

城市污水处理 及回用技术

肖 锦 主编



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

城市污水处理及回用技术

肖 锦 主编

化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

城市污水处理及回用技术/肖锦主编. —北京: 化学工业出版社, 2002.5
ISBN 7-5025-3691-4

I. 城… II. 肖… III. ①城市污水-污水处理
②城市污水-废水综合利用 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 017926 号

城市污水处理及回用技术

肖 锦 主 编
责任编辑: 郭乃铎
责任校对: 郑 捷
封面设计: 刘 欣

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
环境科学与工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
化学工业出版社印刷厂印刷
三河市东柳装订厂装订

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 16 字数 432 千字

2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3691-4/X·134

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

水是人类生活和生产活动不可缺少、不可替代的宝贵资源，是社会可持续发展的重要因素。由于城市化、工业化和农业集约化的迅速发展，以及人类对水资源、水污染、污水再生与回用认识上存在一些误区，使得许多城市原有水资源不敷所用，许多地区进入水环境的污染物超过其环境容量，从而导致水体污染。加上对水污染的防治失调和对再生水未合理回用，最终引发城市水荒的加剧。可以说城市水污染导致用水资源失调的连锁反应是造成城市水危机的实质问题之一，而城市污水再生和再生水回用，是解决水危机的有效途径之一。基于这些认识，我们需要保护和恢复我们的水质，需要大力开发城市污水再生回用。

本书讨论了城市水污染、污水再生与回用的许多问题，主要包括污水处理与回用的状况；污水污染物来源及其所产生的影响；污水的各种处理技术和再生水在农业、工业和城市生活等方面的回用，以及城市污水厂污泥的回用与资源化等问题。诚然，污水回用是本书的重点。

面对我国水资源短缺和水污染威胁的严峻势态，在具体编写本书过程中，我们注意理论结合实际，技术结合国情，使书的内容有助于读者较好地去看开发我国城市污水处理与回用的新局面。

本书由肖锦教授任主编，陈镇华高工、周少奇教授任副主编，各章编写分工为：第一章周勤博士、肖锦；第二章吴友明高工；第三章陈镇华；第四章金瑞瑶高工、肖锦；第五章金瑞瑶、汪晓军副教授；第六章陈元彩博士；第七章陈镇华；第八章吴友明；第九章周勤；第十章汪晓军；第十一章周少奇；第十二、十三章肖锦。

本书适宜我国城市污水处理与回用方面的工程技术人员作参考书，也可供高等理工院校学生和有关设计、研究部门人员参考。

编著者水平有限，书中错误缺点在所难免，敬请读者批评指出。

肖 锦

2001 年 10 月 20 日

内 容 提 要

本书针对当前我国水资源短缺和水污染严重的形势,以可持续发展的思想,讨论了城市水污染、污水再生与回用涉及的许多问题,理论联系实际,技术结合国情。

全书共分十三章,介绍了城市污水来源与特性,回用水水质标准,城市污水处理技术,城市污水在农业、工业、市政、地层回灌方面的回用,污泥处理处置与资源化技术,西部开发与城市污水回用,以及我国城市污水处理与回用的展望。书中还介绍了大量的处理与回用实例。

本书可供从事城市污水处理与回用的工程技术人员、科研设计人员、管理人员阅读,还可供高等院校相关专业师生参考。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 水资源与水污染	1
一、水资源	1
二、水污染	4
第二节 水危机与水回用	6
一、水危机	6
二、水回用	10
参考文献	24
第二章 城市污水来源与特性	26
第一节 城市污水来源	26
一、生活污水	26
二、工业废水	33
三、雨水及渗流	35
第二节 城市污水的性质和成分	36
一、城市污水的物理特性	36
二、城市污水的化学指标	37
三、城市污水的卫生指标	43
第三节 城市污水的典型水质	44
一、生活型城市的污水水质	44
二、工业型城市的污水水质	46
参考文献	52
第三章 回用水水质标准	53
第一节 回用水水质指标概述	53
第二节 回用水水质与水环境质量标准的关系	54
一、概述	54
二、我国部分水环境质量标准介绍	55
三、回用水水质与污水综合排放标准的关系概述	63

第三节 各种用途回用水水质标准	63
一、灌溉回用水水质标准	63
二、工业回用水水质标准	65
三、生活杂用水和市政杂用水水质标准	72
四、地下水人工回灌水水质标准	77
参考文献	80
第四章 城市污水一级处理	81
第一节 格栅	82
一、以间距分类的格栅	82
二、常用机械格栅除污机及其功能特点	83
三、设计中注意事项	87
第二节 沉砂池	88
一、曝气沉砂池	89
二、涡流式沉砂池	90
第三节 沉淀池	93
一、沉淀池的型式	94
二、用作初沉池和二沉池的不同设计负荷	95
三、设计中注意事项	96
四、不同类型的沉淀池介绍	96
第四节 污水强化一级处理	100
一、概述	100
二、化学强化一级处理	101
三、生物法强化一级处理	112
四、污水一级处理的技术经济分析	114
参考文献	116
第五章 城市污水二级处理	117
第一节 城市污水二级处理发展概况	117
一、污水处理工艺向除磷脱氮处理的深度发展	117
二、二级处理的池体向一体化方向的发展	117
三、城市污水二级处理工艺发展趋势	118
第二节 活性污泥法	119
一、活性污泥法的基本原理	119
二、城市污水处理厂常用的活性污泥法	126

第三节 生物膜法	149
一、概述	149
二、城市污水常用的生物膜法	151
第四节 稳定塘技术	161
一、好氧塘	162
二、兼性塘	163
三、厌氧塘	163
四、曝气塘	164
五、稳定塘的处理效果	164
六、稳定塘的设计注意事项	165
第五节 城市污水处理后的消毒	166
一、概述	166
二、粪便污染的细菌指示剂	166
三、消毒剂	167
四、加氯消毒	168
五、二氧化氯消毒	172
六、紫外线消毒技术	179
参考文献	181
第六章 城市污水的高级处理技术	183
第一节 污水高级处理的特点与适应性	183
第二节 污水脱氮除磷技术	186
一、脱氮技术	187
二、除磷技术	203
三、生物除磷脱氮新工艺	205
第三节 溶解性无机盐的去除	212
一、离子交换法	212
二、膜分离法	214
第四节 难降解有机物的去除	220
一、活性炭吸附	221
二、电催化氧化	225
三、化学及光氧化	225
四、酶处理技术	233
第五节 污水高级处理的工艺选择与组合	234

一、概述	234
二、传统高级处理组合工艺	234
三、以膜分离为主的组合工艺	235
四、活性炭、滤膜分离为主的组合工艺	237
五、城市污水回用作饮用水组合工艺	238
参考文献	243
第七章 城市污水农业回用	246
第一节 污水农业回用概况	246
一、国外污水农业回用技术简况	246
二、我国污水农业回用的历史与现状	248
三、加速发展我国污水农业回用的可行性	250
第二节 污水农业回用的水质要求	252
第三节 污水农业回用技术基础	253
一、城市污水土地处理与农业回用的关系	253
二、污水土地处理的工艺类型	254
第四节 污水土地处理系统的设计	260
第五节 污水农业回用与节水灌溉	263
一、节水灌溉是解决农业用水紧缺的有效途径	263
二、推广节水灌溉有利于发展污水农业回用	264
三、科学合理地选用节水灌溉技术	264
第六节 应用实例与经济效益分析	265
一、国外污水农业回用的实例介绍	265
二、国内污水农业回用的实例介绍	269
三、污水农业回用的效益分析	278
参考文献	279
第八章 城市污水工业回用	281
第一节 国外城市污水的工业回用概况	281
第二节 国内城市污水的工业回用概况	283
第三节 污水作工业冷却水回用	285
一、工业冷却水和水质要求	285
二、循环冷却水水质判断	292
三、处理工艺	294
第四节 污水作其他工业用水回用	306

一、其他工业用水的一般水质要求	306
二、造纸工业	307
三、化学工业	309
四、金属加工工业	309
五、石油工业	309
六、纺织工业	310
七、采矿工业	310
参考文献	311
第九章 城市污水回用作市政用水	312
第一节 概述	312
一、国外城市污水作市政用水概况	314
二、国内城市污水作市政用水概况	316
第二节 回用水源及用途	317
一、回用作市政用水的水质标准	317
二、回用水用途比例	317
三、回用水水源水质	318
第三节 处理工艺及相应水质	320
一、城市污水二级处理出水为原水	320
二、生活污水为原水	325
第四节 回用水管道铺设及主要设备	325
一、处理设备	325
二、送水设备	326
三、主要设施	327
四、安全防护	327
第五节 污水回用方式	328
一、回用方式	328
二、回用水供水方式	331
三、回用水系统管网布置	333
第六节 实例介绍	334
一、国外实例	334
二、国内实例	341
第七节 经济效益分析	350
一、城市供水和污水处理投资估计	350

二、引水与回用水对比	352
三、建筑群或商住小区污水回用投资与效益	353
第八节 水回用的公众心理与监督管理	354
一、公众心理	354
二、回用水的监督管理	355
参考文献	355
第十章 城市污水用于地层回灌	357
第一节 回用污水注入地下含水层的自净过程	357
一、微生物被吸附和衰亡作用	358
二、微生物分解作用	359
三、化学沉淀作用	360
四、物理化学吸附作用	361
五、其他作用	363
第二节 用处理后污水控制海水侵入	364
一、水文条件	365
二、测量及控制方法	366
三、回用污水的特性	368
四、回用污水的阻塞及解决方法	368
第三节 污水作为地下水补充	369
参考文献	372
第十一章 污泥的处理处置与资源化	373
第一节 概述	373
一、污泥及其环境污染问题	373
二、污泥处理处置技术的历史发展与最新动向	373
三、污泥处理处置与农业回用资源化的意义	376
第二节 城市污水厂污泥的性质与特点	377
一、污泥的分类及类别	377
二、污泥的性质与特点	378
第三节 污泥处理处置方法与回用类别	383
一、污泥的处理方法	383
二、污泥的处置方法简介	400
三、污泥的回用类别	403
第四节 污泥的堆肥化与农用资源化	403

一、堆肥化技术发展概况	403
二、污泥的堆肥化处理	405
三、污泥堆肥农业回用的安全性要求	422
第五节 污泥的能源利用	431
一、污泥的厌氧消化处理与沼气利用	431
二、污泥的焚烧处理与热源利用	437
三、污泥的热化学处理与炼油技术简介	439
参考文献	442
第十二章 我国西部开发与城市污水回用	445
第一节 城市污水回用在西部开发中的地位与作用	445
一、西部开发水的问题是关键	445
二、污水回用在建设西部绿色屏障中的作用	446
第二节 西部干旱地区的水资源和水文循环的特点	447
一、西北地区水资源特点	447
二、西北地区的水循环特点	448
第三节 西部地区城市污水林、农业回用的可行性	450
一、国内外污水林、农业回用先进事例的启示	450
二、污水林、农业回用的水质要求和对作物、人群的环境 效应	451
第四节 污水林、农业回用的概念设计	457
一、概述	457
二、模拟 20 万人口城市污水林、农业回用设计简介	459
三、模拟 2 万人口城镇污水林、农业回用设计简介	464
四、模拟 0.2 万人口村镇污水林、农业回用设计简介	468
第五节 城市污水灌溉公路和铁路路树	471
一、概述	471
二、公路植树与污水浇灌的可行性	471
三、公路两旁种植路树工艺设计简介	472
四、铁路两旁种植路树工艺设计简介	476
讨论与结论	480
参考文献	482
第十三章 我国城市污水处理与回用展望	484
第一节 关于实现城市污水处理率的展望	484

一、2010 年实现污水处理率 50% 以上的指标是符合国情的	
先进指标	484
二、适宜的技术政策措施是实现污水处理率的基本条件	485
第二节 关于我国城市污水回用的展望	487
一、国外发达国家城市污水回用经验的启示	487
二、2010 年实现污水回用率 30% 以上指标是比较合理可行的	488
第三节 实现污水处理与回用目标的几个问题的讨论	488
一、处理好污水处理达标排放与污水处理合格回用的关系	488
二、处理好污水农业回用与城市（含工业）回用的关系	490
三、关于实现城市污水回用工程与远距离取水工程远近结合的	
浅议	492
四、关于城市污水处理厂建设中一些具体问题的浅议	494
参考文献	495

第一章 绪 论

水，作为人类所需的不可替代的一种资源，是社会持续发展的重要支柱之一。在某种涵义上水资源的质量比数量更为重要，因为只有符合一定质量标准的水于社会才有意义。近百年来城市化、工业化和农业集约化的高速发展，人口爆炸性的增长，给全球资源、环境都带来了巨大的压力。人类自身生存发展不仅消耗巨量水资源，而且还向环境中排放大量的污染物，造成水环境的明显恶化，使全球可利用的淡水资源日益减少，供需矛盾加剧，而全球气候变化又使水资源利用产生一系列新问题。

1973 年 3 月，联合国召开的水资源会议就曾庄严地宣告：“水不久将成为一个深刻的社会危机。世界上的石油危机之后的下一个危机就是水的危机。”全球关于水问题的社会呼吁此起彼伏，对水的关注和研究已不再局限于科技界，全社会包括政府和民众都表现出极大的关注和深深的忧虑。面对 21 世纪的发展，人类必须对水资源、水污染、水回用及其对社会发展产生的深刻影响进行科学分析和研究，为社会经济可持续发展探讨应对水危机的战略对策。

第一节 水资源与水污染

一、水资源

(一) 淡水资源储量短缺

地球上的水资源，广义上是指“全部自然界任何形态的水，包括气态水、液态水和固态水的全部量”；狭义上是指在一定经济技术条件下较容易被人类利用的，可以逐年恢复的淡水资源。广义上的水资源据联合国 1977 年统计约有 138.6 亿亿 m^3 ，其中淡水资源仅有 3.5 亿亿 m^3 ，仅占全球水的总储量的 2.53%。在淡水资源中，深层地下水、两极及高山冰川、永久积雪和永冻层底冰占淡水总储

量的 97.01%，而与人类生产生活密切且较易开发利用的湖泊、河流、浅层地下水等淡水储量仅为 104.6 万亿 m^3 ，只分别占地球水总储量的 0.0091% 和淡水总量的 2.99%。据资料报道，世界上有国际河流与湖泊 214 条（个），其流域面积约占全球陆地面积的 47%，储存水量约占世界淡水资源的一半。在非洲、南美洲和欧洲，国际河流流域面积占其大陆面积 60% 以上。在亚洲，约占 65% 的面积为国际河流流域。全世界有 44 个国家至少 80% 的土地面积位于国际河流流域，全球约有 40% 的人口生活在国际河流流域内。因此，淡水资源实质上是一种非常有限的国际性的自然资源。

中国水资源总量约 2.81 万亿 m^3 ，居世界第 6 位，但人均水资源 2300 m^3 ，公顷（ hm^2 ）均水资源 28500 m^3 ，仅相当世界人均占有量的 1/4，公顷均占有量的 4/5，排在世界第 121 位，是世界 13 个贫水国家之一。我国北方黄河、淮河、海河三个流域人均水资源仅为全国人均的 1/5。到本世纪中叶，按 16 亿人口计，我国人均水资源量将比现在降低 1/4，约为 1700 m^3 ，淡水资源短缺的形势将更加严峻。2000 年中国水资源公报统计，2000 年全国地表水资源量为 2.66 万亿 m^3 ，全国总供水量 5531 亿 m^3 ，全国用水量为 5498 亿 m^3 ，其中生活用水占 10.5%，生产用水占 89.5%（工业用水占 20.7%，农田灌溉占 63.0%，林牧渔业占 5.8%），用水消耗 3012 亿 m^3 ，占总用水量的 55%。

（二）淡水资源分布不均衡

世界淡水资源在地区分布上极不平衡，在各大洲中，亚洲再生性水资源最丰富，占世界总量的 32.19%；其次是南美洲占 23.22%；大洋洲最少，只占 3.94%。但各洲人均再生性水资源大洋洲最多，为世界人均量的 7.88 倍；南美洲次之，为世界人均量的 4.15 倍；亚洲和非洲最少，分别为世界人均量的 53.22% 和 76.48%。淡水资源在各洲内部分布也很不均衡，水资源最丰富的地区为南美洲亚马逊流域、非洲赤道附近地区以及亚洲的印度洋和太平洋季风区等。

中国水资源的特点是受季风影响，在时间和地区上分布很不均衡，洪涝和干旱灾害出现频繁，农业生产不稳定。根据资料，1993年全国各行业用水总量已达到 5255 亿 m^3 ，占全国水资源总量的 18.7%，其中地表水占 83%，地下水占 17%。全国平均人均年用水量 450 m^3 。从全国平均来看似乎尚有潜力，但中国水资源的主要问题是水资源在地区上分布极不均衡，它与人口、耕地资源和经济的分布不相匹配。

根据 1993 年调查资料：全国有 80.4% 的水资源集中分布在长江及其以南地区。该地区人口占全国 53.5%，耕地占全国的 35.2%，GDP 占全国 54.8%；人均水资源量平均为 3490 m^3 ，公顷 (hm^2) 均水资源 64500 m^3 ，属于人多、地少、经济发达、水资源相对比较丰富的地区。该地区 1993 年人均年用水量 450 m^3 ，仅占人均水资源量的 12.7%，可见当地水资源的开发尚有很大潜力。

在长江以北广大地区，人口占全国 44.4%，耕地占全国 59.2%，GDP 占全国 43.4%，而水资源仅占全国 14.7%，属于人多、地多、经济相对发达、水资源短缺的地区，其中尤以黄河、淮河、海河三流域最为突出。三流域的耕地占全国 39.1%，人口占全国 34.8%，GDP 占全国 32.1%，而水资源只占全国 7.7%；人均水资源量接近 500 m^3 ，公顷均水资源少于 6000 m^3 ，是我国水资源最短缺的地区。1993 年，黄淮海三流域人均用水 336 m^3 ，低于全国平均水平，但水资源利用率已达到 71 %。由于丰水年汛期的洪水难以利用，枯水年来水偏少，因此经济合理的水资源可利用量仅为资源量的 50%~60%，可见该地区水资源的开发已接近上限，进一步开发潜力不大。

西北内陆地区，除额尔齐斯河属于外流河，其他河流都属于内陆河流域。来自流域四周高山地区由冰雪和雨水补给的径流量约 1164 亿 m^3 ，地下水的补给量 826 亿 m^3 ，扣除相互转化的重复量，该地区水资源总量达到 1300 亿 m^3 ，占全国的 4.8%。由于西北内陆地区地广人稀，耕地面积占全国 5.6%，人口占全国 2.1 %，GDP 占全国 1.8%，因此人均水资源量达到 5191 m^3 ，公顷均水资