

城市污水回用 技术手册

◆ 金兆丰 徐竟成 主 编
◆ 余志荣 屈计宁 副主编



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

城市污水回用技术手册

金兆丰 徐竟成 主 编
余志荣 屈计宁 副主编

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

城市污水回用技术手册/金兆丰,徐竟成主编. —北京:化学工业出版社, 2003. 11
ISBN 7-5025-4877-7

I. 城… II. ①金…②徐… III. 城市污水-废水综合利用 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 096964 号

城市污水回用技术手册

金兆丰 徐竟成 主编

余志荣 屈计宁 副主编

责任编辑: 管德存 刘兴春

责任校对: 李 林

封面设计: 潘 峰

*

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

中国纺织出版社印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 43 3/4 字数 1088 千字

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4877-7/X·343

定 价: 98.00 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

水是人类生存的基础。自古以来人们就择水而居，现代的人类社会更是与水结下了不解之缘。

中国的水资源总量位居世界第6位。但因为人口众多，人均水资源量却排在世界100位之后，每人每年的人均水资源量只有 $2200\sim 2400\text{m}^3$ ，相当于世界平均人均水资源量 6918m^3 （1998年）的 $1/3$ 左右。再加上中国地域辽阔，水资源的时空分布极不均匀，水资源量总体上呈现由东南向西北递减的趋势，东南部水资源丰富，西北部水资源奇缺；年际降水量极不均匀，雨多则涝，雨少则旱；年内的降雨量大都集中在4~5个月内，大部分地区半年多雨，半年少雨，这样，就造成北方大片地区的资源型缺水现象。另外，随着工农业的发展、城市化进程的加快、人民生活水平的提高，水体污染不断加剧，造成不少地方出现水量虽多却不能使用的水质型缺水现象。

在这样的背景下，人们不得不采取节约用水、保护水资源、开辟新水源等措施来缓解水资源危机。城市污水回用也是其中的有效措施之一，由于它具有水源稳定可靠、处理成本较低等优点，已经越来越受到世界各国人们的重视。美国污水回用始于1926年，1995年污水回用量达到 $14.1\times 10^8\text{m}^3$ ；日本从20世纪50年代开始建设中水道，50年后的今天，再生水回用的比例已经占全部用水量的1.5%。我国从20世纪80年代着手研究城市污水的回用，20多年来，城市污水回用工作得到了长足的发展，并逐步受到民众和政府的重视，已被明确写入国民经济和社会发展第十个五年计划纲要。为了推动今后污水回用工作的进一步开展，当前很需要理论与实践相结合、内容系统全面、注重实用、能反映污水回用最新动态的技术手册。为此，我们查阅、收集和分析了国内外大量有关水资源及污水回用方面最新的文献和工程实例，组织力量进行了编写。当全书基本上已经完稿之时，恰逢5项与城市污水回用有关的国家标准《污水再生利用工程设计规范 GB 50335—2002》、《建筑中水设计规范 GB 50336—2002》、《城市污水再生利用—分类 GB/T 18919—2002》、《城市污水再生利用—城市杂用水水质 GB/T 18920—2002》、《城市污水再生利用—景观环境用水水质 GB/T 18921—2002》先后自2003年3~5月发布实施。为了不让这本技术手册留下一问世就落伍的遗憾，我们又以5项新国家标准为蓝本，对手册有关章节做了全面修改。

现在，呈献给读者的这本《城市污水回用技术手册》，可以说是5项新国家标准实施以来的城市污水回用领域的第一本专业书籍。

本书共分四篇十九章。第一篇“总论篇”包括“水环境污染与水资源短缺”、“城市污水回用概述”、“城市污水回用的水质要求与标准”三章；第二篇“技术篇”包括“预处理技术”、“生物处理技术”、“深度处理技术”、“污泥的处理和处置”四章；第三篇“回用篇”包括“城市污水回用于工业”、“城市污水回用于城市杂用水”、“城市污水回用于景观环境用水”、“楼宇中水回用”、“小区中水回用”、“城市污水回用于补充水源”、“城市污水回用于农业与土地处理”、“城市雨水收集利用及进展”八章；第四篇“设计与评价篇”包括“回用水水质监测”、“城市污水回用风险评价”、“检测仪表及自动控制”、“城市污水回用工程规划与

0A05 3/04

设计”四章。

本书可供环境工程、给水排水工程专业以及其他相关专业的科研、设计人员阅读，也可供高等学校教师、本专科学生、研究生参考。

本书由金兆丰、徐竟成主编，余志荣、屈计宁任副主编；其中，第一、第十五章由金兆丰编写，第二、第十一、第十二、第十七章第3节、第十九章由徐竟成编写，第三、第八、第九、第十三、第十四章由金兆丰、徐竟成编写，第四、第五、第六章由余志荣编写，第七章由屈计宁编写，第十章由成丽华编写，第十六章由朱毓秀编写，第十七章第1、第2、第4节由杨海真编写，第十八章由黄菊文编写，全书由金兆丰统稿。

王健、李平元、林媛媛、鲁敏、郑涛等参加了本书的资料收集和部分编写工作，朱肇源、张奎、韩庆祥、胡锋平、方先金、刘国才、柯崇宜、张泳、舒昕、王立彤为编写工作提供了资料和实例。

值本书出版之际，谨向支持编写工作的以上各位致谢。

列在各章之后的参考文献为编写本书提供了大量有益的资料和数据，在此向这些文献的作者们表示深切的敬意和谢意。

由于作者水平所限，书中疏漏和错误之处难免，恳请读者批评指正。

金兆丰
于同济大学
2003.8

内 容 提 要

本书是5项新国家标准实施以来的城市污水回用领域的第一本专业书籍。全书共分四篇十九章,主要介绍了水环境污染与水资源短缺、城市污水回用概述、城市污水回用的水质要求与标准、预处理技术、生物处理技术、深度处理技术、污泥的处理和处置、城市污水回用工业、城市污水回用于城市杂用水、城市污水回用于景观环境用水、楼宇中水回用、小区中水回用、城市污水回用于补充水源、城市污水回用于农村与土地处理、城市雨水收集利用及进展、回用水水质监测、城市污水回用风险等内容。

本书内容丰富,系统性强,具有较强的理论性、技术性和实践性,可供环境工程、给排水工程及相关专业的科研、设计人员阅读,也可供高等院校相关专业的师生参考。

目 录

第一篇 总 论 篇

第一章 水环境污染与水资源短缺	1
第一节 水与水资源	1
一、地球上的水.....	1
二、地球水量储量与循环.....	7
三、水资源与水资源量.....	11
四、世界水资源.....	17
五、中国水资源.....	22
第二节 水资源危机与对策	33
一、水资源短缺.....	33
二、水环境污染.....	37
三、节约用水.....	42
第三节 非传统水资源开发及污水回用	46
一、海水(苦咸水)利用及淡化.....	46
二、人工降雨和雨水利用.....	50
三、跨流域调水.....	52
四、极地冰山淡水资源的开发利用.....	58
五、污水回用.....	59
六、污水回用与其他非传统水源的比较.....	61
第四节 城市污水回用现状与发展趋势	62
一、城市污水回用的历史与现状.....	62
二、城市污水回用的发展趋势.....	68
参考文献	74
第二章 城市污水回用概述	76
第一节 城市污水的性质与特征	76
一、城市污水来源.....	76
二、城市污水的主要污染指标.....	76
三、城市污水的水质特征.....	81
第二节 城市污水回用途径与系统	84
一、技术术语.....	84
二、回用途径综述.....	85
三、回用系统组成.....	88
第三节 城市污水回用技术概论	92

一、常规处理技术的发展	92
二、深度处理技术的应用	94
三、处理技术的组合与集成	94
四、新技术、新工艺的开发	95
五、回用处理工艺方法概要	97
第四节 城市污水回用主要原则与策略	102
一、回用事业的基础	102
二、主要原则与策略	103
参考文献	106
第三章 城市污水回用的水质要求与标准	108
第一节 回用水主要水质指标	108
一、常规指标	108
二、有机物指标	108
三、植物营养指标	109
四、重金属指标	110
五、固体性指标	110
六、其他物理与化学性指标	110
七、卫生学指标	111
第二节 回用水水质要求与标准	111
一、回用水水质基本要求	111
二、回用水水质标准概述	111
三、回用于工业用水水质要求和标准	113
四、回用于城市杂用水水质要求和标准	124
五、回用于景观环境用水水质要求和标准	126
六、回用于补充水源水水质要求和标准	134
七、回用于农业用水水质要求和标准	137
参考文献	139

第二篇 技 术 篇

第四章 预处理技术	140
第一节 格栅	143
一、格栅	143
二、破碎机	146
第二节 水量水质调节技术	146
第三节 沉淀技术	148
一、沉砂池	148
二、沉淀池	152
第四节 强化预处理技术	155
一、概述	155
二、物化一级强化处理工艺	156

三、生物一级强化处理工艺	157
参考文献	159
第五章 生物处理技术	160
第一节 活性污泥法技术	160
一、活性污泥法的基本原理及流程	160
二、活性污泥	161
三、活性污泥的增长规律	165
四、活性污泥降解有机物的规律	166
五、控制活性污泥法过程的要素	167
六、传统活性污泥法工艺	169
第二节 生物膜法技术	171
一、生物膜法基本概念	171
二、传统生物膜法处理工艺	177
第三节 稳定塘技术	181
一、概述	181
二、稳定塘的净化原理	182
三、稳定塘分类	183
四、稳定塘的利用	187
第四节 AB、A/O 和 A²/O 技术	188
一、AB 工艺 (absorption biodegradation)	188
二、A/O、A ² /O 工艺	191
第五节 氧化沟技术	195
一、概述	195
二、氧化沟的工艺原理与技术特点	196
三、氧化沟的类型	196
第六节 曝气生物滤池技术	202
一、概述	202
二、曝气生物滤池的基本工作原理	203
三、曝气生物滤池的填料	203
四、曝气生物滤池的类型	204
五、组合工艺流程	205
六、曝气生物滤池的优点及缺点	205
第七节 SBR 技术	206
一、概述	206
二、工作原理及基本运行操作	207
三、工艺性能特点	208
四、SBR 工艺的变形和发展	209
第八节 膜生物反应器技术	215
一、概述	215
二、膜生物反应器的一般特性	215

三、浸没式中空纤维膜生物反应器	216
四、膜生物反应器的工艺流程	218
参考文献	219
第六章 深度处理技术	221
第一节 混凝技术	221
一、概述	221
二、混凝原理	221
三、混凝单元技术	228
第二节 过滤技术	233
一、概述	233
二、过滤单元技术	237
三、过滤技术的应用	245
第三节 氧化还原技术	247
一、概述	247
二、氧化还原单元技术	248
三、氧化还原技术应用	260
第四节 消毒技术	261
一、概述	261
二、消毒单元技术	262
三、消毒法应用	270
第五节 膜分离技术	271
一、概述	271
二、膜分离单元技术	274
三、膜分离技术的应用	280
第六节 水质稳定技术	282
一、概述	282
二、水质稳定处理方法	282
第七节 活性炭吸附技术	288
一、吸附的基本理论	289
二、吸附剂及其再生	293
三、吸附单元技术	297
四、吸附技术的应用	300
第八节 生物活性炭技术	303
一、生物活性炭简述	303
二、生物活性炭工艺的原理	303
三、生物活性炭单元技术	304
四、生物活性炭技术的应用	305
参考文献	307
第七章 污泥的处理和处置	309
第一节 污泥问题概述	309

第二节 污泥的类型、污泥量和污泥性质	309
一、污泥的来源、性质及主要指标	309
二、污泥的产量	311
三、污水处理工艺对污泥量、性质的影响	314
四、污泥处理处置的原则	315
五、污泥处理处置的方法及组合	315
第三节 污泥浓缩	318
一、污泥浓缩的基本概念	318
二、重力浓缩	319
三、气浮浓缩	319
四、机械浓缩	320
五、其他方法	320
第四节 污泥稳定	321
一、污泥稳定基本概念	321
二、污泥稳定方法及技术原理	321
三、评价污泥稳定程度的指标	325
四、影响污泥厌氧消化的主要因素	326
五、污泥厌氧消化法的分类和发展	326
六、污泥消化产品——沼气的利用	328
第五节 污泥调理	328
一、概述	328
二、污泥脱水性能评价指标	329
三、化学调理	329
四、物理调理	330
第六节 污泥脱水	330
一、污泥脱水基本概念	330
二、污泥的机械脱水	330
第七节 污泥干燥	335
一、概述	335
二、污泥干燥方式与设备	335
三、污泥干燥应用与发展前景	339
第八节 污泥填埋	339
一、概述	339
二、污泥填埋的技术要求	340
第九节 污泥焚烧	342
一、概述	342
二、焚烧方式及设备	342
三、污泥焚烧的应用与发展前景	343
第十节 污泥的土地利用	344
一、概述	344

二、土地利用方式	344
三、利用的限制条件及预处理要求	345
四、污泥土地利用的预处理方法	346
五、对环境的影响及解决办法	347
六、各国污泥土地利用的标准分析	348
七、污水污泥科学合理的土地利用对策	351
参考文献	352

第三篇 回 用 篇

第八章 城市污水回用于工业	354
第一节 城市污水回用于工业的概况	354
一、国外城市污水回用于工业概况	354
二、国内城市污水回用于工业概况	355
第二节 回用于工业的主要用途和水质要求	356
一、工业冷却系统用水	357
二、锅炉水	366
三、工艺用水	366
第三节 回用于工业的处理技术与工艺	370
一、城市污水处理厂净化技术	370
二、深度处理技术	371
第四节 处理工艺与应用实例	373
一、回用于冷却水	373
二、回用于锅炉水	380
三、回用于工艺用水	382
参考文献	386
第九章 城市污水回用于城市杂用水	388
第一节 概述	388
一、城市污水回用于城市杂用水的特点	388
二、国内外城市杂用水利用回用水的历史和发展	389
第二节 回用途径及水质标准	390
一、回用途径	390
二、回用水水质标准	393
第三节 回用系统与处理技术	393
一、回用系统类型	393
二、回用处理技术	394
三、输水方式	394
四、安全控制	394
第四节 应用实例	396
一、高碑店污水处理厂	396
二、San Jose Creek 水再生厂	398

三、新加坡深度处理示范厂·····	398
四、西安市北石桥污水净化中心·····	400
参考文献·····	400
第十章 城市污水回用于景观环境用水 ·····	402
第一节 概述 ·····	402
一、城市水体功能·····	402
二、城市污水在景观环境中的回用·····	402
三、国内外城市污水回用于景观环境的概况·····	403
第二节 城市污水回用于景观环境用水的类型及水质标准 ·····	404
一、术语和定义·····	404
二、城市污水回用于景观环境水体的标准·····	405
三、关于不同城市景观水体的回用控制指标的选择·····	406
第三节 城市污水回用于景观环境的处理技术 ·····	407
一、城市污水回用于景观环境水体的前处理技术·····	407
二、城市污水回用于景观环境用水的深度处理技术·····	411
第四节 城市污水回用于景观环境的处理工艺与应用实例 ·····	415
一、以城市污水为处理原水·····	415
二、以城市污水处理厂二级出水为处理原水·····	422
三、湿地处理系统·····	424
参考文献·····	431
第十一章 楼宇中水回用 ·····	432
第一节 概述 ·····	432
一、楼宇中水回用的特点·····	432
二、国外楼宇中水回用的历史·····	432
三、国内楼宇中水回用的发展·····	433
四、术语·····	434
第二节 楼宇中水原水水质水量 ·····	435
一、楼宇中水原水与中水用途·····	435
二、原水水质水量·····	436
第三节 中水系统 ·····	440
一、中水水质标准·····	440
二、中水系统类型及组成·····	442
三、水量平衡·····	444
四、安全防护与检测控制·····	445
第四节 处理工艺技术 ·····	446
一、处理工艺技术选用原则·····	446
二、单元处理技术·····	447
三、典型流程·····	447
第五节 楼宇中水回用应用实例 ·····	450
一、实例1 北京万泉公寓中水回用工程·····	450

二、实例 2	北京劲松宾馆中水处理	451
三、实例 3	北京西客站中水工程	453
四、实例 4	济南南郊宾馆中水回用处理工艺	454
五、实例 5	济南国际机场污水处理厂改造为中水工程设计	455
六、实例 6	中央人民广播电台大楼中水设备的利用	457
七、实例 7	广州大厦中水回用工程	458
八、实例 8	大连香格里拉大饭店中水回用工程	459
参考文献		462
第十二章	小区中水回用	463
第一节	概述	463
一、	居住小区中水回用的特点	463
二、	小区中水回用的历史与发展	463
第二节	居住小区中水原水水质水量	465
一、	原水选用与回用水用途	465
二、	原水水质水量	467
第三节	中水系统	467
一、	中水水质标准	467
二、	中水系统类型及组成	467
三、	水量平衡	468
四、	安全防护与检测控制	469
第四节	处理工艺技术	469
第五节	小区中水回用应用实例	470
一、	实例 1 日本住宅工团芝山住宅区中水回用工程	470
二、	实例 2 上海宝钢一、二期生活污水处理及回用工程	471
三、	实例 3 大连市老虎滩工人疗养院中水示范工程	474
四、	实例 4 示范居住小区回用工程实例	476
五、	实例 5 山西省委大院中水处理及回用工程设计	476
参考文献		478
第十三章	城市污水回用于补充水源	479
第一节	补充地表水	479
一、	概述	479
二、	回用水水质要求	480
三、	处理工艺及应用	482
第二节	补充地下水	482
一、	概述	482
二、	回用水水质标准及处理技术	484
三、	回用途径与作用	485
四、	回灌技术	488
第三节	应用实例	491
参考文献		496

第十四章 城市污水回用于农业与土地处理	498
第一节 概述	498
一、国外城市污水回用于农业灌溉概况.....	498
二、国内城市污水回用于农业灌溉概况.....	500
三、城市污水回用于农业的特点.....	501
第二节 回用于农业灌溉的水质要求与影响	502
一、回用于农业灌溉水质基本要求.....	502
二、污水性质的影响.....	502
三、回用于农业灌溉水质标准.....	509
第三节 回用于农业灌溉的处理工艺与应用	512
一、一级处理.....	513
二、二级处理.....	513
三、三级处理（深度处理）.....	514
第四节 回用于农业的灌溉系统	515
一、回用水输送系统.....	515
二、回用水灌溉系统.....	515
三、回用水蓄水系统.....	516
第五节 土地处理系统	517
一、土地处理系统的组成.....	517
二、土壤—植物系统的净化机理.....	519
三、土地处理工艺概述.....	519
第六节 应用实例	523
参考文献	527
第十五章 城市雨水收集利用及进展	529
第一节 城市雨水利用历史	529
一、雨水利用的古代文明.....	529
二、雨水利用的兴起.....	530
三、雨水利用现状.....	530
第二节 城市雨水资源的水质特点	532
一、屋顶（面）雨水径流.....	533
二、地面雨水径流.....	534
三、绿地、天然山坡和岩石等其他雨水径流.....	535
第三节 城市雨水利用系统与技术	535
一、城市雨水集流技术.....	536
二、雨水截流传输和贮存技术.....	537
三、雨水径流渗透技术.....	538
四、雨水径流水质控制技术.....	541
五、雨水径流的净化技术和回用系统.....	541
第四节 不同类型雨水利用实例	543
一、大面积商业开发区的雨水利用.....	543

二、居民小区的雨水利用	545
三、单户家庭雨水利用	547
四、海岛雨水利用	548
五、其他的雨水利用	548
第五节 雨水利用的研究与进展	552
参考文献	553

第四篇 设计与评价篇

第十六章 回用水水质监测	554
第一节 概述	554
一、监测方法	554
二、数据处理	555
三、水样的采集和保存	557
第二节 物理性质的检验	559
一、水温	559
二、臭	560
三、色度	561
四、浊度	562
五、悬浮性固体	563
六、溶解性固体	564
七、pH 值	565
第三节 金属化合物的测定	566
一、铁	566
二、锰	569
三、其他金属化合物	570
第四节 非金属无机物的测定	570
一、总碱度	570
二、总硬度	571
三、氨氮	572
四、凯氏氮	576
五、总磷	577
六、氯化物	579
七、余氯	581
第五节 有机化合物的测定	583
一、化学需氧量 (COD)	583
二、生化需氧量	585
三、石油类和动植物油	588
四、挥发性酚类	591
五、阴离子洗涤剂	595
第六节 生物监测方法	596

一、水中细菌总数的测定	596
二、水中总大肠菌群的测定	598
参考文献	604
第十七章 城市污水回用风险评价	605
第一节 概述	605
一、城市污水回用途径与分类	605
二、城市污水中可能存在的污染物质	605
第二节 回用水中的污染物组分	608
第三节 城市污水回用风险评价的主要内容	609
一、风险的定义、可接受性和不确定性	609
二、引起城市污水回用风险的主要因素	611
三、城市污水回用风险评价的主要内容	612
第四节 城市污水回用风险评价的基本方法	615
一、影响确定的污染物评价	615
二、影响不确定的污染物评价	616
参考文献	618
第十八章 检测仪表及自动控制	620
第一节 检测仪表	620
一、城市污水回用工程检测仪表	620
二、智能仪表	626
三、检测仪表的抗干扰措施	627
第二节 自动控制器	627
一、可编程控制器的定义	628
二、可编程控制器的特点	628
三、可编程控制器的构成	628
四、可编程控制器与其他工业控制系统的比较	629
五、可编程控制器在水处理行业的应用与发展	630
第三节 自动控制执行装置	631
一、泵	631
二、调节阀	631
三、计量泵	632
第四节 污水处理的自动控制系统	632
一、自动控制系统的特点、分类及其性能指标	632
二、目前我国污水处理厂常用的计算机自动控制系统的类型	634
三、自动化控制系统的网络传输介质	636
四、自动控制系统的软件	637
第五节 集散型控制系统	639
一、集散控制系统各层的功能	639
二、集散控制系统的基本组成	641
第六节 现场总线技术	642