

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.03.005

邯郸市滏阳河纳污能力及模型参数影响分析

郭凤震

(河北省邯郸水文水资源勘测局 ,河北 邯郸 056001)

摘要 :分析邯郸市滏阳河水质及入河排污口排污现状 ,根据各计算单元用水现状和水质目标 ,利用一维水质模型计算水体 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 纳污能力。对污染源概化、设计流量、流速、污染物综合衰减系数等设计条件对计算结果的影响进行分析。结果表明 ,受上游水库控制 ,滏阳河枯水期纳污能力高于汛期 ,现状入河排污量大于纳污能力 ,需要对现状入河污染物总量进行削减。

关键词 :滏阳河 ;纳污能力 ;一维模型 ;设计条件

中图分类号 :X522 文献标识码 :A 文章编号 :1004-6933(2011)03-0020-04

Analysis of water environment capacity and impact of model parameters of Fuyang River in Handan

GUO Feng-zhen

(Handan Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Hebei Province , Handan 056001 , China)

Abstract :Analyzing water quality of Fuyang River and the current status of sewage outfalls discharging into the river , and according to the current water utilization status of each calculation unit and water quality target , the water environmental capacity of COD and $\text{NH}_3\text{-N}$ were calculated by using one-dimensional water quality model . The impact of factors such as schematization of the pollution sources , design discharge , integrated degradation coefficient of the pollutants and other design conditions on the computation results was discussed . The results indicated that due to the upstream reservoir control , environment capacity of Fuyang River was higher in dry season than that in flood season . Current amount of pollutant discharge was greater than the water environment capacity , and the total amount of pollutants discharged into rivers needed to be reduced .

Key words : Fuyang River ; water environment capacity ; one-dimensional model ; design conditions

1 邯郸市水资源状况

1.1 基本情况

邯郸市位于河北省南部 ,位于太行山东麓 ,全市多年平均降水量 548.9 mm(1956—2000 年) ,全市多年平均水资源总量 14.85 亿 m^3 ,地表水资源量 6.21 亿 m^3 ,地下水资源量 12.68 亿 m^3 (地表水、地下水重复计算量 4.04 亿 m^3)^[1]。因局部长期超采 ,该市已形成 2500 km^2 地下水漏斗区。邯郸市在水资源缺乏的同时 ,地表水除漳河水质较好外 ,水质较差 ;平

原区因苦咸水和高氟水影响 ,一半以上区域浅层地下水不符合 GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》。总体而言 ,邯郸市水资源量小质差 ,属于资源型和水质型严重缺水区域^[2]。

滏阳河属海河流域子牙河水系 ,发源于邯郸市峰峰矿区滏山南麓和村 ,全长 402 km ,邯郸境内 165 km ,是邯郸市的母亲河 ,具有城市工业用水、农业灌溉、渔业养殖、生态用水和防洪发电功能。由于大量废污水直接排入河道 ,水体遭受严重污染 ,影响了水资源功能发挥 ,制约了经济社会发展 ,威胁着生态环

基金项目 :河北省水利科研项目(2007-35)

作者简介 :郭凤震(1966—) ,河北威县人 ,高级工程师 ,从事水环境监测评价研究工作。E-mail :shuizhigfz@sina.com

境安全。

1.2 滏阳河入河排污口及水质现状

据调查,邯郸市滏阳河主要入河排污口有 33 个。年排废污水为 13 833 万 m³、COD 为 15 516.5 t、NH₃-N 为 2 606.2 t。

水质评价采用邯郸水环境监测中心实测资料。依据 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》,评价方法采用单因子评价法。

评价结果显示:南留旺桥以上水质较好,符合Ⅱ类水质标准;东武仕水库水质属于Ⅲ类;马头闸断面水质为Ⅲ类;河水经过马头工业城后污染物浓度急剧上升,张庄桥断面水质为Ⅴ类;由于主城区生活污水的汇入,水厂路桥、刘二庄断面水质为劣Ⅴ类;苏里、莲花口断面水质更差。

2 邯郸市滏阳河纳污能力

河流纳污能力是一个与河流水文、水质和水力条件等密切相关的重要水管理参数,随规划设计目标的变化而变化,反映特定水体水质保护目标与污染物排放量之间的动态输入响应关系^[3],受污染源概化、设计流量、流速、上游本底浓度、污染物综合衰减系数等设计条件和参数影响。

2.1 水质模型选择

水质模型是描述河流水体中污染物变化的数学表达式。水质模型包括零维模型和一维模型。水质模型建立的基础是物质守恒定律和化学反应动力学原理,即:

$$d\rho/dt = -k\rho \tag{1}$$

式中: ρ 为污染物质量浓度,mg/L; t 为污染物在确定区域内降解时间,d; k 为污染物综合衰减系数,1/d。

2.1.1 零维模型

零维模型应用于流速小于 0.1 m/s 的计算单元,模型公式为:

$$W = 31.536[(Q + q)\rho_s - \rho_0 Q + k\rho_s V/86\,400] \tag{2}$$

式中: W 为计算单元纳污能力,t/a; Q 为计算单元设计流量,m³/s; q 为计算单元入河污水量,m³/s; ρ_s 为计算单元水质目标,mg/L; ρ_0 为计算单元上断面污染物质量浓度,mg/L; V 为计算单元水体体积,m³。

2.1.2 一维模型

一维模型应用于污染物浓度横向变化不大且流速大于 0.1 m/s 的计算单元,模型公式为:

$$W = 31.536[(Q + q)\rho_s - Q\rho_0\exp[-kx/86.4u]]/\exp[-kx_i/86.4u] \tag{3}$$

式中: x 为计算单元上断面到下断面的距离,km; x_i 为概化后排污口到下计算断面的距离,km; u 为计算单元设计流量下的平均流速,m/s。

在计算单元内有支流汇入 $Q_{支}$ 和取水 $Q_{取}$ 情况时,计算公式如下:

a. 在概化排污口上游取水时

$$W = 31.536[(Q + q + Q_{支} - Q_{取})\rho_s - (Q + Q_{支} - Q_{取})\rho_0\exp[-kx/86.4u]]/\exp[-kx_i/86.4u] \tag{4}$$

b. 在概化排污口下游取水时

$$W = 31.536[(Q + q + Q_{支} - Q_{取})\rho_s - (Q + Q_{支})\rho_0\exp[-kx/86.4u]]/\exp[-kx_i/86.4u] \tag{5}$$

式中: $Q_{支}$ 、 $Q_{取}$ 为分别为支流汇入和取水流量,m³/s。

当设计流量为零时,模型计算公式为:

$$W = 31.536q\rho_s \tag{6}$$

2.2 计算单元和控制指标

依据《河北省水功能区划》《邯郸市生态水网防治规划》,共设南留旺桥以上段、东武仕水库、东武仕水库出库—成峰路桥段、成峰路桥—张庄桥段、张庄桥—和平桥段、和平桥—苏里桥段和苏里桥—出境等 7 个计算单元。由于南留旺桥以上、东武仕水库属于饮用水水源保护区,不允许直接排污,本文中不再计算纳污能力和确定相应参数。

根据滏阳河水污染的特点,以 COD、NH₃-N 为污染控制指标。

2.3 模型参数确定

2.3.1 水质目标的确定

依据上游计算单元水质目标不能低于其下游单元水质目标的原则,结合规划水质目标和用水现状,苏里桥以上各段水质目标确定为Ⅲ类水,苏里至出境水质目标确定Ⅴ类水。

2.3.2 设计流量的确定

为了使计算纳污能力反映出不同情况下的实际纳污能力,采用 4 个方案确定设计流量,分别计算纳污能力。

方案 1:近 10 年(1998—2007 年)最枯月平均流量作为设计流量。

方案 2:近 10 年枯水期平均流量作为设计流量。

方案 3:近 10 年汛期平均流量作为设计流量。

方案 4:基准年(2007 年)枯水期平均流量作为设计流量。

水库出口—成峰路桥、成峰路桥—张庄桥、苏里—出境分别采用东武仕水库坝下、张庄桥、莲花口水文站实测资料,张庄桥—和平桥、和平桥—苏里的实测流量分别根据文献[4]进行还原。

4 种方案确定的各计算单元的设计流量见表 1。

2.3.3 设计流速的确定

设计流速根据确定的设计流量从水文控制断面枯水期、汛期、最枯月的流量、水位、流速关系曲线查出相应流速来确定。各计算单元设计流速见表 1。

2.3.4 污染源的概化

不同计算单元内入河排污口分布千差万别，一般将排污口分布概化为均匀分布或位于计算单元中间的一个集中点。考虑排污量影响，将各排污口至下段面距离与其排污量综合考虑，计算加权平均值以确定概化距离 x_i ，公式为：

$$x_i = \sum(Q_i s_i) / \sum Q_i \tag{7}$$

式中： x_i 为污染源概化距离，km； s_i 为排污口至下断面距离，km； Q_i 为排污口单口污水排放量，m³/d。

各计算单元概化后排污口到下计算断面的距离 x_i 见表 2。

2.3.5 综合衰减系数 k 的确定

污染物综合衰减系数 k 是反映污染物沿程变化的综合系数。综合衰减系数 k 值按照 300 km 河长内污染物衰减不超过 75% 的原则确定^[5]。

COD 综合衰减系数计算公式为：

$$k_{\text{COD}} = -0.399u \tag{8}$$

式中： u 为计算单元设计流速，m/s。

表 1 邯郸市滏阳河不同方案对应设计流量、流速

计算单元	设计流量/(m ³ ·s ⁻¹)				设计流速/(m·s ⁻¹)			
	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4
水库出口—成峰路桥	0.41	6.68	5.95	6.72	0.090	0.244	0.210	0.231
成峰路桥—张庄桥	2.12	5.76	5.36	7.06	0.183	0.313	0.308	0.407
张庄桥—和平桥	4.01	4.35	4.19	4.15	0.270	0.282	0.280	0.279
和平桥—苏里桥	3.22	4.74	6.16	5.42	0.230	0.301	0.334	0.321
苏里桥—出境	0	2.89	2.12	5.65	0	0.246	0.203	0.320

表 2 不同方案污染物综合衰减系数、排污口概化距离

计算单元	综合衰减系数 k/d^{-1}								距离/km	
	方案 1		方案 2		方案 3		方案 4		全长 x	概化后 x_i
	COD	NH ₃ -N	COD	NH ₃ -N	COD	NH ₃ -N	COD	NH ₃ -N		
水库出口—成峰路桥	0.036	0.029	0.097	0.079	0.084	0.068	0.092	0.075	31	21.5
成峰路桥—张庄桥	0.073	0.059	0.125	0.101	0.123	0.100	0.162	0.132	15	12.5
张庄桥—和平桥	0.108	0.087	0.113	0.091	0.112	0.091	0.111	0.090	8	3.5
和平桥—苏里桥	0.092	0.074	0.120	0.097	0.133	0.108	0.128	0.104	10	3.7
苏里桥—出境	0	0	0.098	0.080	0.081	0.066	0.128	0.103	52	26

表 3 综合衰减系数验证

$\Delta x/\text{km}$	$V_s/(\text{km} \cdot \text{d}^{-1})$	上断面浓度/(mg·L ⁻¹)		下断面质量浓度/(mg·L ⁻¹)		$k_{\text{COD}}/\text{d}^{-1}$		$k_{\text{NH}_3\text{-N}}/\text{d}^{-1}$	
		COD	NH ₃ -N	COD	NH ₃ -N	实验值	计算值	实验值	计算值
11	26.8	35.0	0.55	33.3	0.53	0.121	0.124	0.090	0.100
11	32.8	35.9	0.50	34.1	0.48	0.153	0.152	0.122	0.123
11	28.5	31.2	0.47	29.7	0.45	0.127	0.132	0.112	0.107
11	30.2	28.7	0.39	27.2	0.37	0.147	0.140	0.145	0.113
11	29.4	31.4	0.53	29.8	0.52	0.139	0.136	0.051	0.110

NH₃-N 综合衰减系数为：

$$k_{\text{NH}_3\text{-N}} = 0.81k_{\text{COD}} \tag{9}$$

各计算单元中各方案的 COD、NH₃-N 的综合衰减系数见表 2。

2.3.6 综合衰减系数 k 验证

为验证综合衰减系数的合理性，在水库出口—成峰路桥单元的北开河桥至成峰路桥河段进行了试验，在上下两桥布设采样点，监测 COD、NH₃-N 浓度，同时测定断面平均流速，按照公式(10)计算 k 值，实验结果见表 3。

$$k = (\ln \rho_1 - \ln \rho_2) V_s / \Delta x \tag{10}$$

式中： ρ_1 为河段上断面污染物质量浓度，mg/L； ρ_2 为河段下断面污染物质量浓度，mg/L； V_s 为河段平均流速，km/d； Δx 为上下断面距离，km。

从表 3 来看，COD 综合衰减系数计算结果与实验结果基本一致，NH₃-N 综合衰减系数计算结果与实验结果个别有误差，但总体一致。因此综合衰减系数确定方法符合滏阳河情况。

2.4 纳污能力计算结果

根据以上确定的模型和参数，各计算单元不同方案对应的纳污能力见表 4。

从表 4 可以看出，无论采用哪种方案，纳污能力都远远低于现状排污量，要改善邯郸市滏阳河水环

表 4 邯郸市滏阳河纳污能力统计

t/a

计算单元	方案 1		方案 2		方案 3		方案 4		现状排污	
	COD	NH ₃ -N	COD	NH ₃ -N	COD	NH ₃ -N	COD	NH ₃ -N	COD	NH ₃ -N
南留旺桥以上	0	0	0	0	0	0	0	0	902.1	37.27
东武仕水库	0	0	0	0	0	0	0	0	259.6	35.38
水库出口—成峰路桥	88.2	4.05	674.7	27.81	610.7	25.08	679.6	28.03	214.3	72.64
成峰路桥—张庄桥	72.6	2.92	235.6	9.48	217.7	8.81	292.8	11.88	41.9	9.49
张庄桥—和平桥	218.3	10.15	226.4	10.48	222.5	10.35	221.1	10.29	874.9	226.27
和平桥—苏里桥	2261.8	111.88	2305.4	113.66	2346.2	115.35	2325.1	114.50	13 223.6	2 225.11
苏里桥—出境	0.0	0.00	2493.0	118.38	1 829.6	86.83	4 879.4	230.87	0	0
总 计	2640.9	129.00	5 935.1	279.81	5 226.7	246.43	8 398.0	395.57	15 516.5	2 606.16

表 5 不同流量、流速和综合衰减系数所对应的 COD 纳污能力

Q/ (m ³ ·s ⁻¹)	u/ (m·s ⁻¹)	COD 纳污能力/(t·a ⁻¹)						
		k = 0.073d ⁻¹	k = 0.076d ⁻¹	k = 0.123d ⁻¹	k = 0.130d ⁻¹	k = 0.162d ⁻¹	k = 0.172d ⁻¹	k = 0.188d ⁻¹
2.12	0.183	72.6	75.7	124.3	131.7	165.9	176.7	194.1
5.36	0.308	128.0	133.3	217.7	230.4	288.9	307.3	336.9
6.02	0.325	137.7	143.4	234.0	245.6	310.4	330.2	362.0
7.06	0.355	149.6	155.8	254.1	268.9	336.9	358.3	392.6
10.92	0.431	195.2	203.3	331.2	350.4	438.5	466.2	510.7
14.87	0.470	246.7	256.9	418.2	442.4	553.5	588.4	644.5

境现状并达到规划水质标准 ,必须对入河污染物进行削减。

3 模型参数影响分析

3.1 污染源概化影响

根据集中概化法计算水库出口—成峰路桥排污口概化距离为 15.5 km ,考虑排污量进行加权计算的概化距离为 21.5 km ,在其他参数不变的情况下 ,纳污能力计算结果变大。概化点越靠近下游 ,计算结果越小。

3.2 计算单元上断面污染物浓度 ρ_0 影响

上断面污染物浓度对计算单元纳污能力的计算结果影响较大 ,纳污能力随上断面污染物浓度的增大呈直线下降。

3.3 设计流量和流速、综合衰减系数影响

由于综合衰减系数受流量和流速影响 ,将设计流量、流速和综合衰减系数一并分析。以成峰路桥—张庄桥计算单元为例 ,张庄桥水文站实测流量、流速关系见图 1 根据公式 (8) 计算相应综合衰减系数 ,

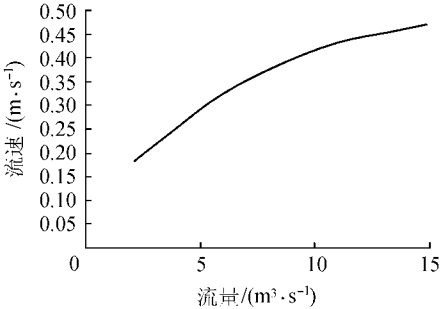


图 1 张庄桥站流量、流速关系

模型其他系数 x 、 x_i 、 ρ_0 、 ρ_s 、 q 、 Q 取值均不变 ,流速 u 取值范围 0.183 ~ 0.470 m/s 综合衰减系数 k_{COD} 取值范围 0.073 ~ 0.188 d⁻¹。不同设计流量、流速和综合衰减系数情况下 COD 对应纳污能力见表 5。

不同设计流速、综合衰减系数对应 COD 纳污能力变化见图 2。

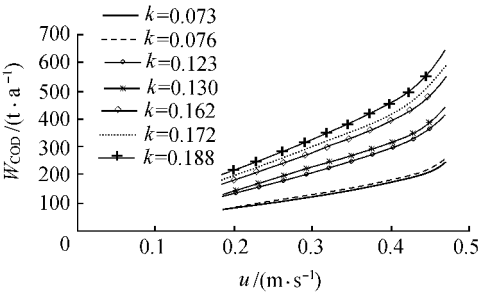


图 2 u 、 k 、 W 三者关系

从图 2 可以看出 相同流速 u 情况下 随着综合衰减系数 k 的增加 纳污能力 W_{COD} 也相应增加 相同综合衰减系数 k 情况下 随着流速 u 的增加 ,计算单元纳污能力 W_{COD} 相应增加 ,影响程度逐渐增强。

4 结 语

a. 邯郸市滏阳河属于水库控制河道 ,由于枯水期农田灌溉的需要 ,枯水期平均流量大于汛期平均流量 枯水期纳污能力也高于汛期。现状排污量远远高于纳污能力 ,要达到规划水质标准 ,必须对入河污染物量进行削减。

b. 邯郸市滏阳河主要属于平原河道 ,落差较小 ,流量增加而流速增加不明显。 (下转第 68 页)

斥力的影响使磷酸根离子不易于接近粉煤灰颗粒表面,因而也会影响到粉煤灰对磷的吸附能力^[7]。

2.7 振荡强度对磷去除效果的影响

取 100 mL 水样 6 份于 250 mL 锥形瓶中,分别加入 2.5 g 改性粉煤灰(160~200 目),调节 pH 值为 3.5,在不同振速下于恒温振荡器振荡 150 min,温度控制为 50℃,过滤,取其滤液测定总磷质量浓度,研究不同振荡强度对磷去除效果的影响,结果见图 6。

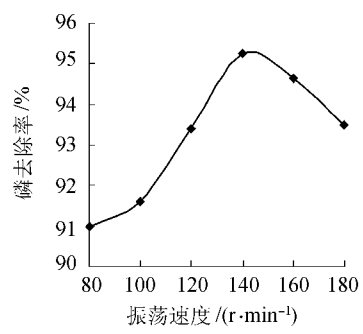


图 6 振荡速度与磷去除率的关系

由图 6 可见,随振荡速度的增加,粉煤灰对磷的吸附效果越来越好,但当达到一定的振荡强度后,继续增加振荡速度,磷的吸附效果反而会呈现下降趋势。当振荡速度为 140 r/min 时,对磷的去除率可达 95.3%,水样中的磷质量浓度在 0.5 mg/L 以下,可达到 GB9878—1996《污水综合排放标准》一级标准。

3 结 语

a. 和不改性的粉煤灰对比,改性后的粉煤灰对磷的吸附效果较好,磷的去除率增加显著。

b. 利用酸性活化改性后的粉煤灰对污水中磷的吸附具有较好的吸附效果。经酸处理后的粉煤灰释放出大量的 Al^{3+} 和 Fe^{3+} 能有效降低或消除水中悬浮颗粒的电位,使悬浮颗粒脱稳,同时经酸处理的粉煤灰颗粒表面形成许多凹槽和孔洞,能加强吸附这些脱稳的胶体颗粒^[8]。

c. 改性粉煤灰对污水中磷的吸附受到粉煤灰粒径、投加量、pH 值、温度、振荡强度以及吸附时间等因素的影响。在粉煤灰粒径为 160~200 目、投加量为 25 g/L、溶液 pH 值为 3.5、水温 50℃ 的条件下,对磷质量浓度为 6.8 mg/L 的生活污水,以 140 r/min 的强度振荡吸附 150 min,磷的去除率可高达 95.3%,水样中的磷质量浓度降至 0.5 mg/L 以下,符合 GB9878—1996《污水综合排放标准》一级标准。

参考文献:

[1] 彭近新,陈慧君.水质富营养化与防治[M].北京:中国环境科学出版社,1988.
[2] 阎存仙.粉煤灰的综合利用[J].上海环境科学,1996,15

(2) 30-33.

[3] BAYAT B. Comparative study of adsorption properties of Turkish fly ashes III[J]. Journal of Hazardous Materials 2002, 95(6): 275-289.
[4] 肖文香.改性粉煤灰除去废水中的磷[J].化工技术与开发,2004,33(3):42-44.
[5] 欧阳勇,罗建中,陈宝才,等.粉煤灰处理含磷废水的研究进展[J].能源环境保护,2009,23(2):15-18.
[6] 张信,岳钦艳,张金智.改性粉煤灰去除水中磷及吸附机理研究[J].粉煤灰综合利用,2007(4):44-46.
[7] 阎存仙,周红.粉煤灰处理含磷废水的研究[J].上海环境科学,2000,19(1):33-35.
[8] 滕宗焕,陈建中.改性粉煤灰的吸附机理及其在废水处理中的应用[J].西南给排水,2007,29(4):23-27.

(收稿日期 2010-08-27 编辑 徐娟)

(上接第 23 页)根据设计流量确定的设计流速可能有误差。

c. 对于排污口分布复杂且排污量相差悬殊的单元,在污染源概化时考虑排污量,采用加权计算法确定概化点位置,可准确反映排污情况。

d. 综合衰减系数 k 受自然条件和水体影响较大,经验证本文采用的综合衰减系数 k 的确定方法符合滏阳河实际。

参考文献:

[1] 邯郸市水利局.邯郸市第二次水资源评价[M].北京:学苑出版社,2008:138-139.
[2] 郭凤震,胡新锁.邯郸市水功能区纳污能力及限制排污总量计算分析[C]//中国水利学会第四届青年论坛论文集,北京:中国水利水电出版社,2008:156-161.
[3] 朱健,王平,李捍东.贾河纳污能力及排污总量控制分析[J].水资源保护,2009,23(3):48-51.
[4] 河北省邯郸水文水资源勘测局.邯郸市城区雨洪资源研究报告[R].邯郸:河北省邯郸市水文水资源勘测局,2010:78-115.
[5] 河北省水利厅,河北省水文水资源勘测局.河北省水功能区纳污能力及限制排污总量意见[R].石家庄:河北省水利厅,河北省水文水资源勘测局,2008:64-65.

(收稿日期 2010-03-07 编辑 高渭文)

