

[澳]刘光钊 等编译

TOXIC
CYANOBACTERIA
IN WATER

水体

富营养及其藻害

water

中国环境科学出版社

水体富营养及其藻害

[澳] 刘光钊 等编译

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

水体富营养及其藻害/刘光钊等编译. 北京:中国环境科学出版社,2004. 12
ISBN 7-80163-923-5

I. 水... II. 刘... III. 水体—富营养化—污染防治
IV. X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 065187 号

责任编辑 高速进

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.cn>
电子信箱: zongbianshi@cesp.cn
电 话: 010-67125803/67113412
传 真: 010-67113420
印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2005 年 9 月第一版 2005 年 9 月第一次印刷
印 数 1—10 000
开 本 787×1092 1/16
印 张 20.75
字 数 470 千字
定 价 78.00 元

【版权所有,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,请寄回本社发行部更换

序

水是生命之源。

我国政府对水环境治理和保护工作一直十分重视,胡锦涛总书记提出的“让人民喝上清洁的饮用水”是我们开展水环境保护工作的最高任务和神圣目标。我国已在水环境治理上投入了大量的资金,也取得了一些可喜的成绩,但由于水环境是一个复杂的生态系统,因此任务还十分艰巨。

近年来,随着我国经济的发展和人民生活水平的提高,生活污水和农业面源污染对水环境的污染日趋严重,全国不少湖泊相继因富营养化而爆发蓝藻,对这些地区的经济发展和人民生活带来了不利的影响,也对我们的水环境治理工作带来很大的压力。

由刘光钊先生等编著的《水体富营养化及其藻害》一书,集中了国内外著名的水环境保护专家的最新科研成果,分析了蓝藻的成因及对人体健康的影响,提出了蓝藻的治理方法,对我国的水环境保护及水体富营养化治理,将有着重要的借鉴和指导作用。

我对本书的出版表示祝贺!

刘光钊
2005年8月12日

前 言

近 20 年来,随着经济和社会的发展,江河湖海的富营养化也日趋严重。据权威部门统计,我国 70% 以上的水体都出现了富营养化。许多水体包括滇池、太湖、巢湖更是爆发了严重的蓝藻,最严重的时候,每升水中蓝藻超过了一亿个甚至数十亿个,失去了水体的正常功能,给人民的工作和生活带来了严重的影响,同时也影响了经济的发展。

面对水环境日益严重的富营养化,我国政府采取了积极的措施,投入巨资进行了“三河”“三湖”流域的水污染防治,取得了一些成果。但由于历史欠账的积累,旧账未清,新账激增,治理“乏力”,已经造成水生态系统的严重破坏,主要污染物排放总量大大超过环境承载能力,水资源开发利用过度,加上治理技术的落后,使得水环境富营养化的状况不但未减轻,反而日趋严重。为此,前几年,一些专家把蓝藻爆发称为“生态癌”“不治之症”“世界难题”,把水体富营养化蓝藻爆发治理视作畏途,时至今日还是认定没有几十年甚至上百年是治不好的,悲观气氛笼罩生机勃勃的中国大地。

我祖籍在富饶的长江南,自幼生长在太湖边,喝着太湖的水成长,对太湖、长江乃至祖国的水环境有着浓厚的感情。在国外从事环保工作的那些年里,每当回国,看到太湖的蓝藻爆发,江南水乡河川发黑,我的心就很痛。我想,我国的经济在迅速发展,水体富营养化也在超常发展,用旧的、传统的、不太科学的技术是无法治愈的,必须采用世界上最先进的技术,进行“超常”治理才会有效。因此,我放下手中赚钱的工作,研究起带有中国特点的水环境状态。我考察并研究了几十个国家的污水处理系统技术,取其精华,结合中国的实际,开发出“生化除藻、生物抑藻、生态治水”的水环境富营养化综合治理技术。这项技术结合现代已得到高速发展的数字化技术来设计、来检测、来实施(生态修复工程)、来管理。我创立的“数字化技术和精确环保”这一概念的精髓就是对动态污染的水进行动态的检测、动态的治理和动态的管理。为此,我们着手建立了和搜集了数千个世界各地的水体模型。建立了城市污水、工农业废水的大量的数学模型,这些模型许多是适合中国的高原、平原、各气候带、各种成因的湖泊和水库及其他水体。

我将终生感谢国家环境保护总局解振华局长的知遇之恩,是他让我有机会把在国外工程实践中开发的技术报效祖国。解振华局长几年来的多次关怀、支持,增强了我克服一切困难的勇气,使我坚持下来了,也幸运地没有辜负他的期望。

1999 年,为昆明“世博会”的需要,我们参与了滇池草海的应急治理,当时超前用了三项世界前沿的材料组合和治理理念,采用天然的圣 A-3 缓冲复合型除藻剂,对草海 1km^2 的生态水体进行了治理,蓝藻去除率达到 95% 以上,取得了显著的效果,尽管草海的后续治理没有再进行下去,但在六年后的今天,仍保持了明显效果,取得了出乎国内外水治理、水生态学工程界意料的良好成效。六年前昆明主管部门实施了一些措施,虽然还有一些“认识”问题,还会“有争议”,但是“能治”“能较快治”却是“不争”的事实!我

们用事实纠正了 20 年来的一个偏见。

治水必须坚持科学。近年来,国际上湖泊富营养化治理技术发展很快。我们坚持了“多管齐下,标本兼治,综合治理”的生态恢复治理方向。但有些地方在治理蓝藻时仍沿用一些单一的、带来严重后遗症问题的方法,而不是科学地、全面地、因地制宜地实施技术措施,久而久之造成水生态的反复损坏。为了让同胞用上干净水,要像水一样有博大的胸怀,要具备能接纳新技术接受新事物的雅量。由此,我产生了一个想法,让更多的人了解蓝藻“机理”和蓝藻的治理技术,我把国际上一些先进的、成功的蓝藻治理理论和技术收集起来,并把我们的治理技术和经验系统完善编辑成书,以便于各地治理水体富营养化和蓝藻时借鉴。

40 年来我一直是搞应用技术的,虽然是搞企业,我可以不顾营利,但必须有令人信服的结果,这就是这本书的编著工作用了六年的原因。

我要对送给我本书原稿,并建议我将其介绍给中国读者的澳大利亚南澳水中心的马可·布什博士表示感谢!并通过他向该书所属丛书的组织者、国际卫生组织(WHO)以及撰写有关章节的相关近 30 位专家、教授、博士、工程师表示感谢!

在从事祖国湖泊污染治理工作中,我还荣幸地得到国家环境保护总局吴晓青副局长、原云南省陈勋儒副省长、中国环境科学研究院刘鸿亮院士、魏复盛院士以及国家环境保护总局刘鸿志副司长的亲切关怀和帮助,在此表示真挚的感谢!

在翻译原著和编辑国内论文的过程中,得到了刘鸿亮院士、藏玉祥(原副司长)、南京大学刘志礼教授、上海环境科学院李小平副院长、河口海岸国家重点实验室博导陆建建教授的多方帮助;在前期翻译草稿中,上海东华大学奚旦立、陈季华教授、卢士森博士、田晴硕士及其他同学付出了很多心血;在本书校对工作中,南京大学李鹏田博士、李梅博士、王新博士、上海环境科学院程曦博士、华东师大李静会博士等做了大量工作,在此表示感谢!

在第二部分著作文章中应用了国内外文献和资料,鞠华、华咏中、赵章元、中国环境报上海记者站赵关良站长以及化工、物理、地质、地理、水文、气象、水利、机械、电子、生物等行业的许多专家也帮助做了不少有益工作,在此一并表示感谢!

我还要对在云南工作的郭慧光、卢云涛、和树庄、赵利冰、陈劲等朋友表示谢意!

我这里要特别感谢徐欣女士,她在攻克滇池、太湖这些世界难题的工程实践中甘冒生命危险,不惜抛洒血泪,为本书的编辑提供了弥足珍贵的第一手资料,中国湖泊治理历史应该记得这些把自己青春热血和毕生精力,不畏艰险和排斥,为攻克“世界难题”闯出一条血路的开拓者。

由于编译者水平有限,本书涉及的综合环境、领域很宽,而且由于国内外发展不平衡。中国地域辽阔,气候、地质及水环境千差万别,经筛选对中国有效的内容更不易整合,因此,难免有疏漏。不当之处,敬请不吝斧正。

刘光钊

2005 年 8 月 12 日

序 言

最近几年来,由于种种原因,许多国家的人们日益关注蓝藻对健康的影响,其中包括蓝藻所引起的中毒事件和人们意识到受到污染的水体(特别是湖泊)会引起蓝藻的大量生长。在部分程度上由于动物中毒事件的大量宣传,蓝藻继续吸引着人们更多的注意力。

在澳大利亚,当人们接触到受污染的饮用水之后,爆发了由于蓝藻所引起的人类中毒事件;在英国,当士兵们游泳和驾驶独木舟时也接触到了有毒的蓝藻。然而惟一所知的与蓝藻及其毒素有关的人类死亡事件发生在巴西的卡罗阿罗,导致了50多人的死亡。幸运的是,对人类健康有着如此严重危害的事件发生的几率微乎其微。但是,人类尚不知道蓝藻对人类健康长期影响的性质和范围(如引起癌症和肝损伤),也不清楚它们是否会引起诸如接触炎症之类的轻微的短期影响。

水与健康,特别是饮用水与健康,是世界卫生组织(WHO)多年来关心的一个问题。世界卫生组织的主要活动之一就是建立有关水中的有害生物和化学物质的健康危险的权威评估标准。饮用水、安全使用废水、农业和水产养殖业排泄物已经具备了这种准则,现在有关组织正在准备制定娱乐用水的准则。在与联合国教科文组织(UNESCO)、联合国环境规划署(UNEP)和世界气象组织(WMO)的合作中,世界卫生组织通过“GEMS/水规划”参与了水的长期监测工作^①。世界卫生组织支持有关国家和国际水与健康政策的制定,并帮助众多的国家发展建立和保持健康的水环境的能力,其中包括法律框架、研究机构和人力资源。

专门涉及饮用水的首项世界卫生组织的出版物于1958年出版,其题目为《饮用水的国际标准》,在1963年和1971年出版了新的版本。世界卫生组织的《饮用水质量的准则》第一版在1984—1985年出版,它由三卷组成(卷1:建议;卷2:卫生标准和其他相关的信息;卷3:小社区中饮水质量的控制)。《饮用水质量的准则》的主要目的是保护公共卫生。此书也针对水中的微生物和化学物质的健康危险提供了评估方法。第三卷的第二版分别在1993年、1996年和1997年出版,卷1和卷2的补遗在1998年出版。

参考《饮水质量标准的准则》,人们对有关水质保护的特定的微生物和化学物质进行定期评估和记录,并准备控制饮水质量。保护和控制饮水质量工作小组把蓝藻确定为需要指导的最迫切的领域之一。在国际卫生组织制定“安全使用娱乐用水环境的标准”期间,显而易见与蓝藻有关的健康问题应该得到考虑,这也是公众和专业人员越来越关注的一个领域。

^① 与国际儿童基金会(UNICEF)合作,世界卫生组织参与了水供应和水卫生服务的监测。

本书概述了在水体使用的过程中蓝藻对人体健康的影响,它也涉及了有关蓝藻及其毒素对饮用和娱乐用水带来健康危险的风险管理以及预防的具体内容。此书还概述了在监测水源和供应的规划和研究的设计上主要的知识和状况并描述了应用的方法和程序。

本书的出版得到了有关饮水(日内瓦,1995年12月;Bad Elster,1996年6月)和娱乐用水(Bad Elster,1996; St. Helier,1997年5月)几个专家委员会的指导。1997年4月在Bad Elster的专家会议审阅了蓝藻毒素毒性的文献,并指定了本书的范围和内容。1997年11月的编辑会审阅了原稿草稿,1998年3月负责修订《饮用水的准则》的工作组审阅了本书的修改稿。

《水生有毒蓝藻》是由 E & FN SPON 代表国际卫生组织出版的有关水管理问题的一系列书籍之一,此套丛书中的另外几册包括:

《水的质量评估》(D. Chapman 编,第二版,1996)

《水的质量监测》(J. Bartram 和 R. Balance 编,1996)

《水污染的治理》(R. Helmer 和 I. Hospanhal 编,1997)

希望这套书籍对所有关心蓝藻和健康的人士,包括在水供应和水源管理及娱乐水领域中的环境与卫生官员和专业人员有些帮助;它也应该成为一本对在上述领域的研究生和对淡水生态学和有兴趣的相关人士有益处的书。

致 谢

世界卫生组织希望感谢对此书的出版作出努力的人们。特别感谢柏林的德国联邦环境署的 Ingrid Chorus 博士,他协调书的完成;并感谢瑞士日内瓦的国际卫生组织环境健康支持部门(前意大利罗马的国际卫生组织欧洲环境和卫生中心) Jamie Bartram 博士,他负责手稿的处理。

一个编辑顾问小组协助了此书的完成,特别是特殊章节的协调和审阅。特别感谢美国的 Wayne 教授、澳大利亚的 Gary Jones 博士、加拿大的 TimeKniper-Goodman 博士和英国的 Linda Lawton 博士,感谢他们的奉献和支持。

一个国际专家小组提供了材料,大多情况下几个作者及其同事共同完成了一个章节的写作。由于众多的章节中有众多作者的工作,故难以精确地鉴别每一个作者所作的贡献。主要的供稿者如下:

Sandra Azevedo	博士,里约热内卢联邦大学,里约热内卢,巴西(专栏 4-3 和 5.3.1 部分)
Jamie Bartran	博士,世界卫生组织,日内瓦,瑞士(第 1 和 5~7 章)
Lee Bowling	博士,土地和水保护部,Parramatta,新南威尔州澳大利亚(第 7 章)
Michael Burch	博士,水质和处理合作研究中心,Salibing,南澳州,澳大利亚(第 5、6、9 和 10 章,8.5.8 部分)
Wayne Camichael	教授,顿特州立大学,Dayton 俄亥俄州,美国(第 1 章,专栏 4-4 和 5.3.3 部分)
Ingrid Chorus	博士,水、土地和空气卫生协会,联邦环境署,柏林,德国(第 1、5、8、10 和 12 章)
Geoffrey Codd	教授,Dundee 大学,苏格兰(第 5、7 和 10 章,8.5.8 部分)
Mary Drikas	博士,澳大利亚水质中心,阿法雷得,南澳州,澳大利亚(第 9 章)
Ian Falconer	教授,阿德雷得大学,阿德雷得,澳大利亚(第 4~7 章)
Jutta Fastner	博士,水、土地和空气卫生学协会联邦环境署,德国柏林(第 11 章和图 1、3、5)
Jim Fitzgerald	博士,南澳卫生委员会,阿法雷得,澳大利亚南澳州(第 4 章)
Ross Gregory	博士,水研究中心,Swindon, Wiltshire,英格兰(第 9 章)
Ken - Ichi Harada	博士,Meijo 大学,日本,Nagoya(第 13 章)
Steve Hrukey	博士,Alberta 大学,埃法蒙顿,加拿大,Alberta(第 9 章)
Gary Jones	博士,国家科学和工业研究组织(土地和水),Indoropilly 布里斯班,澳大利亚昆士兰州(第 1、3、6 和 7 章,图 5-1,表 5-2,专栏 8-3)
Fumio Kondo	博士,Aichi 是公共卫生协会,日本,Nagoya(第 13 章)
Time Kuiper - Goodman	博士,加拿大卫生部,渥太华,加拿大安大略湖(第 4 和 5 章,专栏 6-1)

Lindas Lauton	博士, Robert Gordon Aberdeen 大学, 苏格兰 Aberdeen(第 12 章)
Blahoslan Marsalek	博士, 植物学协会, Brno, 捷克共和国(3. 5. 1 和 3. 5. 4 部分)
Luuc Mar	博士, 阿姆斯特丹大学, 荷兰(第 2 和 8 章)
Judit Padisak	博士, 生物学院大学 Veszprem, 匈牙利 Vaszprem(第 12 章)
Kaarina Sivonen	博士, 赫尔辛基大学, 芬兰, 赫尔辛基(第 3 章)
Olan Skulbury	博士, 挪威水研究协会, 挪威(5. 4 节, 第 11 章, 图 13-2)
Jessica Vapnek	博士, 联合国食物和农业组织, 意大利罗马(第 7 章)
Yu Shun - Zhang	公共卫生协会, 中国, 上海(专栏 5-2)

也感谢下列的供稿者: Rainer Enderlein 博士, 联合国欧洲经济委员会(UNECE), 瑞士日内瓦(专栏 7-4); Michael Giddings 博士, 加拿大卫生部, 渥太华, 加拿大安大略湖(专栏 7-4); Michael Giddings 博士, 全国公共卫生协会挪威奥斯陆(图 2-3、图 2-4 和图 2-5); Nine Gjime 博士, 水、土地和空气卫生协会, 联邦环境署, 德国 Bad Elster(13. 3. 5 部分); Peter Henriksen 博士, 国家环境研究所, 丹麦 Roskilde(图 3-4); Eluke Paw litzky 博士, 水、土地和空气卫生协会, 联邦环境署, 德国柏林(12. 5. 1 部分)和 Marla Shejjer 博士, 加拿大卫生部, 渥太华, 加拿大安大略湖(专栏 6-1)。

世界卫生组织也感谢下列文稿审阅的人员: Igor Broun 博士, 乌克兰基辅, 意大利罗马供电和供水地方 Mauriaio Gavalieri 的博士; 瑞典 Lund 的 Lund 大学的 Gertrud Cronberg 博士, 英格兰白金汉郡 Madmenhan 水研究中心的 John Fanell; 澳大利亚维多利亚的 Unodonga La Trober 大学的 Gertraud Hoetzel 博士; 捷克共和国 Seske Budejovice 捷克科学院水生生物研究的 Jarosava Komarkova 博士; 瑞士日内瓦, 世界卫生组织食物安全和食物辅助计划部门的 Gerry Moy 博士; 挪威奥斯陆挪威水研究协会的职员和英格兰 Surrey Guidjord, Surrey 的 Stephen Pedley 博士。

感谢 Deborah Chapman 博士对编辑的协助、安排和生产管理, 以及 Grazia Motturi 小组和 Sylvaine Bassi 小组的秘书和管理协助。我们也感谢 Alan Steel 的插图, A. willcocks 和 L. willcocks 的排版和 Stephanie Dagg 的索引。

特别感谢德国环境和卫生部及柏林联邦环境署的水、土地和空气卫生协会提供的财政资助, 意大利卫生部及 Jersey 州和美国环保局的支持。

蓝藻的治理技术包括避免因安全排水管引起的污染, 进水深度的选择, 通过池过滤排水和除渣。另一个技术措施是用除藻剂的化学处理, 并将继续使用处理蓝藻所用的紧急措施, 在管理中的作用需要根据实际和环境的评估, 对于管理中蓝藻问题和目的选择。清除蓝藻的细胞的研究方面的文章已被广泛发表(Mouchet 和 Bonnelye, 1998), 而最近的工作已产生了相当详细的关于在饮用水处理期间清除方面的知识。

在蓝藻清除方面, 许多工作集中在单一的处理步骤上, 而一些研究已经调整了澄清和过滤。作为一种研究这是有用的, 因为个别处理步骤的性能评估可能比各自的特殊现场、特殊供水系统中的现象要更全面地被归纳出来。可是, 管理方法目的在于提供被蓝藻污染的表面水成为安全的饮用水的要求, 它作为一整体系统以及使用而不同。

目 录

上篇 水体富营养及其藻害

第1章 引言 (1)

1.1 水资源 (1)

1.2 有毒蓝藻和其他与水相关的健康问题 (5)

1.3 现有的技术手段 (7)

1.4 本书结构和目的 (7)

第2章 环境中的蓝藻 (9)

2.1 性质和多样性 (9)

2.1.1 在自然中的分布 (9)

2.1.2 组织和功用 (11)

2.1.3 生物的多样性 (13)

2.1.4 蓝藻的合理利用 (13)

2.2 影响水华形成的因素 (13)

2.2.1 光强度 (15)

2.2.2 气液泡 (15)

2.2.3 生长率 (15)

2.2.4 磷和氮 (17)

2.2.5 数量的稳定性 (17)

2.2.6 温度 (17)

2.3 藻类对矿质元素富集作用的实验研究 (17)

2.3.1 富集磷的模拟实验 (17)

2.3.2 富集铁的模拟实验 (20)

2.3.3 富集铜的模拟实验 (21)

2.3.4 富集锰的模拟实验 (23)

2.4 对付蓝藻的生态方法 (24)

2.4.1 形成浮渣的生态方法 (24)

2.4.2 相同分布的生态方法 (25)

2.4.3 分层化的生态方法 (26)

2.4.4 氮固定生态方法 (26)

2.4.5 小型,形成群落的分类 (26)

2.4.6 深海底的蓝藻	(26)
2.5 其他信息	(26)
第3章 蓝藻毒素	(28)
3.1 分类	(28)
3.1.1 肝毒素环肽——微囊藻毒素和节球藻毒素	(28)
3.1.2 毒害神经的生物碱——类毒素和贝类毒素	(32)
3.1.3 细胞毒素的生物碱	(32)
3.1.4 表皮生物碱——海兔毒素和鞘丝藻毒素	(33)
3.1.5 刺激毒性——脂多糖	(33)
3.1.6 其他的生物活性化合物	(35)
3.2 蓝藻毒素的产生	(35)
3.2.1 有毒蓝藻的大量产生	(35)
3.2.2 有毒性水华中蓝藻各属的组成和差异	(37)
3.2.3 蓝藻各属与种产生蓝藻毒素的模式	(37)
3.2.4 蓝藻毒素在水面的浓度	(41)
3.2.5 水华毒素浓度的季节性变化	(42)
3.3 繁殖和规律	(44)
3.3.1 化学和物理因素规律	(44)
3.3.2 生物合成	(45)
3.3.3 蓝藻毒素产生的基因调控	(45)
3.4 环境影响	(46)
3.4.1 在细胞和水中的分配	(46)
3.4.2 化学杀藻	(51)
3.4.3 自然沉积物和土壤中的去除	(52)
3.4.4 生物降解	(52)
3.4.5 生物累积	(53)
3.5 对水生生物的影响	(53)
3.5.1 对水生细菌的影响	(53)
3.5.2 对浮游动物的影响	(53)
3.5.3 对鱼类的影响	(55)
第4章 藻类对人体健康的影响	(56)
4.1 人体和动物毒害	(56)
4.1.1 对人类的短期影响	(56)
4.1.2 人体慢性中毒	(59)
4.1.3 水体娱乐接触伤害	(60)
4.1.4 动物中毒	(60)

4.2 毒物学研究	(62)
4.2.1 微囊藻	(62)
4.2.2 节球藻	(66)
4.2.3 类毒素-a	(66)
4.2.4 同性质的类毒素-a	(68)
4.2.5 类毒素-a(s)	(68)
4.2.6 石毒素对人体的影响	(68)
4.2.7 筒孢藻毒素	(70)
4.2.8 由海洋蓝藻所产生的其他蓝藻毒素	(71)
4.2.9 蓝藻脂多糖(LPS)	(71)
4.2.10 蓝藻中的其他生物活性化合物	(71)
第5章 安全水平及安全实践	(72)
5.1 允许暴露限	(72)
5.1.1 日允许摄入量	(72)
5.1.2 世界卫生组织饮用水质规定值	(72)
5.1.3 关于微囊藻指导限值的评价	(74)
5.1.4 娱乐性水的接触	(76)
5.2 安全措施	(76)
5.2.1 饮用水	(76)
5.2.2 娱乐用水	(77)
5.3 其他接触路径	(79)
5.3.1 医疗用水	(79)
5.3.2 灌溉水	(80)
5.3.3 蓝藻作为补充食品的出售	(81)
5.3.4 蓝藻与弧菌霍乱	(82)
5.4 味道及气味	(82)
第6章 情势评估,规划与管理	(84)
6.1 风险管理框架	(84)
6.1.1 交流与参与	(87)
6.1.2 危险确认与危险描述	(88)
6.1.3 暴露评价和风险描述	(88)
6.1.4 政策发展	(89)
6.1.5 政策实施	(89)
6.1.6 管理计划和行为的评估	(89)
6.2 情势评价	(90)
6.2.1 饮用水供水信息	(91)

6.2.2	娱乐用水信息	(91)
6.2.3	环境信息	(92)
6.2.4	健康资料	(93)
6.2.5	其他资料	(94)
6.3	管理方法,预警级别	(94)
6.3.1	警报等级	(95)
6.3.2	一级警报	(95)
6.3.3	二级警报	(95)
6.3.4	总体风险评价和监测临界值概述	(98)
6.4	计划和响应	(99)
6.4.1	预防管理计划	(101)
6.4.2	意外事故计划	(101)
6.4.3	应急措施和事故调查	(102)
第7章	管理计划的实施	(104)
7.1	组织、机构与团体	(104)
7.1.1	利益受权体	(104)
7.1.2	多部门管理,(政府)机构及其作用	(105)
7.2	政策工具	(107)
7.3	法规、规则、标准	(110)
7.3.1	法规的形成	(110)
7.3.2	有关水的法律及标准	(110)
7.4	提高意识,交流及公众参与	(112)
7.4.1	专业人员的意识	(113)
7.4.2	公众意识	(114)
第8章	预防措施	(116)
8.1	承载能力	(116)
8.1.1	氮	(117)
8.1.2	磷	(117)
8.1.3	光能	(118)
8.2	水体中总磷的目标值	(118)
8.3	进入水体的总磷的目标值	(121)
8.4	营养物最终来源和减少	(122)
8.4.1	生活污水	(123)
8.4.2	农业与侵蚀	(125)
8.4.3	饮水水库通道处理	(127)
8.5	营养物和蓝藻内源性控制措施	(128)

8.5.1	内源性磷的沉降	(128)
8.5.2	底泥疏浚及磷的限制	(129)
8.5.3	从湖下层提取底部水	(130)
8.5.4	冲洗减量	(131)
8.5.5	亲水性方案	(131)
8.5.6	生物操作	(132)
8.5.7	除藻剂	(133)
8.5.8	大麦草	(134)
第9章	治理方法	(135)
9.1	取水口管理	(135)
9.1.1	从地表水体直接提取	(135)
9.1.2	堤岸过滤与地下水补给	(136)
9.2	使用除藻剂	(136)
9.2.1	硫酸铜法	(137)
9.2.2	铜螯合物法	(139)
9.2.3	使用氧化剂	(139)
9.2.4	使用除藻剂的时机	(139)
9.3	饮用水处理设施对毒素去除的效率	(140)
9.3.1	格栅和预过滤	(141)
9.3.2	曝气和气提	(141)
9.3.3	絮凝与澄清	(141)
9.3.4	溶气上浮	(143)
9.3.5	沉淀法减低硬度	(144)
9.3.6	直接快滤法	(144)
9.3.7	絮凝、沉淀和过滤的组合	(144)
9.3.8	慢沙过滤	(145)
9.3.9	活性炭吸附	(146)
9.4	化学氧化和消毒	(149)
9.4.1	氧化作用与消毒相结合	(149)
9.4.2	预氧化(细胞去除前)	(151)
9.5	膜处理与反渗透	(151)
9.6	微胱氨酸-LR 以外的其他微胱氨酸	(152)
9.7	有效饮用水处理系统	(152)
9.8	家用和小型社区饮用水处理	(154)
第10章	监测计划的制定	(156)
10.1	监测方案的步骤	(156)

10.1.1	监测目标	(156)
10.1.2	监测方案	(157)
10.1.3	多样化选择	(157)
10.2	实验室容量及员工的培训	(158)
10.3	反应式与程序化监控策略	(161)
10.4	取样点的选择	(162)
10.5	监测频率	(163)
第 11 章	野外工作: 采样位检查和采样	(165)
11.1	野外工作计划	(165)
11.1.1	野外采样频率	(165)
11.1.2	安全性	(166)
11.2	采样点	(166)
11.3	采样	(167)
11.3.1	采样容器	(167)
11.3.2	样品类型	(168)
11.4	营养物、蓝藻和毒素	(170)
11.4.1	营养物分析(氮和磷)	(170)
11.4.2	蓝藻的定性测定	(171)
11.4.3	样品叶绿素分析	(171)
11.4.4	大量用于蓝藻毒素检测的蓝藻样品	(172)
11.4.5	胞内和可溶解性毒素定量分析	(172)
11.5	现场分析	(173)
11.6	现场记录	(173)
11.7	样品的保存和运输	(173)
第 12 章	实验室内蓝藻的测定	(175)
12.1	样品的转移和贮存	(175)
12.2	蓝藻的鉴定	(176)
12.3	定量	(178)
12.3.1	计数	(178)
12.3.2	微观测定蓝藻生物群	(183)
12.4	用叶绿素 a 分析法测定生物种群	(184)
12.5	营养物浓度的测定	(186)
12.5.1	ISO 6878 关于磷的分析	(186)
12.5.2	硝酸盐的分析	(188)
12.5.3	氨的分析	(188)
第 13 章	蓝藻毒素的实验室分析	(189)

13.1	样品处理和贮存	(189)
13.2	蓝藻毒素检测和生物鉴定的样品预处理	(191)
13.2.1	提取	(191)
13.2.2	样品清洗	(192)
13.3	毒性检测和生物鉴定	(197)
13.3.1	老鼠的生物鉴定	(197)
13.3.2	无脊椎动物生物测定	(199)
13.3.3	细菌的生物测定	(201)
13.3.4	生物化学测定	(202)
13.3.5	免疫检测	(202)
13.3.6	哺乳动物细胞	(204)
13.4	蓝藻毒素物化分析方法	(204)
13.4.1	对微囊藻毒素和节球藻毒素的检测方法	(206)
13.4.2	变性毒素-a	(211)
13.4.3	变性毒素-a(s)	(211)
13.4.4	筒孢藻毒素	(211)
13.4.5	石毒素	(212)

下篇 中国水体蓝藻及其治理的科学性认知和工程实践

第14章	湖泊治理中几个问题的讨论	(215)
14.1	关于湖泊的营养水平和富营养化的问题	(216)
14.2	湖泊藻类、水华和毒害	(223)
14.3	生物净化是解决湖泊污染最根本、最有效的方法	(225)
14.4	湖泊治理必须采取科学、积极和综合的措施	(249)
第15章	蓝藻综合治理及中国滇池蓝藻标本兼治前景	(253)
15.1	引言	(253)
15.2	概述	(253)
15.3	藻的控制与治理	(255)
15.4	控制蓝藻的其他手段	(261)
第16章	生物净化作用机理浅谈	(263)
16.1	生物净化	(263)
16.2	生物净化的过程和机理	(264)
第17章	美国湖泊富营养化的研究和治理	(266)
17.1	藻类增长与营养物的关系	(266)
17.2	水体中营养物的循环和底泥的相互作用	(269)
17.3	藻类物种群落演替对营养物循环的影响	(272)