

淮河鲁台子—石头埠段动态纳污能力估算及水质污染预测预报

吴 师

(安徽省阜阳水文水资源局,安徽 阜阳 236000)

摘要 :依据一维水质模型,估算动态纳污能力、预测污水对目标河段水质的影响。以淮河干流鲁台子—石头埠段为例,针对河段内淮南市饮用水源的水质要求,在不同的上游来水条件下,计算闸控支流污水的最大允许下泄量,预测污水团到达水源区的浓度。

关键词 :纳污能力;最大允许下泄量;水质监测;淮河

中图分类号 :X824 文献标识码 :A 文章编号 :1004-693X(2005)04-0052-04

Estimation of dynamic pollution receiving capacity and forecast on water quality pollution for the Lutaizi-Shitoubu section of the Huaihe River

WU Shi

(Hydrologic Service of Fuyang City in Anhui Province, Fuyang 236000, China)

Abstract :Based on one-dimensional water quality model, the dynamic pollution receiving capacity was estimated and the effect of the polluted water on the receiving river was forecasted. The Lutaizi-Shitoubu section of the Huaihe River was taken as an example. According to the water quality requirement of the drinking water source in Huainan City, the maximum permitted runoff from the dam-controlled branches was calculated under different in flow conditions from the upstream. The concentration of the polluted water cluster reaching the water source region was predicted.

Key words :pollution receiving capacity; maximum permitted runoff; water quality monitoring; Huaihe River

淮河干流河长 401 km,是沿淮凤台、淮南、怀远、蚌埠、五河等市(县)的供水水源地。淮河最大支流颍河在距鲁台子水文站上游约 16 km 的正阳关汇入淮河。

本文探讨淮河鲁台子—石头埠段纳污能力估算方法,并预测颍河下泄污水对淮干淮南段水质的影响程度,提出颍上闸不同情况下最大允许下泄污水量。

1 区域概况

淮河鲁台子—石头埠段河长约 70 km,左岸有西淝河(下段)汇入,右岸有东淝河汇入,大部分时间内汇入水量较小,水质较好,对干流水量、水质影响较小。凤台县城市工业和生活污水在凤台大桥上游排入淮河,根据多年实测资料计算,日排主要污染物 COD_{Cr} 为 14.59 t, NH₃-N 为 2.97 t。颍河下泄的污水

对该河段水质影响最大,水质主要污染指标为 COD_{Cr}、COD_{Mn}、NH₃-N 等。

淮河干流石头埠段是淮南市的主要饮用水源地,自上而下分布有李嘴孜、望峰岗、淮南市四水厂、化肥厂、淮南市三水厂 5 座水厂,日供水量 33.5 万 m³。为保障淮南市约 100 万人口饮用水和工业生产用水安全,安徽省水功能区划将该河段约 23 km 河长划为淮南饮用水水源区,现状水质 III ~ IV 类,水质管理目标为 II ~ III 类。淮河鲁台子—石头埠段地理位置示意图见图 1。

2 技术路线

根据淮河鲁台子—石头埠段的河流特性和水质水量资料,选定合适的水质模型,计算不同条件下河

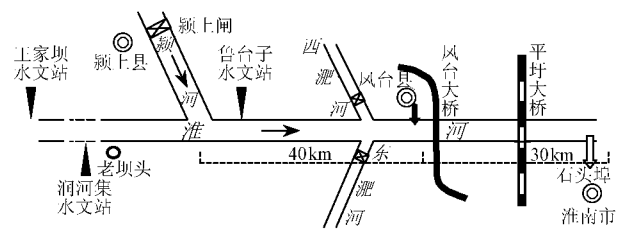


图1 淮河鲁台子—石头埠段地理位置示意图

流纳污能力, 预测不同情况下颍上闸下泄污水对研究河段水质的影响, 最终确定闸坝最终下泄流量, 见图2。

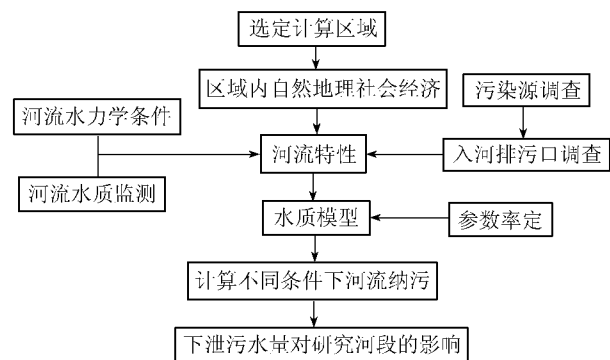


图2 技术路线框图

3 水体纳污能力的估算

3.1 计算方法简介

根据研究河段的水质水量资料, 结合相关研究文献, 采用一维稳态水质模型, 仅考虑降解、平流项。

$$c = c_0 \exp\left(-\frac{kx}{86400u}\right) \quad (2)$$

式中: c 为控制断面污染物浓度, mg/L ; c_0 为起始断面污染物浓度, mg/L ; k 为污染物综合衰减系数, $1/d$; x 为两断面之间距离, m ; u 为设计流量下水体平均流速, m/s 。

当污染物在河段起点处排入计算河段内时, 河段下断面污染物浓度为

$$c_{x=L} = c_0 \exp(-kL/u) + M/Q_r \exp(-kL/u) \quad (3)$$

式中: $c_{x=L}$ 为水域下断面污染物浓度, mg/L ; k 为污染物的综合衰减系数; u 为河流的平均流速, m/s ; Q_r 为设计流量, m^3/s ; M 为污染物最大允许入河速率(即水体的纳污能力) g/s 。

$$M = (c_s - c_0 \exp(-kL/u)) \exp(kL/u) Q_r \quad (4)$$

式中: c_s 为水域下断面目标水质污染物浓度, mg/L 。

3.2 综合衰减系数率定

综合衰减系数 k 与河流水力学、水质污染程度、水温、河流本底质、河床糙率、水生生物等物理、化学、生物等诸多因素有关。根据目标河段的实际条件, 选取王家坝、老坝头两个断面跟踪监测数据, 对研究中所选择的水质指标 COD_{Cr} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的衰减系数进行率定。实验期间河段水流相对平稳, 支流汇入水量小, 无大的入河排污口, 且期间无大的降雨。实测数据与率定结果见表1。

3.3 河段动态纳污能力评价

根据鲁台子—石头埠段入河排污口分布的实际情况, 将鲁台子—石头埠 70 km 河长分成: 鲁台子—凤台大桥—石头埠 2 段计算, 计算河长分别为 40 km、30 km。将颍河作为淮河的一个主要排污口, 将凤台县的两个排污口概化为一个集中的排污口, 相当于一个集中点源, 位置位于第 2 个河段的起点处。根据《安徽省水功能区划》规定, 两河段下断面的水质管理目标为 III 类, 即两河段下断面 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的水质目标 c_s 分别为 20.0 mg/L 、 1.00 mg/L 。

应用公式(4), 计算不同的 Q_r 、 u 及 k 条件下动态纳污能力。当淮河上游老坝头来水水质为 III 类时, 鲁台子—石头埠段有关项目不同流量级的纳污能力计算结果见表2。

表2 鲁台子—石头埠段纳污能力估算

计算流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	流速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	综合衰减系数		纳污能力($\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$)	
		COD_{Cr}	$\text{NH}_3\text{-N}$	COD_{Cr}	$\text{NH}_3\text{-N}$
100	0.059	0.104	0.139	5978	427
141 ^①	0.076	0.104	0.139	6575	461
151 ^②	0.084	0.104	0.139	6269	436
200	0.109	0.104	0.139	6588	453
218 ^③	0.118	0.104	0.139	6346	434
300	0.159	0.104	0.139	6591	447
365 ^④	0.191	0.104	0.139	6457	437
400	0.209	0.104	0.139	6607	446
500	0.259	0.104	0.139	6621	446
688 ^⑤	0.360	0.104	0.139	6435	433
1000	0.478	0.104	0.139	7040	473
2000	0.734	0.104	0.139	9155	615

注: ①最枯月平均流量; ②95%保证率; ③90%保证率; ④75%保证率; ⑤多年平均流量。

表1 淮河干流有关项目降解系数计算

月份	河长/km	流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	流速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	王家坝		老坝头		k	
				$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	COD_{Cr}	$\text{NH}_3\text{-N}$
1	95	129	0.2859	33.1	1.40	25.8	0.93	0.065	0.106
2	95	126	0.2826	35.7	1.30	24.9	1.04	0.093	0.057
3	95	87	0.2348	52.3	1.10	22.3	0.45	0.182	0.191
4	95	45	0.1689	31.8	1.36	16.5	0.51	0.101	0.151
5	95	50	0.1781	23.3	0.78	14.4	0.24	0.078	0.191
均		值						0.104	0.139

4 水质影响预测

根据淮河干流上游来水量和颍河一定时间内下泄的污水量,计算该时段内鲁台子—石头埠段的纳污能力,预测颍河下泄的污水对鲁台子—石头埠段的水质影响,预报污水团到达下游断面的时间,估算下游断面的水质浓度的变化的情况,为科学调度颍上闸、控制颍上闸下泄水量、预防和减小颍河下泄的污水对凤台、淮南、蚌埠等地生活和工农业生产造成的危害。

4.1 污染影响预测

为作好颍河下泄对淮河鲁台子—石头埠段的水质影响预测,根据污水团不同流量级下的环境容量,计算出淮河干流不同水量级下颍河闸最大允许下泄不同水质类别情况下的污水量。以颍上闸下泄污水量是否超过最大允许下泄污水量预测其是否对淮河鲁台子—石头埠段水质造成较大影响。表3中列举了在确保淮河石头埠段水质不劣于Ⅲ类水的前提下不同情况下颍上闸最大允许下泄污水量。

将上述成果应用于淮河防污闸坝调度中。在污水下泄前期,根据天气预报和洪水预报预测及上游有关监测站点的水质信息,分析颍河将要出现的洪峰和污峰,均衡分析闸坝蓄水量的效益、风险,尽可能提前加大颍上闸前期下泄的污水水量;在污峰到来后,在加强监测颍河上游来水水质的同时,根据不同条件

表3 不同条件下确保淮河石头埠段水质为Ⅲ类类上闸最大允许下泄污水量

上游来水 (颍河口 以上)水 质类别	计算流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	最大允许下泄污水量($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)						上游来水 (颍河口 以上)水 质类别	计算流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	最大允许下泄污水量($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)					
		Ⅳ类水	Ⅴ类水	$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$ = 50 mg/L	$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$ = 80 mg/L	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ = 3 mg/L	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ = 6 mg/L			Ⅳ类水	Ⅴ类水	$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$ = 50 mg/L	$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$ = 80 mg/L	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ = 3 mg/L	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ = 6 mg/L
Ⅱ	50	324	162	108	54	106	42	Ⅱ	365 ^①	922	461	307	154	337	135
Ⅲ		300	150	100	50	96	39	Ⅲ		629	314	210	105	201	80
Ⅳ		251	126	84	42	87	35	Ⅳ		43	21	14	7	65	26
Ⅴ		203	101	68	34	78	31	Ⅴ							
Ⅱ		100	631	316	210	105	216	86		Ⅱ	400	970	485	323	162
Ⅲ	581		290	194	97	196	79	Ⅲ	644	322		215	107	206	82
Ⅳ	481		240	160	80	177	71	Ⅳ							
Ⅴ	380		190	127	63	157	63	Ⅴ							
Ⅱ	141 ^②		722	361	241	120	247	99	Ⅱ	500		1069	535	356	178
Ⅲ		641	320	214	107	213	85	Ⅲ	645		323	215	108	206	82
Ⅳ		478	239	159	80	179	72	Ⅳ							
Ⅴ		315	158	105	53	146	58	Ⅴ							
Ⅱ		151 ^③	702	351	234	117	239	96	Ⅱ		688 ^⑤	1239	620	413	207
Ⅲ	610		305	203	102	201	80	Ⅲ	627	313		209	104	199	80
Ⅳ	426		213	142	71	162	65	Ⅳ							
Ⅴ	243		121	81	40	123	49	Ⅴ							
Ⅱ	200		776	388	259	129	268	107	Ⅱ	1000		1603	802	534	267
Ⅲ		642	321	214	107	209	84	Ⅲ	687		344	229	115	219	88
Ⅳ		373	187	124	62	150	60	Ⅳ							
Ⅴ		105	52	35	17	92	37	Ⅴ							
Ⅱ		218 ^④	771	385	257	128	267	107	Ⅱ		2000	2788	1394	929	465
Ⅲ	618		309	206	103	200	80	Ⅲ	899	449		300	150	290	116
Ⅳ	312		156	104	52	132	53	Ⅳ							
Ⅴ	6		3	2	1	64	26	Ⅴ							
Ⅱ	300		871	436	290	145	311	124							
Ⅲ		642	321	214	107	206	83								
Ⅳ		184	92	61	31	102	41								
Ⅴ															

注 ①最枯月平均流量 ②95%保证率 ③90%保证率 ④75%保证率 ⑤多年平均流量。

下颍上闸最大允许下泄水量,在满足防洪需要的前提下,控制颍上闸下泄水量,延长下泄污水时间。

4.2 污染指标浓度变化预测

在污水团汇入淮河干流后,可通过公式(2)估算淮淮南段污染指标质量浓度。

表4以2004年7月中下旬淮河鲁台子段实测资料,估算水体到达石头埠时污染物质量浓度。实测值与预测值变化曲线见图3。

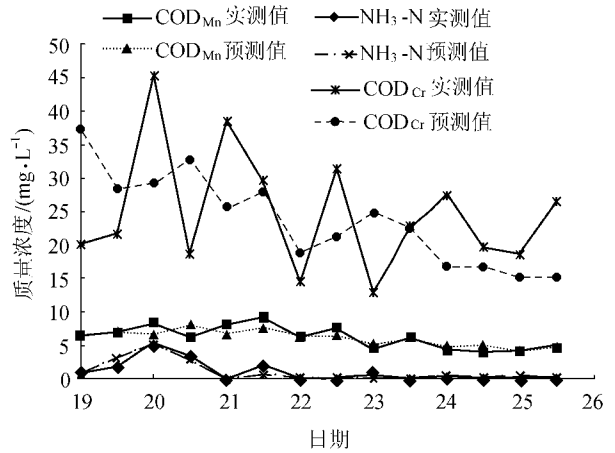


图3 2004年7月淮河石头埠段主要污染指标实测值与预测值变化曲线

在对下游石头埠段污染物浓度变化预测中存在着一定的误差,尤其在 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度较低时预测的相对误差较大。产生上述误差的主要原因可能与

表 4 2004 年 7 月淮河石头埠段污染指标实测值与预测值对比

采样时间	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		$\rho(\text{NH}_3\text{-N})(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		绝对误差 $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$			相对误差/%		
	实测值	预测值	实测值	预测值	实测值	预测值	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$	$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$	$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$
19 日 8:00	6.40	6.5	0.82	0.83	20.0	37.29	0.10	0.01	17.29	1.6	1.2	86.5
19 日 14:00	6.96	6.94	1.73	3.19	21.50	28.42	-0.02	1.46	6.92	-0.3	84.4	32.2
20 日 8:00	8.24	6.71	5.36	5.21	45.30	29.00	-1.53	-0.15	-16.30	-18.6	-2.7	-36.0
20 日 14:00	6.16	8.16	3.35	2.84	18.50	29.19	2.00	-0.51	10.69	32.5	-15.2	57.8
21 日 8:00	8.00	6.71	0.03	0.06	38.60	25.56	-1.29	0.03	-13.04	-16.1	100.0	-33.8
21 日 14:00	9.20	7.63	1.99	0.66	29.70	27.83	-1.57	-1.33	-1.87	-17.1	-66.8	-6.3
22 日 8:00	6.16	6.25	0.08	0.24	14.50	18.83	0.09	0.16	4.33	1.5	200.0	29.9
22 日 14:00	7.60	6.44	0.03	0.20	31.40	21.28	-1.16	0.17	-10.12	-15.3	566.7	-32.2
23 日 8:00	4.48	5.30	0.50	0.18	12.90	24.77	0.82	-0.32	11.87	18.3	-64.0	92.0
23 日 14:00	6.16	6.06	0.10	0.15	22.50	22.49	-0.10	0.05	-0.01	-1.6	50.0	0.0
24 日 8:00	4.32	4.83	0.30	0.50	27.30	16.74	0.51	0.20	-10.56	11.8	66.7	-38.7
24 日 14:00	3.92	5.01	0.20	0.26	19.70	16.71	1.09	0.06	-2.99	27.8	30.0	-15.2
25 日 8:00	4.24	4.18	0.20	0.59	18.50	15.19	-0.06	0.39	-3.31	-1.4	195.0	-17.9
27 日 8:00	4.88	4.80	0.20	0.28	26.50	15.12	-0.08	0.08	-11.38	-1.6	40.0	-42.9
均 值	6.19	6.11	1.06	1.09	24.78	23.46	-0.08	0.03	-1.32	-1.4	2.5	-5.3

注：采样点为淮南公铁大桥右。

下述几方面有关：

a. 颍河及其支流上闸坝林立，洪水到来前各河段均蓄积了大量污水，各闸开启泄洪时间不一致，使得不同河段的污水有分段汇集入淮的现象，这在水位起涨阶段较明显。因此，洪水在通过鲁台子断面时，水质变化起伏较大，此时受水质监测频率所限（观测期两年，1 天监测 2~3 次），有时可能导致污峰漏测，甚至进一步导致水质变化过程难以全面控制。

b. 研究中“河段水流平均流速”是用上断面（鲁台子站）的“断面实测流速”来代替的，这不可避免地在计算结果中产生一定的误差；在河流水位起涨和退水阶段，断面上水流流速随时间变化较大，因此有可能造成不同水体到达下断面的预测时间有一定误差，这在污水分段汇集入淮时影响更加明显。

c. 石头埠断面的监测频次为每天 1 次。用鲁台子实测数据和率定的综合衰减系数得出的预测结果，不可能与石头埠断面监测结果在时间完全配套，

此时仍然只能将上述的预测结果与石头埠断面的实测结果进行比较，显然将产生一定的误差。

d. 水样分析测试中有一定的实验误差，在浓度值较低时，这种实验误差将对相对误差的数值产生较大的影响；在研究河段， $\text{NH}_3\text{-N}$ 比 COD_{Mn} 反应更为明显，这与 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度值较小密切相关。

e. 综合衰减系数的影响因素众多，受实际数据所限，率定过程不可避免地受一些不确定信息的影响，这也将验证中产生一定的计算误差，这方面的研究待进一步深入。

参考文献：

[1] 朱党生, 王超, 程晓冰. 水资源保护规划理论及技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
 [2] 方子云. 水资源保护工作手册[M]. 南京: 河海大学出版社, 1988.
 [3] 安徽省水利厅, 安徽省环保局. 安徽省水功能区划[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.

(收稿日期: 2004-12-02 编辑: 傅伟群)