

Urban Sludge Resource Utilization and Sewage Land Disposal Technology

城市污泥资源利用与污水土地 处理技术

主编：王绍文 秦华

副主编：邹元龙 滕华 张宾

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

城市污泥资源利用与污水土地处理技术/王绍文, 秦
华主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2007

ISBN 978-7-112-09114-0

I. 城… II. ①王…②秦… III. ①城市-污泥
利用-技术②城市-污水处理-技术 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 017318 号

城市污泥资源利用与污水土地处理技术

主 编 王绍文 秦 华

副主编 邹元龙 滕 华 张 宾

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新 华 书 店 经 销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京市彩桥印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 25 字数: 605 千字

2007 年 4 月第一版 2007 年 4 月第一次印刷

印数: 1—2 500 册 定价: 48.00 元

ISBN 978-7-112-09114-0

(15778)

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)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

强化城市污水处理，特别是中小城市污水处理是今后十多年我国城市环境保护工作的重点与目标，而城市污泥资源有效利用与污水土地处理回用技术是确保实现这个目标最经济、最有效和最可靠的技术途径与措施。本书就是针对这一目标而编写的。全书共分八章：第一章简介城市污泥资源特性与资源利用途径；简介城市污水特性与污水处理利用途径；第二章论述污泥农田、林业、园林、牧场与土地修复等技术、控制要求、标准、使用价值与经济评价；第三章论述制肥如堆肥、混合肥、复合肥、蚯蚓肥等制肥技术、污泥制肥添加剂与菌种选择及其制肥技术要求与标准；第四章介绍污泥热解制油、热化学制油、污泥油化、合成燃料、焚烧与厌氧消化沼气利用系统（发电、沼气燃料电池等）与技术；第五章介绍污泥制砖、纤维板、水泥、轻质填料、陶粒制品等建材生产技术与应用实例；第六章介绍污泥化工原料利用技术，如制作活性炭、粘结剂、提取重金属以及最新开发的从污泥中提取用于合成生物可降解塑料的 PHA 和生物制剂的去氧核糖核酸（DNA）技术；第七章介绍污水农田灌溉技术要求、水质标准、问题与解决途径以及公共卫生、农学等方面控制与要求；第八章介绍各种土地处理技术、工艺特点及其设计与技术参数。

本书适用于城市污水处理技术研究人员、设计、施工、管理人员使用，也可供大专院校师生、科研人员和城市环境保护的决策者参考。

* * *

责任编辑：于莉 田启铭

责任设计：赵明霞

责任校对：刘钰 陈晶晶

前 言

城市污泥（含城市污水厂污泥、给水厂污泥、排水沟道污泥、水体疏浚淤泥）其量远大于城市生活垃圾，而且城市污泥有较高的污染物含量。其中城市污水厂剩余污泥的有机物含量为城市污水的 10 倍左右，污水厂脱水污泥泥饼中的致病微生物含量比城市生活垃圾高几个数量级。城市污泥中还含有较多的重金属、剧毒性有机物等污染物质。因此，城市污泥对环境造成的危害是严重的。

据统计，全国设市城市已达 660 个以上，1600 多个县，县市镇为两万多个。2004 年我国城市化水平已超过 40%，也就是说，已有 5 亿多人居住在城镇。随着农业经济的发展，我国广大村镇，特别是沿海周边与内地经济发达地区的中小城镇建设将更加迅速发展。据有关资料报道，2010 年全国设市城市将达 1000~1200 个，建制镇达 2.5 万个以上，城镇自来水普及率达到 50% 以上。如按污水处理率 50% 计，其投资年增约 5000 亿元，这对我国污水处理事业发展既是机遇又是挑战。

据统计，截至 2003 年，我国仍有一半以上的城市没有污水处理厂；全国现有污水处理厂 612 座，其中一半以上污水处理厂因经费不足，无法正常运行；大部分已设污水厂的城市其污水处理率目前还不到 20%。因此，我国城市污水、污泥处理与处置工作，任重道远。

目前，我国城市污水处理的投资约 90% 来自国外各种贷款，基本受国际各大公司所垄断，且投资十分高昂，而且通常只能用于购买贷款国的设备。这种不合理环境所形成的政治、经济压力的代价是巨大的。

“全面建设小康社会”是中国共产党十六次代表大会确立的中国在 21 世纪头 20 年的奋斗目标，而加强城市化进程是落实这个目标的重要条件与保证。因此，加强城市污水处理，特别是中小城镇污水、污泥资源的有效处理与合理利用是今后十多年我国环境保护的工作重点和目标，而城市污泥资源有效利用和污水合理农灌和科学的土地处理后回用，是实现这个目标最经济、最有效和最可靠的技术途径与合理措施。

本书是在中冶集团建筑研究总院环境保护研究设计院数十年有关科研工作的基础上，综合了国内外污水、污泥处理技术的发展，较全面地概括了城市污泥资源有效利用与城市污水合理农灌和科学土地处理回用技术的最新发展状况；全面系统地研讨城市污泥资源合理利用途径与支撑技术；系统介绍城市污水农灌和土地处理回用的技术保障与措施。其目的就是针对我国国情，对我国城市特别是中小城市污水污泥处理要走污泥资源有效利用和污水资源土地处理回用的循环经济、持续发展之路。

本书由秦华编写第一章第一节、第二节，第四章第三节、第四节，第五章第二节，第七章第三节、第四节；邹元龙编写第二章第一节、第二节、第五节、第七节，第五章第一节、第三节，第七章第二节；王绍文编写第一章第三节，第二章第三节、第四节、第六节，第三章第二节、第三节、第五节、第七节，第四章第一节、第二节、第六节；滕华编

写第三章第一节、第四节、第六节，第四章第五节，第七章第一节；王绍文与张宾合作编写第六章、第八章。全书由王绍文教授统稿、增补和定稿。在编写过程中得到中冶集团建筑研究总院环境保护研究设计院院长钱雷教授、常务副院长、总工程师杨景玲教授、王纯、戴京宪副院长等领导、哈尔滨工业大学王宝贞教授、天津大学林荣忱教授等指导，以及有关兄弟院所、高等院校等单位的大力支持。书中引用中国环境科学学会环境工程分会出版的会议论文集有关内容；引用一些公开出版国内外书刊、发表的论文中有关部分内容，在此一并表示感谢。

由于水平有限，书中有不妥之处，敬请读者指正。

编者

2006. 11. 16 于北京

目 录

第一章 概述	1
第一节 城市污水、污泥来源与产量	1
一、城市污水、污泥来源与分类	1
二、城市污泥产生量与影响因素	4
第二节 城市污水特性与资源化利用途径	10
一、城市污水的特征和性质	11
二、城市污水的典型水质	11
三、城市污水二级出水的水质特征	18
四、城市污水资源利用途径	19
第三节 城市污泥特性与资源化利用途径	23
一、城市污泥的组成与特性	23
二、城市污水处理厂污泥特性	26
三、城市污泥资源利用现状与发展	30
四、城市污泥利用途径与发展趋势	33
第二章 城市污泥土地利用系统与技术	38
第一节 城市污泥土地利用价值及其生态作用	38
一、污泥土地利用价值与重要性	38
二、污泥土地利用的经济效益评价	40
三、污泥对土壤生态的改进作用	42
第二节 污泥土地利用的预处理技术与要求	45
一、污泥处理处置目的与技术发展状况	45
二、污泥的浓缩处理技术	47
三、污泥的消化处理技术	51
四、污泥的调理技术	52
五、污泥脱水处理技术	56
六、污泥干化处理技术	63
第三节 污泥土地利用系统与技术	65
一、农田利用与技术	65
二、林业利用与技术	67
三、园林绿化利用与技术	68
四、严重破坏土地的修复利用技术	70
五、污染土壤修复利用与技术	71
六、牧场恢复、重建与填地、填海造地	72
七、污泥土地利用施用方法与要求	73
第四节 污泥土地利用的控制与标准	75

一、污泥中重金属的控制与标准	76
二、污泥有机有害物质控制	81
三、污泥土地利用的卫生学控制与要求	82
四、污泥施用率与污泥施用负荷	84
五、污泥施用年限与有关控制规定	87
第五节 污泥土地利用应注意的问题	88
一、污泥农业利用的前提条件与施用规定	88
二、污泥中重金属及其有毒有机物的控制	89
三、污泥施用量与病原菌、寄生虫的监控	90
四、要注意氮、磷营养物与盐分的影响	91
五、完善用肥标准与管理法规	91
第六节 城市污泥中重金属的去除与削减技术研究	92
一、污泥中重金属形态分布与对农作物的影响	92
二、化学法去除污泥中重金属的试验研究	96
三、生物沥滤法去除污泥中重金属的试验研究	97
四、电化学法降低城市污泥重金属的技术与动向	98
第七节 污泥土地利用应用实例	98
一、污泥农田利用的应用实例	99
二、污泥林地利用工程实例	101
三、污泥园林绿化应用实例	103
第三章 污泥制肥利用系统与技术	105
第一节 污泥制肥原理与应用前景	105
一、污泥堆肥原理与过程	105
二、污泥制肥主要影响因素	108
三、污泥制肥技术的发展与应用前景	110
第二节 污泥制肥系统与技术	111
一、污泥制肥条件控制与要求	111
二、污泥单独堆肥工艺与技术	115
三、污泥与城市垃圾混合堆肥工艺与技术	117
四、污泥与粉煤灰的混合堆肥工艺与技术	119
五、蚯蚓污泥农肥	122
六、污泥生产复合农肥的工艺与技术	126
七、EATAD 技术生产污泥农肥	134
第三节 污泥制肥添加剂与菌种的选择的应用技术	137
一、微生物接种剂	138
二、营养调节剂	139
三、调整剂、膨胀剂与特定调节剂	140
四、污泥原料堆肥的调质技术	141
第四节 污泥堆肥与复混肥生产设备与技术	142
一、污泥堆肥的发酵设备与技术	143
二、污泥制肥造粒装置与技术	146
第五节 污泥制肥的技术要求与标准	148

一、用于农肥污泥中污染物控制标准	149
二、堆肥品质要求与评价	150
三、堆肥腐熟度要求与评价	151
四、有机复混肥产品质量要求与标准	154
五、污泥制肥产品分类与施用要求	155
六、污泥制肥利用应注意的事项	155
第六节 污泥制肥过程中渗滤液的处理	157
一、生物处理法	157
二、物化法处理	158
第七节 污泥制肥技术应用与工程实例	160
一、天津纪庄子污泥制肥技术与工程实例	160
二、徐州污水处理厂有机复混肥研制与工程应用	162
三、北京密云污水处理厂有机复混肥生产技术与工程实例	163
四、污泥直接干燥造粒生产农肥实例	164
五、复合微生物制肥的试验与生产实例	165
第四章 污泥热能利用系统与技术	167
第一节 污泥能源利用的技术特征与发展	167
一、污泥能源利用的技术特征与分类	167
二、污泥能源利用技术的应用与发展	168
第二节 污泥制油能源利用系统与技术	172
一、污泥热解制油系统与技术	172
二、污泥直接热化学液化制油系统与技术	176
第三节 污泥焚烧与污泥合成燃料的热能利用系统与技术	180
一、城市污泥产生量与污泥发热值	180
二、污泥焚烧的热能利用系统与技术	183
三、污泥焚烧工艺系统的发展与典型焚烧炉	187
四、污泥焚烧的热能利用系统与技术	191
第四节 污泥厌氧消化的沼气利用系统与技术	193
一、污泥厌氧消化工艺与影响因素	193
二、厌氧消化池类型与构造	196
三、污泥厌氧消化的沼气收集与脱硫装置	197
四、沼气收集与脱硫装置	199
五、沼气利用系统与技术	200
第五节 废气控制与环保要求	205
一、烟气控制和酸性气体治理技术	205
二、焚烧灰控制与利用技术	208
三、二恶英的控制	210
四、污泥焚烧的环保标准	210
第六节 污泥热能利用技术的应用与实例	212
一、污泥低温热化学处理工艺应用实例与发展	212
二、污泥焚烧热能利用技术的工程实例	215
三、污泥中温消化的沼气能源利用技术的工程应用	216

四、污泥两相厌氧消化的新发展—乙醇型发酵和氢气利用研究与应用	218
第五章 污泥建材利用系统与技术	221
第一节 污泥建材利用途径与发展	221
一、污泥建材利用途径与技术动向	221
二、国内外技术发展状况	222
第二节 污泥建材利用系统与技术	223
一、污泥制砖系统与技术	223
二、污泥生产水泥系统与技术	225
三、污泥制生化纤维板技术	228
四、污泥制作人工轻质填充料技术	229
五、污泥熔融石料化技术	229
六、污泥制陶粒及其制品技术	230
七、污泥制聚合物复合材料技术	234
八、利用城市污泥作为城市固体废物填埋场覆盖材料	235
第三节 污泥用于建材技术的应用实例	237
一、污泥焚烧灰制地砖技术与应用实例	237
二、污泥生产水泥技术与应用实例	238
三、污泥制生化纤维板技术与应用实例	243
四、污泥制陶粒技术与应用实例	244
五、污泥作为城市固体废物填埋场覆盖材料的技术与应用实例	245
第六章 污泥化工原料利用系统与技术	247
第一节 污泥化工原料利用途径与发展	247
一、污泥化工原料利用途径与技术动向	247
二、国内外技术发展概况	248
第二节 污泥化工原料利用系统与技术	250
一、污泥制取吸附材料的利用系统与技术	250
二、污泥合成与提取聚- β -羟基烷酸 (PHA) 技术	255
三、污泥做粘结剂技术	260
四、污泥提取去氧核糖核酸 (DNA) 技术	260
五、污泥制取蛋白饲料技术	262
六、污泥提取重金属技术	263
第三节 污泥化工原料利用技术与应用研究实例	264
一、城市污泥制取活性炭技术与应用实例	264
二、城市污泥作复合肥粘结剂技术与应用实例	267
三、污泥中重金属的生物浸提回收技术与应用	269
第七章 城市污水资源农田利用系统与技术	272
第一节 城市污水资源农田利用技术要求与途径	272
一、城市污水资源利用状况、途径与分类	272
二、城市污水资源利用的技术指导与要求	274
三、城市污水资源农业回用的可行性与重要性	279
第二节 城市污水资源农田利用系统与技术	280
一、城市污水资源农田灌溉的研究进程与发展	280

二、污水灌溉的优缺点与技术对策	282
三、城市污水资源农灌应用系统与技术	284
四、城市污水资源农田利用应注意的问题与解决的途径	286
第三节 城市污水资源农灌的水质与标准	288
一、公共卫生方面的要求	289
二、农学与水质方面要求	290
三、污水农灌水质控制标准	293
第四节 城市污水资源农田利用应用实例	302
一、美国密执安州马斯基根城市污水农田灌溉工程实例	302
二、佛罗里达州塔拉哈西特 (Tallahassee) 的农田回用工程实例	302
三、加利福尼亚州沙诺玛县季节性污水农灌工程实例	303
四、德克萨斯拉斯考林那斯 (Las Colinas) 再生水与河水混合后回用于农田灌溉的 应用实例	303
五、澳大利亚墨尔本威尔比牧场城市污水灌溉示范工程	303
六、国内城市污水农田灌溉应用实例	304
第八章 城市污水资源土地利用系统与技术	307
第一节 城市污水资源土地利用原理与技术分类	307
一、城市污水资源土地处理原理与技术开发概况	307
二、城市污水资源土地处理系统组成与工艺类型	309
三、城市污水资源土地处理的限制组分与预处理要求	311
四、城市污水资源土地处理技术的重要性与实际意义	313
第二节 慢速渗滤土地处理技术工艺与设计	315
一、工艺特点与预处理要求	315
二、作物选择与净化能力	316
三、慢速渗滤系统设计与技术参数	319
四、慢速渗滤工艺目标与发展趋势	319
第三节 快速渗滤土地处理技术工艺与设计	320
一、工艺特点与预处理要求	320
二、快速渗滤系统与净化效果	321
三、快速渗滤系统工艺设计与技术参数	324
四、快速渗滤工艺目标与系统设计和运行管理	327
第四节 地表漫流土地处理技术工艺与设计	329
一、工艺特点与预处理要求	329
二、植物选择与净化效果	330
三、地表漫流系统工艺设计与技术参数	331
四、地面漫流工艺目标与系统设计要求	332
第五节 湿地土地处理技术工艺与设计	334
一、人工湿地的类型、工艺特点与预处理要求	334
二、人工湿地净化作用机理及其影响因素	336
三、水生植物的功能选择及其在人工湿地的净化效果	341
四、人工湿地系统工艺设计与技术参数	343
五、人工湿地构筑要求与运行管理	345

第六节 地下渗流土地处理技术工艺与设计 350

一、工艺特点与预处理要求 350

二、地下渗流工艺类型与适用范围 350

三、工艺组合与处理效果 352

第七节 城市污水资源土地利用应用实例 355

一、慢速渗滤土地处理系统工程与应用实例 355

二、快速渗滤土地处理系统工程与应用实例 365

三、地表漫流土地处理系统工程与应用实例 369

四、人工湿地土地处理系统工程与应用实例 375

五、地下渗滤土地处理系统工程实例 379

参考文献 381

第一章 概 述

城市是人类生活与生产活动的集中地，维持城市生活与生产活动依赖的是城市物流系统的运作。城市的生产部门以输入的物流（资源、能源等）为原料，生产、加工与制作成各种人类生产、生活所需的商品；城市的商业部门将商品销售与服务给消费者（城市与乡村）；城市居民在各种场所消费各类产品；最后，城市工业、商业、居民的各种生产与生活活动将各种输入的物流转化为废物输出至自然环境和工农业生态体系。这就是现代城市物流系统流动过程的基本程序。城市污水与城市污泥就是现代城市物流系统流动转化产生的众多废物中的一种特殊形式。

我国水资源人均占有量远低于世界平均水平，仅是世界人均占有量的四分之一，已列入世界 12 个贫水国之一，但又是世界用水量最多的国家。据 2000 年的统计，全国总用水量为 5498 亿 m^3 ，其中生活用水占 10.5%，其中城镇生活用水占 5.2%，农村占 5.3%；工业生产用水占 20.7%；农田灌溉用水占 63.0%，林牧渔业用水占 5.8%，二者共占约 70%。

强化城市污水处理，特别是加强中小城镇污水处理是今后十多年间我国环境保护工作的重点与目标，而城市污泥资源有效利用与污水资源农田与土地利用，是确保实现这个目标最经济、最有效和最可靠的技术途径和措施。本书就是针对和服务于这项战略性目标而编写的。

第一节 城市污水、污泥来源与产量

一、城市污水、污泥来源与分类

（一）城市污水来源与分类

污水是生活污水、工业废水、被污染的雨水和排入城市排水系统的其他被污染水的统称。

生活污水是人类日常生活使用的并为生活废料所污染的水。工业废水是在工矿企业生产活动中用过的水。被污染的雨水，主要是指初期雨水。由于冲刷了地表上各种污染物，所以污染程度较大，需要进行处理。

城市污水、生活污水、生产废水或经工业企业局部处理的生产废水，往往都排入城市排水系统，故把生活污水和生产废水的混合污水统称为城市污水。

城市污水中包括生活污水、工业废水和一部分城市地表径流。生活污水主要来自家庭、商业、机关、学校、旅游服务业及其他城市公用设施，包括厕所冲洗水、厨房洗涤水、洗衣机排水、淋浴排水及其他排水等。生活污水含纤维素、淀粉、糖类、脂肪、蛋白质等有机类物质，其浓度可用 BOD（生化需氧量）或 COD（化学需氧量）表示。一般生活污水的 BOD_5 在 200~400mg/L 之间。生活污水还含氮、硫、磷等的无机盐类，一般

30%~75%的碳来自洗涤剂,近年来含磷洗涤剂使用量的增加,使废水中磷含量显著增加。生活污水中含有多种微生物,新鲜生活污水中细菌总数在 $5 \times 10^5 \sim 5 \times 10^6$ 个/L之间,并含有多种病原体(如病菌和病毒)。生活污水中悬浮固体物质含量一般在200~400mg/L之间,且多为无毒物质。

工业废水种类繁多,性质复杂,其在城市污水中的比重,取决于城市工业生产的规模、性质和水平。有的工业废水中含有易燃、易爆、腐蚀性很高的污染物在其排入城市排水管网之前,应经过适当的处理,达到规定的排放标准。

城市地表径流是由于雨雪降落至地面形成的,其中含有淋洗大气及冲洗建筑物,地面废渣、垃圾所挟带的各种污染物。这种废水的水量水质随季节和时间而变化,成分较复杂,在降雨初期所含污染物浓度甚至比生活污水还高。某些工业废渣及城市垃圾堆放场经雨水冲淋后产生的废水往往比生活污水更具危险性。

不同城市排放污水量的大小及生活污水与工业废水的比例虽不同,但都含有不等量的悬浮物、耗氧有机物、植物性营养素及病原体等污染物。随着工业化的不断发展及人们生活水平的不断提高,城市污水的水量及污染物含量相应增加,水质亦日趋复杂。

(二) 城市污泥的来源与分类

现有城市排水系统与污水处理厂中产生的污泥种类有:

1. 城市污水处理厂污泥

城市物流系统中有难以胜数的用水环节,使用后的水大多转化为含不同种类与浓度污染物的污水。城市所产生的污水基本可以按来源分为两类:①工业废水,来自城市的工业部门,污染特征由相应的产业技术、过程决定;②城市污水,来自城市的居民区,商业服务业等非工业部门,其污染特征与具体的来源(如商业、居住区)关系较小,也就是说,不同来源的城市污水共性是它的主要方面。

城市污水的净化处理也是按来源分别安排的,城市污水处理厂的主要处理对象是城市污水。在实行城市排水合流制的城市或区域,一部分城市降雨产生的径流排水也在城市污水处理厂中处理;同时,部分城市的工业废水也汇入城市污水处理厂处理,但接入前均有对工业污水预处理的要求,使进入城市污水处理厂的工业废水的污染特征接近于城市污水(如对含重金属工业废水,应预处理去除其中大部分重金属污染后,方能汇入城市污水处理厂)。

城市污水处理厂在污水处理过程中,污水中大部分污染物转化为可沉降物,这些沉降物是以固液混合为特征的所谓城市污水厂污泥。

污水厂污泥(或污水污泥)是各种污水处理过程中产生的泥状物质。其中工业废水处理污泥,由于污水本身的性质多变,相应的污水处理工艺也变化很大,因此,其污水污泥在处理过程中具体产生(来源)环节较难定义,而城市污水厂污泥,则因污水性质和工艺的相似性,其在污水处理过程中的产生环节相对确定。有关城市污水厂污泥在污水处理厂中的产生环节与特征见表1-1。

城市污水厂污泥可按不同的分类准则分类,其中常见的有:

(1) 按污水的来源特征,可分为生活污水污泥和工业废水污泥。

(2) 按污水的成分和某些性质,可分为有机污泥和无机污泥,亲水性污泥和疏水性污泥。

(3) 按污泥处理的不同阶段,可分为生污泥、浓缩污泥、消化污泥、脱水污泥和干化污泥。

传统城市污水处理厂中污泥（包括固体）的来源

表 1-1

污泥来源	污泥类型	产生情况
格栅	栅渣	来自格栅或滤网,组成与生活垃圾类似,但浸水饱和
沉砂池	无机固体颗粒	沉砂池沉渣一般是密度较大的较稳定的无机固体颗粒
初次沉淀池	初次沉淀污泥和浮渣	进厂污水中所含有的可沉降性物质,污泥处理处置的主要对象
曝气池	悬浮活性污泥	产生于 BOD 的去除过程,常使用浓缩法将其浓缩
二次沉淀池	剩余活性污泥和浮渣	曝气池活性污泥的沉降产物,污泥处理处置的主要对象
化学沉淀池	化学污泥	混凝沉淀工艺过程中形成的污泥

(4) 按污泥来源,可分为栅渣、沉砂池沉渣(无机固体颗粒)、浮渣、初次沉淀污泥(初沉污泥)、剩余活性污泥(剩余污泥)、腐殖污泥和化学污泥。

2. 城市排水管(沟)道污泥

现代城市排水方式是以管道化为特征的。按排水对象和排水体系设置原则(排水体制)的不同,城市排水沟管道可分为污水沟道、雨水沟道和合流排水沟道三种。按水流在沟道内流动动力的不同选择,排水沟道也可分为重力式和压力式两种类型。无论何种城市排水对象,均不同程度地含有可沉降的颗粒物和胶体,同时排水中的某些可溶性物质也有在排水沟道内的环境条件及生物作用下产生可沉降物质的可能,这些可沉降物质在一定的沟道水力条件下,会沉积于沟道内,成为影响沟道正常排水功能的因素。为了维持城市排水沟道的正常功能,需定期对沟道系统进行养护,此过程所产生的沟道污泥也成为城市污泥中的一种。

城市排水沟道污泥是城市排水管道系统中的沉积物(也可称为城市排水管道污泥)。城市污水(包括生活污水、工业废水)和城市雨水径流,在进入排水系统后,其所含有的固体和其他物质,经重力沉降、吸附、拦截、络合和反应转化等物理、化学和生物过程在管道中沉积下来,即形成了管道污泥。因此,排水沟道污泥的根本来源是排水中的可沉降与可转化沉降物质,而管道的水力、生化环境则对其产生具有显著的影响。

城市排水沟道污泥的分类主要可依据排水管道的类型来划分,城市排水管道的类型有:分流制污水管、分流制雨水管和合流制排水管。它们相应地产生性质上有明显差异的排水沟道污泥。不同类型管道污泥的具体来源也有所差异。

生活污水中的固体物质(如粪便、卫生用纸、食品残余、洗涤碎屑等)和工业废水中的可沉降物是合流污水管道污泥的主要来源。同时污水中可被生物利用的溶解性物质,也会通过管道内的生物过程转化形成一部分污泥。合流制雨水管道污泥主要源于雨水径流中夹带的地面沉积物,雨水中的生物可利用物质少,也使这些沉积物几乎是此类污泥的惟一来源。合流制排水管道污泥的来源在晴天期类似于污水管道,雨天期则近似于雨水管道,但合流制管道晴天与雨天的水力条件差异很大,雨天期时,管道内存在较强的水力冲刷作用;可以使相当数量的晴天期沉积的有机物重新再悬浮随水流排出,因此,合流制管道污泥组成相对地具有更多的不稳定性。

此外,城市污泥还应包括城市给水厂污泥、城市水体疏浚淤泥和城市建筑工地泥浆等污泥。但这些污泥处置比较简单,对环境污染也不大,其利用范围也不相同,故本书研讨范围不包括上述三项内容。

二、城市污泥产生量与影响因素

(一) 城市污水厂污泥产生量与影响因素

1. 影响城市污泥产生量的因素①

城市污水厂污泥的产生主要受城市污水水质、污水处理工艺的各个环节运行情况的影响。同一水质不同的处理工艺，其污泥产生量差异很大。根据城市污水处理长年运行经验与数据统计：(1) 城市污水水质与部分操作工艺条件对污泥产生量的影响，参见表 1-2；(2) 污水处理工艺与污泥产生量的关系见表 1-3；(3) 不同污水处理工艺的污泥浓度(含固率)的关系见表 1-4。

污水处理过程中污泥的产生及其影响因素 表 1-2

污泥(包括固体)	污泥产生及其影响因素
栅渣	包括粒径足以在格栅上去除的各种有机或无机物料，有机物料的数量在不同的污水处理厂和不同的季节有所不同；栅渣量为 $3.5\sim80\text{cm}^3/\text{m}^3$ ，平均约为 $20\text{cm}^3/\text{m}^3$ ，主要受污水水质影响
无机固体颗粒	无机固体颗粒的量约为 $30\text{cm}^3/\text{m}^3$ ，这些固体颗粒中也可能含有有机物，特别是油脂，其数量的多少取决于沉砂池的设计和运行情况
浮渣	浮渣主要来自初次沉淀池和二次沉淀池。浮渣中的成分较复杂，一般可能含有油脂、植物和矿物油、动物脂肪、菜叶、毛发、纸和棉织品、橡胶避孕用品、烟头等，浮渣的数量约为 $8\text{g}/\text{m}^3$
初次污泥	由初次沉淀池排出的污泥通常为灰色糊状物，其成分取决于原污水的成分，产量取决于污水水质与初沉池的运行情况，干污泥量与进水中的 SS 和沉淀效率有关，湿污泥量除与 SS 和沉淀效率有关外，还直接决定于排泥浓度(见表 1-4)
化学沉淀污泥	系指混凝沉淀工艺中形成的污泥，其性质取决于采用的混凝剂种类，数量则由原污水中的悬浮物量和投加的药剂剂量决定
二次沉淀污泥	传统活性污泥工艺等生物处理系统中排放的剩余污泥，其中含有生物体和化学药剂，产生量取决于污水处理所采用的生化处理工艺(见表 1-3)和排泥浓度(见表 1-4)

不同处理工艺的污泥产生量(干污泥/污水) (g/m^3) 表 1-3

处 理 工 艺	产生量范围	典 型 值
初次沉淀	110~170	150
活性污泥法	70~100	85
深度曝气	80~120	100
氧化塘	80~120	100
过滤	10~25	20
化学去磷：低剂量石灰($350\sim500\text{mg}/\text{L}$)	240~400	300
高剂量石灰($800\sim1600\text{mg}/\text{L}$)	600~1350	800
反硝化	10~30	20

2. 城市污水厂污泥产生量

(1) 污水处理厂的栅渣、无机固体颗粒和浮渣量，可参考表 1-2 中相关栏目进行估算。

(2) 初沉污泥体积量 V_1

$$V_1 = \frac{100C_T Q}{10^3(100 - P_1)\rho} \quad (\text{m}^3/\text{d}) \quad (1-1)$$

① 何晶晶、顾国维等编著。城市污泥处理与利用。北京：科学出版社，2003。

式中 Q ——污水流量，取污水厂的平均日流量， m^3/d ；
 C ——进入初沉池污水中悬浮物浓度， kg/m^3 ；
 η ——初沉池沉淀效率，%，城市污水厂一般取 50%；
 P_1 ——污泥含水率，%，一般取 95%~97%；
 ρ ——初沉池污泥密度（以 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ 计）， kg/m^3 。

不同处理工艺的排泥浓度（含固率）（%）表 1-4

处 理 工 艺	浓 度 范 围	典 型 值
初次沉淀池		
初沉污泥	4.0~10.0	5.0
初沉污泥和剩余活性污泥	3.0~8.0	4.0
初沉污泥和腐殖污泥	4.0~10.0	5.0
初沉污泥和加铁除磷污泥	0.5~3.0	2.0
初沉污泥和加低量石灰除磷污泥	2.0~8.0	4.0
初沉污泥和加高量石灰除磷污泥	4.0~16.0	10.0
二次沉淀池		
活性污泥法		
设初沉池	0.5~1.5	0.8
未设初沉池	0.8~2.5	1.3
纯氧活性污泥法		
设初沉池	1.3~3.0	2.0
未设初沉池	1.4~4.0	2.5
生物膜法	1.0~3.0	1.5
接触氧化法	1.0~3.0	1.5
重力浓缩池		
初沉污泥	5.0~10.0	8.0
初沉污泥和剩余活性污泥	2.0~8.0	4.0
初沉污泥和腐殖污泥	4.0~9.0	5.0
气浮浓缩池		
剩余活性污泥		
加入化学药剂	4.0~6.0	5.0
未加化学药剂	3.0~5.0	4.0
离心浓缩		
剩余活性污泥	4.0~8.0	5.0
重力带式浓缩		
加药剩余活性污泥	3.0~6.0	5.0
厌氧消化		
初沉污泥	5.0~10.0	7.0
初沉污泥和剩余活性污泥	2.5~7.0	3.5
初沉污泥和腐殖污泥	3.0~8.0	4.0
好氧消化		
初沉污泥	2.5~7.0	3.5
初沉污泥和剩余活性污泥	1.5~4.0	2.5
剩余活性污泥	0.8~2.5	1.3

或者按公式（1-2）计算：

$$V_1 = \frac{S_L N t}{1000} \quad (\text{m}^3/\text{d}) \tag{1-2}$$

式中 S_L ——每人每日污泥量 [按每人每日计产生的初沉污泥量为 14~27g, 初沉污泥含水率以 95%~97% 计, 则每人每日产生初沉污泥量一般采用 0.3~0.8L/(人·d)], L/(人·d);

N ——设计人口数 (可采用城市人口数或污水处理厂设计当量人口数), 人;

t ——初沉池两次排泥的间隔时间, d。

但应注意 V_1 是计算公式中所取定含水率 P_1 时的污泥量。

(3) 剩余污泥体积量 V_2

1) 剩余污泥干质量 ΔX_T 。

每日排除剩余污泥干重 ΔX_T (kg/d) 等于活性污泥系统中每日产生的活性污泥干质量。

$$\Delta X_T = \frac{\Delta X}{f} = \frac{(aQL_R - bX_V V)}{f} \quad (\text{kg/d}) \quad (1-3)$$

式中 ΔX ——挥发性物质基污水厂剩余污泥流量, kg/d;

Q ——平均体积流量, m^3/d ;

a 、 b ——污泥产率系数和污泥自身氧化率, 以生活污水为主的城市污水, a 一般为 0.5~0.6, b 为 0.06~0.1/d;

L_R ——曝气池进出水 BOD_5 浓度差, kg/m^3 ;

X_V ——曝气池混合液挥发性悬浮固体浓度, kg/m^3 ;

V ——曝气池容积, m^3 ;

f ——曝气池挥发性悬浮固体和悬浮固体浓度之比。

$$f = \frac{\text{MLVSS}}{\text{MLSS}} \quad (\text{城市污水一般取 } f \text{ 为 } 0.75)$$

2) 剩余污泥体积量 V_2

$$V_2 = \frac{\Delta X_T}{(1-P) \times 1000} \quad (\text{m}^3/\text{d}) \quad (1-4)$$

式中, P 为剩余污泥含水率, 取 96%~99.2%。

(4) 浓缩剩余污泥体积流量 V_3

$$V_3 = V_2 \frac{(1-P)}{(1-P_1)} \quad (\text{m}^3/\text{d}) \quad (1-5)$$

式中 V_2 ——浓缩前的污泥量;

P , P_1 ——浓缩前、后的污泥含水率, 可分别取 99.2% 和 96%。

城市污水厂污泥的产生量也常按单位污水处理量的污泥固体产率 ($10^{-4} \text{t}/\text{m}^3$) 来核算, 表 1-5 是沈阳市市政工程设计研究院对我国 24 座运行中的城市污水处理厂污泥产生状况的调研结果。

3. 对于以生活污水为主或工业废水较少的城市污水, 污泥产生量可按每人 (当量人口) 每天的污泥产量 (固体物量) 计算。表 1-6 是欧美生活污水污泥产量情况一览表。表 1-7 是德国根据表中污水性质, 考虑各种污水净化目标计算的城市污水污泥产量。我国目前尚缺乏类似的完整资料。