

# 受污染水体的水质恢复方法

姜应和 宋 涛

(武汉理工大学土木工程与建筑学院, 武汉 430070)

**摘 要** 大量未经处理的污水排入水体时,会导致地面水体严重污染。受污染水体的水质恢复方法有物理法、化学法和生物法,它们能控制水体外源性和内源性污染物的排入量、人工强化水体自身的净化能力,以降低水体中污染物的浓度、提高溶解氧浓度,恢复水生生物的多样性。

**关键词** 水体污染 水质恢复 物理法 化学法 生物法

## Methods to restore the water quality of polluted surface water

Jiang Yinghe Song Tao

(School of Civil Engineering & Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070)

**Abstract** The surface water will be polluted if much untreated wastewater is received. The methods to restore the water quality include physical, chemical and biological ones. The amount of contaminants from internal and external pollution sources can be controlled and self-purification can be enhanced with these methods. Therefore, the contaminants in surface water will be reduced, the DO will be raised and the diversity of organisms will be restored after the methods are applied reasonably.

**Key words** water pollution; restoration of water quality; physical methods; chemical methods; biological methods

## 1 引 言

由于各种自然和人为的因素,河流、湖泊、水库等地面水体中聚集了大量的污染物。水中污染物的来源不外乎以下几种:(1)生活污水的排放。由于我国现有的城市环保设施建设极度滞后,城市污水处理率较低。1998年和1999年我国46个重点城市污水处理率分别为20.3%和24.7%<sup>[1,2]</sup>。大量未经处理的生活污水中含有许多有机物、氮、磷等污染物质,对于河流和湖泊的富营养化产生了至关重要的作用。(2)工业废水的排放。据1999年统计,我国工业废水排放量为197亿t,达标排放率为66.7%。(3)非点源污染。①农田径流中养分的流失。土壤中未被利用的氮、磷等营养元素、农药等随地表径流或淋溶水而进入水体;②由水土流失带来的沉积物。我国水土流失面积已达367万km<sup>2</sup>,占国土总面积的32.8%<sup>[3]</sup>;③由于大气污染而引发的酸雨危害以及初雨对水体的高强度冲击负荷。地面水体虽然有一定的自净能力,但当污染物的总量超过水体本身的环境容量时,水体将会受到污染。我国主要河流的断面监测结果表明,河水受有机污染

较为普遍,辽河、海河污染严重,淮河水质较差,黄河水质不容乐观,松花江水质尚可,珠江、长江水质总体良好。我国主要湖泊富营养化严重,如滇池、巢湖等已严重富营养化,全湖水质为Ⅴ—劣Ⅴ类;太湖处于中等富营养化,湖水为Ⅱ—劣Ⅴ类。及时综合治理这些水体以恢复其水质,对保护生态环境而言是十分必要的。

## 2 水质恢复的方法

恢复河流、湖泊等受污染水体的策略是,削减水体中的污染物总量。通过物理、化学和生物等方法,控制水体外源性和内源性污染物的排入量、人工强化水体自身的净化能力,以降低水体中污染物的浓度、提高溶解氧浓度、恢复水生生物的多样性。水体的恢复是一个长期的过程,具体方法现归纳分析如下:

### 2.1 物理方法

#### 2.1.1 截污治污

即将原先直接排入水体的污水收集到污水厂处

收稿日期 2002-06-15;修订日期 2002-10-20

作者简介 姜应和(1963~),男,教授,主要从事水污染控制及给排水工程方面的教学与研究工作。

理后再排放。目的是削减排入受纳水体的污染物总量,为进一步净化水质创造条件。如武汉东湖的水果湖水域,在污水截流后,湖水中  $\text{BOD}_5$ 、TP、TN、SS 逐年上升的趋势得到遏制,污染物总量逐年下降,水中溶解氧上升,使湖区水环境得到明显改善<sup>[4]</sup>。上海苏州河六支流的截污工程,使苏州河的水质状况明显好转。

### 2.1.2 挖泥法

底泥中含有大量的有机物、氮、磷、重金属等污染物质。一方面,当底泥厌氧发酵时,会使水体黑臭;另一方面,在泥水交接面,会存在水中污染物沉积于底泥和底泥中污染物向水体中解析扩散的动态平衡。因此,清除水底淤泥,可削减水体内部源性污染物的释放量,同时还可达到增大库容的目的。对于富营养化湖泊来说,将富含营养物的底泥层清除可控制藻类的生长。鄂州的洋澜湖综合治理工程包括湖底清淤;滇池草海疏浚一期工程<sup>[5]</sup>,疏挖面积  $2.88 \text{ km}^2$ ,挖泥  $424 \text{ 万 m}^3$ 。

国外常用的挖泥设备是带有切割头的水力挖泥船。这种挖泥船的切割头用于将底泥疏松,然后与 80%—90% 的水混合成泥浆,通过一条横穿湖泊的管道输送到湖岸。现场对泥浆进行脱水,所脱除的水经适当处理后返回湖中。

在清淤过程中,应合理确定淤泥的清除量,一般不宜将污泥全部清除,以免把大量的底栖生物、水生植物同时清出水体,破坏现有的生物链系统。

### 2.1.3 换水稀释法

用较清洁的水稀释或完全替换污染较严重的水,以降低水体中的污染物浓度。在富营养化的湖泊中,换水去除藻类的速度应大于藻类的生长速度,一般认为,每天冲入湖泊较清洁水的体积宜大于湖泊库容的 10%—15%<sup>[6]</sup>。厦门的湖利用海水潮起潮落替换湖水,使该湖的水质常年处于良好状态。当然,此法存在污染物向下游转移的问题,所换水的受纳水体须具有足够的环境容量方可采用该方法。

## 2.2 化学方法

### 2.2.1 投加除藻剂

这是一种简便、应急的控制水华的办法,可以取得短期的效果,常用的除藻剂有硫酸铜和西玛三嗪等。当除藻剂与絮凝剂联合使用时,可加速藻类聚集沉淀。在滇池外草海约为  $1.0 \text{ km}^2$  的开放型水域内,曾利用化学药剂 BC-655 开展过蓝藻清除试验。

为期 1 个月的水质监测表明,实验水域透明度由投药前的  $0.29 \text{ m}$  上升至  $0.68 \text{ m}$  (最高达  $1.11 \text{ m}$ ), Chl-a 由投药前的  $250.73 \text{ mg/m}^3$  下降至  $164.25 \text{ mg/m}^3$  (最低达  $20.78 \text{ mg/m}^3$ ),且试验水域水质总体优于未投药水域参照点的水质,基本消除水华现象<sup>[7]</sup>。值得注意的是,化学除藻剂有一定的副作用,应根据水体的功能要求慎重使用。

### 2.2.2 投加沉磷剂

常采用的沉磷化学药剂有三氯化铁、硝酸钙、明矾等。投加这些药剂,与水中的磷结合,絮凝沉淀进入底泥。当水底缺氧时,底泥中有机物被厌氧分解,产生的酸环境会使沉淀的磷重新溶解进入水中,若加入适量的石灰可以增加磷酸钙的稳定度;同时调节底泥 pH 值达 7.0—7.5,以达到脱氮的目的<sup>[6]</sup>。如果加入足量的硫酸铝,则底泥表层还会覆盖一层厚 3—6 cm 富含  $\text{Al}(\text{OH})_3$  的污泥层,钝化底泥中的磷。

## 2.3 生物方法

### 2.3.1 水体曝气

采用人工方式向水体中充氧,加速水体的复氧过程,提高水中好氧微生物的活力,以改善水质;此外曝气还可以减缓底泥释放磷的速度。对于污染的河流和湖泊有着不同的曝气方式。

当河水受到严重有机污染时,如果在适当的位置向河水进行人工复氧,可避免出现缺氧或厌氧河段,使整个河道自净处于好氧状态。此法综合了曝气氧化塘和氧化渠的原理,结合推流和完全混合的特点,有利于提高水体的自净能力,同时也有利于液体混合和污泥絮凝<sup>[8]</sup>。某些山区河流分段筑坝,利用坝后跌水向河水充氧;当河水较深且曝气河段有航运功能要求时,一般宜采用鼓风曝气或纯氧曝气的形式,即在河岸设置一个固定的鼓风机房或液氧站,通过管道将空气或氧气引入设置在河道底部的气体扩散系统,在德国的 Fulda 河、Teltow 河和 Emscher 河的治理中,均曾采用此种曝气形式<sup>[9]</sup>;当河道较浅且没有景观要求时,一般可采用机械曝气的形式,多为浮筒式结构,直接固定于河道中,杭州大运河的支流就曾采用机械曝气的形式,曝气船是报道得较多的移动式充氧平台,它可根据水质改善的程度,机动、灵活地调整曝气船运行工况。英国的泰晤士河、德国的 Saar 河均曾采用曝气船对水体充氧<sup>[9]</sup>。河道曝气技术在我国也有应用实例,如北京清河的曝气船试验结果表明,充氧后 BOD 去除率为

74.7%—88.2%、SS 去除率为 76.7%—81.9%、 $\text{NH}_3\text{-N}$  去除率为 15.8%—45% ,曝气区的 DO 从 0 上升到 5—7 mg/L ,曝气区邻近区域的 DO 上升到 4—5 mg/L<sup>[8]</sup>。鉴于我国许多河流有机污染严重 ,因此河道曝气法在我国的应用前景较为广阔。

对湖泊和水库等封闭性水体而言 ,常出现热分层现象 ,即深冷层水中的营养物浓度一般比上层水高。此时可对湖底曝气 ,通过人工循环 ,消除或防止热分层 ,使湖水充分混合并向水体充氧。对下层滞水带曝气 ,还可消除水的气味和色度、限制藻类生长、保持湖(库)冷水性的渔业环境。据推断 ,要使湖泊充分混合 ,每公顷湖面的充气量应为  $0.69 \text{ m}^3/\text{min}$ <sup>[6]</sup>。美国奥兰多的 Weston 湖中的曝气系统 ,每个系统由岸边 0.5 马力的空气压缩机供气 ,连接用的聚乙烯管深入湖底 ,接在微孔的陶瓷扩散器上 ,在湖底均匀放置 4 个扩散器。经测算 ,每个曝气系统每分钟能将大约 7660 L 的湖水从底部带到湖面 ,形成直径 0.7—1.2 m、高 15 m 的圆柱体的对流。经测量 4 个这样的系统可以带动整个湖水形成从底部到湖面的对流 ,循环 1 次大约需要 12 d<sup>[10]</sup>。

### 2.3.2 投放微生物

最常投放的微生物有光合细菌(PSB)和高效微生物群(EM)。

光合细菌能将富营养化水体中的磷吸收转化、氮分解释放、有机物迅速转化为可被水生生物吸收的营养物。光合细菌有游离态和固定化两种 ,采用人工培养高密度光合细菌 ,通过一定的方法投入水体 ,可加速水体的物质循环 ,最终达到净化水体的目的。成都府南河综合治理工程中 ,在疏浚底泥、人工曝气的基础上 ,曾用水面泼洒法向水体投放 PSB ,同时放养一定数量的鱼类 ,并在浅水区引种水生植物 ,重建了该水体的生态平衡<sup>[11]</sup>。

EM 菌是采用独特的发酵工艺把经过仔细筛选出的好气性和兼气性微生物加以混合后培养出的微生物群落。含有 10 个属 80 多种微生物 ,其中主要的代表性微生物有光合细菌、乳酸菌、酵母菌和放线菌 4 类。各种微生物在其生长过程中产生的有用物质及其分泌物质 ,成为微生物群体相互生长的基质和原料 ,通过相互间的共生关系 ,形成了一个复杂而稳定的微生物系统 ,发挥多种功能。福州市内河的治污计划 ,将投入 320 个装有 EM 混合液的滤料网箱 ,并在底泥中注入 EM 菌的固体制剂 ,在河水 and 底泥中大量繁殖 ,以削减河水及底泥中的污染物 ,消除

水体恶臭 ,治理周期约 2 个月<sup>[12]</sup>。

### 2.3.3 种植水生植物

自然界可以净化环境的植物有 100 多种 ,比较常见的水生植物有水葫芦、浮萍、芦苇、灯芯草、香蒲和凤眼莲。其中水葫芦是国际上常用的治理污染的水生漂浮植物。可以利用植物的根系吸污纳垢 ,吸收溶解在水中的氮、磷 ;发达的根系还有吸附作用 ;在光合作用的同时能够释放氧气。这些植物种植简单 ,繁殖能力强 ,病害少 ,还具有一定的观赏价值和经济价值。王国祥等<sup>[13]</sup>根据不同生态类型水生高等植物的净化能力及其微生物特点 ,研造了人工复合生态系统 ,以净化太湖局部水域富营养化水质 ,结果表明 ,藻类生物量(以 Chl-a 计)下降 58% ,氨氮下降 66% ,总氮下降 60% ,总磷下降 72% ,可溶性磷酸盐下降 80%。滇池治理工程中所修建的凤眼莲景观区 ,在发挥水质净化功能的同时 ,还实现了旅游观赏功能<sup>[14]</sup>。

应慎重采用水生植物净化水体。这是因为有些水生植物(如水葫芦)繁殖速度太快 ,当打捞速度跟不上其生长速度时 ,易使大面积水面受其覆盖 ,降低水体的自净能力 ,并且未打捞的水生植物腐烂物还会对水体形成二次污染。

### 2.3.4 养殖水生动物

即“生物操纵”(biomanipulation) ,人为调节生态环境中各种生物的数量和密度 ,通过食物链中不同生物的相互竞争的关系 ,来抑制藻类的生长。例如调节湖中鱼的种类和数量 ,以达到刺激浮游生物生长的目的 ,通过浮游生物吞食大量的水藻。这种技术方案需要对水体曝气 ,以增大浮游动物和鱼类在水中活动的区域。滤食性食藻鱼(如花鲢、草鱼、鲤鱼和白鲢等)均能以水藻为饵料。若滤食性食藻鱼在水中达到  $50 \text{ g}/\text{m}^3$  ,就能有效地防止蓝藻水华。中国科学院水生生物所调查研究结果表明 ,在武汉东湖放养鲢鳙等滤食性鱼类 ,连续 15 年有效地抑制了东湖水华<sup>[15]</sup>。

## 2.4 其他方法

### 2.4.1 设置净化湖

1927 年 ,德国人 Karl Imhoff 提出修建净化湖(purification lake) ,以较低的成本处理初雨和非点源污染。与河道并联的净化湖是由几个小型的湖泊串联组成 ,类似于多级氧化塘净化系统 ,可沉淀水中的悬浮物 ,缓冲上游河段的突发污染。英国泰晤士河流域的 Lea Marston 净化湖<sup>[16]</sup> ,由 6 个小湖组成 ,

分两段运行。平均流量时,SS 去除率 70%,BOD 去除率 40%,有色金属去除率 50%。用挖泥船清除底泥,每年沉淀干燥污泥 18 000 t。在德国的鲁尔区<sup>[17]</sup>,Hengstey 湖还作为莱茵河中铁离子的沉淀池使用。一般说来,湖的容量、面积越大,沉降性能越好。为保证足够的水量和流速,防止因磷的聚集而导致藻类的生长,净化湖的水深应 > 2 m,停留时间宜 < 2 d。

#### 2.4.2 水系综合整治

增加河流的水力停留时间,可将河道由曲改直,与此同时修建小湖泊,作为雨水储蓄池,缓解初雨的污染,在湖泊周围恢复和建立湿地系统,在湖滨地带种植沉水植物、挺水植物、浮游植物等多种水草,增加水中的溶解氧水平,逐渐恢复湖泊的生物多样性。苏州河治理一期工程,确定以治水为中心,以基本消除苏州河水体黑臭现象,其改造内容包括截污、治污、调水、清淤和两岸整治等<sup>[18]</sup>,达到了综合整治的目的。

### 3 结 语

河流、湖泊和水库等水体是复杂、动态的生态系统,必须对其生态系统深刻了解,方能合理确定其水质恢复方法。在各种水质恢复方法中,截污治污属于宏观控制的方法,起着治本的作用,虽然费用高,见效慢,却是必须的。对于水容较小的湖泊,挖泥法会起到明显的效果。换水稀释法存在污染的转移。投加化学药剂是一种应急的方法,对环境的影响有待进一步研究。利用生物治理技术,特别是水体曝气、微生物治理、生物操纵恢复生态系统等方法,具有很高的经济性和有效性,值得大力研究和推广。总之,各种方法之间并不是孤立的,而应综合运用;具体的治理措施应因地制宜,因“水”制宜<sup>[19]</sup>。

#### 参 考 文 献

[1] 国家环境保护总局. 中国环境状况公报, 1999

[2] 李克国. 城市污水处理厂建设的环境经济政策分析. 环

境保护, 2001 (2):11—12

[3] 彭奎, 朱波. 试论农业养分的非点源污染及管理. 环境保护, 2001 (1):15—17

[4] 邵林广等. 东湖一期截污工程效益评价. 中国给水排水, 1998, 14(5):35—36

[5] 赵章元. 我国江河湖海除藻的治标与治本浅析. 上海《资源与环境》信息网

[6] 杨文龙. 湖水藻类生长的控制技术. 云南环境科学, 1999, 18(2):34—36

[7] 和丽萍. 利用化学杀藻剂控制滇池蓝藻水华研究. 云南环境科学, 2001, 20(2):43—44

[8] 刘延恺等. 河道曝气法——适合我国国情的环境污水处理工艺. 环境污染与防治, 1994, 16(1):9—10

[9] 孙从军, 张明旭. 河道曝气技术在河流污染治理中的应用. 环境保护, 2001 (4):12—15

[10] John M. Bateman and Robert L. laing. Lake, pond and reservoir restoration of water quality and algae removal. Journal of Aquatic Plant Management, 1977, 15:515—520

[11] 曾宇, 秦松. 光合细菌法在水处理中的应用. 城市环境与城市生态, 2000, 13(6):29—31

[12] 福州市内河生物治污试验启动, 新华网, 网上健康, 2000, 08, 10

[13] 王国祥, 濮培民. 人工复合生态系统对太湖局部水域水质的净化作用. 中国环境科学, 1998, 18(5):410—414

[14] 张涛. 滇池草海蓝藻清除应急措施总体规划. 云南环境科学, 2000, 19(1):38—39

[15] 冯永锋. 武汉东湖蓝藻水华消失之密揭开. 光明日报, 2001, 02, 02

[16] D. R. Woods and M. Sc, et al. Lea Marston purification lake: Operational and river-quality aspects. Wat. Pollut. Control, 1998, 226

[17] DR.-Ing E h Klaus R IMOHFF. The design and operation of the purification lakes in the Ruhr Valley. Wat. Pollut. Control, 1998, 243

[18] 匡桂云, 张效国. 苏州河整治的阶段性成果. 净水技术, 2001 (1):7—9

[19] 叶常明, 黄玉瑶等. 水体有机污染的原理研究方法及应用. 北京:海洋出版社, 1990, 326

(责任编辑 刘 颖)