

大沽河污染物衰减系数分析研究

曹敏

(青岛市水文局, 山东 青岛 266071)

摘要: 污染物衰减系数是反映河流水质污染变化情况、建立水质模型和计算河流水环境容量的重要参数。本文采用实测资料分段反算法计算大沽河调水期间 COD_{Mn} 和氨氮衰减系数, 并建立水质数学模型验证衰减系数的适用性。分析结果表明: 由衰减系数建立的水质模型计算精度高, 此次计算的衰减系数可以应用到大沽水环境容量及河纳污能力等的分析计算中。

关键词: 衰减系数; 调水期; 分段反算法; 水质数学模型

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2016)03-0128-05

Study on degradation coefficient of pollutant in Dagu River

CAO Min

(Hydrographic Bureau of Qingdao, Qingdao 266071, China)

Abstract: The degradation coefficient of pollutant is an important parameter which can reflect the change situation of water quality, set up the water quality model and calculate the water environment capacity of river. The paper utilized segmentation anti algorithm method based on measured data to calculate the degradation coefficient of COD_{Mn} and Ammonia during water diversion of Dagu river. The water quality model were built to validate the applicability of degradation coefficient. The results indicated that the water quality model built from degradation coefficient has high accuracy. The degradation coefficient in the study can be used to research the water environment capacity and pollution perceiving capacity of Dagu river.

Key words: degradation coefficient; water diversion; segmentation anti algorithm method; water quality model

污染物进入河流在输移过程中通过物理、化学及生物的作用发生浓度衰减, 其衰减系数反映了污染物在水体作用下降解速度的快慢^[1]。河流中污染物衰减系数是研究河流水质污染变化、计算水环境容量以及纳污能力的重要参数。衰减系数受多种因素影响, 既与河流的水文条件有关, 还与河流的污染程度有关^[2]。

目前, 河流衰减系数研究常用的方法有模拟实验法和实测资料反算法^[3-6]。

由于实验条件的局限性和衰减影响因素的复杂性, 实验室测定衰减系数与实际河流衰减系数有一定差别^[7-8]。相比而言, 实测资料反算法在准确了解排污口、干支流的水文水质资料前提下可作为一个可靠的计算方法。2014年青岛市对大沽河自上

游向下游调水。调水期间进行了实时水量水质监测。本文利用实测数据研究非自然降雨产生径流(无旁侧入流)时的水质参数变化规律, 计算得出了不同河段污染物衰减系数, 为今后大沽河水环境容量及纳污能力分析计算等提供了数据支撑。

1 研究对象

1.1 河流概况

2014年春季青岛市大部分地区出现旱情, 局部严重干旱, 部分地区出现村镇供水和灌溉用水困难, 为解决大沽河沿岸村镇供水、农业灌溉和生态环境用水, 青岛市政府决定从大沽河上游产芝水库和小沽河上游黄同水库向下游调水。

大沽河发源于烟台市招远阜山, 由北向南, 于莱

西市道子泊村北约 500 m 处入境。流经莱西市、平度市、即墨市、胶州市和城阳区,于胶州市营海入胶州湾。干流全长 199 km,流域总面积 6 205 km² (含南胶莱河 1 562 km²),其中青岛市境内面积 4 850.7 km²,是胶东半岛的最大河流。大沽河在 20 世纪 70 年代前,河水季节性较强,夏季洪水暴涨,常年有水,70 年代后期,成为市区主要供水水源地,除汛期少数年份外,中下游断流。主要支流有小沽河、洙河、五沽河、流浩河及南胶莱河等。其中,小沽河源于烟台市莱州马鞍山,于河里吴家镇孙家村西入莱西市,沿莱西和平度市的交界南流,于平度营村入大沽河,干流全长 86 km,流域面积 1 015 km²。

1.2 研究区划分

衰减系数不但与河流的水文条件有关^[9-10],而且与水体的污染程度关系密切^[11]。考虑大沽河各河段之间的诸多差异,对不同河段的衰减系数分别进行计算。

调水期间,在大、小沽河干流设置了曲埠桥、葛家埠、引黄闸、后沙湾庄、程家小里、沙埠桥、崖头七个水质监测断面。分析沙埠—程家小里,后沙湾庄—崖头,崖头—引黄闸,曲埠桥—葛家埠 4 个河段 COD_{Mn} 和氨氮衰减系数(如图 1)。

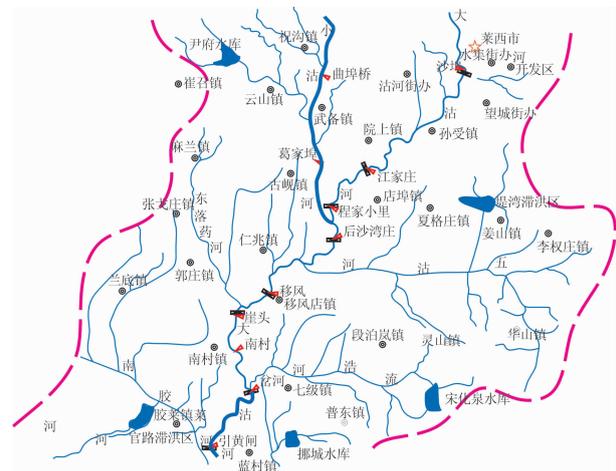


图 1 大、小沽河污染物衰减系数计算河段分布图

2 研究方法

2.1 计算方法

污染物的衰减系数 K 反映了污染物在水体中降解的速率,尤其在径流量较小的河流,它是计算水体纳污能力的一项重要参数。

在一维稳态条件下,利用二断面法求解污染物衰减系数,见式(1)^[12]:

$$K = \frac{u}{x} \ln\left(\frac{c_1}{c_2}\right) \quad (1)$$

式中: K 为污染物衰减系数, d^{-1} ; c_1 为河段上断面污染物浓度, mg/L ; c_2 为河段下断面污染物浓度, mg/L ; x 为上下断面间的距离, km ; u 为水体的流速, km/d 。

根据监测资料绘制各断面 COD_{Mn}、氨氮监测值过程线和水位、流量、流速过程线,采用 x/u 的方法确定流速。在水位或流量过程线上选取上下断面水位或流量有明显变化的峰谷点,确定大概的传播时间和断面来水和放水结束时间点,再根据测流资料确定该段时间的平均流速。上断面污染物浓度为 c_1 的水体经过传播到下断面,在下断面监测值过程线上查得的污染物浓度 c_2 即为 c_1 经降解后的浓度值。根据上下断面实测的 n 个监测值,可得到 n 组上下断面相应的污染物降解前后的浓度数据,由衰减系数计算公式即可计算出 n 个 k 值。

计算各河段污染物衰减系数后,将衰减系数代入河流水质模型^[13] 公式(2)中得到各河段水质数学模型,采用河流监测数据验证衰减系数的适用性。

$$c = c_0 e^{-\frac{Kx}{u}} \quad (2)$$

式中: c 为污染物浓度, mg/L ; K 为河段中某种污染物的衰减系数, $1/d$; c_0 为 $x = 0$ 处河段中某种污染物浓度, mg/L ; x 为上下断面间的距离, km ; u 为水体的流速, km/d 。

2.2 基础数据

根据调水过程中的监测的程家小里断面、崖头断面、引黄闸断面和葛家断面的过水情况(见表 1),计算不同时间点 COD_{Mn} 和氨氮浓度,结果如表 2。由表 2 数据可绘制各污染物监测值的过程线。

表 1 各监测断面过水情况

水库闸坝名称	最大流量/ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	断面过水量/ $10^4 m^3$	断面平均流速/ 间距/ m ($m \cdot s^{-1}$)
沙埠橡胶坝	127	3871	25900 0.40
程家小里拦河闸	109	3068	
309 曲埠桥	28.1	1573	22400 0.43
葛家埠	33.2	1204	
沙湾庄橡胶坝	59.9	4072	17505 0.19
崖头橡胶坝	135	2540	
崖头橡胶坝	135	2540	19920 0.14
引黄闸	37.6	933	

表2 各监测断面污染物浓度

					mg/L				
监测断面	监测日期	监测时间	COD _{Mn}	氨氮	监测断面	监测日期	监测时间	COD _{Mn}	氨氮
程家小里	04-18	0:30	3.3	0.15	引黄闸	04-23	8:40	3.0	<0.005
	04-18	7:10	3.2	0.12		04-23	16:20	3.2	<0.005
	04-21	10:00	3.0	0.09		04-24	1:18	2.9	<0.005
	04-22	15:00	3.0	0.10		04-24	6:40	2.7	<0.005
	04-24	5:00	2.9	0.08		04-24	16:46	2.6	<0.005
	04-18	8:30	3.5	0.07		04-25	6:48	2.4	<0.005
崖头	04-18	12:00	3.2	0.07	葛家埠	04-18	11:28	4.4	0.22
	04-21	8:27	2.9	0.06		04-19	11:00	4.0	0.21
	04-22	14:03	2.9	<0.05		04-19	19:20	3.2	0.17
	04-23	8:48	2.7	<0.05		04-20	10:06	2.9	0.16
	04-24	8:48	2.6	<0.05		04-24	11:10	2.5	0.10
						04-25	16:20	2.1	0.06

表3 各河段上下断面污染物浓度值

河段	上断面监测日期	监测时间	传播时间/ d	COD _{Mn}		氨氮	
				上段面	下段面	上段面	下段面
				mg/L			
沙埠-程家小里	04-16	17:30	1.28	4.2	3.1	0.28	0.15
	04-17	8:30	1.23	4.0	3.1	0.20	0.11
	04-17	17:10	1.35	3.5	3.0	0.16	0.10
	04-19	11:10	2.14	3.3	3.0	0.17	0.09
后沙湾庄-崖头	04-18	6:00	0.60	4.0	3.1	0.09	0.06
	04-18	8:30	1.00	3.9	3.0	0.09	0.05
	04-18	12:00	0.52	3.9	3.0	0.07	<0.05
	04-21	8:27	0.58	3.5	2.9	<0.05	<0.05
	04-22	14:03	1.33	3.2	2.6	<0.05	<0.05
崖头-引黄闸	04-23	8:48	0.56	3.0	2.5	<0.05	<0.05
	04-21	8:27	0.19	3.9	3.3	0.06	<0.05
	04-22	14:03	0.20	3.7	3.2	<0.05	<0.05
	04-23	8:48	0.18	3.3	3.1	<0.05	<0.05
曲埠桥-葛家埠	04-24	8:48	0.18	3.0	2.6	<0.05	<0.05
	04-16	23:10	0.88	6.1	4.7	0.37	0.25
	04-17	16:40	0.57	5.5	4.6	0.32	0.24
	04-19	8:00	0.35	4.2	3.3	0.30	0.17
	04-21	6:34	0.35	3.8	2.8	0.21	0.14
	04-24	13:00	0.91	2.8	2.2	0.12	0.07

3 结果与分析

3.1 河段污染物衰减系数

各河段污染物衰减系数如图2所示。沙埠-程家小里、后沙湾庄-崖头、崖头-引黄闸和曲埠桥-

葛家埠4条河段COD_{Mn}衰减系数平均值分别为0.26、0.34、0.69和0.59 d⁻¹；氨氮衰减系数平均值为0.41、0.74、0.95和1.04 d⁻¹。与国内研究相比，大沽河调水期间河段污染物衰减系数处于较高水平^[1]。沙埠-程家小里、后沙湾庄-崖头和崖头-

引黄闸河段同属于大沽河,3 条河段 COD_{Mn} 和氨氮衰减系数排序为:沙埠 - 程家小里 < 后沙湾庄 - 崖头 < 崖头 - 引黄闸。小沽河的曲埠桥 - 葛家埠河段污染物衰减系数与崖头 - 引黄闸河段接近。调水过

程中崖头 - 引黄闸和曲埠桥 - 葛家埠河段 COD_{Mn} 衰减系数变化明显,两条河段标准偏差分别达到 0.21 和 0.27;曲埠桥 - 葛家埠河段氨氮衰减系数标准偏差最大,为 0.43。

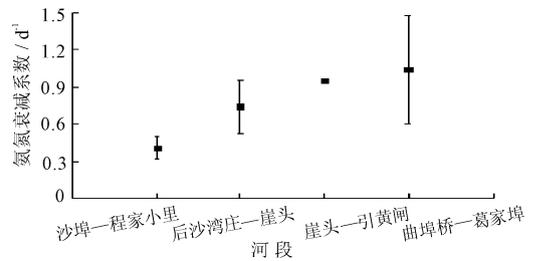
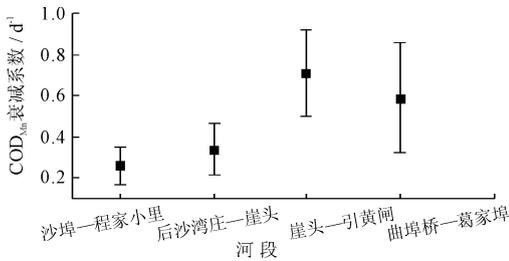


图 2 各河段衰减系数

分析此次计算成果,由于曲埠桥 - 葛家埠河段位于大沽河支流小沽河上,民间素有“大沽河不大,小沽河不小”的谚语,其河床地势变化复杂,流速急,水体紊动强度大,所以污染物衰减系数较大。大沽河各河段虽然越至下游坡度越小,但是由于在中下游河段,水中悬浮固体含量越高,致使污染物的衰减系数至上而下呈递减趋势。这与相关研究污染物衰减系数影响因素的分析成果^[1]基本吻合,也符合大沽河沿线水质变化规律。

3.2 河段水质数学模型

将污染物衰减系数平均值代入式(2)即可得到河段水质数学模型。以沙埠 - 程家小里河段为例,将衰减系数平均值代入式(2),得到沙埠 - 程家小里河段 COD_{Mn} 和氨氮的数学模型见式(3)、(4)。

(1)沙埠 - 程家小里河段 COD_{Mn} 数学模型

$$c = c_0 e^{-\frac{0.26x}{u}} \quad (3)$$

式中: c 为污染物浓度,mg/L; c_0 为某种污染物初始浓度,mg/L; x 为上下断面间的距离,km; u 为水体的流速,km/d。

(2)沙埠 - 程家小里河段氨氮数学模型

$$c = c_0 e^{-\frac{0.41x}{u}} \quad (4)$$

式中: c 为污染物浓度,mg/L; c_0 为某种污染物初始浓度,mg/L; x 为上下断面间的距离,km; u 为水体的流速,km/d。

其他 3 条河段 COD_{Mn} 和氨氮数学模型用相同方法获得。

3.3 衰减系数验证

采用大沽河、小沽河水质监测资料,分别对大沽河沙埠 - 程家小里、后沙湾庄 - 崖头、崖头 - 引黄闸河段和小沽河曲埠桥 - 葛家埠河段衰减系数适用性进行检验。

使用与流速同时监测的各河段下断面 COD_{Mn}、氨氮实测值,分别代入各自的数学模型中计算浓度值,并与相应的实测值进行比较,计算相对误差,结果如表 4、5 所示。

表 4 COD_{Mn} 衰减系数适用性检验计算表

验证断面	时间	实测值/ (mg · L ⁻¹)	计算值/ (mg · L ⁻¹)	相对误差/ %	
程家小里	04 - 18	3.3	3.2	-3.03	
	04 - 21	3.0	3.1	3.33	
	崖头	04 - 21	2.9	3.0	2.99
		04 - 22	2.9	2.8	-3.86
引黄闸	04 - 23	2.7	2.3	-15.65	
	04 - 24	2.6	2.5	-4.63	
	04 - 23	3.2	3.1	-4.51	
	04 - 24	2.6	2.7	3.57	
	04 - 25	2.4	2.6	6.53	
葛家埠	04 - 18	4.4	4.1	-6.82	
	04 - 19	3.6	3.5	-2.78	
	04 - 20	3.0	3.1	3.33	
	04 - 25	2.1	2.0	-4.76	

如表 4 所示,COD_{Mn} 相对误差大于 10% 的只有崖头断面 4 月 23 日的计算值,其余断面相对误差均在 5% 左右;由于水样中氨氮浓度值较小,计算得到的相对误差较大(如表 5 所示),最大相对误差出现在崖头断面 4 月 21 日计算值,为 -33.40%,其他断面相对误差在 10% 左右。分析可知,由衰减系数建立模型的计算值与实测值吻合较好,模型具有一定的参考使用价值。

表5 氨氮衰减系数适用性检验计算表

验证断面	时间	实测值/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	计算值/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	相对误差/ %
程家小里	04-18	0.15	0.17	13.33
	04-21	0.09	0.10	11.11
崖头	04-21	0.06	0.04	-33.40
	04-22	<0.05	<0.05	
	04-23	<0.05	<0.05	
	04-24	<0.05	<0.05	
引黄闸	04-23	<0.05	<0.05	
	04-24	<0.05	<0.05	
	04-25	<0.05	<0.05	
葛家埠	04-18	0.22	0.19	-13.64
	04-19	0.19	0.20	5.26
	04-20	0.16	0.18	12.50
	04-25	0.07	0.07	0.00

4 结 论

(1) 沙埠-程家小里、后沙湾庄-崖头、崖头-引黄闸和曲埠桥-葛家埠4条河段 COD_{Mn} 衰减系数平均值分别为 0.26、0.34、0.69 和 0.59 d^{-1} ；氨氮衰减系数平均值为 0.41、0.74、0.95 和 1.04 d^{-1} 。大沽河 COD_{Mn} 和氨氮衰减系数处于较高水平。与国内其他相关研究成果一致。

(2) 位于大沽河的3条河段 COD_{Mn} 和氨氮衰减系数排序为：沙埠-程家小里 < 后沙湾庄-崖头 < 崖头-引黄闸。小沽河曲埠桥-葛家埠河段污染物衰减系数与崖头-引黄闸河段接近。符合大沽河各河段河床变化规律和水质变化规律。

(3) 衰减系数验证结果表明， COD_{Mn} 计算值与实测值相对误差集中在 5% 左右，氨氮相对误差集中在 10% 左右。由衰减系数建立模型的计算精度高，具有一定的参考使用价值。由于本次监测的资料数

量和范围有一定局限性，还有待以后逐步积累更多的水质资料加以补充和完善。

参考文献：

- [1] 郭儒,李宇斌,富国. 河流中污染物衰减系数影响因素分析[J]. 气象与环境学报,2008,24(1):56-59.
- [2] 朱晓娟,沈万斌,高凯,等. 吉林省松花江干流氨氮综合衰减系数分段研究[J]. 科学技术与工程,2013,13(10):2758-2761+2773.
- [3] 云飞,李燕,杨建宁,等. 黄河宁夏段 COD 及氨氮污染动态分布模拟探讨[J]. 宁夏大学学报(自然科学版),2005,26(3):283-286.
- [4] 陶威,刘颖,任怡然. 长江宜宾段氨氮降解系数的实验室研究[J]. 污染防治技术,2009,22(6):8-9+20.
- [5] 王有乐,周智芳,王立京,等. 黄河兰州段氨氮降解系数的测定[J]. 兰州理工大学学报,2006,32(5):72-74.
- [6] 吴纪宏. 黄河干流河段污染物降解系数分析研究[J]. 人民黄河,2006,28(8):36-37.
- [7] 刘颖,李勇,欧阳峰,等. 事故污染源目标分布函数中初始概率的确定方法[J]. 水资源与水工程学报,2015,26(5):25-28+34.
- [8] 张文志. 采用一维水质模型计算河流纳污能力中设计条件和参数的影响分析[J]. 人民珠江,2008(1):19-20+43.
- [9] 薛显武,陈喜,秦年秀,等. 喀斯特流域枯季径流衰减系数与地表形态特征相关分析研究[J]. 中国岩溶,2011,30(1):41-46.
- [10] 蒲讯赤,李克峰,李嘉,等. 紊动对水体中有机物降解影响的试验[J]. 中国环境科学,1999,19(6):485-489.
- [11] 张世坤,张建军,田依林,等. 黄河花园口典型污染物自净降解规律研究[J]. 人民黄河,2006,28(4):46-47.
- [12] 寇晓梅. 汉江上游有机污染物 COD_{Cr} 综合衰减系数的试验确定[J]. 水资源保护,2005,21(5):31-33.
- [13] 李云祯,赵希锦,佟洪金. 基于二维水质模型的饮用水水源保护区划分[J]. 水资源与水工程学报,2013,24(1):181-184.