



国外优秀科技著作出版专项基金资助

# 分散式污水处理和再利用

## —— 概念、系统和实施

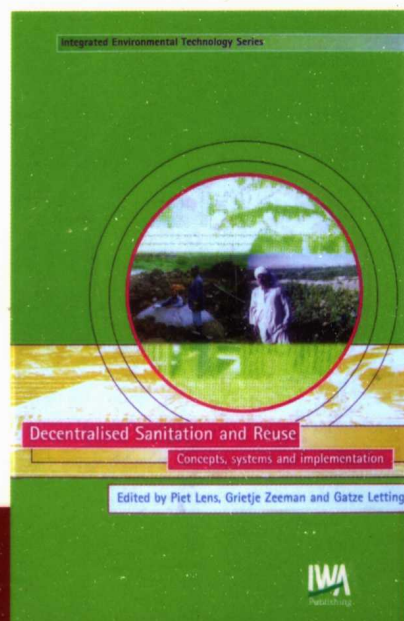
[荷] P. 伦斯  
Piet Lens

G. 泽曼  
Grietje Zeeman

G. 莱廷格 编  
Gatze Lettinga

王晓昌 彭党聪 黄廷林 译

Chemical Industry Press



化学工业出版社  
环境科学与工程出版中心



国外优秀科技著作出版专项基金资助

# 分散式污水处理和再利用

## ——概念、系统和实施

[荷] P. 伦斯      G. 泽曼      G. 莱廷格 编

王晓昌   彭党聪   黄廷林 译



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

分散式污水处理和再利用: 概念、系统和实施 [荷]  
伦斯 (Lens P.), 泽曼 (Zeeman G.), 莱廷格  
(lettinga G.) 编; 王晓昌, 彭党聪, 黄廷林译.  
北京: 化学工业出版社, 2004. 3

书名原文: Decentralised Sanitation and Reuse  
Concepts, Systems and Implementation  
ISBN 7-5025-5382-7

I. 分… II. ①伦…②泽…③莱…④王…⑤彭…⑥黄…  
III. ①污水处理②污水-废水综合利用 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 033576 号

Decentralised Sanitation and Reuse—Concepts, Systems and Implementation/  
Edited by Piet Lens, Grietje Zeeman and Gatzje Lettinga  
ISBN 1-900222-47-7

Copyright © 2001 by IWA Publishing. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by IWA  
publishing of Alliance House, 12 Caxton Street, London, SW1H 0QS, UK.  
WWW. iwapublishing. com.

本书中文简体版由 IWA Publishing 授权化学工业出版社独家出版发行。  
未经出版者许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2002-4881

---

### 分散式污水处理和再利用 ——概念、系统和实施

[荷] P. 伦斯 G. 泽曼 G. 莱廷格 编  
王晓昌 彭党聪 黄廷林 译  
责任编辑: 董琳 王斌  
责任校对: 李林  
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  
北京管庄永胜印刷厂印刷  
三河市延风装订厂装订  
开本 787mm×1092mm 1/16 印张 26 字数 595 千字  
2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月北京第 1 次印刷  
ISBN 7-5025-5382-7/X·422  
定 价: 58.00 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

# 译者的话

---

分散式污水处理和再利用——概念、系统和实施 (Decentralised Sanitation and Reuse——Concepts, System and Implementation) 是国际水协会 (IWA) 2001 年出版的环境技术丛书 (Integrated Environmental Technology Series) 中的一部。结合目前正在从事的国家自然科学基金重点项目“西部干旱缺水地区水资源再生利用研究”，笔者在化学工业出版社的协作下，征得 IWA 出版社 (IWA Publishing) 的同意，对这本书进行了全文翻译。

本书分为 6 个部分，第 1 部分是分散式污水处理与再利用 (DESAR) 的基本概念，主要回顾了污水处理的历史，比较了分散式和集中式污水处理的特点；第 2 部分主要论述了污水的水质特点和污水收集系统；第 3 部分是本书的重点，论述了 DESAR 的相关技术，包括厌氧预处理、后处理、资源回收、灌溉回用等技术；第 4 部分论述了 DESAR 的环境健康风险；第 5 部分论述了 DESAR 的社会和经济问题；第 6 部分论述了与城市规划相协调的 DESAR 系统规划。全书内容比较新颖，由国外数位多年从

事分散式污水处理与再利用领域研究的专家合作编写，大量介绍了国外的实践经验和实用技术，具有很强的实用性。本书系统地介绍了国外分散式污水处理领域的最新研究成果，对于解决我国的水污染问题，推进污水资源化战略有很高的参考价值。本书可作为大专院校环境与市政工程专业师生的教学参考书，也可供相关专业科研人员和工程技术人员学习参考。

本书由西安建筑科技大学王晓昌（前言、第1～12章）、彭党聪（第13～23章）、黄廷林（第24～32章）主译，张建锋、郭瑞光参与了一些章节的翻译和校核。此外，在本书的翻译和编辑过程中，仇付国、王付林、孙程、万俊力等研究生也参与了大量的工作，在此表示衷心的感谢。

译 者

2003年12月

# 前言

---

在 20 世纪我们的社会在各个领域都取得了大量的技术成就，这样的技术革新和发明过程仍在继续，有时甚至以更快的速度在发展。这一过程将进行到什么地方？我们的社会能容纳这些技术成就和革新成果吗？这些成果总能代表人类的进步吗？越来越多的人在关心我们这个世界的社会进步。很多迹象表明，难以令人置信的高速技术进步并未与社会条件及福利的改善保持足够的平衡。亿万人民最基本的生活需要并没有得到满足，人们面临着严重的环境污染，少数人的奢侈生活消耗了太多的自然资源，南北之差、贫富之差在迅速扩大。我们的社会中有一些非常错误的做法是应当纠正的。我们应当学会运用我们的知识和技术为世界上每个人谋福利，而不是为少数特权阶层服务，从而使每个人能在洁净的环境下以可持续的方式来愉快生活。

在我们所面临的种种问题中，卫生设备虽说不上是首要问题，但它确实非常重要，因为卫生设备直接影响生活质量。恶劣的卫生条件意味着人体健康面临严重风险，因此在大多数国家，卫生事业是政府的职责。政府尽其所能控制环境污染，降低由废

物和污水引起的健康风险。由于这个原因，很多国家的通常做法是将粪便和其他生活废物尽可能迅速地输送到远离居民点的地方，而不考虑这些废物的成分、可利用价值以及排出后对相邻地区的影响。虽然我们处置自己排泄物的方式往往延续一些清规戒律，人们还是会问为什么人类自己造成了这种饮食和排泄之间的极度不协调关系。常用的方法是用水将排泄物冲走，而绝大多数人都不想对这种做法所造成的影响负任何责任。这种行为使当今的卫生事业进入进退维谷的境地。有人会问为什么许多人，甚至包括发展中国家的人，宁愿把他们的钱花在买汽车、录像机或手提电话上而不愿投资于卫生设备，创造洁净的环境。看来要改善卫生环境也必须提出如同对其他现代化设备一样的要求，从而使我们及我们的下一代能生活在一个环境和谐的社会中。

实际上，目前的卫生工程技术与 100 年以前的技术仍非常相似，着眼点仍是污染物从人口聚居区域向外输送，资源保护和物质再利用问题尚未得到关注。本书对当今的卫生工程技术进行了批判性的论述和评价，其目的并不在于抵制某种技术，而在于找出改进现有系统的方法，提出和引入新的系统流程以及相应的新概念，以满足可持续发展的要求。除了污水处理技术外，其他方面的问题也应加以考虑，例如与卫生事业相关的建筑、城市规划、社会经济等。本书尤其重视卫生设备和系统的集合，它综合了以上各个方面。

本书的章节构成围绕着一个主要目的，就是介绍相关领域主要的和最新的成果。每一章涉及一个独立的主题，这有助于读者查找自己关心的问题。然而，各个看来完全不同的主题之间实际上又相互关联，因为我们在书中有意地引出并强调了这种关联。我们希望本书的内容既能使有经验的专业技术人员受益，也能对初学者有帮助。

我们感谢所有参编人员对本书及时出版做出的贡献。本书是以 2000 年 6 月 18~23 日在荷兰 Wageningen 举办的欧洲夏日研究班“分散式污水处理和再利用 (Decentralised sanitation and reuse)”的内容为基础，该研究班得到了欧共体“人力资源改善

(Improving the Human Potential)”计划 (IHP-1999-0060) 的资助。除研究班口头讲演外，本书也收入了一些特邀撰写的内容。我们也深深感谢 IWA 出版社的 Alan Click 和 Alan Peterson 为本书出版提供的帮助和支持。

Piet Lens

Grietje Zeeman

Gatze Lettinga

2001 年 3 月于 Wageningen

## 内 容 提 要

本书原著是国际水协会（IWA）2001年出版的环境技术丛书（Integrated Environmental Technology Series）中的一部。全书内容比较新颖，由国外数位多年从事分散式污水处理与再利用领域研究的专家合作编写，大量介绍了国外的实践经验和实用技术，具有很强的实用性。本书系统地介绍了国外分散式污水处理领域的最新研究成果，对于解决目前我国的水污染问题，推进污水资源化战略有很高的参考价值。

本书可作为大专院校环境与市政工程专业师生的教学参考书，也可供相关专业科研人员和工程技术人员学习参考。

# 目 录

---

|                                                 |           |
|-------------------------------------------------|-----------|
| <b>第 1 部分 分散式污水处理与再利用 (DESAR) 的概念<br/>与环境保护</b> | <b>1</b>  |
| 第 1 章 可持续发展的环境保护技术                              | 3         |
| 第 2 章 污水处理的历史                                   | 8         |
| 第 3 章 分散式与集中式污水处理                               | 27        |
| <b>第 2 部分 废弃物和污水的性质及污水收集</b>                    | <b>37</b> |
| 第 4 章 传统混合生活污水的类型、性质和污水量                        | 39        |
| 第 5 章 生活固体废弃物的类型、性质与产生量                         | 50        |
| 第 6 章 污水的收集和输送                                  | 63        |
| 第 7 章 城市卫生的困境                                   | 77        |
| <b>第 3 部分 DESAR 技术</b>                          | <b>87</b> |
| 第 8 章 DESAR 处理混合生活废水的概念                         | 89        |
| 第 9 章 高效源头控制的卫生设备的设计和实践经验                       | 107       |
| 第 10 章 温带气候条件下厌氧处理生活污水的潜力                       | 118       |
| 第 11 章 热带气候条件下厌氧预处理 (AnWT) 生活污水的潜力              | 132       |

|               |                                    |            |
|---------------|------------------------------------|------------|
| 第 12 章        | 厌氧处理系统处理高浓度生活废物（废水）流               | 140        |
| 第 13 章        | 小区污水集成式就地处理——挪威的经验                 | 150        |
| 第 14 章        | 生活污水就地处理——日本的经验                    | 163        |
| 第 15 章        | 厌氧预处理后的污水处理系统                      | 179        |
| 第 16 章        | 污水的自然处理系统——土地处理                    | 190        |
| 第 17 章        | 杂排水处理                              | 210        |
| 第 18 章        | 杂排水的地下水回灌                          | 222        |
| 第 19 章        | 住宅及其他建筑物中水回用的潜能分析                  | 232        |
| 第 20 章        | 基于 DESAR 的营养物回收技术                  | 241        |
| 第 21 章        | 污水灌溉和用作肥料的潜力                       | 255        |
| 第 22 章        | DESAR 技术处理生活垃圾——非洲城市及郊区<br>农业的应用潜力 | 267        |
| 第 23 章        | 污水回用的原则和规范                         | 276        |
| <b>第 4 部分</b> | <b>DESAR 的环境和公共卫生</b>              | <b>289</b> |
| 第 24 章        | DESAR 的卫生问题：水循环                    | 291        |
| 第 25 章        | 废水中固体组分的卫生学情况                      | 301        |
| 第 26 章        | 分散式污水处理与集中式污水处理对环境影响的<br>比较        | 311        |
| <b>第 5 部分</b> | <b>DESAR 的社会和经济问题</b>              | <b>319</b> |
| 第 27 章        | DESAR 系统的公众接受程度                    | 321        |
| 第 28 章        | 环境卫生的公众意识与动员                       | 332        |
| 第 29 章        | DESAR 系统中厌氧消化工艺应用的前景及<br>限制因素      | 343        |
| 第 30 章        | 污水分散处理的微观和宏观经济问题                   | 359        |
| <b>第 6 部分</b> | <b>DESAR 的农业和城市问题</b>              | <b>369</b> |
| 第 31 章        | 关于污水分散处理与回用在新老城镇实施的<br>城市规划问题      | 371        |
| 第 32 章        | 建筑和城市的发展与 DESAR                    | 386        |

# 第 1 部分

分散式污水处理与再利用  
(DESAR) 的概念与环境保护



# 第 1 章 可持续发展的环境保护技术<sup>①</sup>

## 1.1 可持续发展和环境保护

环境质量是我们最关心的问题，尤其关系到我们的子孙后代。我们越来越感觉到保护环境不受污染的方法已经应当有大的改变，例如在地域或全球的水平上怎样保持生活的多样性，怎样防止资源耗竭。我们的社会急需一种可持续的生活方式，这与所采用的环境保护技术密切相关。这也意味着我们要对当今的全球性问题进行全面的、多学科的研究，包括人口过剩、营养不良、沙漠化、水质恶化等。从生态学的角度，我们知道如果人们想可持续地开拓一个生态系统，就必须防止无制约的指数型增殖。生态系统的承载力需要和谐和平衡，人们会怀疑增殖和可持续性是否可能并存。确实，指数型增殖和可持续性是不能并存的。对人类社会而言，这不仅适用于防止资源耗竭，也适用于社会公正，也就是说，要防止以绝大多数人穷困潦倒为代价来维持少数人的极度奢侈。

可持续性确实不算是一个新概念，但却很难在全球范围内被理解和实行。缺乏可持续性的量化参数造成了概念含糊不清，使得政治家和决策者难以清晰地确定目标和行动，尽管有时是可以有意做到的。即使在国际委员会参与的情况下（例如著名的布伦德兰特委员会），对可持续概念定义也过于宽松，以至于各个组织和政府机构可以回避采取可行措施。例如，当政府机构遇到保护水环境免遭污染的严格标准时，会提出这样的问题：在欠发达国家既无经费又无可利用技术来改善环境的情况下，在一个国家或地区追求天堂般的自然环境有何意义？这就像是一种环境万花筒，仅仅能给人民留下一个印象，就是政治家在关心建立一个清洁的环境。这实际上仅提出了短视的目标，与可持续的、健全的环境保护没有任何关系。其结果是发展往往走到与起初的计划相反的方向。

## 1.2 环境保护技术的可持续性

### 1.2.1 集中式卫生设备和可持续性

全世界的污水有 95% 未经处理而排入环境中（Niemczynowics, 1997），到 1997 年，全球有 30 亿人尚未充分利用卫生设备。如果公共卫生设备的建设按目前的进度进行的话，到 2035 年不能使用卫生设备的人口将达到 55 亿，这些人多数生活在拥挤的城市里（Niemczynowics, 1997）。由于缺乏卫生设备，每年有 35 亿人感染肠道性疾病，其中 330 万人丧生。仅在非洲就有 8000 万人蒙受霍乱的威胁，每年发生 1600 万起伤寒感染，原因在于缺乏卫生设备和清洁饮用水（WHO, 1996）。虽然对欧洲国家来说已不大有卫生设备不足的问题，但流行病（例如隐孢子虫、贾的虫、军团菌引起的疾病，甚至霍乱）仍时有爆发，这表明发达国家也面临着卫生设施不当的问题。

---

① 作者为 G. Lettinga, P. Lens, G. Zeeman。

发生这种情况的主要原因之一是现行卫生设备技术的高成本。很明显,公众卫生领域已形成的卫生工程技术主要强调建设高科技的集中式系统,这在投资和运行上都非常昂贵。饮用水处理和输配,污水和固体废弃物的收集、输送和处理都是如此。在20世纪,大量的这种集中式城市卫生系统(CUS)得以发展和应用,尤其在工业化国家是这样(Harrenmoes, 1999)。巨额投资被用于下水道系统的建设,而这些系统的维护管理也非常昂贵(详见第30章)。根据Grau(1994)的估算,年人均国民生产总值(GNP)低于1000美元的国家不仅缺乏污水处理厂的建设资金,而且即便是无偿建起了处理厂,也没有能力进行维护管理。此外,由于下水道系统的寿命仅为50~70年,这种建设投资不得不一次又一次地筹集。

CUS系统是通过庞大的排水系统将污水输送到集中式污水处理厂这样的方式运作的。在这样的系统中,清洁水(通常是自来水)被作为介质来输送像粪便这样浓度相对高的生活废物,而且有用的副产品(例如氮、磷、钾等肥料)很难得到回收。相反,处理过程中又产生了大量非稳定的、污染性的污泥,它不适合于农业回用,因而必须进行处理。这样一来,CUS就远不是可持续性的系统,它的作用的发挥依附于能源供应、计算机硬件等,使得其易遭盗窃、破坏或军事攻击,尤其是在贫穷和政局不稳定的国家。

#### 1.2.2 分散式卫生设备和可持续性

我们当然不能无视20世纪中,尤其是在西方工业化世界,现代CUS系统在保护环境、改善人们生活中所起的重要作用。然而,CUS的许多概念与可持续卫生系统发生抵触(见表1-1)。大量清洁水被浪费于污物的输送,因为污染物以这种方式稀释于水中,人们不得不采用昂贵的、耗能的、技术复杂的工艺来进行污水处理。因此,CUS系统对社会,特别是对欠发达的国家,带来了沉重的经济负担。此外,许多下水道系统无法应付大量的雨水,在暴雨期间,大量未处理的污水随着下水道溢流而排入环境中。CUS的概念是不可持续的,因为它消耗资源并不易进行资源回收(处理水除外)。

表 1-1 可持续卫生系统的准则

|                                               |
|-----------------------------------------------|
| 1. 不用或少用清洁水来稀释高浓度生活(或工业)废物                    |
| 2. 最大限度回收利用处理水和其他副产物,例如用于灌溉、施肥和土壤改良           |
| 3. 应用高效、耐用、可靠的污水收集输送系统和处理技术,这种系统和技术只需很少能源且寿命长 |

在污染扩散方面,CUS系统明显缺乏可持续性。目前,只有富裕的国家才能全部普及卫生设备和处理系统,这仅占世界人口的6%。不论工业化和现代化水平有多高,总还有大部分人生活在乡村。即使在西欧、美国、日本这样高度工业化的国家,也还有20%~40%的人口生活在乡村(Watanabe, Iwasaki, 1997)。在乡村区域,人们修建了度假村、居民区、旅馆、野营地等,这些人为活动都伴随着由污水、固体废弃物引起的污染扩散。各种土地利用活动,如农耕、伐木、建筑、采矿、土地处理等也都造成污染扩散(Boller, 1997)。

人们通常认为采用合适的技术就可以从自然界任意取水,这种概念是造成上述情况的重要原因(Niemczynowics, 1997),只是到了最近几年人们才在考虑我们究竟需要多大的水量和怎样的水质。实际上,仅仅是饮用和炊事需要优质的水,这只占总用水量的5%左右,然而,因为目前只有一个供水管网系统,所有供给用户的水都是相同的水质。

此外，所有从水龙头出来的水最终都受到污染，使得从家庭排出的水都称之为“污水”，实际上其中相当一大部分是“浪费了的水”。

运用分散式城市卫生系统的概念（见表 1-2）可以克服 CUS 系统的许多缺点。这种概念强调防止水的污染（例如少用或不用清洁水来输送污染物），而将家庭排出的高浓度和低浓度污水分别收集、分别处理（见表 1-3），同时强调就近处理，运用低成本、可持续的处理系统，就近回收和利用可用的副产品（见图 1-1），例如水和营养物的农业回用、以沼气形式存在的能源的再利用（Lettinga, 1996；MacKenzie, 1996；Van Lier, Lettinga, 1999）。分散式城市卫生系统（DUS）因为不需要复杂的供能源和供水系统，所以受外界的影响小，且具有简单、耐用的特点（van Riper, Geselbracht, 1998）。

表 1-2 分散式城市卫生系统的概念

|                                   |
|-----------------------------------|
| 1. 不依赖于复杂的基础设施,如供能源、供水设施          |
| 2. 系统的自主建设、运行和维护管理(不依赖于专业人员和专业公司) |
| 3. 不易受到人为破坏                       |
| 4. 便于公众参与,易被社会各界接受                |
| 5. 可应用于各种场合和各种规模                  |

表 1-3 环境污染问题的防止

|                 |
|-----------------|
| 1. 各种可利用资源的全部利用 |
| 2. 不发生水、土地和空气污染 |
| 3. 合理处置各种剩余废物   |

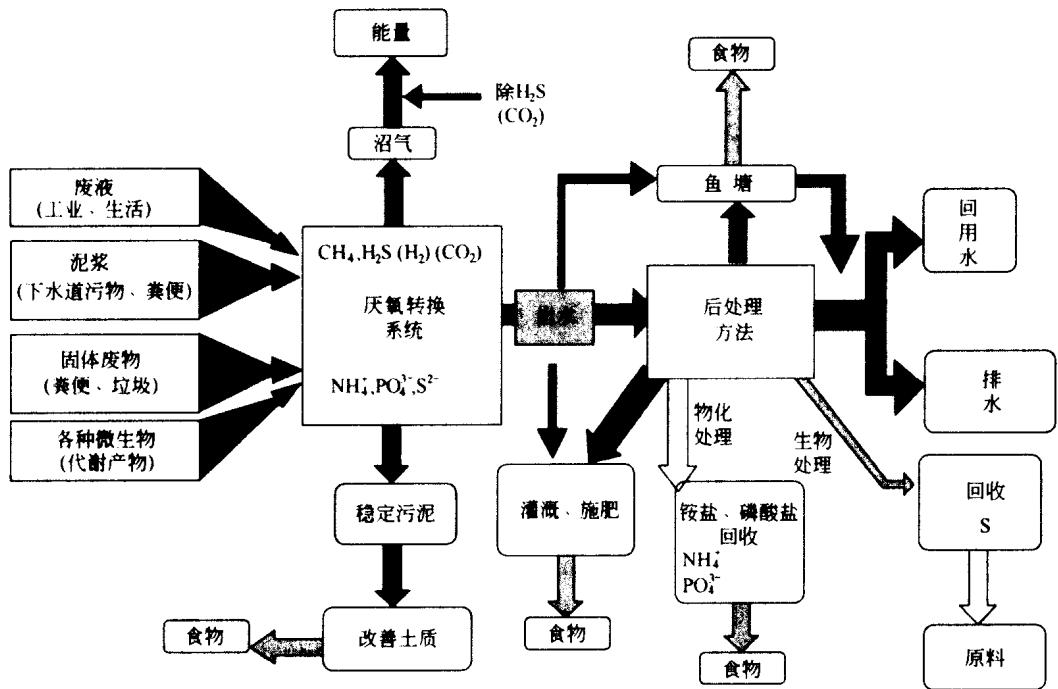


图 1-1 废物资源回收中的厌氧转换潜能

1.2.3 集中式卫生设备和分散式卫生设备的比较

迄今为止，卫生工程界还未致力于开发更具有可持续性和耐用性的新技术，使得分散式卫生设备和再利用（DESAR）的概念能取代集中式卫生设备的概念。表 1-4 列举了以土木工程为先导的卫生工程界对发展和实施低成本、简易、分散式卫生设备来解决环境污染问题所持的怀疑态度。还应当指出，致力于研究所谓低成本污水处理系统（例如湿地处理、氧化塘处理）的课题组也对分散式和集中式处理持有偏见。很明显，每个课题组都热衷于自己研究的系统，尽可能利用一切机会进行商业或者是技术宣传。不幸的是，与人类发展的许多领域一样，科学家们的意见分歧往往以损失那些真正期待问题解决的人的利益为代价，当然也包括大自然本身的损失。

表 1-4 卫生工程界对分散式卫生设备代替集中式卫生设备的评价（Harremoës, 1997）

|                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------|
| 1. 局部污水处理不适用于城市，因为它要么是“低技术”，难以满足卫生需要，难以进行风险评价，要么是“高技术”，要消耗大量的能源 |
| 2. 目前可供选用的“低技术”集中式城市卫生设施系统既不简单又不方便，不见得优于可选用的“高技术”               |
| 3. 现有的分散式城市卫生系统缺乏对于城市环境的适应性、管理性和控制性（标准的维持）                      |

按照 Harremoës（1997, 1999）的说法，目前还看不到“低技术”的奇迹，原因在于环境污染是一个社会问题，而不是一个技术问题。这里我们应认识到的关键一点就是好的低技术系统能够开发出来，而且在一定程度上已经可供应用。毫无疑问，环境污染的根源在于社会而不在于技术，但当今环境污染的主要原因之一就是长期使用非可持续性的集中式卫生系统。现代的西方概念至少在目前对于发达的工业化国家可能看来在经济和技术上是可行的，但对于穷国来说却太昂贵、太复杂（Grau 1996）。然而，工程咨询公司、承包商和科学技术人员并未因此停止在既缺乏资金又缺乏运行管理技能的国家修建这样的系统。

在欠发达国家，对组合式分散卫生系统的需求在不断增加，以力求资源的节省和回收利用，达到 DESAR 型环境保护的目的。这里需要强调的是，DESAR 系统并不是指小规模系统，而是意味着社区内水和营养物循环过程的再调整，这对于相对较大的系统也是能实现的。虽然这种系统的核心部分从本质上来说技术含量不高，具有可持续性，且经久耐用，但技术本身也不能算作“低技术”。为了回收肥料等资源，无疑也需要高技术和集中式系统。各种技术都有其特点和最佳使用条件。

近几十年来，组合式厌氧和物理、化学处理在欧洲国家的工业应用已经明确体现了分散式系统的潜力。当我们要将分散式技术用于卫生领域时，所面临的问题就是“什么是适用于城市各种情况的最好的 DESAR 系统，怎样开发这样的系统？”即使是在公用事业领域推行 DESAR 技术，也并不是说应当立即废除现有的 CUS 系统。然而，我们应当努力逐步推行更具可持续性、经久耐用的卫生系统，限制集中式系统的规模以达到合理优化的目标，而不是将建设 CUS 系统作为惟一的卫生工程技术。要对合理优化下定义还有待于做大量的工作，而且很明显，对于一种特定的情况也许会有多种“最优方案”，而每一方案都有其独自的特点。

本书的目的在于向公共卫生领域提供可持续环境保护方案的选择和实施办法，其内容广