

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2019.06.019

引水改善平原感潮河网水质效果评估

许益新¹, 李一平², 罗育池¹, 余香英¹, 蒋婧媛¹, 罗凡²

(1. 广东省环境科学研究院, 广东 广州 510045; 2. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098)

摘要:以张家港市三大水循环体系为例,构建一维河网水动力水质数学模型,揭示了不同长江潮位与内河引水量的响应关系,不同引水量与河网水质改善效果、引水服务面积的响应关系。结果表明:随着长江高潮位的升高,内河引水量呈现线性增长趋势;当中部水系引水量达到 $1.4 \times 10^7 \text{ m}^3$ 时,氨氮浓度改善率达到 50% 以上,浓度变化指数达到 0.6 以上,且整体提升了 1 个水质类别;引水服务面积随着引水量的增大呈现线性增长趋势,而单位引水量服务面积呈现对数函数下降趋势,其中东北部水系单位引水量服务面积最大,为 $0.352 \sim 0.891 \text{ km}^2/\text{万 m}^3$ 。

关键词:平原感潮河网;河网模型;引水量;水质改善效果;引水服务面积

中图分类号:X321 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2019)06-0124-07

Effect evaluation of water diversion to water quality improve in plain tidal river network//XU Yixin¹, LI Yiping², LUO Yuchi¹, YU Xiangying¹, JIANG Jingyuan¹, LUO Fan² (1. Guangdong Provincial Academy of Environmental Science, Guangzhou 510045, China; 2. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Taking the three water circulation systems of Zhangjiagang City as an example, a one-dimensional river network mathematical model of hydrodynamic force and water quality was constructed, which revealed the response relationship between different tidal levels of the Yangtze River and the amount of water diverted from the inland river, and the response relationship between different amounts of water diverted and the effect of water quality improvement and the service area of water diversion. The results show that with the rising of the high tide level of the Yangtze River, the water diversion volume of the inland river presents a linear growth trend. When the water diversion volume of the middle water system reaches $1.4 \times 10^7 \text{ m}^3$, the improvement rate of ammonia nitrogen concentration is more than 50%, the concentration change index is more than 0.6, and the overall water quality category is improved by one degree. The service area of water diversion shows a linear growth trend with the increase of water diversion volume, while the service area of unit water diversion volume shows a logarithmic function decline trend. The service area of unit water diversion volume of northeast water system is the largest, which is $3.52 \times 10^{-5} \sim 8.91 \times 10^{-5} \text{ km}^2/\text{m}^3$.

Key words: plain tidal river network; river network model; water diversion volume; effect of water quality improvement; service area of water diversion

平原感潮河网地势平坦,水流缓慢,同时受潮汐作用和泵闸调度的影响,往复流现象明显,抗污染能力较弱。随着经济的快速发展,平原感潮河网地区水资源高度开发利用,水环境质量日益下降^[1]。利用平原感潮河网紧邻大江大河的优势,根据潮汐变化进行引水、排水,构建科学有序的水循环体系,促进河道水体流动,提高水体稀释能力,从而达到改善水环境质量的效果^[2]。水环境数学模型是用来模拟和预测污染物混合、迁移、转化过程的重要工具之

一,在定量分析引水改善河网水环境质量效果方面发挥着重要作用^[3]。

目前,对于引水改善河网地区水质效果的研究多集中于特定引水流量^[4]、引水水质^[5]、水系结构优化^[6]等,顾炉华等^[7]基于太湖水量水质数学模型研究不同引水量和雨型下七浦塘引水对阳澄湖和周边河网水质的改善效果,结果表明引水量为 $20 \sim 40 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,河网水质改善效果最佳;赵轩等^[8]基于常州市河网水环境数学模型研究上游引水、污染源削

基金项目:水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07204003);珠三角美丽水网体系建设方案研究(GPCGD181115G158F)

作者简介:许益新(1993—),男,硕士研究生,研究方向为水环境数学模型。E-mail: xuyixin0825@163.com

减和提高自净能力对河网水质的改善效果,结果表明保证上游来水水质良好的情况下,上游引水对主干河道水质有较好的改善效果;贾海峰等^[9]基于城镇河网水环境数学模型研究水系结构优化和水利调度对河网水质的改善效果,结果表明水系结构优化方案能够降低 BOD₅ 和 NH₃-N 浓度。目前对复杂的平原感潮河网地区潮汐作用下调水引流工作研究较少,且尚未建立起潮位、引水量和水质改善效果的响应关系。

本文选取典型平原感潮河网地区张家港市为研究对象,根据张家港市紧邻长江的优势和水循环体系的建设,开展调水引流改善平原感潮河网水质效果研究,建立“长江潮位-内河引水量-水质改善效果-引水服务面积”的响应关系,以期为平原感潮河网调水引流工作提供科学的指导和建议。

1 研究区域概况

张家港市位于长江三角洲冲积平原,境内河网密布,北邻长江,属典型的平原感潮河网地区,境内共有 37 个水功能区,随着污染源削减方案的实施和水循环体系的构建,水功能区达标率逐步提高,2011—2016 年水功能区达标率从 57.4% 提升到 79.6%,主要超标因子为氨氮。

张家港市目前正在建设,完善中部、东部和西部三大水循环体系,其中中部水系水循环体系较为完善,主要依靠朝东圩港水利枢纽和一干河水利枢纽

候潮开启闸门进行自流引水,引水时内河侧闸前控制水位为 4.1 m,二干河为排水通道;东部水系主要依靠三千河水利枢纽、四干河节制闸和六干河节制闸候潮开启闸门进行自流引水,引水时三千河内河侧闸前控制水位为 3.8 m,四干河和六干河内河侧闸前控制水位为 3.7 m,五千河和七干河为排水通道;西部水系主要依靠五节桥泵闸工程、十字港闸和护漕港节制闸候潮开启闸门进行自流引水,引水时内河侧闸前控制水位为 4.0 m,太字圩港为排水通道。各引水口门距离长江天生港潮位站均在 20 km 以内,故选取天生港潮位站作为长江潮位代表站^[10](图 1)。

2 平原河网非稳态数学模型构建及评价方法

2.1 模型的建立

在张家港市中部水系水动力水质耦合数学模型研究^[11]的基础上,采用一维圣维南方程组构建张家港市平原感潮河网水量模型离散格式为六点中心隐式差分格式,采用“双扫”法计算求解;采用一维对流扩散方程作为水质模拟基本方程,根据长江三角洲河网和张家港市河网水质现状、特点及总量控制要求,选取高锰酸盐指数和氨氮为模拟因子,构建张家港市平原感潮河网水质模型,以评估张家港市三大水循环体系的构建对区域河网水质的改善效果^[12]。河网模型共概化 368 条河流(市级河道、镇级河道和部分村级河道),151 个闸站(沿江水利枢纽、内河节制闸和部分泵站);河流断面数据采用走

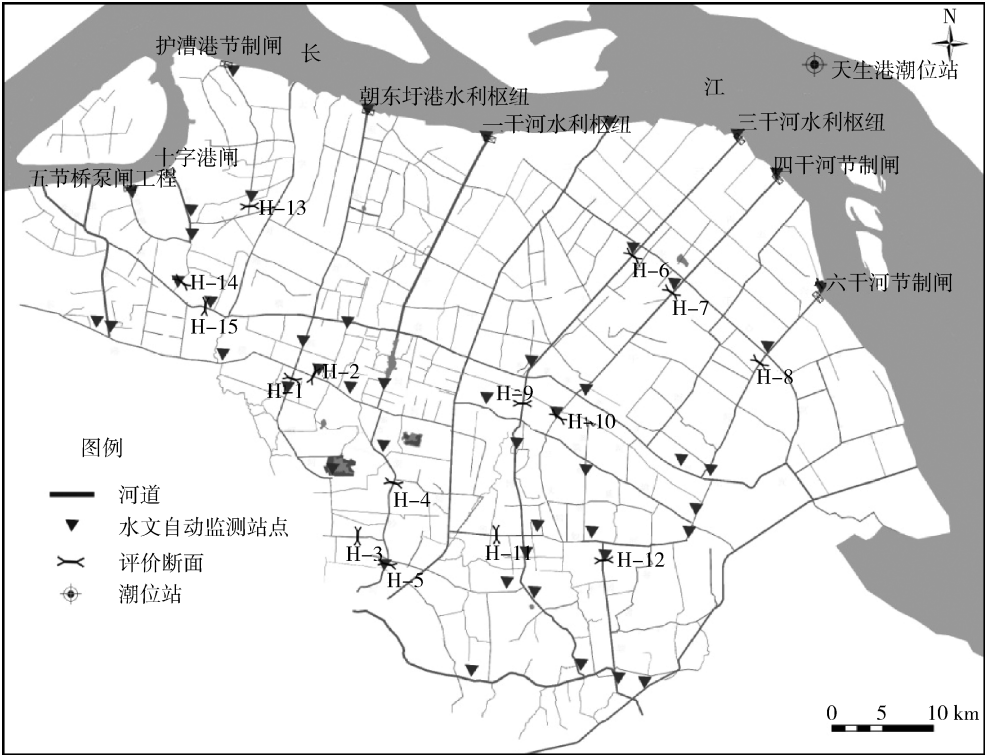


图 1 研究区域位置及评价断面分布

航式 ADCP 监测资料进行概化;模型上边界为各引水通道与长江交汇处,为流量边界,流量时间序列根据各水文自动监测站点高频率长序列监测数据分析所得;模型下边界为各排水通道与长江交汇处,为水位边界。

2.2 模型的率定和参数的选取

根据张家港市水文自动监测站点实时监测数据和野外水量水质同步监测结果,对河网水动力水质模型进行率定,结果表明:张家港市现状河道糙率为 0.01~0.04,其中城区主要河道为直立式护岸,河道糙率较小,为 0.01~0.02,乡镇河道两侧杂草树木较多,河道糙率较大,为 0.03~0.04;张家港市现状高锰酸盐指数降解系数为 0.04~0.08 d⁻¹,氨氮降解系数为 0.03~0.08 d⁻¹。各断面流量模拟相对误差在 25% 以内,平均相对误差为 13.1%;各断面水质模拟相对误差在 30% 以内,高锰酸盐指数平均相对误差为 15.2%,氨氮浓度平均相对误差为 12.0%,具体见表 1。

表 1 张家港市河网模型水动力水质模拟相对误差

监测断面	河道	流量相对误差/%	高锰酸盐指数相对误差/%	氨氮浓度相对误差/%
H-1	朝东圩港	7.0	13.4	6.4
H-2	东横河	14.3	20.6	18.1
H-3	华塘河	10.1	19.7	5.8
H-4	新沙河	19.7	21.7	25.9
H-5	新沙河	22.8	27.5	20.4
H-6	三千河	6.4	4.9	6.4
H-7	四千河	5.8	6.3	5.2
H-8	六干河	6.9	7.5	7.5
H-9	三千河	10.6		
H-10	三丈浦	11.3		
H-11	华妙河	20.6		
H-12	奚浦塘	18.9		
H-13	护漕港	9.3		
H-14	天生港	15.7		
H-15	南横套	16.8		

2.3 调水引流改善水环境质量评价方法

根据张家港市水动力水质数学模型计算结果,评价调水引流改善水环境质量的方法主要有:①分析评价引水期间监测点位水质指标浓度随时间变化趋势;②分析评价引水前后监测点位水质指标浓度的改善效果;③分析评价引水前后监测点位水质类别的变化。因此,结合前人研究成果,采用水质浓度改善率、类别变化指数和浓度变化指数 3 个指标评估平原感潮河网水质改善效果与引水量的响应关系^[13]。公式为

R = (C_{0i} - C_{ai}) / C_{0i} (1)

式中:R 为水质浓度改善率;C_{0i} 为第 i 种水质指标引水前的浓度;C_{ai} 为第 i 种水质指标引水后的浓度;i

为参加评估的水质指标数目。R 值反映引水前后水质浓度改善的程度,正值表示水质浓度下降,负值表示水质浓度上升。

G = 1/n ∑ (G_{0i} - G_{ai}) (2)

式中:G 为类别变化均值指数;G_{0i} 为第 i 种水质指标引水前的水质类别;G_{ai} 为第 i 种水质指标引水后的水质类别。G 属于均值型多因子指数,反映引水前后水质类别变化的等级,数值为正表示水质类别改善,数值为负表示水质类别下降。

P = 2/n ∑ (C_{0i} - C_{ai}) / (C_{0i} + C_{ai}) (3)

式中 P 为浓度变化指数。P 属于均值型多因子指数,反映引水前后水质浓度变化的程度,数值为正表示水质浓度下降,数值为负表示水质浓度上升。

3 结果与讨论

3.1 平原感潮河网内河引水量与长江潮位响应关系

长江张家港段受到上游大通来水和沿海潮汐的双重作用,每天有两个高潮位和低潮位,属于不规则半日潮,且高潮位具有明显的半月周期特性,低潮位则没有明显的周期特征^[14-15](图 2)。当长江潮位高于张家港市内河水位时,开启沿江水利枢纽使长江水自流引进。半月周期内,随着长江高潮位的升高,各引水口门引水量呈现线性增长趋势(图 3),其中朝东圩港引水量与长江潮位相关性最强,且引水量最大,一干河次之;由于三千河、四千河和六干河引水过程中受到内河防洪水位的限制,未能按照最大引水量进行引水,故引水量与长江潮位相关性较弱,且引水量较少。西部水系的五节桥港、十字港和护漕港引水通道尚未正式实施,故暂不讨论。

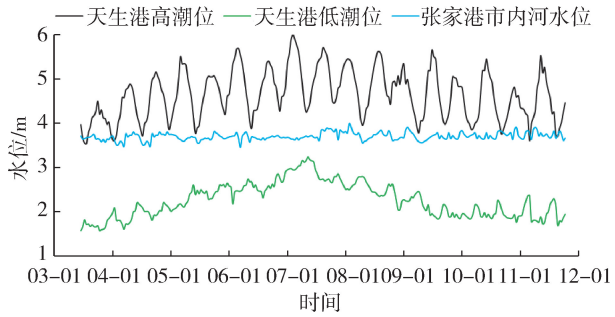
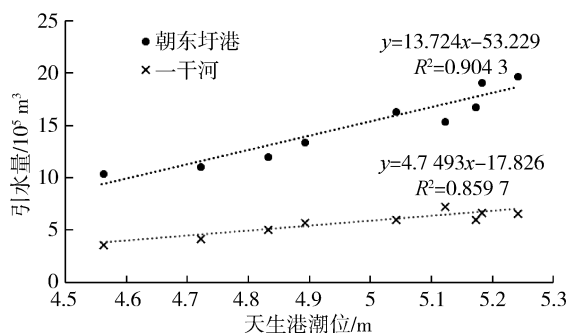
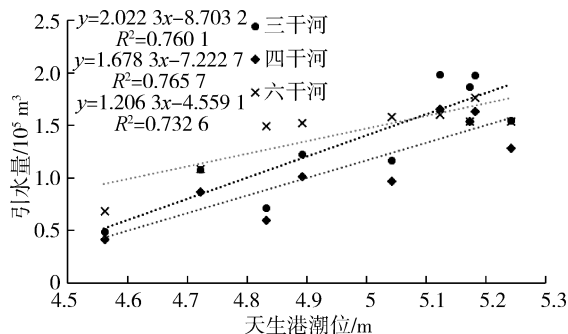


图 2 天生港潮位站高、低潮位与内河水位示意图

不同引水口门引水量除了受到长江潮位的影响,也和闸门开启高度、闸门宽度以及内河防洪控制水位等密切相关^[16],以三千河和四千河为例,二者相距 2.6 km,引水过程中,长江潮位基本一致,内河防洪控制水位均为 3.8 m,闸门开启高度均为 1.2 m,根据引水量分析结果,三千河与四千河引水量比例



(a) 朝东圩港和一干河



(b) 三干河、四干河和六干河

图3 内河引水量与天生港潮位响应关系

基本为 1.2:1, 三干河和四干河闸门开启宽度比例也是 1.2:1, 表明闸门开启宽度是影响三干河和四干河引水量差异的关键因素。

3.2 平原感潮河网水质改善效果与引水量响应关系

利用构建的模型, 计算各片区水质改善效果与引水量的响应关系。结果表明: 随着引水量的增加, 各片区水质浓度改善率、类别变化指数和浓度变化指数均呈现逐渐上升的趋势, 表明增大引水量对提高水质改善效果有显著作用, 与崔广柏等^[2]、顾炉华等^[7]、童朝锋等^[18]、逄勇等^[19]的研究结果相似。由于中部水系水循环体系最为完善, 引水时内河侧闸前控制水位为 4.1 m, 朝东圩港水利枢纽和一干河水利枢纽可按照最大引水能力进行引水, 且引水过程中, 沿线小型内河节制闸均处于关闭状态, 使得长江清洁水源充分到达中部水系末端, 对中部水系沿线氨氮超标水体产生改善效果。因此, 引水对中部水系氨氮浓度改善效果最强, 当引水量达到 $1.4 \times 10^7 \text{ m}^3$ 时, 中部水系氨氮浓度改善率达到 50% 以上, 而后, 随着引水量的增大, 氨氮浓度改善率稳定在 50% ~ 56% (表 2)。东北部水系距离长江较近, 引水路线短, 且沿线水体水质较好, 污染源分布少, 因此, 引水对东北部水系高锰酸盐指数改善效果最强, 当引水量达到 $2.64 \times 10^6 \text{ m}^3$ 时, 东北部水系高锰酸盐指数改善率接近 40%, 而后, 随着引水量的增大, 高锰酸盐指数改善率稳定在 40% ~ 43% (表 3)。结果表明随着引水量的逐渐增大, 等量引水对河网水质的

改善效率逐渐降低, 引水量不再为提高张家港市河网水质的主要因素。

表2 张家港市中部水系水质改善效果与引水量响应关系

引水量/ 10^6 m^3	氨氮浓度 改善率/%	高锰酸盐指数 改善率/%	类别变化 指数 G	浓度变化 指数 P
2.64	6.3	1.0	-0.143	0.051
5.46	16.4	11.2	0.107	0.175
7.66	29.2	22.1	0.571	0.339
9.95	42.2	30.5	0.714	0.494
12.10	48.4	34.0	1.036	0.565
14.00	53.0	37.3	1.179	0.627
15.40	52.8	36.9	1.286	0.623
17.10	54.1	37.9	1.286	0.645
18.60	56.0	39.2	1.286	0.675

表3 张家港市东北部水系水质改善效果与引水量响应关系

引水量/ 10^6 m^3	氨氮浓度 改善率/%	高锰酸盐指数 改善率/%	类别变化 指数 G	浓度变化 指数 P
0.430	17.6	18.6	0.35	0.205
0.982	31.6	26.9	0.80	0.352
1.350	40.5	32.2	1.20	0.455
1.860	45.4	34.6	1.25	0.519
2.240	48.8	37.0	1.40	0.565
2.640	51.8	39.5	1.55	0.608
2.930	54.7	42.4	1.70	0.657
3.240	55.5	42.8	1.65	0.667
3.410	54.5	41.9	1.60	0.649

类别变化指数和浓度变化指数能够综合体现引水前后水质类别和水质浓度的变化情况, 反映引水对水质的改善效果, 结果表明引水对东北部水系类别变化指数提升效果最好, 当引水量达到 $2.64 \times 10^6 \text{ m}^3$ 时, 东北部水系整体提升了 1.5 个水质类别 (表 3); 引水对中部水系浓度变化指数改善效果最好, 当引水量达到 $1.4 \times 10^7 \text{ m}^3$ 时, 中部水系浓度变化指数整体达到 0.6 以上 (表 2)。由于东部水系引水时内河侧闸前控制水位为 3.7 ~ 3.8 m, 三干河、四干河未能按照最大引水能力进行引水, 且东南部水系位于东部水系末端, 引水路线长, 缺少清洁水源, 因此, 引水对东南部水系水质改善效果较弱, 氨氮浓度改善率均在 15% 以内, 高锰酸盐指数改善率均在 10% 以内, 类别变化指数均在 0.3 以内, 浓度变化指数均在 0.15 以内 (表 4)。西部水系由于沿江节制闸规模较小, 引水通道能力有限, 引水对西部水系有一定的改善效果, 但改善效果较弱, 当引水量达到 $1.84 \times 10^6 \text{ m}^3$ 时, 氨氮浓度改善率和高锰酸盐指数改善率基本达到 35% 左右, 西部水系整体提升了 1 个水质类别, 浓度变化指数整体达到 0.5 以上 (表 5)。

表4 张家港市东南部水系水质改善效果与引水量响应关系

引水量/ 10 ⁶ m ³	氨氮浓度 改善率/%	高锰酸盐指数 改善率/%	类别变化 指数 G	浓度变化 指数 P
0.286	3.7	1.7	-0.045	0.033
0.650	5.5	2.7	0.000	0.051
0.854	9.3	3.8	0.091	0.079
1.221	11.7	4.4	0.182	0.096
1.437	13.2	5.9	0.227	0.111
1.664	13.6	6.7	0.227	0.117
1.798	14.4	7.9	0.227	0.130
1.995	14.3	8.1	0.227	0.128
2.088	14.0	8.1	0.273	0.126

表5 张家港市西部水系水质改善效果与引水量响应关系

引水量/ 10 ⁶ m ³	氨氮浓度 改善率/%	高锰酸盐指数 改善率/%	类别变化 指数 G	浓度变化 指数 P
0.383	4.8	6.32	0.125	0.061
0.778	8.1	8.75	0.125	0.097
1.170	21.7	19.77	0.688	0.285
1.560	30.6	28.41	1.000	0.429
1.840	36.1	34.09	1.188	0.523
2.090	39.8	37.57	1.313	0.587
2.270	39.1	36.29	1.313	0.566
2.530	36.6	32.61	1.313	0.509
2.880	39.3	34.78	1.313	0.555

3.3 平原感潮河网引水服务面积与引水量响应关系

在平原感潮河网水质改善效果与引水量响应关系研究的基础上,以引水是否使河道水质达到水功能区水质要求为判断依据,建立引水服务面积与引水量的响应关系。结果表明:引水服务面积随着引水量的增大呈现线性增长的趋势,东部水系引水服务面积随引水量增长幅度最大,西部水系次之,中部水系最小(图4)。而单位引水量服务面积随着引水量的增大呈现对数函数下降趋势,东部水系单位引水量服务面积最大,西部水系次之,中部水系最小。单位引水量服务面积主要与该区域本底水质浓度、污染源分布情况以及引水路线长短密切相关,由于东北部水系水质本底浓度最低,且污染源分布较少,引水路线短,使得其单位引水量服务面积最高,为0.352~0.891 km²/万 m³;西部水系本底水质浓度较高,但其污染源分布较少,且引水路线短,单位引水量服务面积次之,为0.156~0.303 km²/万 m³;中部水系虽然本底水质浓度较低,但其污染源分布较多,且引水路线长,单位引水量服务面积最小,为0.061~0.146 km²/万 m³。这与其他学者的研究成果相似,陈振涛等^[5]对杭州市江干区河网的研究表明,在引水水源水质不变的情况下,增大引水水量,单方水起到的水质改善效果逐渐减小,即引水水量起到的效率降低;张秀菊等^[17]对南通市通州区新江海河地区的研究表明,随着引水量的增加,等量引水的水质改善效果逐渐减弱。

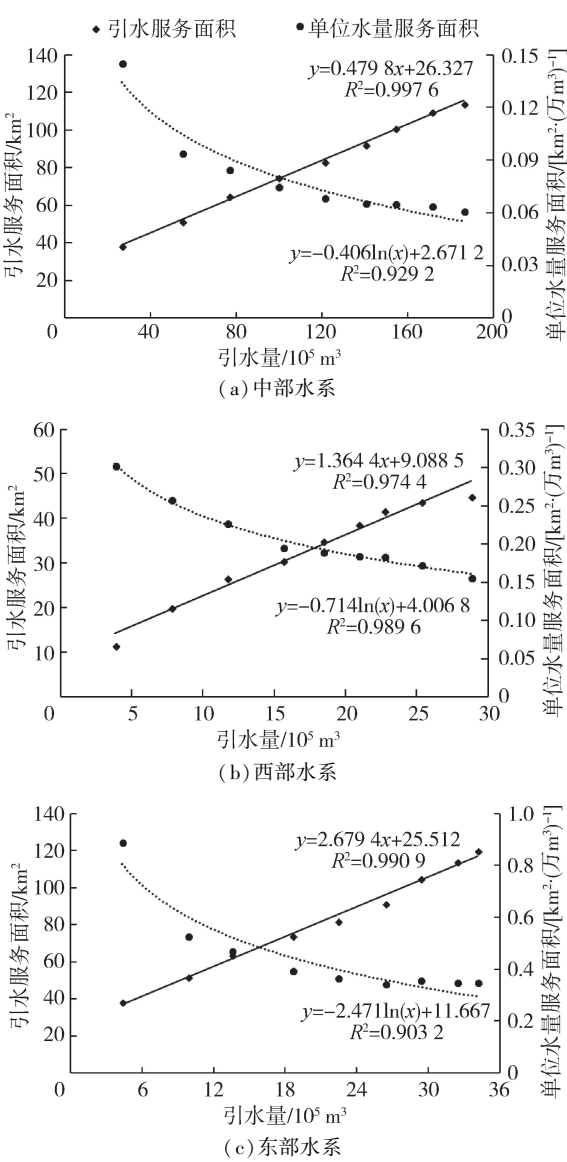


图4 各片区引水服务面积与引水量响应关系

4 结 论

- a. 长江张家港段为不规则半日潮,高潮位具有明显的半月周期特性,随着高潮位的升高,内河引水量呈现线性增长趋势,不同引水口门引水量与长江潮位、内河防洪控制水位、闸门开启高度以及闸门宽度密切相关。
- b. 平原感潮河网水质浓度改善率、类别变化指数和浓度变化指数随着内河引水量的增加均呈现逐渐上升的趋势,当中部水系引水量达到 $1.4 \times 10^7 \text{ m}^3$ 时,氨氮浓度改善率达到50%以上,浓度变化指数整体达到0.6以上;当东北部水系引水量达到 $2.64 \times 10^6 \text{ m}^3$ 时,高锰酸盐指数改善率接近40%,且整体提升了1.5个水质类别。由于东部水系内河防洪水位偏低,未能按照最大引水量进行引水,引水对东南部水系水质改善效果较弱,建议逐步实施东部水系防洪加固工程,使内河防洪水位逐步提升至

4.0~4.1 m。西部水系由于沿江节制闸规模较小,引水通道能力有限,引水对西部水系水质改善效果较弱,建议逐步实施护漕港节制闸扩建工程和太字圩港水系连通工程,逐步提高西部水系引水能力。

c. 平原感潮河网引水服务面积随着引水量的增大呈现线性增长趋势,而单位引水量服务面积呈现对数函数下降趋势,其中,东北部水系单位引水量服务面积最大,为 $0.352 \sim 0.891 \text{ km}^2/\text{万 m}^3$;西部水系次之,为 $0.156 \sim 0.303 \text{ km}^2/\text{万 m}^3$;中部水系最小,为 $0.061 \sim 0.146 \text{ km}^2/\text{万 m}^3$ 。

参考文献:

- [1] 许兴武,沃玉报,胡阳,等. 秦淮河水质改善现场调水试验[J]. 河海大学学报(自然科学版),2018,46(6):492-496. (XU Xingwu, WO Yubao, HU Yang, et al. Field water diversion tests of water quality improvement in Qinhuai River[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences),2018,46(6):492-496. (in Chinese))
- [2] 崔广柏,陈星,向龙,等. 平原河网区水系连通改善水环境效果评估[J]. 水利学报,2017,48(12):1429-1437. (CUI Guangbai, CHEN Xing, XIANG Long, et al. Evaluation of water environment improvement by interconnected river network in plain area[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2017, 48 (12): 1429-1437. (in Chinese))
- [3] 裘骅勇,章宏伟,陈增奇. 杭嘉湖一维河网水量水质联合数学模型及应用[J]. 水利水电科技进展,2011,31(增刊1):9-13. (QIU Huayong, ZHANG Hongwei, CHEN Zenqi. Combined mathematical model of water quantity and quality for one-dimensional river network of Hangjiahu and its application [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2011, 31 (Supl): 17-20. (in Chinese))
- [4] 李大勇,刘凌,董增川,等. 改善张家港地区水环境引水方案的对比研究[J]. 水利水电科技进展,2004,24(6):17-20. (LI Dayong, LIU Ling, DONG Zenchuan, et al. A comparative study of water diversion schemes to improve water environment in Zhangjiagang area [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2004, 24(6):17-20. (in Chinese))
- [5] 陈振涛,滑磊,金倩楠. 引水改善城市河网水质效果评估研究[J]. 长江科学院院报,2015,32(7):45-51. (CHEN Zhentao, HUA Lei, JIN Qiannan. Assessing the efficacy of water diversion to improve water quality in city river network [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2015, 32(7):45-51. (in Chinese))
- [6] 黄湘今,向龙. 常熟市南部河网原型调水试验与模拟分析[J]. 水电能源科学,2017,35(5):69-72. (HUANG Xiangjin, XIANG Long. Field prototype experiment of water diversion for river network in south of Changshu city [J]. Water Resources and Power, 2017, 35 (5): 69-72. (in Chinese))
- [7] 顾炉华,赖锡军. 七浦塘引水对阳澄湖河网水环境影响

- 的模拟研究[J]. 水资源保护,2018,34(2):88-95. (GU Luhua, LAI Xijun. Simulation study of water environment influence on Yangcheng Lake river networks by Qipu River water diversion project [J]. Water Resources Protection, 2018, 34(2):88-95. (in Chinese))
- [8] 赵轩,薛祥山,徐速,等. 常州市平原环状河网水环境改善方案情景模拟[J]. 环境工程学报,2015,9(10):4637-4642. (ZHAO Xuan, XUE Xiangshan, XU Su, et al. Scenario simulation of water environment improvement for plain river network of Changzhou [J]. Journal of Environmental Engineering, 2015, 9(10):4637-4642. (in Chinese))
- [9] 贾海峰,杨聪,张玉虎,等. 城镇河网水环境模拟及水质改善情景方案[J]. 清华大学学报(自然科学版),2013,53(5):665-672. (JIA Haifeng, YANG cong, ZHANG Yuhu, et al. Simulation of a water quality improvement for urban river networks [J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2013, 53 (5):665-672. (in Chinese))
- [10] 陈锡林,闻余华,王永东,等. 里下河地区引江能力分析[J]. 人民长江,2007(8):43-45. (CHEN Xilin, WEN Yuhua, WANG Yongdong, et al. Analysis to water diversion capacity from the Yangtze river for sedimentation scouring in Lixia he region[J]. Yangtze River, 2007(8):43-45. (in Chinese))
- [11] 许益新,王文才,曾伟峰,等. 调水引流改善平原河网水环境质量模拟[J]. 水资源保护,2018,34(1):70-75. (XU Yixin, WANG Wencai, ZENG Weifeng, et al. Simulation on improvement of water environment in plain river network by water diversion [J]. Water Resources Protection, 2018, 34(1):70-75. (in Chinese))
- [12] 潘增,闫宝伟,于雨,等. 考虑长江回水影响的举水危险流量研究[J]. 人民长江,2018,49(1):19-22. (PAN Zeng, YAN Baowei, YU Yu, et al. Study on dangerous flow of Jushui River considering backwater influence of Yangtze River [J]. Yangtze River, 2018, 49 (1): 19-22. (in Chinese))
- [13] 张良平,王珏,徐骏. 调水改善武澄锡虞区河网水质效果评估[J]. 人民长江,2009,40(7):30-32. (ZHANG Liangping, WANG Jue, XU Jun. Assessing the efficiency of water diversion to improve water quality of river network in Wucheng Xiyu District [J]. Yangtze River, 2009, 40(7):30-32. (in Chinese))
- [14] 宋正逵,黄利亚,仇娟娟. 长江上游径流对天生港站潮位影响浅析[J]. 水文,2010,30(4):56-58. (SONG Zhengkui, HUANG Liya, CHOU juanjuan. Influence of runoff from upper reaches of Yangtze River on tidal level at Tianshenggang station[J]. Journal of China Hydrology, 2010, 30(4):56-58. (in Chinese))
- [15] 王文才,李一平,杜薇,等. 长江感潮河段潮汐变化特征[J]. 水资源保护,2017,33(6):121-124. (WANG Wencai, LI Yiping, DU Wei, et al. Tidal variation features of tidal reach of Changjiang River [J]. Water Resources Protection, 2017, 33(6):121-124. (in Chinese))
- [16] 杨凯,袁雯,滕启林. 沿江感潮水闸环境引水量的计算

- 方法及实例[J]. 上海环境科学, 2002(7): 429-431. (YANG Kai, YUAN Wen, TENG Qilin. Real case of calculating the diversion flow through intake gate along Yangtze River in tidal area[J]. Shanghai Environment Science, 2002(7): 429-431. (in Chinese))
- [17] 张秀菊, 丁凯森, 杨凯. 新江海河网地区水量水质联合调度模拟及引水方案[J]. 水电能源科学, 2017, 35(1): 31-34. (ZHANG Xiuju, DING Kaisen, YANG Kai. Water quantity-quality joint regulation model and water diversion scheme in Xinjianghaihe river network region[J]. Water Resources and Power, 2017, 35(1): 31-34. (in Chinese))
- [18] 童朝锋, 岳亮亮, 郝嘉凌, 等. 南京市外秦淮河水质模拟及引调水效果[J]. 水资源保护, 2012, 28(6): 49-54. (TONG Chaofeng, YUE Liangliang, HAO Jialing, et al. Water quality simulation and water diversion effect analysis of external Qinhuai River in Nanjing[J]. Water Resource Protection, 2012, 28(6): 49-54. (in Chinese))
- [19] 逢勇, 王瑶瑶, 胡绮玉. 浙江温黄平原典型河流水质改善方案研究[J]. 水资源保护, 2016, 32(2): 100-105. (PANG Yong, WANG Yaoyao, HU Qiyu. Research on water quality improvement scheme for a typical river in Wenhuan Plain in Zhejiang Province[J]. Water Resources Protection, 2016, 32(2): 100-105. (in Chinese))
- (收稿日期: 2018-11-28 编辑: 王芳)
-
- (上接第 28 页)
- [9] 殷会娟, 张文鸽, 张银华. 基于价值流理论的水权交易价格定价方法[J]. 水利经济, 2017, 35(2): 53-55. (YIN Huijuan, ZHANG Wenge, ZHANG Yinhua. Pricing method of water right trading based on value flow theory[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2017, 35(2): 53-55. (in Chinese))
- [10] 刘军政, 犹伟, 祁芸泉, 等. 基于污染物通量超标排放的生态补偿方法[J]. 水利经济, 2018, 36(4): 40-44. (LIU Junzheng, YOU Wei, QI Yunquan, et al. Ecological compensation method based on excessive emission of pollutant flux[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2018, 36(4): 40-44. (in Chinese))
- [11] 张斌武, 康鸿博, 关秀翠. 基于虚拟水及营养学的水资源优化配置[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2017, 45(1): 30-35. (ZHANG Binwu, KANG Hongbo, GUAN Xiucui. Optimized allocation of water resources based on virtual water and nutrition[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2017, 45(1): 30-35. (in Chinese))
- [12] 雷波. 关于水资源市场配置的理论探讨: 从区域间的水权配置到区域内的水商品交易[J]. 中国农村水利水电, 2008(1): 16-19. (LEI Bo. Discussion on water resources market allocation theory[J]. China Rural Water and Hydropower, 2008(1): 16-19. (in Chinese))
- [13] 杜群飞. 当前排污权交易市场化机制的问题及对策研究[J]. 生态经济, 2015, 31(1): 103-108. (DU Qunfei. Research on problem and countermeasure of market mechanisms of emission trading[J]. Ecological Economy, 2015, 31(1): 103-108. (in Chinese))
- [14] 张郁. 基于排污权银行的太湖流域排污权交易模式探讨[J]. 水资源保护, 2009, 25(3): 72-75. (ZHANG Yu. Discussion on emission trading mode in Taihu Basin based on emission bank[J]. Water Resources Protection, 2009, 25(3): 72-75. (in Chinese))
- [15] 周林. 资源性资产的定价及交易问题研究[D]. 北京: 财政部财政科学研究所, 2013.
- [16] 于凤存, 王友贞, 袁先江, 等. 排水权概念的提出及基本特征初探[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(2): 134-137. (YU Fengcun, WANG Youzhen, YUAN Xianjiang, et al. Preliminary study on concept and its basic characteristics of flood drainage right[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2014, 33(2): 134-137. (in Chinese))
- [17] 王永, 燕少平. 城市排水与排涝计算研究[J]. 江淮水利科技, 2006(3): 15-17. (WANG Yong, YAN Shaoping. Research on urban drainage and urban waterlogging calculation[J]. Jianghuai Water Resources Science and Technology, 2006(3): 15-17. (in Chinese))
- [18] 韦雨婷, 逢勇, 罗缙, 等. 苏南运河对太湖主要入湖河流污染物通量的贡献率[J]. 水资源保护, 2015, 31(5): 42-46. (WEI Yuting, PANG Yong, LUO Jin, et al. Study on pollutant flux contribution rate of Sunan Canal to main inflow rivers of Taihu Lake[J]. Water Resources Protection, 2015, 31(5): 42-46. (in Chinese))
- [19] 张劲松. 局部洪涝或将成为防汛新常态[J]. 中国水利, 2015(21): 42-45. (ZHANG Jinsong. Local floods maybe will become the new normal of flood control[J]. China Water Resources, 2015(21): 42-45. (in Chinese))
- [20] 张春松. 2016 年江苏省防汛抗旱主要措施及启示[J]. 中国防汛抗旱, 2017, 27(1): 62-65. (ZHANG Chunsong. Main measures and enlightenment of flood control and drought relief in Jiangsu Province in 2016[J]. China Flood & Drought Management, 2017, 27(1): 62-65. (in Chinese))
- [21] 张劲松. 精准调度的实践与思考[J]. 江苏水利, 2016(11): 1-6. (ZHANG Jinsong. Practice and consideration for accurate and precise regulation[J]. Jiangsu Water Resources, 2016(11): 1-6. (in Chinese))
- [22] 朱智铭, 王倩, 符磊. 中国污水处理中碳排放的影子价格研究[J]. 水利经济, 2018, 36(6): 8-13. (ZHU Zhiming, WANG Qian, FU Lei. Shadow price of carbon emissions from wastewater treatment in China[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2018, 36(6): 8-13. (in Chinese))
- [23] 田贵良, 李晓雅. 我国水权交易价格机制的实践与改革动因[J]. 水利经济, 2018, 36(5): 36-41. (TIAN Guiliang, LI Xiaoya. Practices of price mechanism of water right trading in China and reasons for its reform[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2018, 36(5): 36-41. (in Chinese))
- (收稿日期: 2018-12-03 编辑: 彭桃英)