

# 洛河水环境容量的研究

张福旺<sup>1</sup>,刘盼盼<sup>2</sup>,乔创<sup>3</sup>,沈连峰<sup>3</sup>

(1. 河南省新密市环境保护局,河南 新密 452370; 2. 河南省政院检测研究院有限公司,河南 郑州 450000; 3. 河南农业大学环境系,河南 郑州 450002)

**摘要:**在 $\text{NH}_4\text{-N}$ 水环境行为研究的基础上建立洛河 $\text{NH}_4\text{-N}$ 水环境模型,并将其应用于计算 $\text{NH}_4\text{-N}$ 水环境容量及削减量。研究表明,洛河高崖寨及白马寺国控断面 $\text{NH}_4\text{-N}$ 浓度超标,主要受河流流量和温度影响。在超标断面的基础上,研究区域被划分为两个控制单元,并依据一级反应动力学建立洛河 $\text{NH}_4\text{-N}$ 降解模型。不同控制单元采用两个降解系数:0.81  $\text{d}^{-1}$ 和0.34  $\text{d}^{-1}$ ,并在模型验证过程中表现出较高的准确性。利用所建立的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 水环境模型计算出两个控制单元 $\text{NH}_4\text{-N}$ 环境容量分别为0.367和2.13  $\text{t/d}$ ,削减量为0.264和1.45  $\text{t/d}$ 。

**关键词:**氨氮;水环境行为;水环境模型;环境容量

中图分类号: X703.1

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2018.05.018

## Study of Water Environmental Capacity in Luo River

Zhang Fuwang<sup>1</sup>, Liu Panpan<sup>2</sup>, Qiao Chuang<sup>3</sup>, Shen Lianfeng<sup>3</sup>

(1. Xinmi Environmental Protection Bureau of Henan Province, Xinmi 452370, China;

2. Zhengyuan Testing Research Institute Limited Company of Henan Province, Zhengzhou 450000, China;

3. Department of Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** A  $\text{NH}_4\text{-N}$  water environmental model of Luo River was built up on the basis of the behaviour study of  $\text{NH}_4\text{-N}$  in water environment and then applied in the calculation functions submitted to the  $\text{NH}_4\text{-N}$  water environmental and reduction capacities of the designated control units. The results showed that  $\text{NH}_4\text{-N}$  concentrations at the national control sections of Gaoyazhai and Baima Temple of Luo River exceeded the standard limit, mainly affected by the water flow and temperature. Then, the study regions were divided into two control units, and the  $\text{NH}_4\text{-N}$  degradation model of Luo River was constructed according to the first-order reaction kinetics. Two degradation coefficients, 0.81/d and 0.34/d, were adopted in different control units and higher accuracy was showed in the model verification process. By use of the constructed  $\text{NH}_4\text{-N}$  water environmental model,  $\text{NH}_4\text{-N}$  environmental capacities of the two control units were calculated as 0.367 and 2.13  $\text{t/d}$ , and the reduction capacities were 0.264 and 1.45  $\text{t/d}$  respectively.

**Keywords:**  $\text{NH}_4\text{-N}$ ; Water Environmental Behaviour; Water Environment Model; Environmental Capacity

CLC number: X703.1

水质模型是现代水质管理的基础,准确的水质模型可预测污染物环境行为,为水环境管理做出指导<sup>[1]</sup>。以多年水质监测资料为基础,以确定研究河段特征污染物水质模型中弥散、降解系数为技术关键,逆推目标河段污染物水环境容量,并以此为依据的水环境管理行为将极大的节约管理成本的技术手段,具有较高的科学性和准确性,在

近期被大量应用于重大湖泊、河流及引水工程中<sup>[2-5]</sup>。

成功的水质模型取决于模型选择和参数计算<sup>[4]</sup>。在自然环境下,污染物环境行为受到多重因素的影响,这导致不同的水环境污染具有不同的水环境模型。一般情况下,根据污染物在水体中的反应动力学及扩散因素将水质模型简单归

收稿日期: 2018-04-19

基金项目: 河南省科技攻关项目(1421022210444)基金资助

作者简介: 张福旺(1968-),男,高级工程师。研究方向:环境管理。

通信作者: 沈连峰(1977-),男,博士。研究方向:水污染防治。E-mail: 410371859@qq.com



## 2 水质模型的构建

### 2.1 目标污染物与限制因素

在自然水体中,硝化过程主要受限于水体温

度、细菌浓度、溶解氧含量及水体 pH 值的影响。文中涉及水质监测断面 2013 ~ 2015 年逐月水体温度、溶解氧、pH 监测值,见图 2。

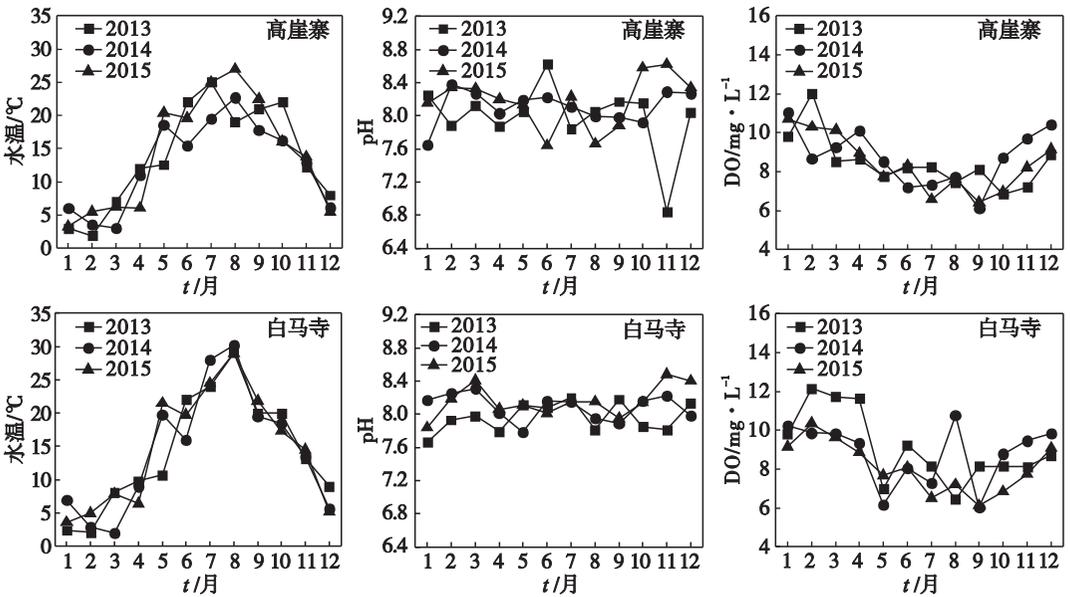


图2 研究断面月度(2013 ~ 2015 年)水温、pH、溶解氧监测值

由图 2 可知,两个研究断面的水温与气候密切相关,冬季水温不低于零度。水温一般于 8 月达到最大值,最高水温不超过 30 °C。研究断面 pH 值基本稳定在弱碱性或中性条件,最低值不低于 6.8,最高值不高于 8.8。研究断面溶解氧含量均处于较高水平,其中,在夏季水体溶解氧水平有稍许降低,这可能与夏季水体中细菌生长繁殖及较快的有机物降解速率有关。在夏季,水中溶解氧含量不低于 6 mg/L,冬季溶解氧含量较高,一般维持在 8 ~ 12 mg/L。从水环境监控数据结果:首先,研究水体为碱性或弱碱性水体,将有助于硝化反应的进行;溶解氧量较为充足,可提供足够的溶解氧供硝化反应进行。

水体氨氮浓度与河流流量的关系,见图 3。其中流量数据采用月度平均值。

由图 2、图 3 可知,水体中氨氮浓度与气候条件、水体流量密切相关。水体氨氮浓度在较高温度下(5 ~ 10 月份),较大流量下(丰水期)均处于较低水平,超标时期多分布在冬季及枯水期。较高环境温度将有助于提高微生物活性,使得硝化

反应迅速发生。同时,较大的流量对污染物起到了一定的稀释作用。此外,水体温度及河流流量表现出相对的协同作用,两个因素同时出现将使得水体氨氮含量维持在相当低的水平。然而,在较低流量、较低温度下,氨氮环境浓度较高,或超过环境质量标准。

### 2.2 水质模型的确立

在自然水体下,硝化过程主要受限于水体温度、细菌浓度、溶解氧含量及水体 pH 值的影响<sup>[6]</sup>。首先,温度的增加将有利于细菌的生长;其次,硝化过程是一个复杂的生物化学反应,需要特定细菌的作用,硝化杆菌和亚硝化杆菌是反应发生的充分条件;再次,在自然水体下,硝化反应作为耗氧反应,溶解氧是促使硝化反应发生的必要条件。从不同的控制因素出发,针对河流硝化过程可构建多种模型<sup>[6]</sup>。O'conner<sup>[13]</sup>提出硝化过程是一个一级反应过程,其模型构建应基于一级反应动力学;Stratton et al<sup>[14]</sup>根据 Monod 方程提出相应的氮转化模型;Wezernak et al<sup>[15]</sup>建立了自动催化生长反应的硝化模型;而 Huang et al<sup>[16]</sup>则认为

硝化过程符合零级反应。

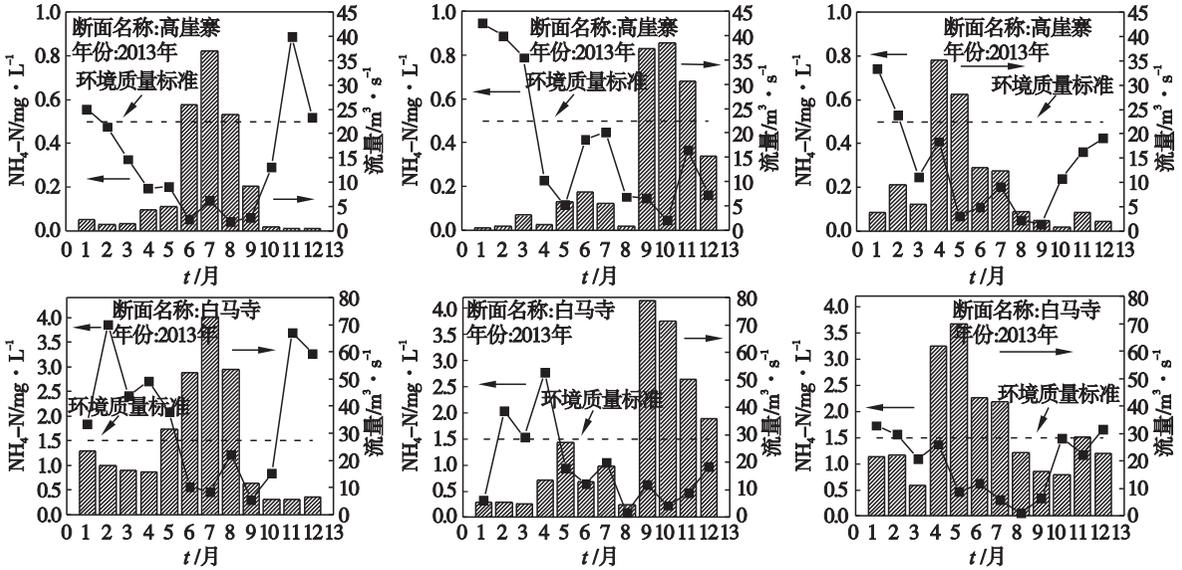


图3 研究断面月均(2013~2015年)氨氮浓度与流量

从环境监测数据可知,两断面下氨氮的超标与季节、水体流量密切相关。季节性变化可极大的影响污染物环境行为,因此在水质模型构建过程中,经常针对不同的时期构建不同的水质模型或设置不同的污染物降解参数。文章中氨氮超标主要出现于冬季及枯水期。将该时期从年度数据中分离出来,可做以下推论:该时期下水体温度维持在较低水平,变化不大,可不计入模型讨论;较低温度下水体微生物活性将维持在较低值,即硝化反应速率的控制因素仅为细菌浓度,仍符合一级反应动力学,控制方程为:  $dc/dt = kc_0$ <sup>[6]</sup>, 方程的解为  $c = c_0e^{-k \cdot t}$ 。基于此,文中选用方程  $c =$

$c_0e^{-k \cdot t}$ 为研究水域氨氮水质模型控制方程,其中,  $c$ 为出水氨氮浓度;  $c_0$ 为进水氨氮浓度;  $k$ 为氨氮降解系数;  $t$ 为时间。

### 2.3 模型参数的确定及校核

文章基于一级反应动力学构建氨氮水环境模型,并利用  $k$  代表氨氮降解系数。以行政区界为依据(控制断面)将研究区域划分为两个控制单元,并以水文、水生态变化将控制单元进一步划分,称为计算单元。将研究区域内水系排污口进行概化,舍去或简化较小的景观水体及水系改造,保留较大的工业、生活排污口并进行控制单元内流量核算。控制单元及计算单元的划分,见图4。

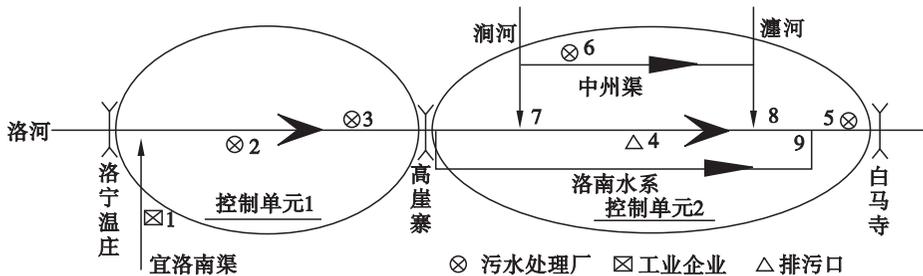


图4 控制单元内排污口分布

水系工程,大型排污口信息见表2。

氨氮在河流中的降解符合一级反应动力学,其控制方程为:  $dc/dt = k \cdot c_0$

其中,时间  $t$  由河流长度与流速确定。河流

流速采用某流量范围下的综合流速,由黄河水利委员会提供。其中,高崖寨断面低流量时综合流速为 0.46 m/s,白马寺断面低流量时综合流速 0.10 m/s。

表2 控制单元内排污口流量及氨氮浓度

编号	名称	流量 /m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> -N 浓度/mg·L <sup>-1</sup>
1	洛阳市骏马化工	0.02	15
2	宜阳县第一污水处理厂	0.23	8
3	宜阳县宜北污水处理厂	0.14	8
4	新村排污口 <sup>#</sup>	0.07	21.3
5	灋东污水处理厂	2.31	5
6	涧西污水处理厂	2.31	5
7	涧河入河口	1.91	2.8
8	灋河入河口	1.14	6.3
9	洛南水系入河口 <sup>#</sup>	0.9	5.6

注:#实地监测数据。

综合降解系数的计算采用模拟算法。采用2014年数据进行计算。在确定污水最终进入河

道位置的基础上,设置500 m长度为均匀混合段,在此区间不考虑氨氮降解作用。在剩余河段考虑氨氮的降解,并认为氨氮降解符合一级反应动力学。计算过程中考虑各排污口排放污水量对河流流量的影响。设置上游来水浓度(洛宁温庄断面监测数值)与下游出水浓度(高崖寨断面监测数值),得出关于综合降解系数*k*的控制方程,并在区间(0,1)上的搜寻控制方程的解*k'*。则控制方程的解*k'*即为此河段的氨氮综合降解系数*k*。为体现气候对河流氨氮污染物环境行为的影响,采用冬季枯水期的实测流量作为河流计算流量。同时,采用内梅罗算法<sup>[17]</sup>求解计算时段内氨氮平均浓度,以突出氨氮浓度最大值的影响。各控制单元计算采用的出入境流量、综合流速、出入境氨氮浓度及涉及污染源编号,见表3。

表3 各控制单元氨氮环境降解系数及计算过程中采用的相关参数

控制单元	入境流量 /m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	出境流量 /m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	入境 NH <sub>4</sub> -N 浓度/mg·L <sup>-1</sup>	出境 NH <sub>4</sub> -N 浓度/mg·L <sup>-1</sup>	综合流速 /m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	降解系数 /d <sup>-1</sup>	涉及污染源编号
1	4.95	5.4	1.02	0.75	0.46	0.81	1,2,3
2	5.4	11.83	0.75	2.08	0.10	0.34	4,5,6,7,8,9

利用2015年水文及水质监测数据对综合降解系数进行校核,其中,各工业、生活污染源流量、污染物浓度不变,洛河支流涧河、灋河流量、氨氮浓度采用计算时段内2015年监测数据:涧河流量

1.2 m<sup>3</sup>/s,氨氮浓度5.724 mg/L;灋河流量1.3 m<sup>3</sup>/s,氨氮浓度12.63 mg/L。验证所涉及数据及预测结果,见表4。

表4 氨氮水质模型校验所使用数据及预测结果

控制单元	入境流量 /m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	出境流量 /m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	入境 NH <sub>4</sub> -N 浓度/mg·L <sup>-1</sup>	出境 NH <sub>4</sub> -N 浓度/mg·L <sup>-1</sup>	综合流速 /m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	降解系数 /d <sup>-1</sup>	预测 NH <sub>4</sub> -N 浓度/mg·L <sup>-1</sup>	相对误差/%
1	3.98	4.49	0.8	0.809	0.46	0.81	0.78	3.58
2	4.49	11.03	0.809	3.05	0.10	0.34	2.98	2.29

由表4可知,各个出境断面氨氮浓度预测值与实测值吻合情况较好,相对误差均低于5%,建立的水质模型较为准确,可用于水质管理。

### 3 水环境容量的确定

在建立水质模型的基础上,对各控制单元内水环境容量和允许排放量进行计算。利用现有氨氮水环境模型对各控制单元进行反算,即在下游

出水达到环境质量标准情况下,向上逐级逆推各排污口处允许氨氮排放浓度,由此确定各控制单元内氨氮环境容量。在计算过程中,干流、支流流量选用历史最低流量,以保证最不利情况下控制断面氨氮浓度达标。

经计算,控制单元1及控制单元2分别具备氨氮环境容量0.367、2.13 t/d。现阶段两控制单元排放氨氮分别为0.631、3.58 t/d。进而,两个

控制单元需分别削减氨氮排放0.264、1.45 t/d。两控制单元氨氮水环境容量、排放量、削减量见图5。

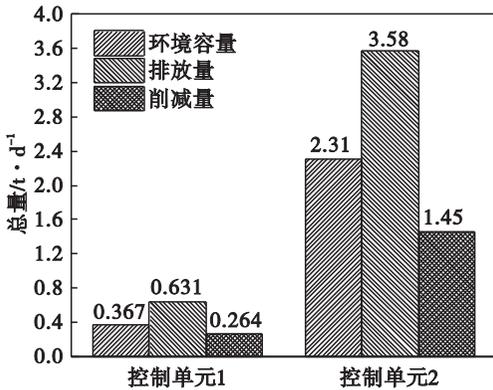


图5 各控制单元  $\text{NH}_4\text{-N}$  环境容量,排放量与削减量

## 4 结论

文章基于对洛河氨氮水环境行为的研究,使用2014年环境监测数据及水文数据构建洛河氨氮水环境模型,使用2015年数据验证模型准确性,进而以构建的水质模型为基础计算各控制单元内氨氮水环境容量,排放量及削减量。得到以下结论。

(1)基于一级动力学的洛河氨氮降解模型具有较高的准确性,控制单元1氨氮综合降解系数为 $0.81\text{d}^{-1}$ ,控制单元2氨氮综合降解系数为 $0.34\text{d}^{-1}$ ,可用于环境管理和预测。

(2)以超标国控断面为基础划分的两个控制单元内需削减氨氮排放0.264、1.45 t/d以满足控制断面达标。

(3)在研究氨氮水环境行为的基础上,仍可使用较为简单的模型构建并预测河流内的氨氮降解过程,此举简化了计算难度,降低了对基础资料的要求,并保持较高的准确度,可在中小型河流或流域推广使用。

## 参考文献

- [1] Ambrose R B, Wool T A, Connolly J P, et al. WASP4, a hydrodynamic and water quality model - model theory, user's manual, and programmer's guide [R]. Washington DC: Office of Research and Development, Environmental Protection Agency, EPA/600/3-87/039, 1988.
- [2] R Zhang, Qian X, Yuan X, et al. Simulation of water environmental capacity and pollution load reduction using QUAL2K for water environmental management [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2012, 9(12): 4504-4521.
- [3] 周红玉, 刘操. 基于 MIKE 21 的密云水库二维水质模拟 [J]. 北京水务, 2017, (05): 15-18.
- [4] 巫丽俊, 黄晓庆, 孙华. 东圳水库水质模拟预测及污染物总量控制研究 [J]. 水生态学杂志, 2017, 38(5): 14-20.
- [5] 熊鸿斌, 陈雪, 张斯思. 基于 MIKE11 模型提高污染河流水质改善效果的方法 [J]. 环境科学, 2017, 38(12): 5063-5073.
- [6] 谢永明. 环境水质模型概论 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.
- [7] 冯帅, 李叙勇, 邓建才. 太湖流域上游河网污染物降解系数研究 [J]. 环境科学学报, 2016, 36(9): 3127-3136.
- [8] 张俊娜, 刘元会, 郭建青, 等. 基于改进粒子群优化算法的 BOD-DO 水质模型参数确定 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2017, 45(3): 212-217.
- [9] 袁华, 刘元会, 郭建青, 等. 基于改进的粒子群优化算法确定河流水质参数 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(11): 220-224.
- [10] 汪亮, 张海欧, 解建仓, 等. 黄河龙门至三门峡河段污染物降解系数动态特征研究 [J]. 西安理工大学学报, 2012, 28(03): 293-297.
- [11] 韩梓流, 逢勇. 基于京杭运河五牧断面水质达标的水环境容量计算研究 [J]. 水资源与水工程学报, 2016, 27(04): 81-87.
- [12] 夏晶晶, 张万顺, 王永桂, 等. 三峡库区水环境模型系统构建 [J]. 人民长江, 2017, 48(03): 19-22.
- [13] 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(05): 72-74.
- [14] Stratton F E. Ammonia nitrogen losses from streams [J]. Journal of the Sanitary Engineering Division, 1968, 94(6): 1085-1092.
- [15] Wezemak C T, Gannon J J. Oxygen-nitrogen relationships in autotrophic nitrification [J]. Applied Microbiology, 1967, 15(5): 1211-1215.
- [16] Huang C S, Hopson N E. Nitrification rate in biological processes [J]. Journal of the Environmental Engineering Division, 1974, 100(2): 409-422.
- [17] 环境保护部环境工程评估中心. 环境影响评价技术导则与标准 [M]. 北京: 中国环境出版社, 2015.