

引清调度双向泵站设置的论证方法探讨

李学峰¹ 赵立明²

(1. 上海市水务规划设计研究院, 上海 200232; 2. 上海市水务局, 上海 200003)

摘要 :以上海市淀北片的龙华港泵站为例,在构建淀北片的水动力模型和水质模型的基础上,通过组合多个引清调度方案,从引排水量、水质改善、对周边区域的影响等多角度多层面反映双向泵站对改善水环境的效果与作用,从而探讨双向泵站的论证方法。

关键词 :引清调度;双向泵站;论证方法

中图分类号 :TV213.4 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2008)S1-0098-04

1 问题的提出

上海市属平原感潮河网地区,水利控制分片内的河道水动力不足,利用潮汐动力进行引清调度来改善水质是较为普遍和有效的做法。近年来,实践中常在除涝泵站的基础上增加逆向引水功能(常称双向泵站),以加大引水力度,增强引清调度的效果。双向泵站的规模一般根据除涝规划需求确定,有比较成熟的研究论证理论和方法。但对需设置引水功能的泵站的论证,包括必要性、规模等,以前大多采用定性或仅水量定量分析,缺乏较可行的论证方法,决策时显得依据不足。

2 研究的技术手段

作为群体工程中的单体工程,龙华港泵站的基本功能是除涝排水,设计规模为 $90 \text{ m}^3/\text{s}$ 。龙华港泵站在引清调度中的效果需通过淀北片的整体分析研究予以体现。构建淀北片的水动力模型和水质模型,并根据最新的水量水质资料进行率定。

2.1 一维水动力模型

一维水动力模型基本方程采用圣维南方程组,数值离散方程采用成熟的 Preismann 4 点隐式格式进行离散,联立方程求解。

一维明渠非恒定流 Saint-Venant 方程组:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial x} + B_w \frac{\partial Z}{\partial t} &= q \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + 2u \frac{\partial Q}{\partial x} + (gA - Bu^2) \frac{\partial Z}{\partial x} - \\ u^2 \frac{\partial A}{\partial x} + g \frac{n^2 |u| Q}{R^{4/3}} &= 0 \end{aligned}$$

式中: t 为时间坐标; x 为空间坐标; Q 为流量; Z 为水位; u 为断面平均流速; n 为糙率; A 为过流断面面积; B 为主流断面宽度; R 为水力半径; q 为旁侧入流流量。 B_w 为水面宽度(包括主流宽度 B 及仅起调蓄作用的附加宽度)。

2.2 一维水质模型

2.2.1 水质模型基本方程

采用物质输移的对流扩散方程,数值离散方程也采用成熟的 Preismann 4 点隐式格式进行离散,联立方程求解。

水质基本方程:

$$\begin{aligned} \frac{\partial (AC)}{\partial t} + \frac{\partial (AuC)}{\partial x} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(AE_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) - \\ KAC + S_r \frac{A}{h} + S & \end{aligned}$$

式中: C 为污染物质的断面平均浓度; E_x 为纵向分散系数; S 为污染物质排放量; K 为污染物降解系数; S_r 为底泥释放系数; h 为水深。

2.2.2 模型污染源数据库建立

污染源数据库是水质模型模拟计算的关键资料,污染源资料的翔实度和可靠度直接影响水质模型的预测预报精度。根据上海市污染源调查资料,将有明确排放去向的工业点源、规模较大生活点源和污水处理厂按其排放去向排入河,无明确排放去向的,按就近入河方式排放,面源则根据受纳的相应污染负荷按河段长度分摊排入河道。

3 泵站所在水利片概况

3.1 水利概况

上海市水利治理的总体格局是实行水利分片综

合治理,淀北片是一个相对独立的片段,北、东、南3面分别临苏州河、黄浦江、淀浦河,西面与青松大控制片相邻,片内涉及的主要行政区域有徐汇、闵行、长宁3区。外围水闸控制工程已全部建成,规划除涝泵站流量为 $301.4\text{ m}^3/\text{s}$ 。正在兴建的沿苏州河的北横泾泵站($30\text{ m}^3/\text{s}$)和北新泾泵站($20\text{ m}^3/\text{s}$)为双向泵站,沿淀浦河规划待建 $40\text{ m}^3/\text{s}$ 的引清泵站,龙华港除涝泵站规划规模 $90\text{ m}^3/\text{s}$ 。淀北片引清调度规划总体方案为从苏州河、淀浦河引水,排水方向是黄浦江(图1)。

3.2 水环境现状

根据“2006年度上海市河道水质状况专报”(上海市环境监测中心)的数据^[2],淀北片内水质较差,整体劣于V类。就各行政区而言,片内的闵行区水质相对最好,长宁区次之,徐汇区最差。徐汇区内河道污染负荷较重且相对集中,龙华污水处理厂约 $10\text{万 m}^3/\text{d}$ 处理尾水排入龙华港,约 $9380\text{ m}^3/\text{d}$ 污水排入蒲汇塘(徐汇区内)。

根据相关资料,周边河道水质优于淀北片的主要有北边的苏州河、东面的黄浦江和南面的淀浦河,黄浦江水质相对最好。

淀北片内城市化程度较高,对水环境质量改善期待迫切。水质改善的根本措施是进行污染源的控制与治理,但在短期内难以有突破性的进展,因此进行引清调度来改善水质是现阶段较可行的办法。有关部门设想在龙华港除涝泵站上增加双向功能,以加大东引黄浦江水力度。

4 引清调度方案组合及效果分析

4.1 方案组合

引清调度方案中首先要明确引水、排水口门。

4.1.1 引水口门

苏州河、黄浦江、淀浦河3条河均可作为引水水源。沿河各口门可作为引水口门。

根据龙华港泵站工程可行性报告的初步成果,龙华港规划排涝泵站规模为 $90\text{ m}^3/\text{s}$,共布置4台同规模的水泵,每台流量为 $22.5\text{ m}^3/\text{s}$ 。本次研究考虑1台或2台泵站增加双向功能,即 $22.5\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $45\text{ m}^3/\text{s}$ 2个规模。

4.1.2 排水口门

因水资源调度时限制向苏州河排水,因此只能向黄浦江、淀浦河(闸下段)排水,主要排水口门为龙华港、张家塘港及淀浦河闸下段各口门。

4.1.3 引清调度方案

因淀北片引排口门较多,方案组合比较复杂,为便于研究和着重分析龙华港泵站的效益,归纳了5个较典型的调度方案。

方案1:龙华港双向泵站 $22.5\text{ m}^3/\text{s}$ 东引,张家塘港排,苏州河不引,北横泾南及南新泾有引有排。

方案2:龙华港双向泵站 $45\text{ m}^3/\text{s}$ 东引,张家塘港排,苏州河不引,北横泾南及南新泾有引有排。

方案3:龙华港双向泵站 $22.5\text{ m}^3/\text{s}$ 东引,张家塘港排,北横泾北及北新泾引,北横泾南及南新泾有引有排。

方案4:龙华港双向泵站 $45\text{ m}^3/\text{s}$ 东引,张家塘港排,北横泾北及北新泾引,北横泾南及南新泾有引

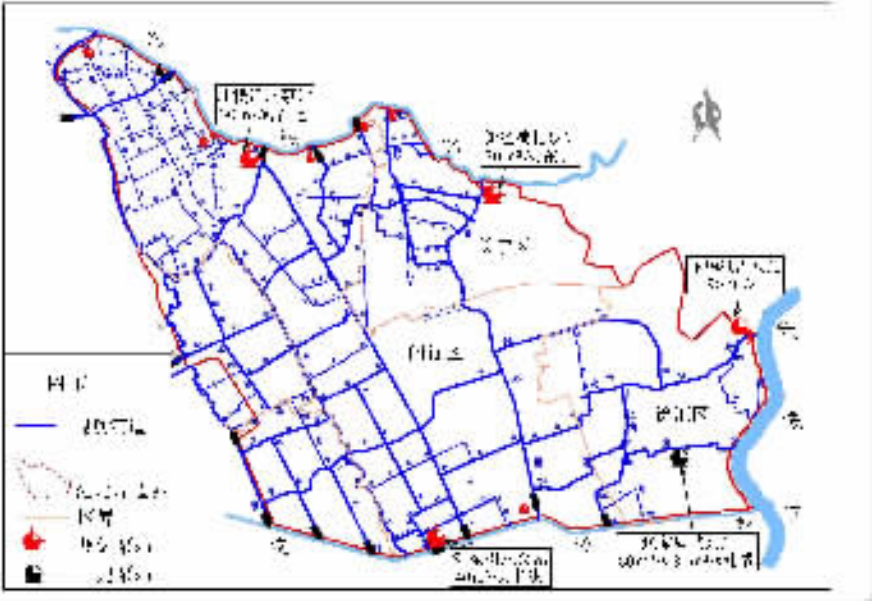


图1 淀北片规划河道及外围工程示意图

有排。

方案 5 即淀北片总体调度方案 北横泾北及北新泾引苏州河 规划淀东泵站引 龙华港及张家塘港排。

各方案组合详见表 1。

4.2 调度效果及分析

4.2.1 水量计算及分析

总引水量与引清调度的效果总体上呈正比关系 ,一般而言 ,总引水量越大 ,水资源调度的效果相对越好 ,见表 2。

由表 2 ,可以得出以下结论。

a. 总引水量大小排序依次为方案 4 ,方案 5 ,方案 3 ,方案 2 ,方案 1。方案 4 与方案 5 的总引水量明显大于其他方案。

b. 在北引苏州河的同等条件下 ,双向泵站 45 m³/s 的总引水量比 22.5 m³/s 多 30%。

c. 在龙华港双向泵站同等规模的情况下 ,北引苏州河的总引水量超过不北引苏州河的 1 倍以上。

4.2.2 水质计算及分析

根据近年的水质监测资料分析 ,在淀北片常规水质指标中 ,NH₃-N 超标最严重 ,以 NH₃-N 指标作为代表进行分析比较。

假定污染源均保持现状不变 ,污染负荷入河在时间上是均匀的。分别采用方案 1 ~ 5 进行水资源调度 ,水质基本稳定后 ,效果如下。

采用方案 1 调度方式 ,徐汇的东部、南部地区及闵行的南部地区的水质改善较明显 ,NH₃-N 的质量浓度在 2.0 ~ 6.0 mg/L 之间 ,超标倍数为 1 ~ 2 倍 ,淀北片腹部地区最差 ,超标倍数为 2 ~ 3 倍。相对于现状 ,徐汇区内的河道水质得到了不同程度改善 ,但闵行区大部分地区 and 长宁区水质几乎没有改善。

采用方案 2 调度方式 ,淀北片内的徐汇绝大多

数河道及闵行的东、南部地区的水质改善较明显 ,NH₃-N 的质量浓度在 2.0 ~ 6.0 mg/L 之间 ,超标倍数为 1 ~ 2 倍 ,淀北片腹部地区水质最差 ,超标倍数为 2 ~ 3 倍。与方案 1 相比 ,龙华港引水泵站流量加大后 ,徐汇区河道水质改善的速度加快 ,改善效果更明显 ,闵行局部地区和长宁的局部地区的水质也得到一定程度改善 ,淀北片腹部地区浓度较高的河道明显降低。

采用方案 3 调度方式 ,由于苏州河沿线引入了部分水量 ,淀北片大部分河道水质都有一定程度改善 ,淀北片大部分河段的 NH₃-N 的质量质量浓度在 4.0 ~ 6.0 mg/L 之间 ,超标倍数为 1 ~ 2 倍 ,蒲汇塘、东上澳塘及周边部分河段水质较差 ,超标倍数为 2 ~ 3 倍。与苏州河不引水的方案 1 相比 ,徐汇区河道水质改善的速度和程度相差不大 ,但闵行和长宁区的整体水质得到了明显的改善。

采用方案 4 调度方式 ,淀北片大部分河道水质都有一定程度改善 ,淀北片绝大部分河段的 NH₃-N 的质量浓度在 4.0 ~ 6.0 mg/L 之间 ,超标倍数为 1 ~ 2 倍。与方案 3 相比 ,龙华港引水泵站流量加大后 ,徐汇区河道水质改善的速度加快 ,改善效果更明显 ;整个淀北片水质趋于一致。

采用方案 5 调度方式 ,由于淀浦河淀东闸上游的水质较好 ,因此 ,淀北片南部地区水质改善程度最大 ,NH₃-N 的质量浓度基本在 2.0 ~ 4.0 mg/L 之间 ,超标倍数小于 1 倍 ,徐汇北部、闵行北部及长宁大部分河道 NH₃-N 浓度在 4.0 ~ 6.0 mg/L 之间 ,超标倍数为 1 ~ 2 倍。与方案 4 相比 ,淀北片水质均有不同程度的改善 ,其中徐汇区南部和闵行南部地区水质改善更为明显。但由于该方案中龙华港为排水口

表 1 方案组合情况

方案	参加计算的主要泵闸									
	龙华港泵闸		张家塘港泵闸		北横泾北泵闸		北新泾泵闸		南新泾泵闸	
	12 m 闸	90 m ³ /s	8 m 闸	30 m ³ /s	8 m 闸	30 m ³ /s	8 m 闸	20 m ³ /s	8 m 闸	10 m ³ /s
1	引	22.5 m ³ /s 引	排						涨潮引落潮排	涨潮引落潮排
2	引	45.0 m ³ /s 引	排						涨潮引落潮排	涨潮引落潮排
3	引	22.5 m ³ /s 引	排		引	引	引	引	涨潮引落潮排	涨潮引落潮排
4	引	45.0 m ³ /s 引	排		引	引	引	引	涨潮引落潮排	涨潮引落潮排
5	排		排		引	引	引	引	淀浦河闸上段引 40 m ³ /s	

表 2 水量演算结果汇总

方案号	龙华港泵闸	张家塘港泵闸	北横泾北泵闸	北新泾泵闸	南新泾泵闸	北横泾南闸	总引水量	总排水量
1	635	- 304	0	0	- 322	- 10	635	- 636
2	1 174	- 420	0	0	- 553	- 168	1 174	- 1 141
3	615	- 579	856	610	- 742	- 618	2 081	- 1 939
4	1 167	- 749	854	606	- 938	- 784	2 628	- 2 470
5	- 1 534	- 976	670	440	40	21	2 528	- 2 610

注 :1. 水量中正值代表引水量 ,负值表示排水量。2. 方案 5 中规划淀东泵站引水 1 418 万 m³。

门 苏州河沿线口门从苏州河引入部分水量经长宁和闵行区后 ,需通过蒲汇塘 ~ 龙华港过境徐汇区排入黄浦江 ,因此 ,龙华港的水质要略差于方案 4。

前面分析了各方案水质稳定后的改善效果 ,现选择 2 个断面分析水质浓度变化的时间过程 ,详见图 2、图 3。

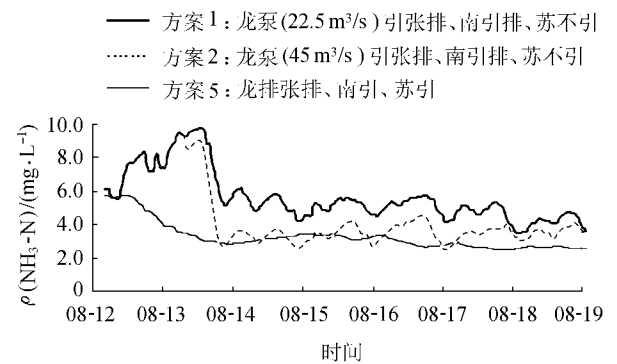


图 2 漕河泾港徐汇闵行区界处 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度变化示意图

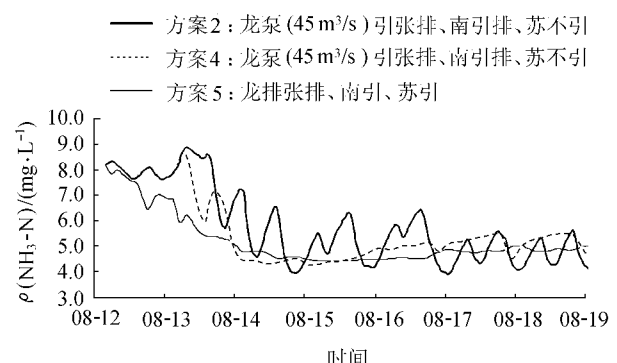


图 3 新泾港闵行长宁区界处 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度变化示意图

由图 2 可知 ,对靠近徐汇区的闵行区河道 ,利用龙华港双向泵站引水的前阶段(约 1 天半)水质将较现状呈下降趋势 ,但在后阶段水质明显改善 ;从改善水质的程度看 ,双向泵站 $45\text{ m}^3/\text{s}$ 要好于 $22.5\text{ m}^3/\text{s}$;按规划方案实施调度(即方案 5) ,调水的前阶段不出现水质恶化的情况 ,且水质改善十分稳定。从图 3 可以看出 ,长宁闵行两区交界处(新泾港)的水质 ,当利用龙华港双向泵站东引时 ,若不北引苏州河水 ,水质极不稳定 ,北引后 ,水质改善效果较好且比较稳定。

4.3 综合分析

- a. 利用龙华港双向泵站实施东引调度 ,徐汇区内河道水质改善范围、速度和程度要好于淀北片规划总体调度方案 ,但在调水的前阶段会造成闵行、长宁区局部地区水环境质量下降。
- b. 龙华港双向泵站规模 ,在改善水质的范围、速度及程度上 $45\text{ m}^3/\text{s}$ 要优于 $22.5\text{ m}^3/\text{s}$ 。
- c. 在现状污染负荷分布和引水水源水质的情况下 ,实施淀北片总体引水调度 ,对淀北片整体水质改善效果最好 ,也能明显改善徐汇区内的河道水质 ,

且区界矛盾相对较少。

5 结论与建议

- a. 污染源的控制与治理是改善水环境的根本措施 ,在现有污染状况下 ,利用水利工程(包括双向泵站)进行引清调度 ,对改善平原河网地区的水环境有较好的促进作用。
- b. 在对双向泵站的必要性与可行性论证时 ,既要进行水量的定量分析 ,更应进行水质的定量分析。
- c. 应注意对行政区域边界水质的变化过程进行分析。一般而言 ,引清调度所影响的往往不是一个行政区 ,各行政区的现状水质存在差异 ,若在前期研究阶段不加以重视 ,在实际操作中易导致水事纠纷。
- d. 引清调度中双向泵站有利有弊 ,既有总体影响 ,又有局部影响 ,因此应深入分析、仔细权衡、慎重决策。

参考文献 :

[1] 阮仁良.平原河网地区水资源调度改善水质的理论与实践[M].北京:中国水利水电出版社,2006.
[2] 上海市防汛指挥部办公室.上海市城市防洪排水规划汇编[G].上海:上海市防汛站指挥部办公室,1999.
[3] 上海市水文总站.2006 年度上海市河道水质状况专报[R].上海:上海市水文总站,2007.
[4] 徐汇区建设和交通委员会,同济大学.徐汇区污染源调查报告[R].上海:徐汇区建设与交通委员会,同济大学,2005.

(收稿日期 2008-07-01 编辑 徐娟)

