

# 河道曝气技术在苏州地区河流污染治理中的应用

徐 续<sup>1</sup>, 操家顺<sup>2</sup>

(1. 苏州热工研究院环保所, 江苏 苏州 215004; 2. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098)

**摘要** 根据河道曝气技术控制河流水环境污染的基本原理以及在国内外的应用进展, 结合苏州河流污染的实际情况, 分析了在苏州地区利用河道曝气技术的可能性、可行性。针对苏州河道的特征, 应选用相应的模型来计算需氧量并选择不同的充氧设备进行曝气复氧, 同时配合多种措施来提高河道曝气复氧的效果。合理运用河道曝气技术可以快速提高溶解氧、改善水体黑臭现象、净化水质, 在苏州这样的河网城市具有较为广阔应用前景。

**关键词** 河流污染治理; 河道曝气; 苏州市

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2006)01-0030-04

## Application of river aeration technology in river pollution control of Suzhou area

XU Xu<sup>1</sup>, CAO Jia-shun<sup>2</sup>

(1. Environmental Protection Department, Suzhou Nuclear Power Research Institute Co., Ltd, Suzhou 215004, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract** The possibility and feasibility of river aeration technique in river pollution control in Suzhou area were analyzed according to the principle and the development of the technique at home and abroad. According to the characteristics of rivers in Suzhou City, suitable oxygen requirement models and proper aeration equipments should be selected. Other river pollution control methods can be used to obtain a better effect. Reasonable application of river aeration technology can increase DO rapidly, alleviate the situation of black water and bad smell, and purify water. There will be a bright future for river aeration technology in such river-net city of Suzhou.

**Key words** river pollution control; river aeration; Suzhou City

随着工农业生产的迅速发展和人口迅速增加, 苏州水环境受到严重污染, 河流富营养化不断加剧。近年来人们正在探索各种河流污染的治理措施, 如推广河道强化净化技术、进行水生态系统的修复与重建、底泥疏浚和引水冲淤等措施, 其中河道曝气技术也逐步引起了人们的关注。

河道曝气技术是充分利用天然河道和河道已有建筑就地处理污水的一种方法。该法综合了曝气氧化塘和氧化沟的原理, 结合推流和完全混合这两种流态的特点, 有利于克服短流和提高缓冲能力, 同时也有利于氧的传递、液体混合和污泥絮凝, 是一种有效的河流水质净化方法。

### 1 国内外河道曝气技术应用简介<sup>[1, 2]</sup>

从 20 世纪五六十年代起, 英、德、美等发达国家就开始考虑解决日益严重的河道污染问题。其中, 河道曝气技术作为一种投资少、见效快的河流污染治理技术, 在很多国家被优先采用。英国的 Thames, 德国的 Ruhr 与 Saar, 澳大利亚的 Swan 和美国的 Homewood 等河流就先后利用河道曝气技术改善河流的水质。目前, 河道曝气技术在我国水环境质量综合治理中尚不多见, 但近年来在一些大中城市已经进行了一定规模的河道人工曝气复氧试验, 如北京的清河环境改善工程、上海的苏州河河道曝

气复氧工程、上澳塘和新泾港的曝气工程试验、重庆的桃花溪曝气措施等。

国内外的实际运行经验表明,在河道中进行充氧不但能改善水体黑臭状况,而且能使上层底泥中还原性物质得到氧化或降解。曝气在河底沉积物表层形成了一个以兼性菌为主的环境,并使沉积物表层具备了好氧菌群生长刺激的潜能,从而能够在较短的时间内降低水体中有机污染物,提高水体溶解氧的浓度,增强水体的自净作用,改善水环境。

## 2 河道曝气技术的应用形式<sup>[3]</sup>

根据需曝气河道水质改善的要求(如消除黑臭、改善水质、恢复生态等)、河道条件(包括水深、流速、河道断面形状、周边环境条件等)、河段功能要求(如航运功能、景观功能等)、污染源特征(如长期污染负荷、冲击污染负荷等)的不同,河道曝气复氧一般采用固定式充氧站和移动式充氧平台两种形式。

### 2.1 固定式充氧站

#### 2.1.1 鼓风曝气

即在河岸上设置一个固定的鼓风机房,通过管道将空气或氧气引入设置在河道底部的曝气扩散系统,达到增加水中溶解氧的目的。这种曝气形式一般由机房(内置鼓风机)、空气扩散器和相关管道组成。

#### 2.1.2 纯氧曝气

纯氧曝气系统的氧源可采用液氧(LOX)或利用制氧设备(PSA)制氧。分两种形式:①纯氧-微孔布气设备曝气系统(由氧源和微孔布气管组成);②纯氧-混流增氧系统(由氧源、水泵、混流器和喷射器组成)。

#### 2.1.3 机械曝气

将机械曝气设备(多为浮筒式结构)直接固定安装在河道中对水体进行曝气,以增加水体中的溶解氧。也分两种形式:①叶轮吸气推流式曝气器;②水下射流曝气器。

### 2.2 移动式充氧平台

即在需要曝气增氧的河段上设置的不影响河道航运功能,并且可以自由移动的曝气增氧设施。国外报道较多的是曝气船,主要用于在紧急情况下对局部河段实施有目的复氧。曝气船可由渡轮改装,通常采用液氧为氧源。

## 3 苏州河道水环境及污染现状

a.地理及水系特征。受长江和太湖的影响,苏州城市水系非常复杂。苏州市地处太湖为中心的浅碟形平原的底部,以平缓的平原地形为主。从水系分布上看,苏州地处长江、太湖下游,境内湖泊、河道

众多,河湖串通,是典型的江南水网地区。苏州古城区内河道纵横密布,园林池塘水体自成体系,水是城市的主要特点之一。

b.水环境特征。苏州古城区的水质恶化非常严重,均为劣V类水质。水体的BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TN和TP4项指标均高于地面水V类标准,其中,NH<sub>3</sub>-N、TN和TP的最大超标倍数分别达14.5、6.54和4.55倍,属重污染程度,部分河段时有黑臭现象发生。

c.水动力条件。古城区内的水体滞流现象非常严重。由于整个市区地势平坦,河道坡降仅为十万分之一,除大运河外,主要河道水流十分缓慢,一般在0.1m/s以下。在自然情况下,内城河大多呈滞流状态。

d.河道特征。正常水位情况下,苏州的航道主干河道水深为2~3.5m,非航道的其他河道水深在1~2m之间。市区河道宽窄悬殊,运河河宽在50m以上,内城河河宽一般不足10m,环城河最宽断面达135m,最窄断面只有9m。

e.污染源的分布特征。生活污水污染负荷较大。苏州古城区民居多为前面临街后面靠河,生活污水直接排入河道的现象较为普遍。另外,古城区目前实行的是截流式合流制,雨天大量的未经处理的生活污水也直接排入了河道。

综上所述,苏州河道水环境的污染已经相当严重,部分河流仅仅依靠天然的大气复氧作用已经很难有效改善河流水质。另外,由于苏州河道水流紊动性小,氧的传递和扩散速率慢,河水的自净过程非常缓慢。因此,必须依靠河道曝气技术进行人工复氧,避免出现缺氧或厌氧河段,使整个河道自净过程始终处于好氧状态,并有效改善、缓和水体的污染程度。

## 4 苏州河道曝气技术应用探讨

### 4.1 苏州水系概况

a.外城河水系。京杭大运河从市区西北向东南穿城而过。苏州古城区由环城河环绕。从西北流入环城河的河流有胥江、枫津河、上塘河、十字洋河和元河塘。向东南出流的有大龙港、葑门塘、娄江和外塘河。环城河通过上述进出水河流与外部水域相通,上承大运河、太湖补给来水,下泄出水入长江和大运河。

b.城区河道。苏州古城区内有三纵三横的内城河。入流古城区内城河的河道有胥门新开河、阊门小河、平门小河、齐门小河等,中有节制闸,和环城河形成“三纵三横一环”的河道布局。

针对苏州不同河流的特征,需要选用合适的模型计算其需氧量,并选用相应的曝气充氧设备。

表2 充氧设备特性

曝气类型	曝气设备	特点	适用范围
鼓风机曝气	鼓风机-微孔布气管	占地面积大,投资大,施工要求高,噪音大	郊区不通航河流
	纯氧-微孔布气设备	占地省,运行可靠,无噪音,充氧效率高	有航运需要的干流
机械曝气	叶轮吸气推流曝气器	占地省,安装维修方便;叶轮易被堵塞缠绕,易起泡沫,影响美观和航运	城区小型河道,尤其是居民区的河道
	水下射流曝气器	不占地,噪音小,充氧效率高,维修麻烦	
移动曝气	曝气船	可自由移动,经济、高效,有航运要求	城区主干河道

## 4.2 需氧量计算

污染水体的需氧量主要取决于几类因素:①水体的类型,按水流状态分为静止水体(如湖泊、水库)和流动水体(如河流);②水体目前的水质,即设计水质;③所要达到的预定目标,即改善后水体的水质。其中水体类型的不同决定了需氧量计算方法的不同。

通常水体需氧量计算可以表述如下:

$$\text{需氧量} = \text{还原物质耗氧} + \text{生化耗氧} + \text{硝化耗氧} + \text{底泥耗氧} - \text{大气复氧} - \text{藻类复氧}$$

### 4.2.1 组合式推流反应器模型<sup>[4]</sup>

较长河道通常采用较简便的组合式推流反应器计算模型进行需氧量计算。假定各污染源只是在各反应器前端集中进入,各污染源入流水质、水量恒定,各污染源进入反应器后立即同进水均匀混合。其计算原理由图1表示。

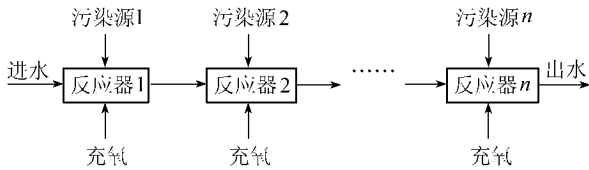


图1 组合式推流反应器模型计算原理

### 4.2.2 箱式模型<sup>[5]</sup>

对于小型静止水体(如公园、居住小区的景观湖泊或园林池塘),以及众多滞流型的小河道、河段和断头浜,由于其面积较小、水深较浅,且外界输入污染负荷一般较小,因此可以采用基于一级反应的箱式模型。

此外,在缺乏水质模型和污染源资料不全的情况下,还可以考虑通过实验室试验确定设计水体的耗氧特性曲线,来计算河流需氧量。

根据苏州不同水体的特征,可以选用相应的模型来计算其需氧量,各模型的适用情况见表1。

表1 苏州水体需氧量计算模型的适用情况

模型名称	特点	可适用的水体
组合式推流反应器模型	分段越多结果越精确	外城河、内城河等
箱式模型	针对静止水体或滞流型河道	园林池塘、断头浜、小区景观水体等

## 4.3 充氧设备选型

各种河道曝气充氧设备的优缺点和适用范围见表2。由表2可以看出:

a.当河水较深,需要长期曝气复氧,且曝气河段有航运功能要求或有景观功能要求时,一般宜采用鼓风机曝气或纯氧曝气的形式。但是,该充氧形式投资成本太大,铺设微孔曝气管需抽干河水、整饬河底,工程量很大,在铺设过程中水平定位施工精度要求较高。另外,目前苏州城区的部分河道还存在附

近居民随意倾倒垃圾的现象,容易导致布气管损坏,布气管损坏后维修又相当困难。因此,目前在苏州城区应用鼓风机曝气的充氧形式不太适合,当技术成熟、市民环保意识显著提高后,可以在苏州城区合适的河段中运用纯氧-微孔布气设备曝气系统进行曝气复氧。

b.当河道较浅,没有航运功能要求或景观要求,主要针对短时间的冲击污染负荷时,一般采用机械曝气的形式。这种曝气形式优点明显,又非常适合苏州市中小河道的特点,可以考虑在苏州城区中广泛运用。但对机械曝气的设备还需要进一步改进,尤其需重点考虑如何消除曝气产生的泡沫、与周围景观相协调需重点考虑。

c.当曝气的河段有航运功能要求,需要根据水质改善的程度机动灵活地调整曝气量时,必须考虑可以自由移动的曝气增氧设施。对于苏州城区较大型的主干河道,当水体出现突发性污染,溶解氧急剧下降时可以考虑利用曝气船曝气复氧。选择曝气船充氧设备时,考虑到充氧效率、工程河道情况、曝气船的航运及操作性能等因素,通常选择纯氧-混流增氧系统。另外,对于曝气船的研发以及运行管理可以参考上海苏州河环境整治的成功经验<sup>[6]</sup>。

在苏州城区大规模应用河道曝气技术治理水体污染时,还需要重视工程的环境经济效益评价,即合理设定水质改善的目标,以恰当地选择充氧设备。如景观水体的治理,在没有外界污染源进入的条件下可以分阶段制定水体改善的目标,然后根据每一阶段的水质目标确定所需的充氧设备的能力和数量,而不必一次性备足充氧能力,以免造成资金、物力、人力上的浪费。

## 5 提高苏州河道曝气处理效果的方法

上海苏州河的部分支流采取曝气措施以来,黑臭现象略有好转,但效果不尽如人意。究其原因主

要有三点:①没有彻底断绝污染源(苏州城区河道也有类似情况);②水体中微生物数量少,污染物降解慢,污染物的降解速度低于输入速度;③充氧量不足,在工程上由于考虑到河道曝气的成本,往往充氧不足。

此外,还有一些其他因素,如温度、曝气量、微生物与水的混合程度、微生物的活性等。

借鉴上海苏州河经验,可以采取以下措施来提高苏州地区河流人工复氧效果。

### 5.1 生物膜技术

在一些没有航运需求、条件适宜的河道中,可以利用生物膜技术来增加河流中的微生物数量。即在曝气器周围设置优选的填料,并通过接种活性污泥的方法使填料上附着生长大量微生物。把生物膜法跟曝气复氧技术相结合运用于污染河道的水质改善,就形成了河道曝气+生物膜原位净化技术。

在河道中应用生物膜技术也存在一定的缺陷,比如生物膜脱落后会形成底泥淤积,因此需要对生物膜进行定期的清理。

### 5.2 生物制剂

应用河道治理的生物修复技术,可通过直接向水体投加生物菌种,依靠这些特种生物菌种的作用来降解水中特种污染物质;也可以向水体投加生物促生剂,通过促使水体“土著”微生物的生长繁殖,达到净化水体的作用。

### 5.3 浮床水上花卉

通过在曝气区域附近设置浮床水上花卉,能够有效阻隔由于曝气造成的泡沫,改善曝气带来的景观问题。常见的浮床水上花卉种类有美人蕉、黄花菖蒲等。如果管理得当,水上花卉既可以净化水质,又能成为一道美丽的水上景观。

### 5.4 其他生态化工程措施

生态化措施主要是通过恢复河岸植被和河岸天然湿地,种植芦苇、浮萍、睡莲和水草等湿地水生植物提高水域净化能力;为有效地控制水中藻类、水生植物的过度繁殖,致使水体缺氧,可以放养适量的鱼类、河蚌和螺蛳,通过生态系统中多条食物链的物质迁移转化和能量的逐级传递,将有机物和营养物进行降解和转化,达到去除污染的效果。

生态化工程措施与河道曝气复氧技术相结合将有利于河道生态的恢复,有助于控制和减轻河道的污染状况,也有助于河道的绿化美观。

## 5.5 间歇曝气运行方式

在保证曝气段河水中的溶解氧大于 $1.0\text{ mg/L}$ (不发生黑臭)的前提下,可采取间歇曝气的方式进行处理,既减少能耗、节省运行成本,又具有一定硝化—反硝化脱氮的效果。在实际运用中如果能结合自动监控设备,在水体溶解氧到达临界目标值时,自动启闭曝气设备,实现间歇曝气的自动化控制,将会使河道曝气技术具有更广阔的应用前景。

## 6 应用前景

河道曝气技术是近年来治理河流污染的一种有效的工程措施,能在较短的时间内提高水体的溶解氧水平,增强水体的净化功能,消除黑臭,减少水体污染负荷,促进河流生态系统的恢复;另外,河道曝气技术因地制宜,占地面积相对较小,投资省、运行成本低,对周围环境无不良影响,如果与综合利用相结合,还可实现环境效益与经济效益的统一,有利于工程的长效管理。

对于苏州这样的旅游观光型城市,如果能在众多具有旅游景观功能的市区河道中,充分利用水闸泄流、活水喷池和人工水上娱乐设施进行增氧,配合城市景观的建设,可以构筑成为又一道具有苏州特色的城市风景线。

要真正发挥河流水体人工曝气复氧技术的实际效益,还必须制订应用该技术的具体方案,得出可行的增氧量、曝气方式、季节最优化组合,并充分考虑城市景观和经济性原则。

### 参考文献:

- [1] 孙从军, 张明旭. 河道曝气技术在河流污染治理中的应用[J]. 环境保护, 2001(4):12-14.
- [2] 刘延恺, 陆苏, 孟振全. 河道曝气法——适合我国国情的环境污水处理工艺[J]. 环境污染与防治, 1994, 16(1):22-25.
- [3] 徐祖信. 河流污染治理技术与实践[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2002.
- [4] 孙从军, 张明旭. 组合推流反应器模型用于河道需氧量计算[J]. 中国给水排水, 2002, 18(9):16-19.
- [5] 王慈澜, 孙从军, 张明旭. 水体曝气复氧工程充氧量计算与设备选型[J]. 中国给水排水, 2004, 20(3):63-66.
- [6] 何大刚, 王梅珍. 河道曝气复氧船的电气设备配置及电气设计特点[J]. 上海造船, 2003(2):29-31.

(收稿日期:2004-09-08 编辑:傅伟群)