第 24 卷第 6 期　　水　资　源　保　护　　Vol.24 No.6
2008 年 11 月　　WATER RESOURCES PROTECTION　　Nov. 2008

入太湖河道水质达标研究——以无锡新区伯渎港为例

程　炜,刘　洋,孙卫红,崔云霞

(江苏省环境科学研究院,江苏 南京　210036)

摘要 利用河网区非稳态水量、水质数学模型及水文、水质、污染源同步观测资料,推求了河道糙率及水质降解系数。通过建立的河网模型计算了不同水质、水量及污染源条件下伯渎港河 COD、氨氮水质浓度,对伯渎港河的水质达标性进行了研究,提出了使水质达标的工程措施。研究表明,边界水质条件对伯渎港水质达标影响很大,要根治水环境,必须从源头抓起,进行截污。

关键词 河网;伯渎港;水量水质模型;水质达标分析

中图分类号:X524　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1004-6933(2008)06-0043-03

Water quality of inflow river channels of Taihu Lake: A case study on Bodugang River in Wuxi New District

CHENG Wei, LIU Yang, SUN Wei-hong, CUI Yun-xia

(*Jiangsu Provincial Academy of Environmental Science*, *Nanjing* 210098, *China*)

Abstract: A non-steady state water quantity and water quality model for river networks and synchronous hydrology, water quality and pollution source monitoring data were used to determine the roughness and water quality degradation parameters of rivers. With the calculation of the concentrations of COD and ammonia nitrogen under different hydrological and pollution source conditions, water quality in the Bodugang River is analyzed and suitable pollution control measures are provided. It can be concluded that the boundary conditions of water quality have significant impact on the water quality of the Bodugang River. The method to improve the water environment is to cut down the pollution sources.

Key words: river network; the Bodugang River; hydraulic and water quality numerical models; water quality analysis

无锡新区位于无锡市东南部,位置见图 1。伯渎港河是新区境内一条重要河道,具有防洪、灌溉、供水、旅游、景观等多项功能,同时也是沟通无锡市区古运河与东部望虞河的主要通道。伯渎港及其周边河道现状污染源 COD 入河量达 2 552.2 t/a,远大于其水环境容量 1 740.2 t/a。2006～2007 年的常规监测资料表明,伯渎港总体上水质污染比较严重,水体已不能满足Ⅳ类功能水体的要求,污染因子主要是 COD、氨氮和总磷。同时,太湖地区河道多为往复流动,在此水量条件下形成了更为复杂的水质条件[1]。伯渎港河通过周边河道入太湖,其水质的好坏直接关系到无锡新区污染物入湖通量大小,所以伯渎港河水环境的改善对减轻太湖污染负荷有着重要意义。研究区域监测断面见图 1。

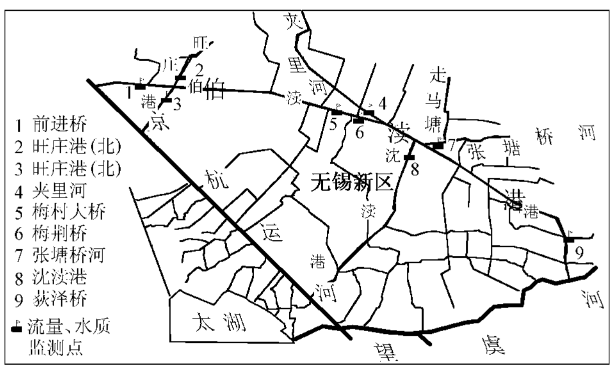


图 1　研究区域水文水质监测断面

作者简介:程炜(1971—),男,江西上饶人,高级工程师,从事水环境规划与评价工作。E-mail:huanjing_cwy@126.com

1 研究区域水环境数学模型建立

1.1 河网水量数学模型

描述河网一维非恒定水流运动的基本方程为圣维南方程组

$$\begin{cases}\dfrac{\partial Q}{\partial x}+B_{\mathrm{T}}\dfrac{\partial Z}{\partial t}=q \\ \dfrac{\partial Q}{\partial t}+\dfrac{\partial}{\partial x}\left(\dfrac{Q^2}{A}\right)+gA\dfrac{\partial Z}{\partial x}+gA\dfrac{Q|Q|}{K^2}+\dfrac{Q}{A}q=0\end{cases} \tag{1}$$

式中：Z 为水位；Q 为流量；K 为流量模数；q 为单位河长旁侧入流；A 为主槽过水断面面积；g 为重力加速度；x 为沿水流方向距离；t 为时间；B_{T} 为调蓄宽度，指包括滩地在内的全部河宽。采用 Preissman 四点隐式差分格式离散方程组。

1.2 河网水质数学模型

河网对流传输移动问题的基本方程表达为：

$$\frac{\partial(AC)}{\partial t}+\frac{\partial(QC)}{\partial x}-\frac{\partial}{\partial x}\left(AE_x\frac{\partial C}{\partial x}\right)+S_c-S=0 \tag{2}$$

式中：Q、Z 分别为流量及水位；A 为河道面积；E_x 为纵向分散系数；C 为水流输送的物质浓度；S_c 为与输送物质浓度有关的衰减项（如 $S_c=K_dAC$，其中 K_d 为衰减因子）；S 为外部的源或汇项[2-3]。对时间项采用向前差分，对流项采用上风格式，扩散项采用中心差分格式[4]。

1.3 水环境数学模型率定

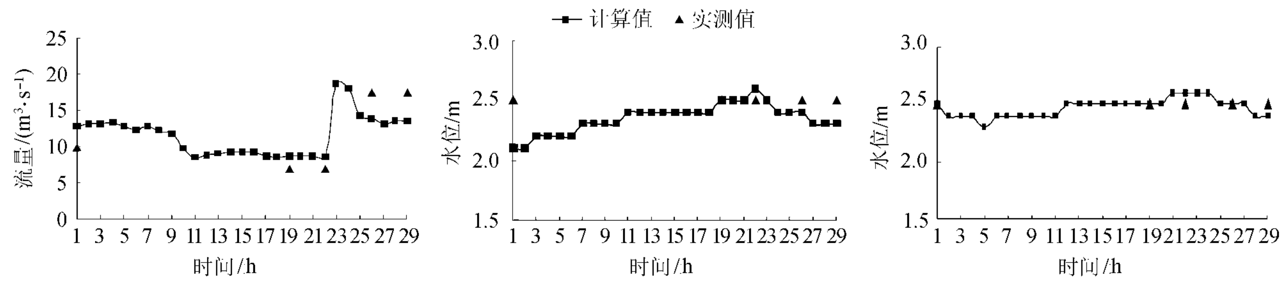
2007 年 8 月 26 日～27 日在新区进行了原型调水实验，主要监测项目为水位、流量及水质（COD、氨氮）。共设置监测断面 9 个，监测点位置见图 1。每 3 h 测 1 次水位、流量和水质。

1.3.1 水量模型参数率定

利用实测水文数据进行率定，水量率定结果见图 2，由图可知实测值与计算值吻合较好，只有梅村大桥断面初始时刻水位值偏离较大，这是由于模型计算初始状还未完全稳定产生的。分析得河道糙率系数值范围为 0.01～0.03，水量模型计算的边界条件为前进桥、旺庄港（北）、旺庄港（南）、夹里河、沈渎港、张塘桥河、荻泽桥断面。

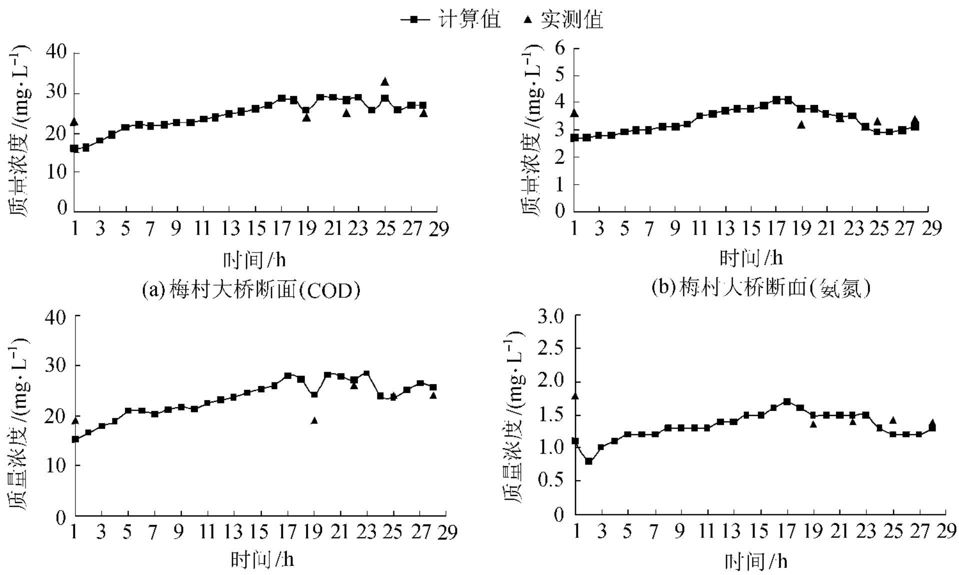
1.3.2 水质模型参数率定

根据式（2），利用评价区域（图 1）2007 年 8 月 26～27 日的实测同步水文、水质和污染源资料，得到了梅村大桥与梅荆桥 COD、氨氮计算值与实测值的对比结果，如图 3 所示。率定得到的 COD 降解系数为 0.08～0.15/d，NH_3-N 降解系数为 0.08～0.2/d。



(a) 梅村大桥断面（流量） (b) 梅村大桥断面（水位） (c) 梅荆桥断面（水位）

图 2 水量模型计算值和实测值对比



(a) 梅村大桥断面（COD） (b) 梅村大桥断面（氨氮）

(c) 梅荆桥断面（COD） (d) 梅荆桥断面（氨氮）

图 3 水质模型计算值和实测值对比

2　计算条件及计算方案的确定

2.1　计算条件

a. 水流条件。选用太湖流域丹阳、茅东、赵村、溧阳、宜兴、常州、陈墅等 40 个雨量站 1954～2005 年共 52 a 的年降水量资料，进行频率分析，得 90% 保证率的典型年为 1971 年。由于太湖流域 2007 年水文资料比较接近 1971 年水文条件[5]，所以选用 1971 年作太湖流域大型河网模型水文设计条件，应用建立的太湖流域大型河网模型确定研究区域水文设计条件。

b. 水质条件。根据 2007 年常规监测资料及原型实验监测数据，取边界现状水质条件为 $\rho(\mathrm{COD})=40\sim60\ \mathrm{mg/L}$，$\rho(\mathrm{NH_3\text{-}N})=4\sim12\ \mathrm{mg/L}$。功能区水质根据《江苏省地表水(环境)功能区划》中相应的功能区划取值。对于《江苏省地表水(环境)功能区划》中没有规定的河流按Ⅲ类功能区标准执行。

c. 污染源条件。现状污染源中，工业污染源根据企业排污申报资料确定，生活、农业面源、畜禽养殖污染源根据调查的人口数、耕地面积、畜禽养殖规模，由排污系数法计算得到。

2.2　计算方案

现有梅村污水处理厂部分尾水通过支流最终排入伯渎港，该污水处理厂现状规模 3 万 $\mathrm{m^3/d}$，最终规模 16 万 $\mathrm{m^3/d}$；走马塘作为望虞河西岸地区连通南北向长江排水的重要通道，规划拓浚延伸与沈渎港打通，是行洪排涝、排污的重要工程措施，与伯渎港平交后，通过建立的河网模型计算出与伯渎港的水量水质交换情况。综合考虑不同边界水质条件、不同污染负荷以及不同污水处理厂规模对伯渎港河水质的影响，选定以下 4 个论证方案，见表 1。

表 1　伯渎港河水质达标性论证方案

<table>
<tr><th>方案</th><th>水质条件</th><th>边界水量</th><th>梅村污水处理厂规模/(万 m³·d⁻¹)</th><th>研究区域污染物排放情况</th></tr>
<tr><td rowspan="3">1</td><td rowspan="3">现状水质</td><td rowspan="6">太湖流域 90% 保证率计算得到的水位、流量提供研究区域的河流边界</td><td>0</td><td rowspan="3">点源全部进污水处理厂</td></tr>
<tr><td>3</td></tr>
<tr><td>5</td></tr>
<tr><td rowspan="3">2</td><td rowspan="3">功能区水质</td><td>3</td><td rowspan="9">生活污染源 20% 排入水体，工业污染源全部进污水处理厂</td></tr>
<tr><td>5</td></tr>
<tr><td>16</td></tr>
<tr><td rowspan="3">3</td><td rowspan="3">功能区水质</td><td rowspan="3">望虞河引水后进入伯渎港(8 m³/s)</td><td>3</td></tr>
<tr><td>5</td></tr>
<tr><td>16</td></tr>
<tr><td rowspan="3">4</td><td rowspan="3">功能区水质</td><td rowspan="3">望虞河引水后进入伯渎港(8 m³/s)；走马塘与伯渎港平交，排水 28 m³/s</td><td>3</td></tr>
<tr><td>5</td></tr>
<tr><td>16</td></tr>
</table>

3　水质达标性分析

3.1　计算结果分析

不同方案下伯渎港河各断面水质质量浓度见表 2。

表 2　不同方案下断面水质浓度

方案	$\rho(\mathrm{COD})$/($\mathrm{mg\cdot L^{-1}}$)	$\rho(\mathrm{NH_3\text{-}N})$/($\mathrm{mg\cdot L^{-1}}$)	备注
1	56.07～57.55	7.57～8.02	超标
2	33.01～40.05	1.89～2.76	超标
3	20.67～22.38	1.22～1.30	达标
4	21.62～31.51	1.26～1.81	走马塘西侧断面超标

a. 方案 1。现状边界水质条件下，即使无外源污染负荷，伯渎港河各断面水质仍超标，达不到地表水环境质量Ⅳ类水质标准，表明外部边界条件对伯渎港水质影响很大。

b. 方案 2。当边界水质达功能区要求，工业点源全部截污、生活污水截污率达 80% 时，伯渎港河各断面水质得到很大改善，辅以河道清淤、生态工程等治理措施[5]，伯渎港河水质基本可达到地表水环境质量Ⅳ类水质标准。

c. 方案 3。通过望虞河引水，伯渎港河各断面水质满足地表水环境质量Ⅳ类水质标准，表明引水在短期内对改善伯渎港水质有很好的效果。

d. 方案 4。在望虞河引水情况下，走马塘作为排水通道，走马塘东边各断面水质满足地表水环境质量Ⅳ类水质标准；走马塘西边各断面水质基本在Ⅳ～Ⅴ类之间，表明走马塘的开挖建成对伯渎港河水质达标有较大影响。

3.2　水质达标性工程措施分析

a. 由于外部边界条件对伯渎港水质影响很大，因此，必须对外围区域环境实施综合整治，使边界水质达功能区要求，才能使伯渎港水质达标。

b. 伯渎港河沿岸加快实施截污，所有工业点源应尽可能接往污水处理厂集中处理排放，生活污水截污率应逐步达到 80%。

c. 走马塘排水工程实施后对伯渎港河水质有一定影响，建议通过水利工程措施减少分流到伯渎港河的水量，以减轻走马塘排水对伯渎港水环境的影响。

d. 截污治污是河道水环境整治的根本，水环境的修复保护还要依赖水体自净能力的提高。应结合河道综合整治工程，加快城乡河道清淤工作，并在河道综合整治中考虑生态护岸工程对水质改善的效果[6]。

参考文献：

[1] 庄巍，逄勇．西太湖湖滨典型河网区与太湖水量的交换[J]．湖泊科学，2006，18(5)：490-494．

(下转第 48 页)

更增加一些。所以，基于以上分析，如果出现历史连续6年的旱年，也能保证水量的供应。

基于以上分析与计算可知，兴凯湖多年平均来水是可以满足近期和远期水量需求的。但是在枯水年，或出现持续枯水年，则兴凯湖水量会出现持续下降的风险。据历史资料显示，湖水水位持续下降的历时最长达6年(1919～1925年)，如果再重现连续干旱年，则兴凯湖水位会比历史同样情况下下降的速度要快，这可能会影响到兴凯湖的生态稳定性。

3 兴凯湖最低生态水位的确定

至今，国内外不少学者曾就生态需水和生态基流的分析与计算方法进行了大量深入的研究，但就兴凯湖最小生态水位的分析与计算，目前还未见文献报导。尽管姬忠光等[5]曾分析和计算兴凯湖最大可利用水资源量为18.2亿m^3，但笔者认为由于其所依赖的资料有限，包括中俄集水区域下垫面的差异性和汇水面积的确认上有较大出入，没有按实际考虑，只是简单地从降水与汇流的角度进行了理论上的平衡计算，所以有关兴凯湖水资源最大可利用量数值上明显存在偏少。笔者结合工作经验认为，有关兴凯湖水资源最大可开发利用量，应从湖水水文变化过程的角度来进行分析。就最低生态水位和最小生态基流等确认，最好是能基于历史长系列(一般不能少于30年，最好有一个完整的水文变化周期)的水文过程来分析。历史记录数据所反映的最不利水文事件情况下对应的水位或最小流量，应该说水域生态系统一般是能够承受的，可以确认这种条件下对应的水位或最小流量为底线。如果确实因为资料欠缺，不能通过相应的附近连通水域来分析和计算，才按国际通常的标准选取河流多年流量的30%～40%来确定；或按水体蓄水总量的30%～40%来确定最低对应的水位或水域面积。

就兴凯湖而言，天然或人为干扰较少的状态下(1942年以前)，兴凯湖水资源主要满足兴凯湖自身和松阿察河的生态过程。但在人为干扰下，如湖北闸、穆兴大堤、穆兴水路及堤防、兴凯湖农场导流堤、湖岗一闸和二闸的建成，以及兴凯湖区域灌区的发展、小兴凯湖和东北泡子作为重要的淡水渔业养殖场等，使得兴凯湖水资源平衡与原来发生了较大的变化，同时，兴凯湖水量与水质还应满足农业和渔业养殖，以及附近工业和生活等重要用水的要求。另外，大、小兴凯湖和东北泡子均已被划入兴凯湖国家级自然保护区，所以兴凯湖水资源的合理利用还应充分考虑该保护区内湿地生态需水和生物多样性的保护对水量与水质的要求。

基于上述分析与计算，笔者认为，兴凯湖最低生态水位可以确定为67.88 m。

4 结论与建议

a. 基于历史兴凯湖水文过程，认为以1925年兴凯湖年均水位67.88 m为生态最低水位是合适的。

b. 兴凯湖近期和远期规划用水量不会对兴凯湖及周边地区和生态造成影响，水位变幅在湖水位正常的变化范围之内。

c. 由于我国对兴凯湖所积累的水文资料特别有限，为了便于以后进一步深入论证和开发兴凯湖水资源，建议加强兴凯湖第一、第二泄洪闸监测，对每年泄入大兴凯湖水量、大兴凯湖水位应进行观测记录，为后人积累资料；恢复湖口水文站的观测，以详细记录大兴凯湖向松阿察河泄流量的变化情况。

参考文献：

[1] 刘作慧，王丽华. 兴凯湖入湖河口淤沙成因分析[J]. 吉林水利，2004(3)：10-11.

[2] 黑龙江农垦勘测设计研究院. 兴凯湖灌区规模及兴凯湖引用水量的专题论证报告[R]. 佳木斯：黑龙江农垦勘测设计研究院，2005.

[3] 黑龙江农垦勘测设计研究院. 兴凯湖灌区水资源论证报告[R]. 佳木斯：黑龙江农垦勘测设计研究院，2007.

[4] 黑龙江农垦勘测设计研究院. 黑龙江省三江平原‘两江一湖’干流沿岸兴凯湖灌区工程可行性研究报告[R]. 佳木斯：黑龙江农垦勘测设计研究院，2006.

[5] 姬忠光，吴明官. 国境界湖兴凯湖水资源可利用量初探[J]. 黑龙江水利科技，2006，34(2)：47-49.

(收稿日期：2008-05-11 编辑：徐 娟)

(上接第45页)

[2] 逄勇，程炜，赵玉萍. 鹤地水库文官至石角段水环境容量研究[J]. 河海大学学报：自然科学版，2003，31(1)：76-79.

[3] 罗缙，逄勇，林颖，等. 太湖流域主要入湖河道污染物通量研究[J]. 河海大学学报：自然科学版，2005，33(2)：131-135.

[4] 韩龙喜，张书农，金忠青. 复杂河网非恒定流计算模型——单元划分法[J]. 水利学报，1994(2)：52-56.

[5] 罗缙，逄勇，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.

[6] 何旭升，鲁一晖，章青，等. 河流人工强化净水工程技术与净水护岸方案[J]. 水利水电技术，2005，36(11)：26-29.

(收稿日期：2008-02-26 编辑：高渭文)