

苏州河深水充气增氧方案的探讨

殷肇君

(上海水产大学工程技术学院, 200090)

摘要 在苏州河氧亏现状分析的基础上,本文对五种增氧方案进行了比较,并提出充气增氧为最佳方案,选择此方案投资省、上马快,能有效偿还深层水域中的氧债,最终使苏州河的水体消臭变清。

关键词 苏州河,充气,增氧,消臭变清

中图分类号 X824, X522

苏州河的水质严重污染已久,有损于国际大都市上海的形象,早已引起了上海市政府和国内众多人士的密切关注。苏州河经过近几年的初步整治,虽然水质有了改善,但要使苏州河成为一条清洁的河流,以使鱼虾重返苏州河,无疑还需进行不懈的努力。

对苏州河应采取综合治理,并开展多学科协作攻关,应用最新科技成果,以便更加有效地治理苏州河。上海市苏州河环境综合整治办公室编制的《苏州河环境综合整治规划》,共有14个工程项目,人工曝气复氧就是其中之一。本文就苏州河深水(就河流水深相对比较而言所定义的,有别于海洋、湖沼等学科的水深定义)充气增氧方案进行探讨,旨在投资省、上马快,能有效提高河水溶氧值,加速有机物氧化分解,使之最终达到河水消臭变清的目的。

1 苏州河氧亏现状

苏州河水体 DO 浓度太低,使河流自净能力受到很大限制。水体中有机污染物耗氧分解是控制溶解氧水平的主要机制,河流的自然复氧过程已不能代偿有机污染物生物降解消耗的溶解氧。水体中污染物特别是有机物通过化学、生物作用降解时消耗水体中大量的溶解氧;此外,还原性氮的氧化分解也需要消耗水体中的溶解氧。苏州河市区段水体中溶解氧严重不足,甚至处于厌氧状态,从而出现黑臭现象。底泥中的有机物在细菌作用下,发生好氧性和厌氧性分解,前者消耗水体中的溶解氧,后者则产生有机酸、二氧化碳、甲烷、氨、硫化物等有臭味的物质。这些底泥有机物分解产物在从水体下部向上部逸出的过程中可发生氧化性降解,从而进一步消耗水体中的溶解氧(陈一申和林卫青 1996)。

因苏州河底栖生物极少,故耗氧速率仅有底泥中有机物在微生物作用下的氧化分解和还原性物质的化学氧化所引起,从而导致河流水质 DO 的降低,而厌氧条件下有机污染物生化降

解作用的产物又将导致水体发臭(裘祖楠和姚振淮 1996)。

由此可见,苏州河市区段严重缺氧,在厌氧条件下,必然导致黑臭现象。因此,除疏浚淤泥外,采取有效大量增氧措施势在必行。

2 增氧方案的比较

众多的环保专家经过数年的测试分析研究,认为在苏州河采取增氧是行之有效的一项技术措施。然而,采用何种增氧方式,既有效又经济,则是需要认真分析研究的问题。现提出下列五种增氧方式,并加以分析比较。

2.1 曝气增氧

污水处理站使用的曝气机,在水产养殖行业称为叶轮增氧机,其叶轮结构大同小异,增氧能力和动力效率亦有所不同。该机的优点是:①增氧能力和动力效率比较高;②去除有害气体效果好;③在小水体中水流循环效果好。其缺点是:①对于大而深的水域,其水流循环主要发生在中上层,尚不能更加有效地偿还深层水域中的氧债(王武 1983);②曝气时逸出的臭气将危害河两岸300万居民。

2.2 增氧船增氧

增氧船一般采用射流增氧方式,在水产行业亦有应用。其优点是:①边行船边增氧,适合于大面积流动增氧;②可与交通运输或旅游观光相结合。其缺点是:①增氧能力和动力效率较低;②在上层水域中增氧,不能达到偿还氧债的目的。

2.3 一般性充气增氧

一般性充气增氧在水产行业亦有应用,如活鱼暂养等。其优点是:①设备简单,使用方便;②可将气体扩散器(包括微孔管状、球状等)置于水域底部,可部分偿还氧债。其缺点是:①大水域底部布置管道工程大,投资大;②水体循环效果差;③气体扩散器管孔较大,则氧吸收率很低,管孔微小,极易造成堵塞。

2.4 超微泡增氧

超微泡增氧在水产行业主要用于活鱼运输。它是气、水混合后经过能量释放器而产生超微泡。其优点是:因气泡直径微小而在水体中停留时间相对较长,故氧吸收率高。其缺点是水流循环效果差、吸气量有限、不适合大水体中增氧。

2.5 深水充气增氧

深水充气增氧技术是我校近些年来取得的科研成果,并获得上海市科技兴农二等奖。该项增氧技术已在生产中得到应用。它是将大量小气泡送入深层水域,以便有效偿还氧债。

(2)裘祖楠,姚振淮. 1996. 苏州河底泥污染特性研究. 上海市环境科学学会论文集, 25~26.

(3)王武. 1983. 精养鱼池耗氧和氧债的研究. 上海水产大学论文集, 39~43.

我校在深水充气增氧机(用于水产养殖业)成功研制的基础上,再配备旋涡式风机和特制扩散器,构成深水充气增氧装置[殷肇君 1997],以便用于污水中增氧。深水充气增氧装置的优点是:①在自然复氧严重不足的水域(如苏州河),因负压而大量吸气,再经过叶轮高速搅拌,气泡变得更小(两次细化),且在水体中时间较长(上层→下层→上层),因而氧吸收率较高,能有效地偿还深层水域中的氧债;②水流循环效果好,极小气泡到处扩散,应用于河流效果最佳。

对于充气增氧而言,氧的吸收率与两个因素有关:一是气泡直径越小,氧吸收率越高;二是气泡在水体中越深,氧吸收率越高(见表1)。本文介绍的深水充气增氧装置,吸气量大,气泡经过两次细化,且被送至深层水域。因此,这种增氧方式,偿还氧债效果好。应用于苏州河为最佳方案。

韩国首阳河采用深水充气增氧方式,有效地改善了污臭浑浊的首阳河的水质,就是有力的佐证。该方法是沿河安装9台100马力的水下吸气充氧机,运行不过一月,河水含氧量提高,污水消散,水环境大为改善,鱼虾蚌蟹等生物重又纷至沓来[周树春 1988]。此外,还有类似的深水充气增氧方式,如美国佛罗里达州在受污染的湖泊底部通压缩空气,一年后沼泽味消失,溶解氧达4ppm以上[上海科学技术情报研究所 1978];又如香港在受污染的城门河底部输入空气,以便增加河水溶氧浓度,提高河水的自净能力[李 刚 1996]。

3 深水充气增氧方案

3.1 结构原理

深水充气增氧装置(详见图1)包括增氧机和充气设备两部分。增氧机主要由电动机、空心轴、导流管、导向管、叶轮、浮筒、轴承等所组成,充气设备主要由旋涡风机、管道、扩散器等所组成。

该装置运行时,螺旋桨叶轮高速旋转,将上层水体向下推送,并经导流管送入深层水域;与此同时,因负压而大量吸气(包括空心轴负压吸气和扩散器释放的大量小气泡),再经过螺旋桨叶轮高速搅拌,气泡变得更小;在导流管内气、液两相发生剧烈混合作用,并螺旋式运动,无疑大大增加了气与水的接触面积,进而大大增强了氧分子的扩散作用,加速了溶氧过程。高溶氧水经导向管向河流中间方向排出。又因河水流动,使得极小气泡到处扩散,从而提高了深层水域的溶氧值,食废细菌大量繁殖分化,于是废物

表1 氧吸收率试验

Tab. 1 The test of oxygen absorption rate

气泡直径(mm)	水深(m)	氧吸收率(%)
3	0.95	5.5
0.05	0.95	100
0.25	10	100

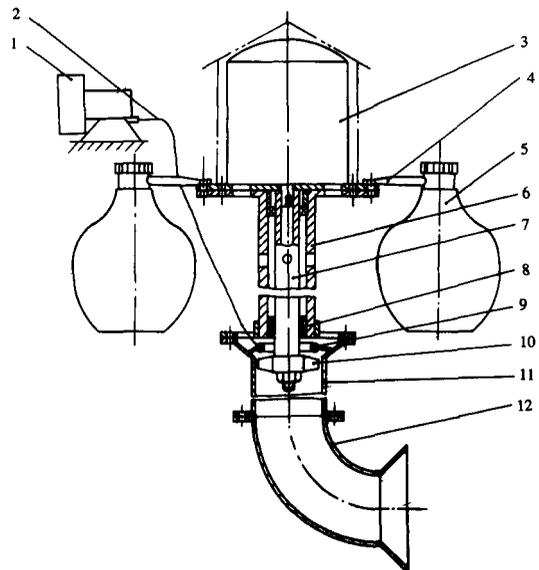


图1 深水充气增氧装置结构示意图

Fig. 1 The sketch for structure of equipment which aerificates and increases oxygen in deep water

1. 风机; 2. 胶管; 3. 电动机; 4. 撑杆; 5. 浮筒;
6. 轴套管; 7. 空心轴; 8. 轴承; 9. 扩散器;
10. 叶轮; 11. 导流管; 12. 导向管。

解体过程便比常态快千倍的速度进行,加速了有机物的氧化分解,最终达到有效偿还氧债的目的。

在溶氧充足的条件下,若水温越高,则化学反应和有机物氧化分解的速度越快。因此,在水温较高的季节里,采用这种大量增氧方式,其偿还氧债的速度和效果为最佳。

3.2 安装布置

苏州河全长125公里,上海市境内长53.1公里,市区河段长23.8公里。其中,浙江路—恒丰路、江宁路—叶家宅河段、凯旋路—北新泾河段污染最为严重(裘祖楠和姚振淮 1996)。此外,苏州河上海段有大小支流35条之多,其中很多支流由于缺乏管理,成为藏污纳垢之地,水质黑臭,污染严重,随落潮之际下泄苏州河,使苏州河水质更趋恶劣(赵仲兴 1996)。因此,这些河段和支流泄口应是采取增氧措施的重点。

布置方式。沿苏州河两岸边建造若干配电房,造型美观,成为一个个小景点。增氧装置沿两岸水域错落有致地安装。

增氧装置数量。上海郊区河段:每1000米安装一台,共需29台;上海市区河段:每500米安装一台,共需48台;严重污染三河段:各增装10台,共需30台;35条支流泄口:每个泄口安装一台,共需35台;35条支流:每条支流平均安装10台,共需350台;以上总共需安装492台增氧装置。

3.3 增氧能力初步计算

(1)深水充气增氧机的有关参数

配套电机功率 $N=11\text{kW}$ 叶轮直径 $D=300\text{mm}$ 转速 $n=980\text{r/min}$
叶片安装角度 $\alpha=4^\circ$ 流量 $Q=882\text{m}^3/\text{h}$ 扬程 $H=2.84\text{m}$

(2)旋涡风机有关参数

额定功率 $N=1.1\text{kW}$ 风压 $p=17.652\text{kPa}$ 风量 $q=3.2\text{m}^3/\text{min}$

(3)一台增氧装置增氧能力估算

原1.5kW深水充气增氧机空心轴负压吸气增氧,实测值为 $0.41\text{kg}(\text{O}_2)/\text{h}$,估计11kW深水充气增氧机空心轴负压吸气可达 $2\text{kg}(\text{O}_2)/\text{h}$ 以上。

旋涡风机充气增氧。每小时风量: $3.2 \times 60 = 192\text{m}^3/\text{h}$;每小时充氧量:氧占空气的21%,在一个大气压、气温为 35°C 条件下,干空气的密度 $\rho=1.146\text{kg}/\text{m}^3$ [清华大学 1992],则 $1.146 \times 192 \times 0.21 = 46.21\text{kg}(\text{O}_2)/\text{h}$ 。每小时溶解氧:由于充气经过两次细化,而且送入深层水域,估计氧吸收率在50%以上。现按低值计算,则 $46.21 \times 0.5 = 23.11\text{kg}(\text{O}_2)/\text{h}$ 。

增氧能力: $2 + 23.11 = 25.11\text{kg}(\text{O}_2)/\text{h}$

(4)增氧装置机群增氧

苏州河上海河段共安装增氧装置142台,支流河共安装350台,在夏季昼夜连续运行90天,则总溶解氧:

$$25.11 \times 492 \times 90 \times 24 = 26684899\text{kg}(\text{O}_2) = 26685\text{t}(\text{O}_2)$$

(4)裘祖楠,姚振淮. 1996. 见第131页脚注(2).

(5)赵仲兴. 1996. 略论影响苏州河水质的一些因素. 上海市环境科学学会论文集, 5.

3.4 预期的效果

(1)消除恶臭。上海大学化学化工系实验证明,苏州河水体逸出的恶臭气体中有 NH_3 和 H_2S (应太林等 1996)。这是因为苏州河严重缺氧而产生厌氧分解,必然产生这些臭气。本方案是大量深水增氧,能有效地偿还深层水域中的氧债。预计机群连续运行一段较长时间后,就可避免厌氧分解,从而避免恶臭的产生。即使还有少量的厌氧分解,但在溶氧充足的条件下, NH_3 和 H_2S 等从水底上升的过程中,还可得到进一步氧化降解。为此深层水域大量增氧,完全可以消除恶臭气。

(2)水质变清。苏州河水质成份十分复杂。上海大学化学化工系实验证明,发黑河水通氧1小时后,水体呈现清亮色。并进一步证明悬浮颗粒中的主要致黑成份是易被氧化的 FeS 和 MnS (应太林等 1996)。因此,苏州河大量深层水域增氧,不仅能有效偿还深层水域中的氧债,而且大量极小气泡到处扩散,对悬浮颗粒中的 FeS 和 MnS 进行氧化,使得悬浮颗粒由黑色变成青灰色,最终达到水质变清的目的。

4 分析与讨论

4.1 设备安装固定

苏州河低潮位时平均水深2~4米,高潮位时平均水深7~8米。另外,在涨潮期间,污水团受潮流顶托长时间回荡、停留在河道中(陈一申和林卫青 1996)。因此,设备安装必须考虑水位落差较大和涨潮这些因素,要能使增氧装置在低潮和高潮均可正常运行。为了达到此目的,在增氧装置定点处必须有固定的机架,并使漂浮的增氧机沿机架导轨自由上升和降落;此外,在导流管和导向管之间联接一根较长的软管,可由水位落差和增氧机被浸没的部分来确定软管的长度,以便适应水位的变化,即低潮时软管能自由弯曲,高潮时软管被自由拉直。

4.2 近期增氧方案

自1920年开始,苏州河(原名吴松江)市区段就出现了黑臭现象,解放后随着工业的发展,人口的增加,苏州河污染源也逐渐上溯扩大。至1978年,苏州河在上海境内已全部遭受污染,市区段水质已劣于《地面水环境质量标准》(GB3838-88)的V类标准值(陈一申和林卫青 1996)。因此,近1~2年内苏州河上海河段必须采取有效大量增氧措施,即深水充气增氧装置机群在夏秋季节昼夜运行,以便有效地偿还深层水域中的氧债,最终达到苏州河水质消臭变清的目的。

4.3 远期增氧方案

待苏州河水质得到根本上改善,并且有较好自然复氧能力时,增氧装置机群只在夏秋季晴

(6)应太林,张国莹,吴芯芯. 1996. 苏州河水体黑臭机理的研究和底质再悬浮对水体黑臭的影响. 上海市环境科学学会论文集, 58.

(7)陈一申,林卫青. 1996. 见第130页脚注(1).

天中午开机2~3小时,可安装光控开关,以便节省人力和电能。与此同时,可设计建造与旅游相结合的增氧船,既可大面积流动增氧,又可以让游客游览未来的苏州河两岸的风光。

参 考 文 献

- 上海科学技术情报研究所编. 1978. 国外水系保护措施与实例. 上海:上海科学技术文献出版社. 3.
李 刚. 1996. 香港采用湖泊曝气方法治理河水污染. 新民晚报5月6日第10版.
周树春. 1988. 易如吹泡的“格氏”净水法. 科技日报8月30日第3版.
殷肇君. 1997. 深水充气增氧装置. 中国专利号:97234773.9
清华大学编. 1992. 空气调节(第二版). 北京:中国建筑工业出版社. 316.

DISCUSSION ON THE PLAN OF AERIFICATION AND INCREASING OXYGEN FOR BOTTOM WATER OF SUZHOU RIVER

YIN Zhao-Jun

(College of Engineering & Technology, SFU, 200090)

ABSTRACT On the basis of analysing the situation of oxygen lacking in Suzhou River, five plans of increasing oxygen were compared and the plan proposed of aerification and increasing oxygen for bottom water is the best one. This plan requires less investment, starts quickly, repays oxygen debt effectively in bottom water, and will eventually dispel bad smell and make water clean in Suzhou River.

KEYWORDS Suzhou River, aerification, increasing oxygen, to dispel bad smell and make water clean