

分散式污水处理 与回用

王 琳 王宝贞 编著



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

分散式污水处理与回用

王 琳 王宝贞 编著

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

分散式污水处理与回用/王琳, 王宝贞编著. —北京:
化学工业出版社, 2003. 4
ISBN 7-5025-4369-4

I. 分… II. ①王…②王… III. ①污水处理
②废水综合利用 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 018288 号

分散式污水处理与回用

王 琳 王宝贞 编著

责任编辑: 董 琳

责任校对: 郑 捷

封面设计: 蒋艳君

*

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

北京市彩桥印刷厂印刷

北京市彩桥印刷厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 11 $\frac{1}{4}$ 字数 312 千字

2003 年 5 月第 1 版 2003 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4369-4/X·258

定 价: 30.00 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

水是经济社会发展和生活质量改善的关键。然而在新世纪到来的时候，水却成为许多重大问题的根源。

虽然地球表面的 $\frac{2}{3}$ 被水覆盖，但淡水资源仅占其中的 2.5%，人类可利用的淡水只占全球水总量的 0.26%，人类可以从江河湖泊中取用的淡水只占全球水总量的 0.014%。根据联合国统计，自 20 世纪初以来，全球淡水消耗量的增长速度提高了 2 倍。

用水量的增加使世界上许多主要河流的水都不能流入海洋了，或者到达海洋时，仅剩很少的水。美国西南部的主要河流科罗拉多河，已经不能到达加利福尼亚海湾；埃及的生命线尼罗河，到达地中海时仅剩少量的水。印度和孟加拉国共享的恒河，达到孟加拉湾时，所剩无几。中国的黄河，中华民族古文明的发祥地，1972 年首次经历约 15 天的枯竭，之后断流间歇性发生，1997 年曾长达 220 天之久。

在日益复杂的造成水资源短缺的成因中，对水的影响难以估价的原因之一就是气候。在山区气温平均升高 1~2 度，就能够显著地影响降雨和降雪之间的降水量的调配，即以降雨形式的降水量显著增加，以降雪形式的降水量显著减少，从而造成洪水和干旱频繁发生。在亚洲的每一条河流都发源于山顶冰雪，降雪量的减少，使旱季河流里的水量更少。

1978 年全球有 214 条国际性流域。随着苏联的解体，巴尔干半岛各国的形成，国际性流域增加到 261 个。这些河流覆盖全球 45.3% 的地表面积，输送全球 80% 的可用的淡水，横跨 145 个国家和 21 部落。水资源的短缺，使国家内部、国家之间的局势紧张和争端不可避免，成为战争的策源地。水环境可持续发展的问题、水的流域化治理的方法、水的流域与政治边界无关成为世界各国关

心的首要问题。

工业化和现代农业的发展，创造了巨大的物质财富，同时也带来了水环境的严重污染，使本来已经短缺的水资源雪上加霜。1999年全球有14亿人口缺乏安全的清洁的饮用水，预计到2025年缺水的人口将达到30亿。全球每年为人们生活和企业生产供水，所花的费用为4000亿美元，相当于石油工业产值的40%，超过全球的制药业的1/3，而这仅是开始。在21世纪，水对人类的重要性将同石油在20世纪对人类的重要性一样，它将成为决定国家富裕程度的珍贵商品。

在水的竞争，农业总是处于弱者的地位，在国家发展政策中城市和工业具有优先权。中国长期坚持在粮食生产上自给自足，但由于近年水资源短缺，将不得不增加粮食的进口。这实际上是以进口粮食的形式在进口水。水短缺正在影响着世界粮食的格局。

此外，重新审视水坝、调水、修水库、集中的污水处理等一系列的解决水资源短缺和水污染的措施，近1个世纪又有了更大发展。各个国家，尤其是发达国家都积累了大量的经验和教训。2000年美国调整水领域的总体战略目标，由单纯的水污染控制转变为全方位的水环境的可持续发展；英国提出了流域一体化治理的新思路，率先进行了水管理的企业的私有化，取得了成功的经验；欧共体新出台的条例在探索适合欧共体新世纪的战略目标和解决跨流域的水资源的管理方法。

中国作为历史悠久，人口众多，地域辽阔的国家，几乎经历了所有发生在其他国家和地区的所有水资源的问题。如何解决中国的水资源短缺，实现中国的水环境的可持续发展，正如一位哲人所说：“应该从战略的高度来看这个问题”。的确，既然水已经成为新世纪的战争的策源地，成为经济社会发展的桎梏，就应从战略的高度来看待这个问题，因此也就有必要确定中国水领域的战略目标，从根本上解决我国面临的水资源短缺的挑战。

当水资源成为21世纪国家最重要的战略性经济资源时，如何有效控制水环境污染和解决水资源短缺，已成为各国政府的重点议

题之一。在众多的途径中，人们发现污水是一种稳定可靠的、可再生的水资源。污水回收与再用在控制水环境污染的同时，实现污水中物质、能量和水的回收，成为解决水资源短缺的有效措施，是实现水的良性循环的关键。

编著者

2003 年 1 月

内 容 提 要

污水是一种稳定可靠的、可再生的水资源。污水处理与回用成为解决水资源短缺的有效措施，是实现水的良性循环的关键。

本书结合国内外水资源状况、水污染及污水回用的现状，重点介绍了污水处理与回用的发展历程、污水回用标准体系、污水的分散处理、污泥与污泥减量技术、雨水的处理与利用等。本书资料丰富、技术内容新颖、概念理论清晰、实用性强，对我国污水处理与回用起到很好的指导和借鉴作用。

本书可供环境工程、环境保护研究及工程技术人员，高等院校相关专业师生学习参考。

目 录

第 1 章 水污染控制的技术发展历程	1
1.1 流行病推动污水处理发展	5
1.2 污水处理	7
1.3 初级沉淀	9
1.4 生物滤池	10
1.5 化学沉淀	12
1.6 污水处理的皇家委员会	12
1.7 活性污泥处理法	13
1.8 二次世界大战后的发展	14
1.9 污水处理大事记	18
1.10 中国城市污水处理的进程与技术方法	21
1.11 小结	23
第 2 章 水资源短缺与水环境污染	24
2.1 世界水资源的概况	25
2.2 水资源短缺将重塑世界	29
2.3 含水层枯竭——一个新问题	30
2.4 复杂、严重污染的水环境	32
2.5 中国的水环境污染与水资源短缺	36
2.5.1 水环境污染	36
2.5.2 水资源短缺	40
2.6 国外城市水污染控制的技术措施	41
2.6.1 国外根据水域功能区划进行水污染控制的措施	42
2.6.2 普及城市污水处理厂	43
2.6.3 缺水城市的污水回收与再用	45
2.7 小结	46
第 3 章 水循环	47
3.1 污水回用的历史	49

3.2 南非的污水回用	53
3.2.1 水回收和回用的政策	54
3.2.2 工业回用	55
3.2.3 市政回用-水再用作饮用水源	56
3.3 意大利	56
3.3.1 法规	57
3.3.2 污水回用的前景	59
3.3.3 污水回用项目	62
3.4 美国的污水再生回用	63
3.4.1 美国水回收与再用的法规	68
3.4.2 佛罗里达州圣彼得斯堡的废水再生与回用实例	90
3.4.3 亚利桑那州派洛浮弟 (Palo Verde) 核电站使用 回收水作冷却水	91
3.4.4 加利福尼亚州洛杉矶县回收水回灌地下	93
3.4.5 加利福尼亚州橘子县 21 世纪水厂	94
3.4.6 美国污水回用标准体系的形成	96
3.5 日本的污水回收与回用	101
3.5.1 水回用计划	103
3.5.2 水循环的法规和水质标准	105
3.5.3 实例介绍	107
3.6 污水回用的导则与规范	107
3.6.1 回收水的用途	107
3.6.2 回用的条件	108
3.6.3 影响出水标准发展的因素	108
3.7 中国的污水回收与再用	109
3.7.1 城市污水回用的经济性	110
3.7.2 中国市政污水回收与再用的现状	111
3.8 小结	119
第 4 章 污水回用标准体系	121
4.1 污水回用标准分析	121
4.1.1 从给排水标准体系方面进行分析	121
4.1.2 从回用标准模式方面进行分析	122
4.2 标准中的水质参数	123

4.2.1	污水的微生物指标	123
4.2.2	污水的化学指标	127
4.2.3	污水的物理指标	131
4.3	污水回用于灌溉的标准	133
4.3.1	国内外再生水回用于农业灌溉现状	133
4.3.2	国外污水回用于灌溉标准的现状	136
4.3.3	中国污水回用灌溉标准的制定	144
4.3.4	农业灌溉的标准模式	165
4.4	污水回用于景观娱乐用水标准	166
4.4.1	背景	166
4.4.2	污水景观娱乐回用水的特点	169
4.4.3	标准制定	169
4.5	污水回用于地下水回灌	173
4.5.1	背景	173
4.5.2	工程实例分析	175
4.5.3	“多级屏障”处理工艺	177
4.5.4	规章分析	179
4.5.5	中国再生水回灌	181
4.6	污水回用标准的模式探讨	184
4.6.1	分级实施标准思想的提出	184
4.6.2	分级依据的选择	185
4.6.3	普通标准体系和分级体系的比较	186
4.6.4	分级体系	187
4.6.5	建议	189
第5章	污水的分散处理	190
5.1	分散处理的意义	190
5.2	住区污水的性质	192
5.3	污水回用的方式	197
5.3.1	污水回用的方式分类	197
5.3.2	污水回用的技术措施	198
5.4	居住小区污水量的计算	201
5.4.1	小区用水量计算——小区用水分类	201
5.4.2	各类用途用水量的计算	202

5.5	住宅小区污水的回收与利用	205
5.5.1	污水处理与回收利用	205
5.5.2	污水处理系统	206
5.6	污水分散处理技术	207
5.6.1	活性污泥法及其优缺点	207
5.6.2	生物膜法及其优缺点	210
5.6.3	活性污泥法与生物膜法的比较	212
5.6.4	活性污泥生物膜复合生物反应器系统	214
5.6.5	复合生物反应器的研究现状	218
5.7	复合式生物处理技术示范工程	222
5.7.1	概述	222
5.7.2	污水处理厂的设计与运行	222
5.8	膜生物反应器	232
5.8.1	膜生物反应器 (MBR) 工艺的研究进展	234
5.8.2	MBR 在国内的研究进展	240
5.8.3	MBR 的应用现状	243
5.8.4	MBR 的分类及特点	244
5.8.5	膜生物反应器常用的膜——超滤膜及微滤膜	249
5.8.6	膜材料的发展趋势	254
5.9	膜生物反应器 (MBR) 中试实验研究	255
5.9.1	淹没式平板膜和中空纤维膜组件的膜生物反应器的中试 试验装置	255
5.9.2	两种膜组件的技术参数对比	257
5.9.3	试验结果讨论	260
5.10	利用纳滤分离膜进行小区污水处理	270
5.10.1	纳滤膜的分类及特性	270
5.10.2	纳滤膜去除有机物的机理	272
5.10.3	纳滤膜去除阴、阳离子的机理	274
5.10.4	中试设备纳滤膜结构	275
5.10.5	纳滤膜的运行效能	277
5.10.6	固定投资分析	277
5.10.7	运行成本估算	278

第 6 章 污泥与污泥减量技术	279
6.1 污泥的来源与产量	279
6.1.1 污泥的来源	279
6.1.2 污泥产量和处置方式	283
6.2 污泥减量原理与技术	284
6.2.1 对细菌的捕食 (Grazing/Bacterial Predation)	284
6.2.2 微生物强化	286
6.2.3 代谢终止	286
6.2.4 投加酶	287
6.2.5 超声波	288
6.2.6 生物细胞溶解系统	288
6.2.7 臭氧减少剩余污泥量	288
6.2.8 Cambi 工艺: 同时实现污泥减量和生物气产生	289
6.3 利用臭氧氧化进行污泥减量的方法	290
6.3.1 臭氧氧化后污泥中各组分的变化	291
6.3.2 各种污泥分解方式的对比	293
6.3.3 进行污泥预处理适宜的位置	294
6.3.4 利用臭氧氧化的适宜的臭氧浓度	295
6.3.5 臭氧投量与适宜的回流比	298
6.3.6 回流率对污泥产量常数的影响	300
6.3.7 在低 O_3 投量下的污泥产量系数	302
6.3.8 在曝气池中残留的惰性物质的量	303
6.3.9 臭氧氧化污泥的小试的试验结果	304
6.3.10 臭氧氧化污泥生产性试验结果	305
6.3.11 小结	307
6.4 利用原生动物和后生动物进行污泥减量	308
6.4.1 促进原生动物和后生动物产生与污泥减量	310
6.4.2 工业污水生物处理的污泥减量	315
6.4.3 一段式污泥减量工艺	318
6.5 利用延时曝气进行污泥减量	323
6.6 小结	328
第 7 章 雨水的处理与利用	330
7.1 雨水的处理与利用工程实例	332
7.1.1 伦敦世纪圆顶	332

7.1.2 柏林雨水的收集	333
7.1.3 尼日利亚雨水利用	333
7.1.4 丹麦雨水用作生活杂用水	334
7.1.5 中国应用的前景	335
7.2 雨水处理技术	336
7.2.1 雨水水质	336
7.2.2 雨水处理方法	336
7.3 雨水的回用对象	341
7.4 雨水回用发展历程	343
7.5 住宅小区雨水的利用	345
参考文献	347

第 1 章 水污染控制的技术发展历程

城市的产生可追溯到遥远的古代，距今 4300~4800 年以前。我国在春秋战国时期，人们对城市与水的认识已经上升到一定的理性高度。据《管子》一书记载“凡立国都，非于大山之下，必于大川之上，高勿近旱，而用水足，下勿近水，而沟防省”，意即选择城市用地要依山靠水，便于取水和防洪。

距今 2000 年以前，中国和世界其他文明古国涌现了一批著名的城市，如亚历山大（埃及）、雅典（希腊）、罗马（意大利）、西安（中国）、瓦拉纳西（印度）、大马士革（叙利亚）等。随着这些大城市的出现，大量的人口涌入城市，城市人口多则 50 万，少则 10 万左右，城市的需水量也在增加。为了解决用水问题，古代的大城市都建在江河或湖泊岸边，这样便于取水，如汉唐都长安，四周有泾、渭、灞、沣、涝等河流。

从利用江河湖泊，到在旱地上掘井取地下水，拓宽了人类的生存空间。《吕氏春秋·勿躬篇》中“伯益作井”（公元前约 2200 年），是世界上最早的可信的掘井记载，详细记载了春秋时期，伯益发明的深井钻井机械。

在公元前 3000 年，埃及人在采石场研究并使用了完善的取水钻井技术。欧洲地处温带，比较容易找到水源，12 世纪初，在佛兰德和英格兰发现了自流井。在同一世纪，英国的修士发明了撞击钻探技术，经过多次的革新，发明了抽水马桶和室内卫生设备。1340 年佛兰德的布鲁日已经有了市政供水系统——一个中央储水罐，使用埋在地下的链桶把水抽到公共水龙头。两个世纪后，伦敦在伦敦桥下建了一个笨拙的新玩艺，一系列由水轮推动的五个泵组成的机械装置把水送到全市。

到 16 世纪英国人口大量增长，使伦敦的需水量急剧增加，从

赫特福德郡（位于英国英格兰南部）的泉取水，输送到伦敦北部的 Islington。工程师 Hugh Myddetton 的杰出贡献是创造了“新河”，于 1613 年投入使用，时至今日仍然发挥巨大作用，他还成立了 Myddettons 公司，经营供水，Myddettons 成为伦敦最大的水公司泰晤士-水公司。

在该地区的其他城镇，如牛津和 Guildford，采用重力流管道输送与泵供水的混合方式供水，沟渠和街道抽水机迅速增加，泵是由水车、马和风车驱动的。在 1721 年伦敦首次采用 Smeaton 蒸汽发动机进行驱动，到 1750 年又被 Newcomen 发动机取代。

城镇和城市的兴起也产生了公共卫生问题，在 2000~5000 年以前的古代文明中在一定程度上解决了这个问题，即设计和建造了排水设施。

在美索不达米亚帝国时期（公元前 3500~2500 年），富人的住宅建有与雨水连接排泄管道用来排泄住宅内的污水。在巴比伦，大的住宅中的厕所与直径为 18 英寸的地下竖井相连，这些竖井与穿孔的陶土管相连接，形成污水渗滤区。

中国河南省淮阳挖掘出在龙山文化时期（公元前 2800~2300 年）的古城，在古城中发现了陶质排水管。

在巴基斯坦的 Mohenjo-daio 的 Indus 市，富人们和许多农民将厕所和污水池与街道上的排水管道相连，污水流入石砌的污水池中或通过街道的排水管道流入附近的河流。用陶瓷管和通风管将二层的浴室与街道的排水管道连接起来，在街道排水管道上设有人孔，人可进入排水管道进行清理。

在公元前 1700 年的克利特（希腊的一部分）Knossos 的米诺斯王宫中，建有 4 条独立用水泥连接的陶土管的排水系统，该系统将污水排入石砌的下水道中。雨水贮存池通过石砌的输水渠将雨水连续输送到浴室和厕所中，最后将污水排入 Kairatos 河。

古希腊从公元前 300 年至公元 800 年以不同的方式解决了城市排水问题。在雅典将公共厕所污水排入下水道中，送到城外的集水池中，再用砖砌的输水渠道送到农田中，对农作物和果树进行灌溉

和施肥。希腊人定期地用废水冲刷下水道。

大约在公元前 800 年罗马人最初建造了 Cloaca Maxima，中心下水道系统用以排干沼泽地的水，随后在其上扩建了罗马城。这一排水系统还将地表水和污水排入第伯尔河（Tiber），公元 100 年该下水道系统完成，并且直接连接到一些住宅中。在室内用大桶作为贮存水箱用来冲洗厕所，冲洗后的污水排入排水管道中。这些排水管道有许多一直沿用至今。

但是，经排水管道收集的生活污水，直接排放到罗马的街道，使古罗马的街道成为污水汇集渠。虽然许多罗马人使用公用厕所，但是人们仍习惯地将排泄的污物从屋中排到街道上，进入城市附近的下水道，最终进入 Tiber 河。古罗马的引水渠供给的水量充足，这些水还被用来冲洗罗马的街道，即定期地用水冲洗清除街道上的污物和碎屑，也排入城市附近的下水道。

在 19 世纪初期，随着罗马帝国的崩溃，罗马人很难维持上述公共卫生设施的正常运行。依靠长距离的输水渠道进行的大规模供水和需要大量劳动力维持的城市排水系统，需要有效的政府管理和强大军队的保护。在罗马社会和政府衰败后和北部的巴巴列亚人进驻罗马，这一巨大的基础设施丧失了其曾一度起着巨大作用的供水功能。

在黑暗时代（欧洲 476~1000 年）公共卫生设施的建设倒退到原始地步，在巴黎、伦敦和欧洲其他城市，污水全部排到街道上。居民们将盛满人们生活污物的容器扔在街上。当时一种社会风尚：男士为了护送女士，与女士在街道上肩并肩行走，为的是防止从二楼窗户倒下的污水的突然侵袭，就说明了那时公共卫生的状况。

公元 360 年巴黎在古罗马 Lutetia 城的废墟上建立起来。降雨和繁忙的交通将城市的废物降解，或者由清洁工人收集用作肥料。12 世纪巴黎沿塞纳河的一些工厂的主要的经营业务就是将上游排泄的废水作为生产原料，例如皮货、手套制造和制革等工厂建在染料厂的下游以利用它们排入的明矾。13 世纪巴黎的街道敷设了沥青路面，减少了烂泥（垃圾和污水的混合物）的臭气。由于敷上路面，

这些废物便不能被车辆破碎成烂泥，街道的污染变得十分严重，迫使 1348 年瓦罗斯·菲利浦四世（philipe TV de valois）成立了第一支公共卫生工人队伍负责清洁街道，并通过了一项法令，让市民们清扫其房屋前的废物并将他们的垃圾送到垃圾场中，由于市民们的传统习惯和监督不力，这一法令收效不大。

巴黎第一条覆盖的下水道建于 1370 年的 Montmastre 区，将该区的污水排入卢浮宫附近的塞纳河，法国的统治者未曾采取任何措施来改善下水道，致使国王直接受到臭气的侵袭，法兰西斯一世将其母亲转移到 Tuilleries 以逃避臭味，才进行了下水道系统的改造工程。

16 世纪瘟疫横行欧洲一些城市时，法兰西斯一世（1539 年）命令房产主们建造户内厕所收集新住宅内污水，收集后的污水经渗井渗漏到地下，不必经常清掏。户内厕所的清掏和将清掏的污物运送到排放场的费用是十分昂贵的。直到 17 世纪末期，大多数户内厕所污物清掏主要是户内清掏。

根据历史记载，在伦敦早在 1189 年就有了户内厕所。伦敦的第一任市长 Henry Fitzalwyn 规定户内厕所应离相邻的建筑物应有一定距离：石砌厕所不小于 2.5 英尺，其他材料建造的厕所不小于 3.5 英尺。

第一个冲水式厕所是 1596 年由约翰·哈林顿爵士发明的（Sir, John Harrington），可谓现代冲水式厕所。不过，他发明的厕所有几个缺点，其中包括没有防止下水道臭味反窜的回形弯管，因此，并未得到广泛的推广使用（这是可以理解的）。大约 200 年以后，卡明（Gumming）和卜拉德（Bramah）才独立设计了改进型的冲水式厕所。他们发明的冲水式厕所包括了现代冲水式厕所应该具备的所有基本要求和特征：冲水、水箱、冲水阀、上水和虹吸弯管，还有最重要的存水弯管。这一次，全世界都欣然接受了。

在英格兰的伦敦由罗马人敷设全城的陶土管道，许多世纪来一直担负着连续地将水输送到公共浴池和供水设施的任务。与罗马的 Cloaca Maxima 的排水干管相似，伦敦最早的排水系统是排除地表