

· 解析评价 ·

doi: 10.3969/j.issn.1674-6732.2013.04.012

## 通榆河南段控制单元最大日负荷估算及分配研究

朱增银, 周金金, 严彬, 张喆  
(江苏省环境科学研究院, 江苏 南京 210036)

**摘要:** 以通榆河南段控制单元为研究区, 利用现有的平原感潮河网区水量模型、面源污染负荷统计模型和水环境容量模型, 估算研究区 2010 年污染物最大日负荷总量 (TMDL), 并进行负荷削减和分配研究。结果表明: 研究区 COD、氨氮 (NH<sub>3</sub>-N) 90% 保证率 (2004 年) 下的水环境容量分别为 7.76 万 t、0.37 万 t; 对照 2010 年污染物入河量, COD、NH<sub>3</sub>-N 的最大年负荷分别为 1.99 万 t、0.28 万 t。在研究区涉及的各县市中, 海安、姜堰、东台是负荷削减的重点区域; 对于不同的污染源, 城镇生活点源和农业面源是研究区污染物总量控制的关键。

**关键词:** 最大日负荷总量; 削减; 分配; 通榆河

中图分类号: X522

文献标识码: B

文章编号: 1674-6732(2013)-04-0035-05

### Research on Estimation and Allocation of Total Maximum Daily Load in Southern Reach Control Unit of Tongyu River

ZHU Zeng-yin, ZHOU Jin-jin, YAN Bin, ZHANG Zhe  
(Jiangsu Provincial Academy of Environmental Science, Nanjing, Jiangsu 210036, China)

**ABSTRACT:** TMDL (Total Maximum Daily Load) of Tongyu River southern reach control unit in 2010 was calculated based on the existing tidal river network water model, non-point source pollution load statistical model and water environmental capacity model. Load reduction and allocation was then studied. The result showed that the water environmental capacity of COD and NH<sub>3</sub>-N under 90% guarantee rate in the studied area were 77 600 t per year and 3 700 t per year, respectively. Compared to the amount of pollutants into the river in 2010, the total maximum annual load of COD and NH<sub>3</sub>-N in the studied area were 19 900 t per year and 2 800 t per year, respectively. Among the county-level cities involved in the studied area, load reduction should be mainly implemented in Haian, Jiangyan, Dongtai. In terms of different pollution sources, total amount control of pollutants should be preferentially focused on urban domestic pollution source and agricultural non-point source.

**KEY WORDS:** TMDL (Total Maximum Daily Load); reduction; allocation; Tongyu River

水污染总量控制是进行水污染防治的水环境管理重要举措之一。自流域水资源可持续利用思想提出以来, 许多发达国家针对水污染状况相继开展了水质管理技术的研究, 其中以美国 TMDL 计划最具代表性<sup>[1]</sup>。TMDL 定义为: 在满足水质标准的条件下, 水体能够接受的某种污染物的最大日负荷量。TMDL 框架的内容之一就是可将分配的污染负荷分配到各个污染源, 包括点源和面源, 同时考虑安全临界值和季节性变化<sup>[2]</sup>。该计划经过 20 多年的改进和发展, 逐步形成了一套系统完整的总量控制策略和技术方法体系, 成为美国确保地表水达到水质标准的关键手段<sup>[3]</sup>。近年来, TMDL 计划逐渐被中国学者所认识和了解, 不仅新的模型得到应用, 而且陆续有一些在鄱阳湖、大宁河、东辽河、东湖、南沙河等小流域进行应用的实例<sup>[4-7]</sup>。

通榆河南起南通市长江北岸, 北至连云港市赣榆县, 全长 415 km, 是江苏沿海地区江水东引北调的“清水廊道”, 承担着保障水资源供给的重要任务。近年来, 由于通榆河地区水网密布, 苏中苏北地区正处于城市化、工业化加速发展阶段, 区域性结构污染突出, 农业面源污染日益严重, 通榆河水质呈现不断恶化趋势。加强通榆河及其主要供水河道水环境综合整治已刻不容缓。依据《江苏省淮河流域水污染防治“十二五”规划》, 通榆河沿线被划分为南段、中段、北段三个控制单元, 其中南段控制单元为通榆河的源头, 对通榆河水质影响程度较大, 被划为国家优先控制单元, 是通榆河水污染

收稿日期: 2013-03-26; 修订日期: 2013-04-12

作者简介: 朱增银 (1981—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事环境规划与管理研究。

防治工作的重中之重。

本文利用现有的平原感潮河网地区水量模型、面源负荷统计模型和水环境容量模型,估算了通榆河南段控制单元 TMDL,并进行了负荷削减和分配研究,确定了研究区污染物总量控制的重点区域和关键污染源,为地方环境管理部门有关政策制定与实施提供科学依据。

### 1 研究区概况及模型建立

#### 1.1 研究区概况

通榆河跨越长江、淮河、沂沭泗三大水系,是江苏著名的输水运河。通榆河南段控制单元是通榆河的源头,其控制单元包括海安、海陵区、姜堰、兴化、东台 5 个县市,涉及通榆河干流长度 48 km,控制面积 7 969 km<sup>2</sup>,研究区分布位置见图 1。根据《江苏省淮河流域水污染防治“十二五”规划》,通榆河南段主要水质超标因子为 COD、NH<sub>3</sub>-N。

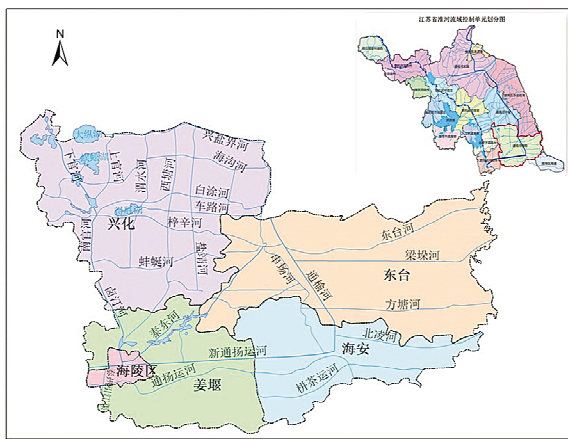


图1 研究区域分布示意

#### 1.2 模型建立

##### 1.2.1 河网水量模型

通榆河南段控制单元地处里下河平原河网区,湖泊密布,河网发达,水系纵横交错。根据平原感潮河网水动力及其水环境演变特征,本文引用河海大学程文辉老师研发的《太湖流域河网水质水量模型》进行河网水量计算<sup>[8]</sup>。水流模拟的基本方程是圣维南方程组,表达式为:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0 \quad (1)$$

式中:Q——流量;A——断面面积;q——侧向

入流流量;h——基准面以上水深;C——柯西阻力系数;R——水力半径;α——动量分布系数。

根据计算需求,本文对里下河地区进行了水量计算,其中河道糙率初值取为 0.02~0.03,边界条件取区域内水文站和水位站历年水位、流量监测资料。里下河地区水系概化如图 2 所示。

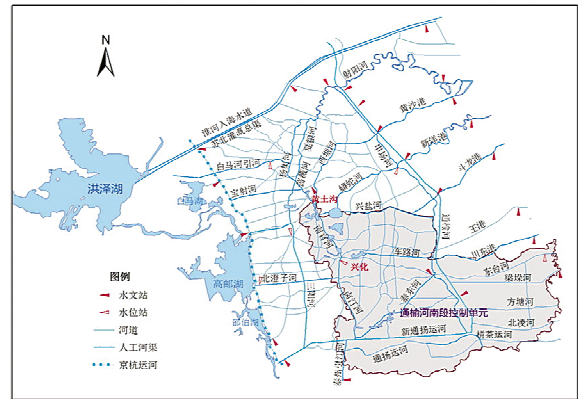


图2 里下河地区河网概化

##### 1.2.2 水环境容量模型

水环境容量是指在给定的水质目标和水文设计条件下,水域的最大容许纳污量。对于平原感潮河网地区,计算水环境容量时须充分考虑河道的往复流情况,对各河段分别考虑其容量。计算公式为:

$$W_i = Q_i(C_{si} - C_{0i}) + K_i V_i C_{si} \quad (2)$$

式中:W<sub>i</sub>——第 i 河段的水环境容量;C<sub>0i</sub>——第 i 河段本底水质浓度;C<sub>si</sub>——第 i 河段的水质标准;Q<sub>i</sub>——第 i 河段的流量;K<sub>i</sub>——第 i 河段的水质降解系数;V<sub>i</sub>——第 i 河段的水体体积。

根据研究区 2010 年水环境质量现状及国家水污染总量控制目标要求,确定水环境容量的计算指标为 COD、NH<sub>3</sub>-N。选取 2004 年作为 90% 保证率下的设计枯水年,设计流量由模型计算得出。研究区内河流水功能区划依照《江苏省地表水(环境)功能区划》,根据功能区 2020 年水质目标,参照《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)获得相应水质标准。COD、NH<sub>3</sub>-N 降解系数取值参考《江苏省主要水域纳污能力核定和限制排污总量研究》和相关文献<sup>[9-11]</sup>。

##### 1.2.3 面源负荷统计模型

平原河网地区汇水关系模糊,水力联系复杂,一般非点源数学模型难以建立和应用<sup>[12]</sup>。本文利用统计方法进行面源负荷估算,将农业面源分农田径流污染、畜禽养殖污染、农村生活污染 3 种不同

来源进行污染物产生量和排放量计算,估算方法及系数取值参考《全国水环境核定技术指南》<sup>[13]</sup>。

### 1.2.4 负荷分配模型

污染负荷分配是 TMDL 计划的关键步骤,是指在点源和非点源及各污染源之间进行的污染负荷分配,同时考虑安全边际。负荷分配公式为<sup>[1]</sup>:

$$TMDL = SWLA + SLA + MOS \quad (3)$$

式中: *TMDL*——最大日负荷; *SWLA*——所有点源污染排放分配额度总和; *SLA*——所有非点源污染排放的分配额度总和; *MOS*——安全余量。

### 1.2.5 数据来源

模型计算的水文气象数据来自江苏省水文水资源勘探局,收集了里下河地区 2004 年、2006—2009 年的日均水位、流量资料;污染源数据来自《江苏省环境统计年报》,收集了研究区 2010 年工业废水和城镇生活污水中 COD、NH<sub>3</sub>-N 的排放量数据。

## 2 结果与讨论

利用兴化站、黄土沟站 2006—2009 年的实测水位资料进行水量模型的率定,用 2010 年的实测水位资料进行模型验证。率定的河道糙率系数在 0.022 5~0.025 之间,率定的平均误差为 0.08 m,平均相对误差为 6.75%;验证的平均误差为 0.07 m,平均相对误差为 5.15%,表明模型达到收敛,计算结果准确可靠。模型率定和验证的计算值和实测值过程拟合情况见图 3、4。

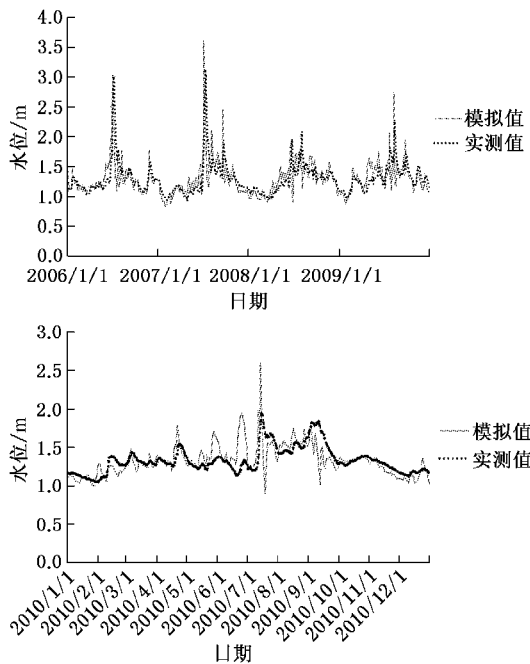


图3 兴化站率定、验证的计算值与实测值对比

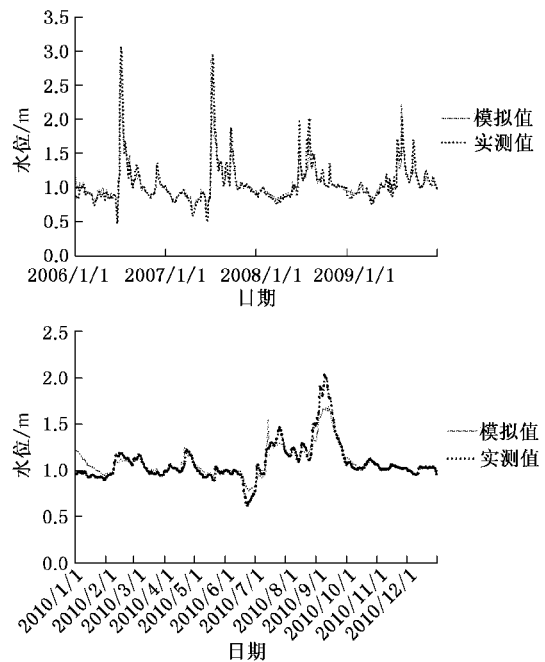


图4 黄土沟站率定、验证的计算值与实测值对比

计算结果表明:

(1) 研究区 2010 年各污染源 COD、NH<sub>3</sub>-N 排放量分别是 5.77 万 t 和 0.66 万 t,点源、面源的排放比例分别为 63:37 和 51:49,各县市的 COD 和 NH<sub>3</sub>-N 排放量如图 5 所示。由图 5 可知,近几年的工业废水治理效果明显,工业点源污染物排放量显著减少,而城镇生活和农业面源污染物排放量所占比例不断提高,尤其是 NH<sub>3</sub>-N,农业面源排放量占到总排放量的 49%。

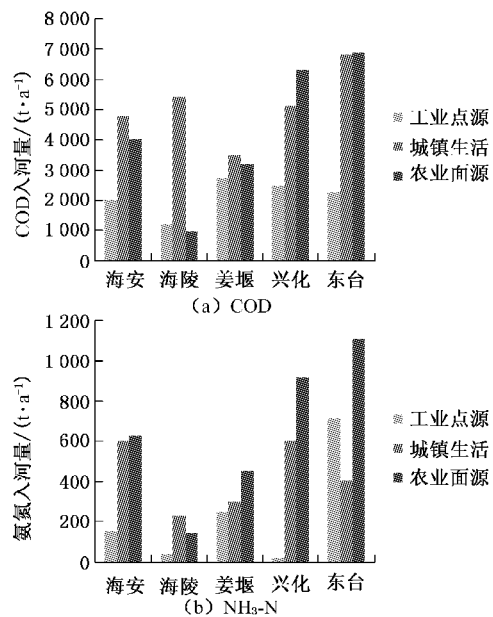


图5 通榆河南段控制单元所涉及县市各污染源 COD、NH<sub>3</sub>-N 排放量

(2) 计算得出研究区 90% 保证率(2004 年)下 COD、NH<sub>3</sub>-N 的水环境容量分别为 7.76 万 t/a、0.37 万 t/a。研究区各月水环境容量如图 6 所示,各县市的水环境容量如图 7 所示。由图 6 可知,研究区 1、2、12 月份容量最小,6—8 月份最高,各月水环境容量差别不大,这与里下河地区水量调度有关;由图 7 可知,研究区水环境容量地区差异明显,其中兴化市水环境容量最大,海陵区最小。

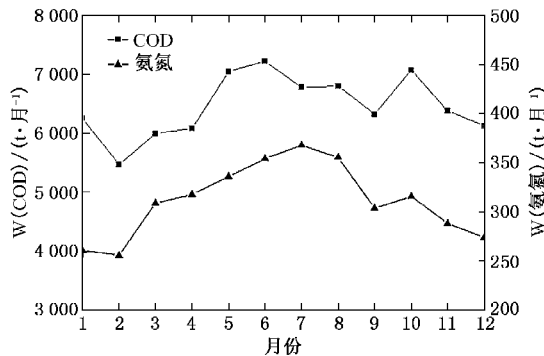


图 6 研究区污染物水环境容量月变化曲线

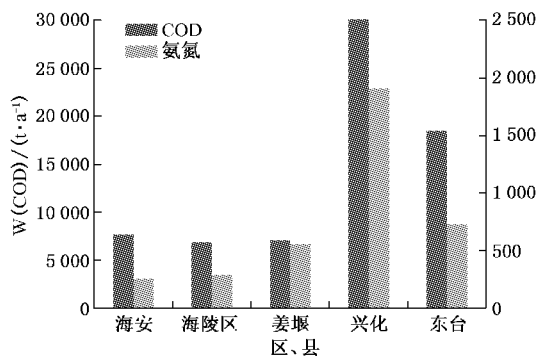


图 7 研究区各县市污染物水环境容量

(3) 根据上述计算结果,得出研究区 2010 年 COD 最大年负荷为 1.99 万 t, NH<sub>3</sub>-N 最大年负荷为 -0.28 万 t(注:负值表明容量不足,须削减),研究区涉及的各县市 COD、NH<sub>3</sub>-N 最大年负荷如图 8 所示。由图 8 可知,各县市负荷差异显著,除兴化市负荷无须削减之外,其他县市负荷均须削减,其中海安、姜堰、东台是负荷削减的重点区域,具体削减量如表 1 所示。根据削减县市 2010 年工业点源、城镇生活、农业面源 COD、NH<sub>3</sub>-N 排放量比例(分别为 21:49:30 和 23:30:47),城镇生活点源、农业面源是负荷削减的关键。

表 1 研究区 2010 年各县市负荷 COD、NH<sub>3</sub>-N 削减量 t/a

县市	海安	海陵区	姜堰	兴化	东台
COD	3 283.62	743.68	2 340.72	0.00	0.00
NH <sub>3</sub> -N	1 124.83	128.99	449.66	0.00	1 504.18

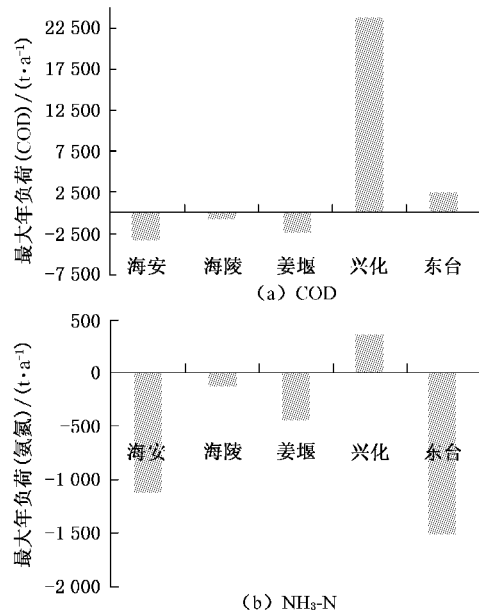


图 8 通榆河南段控制单元涉及的各县市 COD、NH<sub>3</sub>-N 最大年负荷

(4) 根据研究区最大负荷计算结果,从点源、面源和安全余量三方面进行负荷分配。其中,安全(边际)余量目前仍没有科学的计算方法,一般人为的定为 TMDL 的 10%<sup>[14,15]</sup>;点源和非点源的负荷分配根据各区域中工业、农业排污量比例以及农村生活、城镇生活污水排污量之间的比例来进行<sup>[4-6]</sup>。兴化、东台负荷分配结果见表 2。由表 2 可知,农业面源分配负荷最大,城镇生活次之,工业点源最小。

表 2 研究区 2010 年负荷分配结果 t/a

水质指标	COD			NH <sub>3</sub> -N		
	工业点源	城镇生活	农业面源	工业点源	城镇生活	农业面源
兴化	3 800.84	7 901.09	9 718.79	4.91	129.19	198.04
东台	314.61	950.25	958.98	—	—	—

### 3 结论

本文采用现有的平原感潮河网区水量模型、面源负荷统计模型和水环境容量模型,对通榆河南段控制单元进行了 TMDL 计算及负荷削减、分配研究。经研究,通榆河南段控制单元水环境容量地区差异显著,兴化市最大,海陵区最小;各月水环境容量差别不大,体现了区域水量调度特征。

研究区 2010 年 NH<sub>3</sub>-N 负荷须削减,COD 负荷无须削减,但因研究区所涉及各县市最大年负荷的差异性,除兴化污染物负荷无须削减外,其他县市均须削减。因此,为使所设置的流域水环境管理措施更具有操作可行性,在进一步的研究中,单元

划分应更详细。

根据削减县市2010年各污染源COD、NH<sub>3</sub>-N的排放比例,城镇生活点源是COD负荷削减的关键,农业面源是NH<sub>3</sub>-N负荷削减的关键。本文在面源污染负荷计算中仍采用的是统计估算方法,负荷削减无法体现面源污染的月变化特征。因此,面向平原河网地区的面源负荷估算数学模型建立有待进一步研究。

#### [参考文献]

- [1] 杨龙,王晓燕,孟庆义. 美国TMDL计划的研究现状及其发展趋势[J]. 环境科学与技术,2008,31(9):72-76.
- [2] BRADY D J. Managing the water program [J]. Journal of Environment Engineering, 2004, 130(6): 591-593.
- [3] 孟伟,张楠,张远,等. 流域水质目标管理技术研究(I)——控制单元的总量控制技术[J]. 环境科学研究,2007,20(4):1-8.
- [4] 莫蕾. 鄱阳湖污染物最大日负荷估算和分配研究[D]. 江西:南昌大学,2009.
- [5] 丁京涛. 大宁河巫溪段水体总磷TMDL估算及分配研究[D]. 北京:北京化工大学,2009.
- [6] 王彩艳,彭虹,张万顺,等. 武汉东湖污水控制TMDL计划[J]. 人民长江,2010,41(10):86-89.

- [7] 桑蓉. 辽宁省南沙河水体TMDL和安全余量研究[D]. 济南:山东师范大学,2012.
- [8] 程文辉,蔡文祥,杨珏,等. 太湖流域河网水量模型研究[R]. 南京:河海大学,1997.
- [9] 河海大学. 江苏省主要水域纳污能力核定和限制排污总量研究[M]. 江苏:河海大学,2007.
- [10] 李曦,陈秀梅,崔萍. 长江南通段水环境容量核定及总量控制研究[J]. 环境监控与预警,2012,4(3):10-14.
- [11] 董林,李华. 潮汐河网可降解有机物降解系数研究[J]. 环境科学研究,1990,3(6):8-15.
- [12] 季晓,徐爱兰,陆炜. 平原感潮河网地区非点源污染负荷匡算[J]. 环境监控与预警,2010,2(6):41-45.
- [13] 中国环境规划院. 全国水环境容量核定技术指南[R]. 北京:中国环境规划院,2003.
- [14] FRANCESCHINI S, TSAI C W. Incorporating reliability into the definition of the margin of safety in total maximum daily load calculations [J]. Journal of Water Resources Planning and Management-ASCE, 2008, 134(1): 34-44.
- [15] DILKS D W, FREEDMAN P L. Improved consideration of the margin of safety in total maximum daily load development [J]. Journal of Environmental Engineering — ASCE, 2004, 130(6): 690-694.

(上接第34页)

(强碱)所占比例下降趋势非常明显,而铵离子(弱碱)所占比例从2001年的12.6%上升到2010年的24.1%,增幅近一倍(图7)。由于铵离子无法像钙离子一样完全中和硫酸根和硝酸根,降水中强碱离子和弱碱离子比例发生的变化,是导致上海市酸雨污染无明显好转的重要原因。

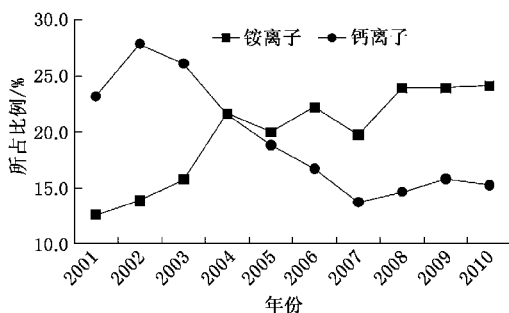


图7 2000—2010年上海市降水中钙离子浓度与降尘量年均值比较

#### 4 结论与建议

“十一五”期间,上海市酸雨污染维持在较严重的水平,降水pH低值区和酸雨频率高值区范围明显扩大,且呈现郊区向市区蔓延的态势。2010年,全市降水pH平均值为4.66,较2001年下降14.2%;酸雨频率为73.9%,是2001年的5.2倍。

全市降水的酸化仍在持续,主要原因在于:(1)大气氧化性增强,酸性细颗粒物浓度上升,硝酸盐对酸雨的贡献日益显著;(2)大气中强碱钙离子浓度相对下降,人类活动产生的弱碱氨氮浓度相对上升,无法中和降水中硫酸根、硝酸根离子。

由于上海市高污染黑色能源消费的总量持续增长,能源结构未发生根本性转变,以煤炭为主的结构型污染依然十分突出,单位面积酸性物质的排放强度还在加大。加之电厂、工业企业、机动车、飞机、船舶等排放的NO<sub>x</sub>总量逐年上升,上海市酸雨污染仍将持续。

因此,上海市应继续依托环保三年行动计划平台,落实“十二五”总量减排目标,大力推进电力行业脱硝或低氮燃烧改造,烧结和锅炉脱硫改造,继续开展燃煤锅炉清洁能源改造,加大高污染车辆淘汰力度,全面推进机动车高质量油品替代,控制主要污染排放总量,实现污染物持续减排。

#### [参考文献]

- [1] 齐立文,王文兴. 我国低纬度、亚热带地区的降水化学及雨水酸化趋势分析[J]. 环境科学研究,1995,8(1):12-20.
- [2] 黄银芝,张明旭,郑晓红. 上海市近16年湿沉降化学特征分析[J]. 城市环境与城市生态,2008,21(6):1-3.
- [3] 上海市统计局. 上海统计年鉴[Z]. 上海:中国统计出版社,2011.