量较大。

4.3 规划建议

(1) 上述计算结果表明,对于同一河段,丰水年水环境容量最大,枯水年水环境容量最小,由此可知:水环境容量大小与河道流量密切相关,流量较大时河流的水环境容量较大,流量小时水环境容量随之减小。因此,在该典型区域今后的规划中,可以通过对流域内的水库及闸坝进行统一调度控制管理,通过对上游水库及闸坝的实时调控,使下游河段流量保持在一定的范围内,从而达到提高河段水环境容量的目的,改善河流水质,实现流域水质水量联合调度。

(2) 该典型河流沿岸排污口排出的污水以工业废水为主,其次是生活污水。该流域内结构性污染严重,由于流域内的工业以冶金、化工、造纸等行业为主,而这些行业的 COD 排放量在工业排放总量中占据了很大比例。这也是该流域 COD 超标的主要原因。COD 主要超标河段为河段 5 以及河段 11-13。同时,生活污水也是造成该河流污染的原因之一,因此,该典型流域污染物减排任务十分艰巨,刻不容缓,并应对重点污染物排污河段进行排污控制和重点整治。

(3) 水环境容量的分配是水污染总量控制的核心,在分配中应尊重公平和效益的原则,充分反映水环境容量分配的社会性、经济性和历史性,以保证实际的可操作性^[8]。该河流流经辽宁省几大重工业城市,因此污染源的 GDP 产值成为经济效益首要考虑的问题,大部分都为重工业的经济效益考虑污染源的 GDP 产值,考虑当前各污染源对河流污染的贡献率大小。而作为承担防洪与排涝责任的水库,还承担着为下游城市供水的重要责任,因此下游人畜饮水安全问题是水库水质标准首要考虑的,考虑在水环境容量分配时应严格控制水库出口处水质达标。一般来说,对于源头水及饮用水功能区应尽量避免使用其水环境容量。

(4) 虽然通过许多技术手段都可以提高河段的水环境容量,但这终究不是改善水环境的根本办法。改善水环境还是要从源头上加大对污染物的控制治理力度。对于工业污染源,应严格按照国家环保部门的有关规定进行排放,对工矿企业进行排污与经济相关手段,促使企业重视对污染物的治理。对生活污水的控制,应大力提高全民节能减排意识,完善城市污水管网建设,建立中水回用系统及相应的污水处理系统,使生活污水排放达到国家相关环保标准。因此,只有从社会、经济等各个角度控制污染,才能使水环境从根本上得到改善。

(下转第 237 页)

2.4 计算结果及分析

从上述分析结果表明,图 1(a)和图 2(a)表明正常工况下边坡安全系数 $F_s=1.192$,边坡保持稳定,而暴雨工况下边坡安全系数为 0.891,边坡滑坡失稳;图 1(b)和图 2(b)表明暴雨工况下边坡凝聚力 c 和摩擦强度都显著降低,如由凝聚力 c 正常工况下的 25~29 MPa 降低到暴雨饱和状态时的 20 MPa 左右;图 1(c)和图 2(c)中的抗剪强度由大多数条块在 40 MPa 以上降低到 40 MPa 以下。暴雨工况下,由于雨水作用,一方面增加了边坡土体自重,增加了边坡下滑的力;另一方面,降低了边坡土体的凝聚力和摩擦强度,从而降低了边坡整体的抗剪能力,因此,对于高填深挖路基的边坡稳定问题,在设计和施工过程中,应该考虑依据暴雨工况对边坡进行加固和支护措施。

表 1 计算参数表

土层	重度/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)		粘聚力/kPa		内摩擦角/($^\circ$)	
	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和
填土	20.7	21.3	29	20	14.1	11.2
碎石土	18.6	19.0	25	19	9.6	7.2

3 结论

(1)暴雨是诱发高填深挖路基边坡失稳的主要因素,结合 Autocad 和 Geostudio 建模,采用摩根斯坦-普赖斯分析方法,分析了暴雨和正常工况下碎石边坡的抗剪强度、抗剪能力和安全系数变化,与正常工况相比,暴雨工况下,边坡土体的凝聚力和摩擦强度都显著降低,安全系数降低明显;

(2)暴雨明显降低了边坡抗剪强度和抗剪能力,

使安全系数大大降低,导致边坡失稳现象发生,因此,为保证高填深挖路基边坡的稳定和安全,在设计和施工过程中,依据暴雨工况对边坡进行加固和支护设计是必要的。

参考文献:

- [1] 李玉锋,马强,李显平. 降雨诱发碎石土斜坡优先流机理研究[J]. 水电能源科学, 2009, 27(6): 562-565.
- [2] Zhan L T, Ng C W W. Analytical analysis of rainfall infiltration mechanism in unsaturated soils[J]. International Journal of Geomechanics, 2004, 4(4): 273-284.
- [3] Cai F, Ugai K. Numerical analysis of rainfall effects on slope stability[J]. International Journal of Geomechanics, 2004, 4(2): 69-78.
- [4] 戚国庆. 降雨诱发滑坡机理及其评价方法研究: 非饱和土力学理论在降雨型滑坡研究中的应用[D]. 成都: 成都理工大学, 2004.
- [5] Chen H, Lee C F, Law K T. Causative mechanisms of rainfall induced fill slope failures[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2004, 130(6): 593-602.
- [6] 魏宁, 茜平一, 傅旭东. 降雨和蒸发对土质边坡稳定性的影响[J]. 岩土力学, 2006, 27(5): 778-782.
- [7] Schmertmann J H. Estimating slope stability reduction due to rain infiltration mounding[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2006, 132(9): 1219-1228.
- [8] 张友谊. 不同降雨条件下峡口滑坡稳定性研究[D]. 西安: 西安交通大学, 2007.
- [9] 周小波. 极限平衡法边坡稳定性快速分析和土压力计算的 Z 理论[D]. 长沙: 中南大学, 2008.

(上接第 234 页)

参考文献:

- [1] 张自杰,林荣忱,金儒霖. 排水工程(下册)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996: 37-40.
- [2] 刘伟生. 环境影响评价技术导则与标准[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.
- [3] 杨玲. 纂江干流江津段水环境容量研究[D]. 重庆: 西南大学, 2009: 16-17.
- [4] 王忠训,曹华英,孙娟,等. 区域环评中北方河流水环境容量计算方法研究[J]. 中国环境管理干部学院学报,

2009(19): 22-25.

- [5] 国家环保总局, 国家质量监督检验检疫总局. GB3838-2002, 全国地表水环境质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2003.
- [6] 曹玲玲, 邓云. 水电站建设对水环境容量影响研究[J]. 四川环境, 2010(2): 51-55.
- [7] 吴波, 党志良. 汉丹江流域陕西段水环境容量研究[J]. 水科学与工程, 2009(1): 12-15.
- [8] 陈丁江, 吕军, 金树权. 曹娥江上游水环境容量的估算和分配研究[J]. 农机化研究, 2007(9): 197-201.