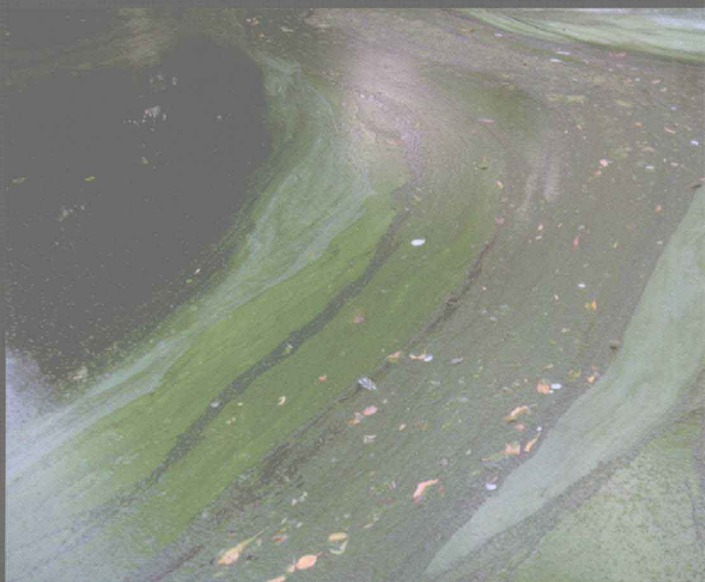




水库蓝藻水华 监测与管理

SHUIKU LANZAO SHUIHUA
JIANCE YU GUANLI

彭亮 胡韧 雷腊梅 韩博平 等 编著

中国环境科学出版社

水库蓝藻水华 监测与管理

彭 亮 胡 韧 等 编著
雷腊梅 韩博平

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

水库蓝藻水华监测与管理/彭亮等编著. —北京: 中国环境科学出版社, 2011. 8
ISBN 978-7-5111-0614-8

I. ①水… II. ①彭… III. ①水库—蓝藻纲—藻类水华—灾害管理—中国 IV.
①Q949.22

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第119871号

责任编辑 李卫民
责任校对 扣志红
排版制作 杨曙荣

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京东城区广渠门内大街16号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京画中画印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2011年8月第1版
印 次 2011年8月第1次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 6.75
字 数 105千字
定 价 22.00元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

地表水体的富营养化是当今人类面临的一个重大环境问题，在很多的富营养化水体中都出现了蓝藻水华现象，发展中国家的蓝藻水华发生频率有不断增加的趋势。许多形成水华的蓝藻能释放大量对水环境和人类健康造成严重危害的次生代谢产物，其中蓝藻毒素和异味物质是两类最主要的有害物质。世界卫生组织已经规定了饮用水中蓝藻毒素与异味物质的安全标准。我国是富营养化程度最严重、产毒藻类分布最广和影响最大的国家之一，不少饮用及养殖水体，特别是在经济快速发展而人口承载量又很大的地区，蓝藻水华问题尤为突出，蓝藻水华形成的污染对水生态系统及公共卫生安全构成了潜在的威胁。

2007年太湖蓝藻水华事件发生后，我国水环境管理人员以及以湖泊为水源的城市居民开始主动关注蓝藻水华及其灾害。到目前为止，我国发生大规模蓝藻水华的水体主要为长江中下游湖泊和云南高原的湖泊，所以人们对湖泊富营养化与蓝藻水华灾害已有了直接的认识。我国是世界上水库最多的国家，水库在城乡供水发挥了巨大的作用，但人们对水库富营养化的认识还比较少。与天然湖泊不同，水库是通过筑坝形成的半人工半自然水体，防洪、发电和灌溉等是早期水库设计的功能。随着社会和经济的发展，人类对淡水资源的需求增强，水库供水功能不断增强。我国是一个农业大国，农村人口多，水库流域内的经济活动强度大。目前水库普遍存在富营养化问题，已有不少水库发生了蓝藻水华。因此，加强对水库蓝藻水华的监测，提高管理与防治能力，对水库的供水保障具有重要意义。

水库作为一类介于河流和湖泊之间的水体，其水动力学过程明显地受人为调节与控制，包括发电、防洪和灌溉等，导致水位变化大、水滞留时间相对较短，

因此水库的生态过程与蓝藻水华发生有自身的特点。结合广东省水库蓝藻水华的监测与管理经验，本书对水库蓝藻水华监测管理需要的基本知识与处理方法进行了编辑整理，以期作为水库生态保护与水质管理人员的参考手册。本书力求以浅显易懂的形式，向广大水库管理单位的技术人员、管理人员和决策领导等提供基础知识，同时为高校学生提供实践经验，以使更多的人了解蓝藻水华的监测与管理。

本书由韩博平、彭亮统稿，各章节编写人员如下：第1章，韩博平；第2章，胡韧；第3章，雷腊梅、彭亮；第4章，韩博平；第5章，雷腊梅、李林、彭亮；第6章，林秋奇；第7章，韩博平、彭亮；第8章，雷腊梅、李林。书中如有不当之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 水库的生态特征与水质日常管理	1
1.1 水库的形态与物理特征	1
1.2 水库的生态特征	3
1.2.1 入库水流	3
1.2.2 出库水流	3
1.2.3 水库的生态分区与藻类生长的空间差异	3
1.3 影响水库水质的宏观因素	5
1.3.1 纬度与地理位置	5
1.3.2 流域性质	5
1.3.3 水力滞留时间	6
1.4 水库水质的日常管理	6
1.4.1 流域管理	7
1.4.2 库内的生态管理	7
第 2 章 蓝藻形态与分类	9
2.1 蓝藻细胞的形态和结构	10
2.1.1 蓝藻细胞的形态	10
2.1.2 蓝藻的细胞结构	10
2.2 蓝藻的繁殖	13
2.3 蓝藻的分类	15

2.4 华南地区水库的主要蓝藻种类	18
第3章 蓝藻毒素与异味物质	23
3.1 蓝藻毒素	23
3.1.1 微囊藻毒素和节球藻毒素	24
3.1.2 拟柱孢藻毒素	27
3.2 蓝藻异味物质	28
3.2.1 水体异味的来源及分类	28
3.2.2 藻源常见异味物质	30
第4章 蓝藻水华与生态灾害	35
4.1 什么是蓝藻水华	35
4.2 蓝藻水华发生的内因和外因	37
4.3 蓝藻水华发生季节及持续时间	39
4.4 蓝藻水华的生态灾害	42
第5章 微囊藻毒素和异味物质的检测	48
5.1 微囊藻毒素的检测	48
5.1.1 HPLC 检测法	49
5.1.2 免疫检测法	52
5.1.3 蛋白磷酸酶抑制性分析法	56
5.1.4 液质联用检测法 (LC—MS)	57
5.1.5 其他分析方法	57
5.2 异味物质的检测	58
5.2.1 嗅觉鉴定方法	58
5.2.2 仪器分析法	58

第 6 章 蓝藻水华监测与风险评估.....	62
6.1 蓝藻水华监测	62
6.1.1 蓝藻监测方案	63
6.1.2 监测方法	64
6.2 风险评估与管理	70
6.2.1 蓝藻灾害等级划分与评定	70
6.2.2 对不同等级的水库进行分类管理	71
第 7 章 蓝藻水华的预防与控制.....	73
7.1 富营养化与蓝藻水华发生的关系	73
7.2 蓝藻水华控制的基本原理	75
7.3 蓝藻水华控制的应急技术	76
7.4 蓝藻水华控制的生态技术	79
7.4.1 生物操纵方法	79
7.4.2 鲢、鳙养殖对蓝藻水华的控制	81
7.4.3 利用大型底栖动物控制水华	82
7.4.4 利用大麦秆浸出物控制水华	83
7.5 基于污染源管理的蓝藻水华防治技术	83
7.5.1 面源污染控制技术	84
7.5.2 内源污染控制技术	85
7.5.3 前置库和深层排水	86
7.6 生态系统恢复与管理是蓝藻水华防治的长期策略	87
第 8 章 饮用水中蓝藻毒素和异味物质的处理.....	90
8.1 饮用水中蓝藻毒素的处理	90
8.1.1 絮凝、溶解空气浮选和活性炭吸附	91

8.1.2 氯化处理	92
8.1.3 膜过滤	93
8.1.4 光化学降解	93
8.1.5 臭氧氧化	93
8.2 饮用水中异味物质的处理	94
8.2.1 水体异味的控制	96
8.2.2 水体异味的处理	96
后 记	99

第 1 章

水库的生态特征与水质日常管理

在早期的淡水生态学中，人们一直把水库看成湖泊的一种类型，在管理上也沿袭了湖泊的经验。随着对水库生态学研究的深入，人们越来越多地意识到水库和天然湖泊在生态学上有较大的差异，对这种差异的了解有助于对水库水质进行有效管理。水库作为半人工半自然的一类生态系统，影响其水质的生态过程有其自身的规律。水库通常狭长，河床有明显的坡度，较湖泊有更大的集水区；水库出水口的位置及流量受人工的强烈调节，水位波动较大，水体表现出强烈的不稳定性，这些特征直接影响水库水温、溶解氧、营养盐、悬浮物等的分布，进而影响浮游植物群落的结构形成与动态变化。在富营养化水库中，水库的物理形态特征也影响藻类水华的发生时间、地点和规模。

1.1 水库的形态与物理特征

水库是由人工拦河筑坝形成的水体，水库水体表面狭长，呈树枝状，水库岸线发展系数相对于湖泊大；水库库盆纵向剖面呈三角形，从入水口到大坝有明显的坡度，大坝处最深(图 1-1)。水库通常位于流域的端部，水库吞吐流速相对较快，水力滞留时间相对较短，水位波动大，岸线不稳定；水补给系数大，流域对水库水量水质的影响占主导地位。根据库容大小，水库可划分为大型、中型和小型水库。在我国，小于 $1\,000\text{万 m}^3$ 为小型水库，大于 1亿 m^3 为大型水库。根据水流的特点，水库也分为河道型水库、平原型水库和山谷型水库。根据来水的性质，水库也可

以分为调水型与非调水型水库。还有一类特殊的水库，即抽水水库。抽水水库通过人为抽水增加水库的蓄水量，这类水库的来水时间与来水水量不同于其他水库，水库的水动力学和运行管理模式也不同。作为一类半人工水体，水库与湖泊在很多方面存在明显差异（表 1-1）。

水库：顾名思义，存贮水的大仓库。就库存水功能而言，水库可以有多样化的形式。现代的水库主要是指通过人为在河道上筑坝形成的水体，大坝是水库的标志建筑物，原来的河道的形态及所在的流域性质对水库水质有着决定性的影响。

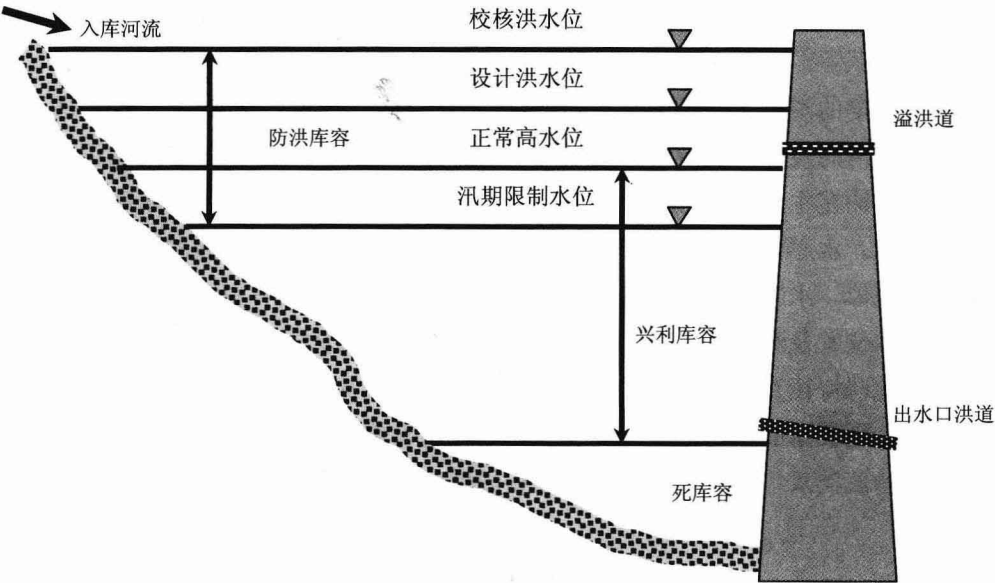


图 1-1 水库水位与库容利用

表 1-1 水库与湖泊特征比较

	湖泊	水库
属性	天然	人造
形成	低洼地积水	河谷筑坝蓄水
岸线发展系数	小	大
最大深度	湖中间	大坝处
纵向梯度起因	风生流	吞吐流

	湖泊	水库
水力补给系数	低	高
水力滞留时间	长	短
几何形状	U 形	V 形
水动力学	比较规律	变化大
骚动起因	自然	人为

1.2 水库的生态特征

1.2.1 入库水流

流域上的降水经由地面和地下的途径汇入河网，形成水库的入库水流。流域的土壤类型、土地利用状况和植被覆盖程度等对入库水流水质有决定性作用。流域陆地生态系统不仅是水库生态系统的补给水源，也是水库生态系统的营养来源。

1.2.2 出库水流

出库水质取决于水库水质。水库出现垂直分层现象时，不同水层的水质是不一样的，这时出库水流水质取决于出水口位置的选择。在水库具体运行管理过程中，出库水流可能影响水库水流及垂直分层，从而影响水库水动力学过程，使水库水质发生变化。

1.2.3 水库的生态分区与藻类生长的空间差异

水库特有的形态结构及入库、出库水流导致水库从河流入水库处到大坝在物理、化学和生物学上均存在一个纵向梯度，在生物生境上表现出由激流环境到静水环境的过渡。根据生态特点，由水库入水口到大坝可依次分为河流区、过渡区和湖泊区（图 1-2）。这三个区在时空上是变化动态的，依水库的吞吐流特征而定。河流区位于水库入水口，既窄又浅，水流速度快。入库水流从流域上带来了大量

的营养盐、无机和有机颗粒物，造成河流区营养物含量最高、透明度最低。藻类的生长受光抑制，营养盐靠平流输送，藻类生物量及生长速率均相对较低。

过渡区相对于河流区结构上宽而深，水流流速减慢，这时粒径小的淤泥、黏土和细颗粒有机物大量沉积，是悬浮物沉积的主要区域。由于沉积的淤泥和黏土对营养盐有较强的吸附能力，使该区水体中营养盐的浓度降低，因而底部沉积物营养盐的含量比其他两个区高。悬浮物的大量沉积，使过渡区透明度升高，藻类生长受光抑制现象得到改善，同时该区营养盐的含量仍相对较高，因而水库中该区域藻类的生物量及生长速率最高。

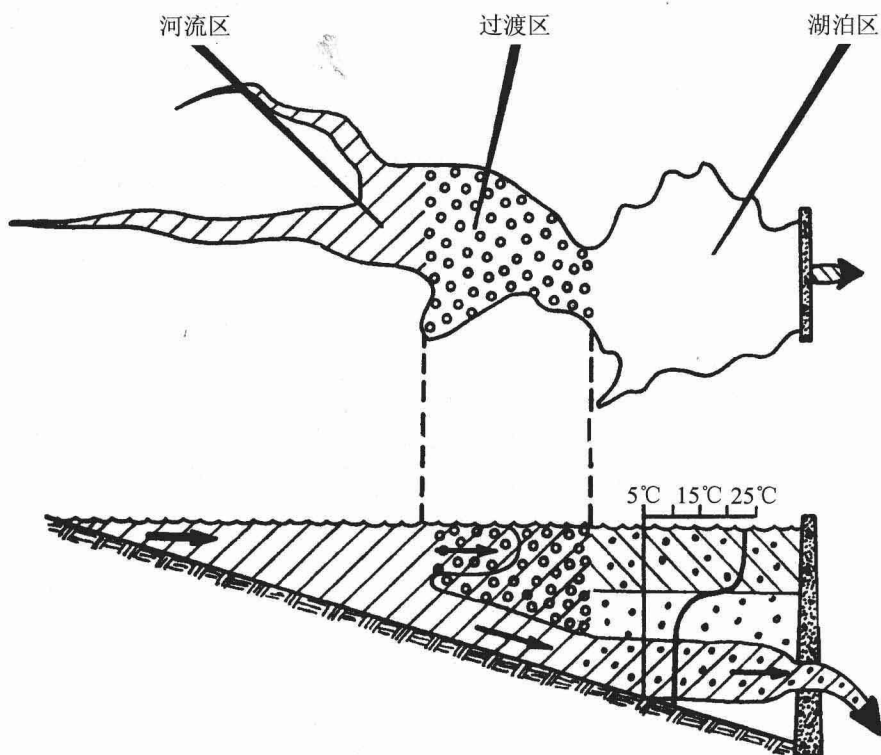


图 1-2 水库剖面与纵向分区

湖泊区位于水库大坝处，是水库最宽最深的区域，极易出现垂直分层现象。顾名思义，水库的湖泊区就是指水域的生态性质与天然湖泊相似的区域。湖泊区

水流流速最慢，粒径更小的颗粒物进一步沉淀，水体透明度在三个区中最高。由于营养盐一方面在过渡区被细小的悬浮物大量吸附沉积到水库底部，另一方面被藻类生长吸收，因而湖泊区表层水营养盐的含量比其他两个区低，藻类生长主要受营养盐限制。

1.3 影响水库水质的宏观因素

1.3.1 纬度与地理位置

在地理尺度上，水库生态系统间的差别主要由与纬度有关的物理变量决定，这些变量包括蒸发、气温、降水、太阳辐射和风速等。以上变量在纬度方向上的地带性是十分明显的，这导致了在纬度方向上水库生态系统结构有明显的地带特征。地理尺度上的差异通常伴随着水库集水区域地质、土壤性质上的差异，这直接影响入库水流的化学性质和水库沉积物的性质。我国华南地区全年光照充足，无明显的冬季，水温与光照有利于藻类的生长，在富营养化条件下，较北方水库更易发生蓝藻水华。

1.3.2 流域性质

流域大小、水库在流域中的位置与土地利用是流域尺度上三个影响生态系统性质的最主要因素。尽管水库较湖泊有较大的水力补给系数（流域与水库的面积比），对于一个具体的水库而言，水力补给系数由所在的流域结构决定。流域中河流干流和各支流形成一个连续系统（Continuum），大坝的位置对水库的物理过程和生物过程有决定性意义。位于河流源头的水库，水库库盆坡度大，库岸陡，生境的多样性相对比较低。处于河流连续系统下游的水库，库盆坡度小，表面积相对比较大，生境的多样性相对比较高。

无论水库在河流连续系统中处于怎样的位置，水库的存在都极大地改变了河网的物理过程和生物过程。处于上游的水库由于对入库河流径流的滞流，大量营

养物质随悬浮物质沉积而被截留，出库水流的物理、化学与生物学特性影响下游区域，从而改变了整个河流连续系统的物理过程与生物过程。



流域，也称为集水区，通常针对河流而言，指将雨水和地表径流汇入河流的陆地区域，不同的流域以分水岭为界。水库流域是针对入库河流而言的汇水区。流域性质包括面积、地形、土壤背景、土地类型和人为活动等方面。

1.3.3 水力滞留时间

水库水动力学与水力滞留时间（交换期）之间的关系是明显的，水库的库容与出流量均随时间变化，实际滞留时间的计算通常比较复杂。水库的年平均滞留时间与水体的水动力学、化学与生物过程有直接的相关性。首先滞留时间影响水库湖泊区的分层，当水库的滞留时间小于 10 天时，水库难以分层；要出现明显分层，水库滞留时间一般要大于 100 天。当入库水流化学物质的浓度维持不变时，该物质负荷量随滞留时间的增加而减少且符合指数函数。滞留时间对水生生物的影响直接表现在水生生物种群的动态变化上。水力滞留时间的长短决定了水库中浮游动物种群能否维持。滞留时间太短，浮游动物由于缺乏足够的时间进行繁殖，种群数量将难以维持。

1.4 水库水质的日常管理

水库的水力补给系数要大于相同水面的湖泊，水库水质与流域土壤类型、土地利用状况等密切相关。富营养化是当前水库水质管理中的主要问题，富营养化

会导致水库底层缺氧和包括重金属等在内的二次污染问题。由于水库具有较大的流域面积,流域也是库内污染物的主要来源地,同时管理上存在行政跨区等产生的复杂性;而从长远的角度来看,水库水质管理的根本出路是流域管理。因此,水库水质的管理应立足流域管理,加强水库水面内的生态管理,在水库正常运行过程中实施水质管理的理念。

1.4.1 流域管理

实施水库流域管理,需要以流域污染物输出负荷的预测和评价为基础,这须借助于流域非点源模型。在简化的流域模型中,通常考虑污染物的输入和输出,不涉及污染物在流域内的具体迁移转化过程。在掌握入库污染负荷的基础上,可以采用入库负荷—水库浓度模型预测水体中主要营养盐的浓度,做到污染控制。由于蓝藻是生长周期较短的生物类群,建立以月为时间单位的入库负荷—水库浓度关系能更有效地掌握蓝藻对入库污染的响应。

流域管理的最终目的是减少流域污染物向水库输入,具体的管理任务有:维持流域各种自然景观,尤其是上游河流两岸的湿地;提高河流两岸及水库库区周围地区的森林覆盖率;加强农业管理,减少水土流失及污染物的排放,控制化肥的使用量并改善施肥方法,提高肥料利用效率。水库移民安置落实是很多水库实际管理中的难点,我国农村居民具有强烈的“老家文化”理念,水库移民工作是控制水库流域内的人口和土地利用强度的关键;实施水库周边村镇生活污水集中处理则在落实水源保护工作中至关重要。

1.4.2 库内的生态管理

污染物进入水库后,需要合理的水库库内生态管理。在我国,绝大多数水库都设有具有管理职能的水库管理处(局),它们是水库的库内日常管理的主要依托机构。目前水库管理处主要隶属于水利部门,主要的管理任务是传统水库的防洪和发电等,水质管理则是水库管理处面对的新问题。由于有效的库内管理是建立在对水库水动力学及生态学过程了解的基础上,而水库管理处掌握着完整的水库水文水动力学历史数据,因此在实施水质管理上有很大的专业优势。水力学

调度和渔业生产管理是库内水质日常管理的关键。对水库水动力学过程的深入了解需要以水库现场调查为基础,运用水动力学模型进行模拟分析。目前应用比较广泛的水库水动力学模型是西澳大利亚大学水研究中心开发的 DYRESM,该模型可以模拟水库的垂直分层和水流、营养盐(各形态的氮和磷)、浮游藻类生长、溶解氧、BOD 和悬浮物沉积等。在运用此水动力学模型模拟分析的基础上,可以设计较为合理的水库日常调度程序。以优化水库水力调度为核心,科学选择出水口深度来排出特定深度的水层,合理调节水库水位和水力滞留时间,以达到改善水质的目的。渔业生产管理需要加强水质管理目标,而不是传统意义上的经济渔业。渔业管理的目标是落实生物管理方法,即通过对水库食物链与食物网的调控,达到控制藻类生物量和改善水质的目的。



辅助阅读

- 陈宜瑜,王毅,李利锋,等.2007.中国流域综合管理战略研究.北京:科学出版社.
- 金相灿.1990.中国湖泊水库环境调查研究(1980—1985).北京:中国环境科学出版社.
- 冯民权,郑邦民,周孝德.2007.河流及水库流场与水质的数值模拟.北京:科学出版社.