

国际学术会议报道

从“国际湖泊污染与恢复会议”看
当前湖泊污染控制的特点

沈 晓 鲤

(湖北省环境保护研究所)

“国际湖泊污染与恢复会议”(International Congress on Lakes Pollution and Recovery)于1985年4月15—18日在意大利罗马召开,参加会议的有来自欧洲、北美、亚洲等二十多个国家的二百多名有关专业的专家、学者,中国代表也参加了会议。

会议中心议题是解决湖泊(水库)的富营养化问题,对酸雨与湖泊酸化问题也作了讨论。会议反映欧洲、北美以及日本等工业发达国家尽管在近一、二十年内普遍采用了污水二级处理,但并没有能控制住湖泊的富营养化。因此富营养化防治的研究成了当今水污染控制的重要课题之一。本次会议比较集中地反映了目前国际上对湖泊富营养化防治的主要特点,本文就这个问题的三个方面加以介绍。

一、湖泊的负荷

湖泊负荷主要指营养物负荷,其中对大部分湖泊而言是要限制磷和氮的负荷。湖泊负荷分为内负荷与外负荷。外负荷为点源与非点源带来的污染。对副点源污染目前欧洲国家的主要措施是把现有的二级污水处理厂升级,脱除磷、氮。有的国家已制订了排放标准,限制磷、氮的排放。污水处理厂脱磷通常采用化学沉淀法,在二级处理厂的曝气池前投加三价或二价铁盐或铝盐将磷沉淀下来,有的还在二沉池后增设滤池,经这样处理后出水含磷量可控制在 0.2mg/l ,但是处理费用须在二级处理基础上增加70%。非点源污染也受到重视。由于农牧业发展,化肥大量使用,旅游、娱乐事业的兴起,湖泊受到的营养物非点源负荷加重了。据日本大阪大学Morioka教授的报告,日本几个主要湖泊的非点源污染负荷占总外负荷的比例,氮达22—51%,磷达30—60%。这个比例还有增加的趋势。

与会者得到的更深刻的印象是不少国家在湖泊内负荷方面的研究。对许多湖泊的研究结果表明进

入湖内的磷大部分会最终沉入湖底,积累在底泥中。外负荷改变后就会带来内负荷变化,不少湖泊在外负荷的磷削减之后由底泥继续向水中输送磷。内负荷就是指从底泥中释放出的营养物的量。在欧洲有的湖泊的内负荷在外负荷去除后可以达到与外负荷相同,甚至大几倍的数量。这种局面可以持续很长时间,尤其是有长期富营养化历史的湖泊。内负荷作用机理及控制的研究是目前富营养化研究的一个主题。荷兰农业大学水污染控制系Lijklema和欧洲经济共同体联合研究中心Premazzi等的论文涉及了底泥与覆水层之间的磷、氮的流动、输送,底泥中的物理、化学和生物学的作用过程,研究了泥-水界面影响营养物交换的各类因素,通过控制这些因素来抑制内负荷。内负荷的研究还包括内负荷值(磷的释放量)的理论与实验确定方法的探讨。Lijklema教授的论文讨论了用界面吸附平衡与质量平衡模式来确定底泥营养物释放率的方法。

二、数学模拟

60年代以来富营养化的研究就采用了数学模式,典型的有Vollenweider、Dillon和Rigler等建立的稳态经验模式,一般是建立磷浓度与水质指标(叶绿素a浓度或透明度)的关系。这类模式都用于预测和用于外负荷削减的决策方面。近几年发展了动态模式,这种模式的发展适应对湖泊内负荷研究和湖泊恢复研究的需要。动态模式可建立湖泊水体系统对其中的状态参数变化的关系。由哥本哈根大学Kamp-Nielsen介绍的丹麦Glumsø湖模式中引入了17个状态变量,浮游植物、浮游动物都纳入了系统模式。欧洲经济共同体联合研究中心在Lugano湖的富营养化研究中建立了一种垂直箱式作用模型,包括湖泊的表层、下层、底层。模式中引入了多种生态系统成分:浮游植物、藻细胞中的磷、溶解态无机

磷、固态有机磷、溶解态有机磷等，这些成分在湖表层、下层和底层间的交换用通量项的形式纳入平衡方程，描述固态与溶解态成份的沉淀和涡流扩散效应。

动态模式可以归纳湖泊生态系统的主要特征，尽管目前对富营养化的过程尚未充分了解，但建立适当的模式可以为研究提供手段，为治理恢复提供依据。捷克斯洛伐克科学院生态与生物数学实验室 Straškraba 博士指出了动态模式与稳态经验模式的区别在于经验模式唯一的考虑因素就是外负荷削减，而动态模式可以反映综合的治理措施。瑞士在 Baldegg 湖的治理研究中应用了 EAWAG-P 动态模式预测外负荷与内负荷综合治理措施的效果，作为决策依据。Baldegg 湖有长期富营养化历史，单靠削减外负荷不足以得到恢复。

动态模式可以扩展成优化管理模式，通过数学手段将各种治理措施优化结合，达到治理费用最低而效果最好的目的。

三、恢复技术

恢复技术的发展反映当前对湖泊内负荷控制的重视。湖泊的恢复是指湖内治理，调整和达到控制生态系统的结构与功能的目的。外负荷的削减被认为是湖泊恢复工程的准备工作。湖泊恢复技术的基础是对湖泊内负荷作用机理的研究。研究结果表明，底泥表层的氧化还原状况对抑制底泥磷释放至关重要，因此各类底层充氧技术得到发展，各种曝气、充氧设备应运而生。瑞典 Atlas Alco 公司的一

种设备能向底泥施加化学药剂，能在湖底移动，在鼓气的同时向泥中施入药剂，如 $\text{Fe}^{\#} \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 等，能将磷“惰化”而固定在底泥中。这是 Rippl 教授研究的方法，称为 RIPLOX 法。底泥疏浚、下层水抽吸灌溉这类方法能直接削减内负荷的作用。

除工程手段外，值得注意的是生物防治技术 (bio-manipulation)。目前在研究应用的有浮游动物与鱼类控制措施，食草的浮游动物被认为是控制的关键。联邦德国 Max-Planck 湖泊研究所 Lampert 博士提出当捕食浮游动物的鱼减少后，许多湖泊的浮游动物增加了。当浮游动物生物量达到 $1.5-3.0 \text{g}(\text{干重})/\text{M}^3$ 时，湖水就变清了。民主德国 Bautzen 水库的防治采用了生物防治办法，其中包括禁止放养捕食浮游动物的鱼，使浮游动物增加以捕食微型浮游植物，再放养食草类的鱼，如鲢鱼，以捕食大型的浮游植物。以色列在它最大的淡水湖 Kinneret 湖的治理中，兼顾了养鱼业的发展。它既考虑了鱼种的商业价值又考虑了其生态价值，减少捕食浮游动物的鱼种，从而在维持浮游植物现有的种类比例结构的情况下，减少了湖泊浮游植物量，改善了水质。

饮用水水库的富营养化防治在欧洲许多国家有重要的地位。本次会议议程之一就是参观罗马市远郊一个新开辟为罗马市饮用水源的湖泊——Bracciano 湖。为了保护水源修建了沿湖的截污工程、污水处理厂，控制沿湖农用化学物的使用并加强了水质监测。联邦德国的 Wahnbach 水库采取库内外结合的综合防治措施，取得了显著的效果。

环境信息

湖泊酸化的可逆性能力

据瑞典科学家 Curt Forberg 等报道，瑞典西部许多湖泊在七十年代中期酸化到最大值，硫酸盐浓度上升到 $270-290 \mu\text{eq}/\text{L}$ ，而 pH 值降低到 $4.4-4.5$ 。1977 年这种趋势反过来，观察到的硫酸盐和氢离子的浓度却降低了。

这种局部改善 pH 值不超过 0.3 到 0.4，其主要原因是硫酸盐的湿沉降物减少了，在瑞典西部气象采样点 Bohus Malmon 大约减少了 20%。同硫酸盐湿沉降物形成对比的是氢离子湿沉降物反而增加了，这可能是氮氧化物排放增加所致。

有几个湖泊发现硫酸盐减少 $40-100 \mu\text{eq}/\text{L}$ 。当

酸化和酸化减轻的状态下，硫酸盐和氢离子都呈相关关系。发生在这两种状态之间平衡阻碍作用是特别有意思的。当硫酸盐浓度降低到原先水平时，氢离子值却比酸化状态时高。新增加的沉降物也就更酸，同已降低的硫酸盐浓度所取得的改善相抵消。

可以得出结论，当硫酸盐浓度降低时，敏感的湖泊是可以很快恢复的。

[仲民摘译自 AMB 10, 14(3),
164(1985)]