

8
16

广东省大中型水库 富营养化现状与防治对策研究

广东省水利厅
暨 南 大 学

科 学 出 版 社
北 京

《广东省大中型水库富营养化现状与防治对策研究》编辑委员会

主 任： 周日方

副主任： 彭泽英 纪宗安

委 员： 林旭钿 李 铁 张火金 韩博平 林桂花 段舜山

林小涛 刘正文 王朝晖 林秋奇 钟秀英 胡 韧

主 编： 韩博平 李 铁 林旭钿

副主编： 林桂花 钟秀英 段舜山 林秋奇

前言

广东省地处热带亚热带地区,水资源丰富,但受自然条件影响,水资源时空分布极不均匀,同时由于地质构造上的原因,自然湖泊甚少,地下水也相对比较贫乏。随着广东省经济建设的发展和城市规模扩大,对水资源的要求越来越高,但由于水环境污染日趋严重,部分地区水资源供需矛盾日趋尖锐,水危机已严重威胁全省经济和社会可持续发展。目前广东省的缺水主要有以下3种类型:1)资源性缺水。主要分布在粤东沿海地区、粤西沿海地区和粤北石灰岩山区,这些地区河流短浅,集水面积小,绝大部分水量在汛期直流入海,枯水期可利用水量十分有限;2)水质性缺水。目前全省污水年排放量约100亿t,其中近70%来自珠江三角洲,珠江三角洲地区的水质性缺水已成为我国水资源中的突出问题;3)工程性缺水。一些城市和地区的水源开发或远距离调水的水源工程建设较为落后。由于全省水资源供需的上述特点,导致水库蓄水和水库水资源在全省处于异常重要的地位。目前广东省有大型水库31座,中型水库282座,小型水库6400多座,总库容量在全国列第4位。水库供水在广东省经济和社会发展中起着十分重要的作用,全省5个大型供水水源地均与水库有关,即东江东深供水水源地(包括东深供水渠以及深圳水库)、新丰江水库、鹤地水库、流溪河水库和高州水库。同时,广东省的水库还承担对香港和澳门两个特别行政区的供水任务。近年来,广东省对水库水资源的保护十分重视,在大型和重要中型供水水库均设有监测断面,深圳水库已实现水质监测自动化。为加强全省水库水资源保护和管理,广东省水利厅于1999年底启动了“广东省典型大中型供水水库富营养化现状调查和防治对策研究”重点项目,委托暨南大学对全省20座重要的典型大中型供水水库的富营养化机理和现状进行初步研究。课题组的工作得到广东省水文局和水利厅水政资源处的有力支持和协调,经过2年多的艰苦努力,圆满完成了项目任务,达到了预期的目标。本文集收集了该研究项目的阶段性成果共27篇论文,并附有大量调查水库浮游生物图片,为今后广东省水库富营养化机理的深入研究和防治工作奠定了很好的基础。本文集的出版,将有力地推动广东省水库水资源保护和环境治理工作的开展。

编委会

2003年元月于广州

序

水库是通过筑坝形成的人工湖泊，广泛分布于世界各地，尤其是天然湖泊分布比较少的地区。早期建造水库的主要目的是防洪、发电和灌溉等，但随着淡水资源短缺，水库供水已成为缓解全球水资源供需矛盾的重要途径。而目前世界各地水库普遍存在富营养化和水质资源退化问题，开展水库生态学及其在水库水质管理中的应用研究已成为现代湖沼学的一个热点。水库作为一类介于河流和湖泊之间的水体，其水动力学过程受人为调节明显，有自己的特殊性，这直接影响到水库生态系统特征和生态学过程。20 世纪 80 年代以来，水库生态学受到世界各国学者和有关组织的重视，特别是美国水质工程学会及西欧学者的重视，亚洲（中国、印度）的学者则侧重于水库渔业的研究，以水库为对象的生态学研究经费和研究论文上升很快。1987 年第一届国际水库湖沼学和水质管理大会的召开反映了人们对水库生态学研究重要性的认识。第一本水库湖沼学著作于 1990 年由美国学者 Thorton 和 Kimmel 编著，湖沼学家 Wetzel 教授为该书写了结论性的最后一章。第四届国际水库湖沼学和水质管理大会也于 2002 年 8 月在捷克召开，这标志着水库生态学迎来了一个新的发展阶段。

中国是一个水库大国，共有 8 万 6 千多座水库，水库在我国的工农业生产和人民生活中已发挥了巨大的作用，举世瞩目的三峡工程是目前世界水库建设中最为宏伟的水利工程。开展水库生态学研究在我国有特殊而重要的意义。20 世纪 70 年代初期，中国科学院水生生物研究所就设有水库研究室，后来独立为水利部水库渔业研究所，在我国水库的渔业资源方面做了不少工作，同时也积累了我国水库湖沼学的基础数据。广东省地处热带亚热带地区，几乎没有自然湖泊，水库供水和水质管理问题比较突出。由韩博平教授等组织编写的这本文集，以他们主持的“广东省水库生态学和富营养化研究”等项目为基础，收集了论文 27 篇，内容涉及水库水资源与利用、浮游生物和水库水质等，较为系统地反映了广东省典型大中型供水水库的生态学特征和富营养化现状，提供了大量的第一手数据，对进一步开展该地区的水库生态学研究 and 富营养化防治工作奠定了较好的基础。我认为这本文集对于我国水库生态学研究能够起到一定的推动作用，让更多的人关注和参与水库生态系统和水质管理研究，使水库生态学的理论和应用研究得到更好的发展。

刘建康

2003 年元月于武汉

Preface

With the growth of human population and development of industry and agriculture, water becomes an important resource, the supply of which is crucial in many regions of the world. Constructing reservoirs for surface water retention is one of solutions in parts of the world where water resources are scarce or irregularly distributed. Reservoirs are more and more used as drinking water sources. Simultaneously, they might be and are exploited for other purposes – actually most reservoirs built for one purpose became to be used multipurposely. The aspects of water quality are tightly bound with water quantity issues and reservoirs should be managed and used in a sustainable way, having in mind not only one need, but considering the multiple role of reservoirs in the landscape and for the benefit of human population. Once they are impounded, they develop into ecosystems similar to natural ones. Technical means to effect the functioning are limited and ecotechnological practices are necessary, which are based on the knowledge of limnology, complex interactions among abiotic components and organisms, among reservoir and its catchment and sediment-water interactions.

Reservoirs have been intensely built since 19th century, with a “maximum rate” in the middle of 20th century. Most of them are located in temperate region and the main knowledge of reservoir limnology is based on data from this climatic zone. In the tropics, reservoirs are being built recently and their specific features, which might be different from the temperate ones, have not yet been fully explored and could not be well predicted. The knowledge on tropical reservoirs is yet in the stage of summarization the data from individual case studies and their evaluation and classification. More research is needed to use this knowledge for prediction of water quality development and to provide a basis for effective operation and sustainable management.

The book provides a valuable set of studies on reservoirs in South China, located in tropical zone. It is a representative set, including thousands of reservoirs of different age and trophic, varying in size and retention time. The case studies collected research data on pelagic food webs, which are the main biotic players in determining water quality. Oligotrophic to eutrophic reservoirs were included in studies and problems connected with production of blue green algae and with water level fluctuations were investigated. Final aim was to find some solutions for sound management, protection and nutrient removal using ecotechnological measures.

The approach applied in the presented studies is complex and promising and it is desirable to be continued. Water quality issues in reservoirs could be best

solved by multidisciplinary research, including the aspects of limnological studies and engineering approach towards sustainable management. Further studies considering the complexity of reservoir ecosystems should be encouraged. The results gained up to now are valuable not only for the Guangdong province, but they are also an important contribution to the knowledge of tropical reservoir ecosystems.

A handwritten signature in black ink, reading "Václav Kratochvíl". The signature is fluid and cursive, with the first name "Václav" and the last name "Kratochvíl" clearly distinguishable.

Hydrobiological Institute
Czech Academy of Sciences

目 录

前 言	编委会 (i)
序	刘建康 (ii)
Preface	Viera Straskrabova (iii)

第 1 部分 广东省水库富营养化的总体特征

水库生态系统特征与研究进展—物理过程对生态结构与功能的影响	韩博平 (3)
广东省水库水资源分布与特征	李 铁, 林旭钿, 韩博平 (7)
广东省大中型供水水库营养现状分析	韩博平, 林旭钿, 李 铁 (14)
近 20 年广东省水库富营养化演变	林旭钿, 林桂花, 钟秀英等 (22)
广东省大中型供水水库氮磷分布与富营养化分析	徐 宁, 段舜山, 林秋奇等 (29)
广东省大中型供水水库浮游生物对水库营养状态的指示	林秋奇, 胡 韧, 韩博平 (36)
利用浮游植物群落特征及多样性指数评价广东省主要水库水质状况	
.....	王朝晖, 韩博平, 胡韧等 (46)
广东省大中型水库浮游植物与富营养化	胡 韧, 林秋奇, 王朝晖等 (55)
广东省大中型水库的蓝藻分布及其与富营养化的关系	王朝晖, 林秋奇, 胡 韧等 (62)

第 2 部分 不同类型水库的富营养化比较分析

3 座不同类型水库浮游生物群落的比较研究	游江涛, 林秋奇, 胡 韧等 (75)
3 座不同污染源类型水库的富营养化现状	赵孟绪, 林秋奇, 胡 韧等 (85)
5 座大 (I) 型水库的富营养化评价和分析	魏 鹏, 林秋奇, 胡 韧等 (93)
粤东中型水库富营养化现状及特征分析	龙思思, 林秋奇, 谢数涛等 (104)
广东沿海与粤北山区中小型水库水质和浮游生物比较分析	
.....	陈丽芬, 胡 韧, 林秋奇等 (111)

第 3 部分 代表性水库富营养化分析

流溪河水库水文、水质动态和浮游生物的时空分布	林秋奇, 胡 韧, 韩博平 (123)
鹤地水库湖泊区的浮游生物与富营养化特征分析	林桂花, 韩博平 (135)
飞来峡水库蓄水初期营养状态及浮游生物分布特征	游江涛, 林秋奇, 胡 韧等 (142)
高州水库水质与浮游生物动态分析	魏 鹏, 林秋奇, 胡 韧等 (149)
新丰江水库富营养化现状研究	钟秀英, 杨浩文, 陈丽芬等 (158)
汤溪水库的富营养化现状研究	赵帅营, 林秋奇, 胡 韧等 (165)
广东典型小型供水水库——契爷石水库富营养化现状与浮游生物的响应	
.....	董丽华, 胡 韧, 林秋奇等 (173)

第 4 部分 水库水质管理问题及方法

利用水网藻治理水体富营养化的可行性研究 I. 环境条件对生长及氮磷去除能力的
--

影响.....	王朝晖, 林秋奇, 许忠能等(181)
利用水网藻治理水体富营养化的可行性研究 II. 深圳水库的现场生长能力的实验 分析.....	林秋奇, 王朝晖, 韩博平(198)
蓝藻水华生物控制的原理与应用前景	韩志国, 林秋奇, 林桂花(210)
放养鱼类的下行效应及其对富营养化的控制.....	林小涛, 许忠能, 钟金香(217)
保护好粤港人民的生命之源——广东粤港供水有限公司做好东深水库水质保护的 做法.....	叶旭全(225)
广东省水库水质管理信息系统(RWQMIS)的研发与应用.....	魏 鹏, 谢涤非, 韩博平(228)
附录 1 水库管理信息系统 GIS 的使用手册.....	(235)
附录 2 广东省水库浮游植物名录.....	(243)
附录 3 广东省水库浮游动物名录.....	(245)
附录 4 主要浮游生物种类图鉴.....	(248)
后记.....	韩博平(263)

Contents

Preface 1.....	Editorial committee (i)
Preface 2.....	Liu Jian-kang (ii)
Preface 3.....	Viera Straskrabova (iii)
Part 1 General characteristics of reservoir eutrophication in Guangdong Province	
Reservoir ecosystem: hydrodynamics and its critical role in ecological processes.....	 HAN Bo-ping (6)
Reservoir distribution and reservoir water supply in Guangdong Province.....	 LI Tie, LIN Xu-dian, HAN Bo-ping (13)
Trophic states of water supply reservoirs in Guangdong Province.....	HAN Bo-ping, LIN Xu-dian, LI Tie (21)
The development of reservoir eutrophication in Guangdong Province in the last twenty years	LIN Xu-dian, LIN Gui-hua, ZHONG Xiu-ying, <i>et al.</i> (28)
Analysis of eutrophication and nitrogen and phosphorus pollutions of the large and medium reservoirs for water supply in Guangdong Province.....	Xu Ning, Duan Shun-shan, LIN Qiu-qi, <i>et al.</i> (35)
Plankton response to reservoir trophic states in Guangdong Province	LIN Qiu-qi, HU Ren, HAN Bo-ping (45)
Using phytoplankton community structure and diversity for assessment of water quality of reservoirs in Guangdong Province, China	 WANG Zhao-hui, HAN Bo-ping, HU Ren, <i>et al.</i> (54)
Phytoplankton and eutrophication of reservoirs in Guangdong Province.....	HU Ren, LIN Qiu-qi, WANG Zhao-hui, <i>et al.</i> (61)
The distribution of blue-green algae (Cyanophyta) and its relationship with eutrophication in reservoirs of Guangdong Province, China.....	WANG Zhao-hui, LIN Qiu-qi, HU Ren, <i>et al.</i> (71)
Part 2 Comparative analysis of eutrophication between different types of reservoirs	
Comparative analysis of plankton communities in three types of reservoirs.....	 YOU Jiang-tao, LIN Qiu-qi, HU Ren, <i>et al.</i> (83)
Eutrophication in reservoirs with different pollution sources.....	 ZHAO Meng-xu, LIN Qiu-qi, HU Ren, <i>et al.</i> (92)
Evaluation and comparative analysis of eutrophication in five large reservoirs.....	Wei Peng, LIN Qiu-qi, HU Ren, <i>et al.</i> (103)
Eutrophication analysis of three medium reservoirs in the Eastern of Guangdong Province	LONG Si-si, LIN Qiu-qi, XIE Shu-tao, <i>et al.</i> (109)
Comparative analysis of water quality and plankton community between the coastal and	

mountain reservoirs in Guangdong Province.....	
.....CHEN Li-fen, HU Ren, LIN Qiu-qi, <i>et al.</i> (119)	(119)
Part 3 Eutrophication evaluation of typical reservoirs	
Dynamics of hydrology and water quality and their effect on the spatial and temporal distribution of plankton in Liuxihe Reservoir.....	
..... LIN Qiu-qi, HU Ren, HAN Bo-ping (134)	(134)
Plankton community and eutrophication in the lacustrine region of Hedi Reservoir.....	
..... LIN Gui-hua, HAN Bo-ping (140)	(140)
Trophic state and plankton distribution in a newly constructed reservoir: Feilaixia.....	
ReservoirYOU Jiang-tao, LIN Qiu-qi, HU Ren, <i>et al.</i> (148)	(148)
Water quality and plankton fluctuation in Gaozhou Reservoir.....	
..... WEI Peng, LIN Qiu-qi, HU Ren, <i>et al.</i> (157)	(157)
The eutrophication of Xinfengjiang Reservoir.....	
..... ZHONG Xiu-ying, YANG Hao-wen, CHEN Li-feng, <i>et al.</i> (164)	(164)
Eutrophication in Tangxi Reservoir, Guangdong Province.....	
.....ZHAO Shuai-ying, LIN Qiu-qi, HU Ren, <i>et al.</i> (171)	(171)
Eutrophication and the response of plankton in a typical small reservoir in Guangdong Province: Qiyeshi Reservoir	DONG Li-hua, HU Ren, LIN Qiu-qi, <i>et al.</i> (177)
Part 4 Management methods and technologies of reservoir water quality	
Feasibility of using <i>Hydrodictyon reticulatum</i> as eutrophic treatment plant I. Effects of environmental conditions on growth and ability of N, P removal.....	
..... WANG Zhao-hui, LIN Qiu-qi, XU Zhong-neng, <i>et al.</i> (197)	(197)
Feasibility of using <i>Hydrodictyon reticulatum</i> as eutrophic treatment plant II. Growth in Shenzhen Reservoir.....	LIN Qiu-qi, WANG Zhao-hui, HAN Bo-ping (209)
Principles and feasibilities of biological control of Cyanobacterial blooms.....	
..... HAN Zhi-guo, LIN Qiu-qi, LIN Gui-hua (216)	(216)
The top-down effect of fish stocking and its controlling effect on eutrophication.....	
..... LIN Xiao-tao, XU Zhong-neng, ZHONG Jin-xiang (224)	(224)
Protection of drinking water sources for both Hong Kong and Guangdong: Water quality management of Shenzhen Reservoir.....	YE Xu-quan (225)
Research and application of reservoir water quality management information system of Guangdong Province.....	WEI Peng, XIE Di-fei, HAN Bo-ping (228)
Appendix I	(235)
Appendix II.....	(243)
Appendix III.....	(245)
Appendix IV.....	(248)
Epilogue	HAN Bo-ping (263)

第 1 部分

广东省水库富营养化的总体特征

GENERAL CHARACTERISTICS OF RESERVOIR
EUTROPHICATION IN GUANGDONG PROVINCE

水库生态系统特征与研究进展

——物理过程对生态结构与功能的影响

韩博平

(暨南大学水生生物研究所, 广州 510632)

摘要: 水库是由人工筑坝形成的水体, 水库的水流和水量通过发电、调水等方面受人为调节, 水库与自然湖泊在生态过程上有较明显的差别。二次世界大战结束后, 人类在全球范围大规模筑坝, 对于全球的水文系统产生显著的影响, 水库调水在世界水资源的调节和控制上发挥着十分重要的作用。本文从水库生态系统的几个主要方面, 特别是水体物理过程对生态过程的控制和影响, 对水库生态学及其研究进展进行介绍和评论。

关键词: 水库; 水动力学; 水质管理

1 引言

水库是一个介于河流和湖泊之间的半人工半自然水体, 广泛分布于世界各地, 尤其是天然湖泊分布比较少的地区。早期建造水库的主要目的是防洪、发电、灌溉等。库容量是人们最关心的问题, 对水库的管理主要针对水量管理。人类步入新千年后, 淡水资源短缺的形势更为严重, 水库供水已成为缓解全球水资源供给不足的重要途径, 特别是对城市的供水。全球水库的职能正由原来的防洪、发电、灌溉等的基础上兼顾供水, 或以供水为主。而目前世界各地水库普遍存在富营养化问题, 水质资源退化。开展水库生态学及其在水库水质管理中的应用研究已成为现代湖沼学的一个热点。

在过去的几十年里, 国际上对水库水质的管理主要是沿用人们对湖泊研究的经验。随着对水库水资源重要性的认识及对水库生态系统的研究的累积与深入, 生态学家和水质管理人员已经意识到水库和湖泊生态系统在动力学过程及机制上存在很大差别。1997年, Straskraba 教授在第三届水库湖沼大会的主席报告中指出, 水库作为半人工半自然的一类生态系统, 在结构和水动力学(Hydrodynamics)特征上与湖泊都有明显的区别, 这直接影响到水库内部的生态过程。他强调对水库水动力学过程的认识是水库水质管理的基础。本文介绍水库生态系统研究的主要结论和进展。

2 水库在物理结构上的特点

水库作为一个半人工、半自然水体, 一般造于河谷中, 水体表面狭长, 呈树枝状, 水库岸线发展系数相对于自然湖泊大; 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, 水库最深处位于大坝处。水库一般位于流域的端部, 来水主要来自河流的径流, 水库坡面直接径流只占相当少的一部分, 出库水流深度、流速视水库的职能、出

水口位置等具体管理过程而定,但总的来说,水库吞吐流相对比较快,水力滞留时间相对较短,水位波动大,岸线不稳定;水库水补给系数大,流域对水库水量水质影响占主导地位。因此,水库水动力学过程表现出强烈的不稳定性,尤其在丰水期和枯水期。水库特有的形态结构及吞吐流特征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。

水库主要分布于自然湖泊较少的地区和水资源短缺较为严重的地区,这决定了水库流域与湖泊在物理学、化学、生物学等背景上的差异,通过水动力学过程的作用,这种差异在生态系统特征上体现更为明显。

3 水库生态系统的特征

3.1 入库水流

流域上的降水,扣除损失(蒸发等)后,经由地面和地下的途径汇入河网,形成水库的入库水流;在汇流过程中,土壤及成土母质的组成成分,树木及农作物枯枝败叶等伴随径流进入水库,成为水库水质的组成部分。因此,流域的土壤类型、土地利用状况、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水补给源,也是水库生态系统营养的主要来源。

3.2 水库生态过程的空间异质性

根据水库的形态结构、吞吐流特征,水库由水库入水口处到大坝可依次分为河流区(riverine zone)、过渡区(transition zone)和湖泊区(lacustrine zone)。但这三个区并不是独立的、固定不变的,在时空上是动态变化的,均可膨胀或收缩,依水库的吞吐流特征而定。各区水动力学过程不完全一样,在化学、生物学上存在一定的梯度。

河流区位于水库入水口处,既窄又浅,水流流速开始减慢,但仍是水库中流速最快,水力滞留时间最短的区域。入库水流从流域上带来的大量的营养盐,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,藻类生物量及生长率均相对较低。在河流区,一般处于完全混合状态或混合深度大于真光层深度,开始沉淀的悬浮物主要是粒径大的泥沙,粒径小的淤泥和黏土吸附着大量的营养盐被水流输送到过渡区,底部沉积物主要是外源性,营养盐含量少。

过渡区相对于河流区结构上宽而深,水流流速进一步减缓,这时粒径小的淤泥、黏土和细颗粒有机物大量沉积。过渡区区别于其它两个区的特征是悬浮物沉积的主要区域。底部沉积物有外源性的,也有内源性的。由于沉积的淤泥和黏土对营养盐有较强的吸附能力,使水流中营养盐的浓度进一步降低,而底部沉积物营养盐的含量比其它两个区高。悬浮物的大量沉积,使过渡区透明度升高,藻类生长受光限制现象得到改善,同时该区营养盐的含量仍相对比较高,因而藻类的生物量及生长率是水库中最高的区域。

在水库垂直分层期间,过渡区可出现分层现象,湖沼下层的区域视水库吞吐流特征而定。水库湖沼下层无氧区通常于过渡区主河道上出现,然后向河流区、湖泊区发展,同时向主河道两侧及湖沼间层发展,但入库水流形成密度流时,可破坏这一过程。

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,但不稳定,受水库的吞吐流特征控制。湖泊区水流流速最慢,粒径更小的颗粒物进一步沉淀,水体透明度达到最高。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,湖泊区表层水营养盐的含量比其它两个区低;营养盐靠水体内部循环补充比例有所增加,但水体仍相对处于营养缺乏状态,藻类生长主要受营养盐限制,藻类生物量及生长率低于过渡区。湖泊区底部内源性有机沉积物比例比前面两个区高。

3.3 水库生物群落结构与动态

由于水库生态系统的环境条件波动大、快而不规律,尤其在相邻两次大的扰动事件期间,水库中的生物常缺乏足够的时间进行种群的生长和繁殖,以维持和扩充种群。水库中物种迁入-灭绝过程快。生物多样性相对比较低,生态位相对比较宽,主要是r-选择。生物相互作用机制既有 bottom-up 型,也有 top-down 型。水库有别于湖泊的一个明显特征是在水库建造初期,在蓄水过程中淹没了大量的植被,腐烂降解的树木既提供了食物,又提供了特殊的生境及避难场所,水库生物净生产量比较高;到了稳定期,净生产量开始降低。

水库中的初级生产者主要是浮游藻类。理论上认为,水库半河流环境、相对高的营养盐输入及强的湍流作用,有利于直径大于 $20\mu\text{m}$ 的浮游藻类的生长,在水库中占据重要的位置。但是,经一系列不同营养水平、混浊度和生长率的水库的比较,发现水库中浮游藻类主要是直径小于 $8\mu\text{m}$ 的种类占优势。单位体积的藻类生长率从水库入水口到大坝呈降低趋势,而单位面积生长率则差不多。藻类生长的限制因子主要是光和营养盐。

水库中次级生产者浮游动物包括原生动物、轮虫、枝角类和桡足类等。水库的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,种群数量难以维持。过渡区是浮游动物分布的密集区,而且在水体表面常成斑块状分布。浮游植物是浮游动物的主要食物,但颗粒状有机物也是重要的食物来源。

水库鱼类种类组成与同纬度湖泊相差不大,但各种的相对密度存在一定的差异。水库中鱼类数量受如下三个方面控制:能否成功产卵(主要取决于是否有足够的适合产卵的基质)、卵的存活率(如果水中悬浮物含量比较高,悬浮物的大量沉积可导致鱼卵大量死亡)、鱼苗的存活率(主要取决于食物的丰度及能否逃避被捕食)。在水库建造初期,水库鱼的产量比较高,然后逐渐降低。

3.4 出库水流

出库水流水质取决于水库水质。水库出现垂直分层现象,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。当营养盐和有机物大量沉积在水库湖沼下层时,水库的底层放水可将营养盐和有机物排出水库,一定程度上改善水库水质。

4 研究进展

现代水库生态系统研究和主要结论是来自地处自然湖泊稀少和水资源较为紧张地区的湖沼学者。捷克学者在这一领域开展的工作较早也最为系统, Hrabcek 领导的研究所在 20 世纪 60 年代对布拉格供水库 Slapy 水库的生态学开展了系统的研究,为水库生态学理论的形成奠定了基础, Slapy 水库生态系统的长期研究也为水库生态学理论发展

提供了系统的数据。20 世纪 80 年代后, 水库生态学受到世界各地学者和有关组织的重视, 特别是美国水质工程学会和学者及西欧学者的重视, 亚洲(中国、印度)的学者侧重于水库渔业的研究, 以水库为对象的生态学研究经费和研究论文数量有了飞速增长。1987 年第一届国际水库湖沼学和水质管理大会的召开反映了人们对水库生态学研究重要性的认识。第一本水库湖沼学著作于 1990 年由美国学者 Thornton 和 Kimmel 编写, 国际湖沼学会(理论与应用)主席 Wetzel 教授为该书写了结论性的最后一章, 这标志着水库湖沼学作为现代湖沼学一个相对独立的学科的出现, 水库生态学的发展也迎来了一个新的发展阶段。20 世纪 90 年代以后的水库生态学面对两个主要方向, 即水库生态学原理在水质管理上的应用和水库水动力学过程对不同水平上生态学过程作用的机理。

参 考 文 献

- Straskraba M and Tundisi J G. 1999. Guidelines of lake management (volume 9): Reservoir water quality management. International Lake Environment Committee, 229pp.
- Straskraba M, Tundisi J G and Duncan A. 1993, State of the art of reservoir limnology and water quality management, 213—288, In: Comparative reservoir limnology and water quality management, Straskraba M, Tundisi J G and Duncan A (eds). Kluwer Academic Publishers, Netherland.
- Straskrbova V and Vrba J. 1998, Proceedings of the 3rd International Conference on Reservoir Limnology and Water Quality, Int. Rev. Hydrobiol., 83: special issue. 715pp.
- Thornton K W, Kimmel B L and Payne F E. 1990. Reservoir limnology: Ecological perspectives. 1990. John Wiley & Sons, New York. 246pp.
- Tundisi J G and Straskraba M. 1999. Theoretical Reservoir Ecology and its Application, Brazilian Academy of Sciences and Backhuys Publishers. 311pp.

RESERVOIR ECOSYSTEM: HYDRODYNAMICS AND ITS CRITICAL ROLE IN ECOLOGICAL PROCESSES

HAN Bo-ping

(*Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632, China*)

Abstract: Reservoirs are man-made water bodies and were widely constructed to store and supply and redistribute water resources temporally and spatially. They play a critical role in mitigating the contradiction between water demand and supply in industrial, agricultural and daily life usage. As hybrids of man-made and natural waters, reservoirs, characterized by their unique physical structures and hydrodynamics, differ remarkably from natural lakes in ecological processes, and have a rapid response to changes in watershed. The characteristics of reservoir ecosystems were reviewed on the current progresses in reservoir limnology during the past decades.

Key words: reservoir; water dynamics; water quality management

广东省水库水资源分布与特征

李 铁

林旭钿

韩博平

(广东省水利厅, 广州 510150) (广东省水文局, 广州 510150) (暨南大学水生生物研究所, 广州 510632)

摘要: 广东省地表水资源丰富, 多年平均年径流量为 $180 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。但由于地质构造的原因, 自然湖泊甚少, 兴建水库成为调节水资源时空分布的主要手段。自新中国成立以来, 建成水库 ($>10^6 \text{ m}^3$) 6700 座, 总库容 $39.8 \times 10^9 \text{ m}^3$, 其中近一半库容分布于东江流域。1998 年全省供水量为 $44.7 \times 10^9 \text{ m}^3$, 其中约 1/3 供水量来自水库。在水库供水中, 小型水库提供了 75% 的水库供水, 而大中型水库虽库容占全省总库容 65%, 只提供 25% 水库供水。

关键词: 水资源; 水库; 供水

1 引言

以大坝为标志的现代水库只有 100 年的历史, 主要兴建于二次世界大战后 30 年里。水库的早期功能主要是防洪和发电, 随着经济发展的需要, 水库的功能趋于多用途, 对城市的生活与工业的供水正成为水库的重要功能, 尽管供水量占水库调水量的比例不是很大, 所产生的社会效益却是空前的。本文简要论述广东省水库水资源现状和分布。

2 广东省水资源特征

广东省地处热带亚热带地区, 多年平均降水量 1 777mm, 径流深 1 018mm, 径流总量 1 860 亿 m^3 , 过境客水径流量 2 330 亿 m^3 , 水资源总量 4 190 亿 m^3 。水资源相对比较丰富, 但水资源完全由降水补给, 在时空上分布不均匀。广东省水资源利用按流域分区可分为: 桂贺江、西江下游、北江、东江、珠江三角洲、韩江、粤东沿海诸河、粤西沿海诸河、洞庭湖水系和鄱阳湖水系 10 个二级区, 各流域河川径流量见图 1 和 2 (桂贺江、洞庭湖水系和鄱阳湖水系流域面积太小, 径流量不多, 图及文中没有提及)。各流域的年平均径流深为 814—1 274mm, 最低值位于西江下游, 最高值位于粤东沿海地区, 而北江流域也有比较高的降水量。西江下游、韩江流域、粤西沿海和珠江三角洲当地降水量相对比较少, 尤其是西江下游, 只有 814mm, 远低于全省平均值。尽管如此, 由于省外过境客水径流量大, 达 2 075 亿 m^3 , 西江下游水资源相当丰富。珠江三角洲虽然当地降水量不大, 但由于地处广东省三大江 (西江、北江和东江) 的下游, 汇集三江之水, 径流量高达 3 208 亿 m^3 。粤东沿海虽然降水量比较高, 但流域面积小, 没有过境客水径流量的补充, 因此水资源总量全省最低。从图 2 可见, 广东省水资源主要分布于中部, 东部及西部沿海水资源比较缺乏。

从行政分区看, 各市的平均年径流深同样相差很大, 北江流域的清远市、粤西沿海的阳江市分别高达 1 600 mm 和 1 300 mm, 而粤东沿海的汕头市、粤西沿海的湛江市只