

城市污水管网污染物 迁移转化特性

金鹏康 王晓昌 著



科学出版社

城市污水管网污染物迁移转化特性

金鹏康 王晓昌 著

“十二五”水体污染控制与治理科技重大专项
城市污水管网流量质量传递及污染物转移转化规律研究项目
(2012ZX07313-001-01)

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书结合气候条件不同的南北方典型城市污水管网运行与调研结果,系统论述城市污水管网中污染物转化特性、不同水力条件下污水的水质变化规律以及微生物分布特征。全书共两部分内容,第一部分为第1章和第2章,主要介绍城市污水管网的运行现状和现存问题;第二部分为第3章至第6章,主要介绍城市污水管网中污染物迁移转化规律及作用机理。

本书主要面向城市给排水及环境工程领域的研究人员,也可作为相关工程技术人员的理论和技术参考书籍,同时可为该领域研究生和高级技术人员科研参考。

图书在版编目(CIP)数据

城市污水管网污染物迁移转化特性/金鹏康,王晓昌著. —北京:科学出版社, 2018.7

ISBN 978-7-03-053545-0

I. ①城… II. ①金… ②王… III. ①城市污水处理-管网 IV. ①X703.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 135991 号

责任编辑: 祝 洁 / 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 正典设计

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京教图印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 7 月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2018 年 7 月第一次印刷 印张: 11 插页: 4

字数: 229 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

作者简介

金鹏康 西安建筑科技大学二级教授。以污水处理与资源化为研究方向，先后主持 10 项国家及省部级重点科研项目，作为项目副组长承担国家及省部级重大科研项目各 2 项，参与国家自然科学基金重点项目和 863 计划项目各 2 项，主持中国石油天然气集团有限公司长庆油田分公司及其他单位委托横向课题 20 余项。主持的项目获得省部级科学技术一等奖 2 项、二等奖 1 项，参与的项目获得国家科技进步二等奖 1 项、省部级科学技术一等奖 3 项。发表论文 200 多篇，出版专著 3 部，编写本科生教材 1 部，以第一完成人授权与申请国家发明专利 40 余项。入选“教育部新世纪优秀人才”和“陕西省中青年科技领军创新人才”支持计划，牵头建设陕西省污水处理与资源化重点科技创新团队。担任国际水协会会员、中国脱盐协会理事和中国环境科学学会水处理与回用分会副秘书长。

王晓昌 西安建筑科技大学二级教授。长期从事水处理领域的科研与教学工作，近五年主持国家级及省级科研项目有：水体污染控制与治理科技重大专项“十二五”课题 1 项、国家自然科学基金重点项目 1 项、国家自然科学基金重大国际合作项目 1 项、国家自然科学基金面上项目 2 项和陕西省科技统筹重大项目 1 项。所获奖励包括：2014 年国家科技进步二等奖、2012 年国际水协会全球项目创新奖、2012 年陕西省科学技术一等奖和 2010 年中国侨界（创新人才）贡献奖。担任国务院学科评议组成员，国际水协会程序委员会委员，2014 年当选国际水协会卓越会士。

前 言

众所周知,城市污水管网是一个收集、输送污水的系统,是城市基础设施建设的一个重要组成部分。一方面,污水在管网内流动过程中,由于周期性的水量变化,不可避免地发生沉积、冲刷等作用,导致污水中悬浮性等粗分散体系污染物在管道中交替积累、释放,引起污水水质的改变;另一方面,我国城市污水管网,特别是绝大多数省会城市的污水管网距离比较长,水力停留时间长达 10~20h,管道中的微生物会逐渐在管壁形成生物膜,管道内发生的生化作用对污水水质的改变也不能忽视。近年来,我国对城市污水处理厂的处理水排放要求越来越严格,其中城市污水碳氮比、碳磷比偏低的现象严重影响污水处理厂脱氮除磷效果。已有研究指出,城市污水管网中颗粒性碳源的物理沉积和管网微生物的生化作用,是城市污水处理厂进水水质中的碳氮比、碳磷比失衡的原因之一。从这个意义上讲,城市污水管网作为整个城市污水处理体系的最前端,直接影响到污水处理厂进水水质。

本书是在作者近十年来从事与城市污水管网相关理论和技术研究的基础上撰写而成。在撰写过程中,作者针对我国城市污水管网长期以来仅关注水量收集与输送能力,缺乏对管网中污染物的转化及其对污水水质影响的科学把握问题,系统开展污水输送过程中污染物的转化机制及其对污水处理厂入水水质的影响研究。在掌握城市污水管网水力周期性变化规律的基础上,分析污水输送过程中污染物的物理沉积及水力冲刷特性,研究缓流管段沉积层的形成、各种污染物向沉积层的迁移与积累、反向释放规律,以及污染物在水、固两相中的平衡特性;通过建立模拟管网实验系统,结合实地调研,运用分子生物学和现代化学分析手段,探索管网系统中污染物降解的中间产物、微生物代谢产物的繁衍规律,研究管网中物理、物理化学和生物化学等多元作用下污染物的转化途径与归宿,揭示污水输送过程对污水处理的影响机制;基于污水管网中污染物积累、释放和气固液相间转化规律研究,系统分析城市污水输送过程中污水中碳氮磷沿程代谢与相互转化特征,解析不同环节碳源的流失与消耗,掌握不同水力条件下污水的水质变化规律,揭示不同级别管网中污水水质转变机制,从而为污水管网的设计优化、污水处理厂进水水质的合理测算奠定理论基础。

本书由 6 章构成。第 1 章绪论,着重论述城市污水管网的发展历程;第 2 章基于西安与昆明两座城市污水管网的调研结果,对城市污水管网运行状况进行分析,在此基础上,探讨不同排水体制下管网水质及水量的变化特征;第 3 章主要

论述城市污水管网污染物的沉积特性，着重研究沉积物的释放规律，同时介绍沉积物中微生物群落特性；第 4 章结合实际调研与模拟研究，探讨管网中有机物、氮磷及其他营养盐的转化特性；第 5 章主要探讨管网中生物膜菌群的形成过程及分布特性，在此基础上，研究生物膜对污染物的作用原理；第 6 章分别论述城市污水管网对污水处理厂宏观水质指标，有机物生化降解性及生物脱氮除磷过程的影响，并给出降低管网输送对污水处理负面影响的途径分析。

本书由西安建筑科技大学金鹏康和王晓昌共著，具体分工如下：第 1 章由王晓昌撰写；第 2 章由金鹏康和广州市市政工程设计研究总院王广华撰写；第 3 章由金鹏康和石烜撰写；第 4 章由金鹏康撰写；第 5 章由金鹏康、王湧和石烜撰写；第 6 章由金鹏康、王晓昌撰写。感谢硕士研究生乔芳婷、杨珍瑞和常海东等在成果整理过程中所付出的辛苦劳动。

由于作者水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请广大读者批评指正。

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
第 2 章 城市污水管网水质及水量的变化特性	4
2.1 城市污水管网运行状况分析	4
2.1.1 城市污水管网运行状况	4
2.1.2 不同气候条件城市污水管网运行状况	6
2.2 不同排水体制下管网水质及水量的变化特征	10
2.2.1 我国排水体制概述	10
2.2.2 完全分流制污水管道的水质及水量变化特性	10
2.2.3 截流式合流制污水管道的水质及水量变化特性	13
2.3 城市污水管网中污染物沉积情况	15
2.3.1 城市污水管网沉积现状	16
2.3.2 不同因素对污水管网沉积状况的影响	17
2.3.3 不同功能区域沉积物性质对比	23
2.3.4 南北方典型城市沉积情况与影响因素分析	27
2.4 城市污水管网运行中存在的问题	28
参考文献	29
第 3 章 城市污水管网污染物的沉积与释放特性	31
3.1 城市污水管网污染物沉积特性	31
3.1.1 污水管道中沉积物的形成规律	31
3.1.2 污水管道沉积物特性分析	36
3.1.3 污水管道内污染物沉积的影响因素	38
3.2 城市污水管网污染物释放规律	41
3.2.1 典型流态下管道污染物在污水-沉积物间的转移转化规律	41
3.2.2 不同水力条件下管道内沉积污染物的动态变化特性	44
3.2.3 污水管网内污染物沉积与释放途径分析	50

3.3 城市污水管网沉积物中微生物种群特性 54

3.3.1 沉积物中功能性微生物的种群分布特征 54

3.3.2 沉积物中微生物代谢作用区域分析 55

3.3.3 沉积物中微生物作用与污染物转化耦联作用规律 57

参考文献 58

第 4 章 城市污水管网中有机物与氮磷类污染物的转化规律 61

4.1 管网中有机物的转移转化 61

4.1.1 城市污水管网模拟系统构建 61

4.1.2 管网水流中有机物及其中间产物的转移转化特性 63

4.1.3 溶解性有机物在管网沿程中的变化特性 66

4.2 管网中氮类污染物的转移特性 73

4.2.1 管网水流中氮类污染物的转移转化 73

4.2.2 不同氮类污染物间的相互转化规律 76

4.2.3 氮类污染物的微生物代谢途径与生物利用性 81

4.3 管网中磷类污染物的转移转化 91

4.3.1 管网水流中磷类污染物的转移转化特性 91

4.3.2 不同磷类污染物间的相互转化规律 92

4.3.3 磷类污染物的微生物代谢途径与生物利用性 94

参考文献 96

第 5 章 城市污水管网中的生物膜菌群分布特性 97

5.1 管网生物膜的形成过程 97

5.1.1 管网生物膜的动态变化特征 98

5.1.2 管网生物膜内的微环境条件 114

5.2 管网中微生物的群落分布特征 121

5.2.1 总细菌的分布及多样性特点 123

5.2.2 功能性微生物群落结构特征 133

5.2.3 功能性微生物种群间的依存关系 142

5.3 管网中污染物转化的微生物作用原理 142

5.3.1 污染物转化的微生物作用过程特征 144

5.3.2 微生物作用的动力学解析 149

5.3.3 微生物与污染物的耦联作用机制 151

参考文献 152

第 6 章 城市污水管网输送对污水处理厂处理过程的影响	155
6.1 对污水处理厂进水宏观指标的影响	155
6.2 对进水有机物生化降解性的影响	158
6.2.1 城市污水中有机物沿程转化概述	158
6.2.2 城市污水输送过程中有机组分的转化影响	159
6.3 对生物脱氮除磷过程的影响	163
6.4 城市污水管网研究前景展望	165
参考文献	166

彩图

第 1 章 绪 论

城市污水系统通常由三大部分构成：污水管网、污水处理设施和处理水最终处置设施。污水管网的主要作用在于污水收集与输送，将污水全量送至污水处理设施；污水处理设施的作用在于污染物的去除与分离，使处理水达到排放或再利用的水质要求；处理水最终处置设施的作用在于处理后水的消纳，使其安全排入受纳水体或得到不同途径的再利用。

完整的城市污水系统的雏形始于 19 世纪中期，且以污水的化学处理（1846 年首例使用石灰进行化学处理的专利获准）、生物过滤处理（始于 1890 年）和活性污泥处理（1913 年首例实验，1916 年首例工程）的应用为标志。但是，污水收集、输送与排放的历史却要长得多，可以追溯到公元前 3000 多年的美索不达米亚王朝的陶土管排水，我国也在周朝之前就有了沟渠排水和陶土管排水的记载。近代的管道排水始于水冲厕所（water closet）的应用（1596 年始于英国王宫），且到 1790 年才出现真正意义上的污水管道系统（sewer）。欧洲城市早期建造污水管道系统完全是从城市卫生的角度考虑的，即通过能连接到住户的管道，将以厕所排水为主的污水进行收集，通过管道迅速排至城市或住区之外，使住区的卫生环境得以保证。从这个意义上讲，污水管网的作用就是污水的收集与输送，这种认识一直延续到现在。

随着城市化的发展，城市污水系统的规模越来越大，逐渐形成了覆盖整个城市庞大的污水管网。加之污水处理设施通常都设置在城市外围，污水的输送距离也越来越长。在一些城市，管网收集的污水从始端到末端（即污水处理厂）的距离长达数十公里，污水在管内的流动时间达数小时乃至 10~20h。因此，值得关注的问题是，在这样长距离、长历时的输送过程中，污水中所含的各类污染物会经历怎样的迁移转化过程？这一过程对后续的污水处理又会产生怎样的影响？

对于上述问题，目前国内外尚无系统性的研究，也缺乏科学的解答。在城市污水管网的设计计算中，关注的主要问题有两个，一是管网的输水能力，它与管径和坡降密切相关；二是管道流速，它关联到是否会发生管道淤积的问题。一般来说，只要污水管网具有足够的输水能力，且不会发生管道淤积，它的污水收集与输送作用就能够得到保障。因此，在城市污水系统的建设和发展中，管网的设计一直仅做水力计算，没有关注污水输送过程中污染物的变化问题。

实际上，有充分理由把城市污水管网不仅看作一个水力输送系统，也看作一个反应器系统。第一，污水管网所输送的物料不是惰性物质，而是具有活性的物

质,如污水中所含的有机物和氮、磷等营养物都是会发生反应的化学物质;第二,与专门用于有机物、氮、磷去除的污水处理过程相比,污水在管网中的水力停留时间足够长,在时间尺度上具备发生化学反应的条件;第三,管道内的城市生活污水属于复杂的多相体系,气、液、固相并存,具备有利于化学反应的多元界面条件;第四,污水中含有大量的微生物及微生物繁衍所需的养料,只要环境适宜就会有活性微生物聚集,发生生物化学反应;第五,污水管网内流态复杂,加之污水中含有多种尺度的固相物,难免发生局部淤积和滞流,形成促进污染物转化的多样化微环境。因此,污水管网不仅是一个反应器系统,而且是一个相当复杂的反应器系统,有必要进行专门研究。

作为一个实际意义上的反应器系统,城市污水管网置于污水处理设施之前,与后者构成一个反应器体系,且可视为串联的反应器体系,前者的出流为后者的入流。然而,与设置于污水处理厂的处理设施不同,城市污水管网内可能进行的物理、化学、物理化学或生物化学反应是某种条件下自然发生的,并非按照一定目的设计的反应过程。也就是说,城市污水管网内可能发生的污染物迁移转化过程具有很大的不确定性,且难以控制。这是本书所涉及的问题迄今并未受到广泛关注,且缺乏深入研究的主要原因。但是,只要城市生活污水在管网收集和输送过程中发生了污染物浓度和性质的变化,这种变化必然会对后续的污水处理过程产生影响。因此,这确实是一个值得重视但却缺乏关注的问题。

一方面,对于城市生活污水,其悬浮固体(suspended solid, SS)浓度一般为200~300mg/L,而SS中的有机质含量可达到75%,其中2/3以上属于可沉淀去除的有机物。由此可推测,如果管网内发生悬浮固体物沉积,相当一部分悬浮性有机物就不会输送到污水处理厂。另一方面,从城市生活污水中所含有机物(包括悬浮性和溶解性有机物)的组分来看,蛋白质成分占40%~60%,碳水化合物占25%~50%,脂肪类约为10%。一般来说,蛋白质分子不稳定,比较容易降解;一些碳水化合物的分子比较稳定,不太容易降解,如淀粉;脂肪类分子更为稳定,也不容易降解。因此,如果管网内发生生物化学反应,相对易降解的有机物就可能优先得到降解或发生分子结构变化,这会对进入污水处理厂的有机物构成产生较大影响。此外,城市生活污水中,原始的氮主要是有机氮和氨氮,大部分的有机氮以氨基酸的形态存在并与蛋白质大分子结合在一起,随着蛋白质的分解,有机氮将转化为无机态的氨氮,在具备生物氧化的条件下,氨氮的硝化反应也会在管网中发生,从而进入污水处理厂的污水氮组分就可能与原始污水的氮组分大不相同。

近年来,城市污水处理厂升级改造是我国水环境界普遍关注的重要问题。大量研究及工程实践表明,处理水一级A达标所面临的困难往往不在于化学需氧量(chemical oxygen demand, COD)的有效去除,而主要在于总氮的有效去除,且

碳氮比偏低是污水生物处理设施反硝化效率低的重要原因。为此,不少污水处理厂不得不通过投加化学碳源来强化污水生物脱氮,从而增加了操作的复杂性,也增大了污水处理成本。从国外的报道来看,低碳氮比似乎并非世界各国面临的共性问题,而是我国的一个特殊问题。对城市污水而言,包括粪便在内的生活污染物是碳(即有机物)和氮的主要来源,生活习惯的不同可能导致污水中碳和氮的比例不同。但是,欧美国家与我国差异大可以理解,而同属于亚洲,且生活习惯差异并不大的日本、韩国等也鲜有污水碳氮比失调的报道,这就促使研究人员不得不认真研究我国城市污水处理厂进水碳氮比失调的各种原因,其中污水的管网输送过程就是一个极其重要的环节。

在过去的一个世纪,以活性污泥法为核心的污水生物处理技术得到了长足发展,在起初的好氧生物处理的基础上,逐渐发展了包括缺氧、厌氧处理及多种组合工艺在内的各种活性污泥法,从而实现城市生活污水中有机物和营养盐的同步有效去除。此外,膜技术在污水处理领域的应用也带来了膜生物反应器等高效污水处理技术的发展。从城市水污染控制的角度讲,高效的污水处理需要有高效的污水收集及向城市污水处理厂的安全输送来配合。因此,随着城市的发展和污水处理厂数量的增多和规模的扩大,城市污水管网系统的建设规模也相应扩大,建设水平不断提升。但是,就其主要作用而言,城市污水管网建设的目的在于污水的收集与输送,因此污水在管网输送过程中的水质变化问题既不属于管网工程的范畴,也不属于处理工程的范畴。

本书作者长期从事给水处理、污水处理和再生利用领域的研究。从污水是可用水资源的新视点出发,将饮用水领域“从水源到水龙头”关注水质安全保障全过程的理念应用于污水领域,即全面关注从污水产生、收集、管网输送、污水处理,到排放或回用这一全流程的水质变化规律。这是作者以大量研究工作为基础,完成本书撰写的重要原因。

一个城市庞大的污水管网拥有相当大的流动空间,接受大量含有各种污染物的来水,污水在管网系统中又有足够长的水力停留时间,它就具有一个反应器的属性。基于对城市污水管网的这一认识,本书借鉴生化反应器研究的一般方法,从污水管网系统的输入条件(水量与水质)、物理化学过程(固态物沉积与溶解物释放)、微生物学过程(微生物繁殖与代谢)和生物化学过程(污染物转化与降解)等层面进行深入分析,最终落脚到城市污水管网输送对后续污水处理过程的影响问题。

第2章 城市污水管网水质及水量的变化特性

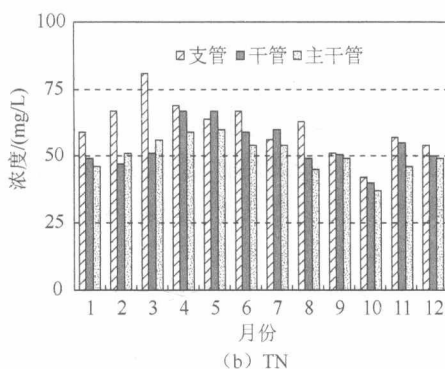
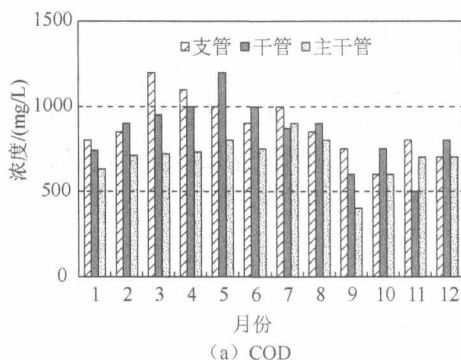
2.1 城市污水管网运行状况分析

2.1.1 城市污水管网运行状况

排水管网担负着城市污水排放的重要环节，是连接用户出水和污水处理厂的主要桥梁，普遍认为污水管网只是起到一个污水传输作用（郑国辉，2012）。但实践表明，污水在城市管网运输过程中，管网的水质、水量同季节类型、天气情况及特别事件等因素存在一定的关系，也与其所处的管网类型结构息息相关（陈爱书等，2000）。

城市污水管网从等级上可分为主干管、干管和支管，分别承担不同阶段的污水运输工作。在城市污水运输的全过程中，污水从用户排放至支管，再由支管汇流至区域干管，最终收集至城市污水主干管，流向城市污水处理厂，各级管路之间的管网运行状况存在明显差异（田文龙等，2006）。

在陕西省西安市分别选取具有代表性的主干管、干管和支管为研究对象，对城市污水管网中污水的 COD、总磷（total phosphorus, TP）、总氮（total nitrogen, TN）、氨氮（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）和硝氮（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）等水质指标以及水量进行长期监测，结果如图 2.1 所示。可以看出，在大多数月份西安市排水管网中的 COD 浓度基本维持在 300~1000mg/L，TN 在 40~60mg/L，TP 在 7~15mg/L， $\text{NH}_4\text{-N}$ 在 20~60mg/L， $\text{NO}_3\text{-N}$ 在 1~4mg/L；支管流量在大多数月份保持在不足 $0.005\text{m}^3/\text{s}$ 的较低水平，干管流量除 9~11 月，大都在 $0.02\sim0.04\text{m}^3/\text{s}$ ，主干管流量在大多数月份保持在 $0.02\sim0.06\text{m}^3/\text{s}$ 。



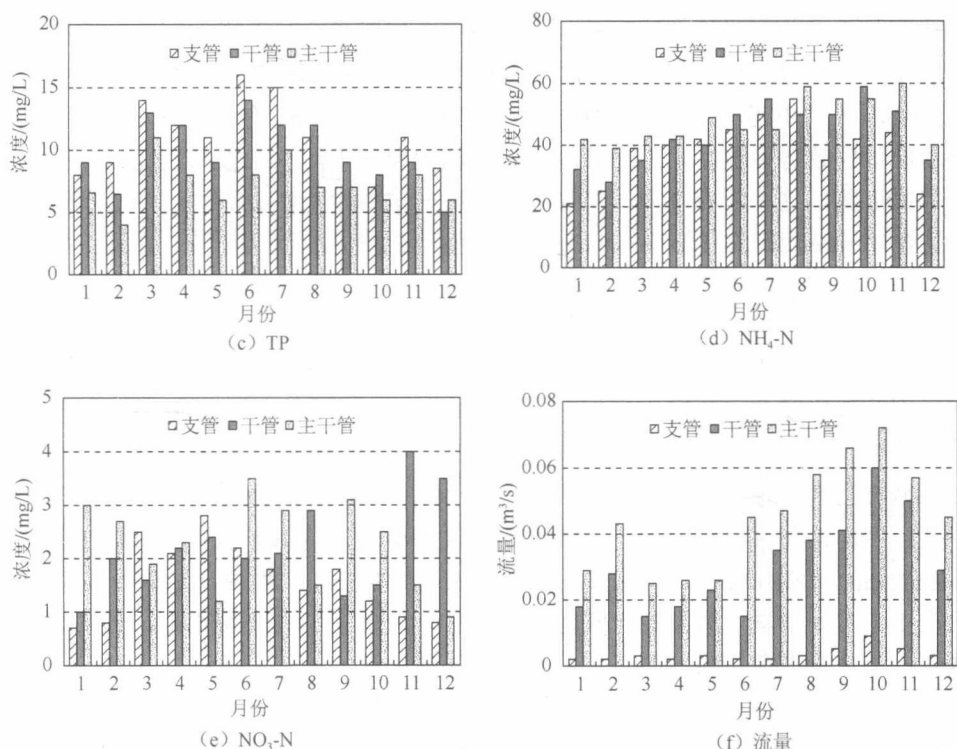


图 2.1 西安市不同级别管道水质及水量变化特性

从全年的水质变化来看,三种等级管道污水的污染物浓度(COD、TN和TP)在9月和10月相比其他月份较低,这是由于9月和10月是西安市每年的集中降雨期,雨水较为充沛。在初期降雨时,降水形成的地表径流会对路面形成冲刷并且管道内流量骤升,部分沉积物被冲起,形成二次污染,在这一阶段管道内的污染物指标会短暂上升。但随着降雨的持续增长,大量雨水涌入管道,初期雨水的冲刷作用减弱,雨水对管道内污水的稀释作用开始成为主导,管道内污水的污染指标逐渐降低,因此西安市每年的9月和10月排水管网内污水的污染指标较低(赵磊等,2008)。通过全年管道流量变化也可以看出,9月和10月排水管网的污水流量明显高于其他月份。

由图2.1可以看出,管网中污水从支管流向干管再到主干管的过程中,COD浓度总体有较为明显的降低,TN和TP略有降低,而 $\text{NH}_4\text{-N}$ 有所升高, $\text{NO}_3\text{-N}$ 无明显规律,这与后续研究中排水管网沿程水质的变化规律基本一致。这种水质变化主要是由于管道中的生物膜作用和污水运输过程中的污染物沉积作用引起的。同时,污染物的降低幅度呈现支管高于干管高于主干管的规律,这是由于排水管网中的流量由主干管到干管再到支管明显减少,在夜间等用水低峰期,支管甚至呈无水断流的状态,而污染物在低流量缓流状态下显然更容易发生沉积作用;而主干管与干管中由于流量大、流速快,也容易对管网中的沉积物产生冲刷作用,

导致沉积物中的污染物冲刷释放,一定程度上削弱甚至抵消掉生物膜对污染物的分解作用,使得污染物在主干管和干管中的降低幅度低于在支管中的降低幅度。

从图 2.1 中还可以看出,污水在从支管到主干管的运输过程中,水质指标在整体降低的趋势中也存在一些波动,其原因主要在于污水在管网的运输过程中存在多次汇流,这些汇流水质、水量的变化在一定程度上都会对管网中污水的水质产生影响,从而产生了波动。

2.1.2 不同气候条件城市污水管网运行状况

从宏观层面来看,区域的气候特征也会对排水管网的运行状况产生影响,本书分别选取我国北方与南方的省会城市西安市及昆明市,调查其城市污水管网的运行状况。两座城市在气候、地理条件上具有明显的差异,西安市为典型的北方平原城市,平均海拔 400m,地势平坦,四季分明,冬季干燥寒冷,春季温暖,夏季炎热多雨,秋季凉爽湿润,全年降雨量较为均匀;昆明市为典型的南方山地城市,平均海拔 2000m,地势起伏,高差较大,气候温和,雨季、旱季明显,11 月到次年 4 月为旱季,降雨期一般为 5~10 月,6~8 月为主要降雨期,且多大雨、暴雨,降水量占全年的 60%以上,易发生洪涝灾害。

西安市和昆明市的排水管网修建年代都比较久远,且主城区多数以雨污合流的排水体系为主,以雨污合流形式直接排入漕运明渠;而新城区雨污分流改造均较为成功。

在西安市和昆明市分别选取长度大约 5km 的管道,从每条管段的前端至末端共设置了 9 个取样点,涵盖了该管段的支管、干管与主干管部分,支管流量保持不足 $0.008\text{m}^3/\text{s}$,干管流量在 $0.03\sim 0.06\text{m}^3/\text{s}$,主干管流量达 $0.06\sim 0.10\text{m}^3/\text{s}$,对其管网中污水的 COD、TN、TP、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 等水质指标以及水量进行了长期监测,结果如图 2.2~图 2.7 所示。可以看出,昆明市的排水管网中的 COD 浓度基本维持在 $300\sim 900\text{mg/L}$,TN 在 $30\sim 60\text{mg/L}$,TP 在 $6\sim 12\text{mg/L}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ 在 $30\sim 50\text{mg/L}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 在 $1\sim 4\text{mg/L}$ 。

总体而言,西安市管网中污水的污染物浓度略高于昆明市,但流量小于昆明市,表明两座城市的污水管网水质特性存在差异,可能有以下几点主要原因。第一,两座城市气候的差异。昆明市的平均年降雨量为 1031mm,西安市则为 594mm,降雨量的巨大差异导致两座城市污水管网中的雨水量也有很大差别,昆明市的排水管网相比西安市存在更为频繁的雨水稀释作用。第二,昆明市常年湿热温和的气候比西安市冷热交替、极端温度差大的气候更适宜管网中微生物的生长,进而在管网中形成更多的生物膜,这些生物膜在管网中对污染物缓慢分解,也可以起到降低污染物浓度的作用。第三,两座城市居民生活习惯的差异。由于昆明市年平均气温较高,居民的洗浴用水量高于西安市,而洗浴用水较其他生活污水的污染物浓度较低,大量洗浴用水进入排水管网,稀释了排水管网中的污染物浓度。

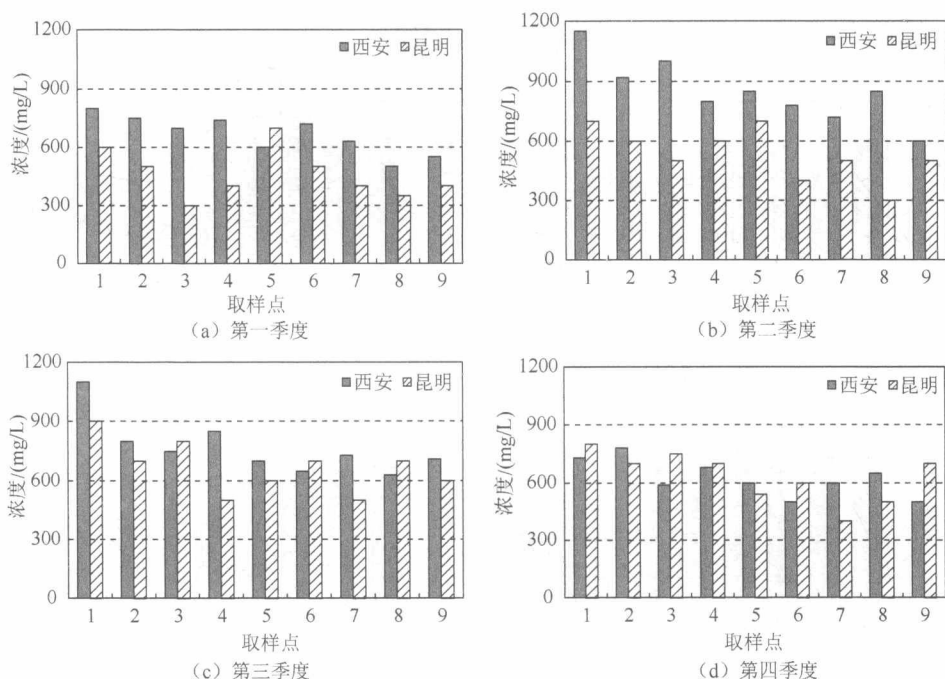


图 2.2 西安市、昆明市管道 COD 浓度变化特性对比

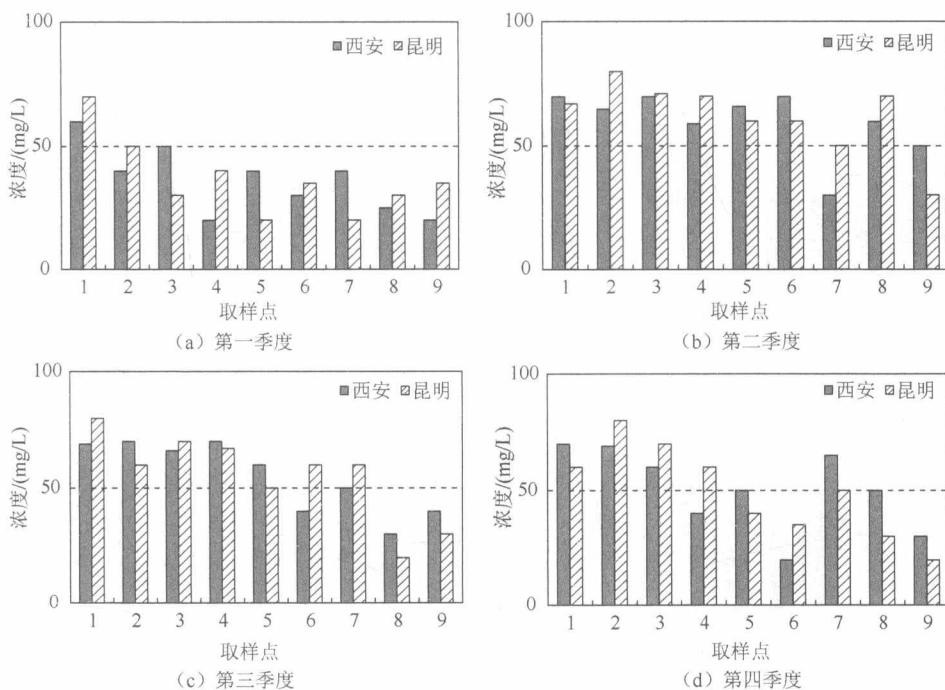


图 2.3 西安市、昆明市管道 TN 浓度变化特性对比

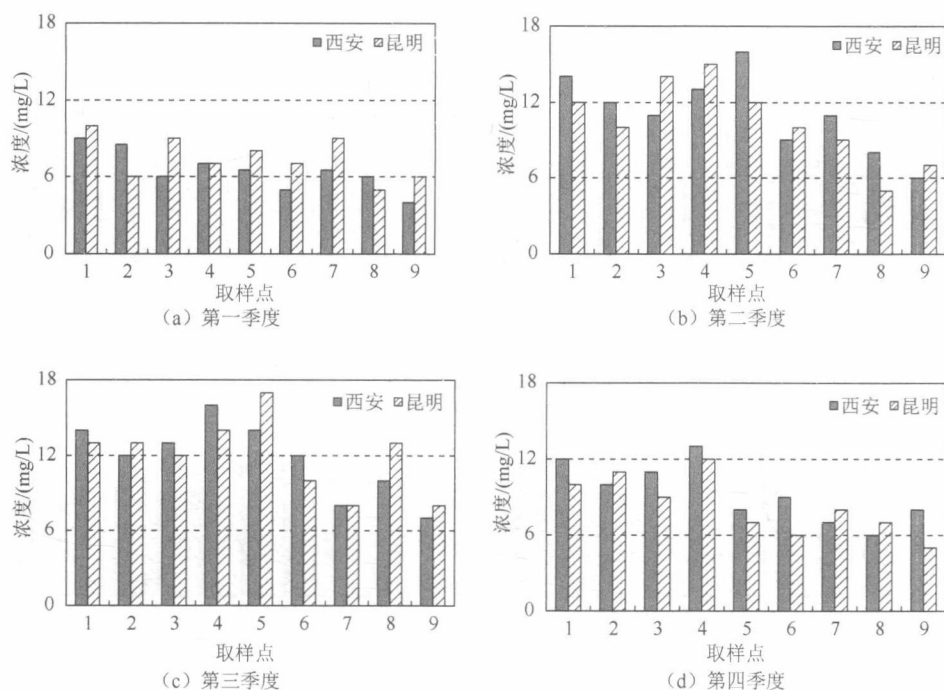
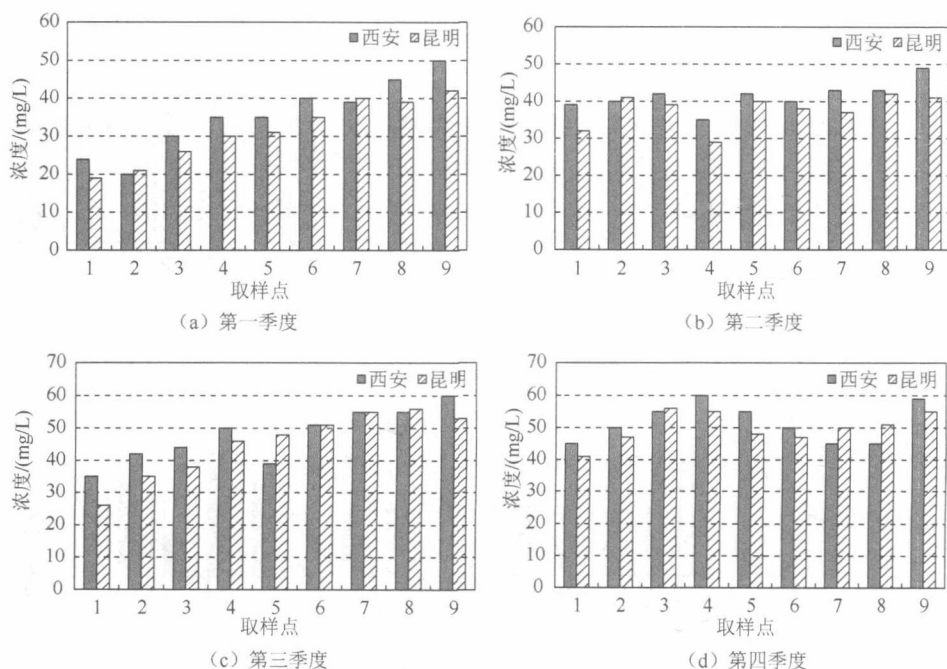


图 2.4 西安市、昆明市管道 TP 浓度变化特性对比

图 2.5 西安市、昆明市管道 NH₄-N 浓度变化特性对比