

南水北调中线水源区汉江流域水环境容量研究

李晓玲¹, 吴波²

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062; 2. 西安理工大学, 陕西 西安 710048)

摘 要: 汉江流域作为南水北调中线工程的水源区的起始端,其水质状况对丹江口水库和陕西境内汉江沿岸社会经济发展和人民生活影响重大。结合汉江流域水质、水文监测资料和沿岸排污状况,通过不同的水文条件设计,并应用一维和二维水环境容量模型,对已划分的水功能区,计算出其主要污染物 COD 的水环境容量。

关键词: 南水北调中线工程; 汉江流域; 污染物; 水环境容量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)06-0221-04

中图分类号: X143

Water Environment Capacity of Han River in the Middle Line South-to-North Water Diversion Project

LI Xiao-ling¹, WU Bo²

(1. College of Tourism & Environmental Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China; 2. Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: As the water source of the Middle Line South-to-North Water Diversion Project, water quality of Han River is an important issue. With the information on water quality of Han River, hydrology data, and discharge point distribution, the water environment capacity of the main pollutant COD in the classified water function area is calculated through different hydrology condition designs and by the application of one and two dimensional models of water environment capacity.

Keywords: Middle Line South-to-North Water Diversion Project; Han River; pollutant; water environment capacity

汉江流域是南水北调中线工程水源地丹江口水库上游重要的来水水源,也是陕西省南部重要的工业和生活水域^[1-2]。流经陕西省管辖的勉县、汉中、城固、洋县等县,其水力资源丰富,年度丰枯变化较小,河床比降变化较大。汉江多年平均径流量为 $2.66 \times 10^{10} \text{ m}^3$,多年平均输沙量约 $5.00 \times 10^7 \text{ t}$ 。汉江流域的水质状况,对中线工程水源地的丹江口水库和陕西境内汉江沿岸工农业、社会经济发展和人民的生活都有着重要影响。汉江流域水环境容量的研究,对于加强流域内的污染物总量控制,保护南水北调中线工程水源地丹江口水库的水质具有重要的意义。

1 汉江流域水环境现状评价

汉江流域的水功能区划根据陕政办发[2004]100号《陕西省人民政府办公厅文件陕西省水功能区划》^[3],共分为 15 段见表 1。

目前,干流部分河段叶家营—圣水镇、党水河口—东村以及部分支流都出现 Ⅲ类到劣 Ⅴ类水质,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 $1.30 \times 10^8 \text{ t/a}$,其中生活废污水总量 $3.73 \times 10^7 \text{ t/a}$ 。而主要污染物 COD 年入河量为 $3.44 \times 10^8 \text{ t/a}$, $\text{NH}_3\text{-N}$ 年入河量为 $2.09 \times 10^7 \text{ t/a}$,这对水源地汉江流域的水质造成很大影响^[4-6](表 2)。

2 水环境容量计算模型选用与控制因子的确定

2.1 模型选择

水环境容量以水质目标和水体稀释自净规律为基础,大小与水的功能标准、水体背景浓度、水体稀释自净能力、水量、流速及污染物排放强度等因素有关。水质功能目标对水环境容量大小影响很大,拟定的水质功能目标越高,水环境容量越小。但如果通过降低

收稿日期:2009-04-06

修回日期:2009-07-08

资助项目:陕西省水土保持局科学研究基金;国家自然科学基金(40071005)

作者简介:李晓玲(1957—),女(汉族),陕西省蒲城县人,副研究馆员,主要从事水资源与水土保持方面的研究和管理工。E-mail:lixiaol@snnu.edu.cn。

水质功能目标来获取更大的水环境容量,则会以牺牲环境为代价。水体特征参数决定着水体对污染物的稀释扩散能力,从而决定着水环境容量的大小。由于不同的污染物对水生生物的毒性作用及对人体健康的影响程度不同,因此污染物的允许量也是不相同的。污染物进入水体后,在水体的平流输移、纵向离散和横向混合作用下,发生物理、化学和生物作用,使

水体中污染物浓度逐渐降低。水体污染物降解规律,可以采用一定的数学模型来描述,主要有零维模型、一维模型、二维模型等。汉江水体属宽浅河段,经测试污染物在较短的时间内基本能混合均匀,污染物浓度在断面横向方向变化不大,横向和垂向的污染物浓度梯度可以忽略。根据其水体特点,选择一维水质模型进行计算^[7-8]。

表 1 汉江流域水质断面划分及水质目标情况

功能区名称	范围		水质目标	水质现状
	起始—终点断面	长度/(km)		
宁强源头水保护区	河源—金牛驿	34.0		
勉县保留区	金牛驿—武侯镇	43.0		
勉县开发利用区	武侯镇—高潮区	15.5		
勉汉保留区	高潮区—叶家营	48.0		
汉中开发利用区	叶家营—圣水镇	25.5		
汉中保留区	圣水镇—汶川河口	27.5		
城固开发利用区	汶川河口—三合	15.0		
洋县保留区	三合—党水河口	27.0		
洋县开发利用区	党水河口—东村	16.0		
石泉、紫阳保留区	东村—安康水库大坝	226.5		
安康开发利用区	安康水库大坝—关庙	19.0		
旬阳、安康保留区	关庙—菜湾	48.0		
旬阳开发利用区	菜湾—庙岭	10.0		
旬阳保留区	庙岭—兰滩	53.0		
白河缓冲区	兰滩—白河省界	42.0		

表 2 汉江流域各排污口和分河段污染物入河情况

站名	河段名称	排污口、支流 口数量/个	废水入河 量(10 ⁴ t · a ⁻¹)	污染物入河量/(t · a ⁻¹)	
				COD	NH ₃ —N
武侯镇	河源—武侯镇	27	1 217.0	3 011.9	135.1
洋县	武侯镇—东村	88	4 781.4	12 420.1	728.3
石泉	东村—安康水库大坝	24	2 234.7	5 432.1	309.7
安康	安康水库大坝—庙岭	73	3 662.0	10 620.8	728.1
白河	庙岭—白河省界	95	1 147.3	2 884.5	191.6
总计		307	13 042.4	34 369.4	2 092.8

一维水质模型:

$$c = c_0 \exp\left(-k \frac{x}{86.4u}\right) \quad (1)$$

式中: x ——上下两计算点之间的距离(km); u ——水流的平均速度(m/s); k ——降解系数(1/d); c_0 ——上

游监测点水质浓度(mg/L), 并且 $c_0 = \frac{Q_1 c_1 + Q_2 c_2}{Q_1 + Q_2}$;

c ——下游监测点水质浓度(mg/L)。

混合区水质模型: 当河流水质为稳态、旁侧排入的污水仅包含持久性污染物时, 即不考虑降解。

$$c_{\text{干流混合后}} = \frac{c_{\text{干流混合前}} \times Q_{\text{干流混合前}} + c_{\text{支流}} \times Q_{\text{支流}} + c_{\text{排污口}} \times Q_{\text{排污口}} + c_{\text{取水口}} \times Q_{\text{取水口}}}{Q_{\text{干流混合前}} + Q_{\text{支流}} + Q_{\text{排污口}} + Q_{\text{取水口}}} \quad (2)$$

一维水环境容量模型

$$W = 31.54 \times (c_i \times e^{\frac{86.4u}{k} - c_s} \times (Q_i + Q_j)) \quad (3)$$

式中: W ——河段的水环境容量(kg/d); c_s ——河段的水质标准(mg/L); c_i ——河段某污染物背景浓度监测值或来水浓度值(mg/L); Q_i ——河段平均流量(m^3/s); Q_j ——该河段废水入河量(m^3/s); u ——河段平均流速(m/s); x ——河段的长度(km); k ——污染物降解系数(1/d)。二维水环境容量模型:当水面宽大于 200 m 时的水环境容量计算必须要采用二维混合区长度控制法进行计算。混合区长度的定义为:超过水环境功能区规定水质浓度值的污染带沿岸线的长度。各排污口混合区水环境容量采用二维模型计算为^[9-10]:

$$W = [c(x, y) - c_0] h \sqrt{ux E_y} \left\{ \exp\left(\frac{-uy^2}{4x E_y}\right) + \exp\left[\frac{(2B - y)^2 u}{4x E_y}\right] \right\} \exp\left(k \frac{x}{u}\right) \quad (4)$$

式中: W ——河段的水环境容量(kg/d); $c(x, y)$ ——控制点水质标准(mg/L); c_0 ——上断面来水污染物设计浓度(mg/L); h ——设计流量下污染带起始断面平均水深(m); x ——沿河道方向变量(m); y ——沿河宽方向变量(m); B ——河面平均宽度(m); u ——设计流量下河流的纵向平均流速(m/s); E_y ——横向混合系数(m^2/s),采用实测数据。

2.2 计算参数的确定

2.2.1 水文参数的选取 根据水环境容量的技术要求、结合中线工程水源区汉江流域的实际情况,对现状年(2006年)与规划年(2020年)的水质计算和预测提供依据,采用现状频率年(分枯、平、丰水年)和现状典型年(2006年)的流量作为设计流量(表3)。

表 3 水文特征参数

水文站	枯水年	平水年	丰水年	2006年		
	90% 保证率	50% 保证率	20% 保证率	枯水期	平水期	丰水期
武侯镇	2.76	12.15	64.50	5.32	16.40	50.36
洋县	12.87	97.57	423.41	27.37	115.57	323.95
石泉	26.63	158.41	684.68	89.89	167.41	354.96
安康	49.02	236.67	950.20	143.00	338.33	468.83
白河	96.70	263.00	1080.19	115.08	376.57	739.61

注:现状频率年根据 1990—2006 年实测资料选择。

流速确定采用实测大断面与流量进行断面平均流速计算,公式为:

$$u = Q/A \quad (5)$$

式中: A ——断面面积(m^2);

部分断面水文站监测的资料中提供了各水期的

流速值,但缺少大断面资料。经过统计计算并结合各计算河段实际情况见图 1—2,确定出各河段流速。

2.2.2 降解系数 k 值的选择 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 和 NH_3-N 。用实测资料求取,如下计算公式:

$$k = 86.4u(\ln c_1 - \ln c_2)/x \quad (6)$$

式中: k ——污染物综合降解系数(1/d); c_1 ——河段上断面污染物浓度(mg/L); c_2 ——河段下断面污染物浓度(mg/L); u ——河段平均流速(m/s); x ——上下断面的距离(km); 86.4 ——换算系数。汉江流域各河段的污染物降解系数 k_{COD} 的计算结果在 0.065 ~ 0.340(1/d) 范围之间。

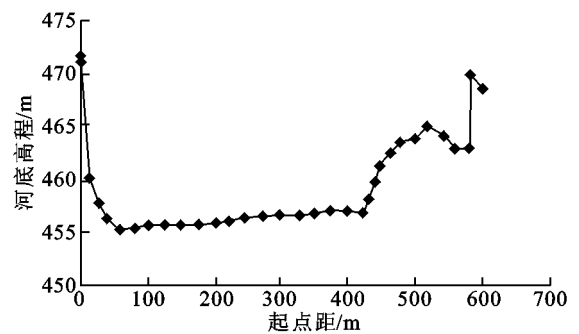


图 1 洋县监测站的大断面资料

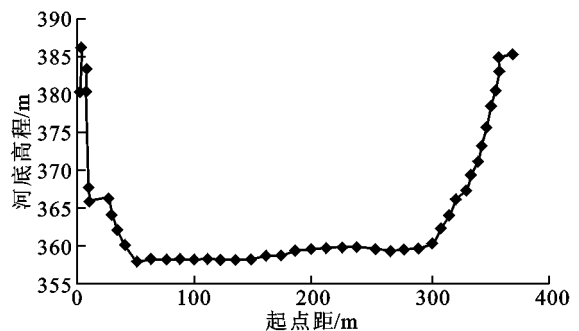


图 2 石泉监测站的大断面资料

2.3 计算因子的选择

汉江流域的主要污染指标是 COD, BOD 和 NH_3-N ; 但根据现有资料情况, 本文选取 COD 为主要分析因子。各河段水质目标浓度作为目标约束条件, 并假定现有排污口位置不变, 各支流作为排污口考虑。根据 GB3838-2002《国家地表水环境质量标准》^[12] 已知各类水对应的 COD 浓度值见表 4。

表 4 地表水环境质量标准限值 mg/L

污染指标	类	类	类	类	类
COD	15	15	20	30	40

3 水环境容量测算结果与分析

表 5 为汉江流域各水文条件下 COD 的水环境容量值测算结果。

(1) 枯水年采用各监测水文站近十年 90% 保证率最枯月平均流量计算水环境容量,结果趋于保守,但考虑到调水工程对水源区水质、水量的要求,并采用 90% 保证率下的枯水年计算水环境容量是非常必要的。

(2) 汉江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,一般是河段越长,水环境容量越大。

(3) 由现状频率年与现状典型年计算结果作比较,可以看出在枯水年和平水年的水环境容量值都小于现状典型年枯水期和平水期的值,而丰水年的水环境容量值又大于现状典型年丰水期的值,分别做现状频率年与现状典型年的水环境容量计算是非常必要的。

(4) 模型计算设计条件中,各断面应达水质标准浓度值作为目标约束条件,在计算中假定其已达到水质目标要求。

总体上讲,水环境容量计算是一个保证率的概念,只要排污满足水环境容量计算结果要求,并且汉江干流达到地表水质Ⅲ类标准,即可保证水体在绝大多数情况下达到使用功能。

表 5 汉江流域各水文条件下 COD 的水环境容量值

kg/d

功能区名称	枯水年	平水年	丰水年	枯水期	平水期	丰水期
宁强源头水保护区	1 262.94	4 847.51	35 680.90	2 279.12	6 899.24	25 934.03
勉县保留区	744.98	3 015.78	16 452.28	1 302.63	4 436.15	11 745.50
勉县开发利用区	1 905.90	8 323.22	49 331.69	4 104.91	11 508.99	39 490.79
勉汉保留区	5131.74	13 910.21	70 987.35	13 740.52	21 176.66	55 459.53
汉中开发利用区	1 768.12	7 178.84	79 846.82	7 156.46	10 392.36	56 854.72
汉中保留区	3 686.263	14 562.31	141 909.30	8 945.32	21 618.74	99 541.51
城固开发利用区	2 941.46	12 528.33	91 611.79	7 717.87	18 363.78	64 633.32
洋县保留区	7 142.76	28 020.56	145 095.10	13 816.44	35 778.03	88 665.12
洋县开发利用区	6 444.99	31 907.61	217 957.50	20 504.33	33 811.23	138 853.60
石泉、紫阳保留区	82 302.39	243 963.60	1 043 687.00	338 314.10	418 859.30	760 978.00
安康开发利用区	16 072.83	57 792.73	280 768.60	46 161.19	89 774.04	203 525.90
旬阳、安康保留区	27 581.80	66 297.74	266 567.70	82 768.00	107 870.80	219 706.20
旬阳开发利用区	- 3 864.02	- 9 928.87	95 931.20	- 5 268.33	- 11 554.10	66 724.57
旬阳保留区	34 611.99	73 835.99	320 766.80	84 608.81	120 672.80	268 059.40
白河缓冲区	39 931.99	76 763.65	449 084.00	74 942.00	124 167.20	354 543.60
总计	227 666.10	633 019.30	3 305 678.00	701 093.30	1 013 775	2 454 716

[参 考 文 献]

[1] 垂璠. 中原大地上的千里人工长江:南水北调中线工程略述[N]. 中州统战, 1994-08-08(7).

[2] 张宏斌, 井涌, 陈芳莉, 等. 陕西省地表水资源[R]. 陕西省水文水资源勘测局, 2004.

[3] 陕政办. 陕西省人民政府办公厅文件陕西省水功能区划[M]. 2004.

[4] 封光寅, 胡家庆, 陈学谦, 等. 南水北调中线水源区水质状况及防治对策[J]. 中国水利, 2005(8): 48-50.

[5] 张淑芳, 杜新黎, 李合义, 等. 汉、丹江流域(陕西段)环境分析及保护对策研究[J]. 陕西环境, 2003, 10(1): 11-12.

[6] 张春玲, 李娅妮. 陕西省丹汉江流域水质现状及防护对

策[J]. 水资源与水工程学报, 2007, 18(3): 87-90.

[7] 张永良, 刘培哲. 水环境容量综合手册[M]. 北京: 清华大学出版社, 1991: 138-145.

[8] 中国环境规划院. 全国水环境容量核定技术指南[M]. 北京: 环境科学出版社, 2003.

[9] 熊风, 杨立中, 罗洁, 等. 我国西部内陆河流水环境容量研究[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(10): 88-92.

[10] 单中超, 朱焕山, 刘佳宁. 抚西河流域水环境容量测算[J]. 环境保护科学, 2004, 30(124): 24-25, 28.

[11] 司全印, 高榕. 水环境容量的测算方法[J]. 水资源保护, 2006, 22(6): 41-42.

[12] 中华人民共和国环境保护部. GB3838-2002 全国地表水环境质量标准[S]. 北京: 环境科学出版社, 2006.