

丛书主编 吴春笃

水污染控制技术研究丛书

PRINCIPLES & TECHNOLOGIES OF COMBINED SEWER SYSTEM
POLLUTION CONTROL

合流制排水系统污染 控制原理与技术

吴春笃 解清杰 陶明清 著

 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

水污染控制技术研究丛书

丛书主编 吴春笃

PRINCIPLES & TECHNOLOGIES OF COMBINED SEWER SYSTEM
POLLUTION CONTROL

合流制排水系统污染 控制原理与技术

吴春笃 解清杰 陶明清 著

 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

镇江

图书在版编目(CIP)数据

合流制排水系统污染控制原理与技术 / 吴春笃, 解清杰, 陶明清著. — 镇江: 江苏大学出版社, 2014. 12
ISBN 978-7-81130-877-8

I. ①合… II. ①吴… ②解… ③陶… III. ①城市—
管网—溢流—污染控制管理 IV. ①X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 310675 号

内容简介

本书共分 8 章, 分别介绍了城市合流制管网的共性问题、溢流污染源解析、溢流污染控制原理、源-流-汇综合调控技术与方法、规划管理等, 以期为我国城市合流制管网区域溢流污染控制提供一种集成解决的参考途径。

合流制排水系统污染控制原理与技术

Heliuzhi Paishui Xitong Wuran Kongzhi Yuanli yu Jishu

著 者/吴春笃 解清杰 陶明清

责任编辑/李菊萍

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/15.75

字 数/278 千字

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

书 号/ISBN 978-7-81130-877-8

定 价/40.00 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水环境治理难题,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与示范。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

随着合流制系统排出的混合污水对水体污染的加剧,很多城市开始对合流制管道系统进行改造,如将合流制排水系统改建为截流式合流制为主的排水管道系统,对水体污染控制起到了一定的作用。然而,这种截流式合流制管道系统带来的新问题是溢流污染,这已成为我国许多城市水体污染的主要因素。如何有效地控制溢流污染是当前国内外研究的热点之一。

2008—2012年,受国家水专项办的委托,课题组承担了“合流制高截污率城市雨污水管网建设、改造与运行调控关键技术与工程示范”课题。该课题属于“城市水污染控制与水环境综合整治技术体系研究与示范”主题中的“城镇水污染控制与治理共性关键技术与工程示范”项目任务之一。我国地域辽阔,城镇众多,城镇水环境污染问题突出,“城镇水污染控制与治理共性关键技术与工程示范”项目的目标是以具有普遍代表性的城市水环境问题为依托,以关键技术引领和突破为重点,从污染源削减、城市水环境污染治理、节水与水再生利用等多个角度出发,开展城镇水污染控制与治理共性关键技术和工程示范,形成解决城市水环境核心问题的技术方案,大幅度提高我国城镇水污染控制与治理的技术水平,分阶段实现共性关键技术的标准化、设备化和产业化,建立城镇水污染治理和水环境整治的技术支撑体系。

本课题针对我国多数城市雨污合流管网系统存在的合流制管网溢流污染严重、纳污水体水质差以及老城区合流管网改造技术单一等问题,以污染物削减为目的,研究雨污水管网运行管理与管道状况、水流状况、水质状况的动态监测技术和管网系统内污染物的输运规律;从合流制管网系统的源-流-汇三方面综合考虑,研究管网改造策略和污染物的源-流-汇综合降污技术,构建高截污率的城市雨污水合流管网系统。课题的研究丰富了城

市水污染控制与水环境综合整治技术体系,通过有针对性地构建相适应的污染物削减技术与工程,可为其他类似城市水污染控制和水环境综合整治提供示范。

本书是在著者对城市合流制排水系统溢流污染深入分析之后,进一步总结研究成果的基础之上形成的。全书共分为8章:第1章在充分调研的基础上,分析总结我国城市合流制管网系统存在的共性问题;第2章主要分析了溢流污染的产生特性;第3章基于系统动力学理论阐述了溢流污染的控制原理,重点论述了源-流-汇全流程控污原理,在此基础上引入“清洁生产”理念,并提出合流管网污染物最小化排放准则;第4章至第6章针对源头、过程、末端溢流污染问题,阐述了错时分流技术、分质截流技术以及用于末端控制的磁絮凝技术、多级吸附净化床、高速大通量溢流污染渗滤控制技术、水驱动生物转盘技术、短时絮凝-高速磁沉降技术等;第7章介绍了溢流污染控制的规划与管理;第8章是基于以上研究成果的应用实例介绍。

本书在著作过程中,得到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;得到了国家水专项办、江苏省水专项办、镇江市政府、镇江市水利局、镇江市住房与城乡建设局、镇江市环境保护局、镇江市科学技术局、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、镇江市环境监测站等部门提供的数据和资料;得到了李明俊、胡坚、成小锋、赵冀平、张耘、周晓红、张波、赵德安、肖思思、刘星桥、刘宏、赵宝康、黄勇强、喻一萍、盛建国、殷晓中、朱健等同志的大力支持和帮助。在此一并表示衷心的感谢!同时感谢江苏大学刘兴、段明飞、厉青、刘春霞、朱丽萍、周清时、袁广娇、任雁等同学为本书所做的大量工作。作者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请指教。

著 者

2014年3月

目 录

第1章 城市合流管网系统溢流污染问题分析 / 1

- 1.1 城市合流管网系统概述 / 1
 - 1.1.1 城市排水系统 / 1
 - 1.1.2 城市合流制排水系统分类 / 2
- 1.2 合流制排水系统共性问题分析 / 3
 - 1.2.1 管网覆盖情况 / 3
 - 1.2.2 合流制在国内城市管网中的比例 / 5
 - 1.2.3 产污系数现状 / 6
 - 1.2.4 截流倍数选取 / 9
 - 1.2.5 合流管网的管理 / 9
 - 1.2.6 合流管网维护措施现状 / 13
- 1.3 合流制排水系统污染特征 / 15
 - 1.3.1 城市雨水径流污染物的种类、来源及危害 / 15
 - 1.3.2 城市雨水径流的污染特性 / 16
 - 1.3.3 不同径流类型污染物浓度比较 / 21
 - 1.3.4 城市合流管网溢流特征 / 23
 - 1.3.5 合流制排水管网溢流污染控制存在的问题 / 24

第2章 合流管网溢流污染源解析 / 26

- 2.1 溢流口污染的产生特性 / 26
 - 2.1.1 降雨过程中溢流水质、水量变化趋势分析 / 26
 - 2.1.2 溢流口沉积物重金属指标监测结果 / 29

- 2.2 城市合流管网降雨过程中的排污特性 / 30
 - 2.2.1 合流制管网系统初期雨污水水质 / 30
 - 2.2.2 合流制管网系统降雨前后的初期雨污水水质变化 / 31
- 2.3 不同汇水区域面源污染物随降雨径流的变化 / 33
 - 2.3.1 降雨监测 / 33
 - 2.3.2 同一场次降雨地表径流水质变化规律 / 36
 - 2.3.3 不同场次降雨事件对污染物输出的影响 / 38

第3章 合流管网溢流污染控制原理 / 40

- 3.1 溢流污染控制技术进展 / 40
 - 3.1.1 城市合流管网溢流污染控制措施现状 / 40
 - 3.1.2 城市合流管网溢流污染控制技术进展 / 43
- 3.2 合流管网系统动力学分析 / 46
 - 3.2.1 污染源产生子系统 / 46
 - 3.2.2 收集运输子系统 / 47
 - 3.2.3 污水处理子系统 / 47
 - 3.2.4 污水溢流子系统 / 48
 - 3.2.5 受纳水体子系统 / 49
 - 3.2.6 合流管网系统动力学模型 / 49
- 3.3 源-流-汇全流程控污原理 / 51
 - 3.3.1 源-流-汇全流程控污理论 / 51
 - 3.3.2 源-流-汇综合调控技术 / 51
 - 3.3.3 源-流-汇综合调控模式 / 53
- 3.4 基于“清洁生产”原理的合流管网溢流污染控制 / 55
 - 3.4.1 排水系统清洁生产的定义和内容 / 55
 - 3.4.2 排水系统清洁生产分析框架 / 55
 - 3.4.3 排水系统清洁生产策略 / 57

第4章 合流管网系统错时分流源头控制技术 / 61

4.1 错时分流技术的提出 / 61

4.1.1 技术的提出 / 61

4.1.2 技术的描述 / 61

4.2 错时分流系统的构建 / 62

4.2.1 系统运行思路 / 62

4.2.2 污水调蓄系统工作原理 / 64

4.2.3 无线控制系统 / 66

4.3 错时分流系统的设计 / 67

4.3.1 污水调蓄系统设计 / 67

4.3.2 无线控制系统设计 / 70

4.4 错时分流技术模块化分析 / 72

4.4.1 模块构成 / 72

4.4.2 污水模块 / 73

4.4.3 雨水模块 / 74

4.4.4 排放模块 / 75

4.4.5 模型参数推导 / 76

4.5 错时分流技术应用实例 / 78

4.5.1 工程概况 / 79

4.5.2 工程设计 / 80

4.5.3 施工控制 / 85

4.5.4 工程评价 / 86

第5章 合流管网分质截流过程控制技术 / 100

5.1 分质截流理论分析 / 100

5.1.1 分质截流概念的提出 / 100

5.1.2 分质截流系统的构建 / 102

5.2 分质截流模型的约束条件分析 / 104

5.2.1 分质截流模型的受纳水体约束条件 / 104

5.2.2	合流管网溢流污水水量与水质	/ 104
5.2.3	分质截流模型的经济约束条件	/ 105
5.3	分质截流模型构建	/ 110
5.4	分质截流模型求解	/ 111
5.5	分质截流技术应用实例	/ 113
5.5.1	示范区概况	/ 113
5.5.2	示范区污染负荷分析	/ 116
5.5.3	古运河受纳水体水质现状分析	/ 118
5.5.4	分质截流模型约束条件	/ 119
5.5.5	分质截流系统设计	/ 122
5.5.6	示范工程实施效果	/ 126
第6章	合流管网溢流末端控制技术	/ 127
6.1	磁絮凝溢流污染控制技术	/ 127
6.1.1	磁絮凝溢流污染控制技术的开发背景与意义	/ 127
6.1.2	磁絮凝装置的开发	/ 128
6.1.3	磁絮凝反应器模拟与优化	/ 132
6.1.4	反应器处理效果分析	/ 135
6.2	多级吸附净化床	/ 136
6.2.1	多级吸附净化床的开发背景与意义	/ 136
6.2.2	多级吸附净化床的工作原理	/ 137
6.2.3	多级吸附净化床处理溢流污水的效果	/ 139
6.3	高速大通量溢流污染渗滤控制技术	/ 141
6.3.1	高速大通量渗滤处理技术的开发背景与意义	/ 141
6.3.2	高速大通量渗滤处理系统工艺原理	/ 142
6.3.3	高速大通量处理系统处理效果	/ 143
6.4	水驱动生物转盘技术	/ 145
6.4.1	水驱动生物转盘技术的研究背景与意义	/ 145
6.4.2	水驱动生物转盘净化设备的结构与原理	/ 145

6.4.3	水驱动生物转盘净化设备工艺特征	/ 146
6.4.4	运行效果	/ 147
6.4.5	运行管理	/ 148
6.5	短时絮凝-高速磁沉降溢流污水快速处理装置	/ 148
6.5.1	短时絮凝-高速磁沉降反应器的研制	/ 148
6.5.2	除污性能分析	/ 150
6.5.3	影响因素分析	/ 150
第7章	合流管网溢流污染控制的规划与管理	/ 154
7.1	基于源-流-汇综合控污的多级递阶智能控制规划方法	/ 154
7.1.1	多级递阶智能控制规划方法概念模型的构建	/ 154
7.1.2	多级递阶智能控制技术适合于形成管网溢流污染控制规划	/ 156
7.1.3	综合集成研讨厅体系的由来及在多级递阶智能控制规划方法中的应用	/ 157
7.1.4	多级递阶智能控制规划系统的构造和规划的运行步骤	/ 159
7.1.5	多级递阶智能协调器	/ 163
7.2	合流管网系统全流程监控技术	/ 163
7.2.1	合流制管网监控的特点与要求	/ 163
7.2.2	监控原理	/ 164
7.2.3	监控策略分析	/ 165
7.3	合流管网改造策略	/ 166
7.3.1	实现途径	/ 167
7.3.2	实现策略	/ 169
7.3.3	保障措施	/ 177
7.4	合流管网系统的规划管理	/ 178
7.4.1	提高合流管网溢流污染控制规划的有效性	/ 178
7.4.2	确保合流管网溢流污染控制规划的有效实施	/ 179

第8章 合流管网系统溢流污染控制的案例研究 / 181

8.1 镇江市老城区合流管网存在的问题 / 181

8.2 镇江城市溢流受纳水体(古运河)现状 / 183

8.2.1 污水排口现状调查 / 183

8.2.2 各排污口水量、水质变化趋势分析 / 186

8.2.3 断面水质评价 / 192

8.3 镇江市合流管网溢流污染控制示范工程 / 199

8.3.1 老城区雨污水管网源-流-汇综合降污改造技术示范工程 / 203

8.3.2 古运河中段合流制雨污水管网建设及运行调控示范工程 / 209

8.4 工程效益分析 / 215

8.4.1 旱流污染削减工程效果 / 215

8.4.2 溢流污染削减工程效果 / 216

8.4.3 溢流污染控制装置削减工程效果 / 217

参考文献 / 222

专业名词缩略语 / 240

城市合流管网系统溢流污染问题分析

1.1 城市合流管网系统概述

1.1.1 城市排水系统

排水系统是现代化城市不可缺少的重要城市市政基础设施,是收集、输送城市产生的生活污水、工业废水和雨水的一整套工程设施,也是城市水污染防治和排涝、防洪的骨干工程。它的任务是及时收集、输送城市产生的生活污水、工业废水和雨水。

城市产生的生活污水、工业废水和雨水可以采用一套或两套独立的管网系统排除。不同的排除方式所形成的排水系统称为排水系统的体制(简称排水体制)。排水体制一般分为分流制和合流制两种类型。

分流制排水系统是将生活污水、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除的系统。根据排除雨水方式的不同,又分为完全分流制排水系统和不完全分流制排水系统。

(1) 完全分流制排水系统

完全分流制排水系统具有完整的雨水和污水两个管渠排水系统。前者通过各种收水设施汇集城市内的雨水,就近排入水体;后者汇集生活污水、工业废水并送至处理厂,经处理排放或加以利用。该体制卫生条件好,但投资较大。据国外经验,完全分流制排水管道的造价一般比合流制高 20% ~ 40%。即完全分流制比合流制总造价高,新建的城市、工业区开发一般采用该形式。

(2) 不完全分流制排水系统

不完全分流制只具有污水排水系统,而不修建雨水管道系统,雨水沿天

然地面、街道边沟、沟渠等原有雨水渠道排泄,或者只在原有渠道排水能力不足或必要之处修建部分雨水管道,待城市进一步发展或资金充足时再修建雨水排水系统,使其转变成完全分流制排水系统。该体制节省初期投资,还可以缩短工期,主要用于有合适的地形和比较健全的明渠水系的地方,以便顺利排泄雨水。对于新建城市或发展中地区,为了节省投资或急于排泄污水,可先采用明渠排放雨水,待有条件后,再改建雨水暗管系统,转变成完全分流系统。但对于地势平坦、多雨易积水的地区,则不宜采用不完全分流制。

1.1.2 城市合流制排水系统分类

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排除的管网系统。按照其产生的次序及对污水处理的程度不同,合流制排水系统可分直排式合流制、截流式合流制和完全处理式合流制三种形式。

(1) 直排式合流制

管渠沿道路布置就近坡向水体,城市污水不经任何处理直接就近排放的排水方式称为直排式合流制。国内外老城区的合流制排水系统均属于此类。这种方式在城市建设早期使用较多,管渠造价低,所有排出的水不进入污水处理厂,所以投资省、造价低,管理维护费用也少。但该方式造成的水体污染危害很大,正是这个严重的缺点,使其不能适应社会发展的需要,正逐渐被淘汰。

(2) 截流式合流制

由于污水对环境造成的污染越来越严重,必须对污水进行适当的处理才能够减轻对水环境造成的污染,因此产生了截流式合流制排水系统。在早期直排式合流制的基础上,临河岸边建造一条截流干管,同时设置溢流井,并设污水处理厂。晴天和初雨时,所有污水都排至污水处理厂,经处理后排入水体。当雨量增加,混合污水的流量超过截流干管的输水能力后,将有部分混合污水不经处理而经溢流井直接排入水体。这种排水系统与直排式相比有了很大改进,但截流干管的尺寸较大,要比直排式模式增加一些工程投资,但从长远看是有益的,适用于老城区的改建。

(3) 完全处理式合流制

在降雨量较小且对水体水质要求较高的地区,可以采用完全处理式合流制,即将生活污水、工业废水和雨水全部送到污水处理厂处理后再排放。从控制和防止水体的污染来看,这种方式较好,但这时管道尺寸很大,污水处理厂容量也增加很多,建设费用也将相应增高。虽然这种方式对环境水质的污染最小,但对污水处理厂的要求很高,并且需要大量投资。

1.2 合流制排水系统共性问题分析

1.2.1 管网覆盖情况

根据调研可知,我国管道建设发展迅速。截至2009年,我国排水管道长度为34.4万千米,排水管道密度为9.0千米/平方千米,相比2000年年均增长率分别为10%和4%,具体情况如图1.1所示。但是我国城市排水管网的建设相对于国外还有一定的差距,管网覆盖率还有很大的提升空间。

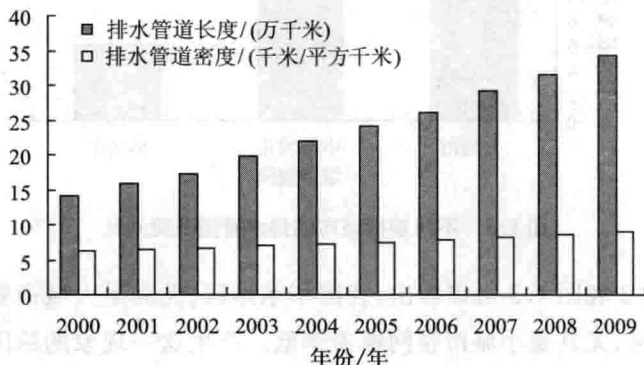


图 1.1 我国 2000—2009 年排水管道长度及管道密度

图 1.2 为我国不同地区排水管道的长度对比。由图可以看出,我国不同地区管网建设差异很大,其中,华东地区管道长度最长,约 14.2 万千米;西北地区管道长度最短,只有 1.5 万千米。华东地区管道长度是西北地区管道长度的 9.65 倍,是西南地区管道长度的 5.36 倍。