

# 水库水动力对水体富营养化影响

刘洪波, 朱梦羚, 王精志, 顾海欣  
(上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093)

**摘要:** 当氮磷浓度达到富营养水平时,水动力条件(流量、流速和水位)可能成为制约因子,抑制水华发生。河道型深层出水的水库相对于湖泊型表层出水的水库,因为较大交换流量,较低营养盐浓度,保证了浮游植物和藻类较低的现存量。进一步研究水文条件(滞留时间、水位变化和水流运动)发现,保持较低的滞留时间、较高的水位和底层较低的流速,都有利于水库水体中营养盐和藻类的稀释,不利于浮游植物和藻类的生长,减缓水体富营养化进程。

**关键词:** 水动力条件; 水库; 富营养化; 浮游植物; 藻类

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2013)02-0019-03

## Influence of reservoir hydrodynamic on eutrophication of water body

LIU Hongbo, ZHU Mengling, WANG Jingzhi, GU Haixin

(School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** When the concentration of nitrogen and phosphorus reaches the eutrophication level, hydrodynamic conditions (flow, flow rate, stage) may be the constraints, which will restrain the development of algal bloom. Comparing the reservoirs of river-type and draining off water from deep layer with that of lake-type and draining off water from shallow layer, the former reservoirs have a low biomass of phytoplankton and algae, because of the large traffic exchange and low concentration of nutrient. After further study on hydrological conditions (residence time, stage change, water flow motion), the paper discovered that keeping short residence time, higher water level and lower water flow in bottom water layer is benefit to the dilution of concentration of nutrition and algae, is disbenefit to the growth of phytoplankton and algae, which slows down the eutrophication process.

**Key words:** hydrodynamic condition; reservoir; eutrophication; phytoplankton; algae

## 1 概述

水库富营养化问题,是指在氮、磷等营养物质在水库中达到一定浓度时,藻类以及其他浮游生物迅速繁殖,水体中溶解氧含量大幅下降,导致水生生物大量死亡<sup>[1]</sup>,同时释放出的藻毒素和臭味物质,使得水环境变得非常恶劣,影响日常用水健康<sup>[2]</sup>。

汉江水华发生在枯水期,水流速度缓慢,水体自净能力差<sup>[3]</sup>。在法国 Bay of the Brest 的研究中发现,虽然海湾区域营养盐浓度较高,但由于良好的水动力条件,海湾与外海水力交换条件良好,因此海湾并没发生富营养化<sup>[4-5]</sup>。即使在营养盐、水温等富营养化条件满足的情况下,水动力条件也可能成为水体富营养化的制约因子。水动力条件包括:流量、流速和水位。

## 2 水动力对水库富营养化影响

### 2.1 水库概况

水库不同于湖泊,主要是因为水库的补给系数较大,流域的水质水量对水库起主导性影响。因此,水库的富营养化的形成除了与营养元素、温度及光照等因素影响外,主要还受到水库类型和功能,以及当地水文情势的影响。区别于湖泊富营养化,水库还具备以下特征:

2.1.1 水库富营养化受水库类型的影响 水库的类型(河道型和湖泊型)主要受地形、地势的影响。河道型水库多在山区,河流径流量大、坡度大,使得水库中水体交换量大,同时又因为人口密度小,所以导致入库的污染负荷小。而湖泊型水库多为丘陵或平原地区,水流势较为平缓。枯水期时,或周边河流

收稿日期:2012-12-25; 修回日期:2013-01-07

基金项目:国家自然科学基金项目(21206092)

作者简介:刘洪波(1979-),男,湖北仙桃人,副教授,工学博士,硕士生导师,主要研究方向为水污染控制理论与技术。

的汛期比其早,会对水库产生“顶托”作用,使得水库水流速度更加缓慢,呈现湖泊水的状态,为藻类及浮游生物的生长繁殖创造了有利条件;又因为平原地区人口密度较大,导致入库的污染负荷大,因此湖泊型水库富营养化程度远远高于河道型水库。

**2.1.2 水库富营养化受水库功能的影响** 不同用途的水库其水滞留时间、出库水流深度、流速和出水位置各不相同,这主要是由于不同水库的不同使用功能,导致不同调度方式的时空异质性。不同水层的水质是不同的,因为水层间的粘滞力,导致流速随着深度的增加而减缓。因此,水库中营养物质浓度在竖向存在明显分层,深层的营养物浓度明显高于表层。王庆锁等(2009)对密云水库研究表明总磷浓度垂直变化的总体趋势自上而下逐渐升高<sup>[6]</sup>。

不同的水库调用方式,导致了库中营养物水平及其分布的改变。在实际的水库运行管理过程中,出库的水流会影响水库的水流及垂直分布,进而影响水库的水动力学过程,使得水质发生变化。比如,以发电为主的水库多为底层出流,这样的出流方式使得水位的落差大、水流量大、水滞留时间短,水体的自净能力强,这些都不利于浮游生物及藻类的生长,保证了较好的水质<sup>[7]</sup>,如湖南江垭水库、湖北隔河岩水库等;而另一种以灌溉或者饮用为主的水库多以表层出水为主,且库内水滞留时间相对较长,水位的变化较小,这有利于浮游生物以及藻类生长,通常这样的水库水质相对较差,如江苏的大溪水库、沙河水库和横山水库等。由此可以发现水库用途不同,出水的位置以及出水量都不相同,从而影响水体滞留时间,较长滞留时间导致较慢水流速度,有利浮游生物及藻类生长,加速水体富营养化进程。因此可采用深层出水和减少水滞留时间,改善水质,降低水体富营养化可能。

## 2.2 水文情势对水库富营养化的影响

水文情势包括滞留时间、水位变化和水流运动。水文对水质的作用主要表现在对水位、水滞留时间的调节,改变水流运动,进而改变浮游生物以藻类种类组成,稀释或降低浮游生物及藻类的现存量,破坏其生存条件。

**2.2.1 水滞留时间对水库富营养化的影响** 水在库区的滞留情况和水交换情况直接影响悬浮物的沉淀以及磷等有机物的滞留。水库通过改变悬浮物的沉淀以及磷等有机物的滞留时间决定水库中浮游生物种群能否维持:滞留时间太短,一方面导致悬浮物沉淀较差,有机物富集程度较差;另一方面,较短的

滞留时间,浮游生物及藻类由于缺乏足够的时间进行繁殖,于玲红(2011)以引黄水库位原水研究发现较高流速抑制了藻类的生长,缩短了藻类的生长周期<sup>[8]</sup>。这两方面都将减少水体富营养化的可能。

枯水期或枯水年,或者附近河流的汛期较早而产生“顶托”作用,导致吞吐水量少,库区与库外的水流交换较少,库区内的营养物质产生富集,同时因为吞吐水量少,库区内水流变缓,库水滞留时间过长,也给浮游生物及藻类足够的时间生长,易发生水华。Straskbraba M等(1995)分析世界各地的水库发现,年均滞留时间对水库的水动力学、化学(营养盐)和生物过程有着直接的相关性。增大水交换量,缩短水滞留时间,是有效防止水温分层,增加水体混合层,破坏浮游生物及藻类繁殖和生存条件,进而达到减缓富营养化进程的目的。

OsmiKawara等(1998)对Asahi水库研究表明,根据氮磷等指标判断,Asahi水库在1980年已经达到富营养化程度,但却很少发现浮游生物及藻类疯长的情况,通过进一步研究发现,只有当水滞留时间超过2周或更长时间,浮游生物及藻类才能维持较高的种群数量。因此,库区滞留时间将直接影响营养物质的输入输出,而水的滞留时间长短则直接影响水库的水质状况和富营养化程度。加大水库与外界的水量交换,或者缩短水库水滞留时间,这都不利于营养盐的富集和浮游生物及藻类的生长,抑制水库富营养化的发展。

**2.2.2 水位对水库富营养化的影响** 水库的各项功能运转是通过人工对水量的调蓄来实现,这种调蓄作用是通过改变进出水量的平衡和水库平面形态决定水位的变化。同时水中溶解和悬浮的各种物质都随水的流动而相互之间发生物理、化学和生物的混合、分布、迁移和转化过程。因此,水库调蓄作用即水位的变化不但影响水体水量的平衡,也将影响水库的理化现象和生态过程。一般水库的调蓄决定水库的水位,水量平衡则由水位的高低反映。当水库出现高水位则表明水流量大,反之则小。蓄水水体密度决定着库区水质,入库水量越大,水位越高,说明库区的水动力条件就越好,营养盐不易富集,水体自净能力强,水质就越好;反之,入库水量少,则水位越低,导致水中营养盐富集,导致水质变差。

许多研究表明,浮游生物及藻类的现存量与水位存在显著的负相关性,枯水期(年),尽可能保持高水位有益于水质的改善<sup>[9-11]</sup>。因为库区水位高,

则水库库容量大,对浮游生物及藻类有稀释作用,使得浮游生物及藻类现存量较低,保证较好出水水质;同时高水位可扩大鱼类产卵场和鱼群补充群体,增加了对蓝绿藻的摄食能力,通过生态体系更加完善的建立,表现在食物链及营养级联作用增强。可以控制浮游生物及藻类的种群密度,有益于防止浮游生物及藻类大量滋生,从而降低水华爆发的可能性。

2.2.3 水流运动对水库富营养化影响 水流运动除了在研究滞留时间和水位有影响之外,还会对常年沉积在底泥中的营养盐循环迁移起着重要的作用<sup>[12]</sup>。沉积在水库底部的底泥有着较大的表面积,因此可以吸附下层流速较慢而沉降的氮、磷等营养物质,这些物质又会随着沉积物间隙水与上覆水进行物理、化学以及生物等作用,使得物质再次进行交换。所以在不同的水流运动条件下,这些吸附在沉积物上的污染物会再次释放出来。主要表现在:

(1)在水体水位较高时,下层水体由于水层间粘滞力保持相对静止,使得水体下层出现跃温层现象。库底的沉积物质由于相对静止的水流条件,不会大量向水中释放,保证了浓度较高的营养盐存在于底泥中,保持中上层水体的营养盐浓度不高,抑制了浮游生物以及藻类的生长,使得它们的现存量较低。

(2)当水流运动加强时,库底的沉积物则会因为水流的作用力,再次向水体释放。这就导致底泥中富集的营养盐扩散到上层水体中,浮游生物以及藻类则会因为营养盐浓度的增高而大量生长,现存量较大,从而增加水华爆发的可能。孙钦鑫等(2011)研究徒骇河发现,徒骇河沉积物中 TP 的释放随着水体扰动强度的增强而增强,呈现一定的正相关关系<sup>[13]</sup>。

### 3 结 语

水动力对水库的富营养化影响从水库的类型,水库功能方面表明:河道型水库的富营养化可能性比湖泊型小;用于发电等功能的大流量深层取水的水库比用来灌溉的表层取水的水库的富营养化可能性小。这主要因为,河道型水库和大流量深层取水的水库,吞吐量,流速,滞留时间不利于浮游生物及藻类生长的,使得富营养化得到抑制。

进一步研究滞留时间、水位变化和水流运动发现:较大的吞吐水量,较短滞留时间,较高水位和底层较小的水流变化都会影响库区水体营养盐的富集,和营养盐的扩散,浮游生物及藻类的生长所需的

营养盐浓度较低,浮游生物及藻类的现存量较低,同时建立起较复杂的生物链和营养级作用增强,抑制水华爆发的进程。

### 参考文献:

- [1] 金鑫,秦辉. 湖水流动对湖泊藻类生长的影响[J]. 轻工科技,2012,2(2):80-81.
- [2] Kang Y H, Park C S, Han M S. *Pseudomonas aeruginosa* UCBPP-PA14 a useful bacterium capable of lysing microcystis aeruginosa cells and degrading microcystins[J]. Journal of Applied Phycology,2012,24(6):1517-1525.
- [3] 唐友尧,王桂荣. 汉江“水华”成因分析及防治[J]. 重庆环境科学,2001,23(5):21-23.
- [4] Menesguen A, Cugier P, Leblond I. A new numerical technique for tracking chemical species in a multisource, coastal ecosystem applied to nitrogen causing *Ulva* blooms in the Bay of Brest (France)[J]. Limnology and Oceanography,2006,51(1):591-601.
- [5] Sagan G, Thouzeau G. Microphytobenthic biomass in the Bay of Brest and the western English Channel[J]. Oceanologica Acta,1998,21(5):677-694.
- [6] 王庆锁,梅旭荣,张燕卿,等. 密云水库水质研究综述[J]. 中国农业科技导报,2009,11(1):45-50.
- [7] Rangel L M, Silva L H S, Rosa P, et al. Phytoplankton biomass is mainly controlled by hydrology and phosphorus concentrations in tropical hydroelectric reservoirs [J]. Hydrobiologia,2012,693(1):13-28.
- [8] 于玲红,郭艳琴. 动力条件对引黄水库藻类的影响[J]. 人民黄河,2011,33(1):81-84.
- [9] 谭路,蔡庆华,徐耀阳,等. 三峡水库 175m 水位试验性蓄水后春季富营养状态调查及比较[J]. 湿地科学,2010,8(4):331-337.
- [10] 龙天渝,李祥华,吴磊. 灰色关联分析水位下降对藻类生长的影响[J]. 三峡环境与生态,2010,3(3):8-11.
- [11] Wunnemann B, Wagner J, Zhang Y Z, et al. Implications of diverse sedimentation patterns in Hala Lake, Qinghai Province, China for reconstructing Late Quaternary climate[J]. Journal of Paleolimnology,2012,48,(4):725-749.
- [12] 席北斗,徐红灯,翟丽华,等. pH 对沟渠沉积物截留农田排水沟渠中氮、磷的影响研究[J]. 环境污染与防治,2007,29(7):490-494.
- [13] 孙钦鑫,邓焕广,陈永金,等. 不同水动力条件下徒骇河沉积物营养盐释放规律研究[J]. 安徽农业科学,2011,39(20):12301-12303.