

丛书主编 吴春笃

水污染控制技术研究丛书

THE THEORY AND PRACTICE OF CLEAN PRODUCTION
IN DRAINAGE SYSTEM

排水系统清洁生产 理论与实践

刘 宏 张 波 吴春笃 著

水污染控制技术研究丛书

丛书主编 吴春笃

THE THEORY AND PRACTICE OF CLEAN PRODUCTION
IN DRAINAGE SYSTEM

排水系统清洁生产 理论与实践

刘宏 张波 吴春笃 著

 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS
镇江

图书在版编目(CIP)数据

排水系统清洁生产理论与实践 / 刘宏, 张波, 吴春
笃著. — 镇江: 江苏大学出版社, 2014. 12
ISBN 978-7-81130-879-2

I. ①排… II. ①刘… ②张… ③吴… III. ①排水系
统一无污染工艺—研究 IV. ①TU992.03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 310606 号

内 容 提 要

本书以“清洁生产”原理为理论基础,提出了源污染物减量化、排水过程污染物排放最小化、末端污染物处理最优化的排水系统清洁生产理论体系,探讨了排水系统清洁生产策略与途径,在对排水系统进行分析的基础上,从排水管网源清洁生产、排水过程清洁生产、末端处理与处置等环节论述了排水系统清洁生产的技术与途径,阐述了合流制溢流污染控制系统动力学模型及其应用、排水系统清洁生产方案与实施以及基于 SWMM 模型的溢流污染模拟及控制。在城市排水系统中引入清洁生产理论,可以为当前城市排水系统的规划、设计、建设、改造、运营、污染治理提供新思路。

排水系统清洁生产理论与实践

Paishui Xitong Qingjie Shengchan Lilun yu Shijian

著 者 / 刘 宏 张 波 吴春笃

责任编辑 / 张小琴

出版发行 / 江苏大学出版社

地 址 / 江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编: 212003)

电 话 / 0511-84446464(传真)

网 址 / <http://press.ujs.edu.cn>

排 版 / 镇江文苑制版印刷有限责任公司

印 刷 / 句容市排印厂

经 销 / 江苏省新华书店

开 本 / 718 mm × 1 000 mm 1/16

印 张 / 16.25

字 数 / 270 千字

版 次 / 2014 年 12 月第 1 版 2014 年 12 月第 1 次印刷

书 号 / ISBN 978-7-81130-879-2

定 价 / 42.00 元

如有印装质量问题请与本社营销部联系(电话:0511-84440882)

序

1973年第一次全国环保大会的召开,标志着中国人环保意识的觉醒。1983年,第二次全国环保会议将环境保护确定为基本国策。1989年,中国颁布施行第一部《中华人民共和国环境保护法》。然而,令人痛心的是,这些年随着我国推行的大规模、全方位的工业化和城市化进程以及粗放型的发展模式对生态环境造成了极大的破坏,重大水体污染和大气污染事件时有发生,环境污染和生态破坏已成为制约地区经济发展、影响改革开放和社会稳定以及威胁人民健康的重要因素。

针对我国水体污染的现实问题,国家先后启动了太湖污染治理、滇池污染治理等专项工程。2002年,“863”计划设立了“水污染控制技术与治理工程”科技重大专项,在全国范围内选择11个城市作为科技攻关和示范工程实施城市。该专项简称“城市水专项”,是国家科技领导小组确立的国家“十五”期间12个重大科技专项之一。从此,我国开始了新一轮的水体污染控制与环境改善的研究示范工作。2006年,国家又设立了“水体污染控制与治理”科技重大专项(以下简称“水专项”),并连续执行三个五年计划。这是为实现我国社会经济又好又快发展,调整经济结构,转变经济增长方式,缓解我国能源、资源和环境的瓶颈制约,根据《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》设立的16个重大科技专项之一。该专项旨在为中国水体污染控制与治理提供强有力的科技支撑,运用科技手段破解中国环境治理难题,实现水污染防治关键技术的创新。

水专项核心主题之一即是城市水污染控制与水环境综合整治关键技术研究及示范。该主题通过识别我国城市水污染的时空特征和变化规律,建立不同使用功能的城市水环境和水排放标准及安全准则,在国家水环境保护重点流域,选择若干在我国社会经济发展中具有重要战略地位、不同经济

发展阶段与特点、不同污染成因与特征的城市与城市群,以削减城市整体水污染负荷和保障城市水环境质量与安全为核心目标,重点攻克城市和工业园区的清洁生产、污染控制和资源化关键技术难关,突破原有城市水污染控制系统整体设计、全过程运行控制和水体生态修复技术,结合城市水体综合整治和生态景观建设,开展综合技术研发与集成示范,初步建立我国城市水污染控制与水环境综合整治技术体系、运营与监管技术支撑体系,推动关键技术的标准化、设备化和产业化发展,建立相应的研发基地、产业化基地、监管与绩效评估管理平台,为实现跨越发展以及构建新一代城市水环境系统提供强有力的技术支持和管理工具。

随着我国社会经济发展和城市化进程的加快,雨污水管网建设正在全力推进。因此,急需根据全国典型城市雨污水管网水污染问题的普遍性技术需求,针对具有代表性的管网问题,开展雨污水管网建设、改造、运行调控关键技术研究 and 工程示范。正是基于这一重大科技需求,我国水专项在城市水环境主题下设置了“合流制高截污率城市雨污水管网建设、改造和运行调控关键技术与工程示范课题”。该课题针对我国各地城市雨污水管网系统多样化、缺乏科学合理的设计、设施不完善、管网容量低、施工质量差、管网截污能力不足、维护不善、错接乱排严重等问题,根据城市的共性技术需求,研究多种排水体制并存、运行调控难度大的城市雨污水管网,溢流污染严重的雨污合流制管网,地质条件不良的特殊地形地貌城市雨污水管网的建设、改造和运行调控关键技术;重点突破科学合理的新建城区雨污水管网建设、老城区雨污水管网改造方案与工程技术方法,雨污水溢流控制技术,城市雨污水管网运行管理与管道状况的动态监测技术;通过技术应用和工程示范,形成合流制高截污率城市雨污水管网建设、改造和运行调控的技术支撑体系。

本丛书是“十五”水专项“镇江水环境质量改善与生态修复技术研究及示范”和“十一五”水专项“合流制高截污率城市雨污水管网建设、改造和运行调控关键技术与工程示范”研究成果的具体体现,是研究团队全体成员的智慧结晶,涵盖了“城市合流管网溢流污染控制规划理论、方法与实证”“排水系统清洁生产理论与实践”“合流制排水系统污染控制原理与技术”“城市合流管网溢流污染控制技术应用”等内容,可为我国城市合流制雨污

水管网污染物的减量控制提供理论依据。

本丛书的出版得到了上海同济大学徐祖信教授、李怀正教授、尹海龙副教授,浙江大学张仪萍副教授,西安建筑科技大学王晓昌教授,北京建筑大学车武教授的热情支持和帮助;得到了镇江市人民政府、镇江市水利局、镇江市住房与城乡建设局、镇江市科技局、镇江市环境保护局及镇江市环境监测中心站等部门和镇江市水利投资公司、镇江市水业总公司、江苏中天环境工程有限公司等单位的大力协助。在此对他们表示诚挚的感谢。

吴春笃

2014年12月12日

前 言

本书主要内容属于水体污染控制与治理科技重大专项“城市水污染控制与水环境综合整治技术体系研究与示范”主题,“城镇水污染控制与治理共性关键技术研究工程示范”项目,以镇江为示范地的“合流制高截污率城市雨污水管网建设、改造和运行调控关键技术研究工程示范”课题研究成果之一。

本书以“清洁生产”原理为理论基础,构建了以源污染物减量化、排水过程污染物排放最小化、末端污染物处理最优化的排水系统清洁生产理论体系以及实现排水系统清洁生产的技术与途径,可为城市排水系统的规划、设计、建设、改造、运营、管理提供新思路。

全书共分9章,结合镇江市合流制高截污率城市雨污水管网建设、改造和运行调控关键技术研究工程示范项目展开论述。第1章介绍城市排水系统的作用、体制与组成,排水系统清洁生产的任务、目标与内容;第2章介绍排水系统清洁生产策略、途径与技术;第3章对排水系统结构、系统动力学流图与子流图及排水系统清洁生产路径进行分析;第4章从节水减排,生产废水、生活污水、雨水等方面阐述排水管网源清洁生产;第5章论述合流管网、截流式合流管网与混接管网排放过程清洁生产;第6章介绍以磁絮凝溢流污染控制关键技术、旋流分离器控制雨水径流污染技术、多级吸附净化床技术为例的城市排水系统末端处理与处置技术;第7章论述合流制溢流污染控制系统动力学模型及其应用;第8章论述排水系统清洁生产方案与实施;第9章论述基于SWMM模型的溢流污染模拟及控制。

本书可供高等院校环境工程、环境科学、环保设备工程、给排水工程、市政工程、水务工程等专业师生参考,还可供从事城市排水系统规划、设计、管理的科研单位、设计单位和政府管理部门的相关人员参考。

本书在撰写过程中得到了陶明清高级工程师,依成武、储金宇、解清杰、黄勇强、肖思思、万由令等老师及任雁、张贝贝等研究生的大力协助,在此表示诚挚的感谢。

本书参考了国内外的有关论著,并在书后附有主要参考文献目录,在此对相关作者深致谢意。

囿于作者学术水平与实践经验,书中不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

著 者

2014年9月

目 录

第 1 章 绪论 / 1

- 1.1 城市排水系统 / 1
 - 1.1.1 城市排水系统的作用 / 1
 - 1.1.2 城市排水系统的体制 / 2
 - 1.1.3 城市排水系统的组成 / 6
- 1.2 排水系统清洁生产 / 11
 - 1.2.1 清洁生产的定义 / 11
 - 1.2.2 清洁生产的目的 / 13
 - 1.2.3 排水系统清洁生产 / 14
 - 1.2.4 排水系统清洁生产的任务与目标 / 15
 - 1.2.5 排水系统清洁生产的对象与内容 / 16
 - 1.2.6 排水系统清洁生产分析框架 / 16

第 2 章 排水系统清洁生产策略与途径 / 18

- 2.1 排水系统清洁生产策略 / 18
 - 2.1.1 政策与管理 / 18
 - 2.1.2 减量化 / 22
 - 2.1.3 资源化 / 23
 - 2.1.4 废物最小化 / 26
 - 2.1.5 低碳化 / 26
 - 2.1.6 分质处理与处置 / 27
- 2.2 排水系统清洁生产途径与技术 / 27
 - 2.2.1 源清洁生产 / 27

- 2.2.2 排水过程清洁生产 / 28
- 2.2.3 末端处理清洁生产 / 29

第3章 排水系统分析 / 30

- 3.1 排水系统结构分析 / 30
 - 3.1.1 排水系统基本结构 / 31
 - 3.1.2 排水系统的系统动力学模型结构 / 32
- 3.2 排水系统系统动力学流图 / 33
 - 3.2.1 排水系统因果关系图 / 34
 - 3.2.2 系统边界及系统变量 / 35
 - 3.2.3 系统动力学流图 / 36
- 3.3 排水系统系统动力学子流图分析 / 38
 - 3.3.1 污染源产生子系统 / 38
 - 3.3.2 收集运输子系统 / 40
 - 3.3.3 污水溢流子系统 / 41
 - 3.3.4 污水处理子系统 / 43
 - 3.3.5 受纳水体子系统 / 44
- 3.4 排水系统清洁生产路径分析 / 45
 - 3.4.1 源头分析 / 45
 - 3.4.2 过程分析 / 49
 - 3.4.3 终点分析 / 52

第4章 排水管网源清洁生产 / 56

- 4.1 生产废水源清洁生产——零排放技术 / 56
 - 4.1.1 废水零排放的内涵 / 56
 - 4.1.2 废水零排放采用的废水处理技术 / 57
- 4.2 节水减排 / 58
 - 4.2.1 节水的必要性 / 59
 - 4.2.2 国外节水情况 / 61
 - 4.2.3 我国节水发展情况及其效果 / 69

- 4.2.4 我国的节水潜力 / 72
- 4.2.5 节水技术 / 73
- 4.3 生活污水源清洁生产——分质处理与处置及资源化技术 / 75
 - 4.3.1 污水资源化 / 75
 - 4.3.2 分质处理与处置及资源化技术 / 79
 - 4.3.3 合流管网错时分流技术 / 86
- 4.4 雨水源清洁生产途径与技术 / 86
 - 4.4.1 国外现代雨水资源化利用 / 86
 - 4.4.2 国内研究进展 / 88
 - 4.4.3 城市雨水资源化的途径 / 89
- 第5章 排水过程清洁生产 / 95**
 - 5.1 概述 / 95
 - 5.1.1 排水体制与清洁生产 / 95
 - 5.1.2 排水过程清洁生产四要素 / 96
 - 5.1.3 排水过程清洁生产目标 / 96
 - 5.2 合流管网排放过程清洁生产技术 / 97
 - 5.2.1 合流制污水污染的影响因素 / 97
 - 5.2.2 合流污水的管道控制 / 98
 - 5.2.3 合流污水的存储调蓄——溢流截流池 / 99
 - 5.2.4 锥体控制等截流量截流井 / 99
 - 5.2.5 液控弯管虹吸溢流式截流井 / 103
 - 5.2.6 多功能截流井 / 105
 - 5.3 截流式合流管网与混接管网排放过程清洁生产 / 106
 - 5.3.1 截流式合流管网排放过程清洁生产 / 106
 - 5.3.2 混接管网排放过程清洁生产 / 108
- 第6章 末端处理与处置 / 109**
 - 6.1 磁絮凝溢流污染控制关键技术 / 110
 - 6.1.1 磁絮凝反应器设计原理 / 110

- 6.1.2 磁絮凝反应器器体设计 / 111
- 6.1.3 磁絮凝反应器磁路设计 / 112
- 6.1.4 磁絮凝反应器优化分析 / 116
- 6.2 旋流分离器控制雨水径流污染技术 / 117
 - 6.2.1 旋流分离器工作原理 / 117
 - 6.2.2 旋流分离器的特点 / 118
 - 6.2.3 旋流分离器结构设计 / 119
- 6.3 多级吸附净化床技术 / 122
 - 6.3.1 多级吸附净化床装置 / 122
 - 6.3.2 常用吸附材料 / 123

- 第7章 合流制溢流污染控制系统动力学模型的应用 / 125**
 - 7.1 镇江市老城区排水管网现状 / 125
 - 7.2 镇江市老城区合流制排水管网 SD 模型 / 126
 - 7.3 模型检验 / 129
 - 7.3.1 模型有效性检验 / 129
 - 7.3.2 模型灵敏度检验 / 131
 - 7.4 工程技术控制与闸门控制方案研究 / 131
 - 7.4.1 工程技术控制方案研究 / 133
 - 7.4.2 闸门控制方案研究 / 136
 - 7.5 技术途径和政策建议 / 140
 - 7.5.1 工程技术控制路径 / 140
 - 7.5.2 闸门控制路径 / 141

- 第8章 排水系统清洁生产方案与实施 / 143**
 - 8.1 雨水清洁生产方案 / 143
 - 8.1.1 雨水清洁生产资源化 / 144
 - 8.1.2 节能方案 / 148
 - 8.1.3 污染物排放最小化方案 / 149
 - 8.1.4 管理方案 / 154

- 8.1.5 雨水径流截污措施 / 157
- 8.2 污水清洁生产方案 / 160
 - 8.2.1 节能方案 / 160
 - 8.2.2 低碳方案 / 165
 - 8.2.3 分质处理处置方案 / 166
 - 8.2.4 管理方案 / 169
- 8.3 合流制污水清洁生产方案 / 172
 - 8.3.1 资源化方案 / 175
 - 8.3.2 低碳方案 / 181
 - 8.3.3 节能方案 / 182
 - 8.3.4 溢流污染物最小化方案 / 184
 - 8.3.5 管理方案 / 191
- 8.4 混接管网污水清洁生产方案 / 194
 - 8.4.1 资源化方案 / 195
 - 8.4.2 低碳方案 / 195
 - 8.4.3 节能方案 / 195
 - 8.4.4 最小化方案 / 196
 - 8.4.5 调蓄方案 / 196
 - 8.4.6 分质处理方案 / 197
 - 8.4.7 管理方案 / 198
- 第9章 基于SWMM模型的溢流污染模拟及控制 / 200**
 - 9.1 合流制溢流污染水质特征 / 200
 - 9.1.1 溢流污染危害 / 200
 - 9.1.2 取样点位及方法 / 201
 - 9.1.3 结果与讨论 / 202
 - 9.2 SWMM模型理论及方法 / 208
 - 9.2.1 SWMM模型概述 / 208
 - 9.2.2 径流子系统模拟原理 / 210
 - 9.2.3 地表污染累积及冲刷模拟 / 220

- 9.2.4 传输子系统模拟 / 224
- 9.2.5 SWMM 建模基本技术路线 / 232
- 9.3 基于SWMM溢流污染模拟模型构建 / 233
 - 9.3.1 研究区域排水系统概化 / 233
 - 9.3.2 设计暴雨的情景 / 234
 - 9.3.3 地表径流模型确定 / 235
 - 9.3.4 地表污染物累积与冲刷模型选取 / 235
 - 9.3.5 模型参数的确定 / 235
- 9.4 溢流污染控制措施模拟分析 / 238
 - 9.4.1 动态溢流过程分析 / 238
 - 9.4.2 源头控制模拟分析 / 240
 - 9.4.3 过程控制模拟分析 / 241
 - 9.4.4 终端控制模拟分析 / 243
- 参考文献 / 246

绪 论

1.1 城市排水系统

1.1.1 城市排水系统的作用

在城镇居民的生活和生产过程中,需要使用大量的水,这些水在使用过程中受到不同程度的污染,改变了原有的物理性质和化学成分,故称为污水或废水,其中还包括雨水及冰雪融化水,因为雨水及冰雪融化水(合称降水)挟带有来自空气、地表和屋面的一些杂质。

按照污水来源的不同,可将其分为生活污水、工业废水和降水三类。

生活污水是居民在日常生活中排出的废水,包括从厕所、浴室、盥洗室、厨房、食堂和洗衣房等处排出的水,来自住宅、公共场所、机关、学校、医院、商店以及工厂中的生活间部分。生活污水中含有大量的有机物质、肥皂和合成洗涤剂、病原微生物等。这类污水需经处理后才能排入水体、灌溉农田或再利用。

工业废水是在工业企业的生产过程中排出的水,包括生产废水和生产污水两类。生产废水是在生产过程中未受污染或受轻微污染以及水温稍有升高的工业废水。生产污水是在生产过程中被污染的工业废水,还包括水温过高、排放后造成热污染的工业废水。生产废水一般不需处理或需经某些简单处理后,即可重复使用或直接排入水体。生产污水大都需经过适当处理后才能排放或重复使用,它含有的有毒或有害物质往往是宝贵的工业原料,应尽量将其回收利用,为国家创造财富,同时也能减轻水的污染。

降水是指在地面上流泄的雨水和冰雪融化水,常称为雨水。这类水所

含杂质主要是无机物,对环境危害较小,但径流量大,若不及时排除则会淹没居住区和工业区等,或者造成交通受阻。通常暴雨的危害最严重,是排水的主要对象之一。街道冲洗水和消防水的性质与雨水相似,也并入雨水。雨水不需要处理,可直接就近排入水体。

生活污水和工业废水均排入城市污水系统,其性质随各种污水的混合比例以及污水中污染物质特性的不同而异,需经过处理后才能排入水体、灌溉农田或再利用。污水量以 L 或 m^3 计量。单位时间的污水量叫作污水流量,以 L/s , m^3/h 或 m^3/d 计;单位体积污水中所含污染物质的数量称为污染物质浓度,以 mg/L 或 g/m^3 计,用以表示污水的污染程度。

在城市和工业企业中,应当有组织地、及时地排除上述污废水和雨水,否则可能污染和破坏环境,甚至形成公害,影响生活和生产,威胁居民健康。排水的收集、输送、处理和排放等设施以一定方式组合成的总体,称为排水系统。排水系统通常由管道系统(或称排水管网)和污水处理系统(即污水处理厂)两部分组成。管道系统是收集和输送废水的设施,把废水从产生处输送至污水厂或出水口,包括排水设备、检查井、管渠、泵站等设施。污水处理系统是处理和利用废水的设施,包括污水处理厂(站)中的各种建构物和处理设施。

城市排水系统的作用是及时可靠地排出城市区域内产生的生活污水、工业废水及雨水,使城市免受污水之害和暴雨积水之灾,给人们创造一个舒适安全的生活和生产环境,使城市生态系统的能量流动和物质循环正常进行,维持生态平衡,实现可持续发展。我国城市基础设施比较落后,排水管网和城市污水处理厂建设更加滞后,严重的水污染现状要求我们必须加强城市污水治理,这就要求城市排水系统除传统的防止雨洪内涝、排除和处理污水、保护城市公共水域外,还需起到回收城市污水及净化再生,疏通城市水环境,维系水资源可持续利用的作用。

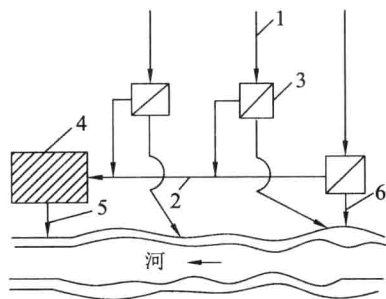
1.1.2 城市排水系统的体制

城市排水管道系统的体制有分流制和合流制。合流制是将生活污水、工业废水和降水混合在同一套管道系统内排除的排水系统。分流制包括污水管道和雨水管道,是将生活污水和工业废水用一套或多套管道系统,而雨

水用另一套管道系统排除的排水系统。合流制排水管道系统分三种形式：直排式合流制、截流式合流制和全处理式合流制。在降雨量较小和对水体水质要求较高的地区，可采用全处理式合流制，将生活污水、工业废水和降水全部送到污水处理厂处理后排放。这种方式对环境水质的影响最小，但截流管管径大，污水处理厂规模大、投资高。

1. 合流制排水系统

合流制是用同一个管道系统收集和输送污废水的排水方式。最早出现的合流制排水系统，是将生活污水、工业废水和雨水混合在同一个管渠内，不经任何处理就直接就近排入水体，使接纳水体遭受严重污染，国内外很多老城市几乎都采用这种方式。现在常采用的是截流式合流制排水系统，是在临河岸边建造截流干管，并设置溢流井和污水厂。晴天和降雨初期的所有污水都输送至污水厂，经处理后排入水体。随着降雨量的增加，雨水径流也增加，当混合污水的流量超过截流干管的输水能力后，就有部分混合污水经溢流井溢出直接排入水体，见图 1.1。截流式合流制虽然能对大部分污水进行处理，但雨天仍有部分混合污水未经处理直接排放，成为接纳水体的主要污染源。如有条件保证接纳水体不遭受污染，可采用截流式合流制排水系统。



1—合流主干管；2—截流主干管；3—溢流井；4—污水厂；
5—出水口；6—溢流出水口

图 1.1 截流式合流制排水系统

2. 分流制排水系统

分流制是用不同的管道系统分别收集和输送各种污水的排水方式，即将生活污水、工业废水和雨水分别在两个或两个以上各自独立的管渠内排