

一种兼顾目标总量和容量总量的水污染物排放限值确定方法

魏文龙,曾思育*,杜鹏飞,陈吉宁,刘毅(清华大学环境学院 北京 100084)

摘要:针对中国水污染物总量管理面临由目标总量管理向容量总量管理的转变趋势,提出了一种兼顾两种管理模式的水污染物排放限值计算方法.该方法建立在水体分类计算、汇水区与行政区相关联、自下而上、不同保护要求的水体予以差别化对待、污染物控制类型扩展的原则上,将水体按环境容量利用方式的不同划分为保护性利用、恢复性利用、控制性利用、开发性利用和限制性利用 5 种类型,分别采用目标总量、混合管理、容量总量、容量总量和混合管理等不同模式,并给出了分别按汇水区和行政区计算污染物排放限值的一般过程.将上述方法应用于西南区域发展战略环评案例,结果表明云南省 31.25% 的地市需调减 COD 总量,43.75% 的地市需调减氨氮总量,而贵州省 55.56% 的地市可适当调增 COD 总量,44.44% 的地市可适当调增氨氮排放总量.该方法可将总量限值的确定与当地水环境质量改善紧密结合,强化水环境对现状质量不达标地区未来发展的约束,同时适当减弱水环境条件对达标地区的约束以换取其发展空间.以计算出的排放限值为依据对当前的减排目标进行调整可为云贵实现又好又快发展提供支撑.经案例验证,本文所建立的方法为中国水环境管理从目标总量模式向容量总量模式发展提供了技术手段.

关键词: 目标总量控制; 容量总量控制; 水环境; 环境管理; 战略环境影响评价

中图分类号: X703.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2014)01-0136-07

A method for determining water pollutant discharge limit based on combination of administrative goal-oriented and environmental capacity-based total pollution load control patterns. WEI Wen-long, ZENG Si-yu*, DU Peng-fei, CHEN Ji-ning, LIU Yi (School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China). *China Environmental Science*, 2014,34(1): 136~142

Abstract: Since China was facing the challenge to transit its control pattern on total pollution load from an administrative goal-oriented way to an environmental capacity-based way, an approach for determining water pollutant discharge limit which could combine advantages of two patterns was put forward. To establish the method, five principles were involved, i.e., calculations were dependent on water body classification; relations between catchment and administration boundaries were considered; bottom-up way was applied; protection levels for different water bodies were differentiated; and more kinds of pollutants were covered. Water bodies were grouped into five categories, according to different ways to utilize environmental capacities and corresponding total load management patterns. Five categories were named as protective utilization, restorative utilization, controlled utilization, developmental utilization, and restricted utilization, to which a goal-oriented pattern, mixed pattern, capacity-based pattern, capacity-based pattern, and mixed pattern was assigned, respectively. A general procedure instructing calculation of pollutant discharge limit for both catchment and administrative zone was given. The approach was applied to a project on strategic environmental assessment of social-economic development in Yunnan and Guizhou Province. The case study showed that 31.25% of cities in Yunnan should decrease the load of COD and 43.75% should decrease the load of ammonia nitrogen, while 55.56% of cities in Guizhou could increase the load of COD properly and 44.44% could increase the load of ammonia nitrogen properly. It was capable of linking pollution load reduction more closely to local water environmental improvement, tightening up environmental restrictions on regions with poor water quality by stricter discharge permit, and leaving more development room to regions with surplus environmental capacity by loosening existing pollutant reduction goals. For local governments, discharge limits given in the paper could be used to adjust existing pollution load control plans. The approach was a practical tool for China to transit its water pollution load management pattern.

收稿日期: 2013-05-11

基金项目: 西南(云贵)重点区域和行业发展战略环境评价

* 责任作者, 副教授, szeng@mail.tsinghua.edu.cn

Key words : administrative goal-oriented total pollution load control ; environmental capacity-based total pollution load control ; water environment ; environmental management ; strategic environmental assessment (SEA)

污染物总量控制包括目标总量和容量总量控制等不同模式^[1-2].污染物排放限值的确定方法不同是目标总量模式和容量总量模式的根本区别之一.前者从行政管理角度出发,直接设定污染物排放总量控制目标,该目标可以不跟具体的环境介质挂钩,在实施中易于用行政干预手段实现控制目标,但缺点也显而易见,未考虑排放总量与环境质量之间响应关系,比较适合于污染严重、环境质量整体较差的地区.而容量总量管理模式则是从环境容量出发,将排放总量与环境质量定量关联进而确定污染物排放要求.容量总量管理对污染物排放控制更具针对性,但实施的难度远高于目标总量管理.

在总量管理的实践中,美国和欧盟采用了容量总量模式^[3-6].我国“十一五”和“十二五”期间则采用目标总量管理的模式,对总体上控制污染物排放和改善环境质量起到了重要作用.

但是,随着我国目标总量管理的推进,也逐渐暴露出一些问题.例如,一些重污染区域,存在完成减排要求、但水质达标率并未明显提高的现象;而一些区域尽管长期环境质量良好,仍要不断降低总量指标,一定程度上剥夺了区域的发展空间.面对这些问题,不断有研究者提出我国应从目标总量管理向容量总量管理转变^[7-15],而关于环境容量计算的研究则从未停止过.

本文结合目标总量和容量总量管理的各自优点及适用性,探索一种兼顾目标总量和容量总量的水污染物总量限制计算方法,并在中国西南区域发展战略环境评价中得到应用.该方法既一定程度上增加现有目标总量管理的科学性,又减小纯粹容量总量管理直接应用带来的困难,尝试使中国现行总量管理方法和未来的发展趋势相契合,促进向容量总量管理的平稳过渡.

1 研究方法

1.1 基本原则

(1) 水体分类计算的原则:我国一直未能全面开展容量总量管理的原因之一在于环境容量

计算过程复杂、计算所需数据支撑条件要求高、计算结果不确定性也较大.为了同时兼顾目标总量容易确定和容量总量针对性强的优点,本文提出根据水体现状纳污情况、环境容量大小和当前正在实施的行政区减排目标三者之间的相对关系,把水体分成不同类别,按照环境容量利用方式的不同而命名,对其汇水区执行不同的总量管理方式和排放限值计算方法.例如,对能够稳定达标、使用中并未超出其环境容量的水体,跟那些不能稳定达标、经常出现环境容量超载的水体,在确定汇水区排放限值时将区别对待,以保证水质好的水体能够继续维持,水质差的水体能够不断改善.

(2) 汇水区与行政区相关联的原则:汇水区边界决定了污染源排放跟其对水体环境影响之间的关联关系,而这个边界与行政管理区的边界并不一定重合.在本研究中,设定最小的行政管理单元为县级行政区,以便与现行的目标管理模式统一.水体单元的划分则按照水环境功能区划中给定的湖库分区和河流分段方案来执行,以保证划分完的每个水体单元都有明确的水质保护目标.为了能将容量总量与目标总量相衔接,还要求将每个水体单元的汇水区边界与县级行政区边界进行叠图分析,将获得的县级行政区内的各个子汇水区边界作为水体环境容量计算单元的边界.所采用的环境容量计算方法必须与这种计算单元划分方式相协调,以保证某水体的环境容量可以简单地分解到相关的县级行政区,也能保证某县级行政区的水环境容量可以简单地由相关水体的环境容量叠加计算获得.

(3) 自下而上的原则:我国目前执行的目标总量管理模式,在确定各行政单元的排放量限值时基本上采用自上而下的工作过程,即首先设定全国的污染减排目标和减排比例,然后将此任务逐级分解至省级、地区级和县级行政区.而本文提出的方法,更多借鉴容量总量管理的做法,以水体为基础,采用自下而上的原则,先从各县级行政

区所辖水体对应的各个子汇水区排放限值算起,然后经叠加得到县级行政区的排放限值.在此基础上,向上叠加获得地市级、省级和国家级排放总量限值.

(4) 不同保护要求的水体予以差别化对待的原则:我国的地表水环境功能区划将水体按照五个水质类别分等级加以保护^[16],本文将水质目标为 I、II、III 类的水体统称为高保护等级水体,而水质目标为 IV 和 V 类的称为低保护等级水体.环境容量是一种资源禀赋条件,在对其进行管理时应遵循可持续发展的原则,保障环境容量使用中的代际公平.结合我国当前社会经济发展对环境容量的迫切需求,提出区别对待不同保护等级水体的环境容量使用,要求至少为高保护等级水体制定相应的汇水区排放限值时要考虑到容量

的预留.

(5) 污染物控制类型扩展的原则:我国从“十一五”开始实施的水污染物排放总量控制,首先以 COD 为突破口,在“十二五”期间又新增了氨氮指标,为全面控制我国普遍存在的有机污染问题做出了很大贡献,但今后是否通过在全国层面统一增加新的指标,进一步解决污染问题还存在很大争议.根据容量总量管理的思想,应当有针对性地确定控制指标,不同水体可能要确定不同的污染物类型.为了兼顾两种模式在管理污染物控制类型上的优点,建议那些不存在超容量接纳 COD 和氨氮的水体,应积极引入容量总量管理,在总量控制中扩展特征污染指标;而仍然存在超容量接纳 COD 和氨氮的水体,可以先维持现有的管控指标不变.

表 1 水体相应陆域汇水区排放限值的分类计算方法

Table 1 Classified calculation methods of pollutant discharge limits for catchments

水体类型 与名称	水体分类满足的条件	管理模式	优先纳入管理的污 染物指标	行政区内各个子汇水区的污染物排放限值计算 方法
A-保护性利用	水质保护目标为 I、II、III 类,各水质指标均达标,意味着水体纳污量未超过环境容量	目标总量模式	各种	各种污染物排放限值= $\min\{\text{基准年排放量,最近一年的排放量}\}$
B-恢复性利用	水质保护目标为 I、II、III 类,COD、氨氮代表的有机污染类指标(COD、氨氮、DO、BOD、高锰酸盐指数等)均达标,但存在其他不达标的特征指标,相应污染物排放超出了环境容量	混合管理模式	COD、氨氮、特征 污染物指标	COD/氨氮的排放限值= $\min\{\text{基准年 COD/氨氮排放量,最近一年的 COD/氨氮排放量}\}$ 特征污染物的排放限值=不超过水体环境容量时对应的最大排放量
C-控制性利用	水质保护目标为 I、II、III 类,有机污染类指标(COD、氨氮、DO、BOD、高锰酸盐指数等)存在不达标现象,相应污染物排放超出了环境容量	容量总量模式	COD、氨氮	COD/氨氮的排放限值=不超过水体环境容量时对应的最大排放量
D-开发性利用	水质保护目标为 IV、V 类,有机污染类指标(COD、氨氮、DO、BOD、高锰酸盐指数等)均达标,相应污染物排放未超过环境容量	容量总量模式	COD、氨氮	COD/氨氮的排放限值=不超过水体环境容量时对应的最大排放量
E-限制性利用	水质保护目标为 IV、V 类,有机污染类指标(COD、氨氮、DO、BOD、高锰酸盐指数等)存在不达标,相应污染物排放超出了环境容量	混合管理模式	COD、氨氮	COD/氨氮的排放限值= $\max\{\text{不超过水体环境容量时对应的最大排放量}, \lambda(x-y)\}$,其中, x 是子汇水区所属县级行政区政府承诺的目标总量, y 是县级行政区内所有 A、B、C、D 类型水体对应子汇水区的排放限值之和, λ 是分配系数

注:当县级行政区内只有一个子汇水区对应E类水体时, $\lambda=1$;当县级行政区内有两个以上的子汇水区对应E类水体时,由 λ 将 $(x-y)$ 分配给不同的子汇水区, λ 的取值可借用目标管理模式的做法,由管理者自行指定

(6) 动态调整的原则:目标总量管理的优点一是可以通过动态调整目标来促进环境改善,提高目标实现的可行性,例如“十一五”期间全国的 COD 总量削减要求为 10%，“十二五”期间调整为 8%.而在容量总量管理中,国际经验是采用严格的水文计算条件来获得很高的水质达标保证率,相应的容量计算结果一般较小.直接将这种做法搬至国内的话,过高的达标保证率与我国当前社会经济快速发展的实际情况并不匹配.事实上,选用怎样的水文计算条件,跟对水体保护的主观要求有关,而这个主观要求应该是循

序渐进的、跟当前的发展水平和技术经济水平相匹配的、同时具有一定超前性的,因此应该是根据不同阶段的管理需要而动态调整的.例如某水污染严重地区的河流保护要求,可以先从平水年份的最枯月平均流量条件为起点,过渡到枯水年份的最枯月平均流量条件,进而过渡到更严格的要求,比如 95%保证率最枯月平均流量条件或者美国的 7Q10 条件(90%保证率下最枯连续 7d 平均流量).

1.2 水体相应陆域汇水区排放限值的分类计算方法

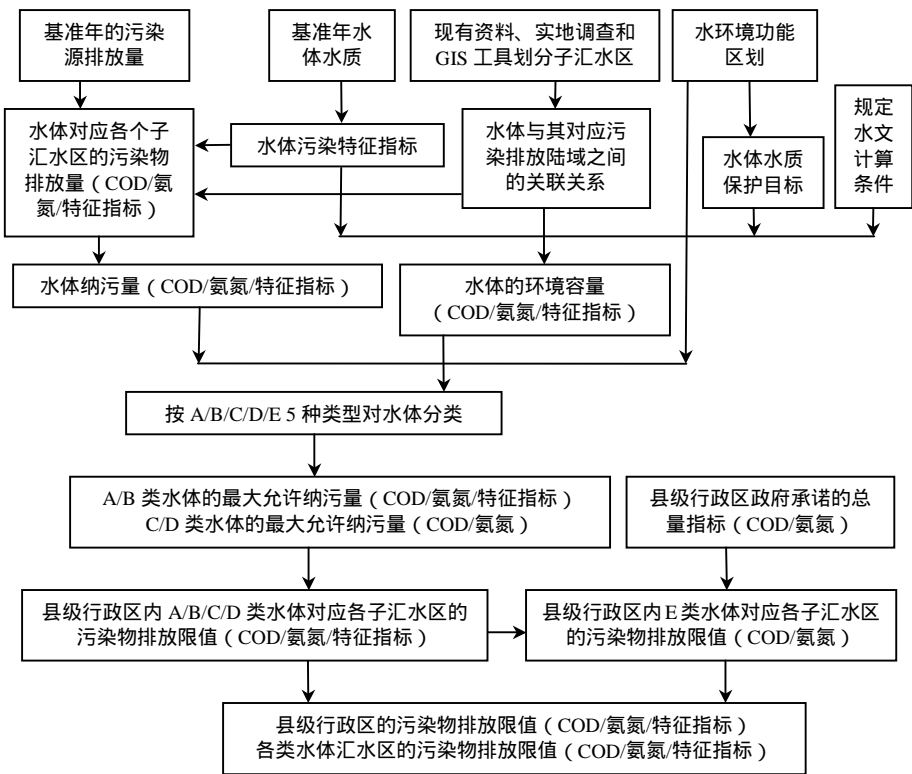


图 1 确定各汇水区和县级行政区污染物排放限值的一般过程

Fig.1 Procedure of determining the pollutant discharge limits for catchments and related counties

根据前面的原则,将水体分成 A、B、C、D、E 五种类型,每种类型采用的管理模式和污染物排放限值计算方法均有所不同.另外,特别注意的是,为了实现对水体的分类,可选择与规定的水文计算条件相同或相似(可略严格)的年份作为基准年,水体分类和汇水区排放限值计算时使用基

准年的水质数据和污染物排放数据.本文提出的水体分类、各类型水体满足的条件、相应的汇水区污染物排放限值计算方法,如表 1 所示.

其中,A 类水体的特点是不需要对其汇水区做出进一步减排的要求,同时将其尚未利用的环境容量保护起来留给后代.B 类水体的特点是要

根据环境容量扩展参与总量控制的污染物指标.C类水体的特点则是先将其COD和氨氮的目标总量管理转向容量总量管理.D类水体的特点是实现对低等级保护水体环境容量的充分利用,但值得注意的是此处的环境容量仅考虑了COD和氨氮指标,对其他污染物指标对应的容量如何利用并未予以考虑,各地区可根据实际情况对其做出补充规定.而对E类水体的处理方式则充分体现了低保护等级水体在过渡期应如何衔接两种总量管理模式.

1.3 确定污染物排放限值的一般过程

本文提出的水污染物排放限值计算方法,在实际操作中可遵循图1所示的一般过程.

在计算水体环境容量时,严格遵守上述动态调整原则,合理设计水文条件^[17].综合考虑基础数据支持与污染物在水体中迁移、转化和降解特征等因素,选取机理模型、半机理模型或是统计模型.如USEPA在TMDL计算方法中涉及多种河流水质模型,而这些模型在模拟BOD,以及氨氮、TN和TP等营养物方面的能力已经在国内外众多水环境容量研究中得到验证^[18].

需要注意的是,从水体出发,确定其相适宜的总量管理模式,技术难度并不高,但会给相关部门新增一定的工作量;不过从长远看,相应的工作量付出完全可以从日后总量管理效益的提高上得到补偿.另外,文中提出的5种水体分类及其命名,主要起的是方便理解和直观表达的作用,在管理实践中为避免引起概念上的混淆、不必要的社会矛盾,可根据实际情况决定是否专门列出每个水体的类别命名结果.

2 案例研究

云南和贵州两省经济社会发展水平落后于全国平均水平.据此,中国先后出台一系列扶持政策支持云贵两省的积极发展,作为长江、珠江以及多条国际河流的上游或源头,云南、贵州的水环境保护具有全局战略性地位.如何合理的水污染物总量控制计划,促进其在发展中保护,在保护中发展,是该地区水环境管理中迫切需要回答的问题.

案例研究以云南和贵州两省地表河流为对象,选取县级行政区(下简称区县)为基本控制单元,共涉及长江流域、珠江流域和西南诸河流域的金沙江水系、南盘江水系、北盘江水系、红河水系、怒江水系、澜沧江水系、伊洛瓦底江水系、乌江水系、赤水-綦江水系、沅江水系、柳江水系及红水河水系11个水系的121条河流和217个区县.根据水环境区划,将河流划分为237个河段,各河流水系空间分布见图2.

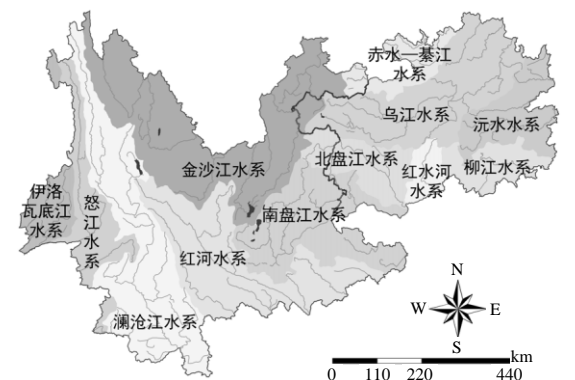


图2 云南贵州两省河流水系分布
Fig.2 Spatial distribution of river systems in Yunnan and Guizhou Province

案例研究中确定2010年为水体分类的基准年,该年为偏枯水文年.2010年云贵地表河流水质整体尚可.其中,云南省水质符合或优于Ⅲ类标准的断面占63.8%,功能达标断面占70.4%^[19];贵州省符合或优于Ⅲ类标准的断面占71.8%,水环境功能达标断面占71.8%^[20].

2.1 划分河段类型

经计算划分,云南、贵州237个河段中,归为保护性利用类型的河段共计129个,占比54.4%,恢复性利用共计26个,占比11.0%;控制性利用共计18个,占比7.6%;开发性利用共计39个,占比16.5%;限制性利用共计25个,占比10.6%.另外,在被划定为“恢复性利用”的26个河段中,有21个是由于总磷超出了环境容量,而剩余5个是由于铅、镉、汞等重金属超出环境容量.

从划分结果可以看到,金沙江干流及一级支流主要为保护性利用,但部分二级支流为限制性

利用,尤其集中在滇中地区.这说明滇中地区水环境容量已经没有可利用空间,为了保护环境,需要不断削减排放总量,使水环境质量达标.怒江、澜沧江、伊洛瓦底江等干流为保护性利用,因为水体敏感,水环境容量虽有余额,但不允许进一步开发使用.南北盘江的干流整体为保护性利用,但南盘江情况比较复杂,除了一级支流开发性利用与限制性利用并存外,部分干流河段也呈开发性利用,说明有进一步合理开发利用水环境容量的空间.乌江和沅水从干流中间开始均由保护性利用变为恢复性利用,这主要由于支流带来的特征污染物(总磷等)汇入干流致使干流水质超标.红河干流在红河州上为保护性利用,但入红河境内后变为恢复性利用,主要由两岸排入的铅严重超标所致.

2.2 计算 COD 和氨氮排放限值

在河段分类的基础上,按照图 1 中计算污染物排放限值方法,得到云南、贵州两省 217 个区县未来 COD 和氨氮排放限值,在此基础上汇总得到云南省 16 个市州和贵州省 9 个市州的污染物排放限值.因计算结果较为敏感,本文未直接列出计算结果,仅给出各市州排放限值和当地政府承诺的“十二五”排放量之间的比较,见表 2.表中给出了计算出的排放限值超出政府承诺值的比例,该比例为正值时,意味着相应市州还有可使用的水环境容量,当前的总量目标可以适当放松;该比例为负值时,意味着从保证高保护等级水体水质稳定达标的要求出发的话,应部分收回该市州当前分配的总量指标.

根据计算出的排放限值,建议对云南 16 个市州的 COD 和氨氮承诺排放量做出不同程度的调整.其中 5 个市州 COD 承诺排放量需要调减,主要分布在滇中地区.有 4 个市州可以放宽其承诺的 COD 目标总量控制要求,大体上分布在滇西南地区.而对于氨氮,未来有 7 个市州要在承诺值基础上进一步削减,尤其是滇中地区的几个核心城市调减幅度较高,最高可达 20%.仅有 3 个市州未来发展可以适当放宽氨氮指标的约束,其允许排放量可以适当调增,这些州市也分布在滇西南.

相较于云南的复杂情况,贵州未来发展整体

上受 COD 和氨氮的约束应该适当放宽,9 个市州中,除建议对 1 个市州小幅调减其减排指标外,其余 8 个市州 COD 和氨氮的允许排放量在当地政府承诺的控制量基础上,可维持不变或适当调增,个别城市调增幅度甚至可高达 30%.

表 2 云贵各市州污染物排放限值与政府承诺值之间的比较

Table 2 Comparisons between calculated discharge limits and promised total pollution loads by local governments in Yunnan and Guizhou province

排放限值超出 承诺值的比例	云南省市州个数		贵州省市州个数	
	COD	氨氮	COD	氨氮
[-20%, -10%)	0	4	0	0
[-10%, -5%)	2	2	0	0
[-5%, 0)	3	1	1	1
0	7	6	3	4
(0, 5%]	0	1	0	1
(5%, 10%]	4	2	1	0
(10%, 30%]	0	0	4	3

使用本文提出的方法确定各地区污染物排放限值,总量削减任务与实际水环境质量改善的结合更加紧密也更有针对性.已经进入工业化中后期、相对发达且地表水环境质量较差地区受到的水环境约束变大,需要通过调整产业发展结构、规模、布局以及革新工艺技术等手段实现未来污染物排放量的进一步削减.同时亦不至于剥夺那些还没有刚进入工业化初中期、欠发达且地表水环境质量达标率较高地区的发展权利,这部分地区在新的排放限值下一方面维持高保护等级水体的持续达标和质量不降低,同时充分利用低保护等级水体的环境容量,在水质等级不降低的同时为进一步发展争取空间.

3 结语

本文构建了一种兼顾目标总量与容量总量的水污染物排放限值计算方法.通过分析水体的污染物现状排放量、环境容量和相应行政区目标总量的相互关系,按照分级分类等原则来确定水体汇水区和各级行政区的水污染物总量控制要求,可以为我国从目标总量管理向容量总量管理

转变提供技术支撑。

文中提出的方法应用到了西南区域发展战略环境评价中,将云贵水体划分为五种类型,计算各区县的水污染物排放限值,通过和各区县自身的未来污染物承诺排放量相比较,发现使总量管理工作较好地与地表水环境质量相结合,为云南和贵州两省未来污染物总量管理提供参考。

参考文献:

- [1] 张玉清,张蕴华,张景霞.河流功能区水污染物容量总量控制的原理和方法[J].环境科学,1998,19(1):23-35.
- [2] 丁东生.渤海主要污染物环境容量及陆源排污管理区分配容量计算[D].青岛:中国海洋大学,2012.
- [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,2008,21(1):1-8.
- [4] 孟伟,刘征,张楠,等.流域水质目标管理技术研究(II)——水环境基准、标准与总量控制[J].环境科学研究,2007,20(4):1-8.
- [5] 孟伟,张远,郑炳辉,等.水环境质量基准、标准与流域水污染物总量控制策略[J].环境科学研究,2006,(3):1-6.
- [6] Schreiber J D, Rebich R A, Cooper C M. Dynamics of diffuse pollution from US southern watersheds[J]. Water Research, 2001, 35(10):2534-2542.
- [7] 王祎,李静文,邵雪,等.基于计算智能的流域污染排放优化模式研究[J].中国环境科学,2012,32(1):173-180.
- [8] 王少平,俞立中,许世远,等.基于GIS的苏州河非点源污染的总量控制[J].中国环境科学,2002,32(6):41-45.
- [9] 张晏,汪劲.我国环境标准制度存在的问题及对策[J].中国环境科学,2012,32(1):187-192.
- [10] 郭洲华,王翠,颜利,等.九龙江河口区主要污染物时空变化特征[J].中国环境科学,2012,32(4):679-686.
- [11] 赵海霞,王梅,段学军,等.水环境容量约束下的太湖流域产业集聚空间优化[J].中国环境科学,2012,32(8):1530-1536.
- [12] 王寿兵,马小雪,张韦倩,等.上海淀山湖水环境容量评估[J].中国环境科学,2013,33(6):1137-1140.
- [13] 肖伟华,刘文琨,裴源生,等.水环境污染物总量控制方法及模式体系研究[C]//中国环境科学学会.2011中国环境科学学会学术年会论文集(第一卷).中国环境科学学会,2011:7.
- [14] 程声通.河流环境容量与允许排放量[J].水资源保护,2003,02:8-10+61.
- [15] 徐一剑,曾思育,张天柱.HSY算法在环状河网动态环境容量估算中的应用[J].系统工程理论与实践,2006,(5):117-121+134.
- [16] GB/3838-2002 地表水环境质量标准[S].
- [17] 郭怀成,尚金城,张天柱.环境规划学[M].北京:高等教育出版社,2009:173-178.
- [18] USEPA. Draft Daily Loads Technical Document [EB/OL]. <http://water.epa.gov/lawsregs/lawsguidance/cwa/tmdl/>.
- [19] 云南省环境保护厅.云南省2010年环境状况公报[R].昆明,2011.
- [20] 贵州省环保厅.贵州省2010年环境状况公报[R].贵阳,2011.

作者简介:魏文龙(1988-),男,河南新密人,清华大学硕士研究生,主要从事环境规划与管理研究。

《中国环境科学》获评“百种中国杰出学术期刊”

《中国环境科学》2012年被中国科学技术信息研究所评为“2011年度百种中国杰出学术期刊”。“百种中国杰出学术期刊”是根据中国科技学术期刊综合评价指标体系进行评定的,包含总被引频次、影响因子、基金论文比、他引总引比等多个文献计量学指标。

《中国环境科学》编辑部