

Sewage Epidemiology

# 污水流行病学

王德高/著

---



科学出版社

# 污水流行病学

王德高 著

科学出版社

## 内 容 简 介

污水流行病学是以分析化学、环境化学、流行病学、法医学、药效动力学和药代动力学、社会行为学、统计学、市政工程、公共卫生等多个学科技术方法为手段,通过测定市政污水中药物残留,调查人群消费药品信息的科学。该技术方法以人类消费的合法和非法药品、化妆品、消费和娱乐性产品中的化学物质为主要研究对象,通过监测市政污水中相关化学品浓度,估算调查消费习惯和数量评价,获取人群健康和疾病信息,最终为公共卫生健康管理提供科学依据。本书主要内容包括介绍污水流行病学的发展历史、研究内容以及技术方法,应用污水流行病学对毒品滥用以及酒精、烟草、咖啡等产品进行消费调查。

本书既是一本学术著作,又是一本面向公共卫生与健康、法医学、化学品管理、分析化学、环境科学与工程、生态环境保护等相关专业本科生和研究生的参考书籍,也是一本面向大众的科普读本。

### 图书在版编目(CIP)数据

污水流行病学/王德高著. —北京:科学出版社, 2018.2

ISBN 978-7-03-055590-8

I. ①污… II. ①王… III. ①污水-流行病学-研究 IV. ①R18

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 286659 号

责任编辑:张 震 孟莹莹 / 责任校对:郭瑞芝

责任印制:吴兆东 / 封面设计:无极书装

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>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2018 年 2 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2018 年 2 月第一次印刷 印张:14 3/4

字数:294 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 前 言

污水流行病学是近十几年发展起来的一门崭新的科学，以分析化学、环境化学、流行病学、法医学、药效动力学和药代动力学、社会行为学、统计学、市政工程、公共卫生等多个学科技术方法为手段，研究人类消费药品和化学品模式，提供人群健康信息，为人类公众健康和疾病预防提供政策支持。目前污水流行病学的主要应用领域不断发展，从毒品滥用调查，到酒精、烟草等合法成瘾性物质消费调查，扩展到药品消费人群健康信息，相关研究内容逐渐充实，发展和延伸了污水流行病学的内涵和外延。未来污水流行病学的发展方向应该是不断拓展应用领域，包括药品、个人护理产品、化妆品等的消费、疾病调查等；并且随着技术的不断进步，污水流行病学方法可靠性会不断提高，不确定性会进一步降低，将会逐渐形成国家和行业规范及标准，应用到毒品预防、犯罪调查、公共卫生管理等领域。

目前，国际上没有一本关于污水流行病学的书籍，主要原因就是该学科刚刚开始发展，研究起步较晚，相关理论、方法和研究内容还在不断发展，关键科学问题尚待解决，技术设备要求比较高，大规模应用受到限制。此外，该学科是由多种交叉学科发展起来的，涉及学科门类较广，而这些学科方向以前没有必然的交叉，处于不同学科领域的人难以互相接触和交流，限制了该学科的传播和影响。但是该学科是基于实际应用发展起来的，具有顽强的生命力，能够解决实际的科学问题，具有独特的角度，特点鲜明。

本书的写作思路：首先介绍污水流行病学的发展历史、技术方法和思路，然后应用具体方法调查违禁药品（可卡因、海洛因、冰毒类、大麻类、摇头丸类药品）滥用以及合法物质（酒精、烟草、咖啡因）的消费实例等。本书由张令高级工程师负责主审，同时感谢郑秋达、董倩倩、刘春叶、王喆、冯佳明等研究生们的贡献，在此对所有付出辛勤劳动的人表示感谢。感谢“中央高校基本科研业务费”对科研工作的持续资助。

污水流行病学是一门崭新的学科，理论方法在不断发展，技术手段也在不断更新，科学实践还要继续完善，但是污水流行病学的优点让我们有理由相信该学科将不断完善和发展，同时也需要更多科研人员参与进来，不断推动其发展。本

书很多内容是笔者的个人见解，鉴于本人知识有限，难免存在不足，希望各位读者和专家学者能够提出宝贵建议和批评，共同推动和促进这门新学科的发展，为我国人民的健康事业做出更多的贡献。

王德高

2017年4月17日

# 目 录

## 前言

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 第 1 章 污水流行病学起源和发展历史 .....     | 1  |
| 1.1 流行病学定义 .....              | 1  |
| 1.2 污水流行病学定义 .....            | 1  |
| 1.3 基本假设、研究对象和范畴 .....        | 2  |
| 1.4 调查领域和内容 .....             | 4  |
| 1.5 污水流行病学特点 .....            | 6  |
| 1.5.1 传统流行病学调查方法 .....        | 7  |
| 1.5.2 污水流行病学与传统流行病学方法比较 ..... | 10 |
| 1.6 世界主要国家和地区污水流行病学的发展 .....  | 11 |
| 1.6.1 美国污水流行病学的发展和应用 .....    | 11 |
| 1.6.2 欧盟污水流行病学的发展 .....       | 12 |
| 1.6.3 澳大利亚污水流行病学的发展 .....     | 12 |
| 1.6.4 加拿大污水流行病学的发展 .....      | 12 |
| 1.6.5 南美洲污水流行病学的发展 .....      | 13 |
| 1.6.6 中国污水流行病学的发展 .....       | 13 |
| 1.7 污水流行病学发展趋势和未来展望 .....     | 13 |
| 1.7.1 方法学发展 .....             | 14 |
| 1.7.2 应用范围的发展 .....           | 15 |
| 1.7.3 未来展望 .....              | 17 |
| 参考文献 .....                    | 17 |
| 第 2 章 污水流行病学研究方法概述 .....      | 21 |
| 2.1 前期调查 .....                | 22 |
| 2.1.1 目的和意义 .....             | 22 |
| 2.1.2 调查内容 .....              | 22 |
| 2.1.3 方法和手段 .....             | 23 |
| 2.2 污水样品采集 .....              | 23 |
| 2.2.1 采样方法 .....              | 23 |
| 2.2.2 样品存储稳定性 .....           | 24 |
| 2.3 样品分离和净化 .....             | 25 |
| 2.3.1 固相萃取 .....              | 25 |

|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| 2.3.2 萃取柱选择 .....                  | 25        |
| 2.3.3 应用模式 .....                   | 31        |
| 2.3.4 溶液体系选择 .....                 | 33        |
| 2.3.5 柱压力方式选择 .....                | 34        |
| 2.3.6 柱尺寸和容量选择 .....               | 34        |
| 2.4 样品分析 .....                     | 35        |
| 2.4.1 色谱条件 .....                   | 35        |
| 2.4.2 质谱条件 .....                   | 37        |
| 参考文献 .....                         | 42        |
| <b>第3章 污水处理厂服务人口数量估算 .....</b>     | <b>43</b> |
| 3.1 设计容量法 .....                    | 43        |
| 3.2 污水流量法 .....                    | 43        |
| 3.3 污水特征标志法 .....                  | 44        |
| 3.4 人口普查法 .....                    | 44        |
| 3.5 生物标志物法 .....                   | 45        |
| 3.5.1 生物标志物基本特征 .....              | 45        |
| 3.5.2 常见的生物标志物 .....               | 46        |
| 3.6 模型估算法 .....                    | 48        |
| 3.7 手机信号法 .....                    | 49        |
| 3.8 多参数模型法 .....                   | 49        |
| 3.9 多参数模型的实际应用 .....               | 50        |
| 3.9.1 估算人口数量参数的权重分配 .....          | 51        |
| 3.9.2 常规指数的人均产生数量 .....            | 54        |
| 参考文献 .....                         | 56        |
| <b>第4章 污水流行病学预测内容和不确定性分析 .....</b> | <b>58</b> |
| 4.1 反演推算 .....                     | 58        |
| 4.1.1 药物流量 .....                   | 59        |
| 4.1.2 确定校正因子 .....                 | 60        |
| 4.2 不确定性分析 .....                   | 62        |
| 4.2.1 分析的作用 .....                  | 62        |
| 4.2.2 不确定性来源 .....                 | 63        |
| 4.2.3 来源分类和解决方法 .....              | 64        |
| 4.2.4 敏感度分析 .....                  | 65        |
| 4.2.5 高斯误差方法 .....                 | 66        |
| 4.2.6 概率分析方法 .....                 | 67        |
| 4.2.7 蒙特卡罗概率分析不确定度 .....           | 67        |

|                                        |           |
|----------------------------------------|-----------|
| 4.2.8 常见参数的概率分布函数 .....                | 67        |
| 4.2.9 分布的拟合优度评价 .....                  | 69        |
| 参考文献 .....                             | 69        |
| <b>第 5 章 典型成瘾性物质的存储、前处理和分析方法 .....</b> | <b>71</b> |
| 5.1 样品存储稳定性 .....                      | 72        |
| 5.1.1 污水收集系统对稳定性影响 .....               | 72        |
| 5.1.2 可卡因及其代谢产物的稳定性 .....              | 72        |
| 5.1.3 苯丙胺类物质及其代谢产物的稳定性 .....           | 73        |
| 5.1.4 阿片类物质及其代谢产物的稳定性 .....            | 73        |
| 5.1.5 大麻类物质及其代谢产物的稳定性 .....            | 74        |
| 5.1.6 氯胺酮及其代谢产物的稳定性 .....              | 74        |
| 5.1.7 烟草、咖啡因和酒精及其代谢产物的稳定性 .....        | 74        |
| 5.1.8 推荐存储条件 .....                     | 75        |
| 5.2 污水样品前处理过程 .....                    | 75        |
| 5.2.1 SPE 柱选择 .....                    | 75        |
| 5.2.2 SPE 柱容量选择 .....                  | 77        |
| 5.3 污水样品仪器分析方法 .....                   | 78        |
| 5.3.1 色谱柱和流动相选择 .....                  | 78        |
| 5.3.2 质谱条件 .....                       | 78        |
| 参考文献 .....                             | 80        |
| <b>第 6 章 药物代谢动力学和市政排水管道系统简介 .....</b>  | <b>81</b> |
| 6.1 药物代谢动力学 .....                      | 81        |
| 6.1.1 药物效应 .....                       | 81        |
| 6.1.2 药物的体内动力学过程 .....                 | 82        |
| 6.1.3 药物的体内生理过程 .....                  | 82        |
| 6.1.4 群体药动学 .....                      | 83        |
| 6.1.5 手性药物药动学 .....                    | 84        |
| 6.2 市政排水管道系统概论 .....                   | 84        |
| 6.2.1 排水对象 .....                       | 84        |
| 6.2.2 市政排水制度 .....                     | 85        |
| 6.2.3 市政污水管道系统 .....                   | 85        |
| 参考文献 .....                             | 86        |
| <b>第 7 章 烟草消费量调查方法 .....</b>           | <b>87</b> |
| 7.1 烟草的人体代谢生物标志物和代谢比例 .....            | 88        |
| 7.1.1 烟草的危害 .....                      | 88        |
| 7.1.2 尼古丁的代谢途径和比例 .....                | 88        |

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| 7.1.3 烟草的生物标志物 .....               | 90         |
| 7.2 污水样品前处理和分析 .....               | 91         |
| 7.2.1 污水样品前处理 .....                | 91         |
| 7.2.2 样品分析 .....                   | 93         |
| 7.3 尼古丁和烟草消费量计算 .....              | 94         |
| 7.3.1 总量计算 .....                   | 94         |
| 7.3.2 不同国家和地区的烟草消费调查研究结果 .....     | 95         |
| 7.3.3 大连市烟草消费调查研究结果 .....          | 96         |
| 7.4 应用高斯误差公式和蒙特卡罗模拟分析不确定性 .....    | 98         |
| 7.4.1 高斯误差公式分析不确定性 .....           | 98         |
| 7.4.2 蒙特卡罗模拟分析不确定性 .....           | 99         |
| 7.4.3 尼古丁和烟草消费量的概率分布 .....         | 101        |
| 7.4.4 影响预测结果的参数 .....              | 102        |
| 参考文献 .....                         | 103        |
| <b>第 8 章 吉林省八城市人群烟草消费量预测 .....</b> | <b>105</b> |
| 8.1 采样地区和污水处理厂介绍 .....             | 106        |
| 8.2 污水前处理 .....                    | 107        |
| 8.3 污水样品测定 .....                   | 107        |
| 8.4 污水中 COT 和 NIC 的浓度 .....        | 108        |
| 8.5 利用氨氮计算实时污水处理厂服务人口数量 .....      | 108        |
| 8.6 尼古丁消费数量计算 .....                | 110        |
| 8.7 烟草消费量 .....                    | 111        |
| 8.8 烟草消费量不确定性分析 .....              | 111        |
| 8.8.1 蒙特卡罗模拟分析中参数确定 .....          | 112        |
| 8.8.2 污水处理厂相关参数确定 .....            | 112        |
| 8.8.3 吉林省烟草消费预测结果统计学分布 .....       | 113        |
| 参考文献 .....                         | 115        |
| <b>第 9 章 甲基苯丙胺滥用调查 .....</b>       | <b>117</b> |
| 9.1 甲基苯丙胺在人体代谢的生物标志物和代谢比例 .....    | 118        |
| 9.1.1 理化性质 .....                   | 118        |
| 9.1.2 临床作用及其危害 .....               | 118        |
| 9.1.3 甲基苯丙胺的人体代谢途径和比例 .....        | 119        |
| 9.2 甲基苯丙胺污水样前处理和分析 .....           | 119        |
| 9.3 甲基苯丙胺的滥用量和流行率计算 .....          | 120        |
| 9.3.1 人均滥用数量 .....                 | 120        |

|        |                        |     |
|--------|------------------------|-----|
| 9.3.2  | 滥用总量                   | 121 |
| 9.3.3  | 滥用人群数量                 | 121 |
| 9.3.4  | 甲基苯丙胺流行率计算             | 122 |
| 9.3.5  | 不同国家和地区的甲基苯丙胺滥用调查研究结果  | 122 |
| 9.4    | 北京市甲基苯丙胺消费量、流行率和空间分布特征 | 123 |
| 9.4.1  | 人均消费量计算                | 123 |
| 9.4.2  | 北京市消费数量计算              | 124 |
| 9.4.3  | 北京市甲基苯丙胺滥用者数量和流行率      | 126 |
| 9.4.4  | 北京市甲基苯丙胺消费地图           | 127 |
|        | 参考文献                   | 127 |
| 第 10 章 | 中国主要城市甲基苯丙胺流行率和滥用量预测   | 129 |
| 10.1   | 数据来源                   | 130 |
| 10.2   | 甲基苯丙胺的滥用模式、频率和剂量       | 130 |
| 10.2.1 | 影响滥用行为的因素              | 130 |
| 10.2.2 | 滥用频率                   | 130 |
| 10.2.3 | 滥用剂量                   | 132 |
| 10.2.4 | 滥用形式比例                 | 132 |
| 10.3   | 甲基苯丙胺的滥用量和流行率不确定性分析    | 133 |
| 10.4   | 甲基苯丙胺的滥用量估算结果          | 135 |
| 10.5   | 甲基苯丙胺的流行率估算结果          | 136 |
| 10.6   | 局限性                    | 138 |
| 10.7   | 控制政策建议                 | 138 |
|        | 参考文献                   | 139 |
| 第 11 章 | 中国主要城市氯胺酮滥用调查评估        | 140 |
| 11.1   | 氯胺酮的人体代谢生物标志物和代谢比例     | 141 |
| 11.1.1 | 理化性质                   | 141 |
| 11.1.2 | 临床作用及其危害               | 141 |
| 11.1.3 | 氯胺酮在人体中的代谢过程           | 141 |
| 11.2   | 氯胺酮滥用量和流行率估算           | 142 |
| 11.2.1 | 人均滥用量计算                | 142 |
| 11.2.2 | 氯胺酮流行率估算               | 143 |
| 11.3   | 中国城市氯胺酮滥用量和流行率估算       | 143 |
| 11.3.1 | 影响滥用频率和剂量的因素           | 143 |
| 11.3.2 | 人均滥用量估算                | 143 |
| 11.3.3 | 氯胺酮流行率估算               | 144 |

|        |                          |     |
|--------|--------------------------|-----|
| 11.4   | 氯胺酮滥用量和流行率不确定性分析 .....   | 145 |
| 11.5   | 滥用量不确定性分析结果 .....        | 147 |
| 11.6   | 流行率不确定性分析结果 .....        | 148 |
|        | 参考文献 .....               | 150 |
| 第 12 章 | 咖啡因消费调查方法 .....          | 151 |
| 12.1   | 咖啡因的人体代谢生物标志物和代谢比例 ..... | 152 |
| 12.1.1 | 咖啡因分子物化特征 .....          | 152 |
| 12.1.2 | 咖啡因的生物标志物以及代谢途径和比例 ..... | 152 |
| 12.2   | 污水样品前处理 .....            | 153 |
| 12.3   | 污水样品分析 .....             | 154 |
| 12.4   | 咖啡因的消费量计算 .....          | 154 |
| 12.5   | 意大利的咖啡因消费调查 .....        | 155 |
| 12.5.1 | 咖啡因消费量不确定性分析 .....       | 156 |
| 12.5.2 | 意大利人均消费咖啡因分布结果 .....     | 157 |
| 12.5.3 | 影响人均消费咖啡因参数 .....        | 157 |
| 12.6   | 中国主要城市咖啡因消费调查 .....      | 158 |
| 12.6.1 | 我国不同城市人均消费咖啡因分布结果 .....  | 158 |
| 12.6.2 | 我国城市人群总体咖啡因消费量分布结果 ..... | 159 |
|        | 参考文献 .....               | 160 |
| 第 13 章 | 酒精消费调查方法 .....           | 161 |
| 13.1   | 酒精的人体代谢生物标志物和代谢比例 .....  | 162 |
| 13.1.1 | 酒精的人体代谢途径和比例 .....       | 162 |
| 13.1.2 | 分析标样和同位素内标 .....         | 163 |
| 13.2   | 污水样品存储和分析 .....          | 163 |
| 13.2.1 | 样品稳定性 .....              | 163 |
| 13.2.2 | 前处理 .....                | 163 |
| 13.2.3 | 样品分析 .....               | 166 |
| 13.3   | 反演推算 .....               | 166 |
| 13.3.1 | 人均酒精消费量计算 .....          | 166 |
| 13.3.2 | 成年人酒精消费次数计算 .....        | 167 |
| 13.3.3 | 不同国家和地区的酒精消费调查研究结果 ..... | 167 |
|        | 参考文献 .....               | 168 |
| 第 14 章 | 大麻滥用调查方法 .....           | 170 |
| 14.1   | 大麻的人体代谢生物标志物和代谢比例 .....  | 171 |
| 14.2   | 污水样品处理和分析 .....          | 172 |

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 14.3 大麻滥用量计算 .....               | 173        |
| 14.3.1 人均滥用量计算 .....             | 173        |
| 14.3.2 不同国家和地区的大麻消费调查研究结果 .....  | 173        |
| 14.4 广州、深圳、上海和北京大麻滥用评估 .....     | 174        |
| 14.5 大麻滥用预测结果的不确定性分析 .....       | 175        |
| 14.5.1 人均滥用量不确定性分析结果 .....       | 176        |
| 14.5.2 敏感性分析 .....               | 178        |
| 参考文献 .....                       | 178        |
| <b>第 15 章 摇头丸滥用调查方法</b> .....    | <b>180</b> |
| 15.1 摇头丸的人体代谢生物标志物和代谢比例 .....    | 181        |
| 15.1.1 MDMA 的药效学和危害 .....        | 181        |
| 15.1.2 MDMA 的生物标志物和药理学 .....     | 181        |
| 15.2 污水样品前处理分析 .....             | 182        |
| 15.3 MDMA 人均滥用量和流行率计算 .....      | 183        |
| 15.3.1 人均滥用量计算 .....             | 183        |
| 15.3.2 MDMA 流行率计算 .....          | 183        |
| 15.4 广州、深圳、上海和北京 MDMA 滥用评估 ..... | 184        |
| 15.5 MDMA 预算结果的不确定性分析 .....      | 185        |
| 15.5.1 MDMA 人均滥用量不确定性分析结果 .....  | 186        |
| 15.5.2 MDMA 滥用流行率不确定性分析结果 .....  | 187        |
| 参考文献 .....                       | 190        |
| <b>第 16 章 美沙酮消费量调查方法</b> .....   | <b>191</b> |
| 16.1 美沙酮的性质、作用和代谢比例 .....        | 192        |
| 16.1.1 理化性质 .....                | 192        |
| 16.1.2 临床作用及其危害 .....            | 192        |
| 16.1.3 美沙酮的生物标志物 .....           | 192        |
| 16.2 污水样品处理和分析 .....             | 193        |
| 16.3 美沙酮滥用量和流行率计算以及滥用模式 .....    | 194        |
| 16.3.1 人均滥用量计算 .....             | 194        |
| 16.3.2 流行率计算 .....               | 194        |
| 16.3.3 典型剂量和频率 .....             | 194        |
| 16.4 不同国家美沙酮消费量的调查研究结果 .....     | 195        |
| 16.5 中国四城市美沙酮滥用量量的调查研究结果 .....   | 196        |
| 16.6 美沙酮滥用的不确定性分析 .....          | 197        |
| 16.6.1 美沙酮人均滥用量不确定性分析结果 .....    | 198        |

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| 16.6.2 美沙酮滥用流行率不确定性分析结果 .....      | 199        |
| 参考文献 .....                         | 202        |
| <b>第 17 章 海洛因滥用调查方法 .....</b>      | <b>204</b> |
| 17.1 海洛因的人体代谢生物标志物和代谢比例 .....      | 204        |
| 17.1.1 海洛因的特征 .....                | 204        |
| 17.1.2 海洛因的代谢途径和比例及生物标志物 .....     | 205        |
| 17.2 污水样品处理和分析 .....               | 206        |
| 17.3 海洛因滥用量和流行率计算、滥用模式以及研究进展 ..... | 207        |
| 17.3.1 人均滥用量计算 .....               | 207        |
| 17.3.2 海洛因流行率计算 .....              | 207        |
| 17.3.3 滥用方式、频率、剂量和纯度 .....         | 207        |
| 17.3.4 不同国家和地区的海洛因滥用调查研究结果 .....   | 209        |
| 17.4 中国广州和深圳海洛因滥用调查 .....          | 209        |
| 17.5 海洛因滥用结果不确定性分析 .....           | 210        |
| 17.5.1 人均滥用量不确定性分析结果 .....         | 211        |
| 17.5.2 流行率不确定性分析结果 .....           | 212        |
| 17.5.3 影响海洛因人均滥用量的参数 .....         | 213        |
| 17.5.4 影响海洛因流行率的参数 .....           | 214        |
| 参考文献 .....                         | 215        |
| <b>第 18 章 可待因滥用调查方法 .....</b>      | <b>217</b> |
| 18.1 可待因的人体代谢生物标志物和代谢比例 .....      | 217        |
| 18.1.1 理化性质 .....                  | 217        |
| 18.1.2 临床作用 .....                  | 218        |
| 18.1.3 可待因的生物标志物 .....             | 218        |
| 18.2 污水样品存储和分析 .....               | 219        |
| 18.3 可待因人均滥用量计算 .....              | 219        |
| 18.4 不同国家和地区的可待因滥用调查结果 .....       | 220        |
| 参考文献 .....                         | 220        |

# 第 1 章 污水流行病学起源和发展历史

## 1.1 流行病学定义

流行病学是现代医学领域中一门重要的基础学科，也是预防医学领域的一个主导学科。流行病学是人类在不断地同危害人体健康的疾病作斗争的过程中发展起来的。历史上，传染病曾经在人群中广泛流行，给人类带来极大的灾难，人们针对传染病进行了深入的流行病学调查研究，制定防制措施。随着不断地发展，流行病学又应用于研究非传染病领域，如心脑血管疾病、肿瘤、糖尿病等慢性病。此外，流行病学还应用于促进人群的健康状态的研究。

基于多年的实践基础，流行病学通常被定义为“研究特定人群中疾病、健康状况的分布及其决定因素，并借以探讨病因，阐明流行规律，制订预防、控制和消灭疾病的对策和措施的科学”。定义内涵包括研究对象、内容、过程和目标。具体描述为流行病学的研究对象是具有某种特征的人群而不是个体。例如，研究老年人群中糖尿病的发病率。研究内容包括疾病（非传染病特别是慢性病，如心脑血管疾病、恶性肿瘤）、伤害（如伤、残）、健康状态（如寿命）、卫生事件（如供水安全）以及自然现象（如灰霾污染）、社会问题（如犯罪率）等。研究过程是调查人群的健康或者疾病状态的分布以及影响因素。最终目标是预防、控制和消灭疾病或者影响健康的不良行为，提高和维持人群的健康水平。

流行病学研究方法不仅适用于疾病的研究，而且适用于预防医学中环境卫生、劳动卫生、食品卫生等各种有害因素对人体健康影响的研究，同时在临床工作和药效评价方面也常采用流行病学的分析方法探讨和解决存在的问题。

## 1.2 污水流行病学定义

污水流行病学（sewage epidemiology）是通过分析污水处理厂进水中的化学物质浓度，根据人体代谢机理、进水流量和服务人口数量估算该地区人群消费某

类化学物质的规律,调查与之相关的疾病、消费、健康等公众信息,从而预防和控制相关疾病,提高公众健康水平的科学。

污水流行病学是多学科交叉研究发展起来的一门科学,涉及的学科主要包括分析化学、环境科学、流行病学、法医学、药效和药代学、社会行为学、统计学、市政工程、公共卫生等。环境分析科学技术的发展直接促进了污水流行病学的发展,特别是高灵敏度和低检测限的质谱技术的出现,使得分析市政污水中的痕量物质成为现实。目前最具代表性的分析仪器是液相色谱-质谱/质谱联用(liquid chromatography-mass spectrometry/mass spectrometry, LC-MS/MS)。污水流行病学采集的样品一般是市政污水,由于污水中含有大量的物质,且许多物质是被分析物质的干扰物质,需要通过前处理技术去除部分杂质,净化后通过色谱柱分离,再用质谱分析和鉴定目标物质。

LC-MS/MS 是液相分离结合串联质谱检测的分析仪器,该仪器近年来得到了迅速发展。LC-MS/MS 可以直接分析不挥发性化合物、极性化合物、热不稳定化合物和大分子化合物,分析范围广,而且不需衍生化步骤。MS/MS 可以进行两次离子选择作用,通常称之为多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM),即通过第一级质量分析器选择一定质量母离子与气体碰撞断裂后,再经第二级质量分析器选择一定质量的子离子。这样大大提高了分析的专一性和灵敏度,可以分析像污水这样复杂基质体系中的待测物。先进的 MS/MS 联用技术可以分辨性质类似的色谱共流出物质,保证结果可靠性。因此,分析仪器的的发展是污水流行病学发展的基础和推动力。

## 1.3 基本假设、研究对象和范畴

污水流行病学的概念最早是由环境科学家提出的,最初环境科学家担心人类消费的药物经过污水处理厂后随着出水进入水环境中,从而危害水环境中的水生生物。环境科学家关注的是药物残留在污水中如何进行分配、生物降解,进入环境后的迁移转化过程以及对生物造成的毒理学危害。污水进入污水处理厂之前的过程是药物流行病学专家最为关心的问题。所以围绕药物残留,以污水处理厂的进水为分界线,上游的问题是污水流行病学研究范畴,下游则是环境科学家关心的问题(图 1.1)。

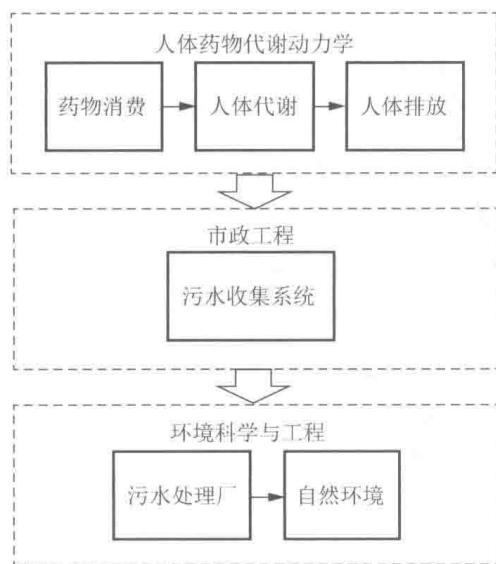


图 1.1 污水流行病学包含的主要学科系统和知识

污水流行病学起源于违禁药品的消费调查。2001 年，美国国家环境保护局环境科学家 Christian G. Daughton 首次提出基于市政污水分析的估计药物消费方法<sup>[1]</sup>。该方法假设人群消费某种药物，经过人体的代谢，未分解的药物和药物代谢产物通过尿液和粪便排出体外，经过污水收集系统进入污水处理厂。通过测定进水样品中药物母体和/或代谢产物的水平，根据进水流量和污水处理厂服务人口数量，结合该药物人体代谢模式，计算该类药品的人均消费量。

污水流行病学的研究对象是市政污水。人们对污水的认识存在以下三个阶段：最初人们认为污水是没有用处的有毒废物，具有危害性，需要经过污水处理系统进行处理，这是人们认识污水的第一个阶段；随着人类对水资源的大量消耗，可利用的水资源开始短缺，同时污水处理技术不断提高，人类就开始把污水作为一种可利用的资源进行二次利用，包括中水回用、污泥的资源化等，这是人们认识污水的第二个阶段；随着分析化学技术的飞速提高和发展，污水中存在的成千上万种化学物质逐渐被准确定性和定量，因此污水实际已经变成一个汇集了人类消费代谢各种化学物质的信息矿藏，这些化学物质来源于人类自身和药物代谢过程，或者来源于人类使用的各类化学物质，通过分析鉴定以及定量这些物质，可以窥探人群的健康状况和消费习惯，这是人们认识污水的第三个阶段。在这一阶段，挖掘此类信息就成为污水流行病学的主要工作。从这层意思上讲，污水流行病学属于化学、环境科学以及社会学领域的大数据挖掘工作。

在毒品滥用调查的基础上，污水流行病学不断发展和完善，技术方法不断成熟，理论体系逐渐完善，应用范围开始不断扩大，扩展到合法成瘾性物质（酒精、

烟草、咖啡因等)和药品[精神类药物、降压药美托洛尔、抗过敏药西替利嗪、治疗男性勃起功能障碍西地那非(sildenafil)]的消费调查。分析污水中的化学物质能够推算当地人群健康状况和消费行为等重要信息。污水流行病学在调查涉及个人隐私的成瘾性物质(毒品、尼古丁、酒精)方面具有无可比拟的优势。与传统的社会流行病学调查(包括犯罪统计、医疗记录、药品生产和发作率)相比,污水流行病学方法除了具有能够提供客观的、连续的以及实时数据的优势,还可以反映社区等小范围内的公众健康信息。此外,使用污水流行病学方法估计非法毒品的消费可以避免一些其他方法涉及的伦理问题。

## 1.4 调查领域和内容

从理论上说,污水流行病学可以调查任何人类直接消费的化学物质,如个人护肤品、化妆品、药物、酒精、烟草、毒品等。目前污水流行病学的应用范围主要包括以下四个方面。

### (1) 非法成瘾性物质滥用调查

成瘾性物质是一类人体吸收后产生生理和心理依赖的物质。几千年来,人类为暂缓痛苦或追求刺激,一直在使用成瘾性物质,形成了巨大的市场需求。成瘾性物质的使用,已经成为一种与社会环境、人的情绪及心理行为密切相关的现象或疾病。常见的成瘾性物质包括酒精类、尼古丁、兴奋剂类(咖啡因、甲基苯丙胺、苯丙胺)、阿片类(海洛因、吗啡、鸦片、美沙酮、可待因、二氢埃托啡、哌替啶、丁丙诺啡等)、大麻类、可卡因类、镇静催眠剂类(巴比妥类、苯二氮卓类)、致幻剂类(麦角酸二乙酰胺、仙人掌毒素等)、酚环啉(苯环己哌啶)以及挥发溶剂(丙酮)等。

根据国家法律是否禁止其使用,成瘾性物质可分为合法和非法两大类。前者主要有酒精、烟草等;而非法成瘾性物质,俗称毒品,是指在法律上明文规定禁止非医疗目的使用的化学物质,主要包括麻醉药品和精神药品。我国《麻醉药品品种目录(2013年版)》和《精神药品品种目录(2013年版)》中分别列明了121种麻醉药品和149种精神药品。毒品通常分为麻醉药品和精神药品两大类,包括常见的阿片类、可卡因类、大麻类、甲基苯丙胺类毒品、精神管制药品等。非法的成瘾性物质消费不仅威胁人类的健康,更会对公共安全造成危害。例如,毒品滥用导致犯罪率上升,甚至是暴力犯罪。一百多年前的林则徐禁烟运动就说