



“十二五”国家重点图书

水体污染控制与治理科技重大专项

城市降雨径流污染控制技术

曾思育 董欣 刘毅 编著

中国建筑工业出版社



“十二五”国家重点图书

水体污染控制与治理科技重大专项

城市降雨径流污染控制技术

曾思育 董欣 刘毅 编著



中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

城市降雨径流污染控制技术/曾思育等编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 10

“十二五”国家重点图书水体污染控制与治理科技重大专项
ISBN 978-7-112-20000-9

I. ①城… II. ①曾… III. ①城市-降雨径流-水污染-污染控制-研究 IV. ①X522

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 248399 号

本书为国家“水体污染控制与治理”科技重大专项“城市主题”的研究成果之一。针对我国城市降雨径流污染控制的迫切需求, 本书在借鉴城市径流管理和排水系统规划设计的国际经验基础上, 总结我国已有相关研究成果和工程实践, 为我国城市径流污染控制措施选择、方案设计和工程实施提供技术支撑和依据。

全书共分为 5 章。第 1 章综述了城市降雨径流污染的产生与特征, 简单介绍了国内外城市径流污染控制技术的发展历程。第 2~5 章分别针对城市降雨径流污染的源头削减技术、管理控制技术和末端处理技术, 详细阐述各项技术措施的基本功能、适用条件、设计要点、运行维护要点、效果与成本。其中第 2 章主要包括绿色屋顶、雨水罐、下沉式绿地、透水铺面、植被过滤带、植草沟、入渗沟、砂滤池、生物滞留池等技术, 第 3 章主要包括管网现有存储能力的最大化利用、雨水口改造、旋流分离、合流污水调蓄、雨水调蓄、溢流污水消毒等技术, 第 4 章主要包括入渗池、干/湿滞留池、雨水湿地、滨水缓冲区以及污水厂雨季应对技术等。在前几章剖析单项技术的基础上, 第 5 章提出了设计城市降雨径流污染控制总体技术方案的理念、步骤与方法。

本书可为城市降雨径流污染控制措施规划、设计、建设、运行及维护管理等各环节的工作提供参考。

责任编辑: 俞辉群 石枫华

责任校对: 陈晶晶 张颖

“十二五”国家重点图书
水体污染控制与治理科技重大专项
城市降雨径流污染控制技术
曾思育 董欣 刘毅 编著

*

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
北京红光制版公司制版
北京鹏润伟业印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 14½ 字数: 330 千字
2016 年 12 月第一版 2016 年 12 月第一次印刷

定价: 50.00 元

ISBN 978-7-112-20000-9
(29302)

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)

丛书编委会

主 任：仇保兴

副 主 任：陈吉宁 陈宜明 邵益生

编 委：王秀朵 王洪臣 王晓昌 王峰青 孔彦鸿 孔祥娟
邓 彪 甘一萍 刘 翔 孙永利 孙贻超 孙德智
严以新 严建华 李广贺 杨 榕 杨殿海 吴志超
何 强 汪诚文 宋兰合 张 昱 张 智 张 勤
张仁泉 张 全 张 辰 张建频 张雅君 陈银广
范 彬 林雪梅 周 健 周 琪 郑兴灿 赵庆良
越景柱 施汉昌 洪天求 钱 静 徐宇斌 徐祖信
唐运平 唐建国 黄 霞 黄民生 彭党聪 董文艺
曾思育 廖日红 颜秀勤 戴星翼 戴晓虎

本书执笔主编：曾思育

本书责任审核：尹澄清 孙德智

前言

面对我国严峻的水环境污染态势，如何科学有效地改善水质越来越受到政府部门、科研机构和公众的关注。国务院从全面建设小康社会的总体目标出发，制定了《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》，明确了十五年间科技发展的重点领域和优先主题，并进一步确定了包括“水体污染控制与治理”在内的16个重大专项。水体污染控制与治理科技重大专项的设立，旨在解决制约我国社会经济发展的水污染科技瓶颈问题，为我国水污染控制与水环境改善提供科技支撑。该专项在实施过程中，将“十一五”期间的阶段性目标确立为“控源减排”技术的突破，分别针对湖泊富营养化控制与治理、河流污水污染控制与综合整治、城市水污染控制与水环境综合整治、饮用水安全保障、流域水环境监控预警、水环境管理等领域的科技需求，按照设立6个主题的方式（湖泊、河流、城市水环境、饮用水、流域监控、战略与政策）来部署各项研发任务。其中，“城市水环境”主题以削减城市水污染负荷和保障城市水环境安全为核心目标，在水环境保护的国家重点流域，选择若干个在我国社会经济发展中拥有重要战略地位、处在不同经济发展阶段、具有不同污染成因与特征的城市与城市群，开展城市水环境系统决策规划与管理、城镇污水收集与处理、城市降雨径流污染控制、工业园区污染源控制、城市水功能恢复与生态景观建设、城市水环境设施监控管理等方面的技术研发和综合示范。在此背景下，本书作者以“十一五”期间城市水环境主题相关研究产出为基础，并结合国内外当前研究进展和实践经验，针对城市降雨径流污染控制全过程的关键技术，全面开展技术评估、示范工程调查监测和成果集成，进而编写完成本书，以期在城市面源污染控制和水体质量改善工作中的各个阶段，包括技术选择、方案设计、工程实施、运行维护等重要环节提供相应的技术指导和科学支撑。

作为城市水环境主题集成技术成果丛书的组成部分，本书有3个方面的特色。1. 系统性：在编写过程中，按照降雨径流污染负荷从产生到最终进入水体的全过程，并且充分考虑不同排水体制对这一过程的不同影响，最终确定了纳入本书编写范围的各项技术措施。为此，本书覆盖了以低影响开发技术为代表的源头削减类措施，以溢流污染控制和初期雨水污染控制为目标的管路调控类措施，以径流排放处理和污水厂雨季应对技术为主的末端治理类措施，形成了较为完善的城市径流污染控制技术体系。2. 实用性：在编写过程中，鉴于城市降雨径流污染控制技术在我国发展起步较晚，仅依赖“十一五”期间的课题研究成果还不足以全面支持相关章节内容，因此还投入大量时间精力收集整理了水专项课题之外的相关信息，充分吸纳了国内外关于各种技术措施的新进展与工程实践经验。为此，本书从基本功能、适用条件、设计要点、运行维护要点、效果与成本等方方面面详细

阐述各种措施的技术细节,可提供较为完备的城市径流污染控制技术应用参考。3. 引领性:在编写过程中,深深感觉到技术措施林林总总、各有所长,如何将各种措施更好地组织起来,在实现径流污染控制目标的同时还能保证足够的成本有效性,甚至发挥出这些措施在防治洪涝、改善景观、提高雨水资源利用水平、促进健康水循环等方面的潜在价值,实在是一个复杂的科学问题。为此,本书专门用一个章节来探讨城市径流污染控制方案的设计理念、步骤和方法,从构建可持续城市水系统的高度和宗旨出发,引导我国城市高效合理地开展面源污染治理工作。

本书的编写工作得到了住房和城乡建设部水专项管理办公室、城市水环境主题专家组的大力支持,相关项目和课题提供了支撑材料,中国市政工程华北设计研究总院有限公司、同济大学环境科学与工程学院、重庆大学城市建设与环境工程学院、西安建筑科技大学环境与市政工程学院、住房和城乡建设部科技发展促进中心等单位提供了技术支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

全书由曾思育总体负责撰写工作和定稿,各章节主要撰写人员包括:第1章,曾思育、董欣、刘毅;第2章,曾思育、白桦、卢璐、王琼珊;第3章,曾思育、白飞、赵冬泉;第4章,曾思育、白桦、白飞;第5章,曾思育、董欣、刘毅、郭豪。

限于作者学识水平,书中的不足不妥之处,敬请广大读者批评指正。

曾思育

2016年9月于清华园

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 城市降雨径流污染的产生与特征	1
1.1.1 城市降雨径流污染的产生原因与危害	1
1.1.2 城市降雨径流污染的产生与排放过程及其特点	3
1.1.3 城市径流在地表汇集过程中的水质演变及其影响因素	4
1.1.4 不同体制排水系统中的管网溢流原因和污染特点	6
1.2 国内外城市径流污染控制技术的发展	17
1.2.1 国外城市降雨径流控制研究进展	17
1.2.2 径流污染控制措施在我国的应用	20
1.3 城市降雨径流污染控制措施	22
第 2 章 城市降雨径流污染的源头削减措施	24
2.1 绿色屋顶	24
2.1.1 基本功能	24
2.1.2 适用条件和优缺点	24
2.1.3 设计要点	25
2.1.4 运行维护要点	27
2.1.5 效果与成本	27
2.2 雨水罐	29
2.2.1 基本功能	29
2.2.2 适用条件和优缺点	29
2.2.3 设计要点	31
2.2.4 运行维护要点	33
2.2.5 效果与成本	33
2.3 下沉式绿地	33
2.3.1 基本功能	33
2.3.2 适用条件和优缺点	34
2.3.3 设计要点	35
2.3.4 运行维护要点	37
2.3.5 效果与成本	37

2.4	透水铺面	38
2.4.1	基本功能	38
2.4.2	适用条件和优缺点	38
2.4.3	设计要点	39
2.4.4	运行维护要点	41
2.4.5	效果与成本	42
2.5	植被过滤带	42
2.5.1	基本功能	42
2.5.2	适用条件和优缺点	43
2.5.3	设计要点	44
2.5.4	运行维护要点	45
2.5.5	效果与成本	46
2.6	植草沟	46
2.6.1	基本功能	46
2.6.2	适用条件和优缺点	47
2.6.3	设计要点	48
2.6.4	运行维护要点	51
2.6.5	效果与成本	52
2.7	入渗沟	53
2.7.1	基本功能	53
2.7.2	适用条件和优缺点	54
2.7.3	设计要点	55
2.7.4	运行维护要点	60
2.7.5	效果与成本	61
2.8	砂滤池	62
2.8.1	基本功能	62
2.8.2	适用条件和优缺点	63
2.8.3	设计要点	63
2.8.4	运行维护要点	68
2.8.5	效果与成本	69
2.9	生物滞留池	69
2.9.1	基本功能	69
2.9.2	适用条件和优缺点	70
2.9.3	设计要点	72
2.9.4	运行维护要点	77
2.9.5	效果与成本	78

2.10 非工程性的源头削减措施	79
第3章 城市降雨径流污染的管路控制措施	81
3.1 合流制系统改成分流制系统.....	81
3.1.1 基本功能	81
3.1.2 适用条件和优缺点	81
3.1.3 实施要点	82
3.1.4 效果和成本	83
3.2 管网现有存储能力的最大化利用.....	83
3.2.1 基本功能	83
3.2.2 适用条件和优缺点	84
3.2.3 实施要点	84
3.2.4 效果和成本	89
3.3 雨水口改装措施.....	90
3.3.1 基本功能	90
3.3.2 适用条件和优缺点	91
3.3.3 设计要点	91
3.3.4 运行维护要点	92
3.3.5 效果与成本	92
3.4 漂浮物与固体物质筛除措施.....	92
3.4.1 基本功能	92
3.4.2 适用条件和优缺点	94
3.4.3 设计要点	95
3.4.4 运行维护要点	96
3.4.5 效果与成本	97
3.5 合流污水调蓄设施.....	98
3.5.1 基本功能	98
3.5.2 适用条件和优缺点.....	100
3.5.3 设计要点.....	100
3.5.4 运行维护要点.....	108
3.5.5 效果与成本.....	108
3.6 雨水调蓄池	109
3.6.1 基本功能.....	109
3.6.2 适用条件和优缺点.....	110
3.6.3 设计要点.....	111
3.6.4 运行维护要点.....	115

3.6.5	效果与成本	116
3.7	旋流分离器	117
3.7.1	基本功能	117
3.7.2	适用条件和优缺点	117
3.7.3	设计要点	118
3.7.4	运行维护要点	121
3.7.5	效果与成本	121
3.8	溢流污水消毒技术	122
3.8.1	基本功能	122
3.8.2	适用条件和优缺点	122
3.8.3	设计要点	123
3.8.4	运行维护要点	124
3.8.5	效果与成本	125
3.9	预防和应对溢流污染的管网维护技术	126
3.9.1	溢流污染控制对管网维护的要求	126
3.9.2	管道检查技术与设备	130
3.9.3	管道疏通技术与设备	134
3.9.4	管道非开挖修复技术	135
3.10	排水管网的数字化管理技术	137
3.10.1	排水管网数字化管理模式的总体构架	138
3.10.2	综合数据库设计与建设	139
3.10.3	排水管网模型的构建	140
3.10.4	软件系统与硬件支撑平台设计	141
3.10.5	排水管网的数字化管理功能实例	142
第4章	城市降雨径流污染的末端处理措施	145
4.1	入渗池	145
4.1.1	基本功能	145
4.1.2	适用条件和优缺点	146
4.1.3	设计要点	146
4.1.4	运行维护要点	149
4.1.5	效果与成本	150
4.2	干式滞留池	150
4.2.1	基本功能	150
4.2.2	适用条件和优缺点	151
4.2.3	设计要点	152

4.2.4	运行维护要点	155
4.2.5	效果与成本	156
4.3	湿式滞留池	157
4.3.1	基本功能	157
4.3.2	适用条件和优缺点	158
4.3.3	设计要点	159
4.3.4	运行维护要点	163
4.3.5	效果与成本	164
4.4	雨水湿地	165
4.4.1	基本功能	165
4.4.2	适用条件和优缺点	166
4.4.3	设计要点	167
4.4.4	运行维护要点	170
4.4.5	效果与成本	171
4.5	滨水缓冲区	172
4.5.1	基本功能	172
4.5.2	适用条件和优缺点	172
4.5.3	设计要点	173
4.5.4	运行维护要点	174
4.5.5	效果与成本	174
4.6	雨污合流体系中污水处理厂的雨季应对措施	175
4.6.1	污水处理厂就地调蓄与雨天专用系统	175
4.6.2	污水处理厂整体优化和工艺单元改进	176
第5章	城市降雨径流污染控制方案的设计理念与方法	178
5.1	基于流域的城市径流污染控制理念	178
5.2	径流污染控制方案设计目标与原则	179
5.3	历史资料收集与整理	181
5.4	补充监测方案制定与实施	183
5.4.1	排水系统水文水力和水质特征监测	183
5.4.2	常用的排水系统监测设备	185
5.5	汇水区径流与管网模型构建	187
5.5.1	建模工具与平台	187
5.5.2	建模的一般过程	188
5.6	城市降雨径流污染特征识别	190
5.6.1	城市降雨径流污染现状解析	190

5.6.2 城市排水系统水力性能评估.....	191
5.7 雨水控制措施的初步设计	193
5.7.1 雨水控制措施的机理及其适宜的控制对象.....	193
5.7.2 典型雨水控制措施的选址适宜性.....	201
5.7.3 典型雨水控制措施的效果比较.....	202
5.8 溢流控制措施的初步设计	202
5.8.1 溢流控制技术选择的主要影响因素.....	202
5.8.2 溢流控制结构的选择.....	204
5.8.3 溢流控制措施的选择与设计.....	205
5.9 径流污染控制方案模拟评估与优化	206
5.10 设计案例.....	207
参考文献	213

第1章 绪 论

在美国、日本、欧洲等国家和地区,虽然工业点源和生活污水得到全面管控,但人们发现城市中的一场降雨竟然也能给受纳水体带来难以承受的冲击负荷,原本环境功能正常的河流很快变得水质超标,湖泊中的氮磷水平发生波动且透明度骤降,下游城市的饮用水源地则遭遇了病原微生物浓度上升问题。而以污水管网和处理厂为核心设施建立起来的传统城市水环境治理体系明显对此力不从心。因此,大家深刻地认识到必须采取更有针对性的手段对城市降雨径流污染加以控制,相应的技术发展由此起步。相比于其他国家,我国的情况更为复杂,由于不同城市所处的社会经济发展水平、人口密集程度、水资源环境禀赋条件都不尽相同,当部分城镇还处在大力建设排水管网的阶段时,个别城市已经将降雨径流作为主要的水污染源而开展了相应的治理工程实践。面对这样的局势,在对已有国际国内经验进行综合分析评估的基础上,因地制宜积极稳步地推进我国城市降雨径流污染控制技术的发展与应用成为当务之急。

1.1 城市降雨径流污染的产生与特征

1.1.1 城市降雨径流污染的产生原因与危害

城市降雨径流污染,是指在降雨的淋洗和冲刷作用下,城市大气中和地表上累积的污染物伴随着径流,经由排水系统参与收集、输送和处理,通过多种汇集、迁移和排放方式,最终进入受纳水体而造成的水污染。它是城市中一种较为复杂的水污染形式。一方面,由于污染是“分散产生”的,也常被称为城市面源污染、城市非点源污染等^[1];另一方面,大部分污染物是经由排水系统进入水体的,因此又呈现出一定的“集中排放”特点。

快速的城市化进程是城市降雨径流污染产生的根本原因。随着城市的大力发展,土地利用状况发生了很大改变。一方面,由于城市中以建筑屋面、道路、广场、停车场等为代表的透水区域面积大幅度增加,导致地表径流系数增大,降雨落到地面后迅速形成径流。一般情况下,就地表洼地的蓄水能力而言,砂石地面能消纳 5mm 左右的降雨,黏土地面为 3mm,草坪则为 4~10mm,而光滑的不透水地面在径流产生前只能保持不足 1mm 的雨水。土地利用类型改变造成不透水面积大幅增加后,不仅径流峰值出现的时间有所提前,而且城市地表径流总量和峰值流量也都会显著增加^[2]。另一方面,伴随着城市中社会经济活动规模与强度的增大,各种人类活动排放的多种污染物在城市地表累积了大量的污

染负荷,一旦有降雨冲刷,往往会形成污染物浓度较高的城市地表径流。例如,以我国地表水Ⅴ类水质标准为比较基准,上海市中心城区路面径流的监测结果表明,TSS和 COD_{Cr} 浓度超出4倍多,总磷超过2倍以上,总氮含量也在不同程度上高于标准值^[3]。赵剑强等人对西安市城市道路径流的监测显示,径流初始阶段的污染十分严重,浓度最高时 COD_{Cr} 可达1230mg/L、 BOD_5 可达204mg/L、SS可达2288mg/L、石油类可达161mg/L。即使径流历时75min后,其 COD_{Cr} 浓度仍高达295mg/L^[4]。黄金良等人监测发现,澳门地区路面降雨径流中 COD_{Cr} 、Pb和Cu的平均浓度值分别达到了128.4mg/L、0.122mg/L和0.0470mg/L,水质很差^[5]。径流中的污染物最终进入受纳水体后必然会带来负面的环境影响。

随着工业和生活点源治理日见成效,城市降雨径流污染的影响则日益突出,成为水体质量恶化的重要原因之一。城市降雨径流污染物来源广泛、成分复杂,既有降水从空气中淋洗出的污染物(工业区和大气污染严重的城市中这一现象尤为突出),又有城市地表上的污染物(包括城市垃圾和建筑工地的堆积物等固体废物、城市绿化使用的农药化肥、大气干沉降物质以及交通工具的排放物等)。对采用合流制排水系统的地方,还会有生活污水中污染物和管道沉积物的贡献^[6,7]。综合考虑各种污染物的去除过程及其对环境的危害等多方面因素,城市降雨径流给受纳水体带来的水质问题主要包括以下5个方面:

(1) 耗氧有机物输入导致水体缺氧

城市径流中携带有大量的有机物质,包括生活垃圾、树叶、草以及杂乱废弃物等。这些有机物质最终进入水体发生降解的过程中,会用掉水中的溶解氧。一场暴雨过后,城市河湖中的氧常常被消耗殆尽,跟径流输入的有机污染物关系密切。而水体一旦缺氧,极易发生黑臭,其中的水生生物也会受到影响,例如出现死鱼现象。

(2) 营养物质输入与富营养化风险

营养物质主要指溶解态的和非溶解态的氮、磷化合物,几乎所有区域的城市径流中都含有这类物质。当水流缓慢、停留时间长的地表水体,如湖泊水库,接纳大量营养物质后,藻类等浮游植物在光照、气温适合的条件下很容易快速繁殖,破坏水体溶解氧平衡,同时降低水体美学价值。

(3) 悬浮固体负荷增加

悬浮固体是最主要的城市径流污染物之一。研究表明,城市径流中悬浮固体的粒径中值在5~10 μm 之间^[7]。即便是用过滤的方法对降雨径流进行处理,悬浮颗粒也很容易穿过滤料最终进入水体,而吸附在悬浮颗粒上的其他污染物也难以被有效去除,从而对水体水质造成影响。

(4) 多种有毒有害污染物影响水生生态系统健康

城市径流中常见的有毒污染物包括重金属、杀虫剂、多氯联苯(PCBs)和多环芳烃(PAHs)等。几乎所有的城市降雨径流中都含有重金属物质,但不同地区的径流中重金属含量存在很大差异。城市降雨径流中的Pb主要来源于含铅涂料油漆,Cu主要来源于汽车制动瓦片和建筑防腐材料,Zn主要来源于屋面材料和轮胎磨损,Ca则主要来源于大

气沉降和建筑物外墙材料^[8]。杀虫剂、多氯联苯和多环芳烃等主要来源于草地、菜地等施用的农药、机动车辆排放的废气以及大气的干湿沉降等^[8]。

(5) 细菌和病毒的潜在危害

细菌和病毒在地表径流中也十分常见，给人体健康带来潜在威胁。我国城市径流常见的病原体包括沙门氏菌、绿脓杆菌、志贺氏菌属、肠道病毒等^[7]。这些细菌和病毒的主要来源是合流制排水管道在降雨期间的溢流污水和宠物等动物的排泄物等。

1.1.2 城市降雨径流污染的产生与排放过程及其特点

城市降雨径流污染最初并未被全面纳入城市水污染物总量控制的范畴，与其独特的产排过程有相当大的关系。城市降雨径流污染从发生到对水体产生影响的一般过程如图 1-1 所示。

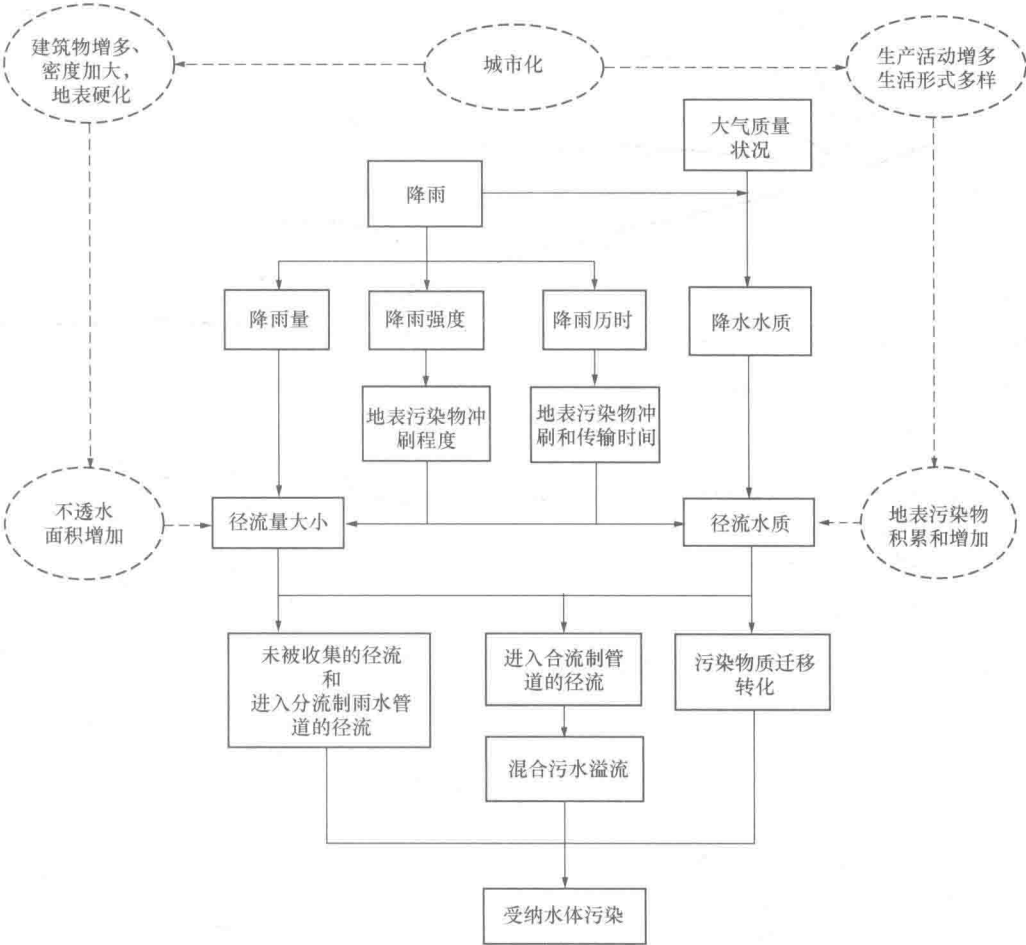


图 1-1 城市降雨径流污染产生过程

城市降雨径流污染过程复杂而动态多变，它既与工业企业和污水处理厂等典型点源不同，又区别于农村的径流污染，其产生与排放具有以下特点：

(1) 产生过程的随机性和不确定性

影响城市降雨径流污染的很多因素都带有不确定性。例如，在地表污染物累积和冲刷过程中，两场降雨之间的间隔时间、单场降雨历时、降雨强度等关键变量都存在随机性和不确定性。

(2) 污染负荷的时空差异性

受降雨过程的影响，城市地表径流携带的污染负荷随时间变化的特征非常显著。由于降雨随机性的存在，城市地表径流的污染负荷并不稳定。另外，由于不同城市功能区当中人类活动方式与强度存在相当大的空间差异，不同区域地表污染物的性质、累积的数量和冲刷的程度不尽相同，使得地表径流带来的污染负荷还存在较强的空间差异性^{[8],[9]}。

(3) 排放形式的复杂性

污染物晴天时在城市地表累积，降雨时通过冲刷进入径流，经由排水系统收集、输送、处理后进入水体。因此，这种污染形式具有“面状发生、网状输送、多点集中排放、周期性间歇式影响”的时空特征，呈现面源和点源的双重特性。

不仅如此，不同体制的排水系统也对径流污染物最终进入受纳水体的方式有明显影响，可能出现径流及其携带的污染物直接进入受纳水体、被收集到雨水管网后经处理或不经处理后排入受纳水体、以混合污水的形式进入污水处理厂得到处理后排放、被收集到污水管网后受管网能力限制以混合雨污水溢流的方式进入受纳水体等多种情形。而第4种情形又常被称为由降雨事件驱动的污水管网溢流污染。后续章节还将对污水管网溢流污染做进一步介绍。

特殊的产排过程一方面决定了城市降雨径流污染具有一定的隐蔽性，另一方面也给污染控制带来了相当大的技术难度，需要针对具体的污染物迁移路径和对水体的影响方式采用相适应的控制措施。

1.1.3 城市径流在地表汇集过程中的水质演变及其影响因素

在一场降雨中，典型的地表径流水质变化过程如图1-2所示。受降雨前城市地表污染物累积和降雨冲刷作用的影响，径流量和SS、COD、BOD₅等污染物浓度会经历先上升后下降的过程，但径流量峰值一般会比污染物浓度峰值滞后出现。

从地表径流水质变化过程中可以看出，初期雨水径流中污染物的含量在整个降雨过程

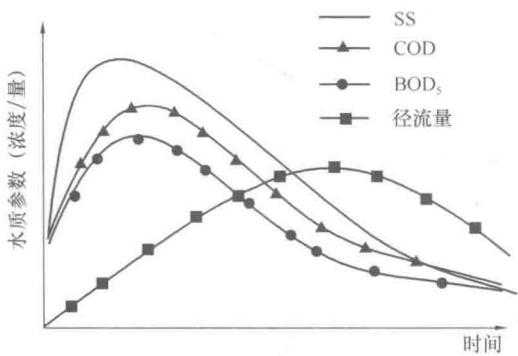


图 1-2 径流量和水质浓度随径流时间变化曲线示意图

中占据了很大的比例，被称为初始冲刷效应。根据在海河流域开展的不同城市、不同下垫面、不同场次降雨径流的监测结果，绘制城市降雨径流累积污染负荷—累积径流量曲线，如图1-3所示。可以看出，屋面和路面径流中颗粒物、有机物、营养物质、金属离子均存在不同程度的初期冲刷现象，其中颗粒物冲刷现象最为明显，累积10%径流量包含了30%~60%的颗粒物径流总污染负荷；对于其余污染物，累积10%径

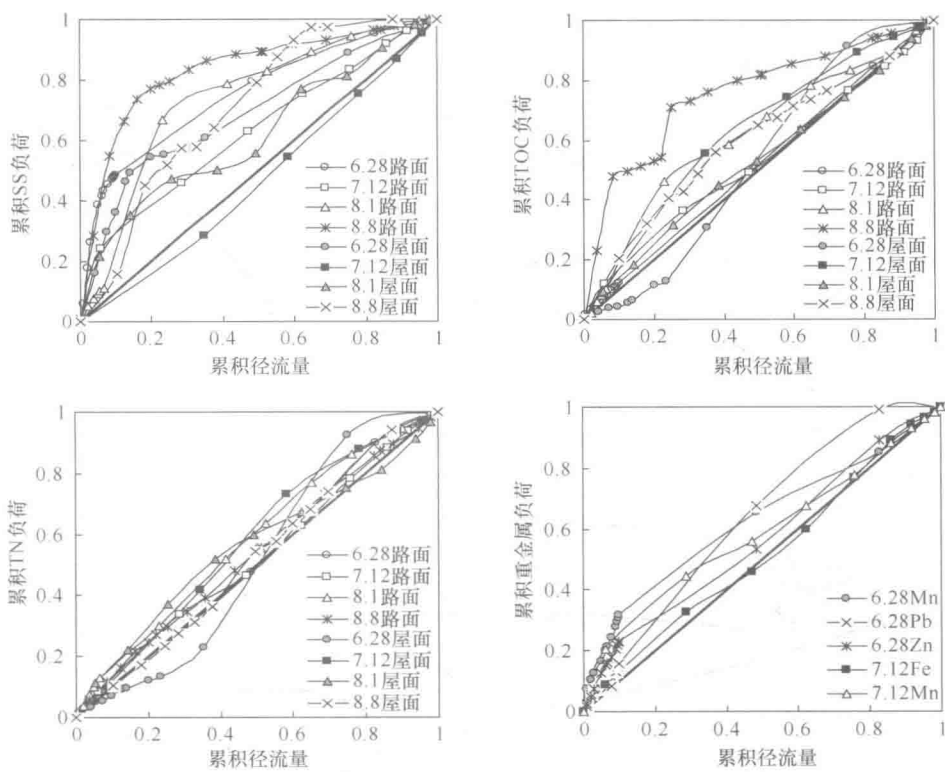


图 1-3 不同污染物的初期冲刷效应

(数据和图的来源：973 计划课题“海河流域水循环演变机理与水资源高效利用”报告)

流量分别包含了 20%~50% 的有机物径流总污染负荷、20% 的营养物质径流总污染负荷和 20%~30% 的金属离子径流总污染负荷。

相关研究表明^[3]：降雨强度对初始冲刷的影响最为明显；不同土地利用类型区域的冲刷效应存在差异，初始冲刷效应由强到弱依次为商业区>居民区>工业区>交通区；不同污染物的冲刷效应也存在不同，TSS 和 COD_{Cr} 在商业区和工业区的冲刷效应要大于氮磷污染物质，而在交通区和居民区的分异特征不明显。

但需要指出的是，目前不同学者对初始冲刷的确切定义不完全一致。Helsel 等认为，当部分径流平均浓度大于总径流平均浓度，初始冲刷就发生了^[10]。Wanielista 等定义，当占总流量 25% 的初期径流量能冲刷占总径流排污量的 50% 的污染物时，认为存在初始冲刷现象^[11]。Stahre 等则认为，占总径流量 20% 的初期径流冲刷了占径流排污量 80% 的污染物时，才能认为初始冲刷现象发生^[12]。王和意等人认为，将 30% 的初期径流量冲刷了 80% 的污染物作为初始冲刷效应的定义比较有说服力^[13]。

影响地表径流水质的主要因素有降雨特征和下垫面特征。降雨特征主要包括降雨量、降雨强度和降雨间隔时间等。降雨量越大，地表径流量越大，在地表污染物累积量相同的情况下污染物浓度越低。降雨强度的增加会增大污染物被冲刷的动能，从而增大径流中污染物的负荷。降雨间隔时间决定了地表污染物的累积量，间隔时间越长，地面累积的污染