

控制单元核定及水环境容量核算研究

——以江苏省太湖流域为例

黄娟¹, 逢勇², 邢雅因¹

(1. 江苏省环境科学研究院, 江苏省环境工程重点实验室, 江苏 南京 210036;
2. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 文章以江苏省太湖流域为例, 围绕核定区域水环境容量、推动许可证与容量总量有效衔接等问题, 建立了面向排污许证实施的控制单元核定及水环境容量核算方法。将江苏省太湖流域划分为70个控制单元, 计算得出控制单元内单位污染负荷对控制断面最不利水质影响比在65%~88%之间。经核算得到各控制单元的水环境容量, 太湖流域2011年COD和NH₃-N的入河量削减率与水质超标率相差基本在20%以内。

关键词: 控制单元; 水环境容量; 排污许可证; 太湖流域

中图分类号: X321

文献标志码: A

DOI: [10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2020.01.006](https://doi.org/10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2020.01.006)

Study on Control Unit Verification and Water Environmental Capacity Calculation ——A Case Study of Taihu Basin in Jiangsu

HUANG Juan¹, PANG Yong², XING Yanan¹

(1. Jiangsu Provincial Academy of Environmental Science, Jiangsu Province Key Laboratory of Environmental Engineering, Nanjing 210036, China; 2. College of the Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Taking the Taihu basin in Jiangsu province as an example, this paper established the control unit verification by considering the implementation of the pollutant discharge permit, and the water environmental capacity calculation method in order to find the scientific verification of the regional water environmental capacity and the effective connection between the promotion permit and the total capacity. In this study, the Taihu lake basin in Jiangsu province was divided into 70 control units, and the ratio of the unit pollution load within the control units with the most unfavorable water quality on the control section was calculated to be the range from 65% to 88%. The water environmental capacity of each control unit was obtained, and the difference between the reduction rate of COD and ammonia nitrogen in the Taihu lake basin in 2011 and the excess rate of water quality was basically within 20%.

Keywords: Control Unit; Water Environmental Capacity; Pollutant Discharge Permit; Taihu Basin

CLC number: X321

排污许可制在我国实践20年来, 一直是以污染物排放浓度控制为前提, 以污染物总量减排为手段, 未能作为环境管理的有效手段真正实现环境改善的目标^[1]。一方面排污许可制度未能推动环境质量改善。现行的排污许可量核定是以目标总量为基础, 大多来源于排污申报, 没有与区域环境容量有效衔接, 不能体现环境质量改善需求^[2]。另一方

面现有水环境容量核算技术在环境管理中适用性不强。由于自然条件、认识水平、技术手段等多种不确定性因素的限制, 难以准确地确定流域水环境容量, 同时长时间确定的容量总量也不适应流域气候、水量变化较大的特点, 这必然导致缺少可操作性。文章以江苏省太湖流域为例, 围绕科学核定区域水环境容量、推动许可证与容量总量有效衔接

收稿日期: 2019-06-19

基金项目: 国家水污染控制与治理重大专项(2012ZX07506-002)资助

作者简介: 黄娟(1981-), 女, 硕士、高级工程师。研究方向: 环境政策及环境保护规划。E-mail: huangjuan69@126.com

引用格式: 黄娟, 逢勇, 邢雅因. 控制单元核定及水环境容量核算研究——以江苏省太湖流域为例[J]. 环境保护科学, 2020, 46(1): 30-36.

等问题,研究建立面向排污许证实施的控制单元核定及水环境容量核算方法,从而为流域水质目标管理体系的建立提供基础。

1 面向排污许证实施的控制单元核定

1.1 控制单元的划分原则

控制单元是对重要水质控制断面影响的主要污染负荷所在区域,即控制单元内部单位污染负荷影响应大于外部单位污染负荷影响^[3-5]。水质控制断面包括重要水质考核断面、饮用水源地、太湖一级保护区与重要水系相交断面,对于没有控制断面的控制单元,以控制单元的边界作为控制断面。

国家“十一五”水专项课题中,已对太湖流域进行了控制单元的划分,当时的划分是建立在水生态三级功能分区基础上^[6-8]。文章在“十一五”水专项课题划分的基础上,结合江苏省太湖流域水生态功能分区的成果,同时考虑到排污许可证实施的可操作性,对控制单元的划分进行了优化

调整。优化调整的原则主要有:①以控制断面水质达标为核心原则。控制断面水质达标是进行总量控制、分配的基础。②考虑流域水文情势、太湖流域圩区的分布原则。研究区域河流湖浜众多,受潮汐影响,下游边界多为双向流且圩区分布范围较广,基于上述水文特性导致污染源对控制断面水质的影响复杂多变。③兼顾区县行政边界、江苏省水资源分区原则。为便于控制单元内总量控制规划及行政区划管理,调整的控制单元边界应考虑水资源分区和行政边界,对没有可调的行政边界,可根据河流水系完整性分布进行控制单元边界调整。

1.2 控制单元的调整划定

在“十一五”水专项课题划分成果基础上,以控制断面水质达标为核心,考虑流域及水文情势及兼顾区县行政边界,最终对原“十一五”水专项课题划分的38个控制单元进行了修改,最终将太湖流域(江苏)控制单元数目确定为70个,见图1。



注:图中数字表示控制单元的编号,下同。

图1 太湖流域(江苏)控制单元分布

太湖一级保护区边界与重要水系交接断面属于控制断面。太湖一级保护区控制断面水质达标情况,直接影响入湖水质。因此,以太湖一级保护区为依据,对控制断面进行修改。根据原控制单元内主导流场分析,对饮用水源地控制断面水质产生影响的主要污染负荷区域进行判断,对控制单元进行调整,见图2。

根据原控制单元内主导流场分析,对重要水质考核断面水质产生影响的主要污染负荷区域进行判断,最终根据水生态功能分区边界、行政边界以及考虑水系完整性对控制单元进行划分,见图3。

1.3 控制单元划分合理性分析

控制单元是对重要水质控制断面影响的主要污染负荷所在区域。故引入控制单元内外单位污

染负荷水质影响比的概念,单位污染负荷水质影响比是指控制单元内外单位污染负荷条件下对控制断面水质的影响程度,用 α 表示见式(1)。

$$\alpha_i = \frac{c_i/W_i}{c_i/W_i + c_0/W_0} \quad (1)$$

式中, α_i 为控制单元内外单位污染负荷条件下对控制断面水质影响比, %; W_i 为控制单元内部污染负荷; c_i 为控制单元内部污染源对控制断面水质的影响值; W_0 为控制单元外部污染负荷; c_0 为控制单元外部污染源对控制断面水质的影响值。

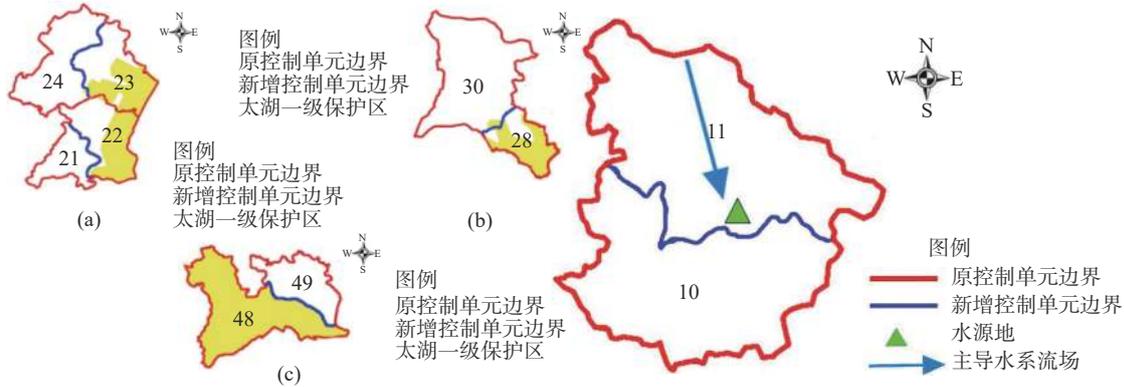


图 2 以太湖一级保护区和饮用水源地为依据控制单元修改过程

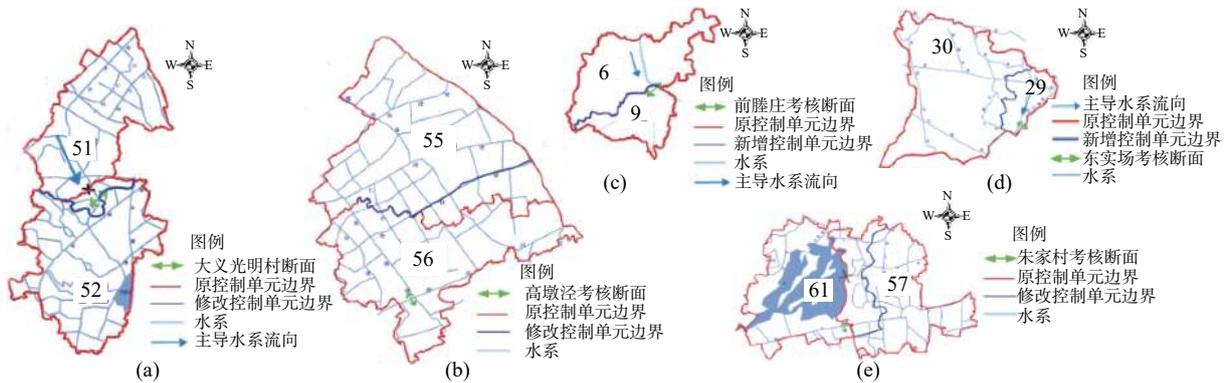


图 3 以重要考核断面为依据控制单元修改过程

选择研究区域最不利水文条件,基于太湖流域模型计算出的概化河网流场分布及污染物传输结果,并根据研究区域内控制断面分布,计算得到各控制单元内外单位污染负荷水质影响比。计算结果表明:控制单元内部单位污染负荷对控制断面最不利水质影响比在 65%~88% 之间,可证明控制单元内的污染源为控制断面水质影响的主要来源,对其内部的污染源进行控制可有效地保证水质改善,故认为各控制单元划分基本合理。

2 控制单元水环境容量核算

2.1 计算方法

水环境容量是指在设计水文条件下,满足计算水域的水质目标要求时,水体所能容纳的某种污染物的最大数量^[9-12]。与一般独立河网不同,复杂河湖系统内因存在河流与湖泊两类水体,进行河湖相连水系内河网区水环境容量计算时需要考虑河湖

双重目标,在确保河网水质目标的同时应考虑河网输入对湖泊水环境影响,将河网区排污对太湖湖体的影响纳入到河网区水环境容量计算的约束条件体系中^[13]。故研究提出了基于河网区河流功能达标、排污口混合带约束、控制断面达标及湖泊入湖口污染混合带控制等多个目标的河网区水环境容量计算体系,见图 4。

2.1.1 河网功能区总体达标 总体达标计算方法是基于零维水质模型建立起来的,其计算结果与污染源所处位置无关。水环境功能区总体达标水环境容量具体计算公式见(2)-(3)。

$$W_{\text{水环境容量}} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \alpha_{ij} \times W_{ij\text{水环境容量}} \quad (2)$$

$$W_{ij\text{水环境容量}} = Q_{0ij}(C_{sij} - C_{0ij}) + KV_{ij}C_{sij} \quad (3)$$

式中, W_{ij} 为计算中的水环境容量,计算中最小空间计算单元为河段(河段为两节点之间的河道),

最小时间计算单元为天； Q_{0ij} 、 V_{ij} 为设计水文条件，采用太湖河网模型计算得到； C_{sij} 为功能区水质目

标； C_{0ij} 为上游来水水质浓度； K 为水质降解系数； α_{ij} 为不均匀混合系数。

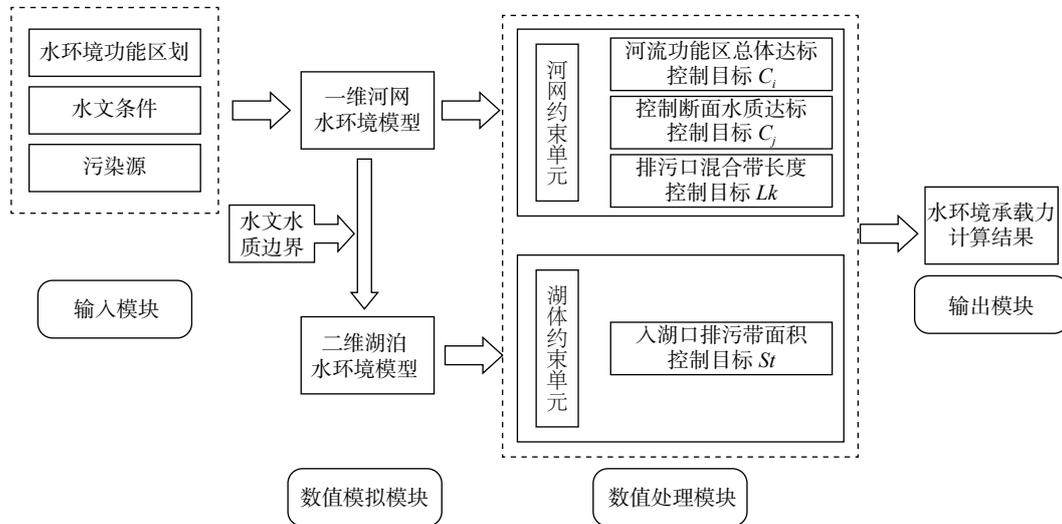


图 4 基于河湖多重目标的水环境容量计算框架

根据确定的设计条件，以一维非稳态水环境数学模型(式(3))为工具，计算出各水体最小空间范围和最小时间长度的水环境容量值；再根据式(2)计算出研究区域内各水环境功能区总的水环境容量值。

2.1.2 控制断面水质达标 控制断面水质达标目标值为使用控制断面水质达标计算方法计算得到的区域水环境容量值。控制断面水质达标计算方法是基于一维、二维水质模型建立起来的，其计算结果与污染源所处位置有关。采用一维稳态模型进行研究区域控制断面水质达标计算。

2.1.3 湖体约束单元控制目标 由于太湖接纳的污染物主要经入湖河道带入，该项研究将入湖河道口门处理为排污口，通过控制单个污染带面积的方法进行太湖竺山湾控制目标下允许排污量的计算^[14]。采用二维非稳态水量水质数学模型，计算得到不同风向下污染带，形成污染带的允许排污量即为竺山湾河网区湖体约束单元的控制目标值，竺山湾湖体约束单元控制目标值计算公式见式(4)。

$$W = \sum_{j=1}^b \left(\alpha_j \sum_{i=1}^n W_{ij} \right) + \Delta W \quad (4)$$

式(4)中， W 为污染物允许排污量，t/a； W_{ij} 为单个排污口在某一风向风速下的允许排放量，t/a，并以污染带面积控制，1~3 km²； α_j 为各个风向风速频率，%； n 为排污口个数，个； b 为不同风向风速频率个数，个； ΔW 为允许排放量订正值，t/a，用以补充未

概化到的河道的水环境容量。

2.2 计算结果

2.2.1 参数确定 选用年降雨 90% 保证率作为典型年，按典型年实际水利工程调度状况和分区边界水文资料，利用河网(或河道)水量模型，计算相应典型年中最枯月平均流量(或平均水位)，以作为本次各地表水功能区水环境容量(90% 保证率)的设计水文条件。经频率分析，太湖流域 90% 保证率的典型年为 1971 年^[15]。

根据《江苏省地表水(环境)功能区划(苏政复〔2003〕29号)》^[16]，结合《国务院关于全国重要江河湖泊水功能区划(2011~2030年)：〔国函2011〕167号》^[17]的批复要求，综合确定本次计算水体的水环境功能区划。

2.2.2 水环境容量计算结果 根据水环境容量计算方法，在 90% 水文保证率、2020 年水功能区划条件下，计算得太湖流域(江苏)各地市 COD、NH₃-N 和 TP 水环境容量分别为 23.75、2.1 和 0.4 万 t/a，计算结果见表 1。

表 1 太湖流域(江苏)水环境容量成果 t·a⁻¹

地名	水环境容量		
	COD	NH ₃ -N	TP
无锡	54 289	5 420	1 084
常州	59 842	4 055	811
苏州	123 333	11 495	2 299
合计	237 464	20 970	4 194

2.2.3 水环境容量合理性分析 选用区域污染物削减率与水质超标情况对比,对本次水环境容量计算结果的合理性进行分析。污染物削减率计算公式见(5)。

$$\text{削减率} = \frac{(\text{入河量} - \text{水环境容量})}{\text{入河量}} \times 100\% \quad (5)$$

式(5)中,入河量为 2011 年各类污染物入河量;水环境容量为 90% 水文保证率条件下的污染物

最大允许入河量。河量。

将太湖流域(江苏)各地市 2011 年污染物入河量、此次计算得到的水环境容量、污染物入河量削减率及水利部门测量得到的 2011 年水质超标率汇总,见表 2。

太湖流域(江苏)2011 年污染物入河量削减率与江苏省水文水资源勘测局提供的 2011 年水质超标率对比,见图 5。

表 2 江苏太湖流域各地市水环境容量计算值合理性分析

万t·a⁻¹

地市	COD				NH ₃ -N				TP			
	入河量	水环境容量	入河量削减率/%	水质超标率/%	入河量	水环境容量	入河量削减率/%	水质超标率/%	入河量	水环境容量	入河量削减率/%	水质超标率/%
无锡	6.3	5.4	14.0	18.9	0.6	0.5	14.0	70.3	0.14	0.11	24.8	17.0
常州	7.1	6.0	15.7	22.1	0.9	0.4	54.9	69.0	0.17	0.08	52.3	27.2
苏州	15.1	12.3	18.3	3.6	2.2	1.1	47.8	43.8	0.31	0.23	24.9	17.0
合计	28.5	23.7	16.7	14.9	3.7	2.1	43.8	61.0	0.62	0.42	32.4	20.4

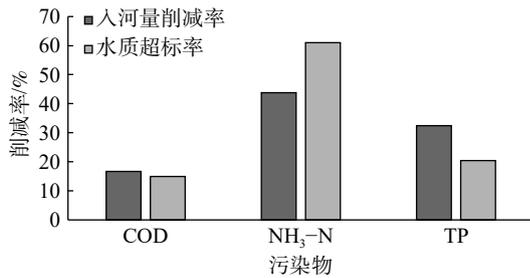


图 5 太湖流域(江苏)入河量削减率与水质超标率对比

图 5 可见,①太湖流域(江苏)2011 年 COD、NH₃-N、TP 入河量削减率分别为 16.7%、43.8%、32.4%,水质超标率分别为 14.9%、61.0%、20.4%,总体看来水质指标中 COD 优于 NH₃-N 和 TP;②太湖流域 2011 年 COD 和 NH₃-N 的入河量削减率与水质超标率相差基本在 20% 以内,削减率与水质超标率基本吻合,说明水环境容量计算值基本合理。

2.3 水环境容量分配

文中采用水环境容量逐县和逐控制单元分配的计算公式^[18]见(6)-(7)。

$$\alpha_j = \frac{\sum_{i=1}^5 (S_j \times \frac{l_{ij}}{\sum_{i=1}^5 l_{ij}} \times C_{si})}{\sum_{i=1}^5 (S \times \frac{l_i}{\sum_{i=1}^5 l_i} \times C_{si})} \quad (6)$$

$$W_j = \alpha_j \times W_{\text{总}} \quad (7)$$

式中, α_j 为某镇 j 占的环境容量权重; $W_{\text{总}}$ 为研究区域总水环境容量; W_j 为某镇 j 的水环境容量; C_{si} 为 i 类水水质标准; S_j 为某镇 j 的水域面积; l_{ij} 为某镇 j 的 i 类水功能区总长; S 为研究区域总的水域面积; l_i 为研究区域的 i 类水功能区总长。

各县市及控制单元水域面积通过控制单元和gis遥感图切割划分得到;各县及控制单元功能区长度通过控制单元及功能区划 mapinfo 统计得到,各湖泊功能区统一折算成周长统计^[19-20]。太湖流域(江苏)各县市水环境容量为基础,按照分配方法,最终确定江苏太湖流域各控制单元的水环境容量值,见表 3。

3 结语

研究在“十一五”水专项课题划分成果基础上,以控制断面水质达标为核心,考虑流域及水文情势及兼顾区县行政边界,最终对原“十一五”划分的 38 个控制单元进行了修改,最终将太湖流域(江苏)控制单元划分为 70 个。计算表明控制单元内部单位污染负荷对控制断面最不利水质影响比在 65%~88% 之间,各控制单元划分基本合理,对控制单元内部的污染源进行控制可有效改善控制单元水质。

表 3 太湖流域 (江苏) 控制单元水环境容量

t·a⁻¹

控制单元编号	COD	NH ₃ -N	TP	控制单元编号	COD	NH ₃ -N	TP
1	394	26	5	36	2 510	214	43
2	250	15	3	37	2 527	233	47
3	404	24	5	38	11 051	946	189
4	945	62	12	39	3 881	361	72
5	1 486	92	18	40	6 456	596	119
6	3 145	207	41	41	4 377	407	81
7	418	28	6	42	2 534	261	52
8	612	38	8	43	1 825	188	38
9	1 632	108	22	44	2 340	241	48
10	2 427	160	32	45	1 169	120	24
11	934	57	11	46	517	47	9
12	6 168	411	82	47	244	24	5
13	9 536	636	127	48	1 627	159	32
14	6 047	443	89	49	155	16	3
15	6 907	505	101	50	9 400	865	173
16	2 040	119	24	51	10 516	991	198
17	119	9	2	52	8 478	783	157
18	5 389	502	100	53	12 492	1 181	236
19	341	21	4	54	5 831	539	108
20	1 321	133	27	55	6 233	576	115
21	143	15	3	56	8 192	737	147
22	1 118	105	21	57	4 538	398	80
23	2 656	278	56	58	2 220	197	39
24	3 835	413	83	59	2 896	271	54
25	3 835	413	83	60	8 396	785	157
26	6 793	732	146	61	7 019	648	130
27	4 426	464	93	62	2 209	244	49
28	3 330	223	45	63	207	23	5
29	1 595	107	21	64	600	66	13
30	8 677	582	116	65	2 413	267	53
31	1 704	114	23	66	3 504	388	78
32	2 290	154	31	67	277	25	5
33	5 878	394	79	68	1 499	116	23
34	3 782	245	49	69	197	15	3
35	833	55	11	70	9 776	933	187

研究依据多目标河网区水环境容量计算体系,计算并分配得到 70 个控制单元的水环境容量。分析太湖流域 2011 年 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的入河量削减率与水质超标率相差基本在 20% 以内,计算结果合理。江苏省太湖流域 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 水环境容量为 23.75、2.1 和 0.42 万 t/a。

参考文献

- [1] 孟伟. 流域水污染物总量控制技术与示范[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008: 20 - 25.
- [2] 邢雅因, 吴云波, 田爱军. 江苏省污染物排放许可管理与区域总量控制制度研究[J]. 环境保护科学, 2015, 41(5): 86 - 89.
- [3] 雷坤, 孟伟, 乔飞, 等. 控制单元水质目标管理技术及应用案例研究[J]. 中国工程科学, 2013, 15(3): 63 - 69.
- [4] 邓富亮, 金陶陶, 马乐宽, 等. 面向“十三五”流域水环境管理的控制单元划分方法[J]. 水科学进展, 2016, 27(6): 909 - 916.
- [5] 王东, 王雅竹, 谢阳村, 等. 面向流域水环境管理的控制单元划分技术与应用[J]. 应用基础与工程科学学报, 2012, 20(9): 924 - 926.
- [6] 高永年, 高俊峰, 陈烽, 等. 太湖流域典型区污染控制单元划分及其水环境荷载评估[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(3): 335 - 340.
- [7] 孟伟, 张远, 郑丙辉. 水生态区划方法及其在中国的应用前景[J]. 水科学进展, 2007, 18(2): 293 - 300.
- [8] 王金南, 吴文俊, 蒋洪强, 等. 中国流域水污染控制分区方法与应用[J]. 水科学进展, 2013, 24(4): 1 - 8.
- [9] 董飞, 刘晓波, 彭文启, 等. 地表水水环境容量计算方法回顾与展望[J]. 水科学进展, 2014, 25(3): 451 - 463.
- [10] CHEN C F, MA H W, RECKHOW K H. Assessment of water quality management with a systematic qualitative uncertainty analysis[J]. Science of the Total Environment, 2007, 374: 13 - 25.
- [11] 周刚, 雷坤, 富国, 等. 河流水环境容量计算方法研究[J]. 水利学报, 2014, 45(2): 227 - 234.
- [12] 鲍琨, 逢勇, 孙瀚, 等. 基于控制断面水质达标的水环境容量计算方法研究—以殷村港为例[J]. 资源科学, 2011, 33(2): 249 - 252.
- [13] 王涛, 张萌, 张柱, 等. 基于控制单元的水环境容量核算研究: 以锦江流域为例[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(3): 283 - 286.
- [14] 胡开明, 逢勇, 王华, 等. 大型浅水湖泊水环境容量计算研究[J]. 水利发电学报, 2011, 30(4): 135 - 141.
- [15] 于雷, 吴舜泽, 范丽丽, 等. 水环境容量一维计算中不均匀系数研究[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(1): 116 - 119.
- [16] 江苏省人民政府. 关于江苏省地表水环境功能区划的批复(苏政复〔2003〕29号)[EB/OL]. (2003-03-18)[2019-05-20]. http://www.jiangsu.gov.cn/art/2003/3/18/art_46143_2544388.html.
- [17] 国家水利部办公厅. 中华人民共和国水利部公报: 国务院关于全国重要江河湖泊水功能区划(2011-2030年)的批复(国函〔2011〕167号)[R/OL]. (2016-12-23). <http://www.mwr.gov.cn/zw/slbg/201612/P020161222369559245638.pdf>.
- [18] 刘媛媛, 钱新, 王炳权, 等. 基于控制单元的水环境容量分配研究[J]. 生态与农村环境学报, 2013, 29(1): 110 - 116.
- [19] 胡婕, 李崇巍, 崔铁军. 基于 DEM 地表水文特征和汇水子流域的提取研究[J]. 环境科学与管理, 2011, 36(9): 131 - 135.
- [20] 罗缙, 逢勇, 罗清吉, 等. 太湖流域平原河网区往复流河道水环境容量研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2004, 32(2): 144 - 146.

(上接第 24 页)

任重而道远,“十四五”我国生态环境保护将进入精细化治理的转型阶段,因此黄河流域水污染防治“十四五”工作必须坚持以水环境质量改善为核心,同步要推动水量和水生态保护,在以往水生态环境保护工作基础上,构建空间、源、责任的三大体系,统筹三水,抓住流域特色问题,促进流域资源环境生态的协同保护。

参考文献

- [1] 方兰, 李军. 粮食安全视角下黄河流域生态保护与高质量发展中国环境管理[J]. 中国环境管理, 2019, 11(5): 5 - 10.
- [2] 国务院关于印发“十三五”脱贫攻坚规划的通知[EB/OL]. (2016-11-23)[2016-12-02]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/02/content_5142197.htm.
- [3] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. 地表水环境质量标准(GB3838-2002)[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [4] 国家环境保护部. 关于印发地表水环境质量评价办法(试行)的通知[EB/OL]. [2011-03-09]. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201104/t20110401_208364.htm.
- [5] 国家生态环境部. 2018 年中国生态环境状况公报[EB/OL]. 2019. http://www.sohu.com/a/317672129_100218212.
- [6] 国家水利部. 2017 年中国水资源公报[EB/OL]. 北京: [2018-11-16] http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/szygb/201811/t20181116_1055003.html.
- [7] 国家水利部黄河水利委员会. 2017 年黄河水资源公报[EB/OL]. 北京: 2018.
- [8] 国家黄河水利委员会. 黄河流域水土保持公报[EB/OL]. <http://www.yrcc.gov.cn/other/hhgb/2017szygb/index.html#p=1>.
- [9] 国家环境保护部, 国家发展和改革委员会, 水利部. 关于印发重点流域水污染防治规划(2016-2020)的通知[EB/OL]. [2017-10-19]. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201710/t20171027_424176.htm.