

江苏省武澄锡虞区水量调度方案研究

王桂风, 宋丽花, 李灿灿

(江苏省太湖水利规划设计研究院有限公司, 江苏 苏州 215128)

摘要: 根据武澄锡虞区特点及工程条件, 采用太湖流域河网水量水质耦合模型对引排方案进行计算, 以水质改善程度为依据, 河网水位、引排水量为次要评判因子, 确定“北控新沟专排”方案为该区域调水引流最优方案, 指出水环境改善的根本措施是对污染源的治理, 需加强面源污染和内源污染的控制与处理。

关键词: 引排调水; 水量调度; 水质模型

中图分类号: TV68 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2016) 10-0067-06

Study on water dispatching scheme of Wuchengxiyu region in Jiangsu

WANG Guifeng, SONG Lihua, LI Cancan

(Jiangsu Taihu Planning and Design Institute of Water Resources Co., Ltd, Suzhou 215128, Jiangsu)

Abstract: According to the characteristics of Wuchengxiyu region and engineering condition, the river water quantity and water quality coupling model in Taihu basin is used to calculate the drainage scheme. With the improvement of quality level as basis, and with river water level, drainage volume as main evaluation factors, to determine the "Northern Control Xingou River Discharge Scheme" as the optimal scheme for the drainage area of water diversion, and points out that as fundamental for improvement of water environment.

Key words: water diversion; water allocation; water quality model

0 引言

武澄锡虞地区是长江下游太湖流域北部的一片低洼平原, 北临长江, 依赖长江大堤抵御长江洪水, 南滨太湖, 依靠环太湖大堤阻挡太湖高水, 西部以武澄锡西控制线为界, 东部至望虞河东岸。区域内地形复杂, 地面高程不一, 内部以白屈港东控制线为界, 又分为武澄锡低片及澄锡虞高片。区域总面积约 3615km^2 (含沙洲自排区 416km^2), 水域面积约 248km^2 ^[1-2]。

武澄锡虞区雨水较充沛, 多年平均降雨量为 1050mm, 但降雨年际之间变化较大, 如江阴青阳站 1954 年全年降雨量达 1457mm, 而 1978 年全

年降雨量仅 553mm; 降雨年内分布也不均匀, 年内降水量主要集中在汛期 5 ~ 9 月份, 该段时期平均降雨量为 680mm, 约占多年平均降雨量的 65% 左右。武澄锡虞区北滨长江, 具有丰富、优质的过境水资源, 为太湖流域的水资源四级区, 区域多年平均实际总供水量 16.6亿 m^3 。目前区域水质型缺水现象较为突出, 境内用水量远大于本地水资源量, 主要靠调引长江水量和上下游重复利用弥补本地水资源量的不足, 7 ~ 8 月用水高峰期平原区因水田灌溉等大量取水, 沿江口门虽尽力引江, 但难以满足该时段的河道内、外用水要求, 引江能力明显不足^[3-4]。

收稿日期: 2016-04-20

作者简介: 王桂风 (1983-), 女, 硕士, 工程师, 主要从事水利规划等工作。

1 现状及存在问题

1.1 现状

由于建国初期水利基础设施薄弱,长期以来区域治理的主要任务是防洪保安,至目前初步建成的防洪工程体系虽然在供水方面也发挥了重要作用,但尚未形成系统的水资源统筹调度模式。目前,区域内水利工程按照属地管理的权限,均有各自的调度参照站,但主要是“蓄泄兼筹、以泄为主”的防洪调度方式,按照1999年国家防总批复的洪水调度方案,各地严格制定了所属水利工程的防洪调度预案,明确了所在地区的防洪警戒水位和超警戒水位以上的工程调度与洪水安排,对枯水期的水资源调度,则除了在流域水资源综合规划中进行了初步研究外,至今未形成统一、协调的调度目标体系,现有水利工程各自为政,按所在地的不同需求进行调度。

随着流域、区域河道引排能力的进一步拓展,从过去引水灌溉拓展为改善流域生态环境引水,河道沿线常水位抬高,地区正常水体流动困难,加之部分区域内河道沿线工业污染不断增多,受河道沿线污染物影响,各地区水质均有不同程度恶化,水环境问题成为越来越棘手的难题。因此,为了解决防洪除涝与水资源短缺间的矛盾,制定合理的调度方案显得尤为迫切。

1.2 存在问题

由于现状调度以及综合治理规划的调度只考虑引江水量的增加,所引的大部分水都是直接入运河和望虞河转而进入阳澄区,没有形成引排结合、有序流动的调度体系。现状的同引同排体系虽然在水量不足和洪水时期调度效果较好,但是在区域沿江口门关闭不引不排期间,由于该区属平原河网,河道流速缓慢,水体流动性能差,加上沿河污染源持续不断排放,水质变差,如长时间得不到长江水补充,该区尤其是无锡受城区污水排放影响,水质可达V类甚至劣V类水。目前武澄锡虞区的水资源问题不仅仅是量的问题,水环境恶化及水质型缺水已成为武澄锡虞区水资源棘手问题。而水环境改善关键是形成河网有序流动的循环体系,以提高区域水环境容量和增强河网水体流动性,提高水体的自净能力,达到改善水环境的目标。

2 技术研究手段

2.1 河网水流水质耦合模型

采用流域与区域防洪规划中常用且比较成熟的,由河海大学程文辉教授等研制开发的水文水动力学及与水质耦合的模型进行模拟计算,该模型经水利部及国家有关科技部门鉴定论证,认为是太湖流域可推行的水利计算模型。模型计算范围为整个太湖流域,面积36895 km²。计算整套模型分为降雨产汇流、河网动力模型及水质模型三部分。

2.1.1 降雨径流模型

降雨径流模型分为产流与汇流两部分。

(1) 产流模型。根据不同下垫面,分别计算水面、水田、旱地和城镇道路四类产水。水面产流为日降雨量与蒸发量之差;水田产流根据作物生长期的需水过程及水稻田适宜水深上、下限及耐淹水深等因素,逐日推求水田产流;旱地产流采用3层蒸发模型的三水源新安江蓄满产流模型;城镇道路产流分为透水层、具有填洼的不透水层和不具填洼的不透水层3种下垫面,由降雨采用不同的公式推求产流过程。

(2) 汇流模型。平原区的汇流计算,目前尚无成熟的理论和计算方法,在计算中假定日净雨按40%、40%、20%过程分配,分3天汇入河网。对于平原圩区还需考虑排涝模数的限制^[8]。

2.1.2 河网水动力模型

河网水流模型的主要任务是根据降雨径流模型提供的成果及废水负荷模型所提供的面和点的废水排放量,河网水质模型模拟成果(耦合计算),再加上流域内引、排水工程的作用,模拟河网中的水流运动,计算各断面的水位、流量。模型包括湖、荡等零维模型和河网一维模型。

其中河网一维非恒定流动基本方程组为圣维南方程组:

$$\begin{cases} B \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + gA \frac{|Q|Q}{K^2} = qV_x \end{cases}$$

式中:

q —旁侧入流;

Q 、 A 、 B 、 Z —分别为河道断面流量、过水面积、河宽和水位;

V_x —旁侧入流流速在水流方向上的分量, 一般可以近似为零;

K —流量模数, 反映河道的实际过流能力;

α —动量校正系数, 是反映河道断面流速分布均匀性的系数。

模型采用四点线性隐式格式进行离散求解。

2.1.3 水质模型

水质模型包括调蓄节点水质模型、河网水质模型和太湖二维水质模型, 本次计算为河网一维水质模型。水质模型与水量模型耦合联算, 采用控制体积法进行数值离散^[5-6]。

水质过程符合一阶动力反应式, 水质过程控制方程为:

$$\frac{\partial(AC)}{\partial t} + \frac{\partial(UAC)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AE_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{AS}{86400} + S_w$$

式中:

A —断面面积, m^2 ;

C —某种水质指标的浓度, mg/l ;

t —时间, s ;

E_x —纵向分散系数, m^2/s ;

U —断面平均流速, m/s ;

S —某种水质指标的生化反应项, $\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$;

S_w —某种水质指标的外部源汇项, g/s 。

其中 E_x 由下式求得:

$$E_x = \alpha_e C_0 \theta^2 q$$

式中:

α_e —系数, 取 0.01;

C_0 —谢才系数;

θ —断面宽深比;

q —断面平均单宽流量, m^3/s 。

2.2 计算年型和统计时段

根据 1956 ~ 2000 年资料分析, 2000 年是太湖流域的平水年, 流域、区域的年降雨量、沿江潮位保证率接近 50%, 降雨过程与多年平均相当, 基本能代表流域的平水年。研究武澄锡虞区通过现有水利工程进行调水引流以改善区域水环境进行计算的设计雨型拟采用流域平水年 2000 年实测雨量过程。

2.3 边界条件

为使本次研究成果尽早应用于区域调度实践, 结合有关规划及工程前期进展情况, 模型分

析计算的近期工况采用《太湖流域水环境综合治理总体方案》中确定的近期水平年(2012 年)流域、区域近期工程实施完成后的工况。模型中下垫面边界条件采用的是水资源综合规划中 2010 年预测的下垫面资料, 污染源边界条件采用的是 2005 年实际的污染源资料。

3 调度方案设计

按照常规调度不宜形成循环, 引江水基本都入运河和望虞河转而下泄到阳澄区, 即使增大引水量也不能改善水环境, 水质型缺水问题难以解决, 水环境恶化将会加重, 对社会经济发展及人民生活水平带来威胁。从“充分利用现有工程, 优化调度方案, 效益最大化”考虑, 并结合利用武澄锡虞区运北片河网临江滨河(运河), 有网有纲, 纵横交错、四通八达, 有着较强沿江引排能力的区位优势, 设想形成又引又排的中循环调水线路, 实现这种循环后, 一方面可以减轻下游地区接受本区的退水压力, 同时也可以为无锡市城区改善水环境提供更多引退水线路的选择。

在江苏省太湖地区调水改善水环境研究的基础上, 结合《无锡市城市防洪规划报告》中调水改善水环境研究成果和《引江济太武澄锡虞区(无锡市)区域调水实验》的实验成果, 研究以改善湖水环境质量为主要目标, 力求在污染源治理的基础上改善区域水环境形势。进一步提高沿江口门的管理调度水平, 有限提高地区控制水位, 增引一部分长江水, 增加排江水量, 形成区域内部或区域与区域之间的水体循环, 进一步改善区域水环境。本区域形成的调度方案具体见表 1。

表 1 武澄锡虞区运河以北不同循环线路设计特征表

方案简称	方案编号	方案特征
新沟、锡澄排	方案一	澡港、白屈港和十一圩港引, 新沟河、锡澄运河、张家港和走马塘排, 白屈港控制线全线敞开
	方案二	澡港、锡澄、白屈港和十一圩港引, 新沟河、张家港和走马塘排, 白屈港控制线敞开
北控新沟专排	方案三	澡港、锡澄、白屈港和十一圩港引, 新沟河、张家港和走马塘排, 白屈港控制线锡北运河以北控制

各方案形成定性研究如下:

(1) 方案一: 新沟、锡澄排方案。本方案新沟

河与锡澄运河联合排水可以有效降低锡澄运河沿程水位,有利于白屈港引江水部分流入锡北运河,转而从锡澄运河排入长江,形成河网有序流动循环线路,可改善锡澄运河沿线及周边地区水环境。张家港河道主要是航运需要,并且周边受两岸污染源的排放影响,水质较差,如果作为主要引水通道,会给下游区水环境带来威胁,因此考虑作为排水河道,在引水流量较小时作为引水河道。考虑到锡十一圩线沿线有5~6个小型水厂,推荐锡十一圩线作为引水河道,部分水通过张家港排入长江,部分水进入走马塘排入长江。

(2) 方案二:新沟专排方案。考虑锡澄运河沿线是武澄锡虞区地势最低的地方,两岸地面高程只有3~3.5m,东西两侧均为湖荡,白屈港引水时与锡澄运河宜形成水位差,大部分引江水通过枝杈河道进入锡澄运河,转而排入长江,若把锡澄运河作为排水通道,这种地理条件易形成短路循环,不利于白屈港引江水进入武澄锡虞区,导致河网水位偏低,水资源量不能得到满足,水环境不可能得到改善。因此在上一方案基础上考虑新沟河排水,锡澄运河引水。

(3) 方案三:北控新沟专排方案。该方案是在方案二基础上对白屈港控制线锡澄运河以北进行控制。增设控制一方面防止澄锡虞高片污水进入澄锡虞底片地势较低的锡澄运河地区,避免了对澄锡虞低片地区水环境改善带来反作用和新问题;另一方面,白屈港和锡澄运河联合引水能有效抬高无锡河网水位,相应张家港和走马塘同时排水形成水位差,有利于无锡污水随着水流进入九里伯渎地区,转并通过走马塘和张家港排入长江,也有利于澄锡虞高片的污水通过张家港和走马塘排入长江,充分发挥走马塘延伸拓浚工程作为望虞河西岸地区排涝水兼改善水环境的工程效益。

4 调度方案对比研究

目前,江苏省武澄锡虞区调度控制线主要有:沿江、环太湖、武澄锡西控制线以及望虞河西岸控制线。该区以满足水资源供给和改善水环境并重,存在独立调水的可能。不同的调水循环线路和调度水位对水资源、水环境以及防洪等影响程度不一。为此,需对以上提出的三种方案和基础方

案通过河网水量、水质模型模拟成果进行深入的研究和对比分析,最终提出基于优化配置的水量调度方案。

通过太湖流域水量水质耦合模型计算,在2015年规划工况下不同调度方案遇1976年型(中等干旱年)区域河网水位、水量及水质。水位、进出水量成果如表2,水质成果如表3。

(1) 方案一虽然引江水量大幅增加,但是在白屈港引水时,江水由东西向各枝杈河道向张家港、新沟河流失,出现循环短路;另外,在新沟河、锡澄运河排水联合排水时,虽然降低了锡澄运河沿程水位使污水易排入长江,但是造成了水量的进一步流失,导致河网整体水位偏低,比常规方案河网平均水位降低了0.11m。根据《地面水环境质量标准》,武澄锡虞区大部分河道COD浓度为20~30mg/L,处于Ⅳ类水,只有梅村及九里伯渎地区处于Ⅴ类水。而 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度多数河道高于2mg/L,整体处于劣Ⅴ类水,无锡城区,无锡梅村及九里伯渎地区的河道 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度相对其他地区河道高出2倍,是严重污染地区。“新沟、锡澄排”方案增加了走马塘排水通道,并且新沟、锡澄运河联合排水有利于降低水位形成水位差,进而形成水体循环线路,但是各个河道断面的COD及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度相对现状调度都没有降低,水体没有得到改善。

(2) 方案二与常规调度的最低和平均水位相差不大,引江水量增加了1.6亿 m^3 ,而排江水量增加了22.95亿 m^3 ,排水量大幅度增加并没有导致河网水位降低,说明该方案在本区形成了循环,但随着新沟河作为排水通道并形成水体循环流动体系后,该河道两岸的水环境也明显变差,说明实行本方案时水质有恶化趋势。原因在于新沟河作为排水河道排出的污染物有限,大部分污染物还是滞留在该地区,导致水质指标有所上升。

(3) 方案三是在方案二基础上对白屈港控制线锡澄运河以北进行控制,水质改善效果较明显,由于白屈港控制线进行控制,大部分污水通过走马塘排入长江,该区从西岸入望虞河水量较前两个调度方案及常规调度有大幅度的降低,充分体现了走马塘工程实施对西岸地区污水的排出起到了极其重要的作用。本方案形成了循环且各断面水质状况均有所改善,即使在水环境最为严重的九里伯渎地区也形成了水体流动。

表 2 不同调度方案水位、水量成果表

项目	常规调度						方案一	方案二	方案三
	1971 年型		1976 年型		1990 年型		1976 年型		
	计算	实测	计算	实测	计算	实测			
平均值 /m	3.16	2.89	3.20	3.04	3.27	3.29	3.09	3.15	3.17
最低 /m	2.91	2.58	2.93	2.61	3.00	2.88	2.85	2.90	2.93
最高 /m	3.90	4.02	3.59	3.72	4.10	4.27	3.53	3.59	3.61
武澄锡引江 / 亿 m ³	37.71		33.48		19.40		43.03	35.07	31.11
武澄锡排江 / 亿 m ³	1.57		0.75		3.01		23.08	23.70	21.92
入运河 / 亿 m ³	11.41		11.75		11.87		5.53	7.72	9.32
西岸入望虞河 / 亿 m ³	30.33		30.72		28.61		24.72	20.23	17.51
武澄锡入太湖 / 亿 m ³	0.35		0.24		0.21		0.21	0.21	0.21
太湖入武澄锡 / 亿 m ³	0.40		0.29		1.16		0.59	0.31	0.29

表 3 不同调度方案主要断面 COD、NH₃-N 平均浓度表

测站断面	1976 年型							
	常规 调度	方案一	方案二	方案三	常规 调度	方案一	方案二	方案三
	COD 浓度（mg/L）				NH ₃ -N 浓度（mg/L）			
安城镇安家桥	19.26	19.25	25.41	19.17	0.77	0.76	2.05	0.70
焦溪镇查家桥	20.05	20.46	25.59	20.95	1.59	1.32	3.18	1.83
龙虎塘镇西湖塘桥	23.32	23.80	27.04	22.32	2.44	2.71	3.31	2.01
小青阳桥	22.14	20.62	26.47	21.58	1.85	1.42	1.96	1.55
151# 桥	25.51	24.99	22.53	24.88	2.94	2.87	2.09	2.68
梅村大桥	32.84	33.44	34.54	31.90	4.16	4.36	2.83	3.98
常州市水门桥	23.47	23.44	32.54	22.61	2.30	2.28	4.20	2.02
常州市新市街	20.08	20.07	18.71	19.81	1.59	1.57	1.80	1.44
无锡计算	27.17	26.51	28.15	26.41	3.43	3.37	1.76	3.25
九里伯渎	30.91	31.81	31.02	29.34	4.80	4.70	4.50	4.33
平均值	24.47	24.44	27.20	23.90	2.59	2.54	2.77	2.38

武澄锡虞区水资源调度以调水改善水环境为主要目的，故本次方案选择关键以水质改善程度为依据，以河网水位、引排水量为次要评判因子。在上述方案中，只有方案三因白屈港控制线锡澄运河以北进行控制，避免澄锡虞高片污水进入武澄锡低片地势较低的锡澄运河地区，才使该区水环境改善明显，同时河网整体水位较其他两个方案有所抬高，从侧面反映水环境有所改善。因此，方案三实现了调水循环线路且各断面水质改善明显，故将本方案作为推荐方案。

5 结论

(1) 根据武澄锡虞区特点及工程条件，区域水

资源优化配置需通过完善水资源调控工程体系、科学调度水利工程、调整水源地布局、加强水污染防治和强化水资源保护等综合措施共同实现。其中，流域水利工程的科学调度是实现水资源优化配置的重要手段，在当前污染源治理任务复杂、治理周期长等严峻形势下，充分发挥现有水利工程的合理调度对优化水资源配置和水环境综合治理的作用是一项科学合理的重要手段。

(2) 从“充分利用现有工程，优化调度方案，效益最大化”考虑，针对武澄锡虞区运北片河网临江滨河(运河)，有网有纲，纵横交错、四通八达，并有着较强沿江引排能力的区位优势，结合区域和城市防洪工程，形成又引又排的河网水体流动

