

# 城市面源污染的控制原理和技术

Urban Diffuse Pollution Control  
Principles & Technologies

© 尹澄清 等著



中国建筑工业出版社

# 现代工业与科技控制工程应用案例

第 1 卷 第 1 期



# 城市面源污染的控制原理和技术

尹澄清 等著

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

城市面源污染的控制原理和技术/尹澄清等著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2009

ISBN 978-7-112-10824-4

I. 城… II. 尹… III. 城市-水污染防治-研究 IV. X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 038875 号

面源污染, 作为当今世界上主要的污染问题, 已在全球许多地方引起了严重的水环境恶化和水生态危机。本书共分 11 章, 分别介绍了城市面源污染的产生规律、污染负荷监测和预测方法、对水环境的影响、适用的城市面源污染控制系列技术, 以及在武汉、北京、成都、英国丹佛姆林东区、美国西雅图、新加坡等城市水问题的最新成果。本书基于武汉“十五”水专项“城市面源污染控制技术与工程示范”的研究成果, 为我国城市的面源污染综合控制探索经济、实用、可行的途径与方法, 提出保护城市水环境、促进城市可持续发展的城市水体面源污染控制技术和管理模式。书中的 80 多幅彩色图片生动展示了面源污染治理工程及其景观。

本书可供环境科学工作者阅读, 也可为城市规划、市政工程、景观设计、城市水文与生态建设的管理人员和技术人员参考, 还可以成为环境类课程的参考书。

\* \* \*

责任编辑: 于 莉

责任设计: 郑秋菊

责任校对: 兰曼利 陈晶晶

## 城市面源污染的控制原理和技术

尹澄清 等著

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京中科印刷有限公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 21½ 插页: 16 字数: 587 千字

2009 年 5 月第一版 2009 年 5 月第一次印刷

印数: 1—2,500 册 定价: 76.00 元

ISBN 978-7-112-10824-4

(18074)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

## Preface

It is a great pleasure and honor to provide introductory remarks to this seminal book on abatement of urban diffuse pollution prepared by Professor Chengquin Yin of the Chinese Academy of Science with his coauthors. This book is very timely and is significantly advancing the state of the art and knowledge in several fields. This book will be read not only by environmental engineers and scientists, it will be a valuable and important reference to urban planners, landscape architects, scientists working in and studying urban hydrology and ecology, and it will become a valuable textbook for students.

Diffuse pollution, or as it is also known as nonpoint pollution, is a major pollution problem throughout the world. It has been responsible for many large scale water pollution problems and aquatic ecology collapses that have been plaguing many inland and coastal waters for many years. Diffuse pollution by phosphorus was threatening the Great Lakes between USA and Canada in 1970s when lake Erie was dying because of excessive loads of phosphorus from land; caused an environmental collapse of the Lagoon of Venice in Italy where wetlands in the watershed were drained to provide land for intensive agriculture and urban development and this process released large amounts of nitrogen and phosphorus; it triggered severe impairment of the Chesapeake Bay, the largest and highly productive estuary in the United States, which lost its fishery and shellfish harvesting. It is responsible for anoxia and noxious algal blooms in many inland lakes and coastal waters throughout the world.

However, much has changed since the first publication of the Handbook of Nonpoint Pollution (Van Nostrand-Reinold Publishers, New York) in 1980. This book was also few years later translated and published in China. Prior 1970, nonpoint pollution was not recognized and the pollution abatement just started in some countries, focusing solely on removal of biodegradable organics and suspended solids from point sources, i. e., sewer and drainage canals outflows from cities and industries. However, in the same time, environment was contaminated by excessive amounts of fertilizers and other chemicals lost from farms and urban streets, by sediment from erosion of farms and urban construction sites that also contained pollutants such as nutrients and toxics, by deposition from the polluted atmosphere, by emission from traffic, and by chemicals used for pest control both in urban and rural areas. The situation forty years ago in the United States and several other industrial countries was such that environmental scientists and authors raised alarm about the possibility of a massive loss of species of birds and other organisms because of contamination of their bodies caused by diffuse pollution. The public and their representatives responded by passing important environmen-

tal controls that set forth the process of the prevention and control of excessive diffuse pollution loads from land and municipal and industrial point sources. It is unfortunate that similar pollution problems and catastrophes can be now seen in rapidly developing countries of Asia.

The science discoveries and progress of diffuse pollution abatement since its recognition as a serious problem forty years ago has been tremendous. Large hydrologic models have been developed by scientists throughout the world than enable to link the diffuse pollution loads to meteorological parameters and land use and assess the impact of abatement on the land and in transition from the source area to the receiving water bodies. Several categories of best management practices (BMPs) have been developed and already implement on pilot and large scales in many countries of the world. In recognition of the importance of the problem and necessity of coordinated research and activities leading to the solution the International Water Association formed in 1992 its Specialist Group on Diffuse Pollution and Eutrophication. As of 2008, this group has organized 12 international conferences held in USA, Czech Republic, Scotland, South Africa, Thailand, Japan, Korea, The Netherlands, Turkey and future conference are planned in New Zealand, Canada, and certainly in China. The group has organized specialized workshops in India and US. Chinese scientists play an active role in the leadership of the group and its activities.

Diffuse pollution is not only a technological problem, but also a problem of the way the people and societies behave. Technological solution are available but because of the fact that the sources are numerous and spread over the landscape, the solutions can't be only done by governments allocating large sums of money. The society must get fully involved and change the way the resources and land is used, assess and reduce the use of chemicals in all aspect of the life, switch to clean fuels and, above all, change the way the land is used, covered with pavements, and polluted by waste. Diffuse pollution arises when land is misused or overused, too many chemicals are put on it, too many cars are lacking pollution controls, and too many people believe that land and water resources are free and can be abused.

It has been clearly recognized that diffuse pollution form urban areas is tied to the type of the land surface, drainage, air pollution and traffic. The period from the recognition of the problem forty years ago till today can be characterized as a period in which the paradigm of water/stormwater/wastewater has been favoring high imperviousness, fast conveyance of urban runoff and wastewater from the premises in sewers, installing end of pipe treatment employing underground storages and regional treatment plants. This led to building expensive inefficient infrastructures that could not cope with large storms and did not fully resolve the problems. One of the major reasons while the practices were only marginally effective has been the fact that they are based on hundred years old tradition of making the roads and city surfaces impervious and putting the drainage underground. The accumulations solids on the streets and eroded from the sur-

rounding area contain many dangerous pollutants and represent the major contribution of toxic compounds (both organic and inorganic) from any urban area, more than that from sewage. Because urban streams became overwhelmed with pollution many disappeared from urban surfaces and were converted into sewers carrying both sewage and urban runoff. The result of these discharges has been very poor water quality and highly contaminated sediments. Under these circumstances of the current paradigm the tasks of controlling the diffuse pollution seemed to be overwhelming and the traditional best management practices (storage and treatment) were expensive and not appealing to the public.

Today, we are in a period in which the traditional urban paradigm is changing and China has a leading role. The idea and concepts of new ecocities-the Cities of the Future-are catching up like a firestorm in China and Singapore in Asia, Europe, USA and Canada and diffuse pollution abatement and implementation of new best management practices will play an integral-in-key role in this effort.

The role of diffuse pollution abatement has dramatically changed in the last ten years by realizing that BMPs are the integral part of landscape and not just a *posteriori* clean ups. BMPs can be aesthetically pleasing and mimic nature. They are a part of the ecotones, i. e. , green areas between the receiving water bodies and build up urban environment.

The new emerging concepts of Ecocities or Cities of the Future will incorporate diffuse pollution concepts by treating and storing stormwater for reuse and buffering the residual pollution loads. In addition, treated and stored stormwater from the city will provide water for irrigation, cooling and potable water supply, resulting eventually in self-sufficiency of the potable water supply for many water poor cities like Beijing or Singapore. It is envisioned that most of the drainage will be on the surface which will be accomplished by daylighting of former streams that were converted by urban development into underground sewers. Building the new ecocities and retrofitting of the old cities with the sustainable water/stormwater/wastewater management is the new phase of the urban diffuse pollution abatement and the new paradigm. This book and its new visionary approach to diffuse pollution abatement will provide the needed guidance to design an attractive, sustainable and resilient urban landscape.

Vladimir Novotny  
Boston, Massachusetts, USA

## 序

.....

非常荣幸为尹澄清和其他作者共同撰写的《城市面源污染控制原理和技术》专著作序。该书汇总了尹教授领导的研究团队从事城市面源污染的科研成果和实践经验。本书丰富了城市面源污染控制理论,提供了面源污染控制系统的技术原理和设计理念,能推动城市面源污染控制技术的发展和應用。本书可供环境科学工作者阅读,也可为城市规划、景观设计、城市水文与生态建设的管理和技术人员参考,还可以成为环境类课程的试用教材。

面源污染,也称非点源污染,已被人们所熟知。它作为当今世界上主要的污染问题,已在全球范围许多地方引起了严重的水环境恶化和水生生态危机。例如在 20 世纪 70 年代,来自面源的磷污染引起的富营养化威胁着北美的五大湖,其中伊利湖由于接受过量的磷负荷,它的清澈与秀丽不复存在;意大利的威尼斯泻湖由于把湿地排干用于耕种和城市发展,造成大量氮、磷排入湖体,泻湖生态环境严重恶化;切萨皮克湾是美国最大的河口,盛产鱼类和贝类,由于面源磷污染问题,河湾水产业严重受损。来自面源磷所造成的水华问题威胁着世界上许多内陆水体和沿海水域。

1980 年,第一本非点源污染手册书在纽约(Van Nostrand-Reinold Publishers, 中译本也已有)出版问世以来,面源污染问题逐渐被重视。在 20 世纪 70 年代之前,人们对非点源污染没有认识,刚开始环境保护的少数国家人们的精力集中在去除生活污水和工业废水这些点污染源的耗氧有机物和固体悬浮物。后来,研究者逐渐发现,来自于农业汇水面和城市街道的化肥、杀虫剂、氮磷等污染物、农田和建筑工地的土壤侵蚀、大气沉降物、交通排放物也是环境的污染源。工业化国家的环境工作者开始呼吁,这些面污染源必须得到有效控制,否则,很多生物物种可能会灭绝,人类自身亦将受到面源污染的危害。但遗憾的是,工业化国家 40 年前所面临的类似污染局面今天又出现在一些发展中国家。

在认识到面源污染问题之后的 40 年,关于面源污染控制的科学发现和技术进步有了长足的发展。人们开发了大规模的水力模型用于估算污染负荷和气象因素的关系,评价土地利用及其对受纳水体的影响。不同形式的最佳管理模式(Best Management Practices,简称 BMPs)相继被开发,示范并应用。随着对面源污染控制重要性的认识以及协调面源污染研究的需要,国际水协面源污染和富营养化专业组(IWA, Specialist Group on Diffuse Pollution and Eutrophication)于 1992 年成立。该组织在美国、捷克等国已经举办了 12 次世界大会,中国科学家在这些活动中发挥着重要的作用。

面源污染不仅仅是一个技术问题,也与人类活动及行为方式息息相关。由于面源污染源复杂、分布广,仅靠政府投入资金通过工程手段进行控制不可能做好;必须有

社会公众的积极参与,改变资源利用和土地使用方式,在生产、生活的各方面减少化学品使用,使用清洁能源,改变道路的覆盖形式等。当一个社会广泛存在错误的滥用资源意识,如当认为大量施用化学品定能增产,认为汽车排放理所当然,认为土地和水资源永远是免费资源时,面源污染就会发生或为期不远了。

城市面源污染来源于不同类型的地表汇水面,受排水系统结构、大气污染和交通污染的影响。受到数百年传统城建思想影响,城市的管理者兴建排水设施(包括雨水和污水)时以尽可能快排快泄为目标,从而把大量城市汇水面改造为不透水区域,城市排水通过地下管道传输,在管道末端修建地下贮存池或污水处理厂来存放和净化污水。这些设施基建费用高,处理效率低,且无法处理大暴雨带来的诸多问题。把城市马路修成不透水和把排水管道放置地下这些做法的依据是:它们是几百年的城建传统。同时,由于城市地面累积的街尘含有许多危险的污染物,有的比污水的毒性更大。原有的地表排水被城市地下管道系统所取代,不透水汇水面冲刷的污染物质和有毒化合物排入水体,造成城市河湖严重污染。在现有的城市排水和地面结构体制下,控制面源污染的任务非常艰巨,传统的最佳管理模式(贮存和处理)在城市成本高,公众认可度低。

目前,传统的城市模式正发生着变化,在这个进程中,中国可能会扮演非常重要的角色。在亚洲的中国和新加坡,在欧洲、美国和加拿大,新的生态城市概念和理念——未来的城市正在深入和发展,并席卷各地。在未来城市的构建中,面源污染削减和新 BMPs 理念将结合,发挥重要的作用。

由于认识到 BMPs 是城市景观建设的重要部分,而不仅仅是末端治理污染,面源污染控制在城市建设中的作用在过去的十年发生了巨大的变化。BMPs 可以使环境优美,自然和谐。他们是群落交错区的链接部分,成为镶嵌于受纳水体和周围城市之间的绿色地带。新的生态城市,或未来城市理念将融合面源污染控制的思想,结合雨水净化、贮存和利用,达到径流污染物削减的效果。此外,净化后并贮存的雨水为城市开发了新水源用于浇灌、冷却和饮用水供给,缓解了水资源匮乏城市用水紧张的局面。在未来的生态城市里,雨水将优先渗入地下,多余水的排除系统将多在地表运行,城市将恢复河道。建设具有可持续水管理模式的生态城市和用生态理念改造旧城区将赋予新时期城市面源污染控制更广阔的空间和意义。这本书和它所介绍的面源污染控制新构想和方法将为设计一个有魅力、可持续和有活力的生态城市提供指导。

Vladimir Novotny

于美国 马萨诸塞州 波士顿

---

Vladimir Novotny, 现为美国东北大学(Northeastern University)教授,是世界非点源污染控制理论的创始人,他是“*Handbook of Nonpoint Pollution: Sources and Management*” Van Nostrand-Reinhold, 1981, “*Handbook of Urban Drainage and Wastewater Disposal*”, J. Wiley Publishers, 1989, “*WATER QUALITY: Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution*”, Van Nostrand-Reinhold, 1994, “*WATER QUALITY: Diffuse Pollution and Watershed Management*”. J. Wiley, 2003 等十几部世界面源污染专著的作者,在全世界有广泛影响。

# 前 言

.....

本书的止笔，正值我参加完在美国西雅图召开的“低环境影响开发国际会议”(Low Impact Development International Conference)。应会议的邀请，我作了大会报告，介绍了过去几年里我们团队在武汉开展的城市面源污染控制和暴雨径流管理的研究进展，这也就是本书的主要成果。中国快速城市化的巨大市场需求和我们开展的前期工作深深地吸引了与会代表，他们问了很多问题，表达希望合作的意愿。

在大会期间，我和很多代表一起考察了美国西海岸的西雅图和波特兰市所进行的大规模低环境影响开发实践，大家深有感慨。我们在2003~2006年期间，在国家“十五”水专项支持下开展了武汉城市面源污染控制研究。在研究进行过程中，我们发现，城市面源污染控制只是城市水问题的一部分，还有与此联系的许多问题，如城市水平衡失调、城市缺水、地下水位下降、城市洪水和积水、城市生物多样性、城市景观单调等。由于过去城市建设没有全面地、从生态系统和生态平衡角度考虑城市建设，致使城市系统的不协调、城市发展不具有可持续性、城乡水系统矛盾等。因此，我们在研究中提出了“要建设生态型排水系统”的理念，并在武汉城市面源污染控制研究中进行了一些尝试。近三年来，我们发现其他一些国家的科研人员也在关注这一问题，如英国提出了可持续城市排水系统(Sustainable Urban Drainage System, SUDS)，美国提出了低环境影响开发(Low Impact Development, LID)。这些理念虽然在提出时的角度有些不同，但最后都趋向同一个解决方向，即城市水的生态化管理。其中，美国由于其强大的创新能力、适合的创新环境，在低影响开发方向进展很快，对国际城市建设技术界影响最大。西雅图是在这方面发展的领先城市之一。这次到西雅图开会，我感到受益匪浅。

这本书主要是总结我们在武汉水专项“城市面源污染控制研究”的研究成果，也包括与此相关的其他在生态型排水系统和低环境影响开发方面的理念、技术，并且邀请了专家介绍在北京、成都、英国丹佛姆林东区、美国西雅图、新加坡等地解决城市水问题的最新成果。在国家“十五”期间设立的“水污染控制技术与治理工程”专项研究中，武汉成为“城市水环境质量改善技术与综合示范”的首选示范城市，“汉阳地区城市面源污染控制技术与工程示范”课题是“武汉水专项”的主要部分之一。该课题的总体目标是：研究城市面源污染的产生规律，划分城市面源污染源类型，研究面源污染负荷监测技术和预测方法，认识其对城市水环境的影响；通过工程规模的现场研究，开发出适合于我国城市情况的城市面源污染控制系列技术，强化生态工程、环境工程和景观建设等多元技术的组合与集成，并用示范工程展示；提出适合武汉汉阳地区特点的城市水体面源污染控制技术和管理措施集成系统。本课题的实施，为我国

城市水体的面源污染综合控制探索了经济、实用、可行的途径与方法，提出了保护城市水环境、促进城市可持续发展的城市水体面源污染控制技术和管理模式。

“汉阳地区城市面源污染控制技术与工程示范”课题是我国首次开展的大规模城市面源污染研究。通过3年多在30多个监测点、汇水区的监测，发现城市中面源污染负荷占水污染总负荷的比重比过去预想的大得多，由于暴雨径流的初期效应时间极短，面源污染对城市水体的冲击性非常高。课题通过深入研究不同城区面源污染的特点，开发出了一系列单项技术和技术系统，提出了具有我国城市特点的面源污染解决方案。这些技术通过控制面源污染的源—迁移—汇，对其进行系统控制。课题取得了良好的环境效益、社会效益和经济效益，在武汉市的城市建设和社会进步中发挥了良好的作用，并对全国其他城市产生了示范性影响。

我们在本书中介绍了在“汉阳地区城市面源污染控制技术与工程示范”课题中的一些发现和技术，以及其他城市的成果，供全国和国际同行们参考。目前，城市面源污染控制的理念、理论和技术正越来越受到世界各国城市管理者、规划师、工程师们的重视。由于多学科和因地制宜的特点，已连续十年每年都有关于面源污染控制的国际会议，吸引着越来越多的人参与讨论。国际上大量的经验证明，城市面源污染控制是一个系统工程，应规划先行，在城市建设的初期就加以考虑和设计，才能事半功倍，实现构建和谐城市的目的。

在这本书出版时，我们十分感谢国家“十五”水专项的制定者和专家组，是他们的支持和努力，使武汉城市面源污染控制课题能立项和进行，是他们前瞻的战略布局 and 科学指导，使课题能较好地完成；非常感谢武汉市政府、各有关部门为面源污染控制研究提供了宝贵帮助，解决很多困难。我们衷心地感谢世界面源污染控制理论的创始人 Vladimir Novotny 教授为本书作序，非常感谢赵景柱、刘俊新、李培军等研究员在武汉面源课题研究所起的重要作用和对本书出版的支持；感谢武汉碧水科技有限公司的陈贤德总经理和其他同志，他们的课题业主公司模式极大地提高了水专项课题的工作效率，帮助克服了大量的非科学性困难和问题。我要衷心地感谢面源课题的合作单位、参加人员和学生，是大家的共同努力才使得这本书所叙述的研究成果得以取得并展示于示范工程；感谢参加写作的各位同事，谢谢对课题研究给予支持和帮助的所有朋友。最后，我们感谢中国建筑工业出版社给予本书的大力支持，谢谢责任编辑于莉同志。

本书是基于课题研究集体创作的成果。全书由尹澄清设定内容和统稿，刘燕技术支持。本书各章节的主要写作人是：

1.1 尹澄清，1.2 尹澄清、王效科，1.3 王为东，1.4 祝贵兵

2.1 李立青、尹澄清，2.2 祝贵兵，2.3 李立青，2.4 叶闽，2.5 赵洪涛

3.1 王效科，3.2 杨国胜

4. 尹澄清

5.1 尹澄清、王为东，5.2 刘红磊，5.3 穆环珍，5.4 刘燕，5.5 王孟，5.6 郭雪松、刘俊新，5.7 黄益宗、朱永官

6.1 单保庆, 6.2 刘燕, 6.3 尹澄清, 6.4 尹炜, 6.5、6.6 陈庆锋, 6.7 刘燕、尹澄清

7.1 尹澄清, 7.2 刘红磊, 7.3 王为东, 7.4 郭雪松、刘俊新

8. 马克明

9. 尹澄清

10.1 何庆慈、孔玲莉, 10.2 叶闽、尹炜, 10.3 单保庆、赵建伟, 10.4 何庆慈、孔玲莉、陈道, 10.5 张建新、张旭超

11.1 车伍, 11.2 Brian J. D'Arcy、Robin Clarke, 11.3 Nian She, 11.4 董欣

我国的城市化进程正在加速进行, 愿本书的出版对我国的生态城市建设和水管理有所帮助。由于作者水平有限, 世界城市面源污染控制和低环境影响开发理论和技术又在飞速发展, 难免有不足之处, 尚请读者批评指正。

尹澄清

2008年12月于中国科学院生态环境研究中心

# 目 录

.....

## Preface

序

前言

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| <b>1 城市面源污染的由来 .....</b>     | <b>1</b>  |
| 1.1 水体污染的来源 .....            | 1         |
| 1.2 城市生态系统及其水文特征 .....       | 3         |
| 1.3 城市面源污染对水环境的影响 .....      | 13        |
| 1.4 城市面源污染控制的进展 .....        | 15        |
| <b>2 城市面源污染的产生规律 .....</b>   | <b>24</b> |
| 2.1 面源污染的成因与过程 .....         | 24        |
| 2.2 城市排水系统与面源污染物的传输 .....    | 47        |
| 2.3 城市地区的面源污染负荷特征 .....      | 53        |
| 2.4 城市面污染源类型 .....           | 64        |
| 2.5 城镇道路街尘的污染特征 .....        | 68        |
| <b>3 城市面源污染的监测与模型 .....</b>  | <b>72</b> |
| 3.1 面源污染负荷监测技术 .....         | 72        |
| 3.2 面源污染负荷模型和预测方法 .....      | 79        |
| <b>4 城市面源污染控制的机制 .....</b>   | <b>91</b> |
| 4.1 城市面源污染控制的核心思想与原则 .....   | 91        |
| 4.2 面源污染控制：源—迁移—汇系统与模式 ..... | 93        |
| 4.3 生态城市理念中的水循环和面源污染控制 ..... | 94        |
| 4.4 面源污染控制纳入城市水管理的综合考虑 ..... | 95        |
| <b>5 城市面源污染的源控制 .....</b>    | <b>96</b> |
| 5.1 地表绿化的促渗和控污 .....         | 96        |
| 5.2 透水路面技术 .....             | 99        |
| 5.3 木质素促渗剂和土壤结构改良 .....      | 106       |
| 5.4 城市雨水的资源化与面源污染控制 .....    | 113       |
| 5.5 居民小区双井式雨水处理与利用技术 .....   | 115       |

|           |                                        |            |
|-----------|----------------------------------------|------------|
| 5.6       | 城市分散点源的治理技术 .....                      | 123        |
| 5.7       | 以减少面源污染为目的的土壤污染控制与磷固定化技术 .....         | 126        |
| <b>6</b>  | <b>城市面源污染的迁移控制 .....</b>               | <b>134</b> |
| 6.1       | 亚表层渗滤技术 .....                          | 134        |
| 6.2       | 地表径流排水的植草沟技术 .....                     | 141        |
| 6.3       | 突发性大水量暴雨污染径流贮存净化 .....                 | 149        |
| 6.4       | 人工湿地净化技术 .....                         | 154        |
| 6.5       | 塘—湿地组合净化技术 .....                       | 166        |
| 6.6       | 在线与离线控制技术 .....                        | 169        |
| 6.7       | 合流制溢流污水污染控制技术 .....                    | 179        |
| <b>7</b>  | <b>城市面源污染的汇控制 .....</b>                | <b>185</b> |
| 7.1       | 区域性的暴雨径流污染汇控制 .....                    | 185        |
| 7.2       | 岸边净化的生态混凝土技术 .....                     | 185        |
| 7.3       | 控污型岸边带系统 .....                         | 190        |
| 7.4       | 景观水体水净化与循环 .....                       | 195        |
| <b>8</b>  | <b>城市面源污染控制的规划模型实例与管理 .....</b>        | <b>199</b> |
| 8.1       | 从城市区划考虑面源污染控制 .....                    | 199        |
| 8.2       | 城市面源污染控制的规划方法 .....                    | 204        |
| 8.3       | 城市面源污染控制的管理措施 .....                    | 207        |
| <b>9</b>  | <b>城市面源污染的综合解决和系统控制 .....</b>          | <b>209</b> |
| 9.1       | 城市面源污染的综合控制方法与途径 .....                 | 209        |
| 9.2       | 城市面源污染控制的系统解决方案 .....                  | 212        |
| 9.3       | 城市面源污染控制效果的工程后评估 .....                 | 214        |
| <b>10</b> | <b>武汉汉阳城市面源污染控制的案例研究 .....</b>         | <b>216</b> |
| 10.1      | 武汉汉阳的自然、社会情况和城市水环境 .....               | 216        |
| 10.2      | 武汉桃花岛面源污染控制示范工程 .....                  | 223        |
| 10.3      | 武汉动物园面源污染控制示范工程 .....                  | 236        |
| 10.4      | 武汉万家巷面源污染控制示范工程 .....                  | 247        |
| 10.5      | 武汉新区城市面源污染控制规划和建设 .....                | 259        |
| <b>11</b> | <b>国内外其他城市面源污染控制的成功案例 .....</b>        | <b>275</b> |
| 11.1      | 北京和成都城市住区雨水管理与景观水环境综合设计案例 .....        | 275        |
| 11.2      | 英国苏格兰 Dunfermline 城市排水系统的挑战与解决方案 ..... | 288        |
| 11.3      | 美国西雅图城市面源污染综合控制和管理 .....               | 297        |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 11.4 新加坡雨水资源的利用与管理 ..... | 308 |
| 参考文献 .....               | 314 |
| 缩略符号表 .....              | 328 |
| 作者单位地址表 .....            | 330 |
| 彩图                       |     |

# 1 城市面源污染的由来

## 1.1 水体污染的来源

近年来,随着我国经济腾飞、城市化迅速发展、人民收入水平逐渐提高,我国水污染态势却呈加重趋势。吉林松花江化工污染、东海大面积赤潮、新墙河砷污染事件、沭阳水源污染、太湖蓝藻水华爆发……重大污染事件频频发生,水环境问题日益成为中国社会甚至国际关注的焦点。重大污染事件是水环境整体恶化背景下的突发表现。

### 1.1.1 水体污染源分类

所谓水污染,是指在人为因素直接或间接的影响下,污染物质进入水体,使其物理、化学或生物特性发生改变,以致影响水的正常用途和水生态系统的平衡、危害国民健康和生活环境。

水污染的来源包括天然的污染源及人为的污染源。天然的污染源一般指本底条件下降雨和径流造成的物质输入等;人为的污染源来自人们各种活动及开发所产生者,包括城市污水、工业废水、畜牧废水、矿场废水及垃圾渗出水等。从污染物进入水体的途径不同,污染源可分为点源、面源和内源。点污染源一般指工矿企业排放废水、城镇排放生活污水,有或明或暗的排污口,有明显的责任人。面污染源指一个区域,污染物在晴天积累,在降雨产流条件下雨滴和径流冲刷下垫面和排水通道,污染物随径流排入水体。这种面源污染因为没有明显的排污口和责任人,因此又被称作非点源污染。内污染源指已经进入水体、平时累积在底泥或其他地域的污染物,在一定条件下又重新释放出来。在长期的与污染作斗争过程中,人们已经总结出经验:要想控制水污染,必须首先以流域尺度治理污染源,即工业废水、城市污水和面源污染(彩图 1-1)。

在污染源的控制力中,各国都首先把控制有明显排污口和责任人的工业废水和城市污水放在首位,控制也更有成效。面源污染是在降雨产流条件下才能监测的,没有明显的排污口和责任人,控制过程复杂,因此落在了后面。但是,面源污染对水环境的危害是非常强的。按照工业化国家的经验,随着科技的发展和治理投入的增加,点源污染的治理效果可迅速提高,点源对水体污染的贡献率逐年下降,而面源污染的负荷比例逐年增加。美国环保署的报告,美国江河湖海的污染负荷约三分之二来自于面源。在 2000 年监测的全美受功能受损水体中,河流部分 48%的首要污染源是农业面源污染,12%的首要污染源是城市面源污染;湖泊水库 41%的首要污染源是农业面源,17%是城市面源;河口部分 18%的首要污染源是农业面源,32%是城市面源;滨海部分 55%的首要污染源是城市面源(US

EPA, 2002)。我国对江河湖海的污染负荷没有进行大规模的实测,但大多数学者相信,来自农业和城市的面源污染也超过了点源;从我国污染事件大多发生在暴雨以后这一事实看,人们可以直观地感觉到面源污染的威胁。

与点源造成的污染不同,虽然造成面源污染的主要因素是人,如地面脏土、管网沉积、水土流失等,但其发生的驱动力是降雨、雪融及其随之而来的径流这些自然因素。

### 1.1.2 面源污染的产生

根据面污染源发生区域的不同,面源污染可分为农业面源、城市面源、矿山面源、大气沉降等。

农业面源是最主要的类型,污染源发生在农田、菜地、草地、森林和村庄等区域。污染物包括来自农业生产所带来的氮、磷和农药,农村水土流失造成的泥沙,还有农民生活所产生的干厕所粪便、生活垃圾、洗涤用化学品,以及牲畜饲养生成的动物粪便和食物残渣。农业面源分布范围广泛,贡献量大,是面源污染控制的重点和难点所在。影响农业面源的主要因子是土壤入渗性能、污染物累积程度和土地利用的人为管理三个方面。土壤入渗低的地块具有高产流潜势,由污染物高累积度与低入渗性能耦合形成的区域成为降雨过程中输出污染物的关键源区。在大多数农业面源研究中发现,村庄往往是最重要的关键源区,在一般的降雨条件下,它单位面积产生径流多,径流中总氮、总磷和有机物含量也都比较高。

城市面源污染也被称为城市暴雨径流污染,是指在降水的条件下,雨水和径流冲刷城市地面,污染径流通过排水系统的传输,使接纳水体水质污染。和农业面源污染有所不同的是:城市的商业区、居民区、工业区和街道等地表含有大量的不透水地面,这些地表由于日常人类活动而累积有大量污染物,当遭受暴雨冲刷时极易随径流流动,通过排水系统进入水体(彩图 1-2、彩图 1-3)。城市面源污染依据其独特的下垫面特征和高强度的人类干扰性,其产生与输出具有与农业面源污染明显不同的规律。城市的面源污染是城市生态系统失调的结果;城镇人口密集,各种人类活动和生产活动频繁,产生的污染物具有面广、量大的特点。从时间上看,污染源排放具有间断性,污染物晴天累积,雨天排放;从空间上看,受排水系统的影响,小尺度呈现出点源特征,而在较大尺度上显现为面源。从污染物种类上看,城市面源污染物有总悬浮物(TSS)、总氮(TN)、总磷(TP)、COD、大肠杆菌、石油烃类、重金属、农药等,污染物种类、排放强度与城市的发展程度、经济活动类型以及居民行为等因素密切相关,自然背景效应很低。

近年来随着城市环境基础设施建设投资和运行机制的改变,城市污水处理厂建设加快,处理量逐年增加,城市污水处理率不断提高。2004年,全国城市污水排放总量为 355 亿 t,城市污水处理能力达到 160 亿 t。虽然由于种种的原因,目前我国城市水环境的问题主要还是点源,如很多城市没有污水处理厂、已建污水处理厂不正常运行、管网收集能力低下、工业企业废水偷排等。但随着政策法规的完善,管理能力的提高,排水系统基础建设的增强,城市面源污染的所占比例日益提高,对城市水系构成严重威胁。参考国际城市的经验,城市污水处理仅靠二级处理不能有效控制水体恶化。据报道,日本东京都污水处理率达 95% 以上,河川水质虽明显改善,但东京湾富营养化仍有增长趋势。

我国的水环境质量和发达国家相比有很大的距离。全方位地控制各种污染源,包括工