

# 污水再生利用指南

## Guidelines for Water Reuse

美国环保局 (USEPA) 组织编写

胡洪营 魏东斌 王丽莎 等译



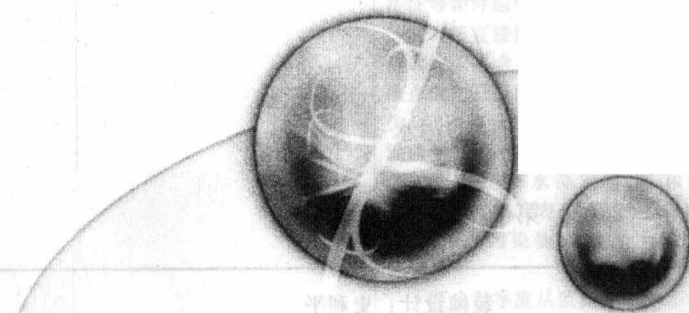
化学工业出版社

# 污水再生利用指南

## Guidelines for Water Reuse

美国环保局 (USEPA) 组织编写

胡洪营 魏东斌 王丽莎 等译



化学工业出版社

· 北京 ·

本书通过大量的案例、丰富的文献资料以及长期积累的实践经验，向读者介绍了美国污水再生利用的指导方针和相关信息，主要包括技术、经济、法律法规、公众参与等方面的问题，最后概述了美国之外的一些国家的污水再生利用状况。书后附有美国各州污水再生利用方面的相关标准、规定等资料。

本书可供污水处理与污水再生利用领域的科研人员、工程设计人员、相关行政管理部門和公司企业人员以及环境工程和给水排水工程领域的学生参考，对我国城市污水再生利用事业的发展有推动作用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

污水再生利用指南/美国环保局 (USEPA) 组织编写；胡洪营，魏东斌，王丽莎等译。—北京：化学工业出版社，2008.2

书名原文：Guidelines for Water Reuse  
ISBN 978-7-122-01849-6

I. 污… II. ①美…②胡…③魏…④王… III. ①污水处理-指南②污水-废水综合利用-指南 IV. X703-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 003737 号

---

责任编辑：徐 娟

装帧设计：史利平

责任校对：李 林

---

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 装：化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 20 字数 536 千字 2008 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

---

定 价：60.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

为了保护有限的水资源，满足不断增长的用水需求，美国乃至全球很多地区都将目光转向污水的再生利用。污水再生利用不仅能有效保护有限的优质淡水资源，还能满足不断增长的用水需求。

多年来，人们普遍认为污水处理厂出水是保证河流最低流量的重要水源。为达到严格的排放要求，在水处理技术方面投入了大量资金，这使得越来越多的工厂和社区开始考虑将处理后的出水加以再生利用以收回部分投资。同时，随着水资源的日益短缺，再生水的利用越来越被认可。再生水有很多种用途，包括景观和农业灌溉、冲厕、工业过程、电厂冷却、地下水回灌及湿地环境的营建、修复与保持等。在部分农村地区，水的再生利用和专门为再生水配备的紫色输送管道系统已完全整合到当地供水系统中。

《污水再生利用指南》探讨了在无需高质量饮用水的情况下，以再生水代替供应的可能性。本书介绍了污水再生利用的指导方针和相关信息，以期为全球特别是美国的水和污水经营单位及政府管理部门提供指导。本书融合了自1992年版发行以来污水再生利用的有关信息，增补了其他国家污水再生利用状况和实践等方面的内容，新增、更新了部分研究案例，拓展了包括间接饮用性利用和工业利用、污水处理和消毒技术方面的新进展、新型化学品和病原微生物问题、污水再生利用的经济分析、使用者付费和融资渠道、公众参与（包括经验和教训）、相关科学研究和结果等内容。此外，本书还更新了美国各州的相关法律法规和联系方式，这些信息对各州建立再生水水质标准、修改和扩展现有法律法规具有重要意义。本书对规划人员、咨询工程师和其他从事污水再生利用项目评价、规划、设计、运行或维护的人员也具有重要的参考价值。

美国环保局水管理副局长 **Benjamin H. Grumbles**

美国环保局研发管理副局长 **Paul Gilman**

美国国际发展署经济发展、农业与贸易管理局代理副局长 **Jacqueline E. Schafer**



# 致 谢

《污水再生利用指南》一书最早于1980年出版发行，并于1992年进行了第一次修订。近年来，污水再生利用得到了持续快速发展。此次修订更新了再生水在广泛领域利用的详细信息，新增了有关再生水的健康影响和处理技术方面的内容，为再生水的利用提供决策支持。本指南涵盖了美国各州与污水再生利用有关的最新法律法规和其他国家的再生水利用实践。许多再生水专家提供了相关文章和研究案例，印证了再生水如何在现实生活中被广泛应用并发挥作用。

本指南汇集了全球范围从再生水的饮用性利用到湿地处理系统等各个方面的研发工作，及污水再生利用示范实践中所获得的大量信息。部分最有用的信息来自：美国自来水厂协会/水环境联盟（AWWA/WEF）的污水再生利用会议论文集（如水环境联盟国内会议和水再生利用会议），发表于WEF和AWWA期刊的文章，指南评审委员会提供的资料，全美科学研究委员会、美国国家科学院关于污水再生和美国水环境研究基金会（WERF）相关专题的系列报告等。

值得注意的是，本指南所提及的法律法规可能是具有法律效力的条文，而本指南中对法律法规的总结和推荐方法不能代替这些法律法规，指南本身也不是任何形式的法规，仅仅是提供一些与污水再生利用有关的法律法规信息，并不对环保局、州、地方或部落政府以及公众等提出强制执行的要求。针对具体的污水再生利用项目，环保局所做的任何决策都将立足于相应的现行法律法规。另外，环保局将继续根据实际需要适时地组织审查、更新这些指南。

本指南是经Camp Dresser & McKee Inc. (CDM公司) 与美国环保局签署合作研发协议(CRADA)，在项目主任Robert L. Matthews(教授级高工，环境工程专业)，项目经理David K. Ammerman(教授级高工)，CDM公司助理Karen K. McCullen(教授级高工)、Valerie P. Going(教授级高工)和Lisa M. Prieto(工程师)等人的领导下完成的。在此还要对James Crook(教授级高工)、Bahman Sheikh博士，CDM公司的Julia Forgas、Gloria Booth、Karen Jones，Farnham and Associates公司的MerriBeth Farnham，Thompson and Thompson Graphics公司的Perry Thompson的大力支持表示衷心感谢。

美国环保局和美国国际发展署(USALD)资助了本指南的部分工作。本指南是在来自CDM公司和其他咨询公司、各州和联盟机构、地方饮用水和污水管理局以及科研院所等的100多位人员的共同努力下完成的。感谢美国环保局的K. Bastian博士、John Cicmanec博士和美国国际发展署的Peter McCornick(教授级高工)、John Austin博士和Dan Deely博士，同时，也要感谢多位审稿人为审校文本所付出的艰辛劳动。

特别需要感谢的是编写团队的每一位同事，他们在指南编写过程中倾注了大量的时间和心血，他们丰富的生活阅历和深厚的专业技术知识使得本指南内容充实、浅显易懂。相关人



# 中文版前言

随着人口的增加、工农业生产的发展和水环境污染的加重，目前，许多国家和地区都面临着严峻的水资源短缺问题。在我国，水资源危机成为威胁国家安全的重要因素和制约社会可持续发展的瓶颈之一。（城市）污水再生利用作为解决水资源短缺的有效措施，越来越受到社会各界的广泛关注。同时，如何制定污水再生利用法律、法规和管理制度，如何科学、合理规划和设计污水再生利用项目，如何规范管理再生水系统的运营，如何保障再生水的水质安全性和再生水设施的可靠性等问题也逐渐成为人们关注的焦点。本书将为以上问题的解决提供有益的参考。

《污水再生利用指南》(Guidelines for Water Reuse) 是美国环保局组织污水再生利用领域的专家、学者和行政管理人員编写的一本综合性指南。该指南于 1980 年首次发布，于 12 年后的 1992 年进行了第一次修订。2004 年，即第一次修订后时隔 12 年，又进行了第二次修订。参与该指南第二次修订和审稿的人员达 125 人，其内容在 1992 年版的基础上又得到了完善和丰富，反映了十多年来污水再生利用领域的最新研究成果和实践经验，进一步提升了该指南的权威性。

《污水再生利用指南》通过大量的案例、丰富的文献资料以及长期积累的污水再生利用实践经验，全面、系统地阐述了污水再生利用中所涉及的技术、经济、法律法规与管理、公众参与等问题，同时还概述了除美国之外的一些国家的污水再生利用状况。该指南不仅对水处理与再生利用领域的专家、学者、科研人员、工程设计人员有重要的参考价值，同时对水处理、水环境与水资源行政管理部门以及水领域的工程公司、运营管理和投融资企业也具有重要的参考价值，也可以作为环境工程、给排水工程和相关专业本科生、研究生的教学参考书。

全书由胡洪营、魏东斌监译、统稿。王丽莎参与了翻译组织工作，张薛参与了稿件的文字整理。各章节的主要翻译人员如下：第 1 章，王丽莎、魏东斌；第 2 章，张彤、王超、王灿、胡洪营；第 3 章，席劲瑛、宋玉栋、田杰、张娴、王丽莎、魏东斌；第 4 章，李锋民、魏东斌；第 5 章，张薛、于茵、胡洪营；第 6 章，洪喻、吴乾元、魏东斌；第 7 章，门玉洁、魏东斌；第 8 章，郭美婷、王灿、魏东斌；附录，王丽莎、魏东斌。

美国环保局的 James Wang 先生提供了宝贵的资料，同时对本指南的翻译给予了大力支持和鼓励，在此表示感谢！

由于本指南内容涉及面广，加之翻译者的能力和知识水平有限，不妥之处在所难免，欢迎读者批评指正。

译者

2007 年 8 月于清华园

# 目 录

<b>第 1 章 绪 论</b> .....	1
1.1 本指南的目的 .....	1
1.2 水需求和污水再生利用 .....	1
1.3 替代水源 .....	2
1.4 污染减量 .....	3
1.5 再生水的处理和水质 .....	3
1.6 指南概述 .....	4
1.7 参考文献 (略) .....	5
<b>第 2 章 再生水利用途径及案例分析</b> .....	6
2.1 城市杂用 .....	6
2.2 工业回用 .....	11
2.3 农业回用 .....	17
2.4 环境和娱乐回用 .....	24
2.5 地下水补给 .....	27
2.6 补充饮用水 .....	34
2.7 案例分析 .....	40
2.8 参考文献 (略) .....	57
<b>第 3 章 再生水系统规划中的技术问题</b> .....	58
3.1 规划步骤 .....	58
3.2 再生水的潜在用途 .....	61
3.3 再生水的水源 .....	66
3.4 再生水回用的处理要求 .....	69
3.5 再生水的季节性贮存 .....	92
3.6 再生水系统附属设施 .....	95
3.7 环境影响 .....	104
3.8 案例分析 .....	106
3.9 参考文献 (略) .....	108
<b>第 4 章 美国的再生水法规与指南</b> .....	109
4.1 各州法规与指南 .....	109
4.2 推荐的污水再生利用指南 .....	124
4.3 病原微生物和新型污染物 .....	130
4.4 中试研究 .....	131
4.5 参考文献 (略) .....	131
<b>第 5 章 污水再生利用的法律与制度问题</b> .....	132
5.1 水权法 .....	132
5.2 供水和用水法规 .....	135
5.3 污水法规 .....	136



5.4	安全饮用水法——水源保护 .....	137
5.5	土地利用与环境法规 .....	137
5.6	实施过程中的法律问题 .....	139
5.7	案例分析 .....	143
5.8	参考文献(略) .....	152
<b>第6章</b>	<b>污水再生利用工程的融资 .....</b>	<b>153</b>
6.1	决策手段 .....	153
6.2	对外筹集资金的方法 .....	154
6.3	自筹资金 .....	157
6.4	增支费用的分担原则 .....	160
6.5	分期建设与参与激励 .....	161
6.6	再生水费率和费用实例 .....	161
6.7	案例分析 .....	163
6.8	参考文献(略) .....	170
<b>第7章</b>	<b>公众参与 .....</b>	<b>171</b>
7.1	开展公众参与的原因 .....	171
7.2	“公众”的界定 .....	172
7.3	公众理解概述 .....	173
7.4	再生水项目计划的公众参与 .....	175
7.5	案例分析 .....	180
7.6	参考文献(略) .....	187
<b>第8章</b>	<b>其他国家污水再生利用概况 .....</b>	<b>188</b>
8.1	污水再生利用的主要特征 .....	188
8.2	污水再生利用战略实施的推动力 .....	189
8.3	再生水的实际应用——城市和农业 .....	192
8.4	规划中的再生水项目 .....	193
8.5	其他国家的再生水利用案例 .....	200
8.6	参考文献(略) .....	227
<b>附录</b>	<b>.....</b>	<b>228</b>
附表1	非限制性城市杂用 .....	228
附表2	限制性城市杂用 .....	242
附表3	农业回用——灌溉食用作物 .....	256
附表4	农业回用——灌溉非食用作物 .....	268
附表5	非限制性娱乐回用 .....	286
附表6	限制性娱乐回用 .....	290
附表7	环境回用——湿地 .....	294
附表8	工业回用 .....	296
附表9	地下水补给 .....	302
附表10	间接性饮用水回用 .....	306
<b>单位缩写</b>	<b>.....</b>	<b>310</b>
<b>主要单位换算</b>	<b>.....</b>	<b>311</b>
<b>缩略词</b>	<b>.....</b>	<b>312</b>

# 第1章 绪论



预计 2020 年前世界人口仍将快速增长。伴随着人口的增长，人类对水的需求不断增加，污水的产生量也越来越大。全世界许多地区的可用水资源已经接近或达到极限，水的再生利用无疑成为贮存和扩充水源的可行方法。此外，污水再生利用工程的实施，不再将处理出水排放到脆弱的地表水系，也为社会提供了新的污水处理方法和污染减量方法。因此，正确实施非饮用性污水再生利用工程，可以满足社会对水的需求而不产生任何已知的显著健康风险，已经被越来越多的城市和农业地区的公众所接受和认可。

## 1.1 本指南的目的

美国等一些国家和地区，在还没有任何全国性或国际性指南和标准时，就已经开始了非饮用性污水再生利用工程。目前，美国已有 25 个州制定了有关污水再生利用的法规。世界卫生组织也正在修订再生水农业灌溉的相关法规（世界卫生组织网站，2003）。

《污水再生利用指南》（EPA/625/R-04/108）的主要目的是为世界各国，特别是美国的公益事业、管理部门介绍和总结污水再生利用的政策方针和相关信息。本指南涵盖了再生水在城市、工业和农业等非饮用性直接再利用，以及间接性饮用再利用。虽然也涉及了饮用水方面的直接利用，但在美国尚无应用，在此仅做简单的介绍。需要说明的是，本指南提到了部分具有法律效力的国家法令和规定，以及所归纳的法规及推荐的方法，远远不能代替这些国家法令和规定，指南本身并不具有任何法律效力。本指南完全是信息性的，不为环保局、州、地方政府以及公民提出任何有法律效力的要求。环保局关于具体的污水再生利用工程的所有决定都是基于相应的国家法令和规定。环保局将不断对指南进行必要和适当的审核与更新。

对于那些没有标准或者正在修订标准的州，本指南有助于制定再生利用计划和与之相应的规章。对于咨询工程师和其他致力于评价、计划、设计、操作或管理再生利用设施的人员，本指南也可以提供一定帮助。此外，本指南最后的部分章节介绍了国际污水再生利用的现状，可以为正在计划、开发和实施污水再生利用的其他国家的相关人员提供一些背景材料和信息。

## 1.2 水需求和污水再生利用

缺水地区的城市化进程加剧了人们对家庭用水、工业用水、商业用水和农业用水的需求。图 1-1 展示了世界城市人口发展的趋势。2000 年有 28.5 亿的人口（世界总人口为 60.6

亿)生活在城市地区(联合国秘书处,2001)。不断增长的城市人口促进了水需求的不断增长,包括家庭、商业、工业和农业需求。由于淡水资源的短缺,公共事业的负责人正在面临如何满足不断增加的消费者供水需求的挑战。

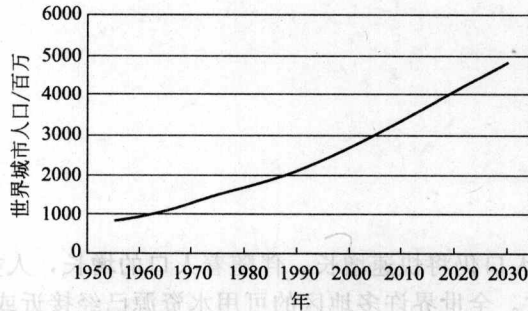


图 1-1 世界城市人口发展趋势(改编自联合国秘书处,2001)

美国污水再生利用署正在实施一个名为“水 2025”的项目,该项目着眼于新的水需求。美国西部城市人口的爆炸性增长,伴随着景观和娱乐用水的增加,这与西部农牧场为国家生产粮食和布匹所急需的水源发生冲突(美国内务部/复垦局,2003)。“水 2005”项目的目标是:(1)推动对缺水地区的长期关注;(2)帮助开发或增加水源,满足人口发展和环境保护的需要,发展当地经济;(3)改善水域、江河和溪流的水体环境;(4)改善环境、缓解干旱对重要经济的影响,将濒危水域的水危机最小化;(5)为 21 世纪提供一个和谐、实用的水管理方法。

同时,美国的污水再生利用是一个规模庞大、不断增长的实践活动。据估计,目前每天约有 17 亿加仑(6400 万立方米)的污水得到再生利用,预计以每年 15% 的速度递增。2002 年,佛罗里达州以每天利用 584mgd(220 万立方米/天)再生水位居第一,加利福尼亚州以每天利用 525mgd(200 万立方米/天)再生水位居第二。佛罗里达州预计,到 2010 年,每天再生利用的污水将达到 19 亿加仑。与之类似,加利福尼亚州的法定目标是,到 2010 年,污水再生利用量达到目前的 2 倍。得克萨斯州目前每天的再生水利用量约为 230mgd(87 万立方米/天),亚利桑那州约为 200mgd( $7.6 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ )。尽管这四个州占据了美国污水再生利用量的大部分,其他如内达华州、科罗拉多州、乔治亚州、北卡罗莱纳州、维吉尼亚州和华盛顿州也有不断增加的污水再生利用计划。目前至少 27 个州已有污水再生利用设备,大部分州有关于污水再生利用的规章制度(Gritzuk,2003)。

### 1.3 替代水源

根据污水再生利用的广义定义,再生水的水源涵盖了从工业过程的出水到农业灌溉系统的尾水等各个方面。但基于本指南的目标,再生水的水源限定为城市污水处理厂出水(WWTFs)。

再生水的非饮用性再利用为开发新水源,代替现有饮用水源提供了可能。“替代水源”这一名称并不新颖,实际上,联合国经济与社会发展委员会于 1958 年就阐述了这一思路:除非过剩,否则可使用低质水源的场合不得使用高质水。很多城市用水、商业用水和工业用水的水质可低于饮用水质。至于饮用水源,美国环保局(EPA)的相关政策指出:为保护脆弱的人类,可优先使用干净的水源(美国环保局,1976)。因此,当水的需求超过了最干



净水源的供给能力，而其他水源难以获得或者只有高价才能获得时，低质水就可以替代作非饮用性利用。因为高质水过剩的地区极少，且需水量经常超过水源供给能力，所以众多的城市居民、商业和工业用水可以通过采用低于饮用水质的水来满足。大多数情况下，处理后的污水可以作为经济和/或实用的替代性水源，如：提供农业、公园、道路中间和两侧的灌溉用水；提供空调系统和工业冷却塔用水；提供烟道气洗涤用水；提供工业过程用水；提供厕所冲洗用水；提供烟尘控制和建筑用水；提供包括汽车清洗和维护用水；提供景观和喷泉用水；提供环境和娱乐用水等。

再生水作为替代水源的经济性与其所在地区密切相关，且依赖于新的高质水源的费用和污水处理处置过程的费用之间的边际成本。在大都市现有的使用者中增建再生水输送和分配系统需要破旧立新，工程量大，费用昂贵。因此，污水再生利用在城市的新居民区、商业和工业地区的供水中将保持最大的吸引力，因为新建的双管道配水系统远比在已有的旧配水系统地区增建系统要省钱得多。

城市附近地区再生水的农业用途在经济上也具有很强的吸引力。农业用水者一般愿意签订长期协议，经常签订长达 20 年大量使用再生水代替饮用水的协议。这一措施的潜在意义在于通过在城市周边开发再生水系统提供农业用水，以期当城市延伸到这些地区时，再生水的使用即可实现从农业利用到城市利用的转变。

## 1.4 污染减量

虽然干旱和半干旱地区的水需求带动了大批污水再生利用项目，但由于地表水排放标准中严格的氮、磷限制，使得美国的许多项目仍步履维艰。污水再生利用可降低全年（或部分时间）处理出水的排放量，由此市政当局避免（或减少）了为去除营养物质所需的大量花费。例如，加利福尼亚州圣何塞的南海岸污水再生利用项目为 130 万地区居民提供再生水。由于污水被再生利用而不再排放到圣弗朗西斯科（旧金山）海岸，因此圣何塞避免了下水道的延缓偿付，也避免了对硅谷经济造成破坏性的影响（Grizuk, 2003）。

用于污染减量的污水再生利用项目和用于水资源或水保护的污水再生利用项目，其目的和实践很可能并不相同。当系统开发的主要目的是土地处理和处置时，其目标是用更少的土地处理及/或处置更多的出水，因此，其利用率一般比灌溉需求高得多。另一方面，当再生水作为有价值的资源（例如新的水源）时，其目标则是根据灌溉的需求来供水。

利用目的不同，再生水的配送系统也有明显不同。如果目的是为了处置污水，则很难实现用水表计量，再生水配送给使用者时通常实行费用平摊或者费用最小的方式。相反，如果再生水作为水源，安装水表可以公平分配水源，限制过度使用，并回收成本。在佛罗里达州的圣彼得斯堡（St. Petersburg）市，处置污水是其最初目的，但一段时间后再生水成为重要的水源，则考虑安装水表防止再生水使用的浪费。

## 1.5 再生水的处理和水质

水的再生和非饮用性利用一般采用常规的水处理技术，这些技术已经被全世界许多国家广泛使用和接受。再生利用系统的水处理，首要关注的是再生水的水质是否适合其用途。与低质再生水（如草地和牧场的灌溉用水）相比，高质再生水（如公众接触性土地或直接食用的蔬菜灌溉用水），需要在利用前对污水进行深度处理并确保处理的可靠性。例如在城市，



由于再生水用于景观、灌溉、工业生产、厕所冲洗时，人们暴露于其中的可能性更高，所以再生水必须清洁、无色、无味，使其能够被使用者和公众普遍接受，同时确保其健康风险最小。经验表明，可生产二级出水的污水处理厂通过增加过滤和消毒工艺可升级为再生水厂。

大部分州已经颁布了一种或者多种再生水的处理标准或方法指南。在这些州中，有些州要求采用特殊处理工艺，有些州则规定了出水质量标准，还有些州对二者都有规定。许多州还对处理的可靠性提出要求，以防因工艺失效、电源失控或设备故障导致水不能充分处理。双管道配水系统（再生水配水系统和饮用水配水系统平行）必须配有安全设施，以防再生水和饮用水管路交叉连接以及误用再生水。如泵、阀门和水龙头必须做标记或涂染色彩（如采用紫色管道）来区分再生水和饮用水。需安装防回流装置，而且软管龙头不能用于再生水管路，以防止人们误用。为了保证生物处理工艺的可靠性，需要进行严格的预处理以避免将潜在的毒性污染物引入公共排水系统。接纳大量高浓度工业废水的污水处理厂，其再生水利用的类型和数量受到一定限制。

## 1.6 指南概述

本指南是 Camp Dresser & McKee Inc. (CDM 公司) 为美国环保局提议并于 1992 年（最初为 1980 年）由美国环保局印刷的《污水再生利用指南》的修订版。2002 年 5 月，美国环保局同 CDM 公司签订了合作研究和发展协议 (CRADA)，更新美国环保局/美国国际发展署 USAID《污水再生利用指南》(EPA/625/R-92/004; Sept 1992)。以 1992 年版指南为基础，聘请国内、国际污水再生利用领域的相关专家组建专门委员会，撰写文本、更新案例并校验指南底稿。与 1992 年版本不同的是，执笔者增加到 75 人，审稿人增加到 50 人。此次对指南修订的主要内容包括：

- (1) 更新了各州关于污水再生利用的法规，增加了各州的联系方式；
- (2) 更新了美国地质调查局 (USGS) 关于国内水使用和污水再生利用的信息；
- (3) 增加了再生水间接用作饮用水存在的问题，强调了再生水用于增加饮用水量的近期研究成果和实践；
- (4) 增加了再生水的工业利用问题；
- (5) 增加了美国以外的污水再生利用项目和实践；
- (6) 增加了更多案例分析以阐明各领域的再生利用经验；
- (7) 增加了包括新型化学品和病原微生物在内的健康问题的讨论；
- (8) 更新了污水再生利用相关技术问题的讨论；
- (9) 更新了关于经济性、使用费和项目投资机制的信息。

指南根据不同主题分章，具体如下。

第 2 章：再生水利用途径及案例分析——探讨用于城市、工业、农业、娱乐和环境修复/强化、地下水回灌、增加饮用水源等用途。对直接饮用性利用也进行了简要讨论。

第 3 章：再生水系统规划中的技术问题——概述再生水的潜在用途、再生水的水源、处理要求、季节性存储要求、附加处理设备（包括运输和分配）、操作性存储及替代处置系统。

第 4 章：美国的再生水法规与指南——概述了美国各州当前的标准、法规和推荐性政策方针。

第 5 章：污水再生利用的法律与制度问题——概述了污水再生利用条例、使用协议、水权、民法和案例法。

第 6 章：污水再生利用工程的融资——探讨了再生水系统的建设、运行投资和成本回



# 第2章

## 再生水利用途径及案例分析

本章对主要的再生水利用途径进行详细阐述，主要包括城市杂用、工业、农业、环境和娱乐、地下水补给和饮用水源增补。

对再生水的每种利用途径都需充分考虑其对水量和水质的要求，用再生水替代传统水源时还需考虑水源的特殊要求。本章最后阐述了再生水利用案例，适用于大多数利用途径的关键原则（即供给与需求、必要的处理条件、贮存和配送）将在第3章阐述。

### 2.1 城市杂用

城市杂用主要是指为以下用水提供再生水：

- (1) 公园等娱乐场所、田径场、校园、运动场、高速公路中间带和路肩以及美化区周围公共场所和设施等的灌溉；
- (2) 独户住宅和多户住所周围的绿化、一般冲洗和其他维护设施等用水；
- (3) 商业区、写字楼和工业开发区周围的绿化灌溉；
- (4) 高尔夫球场的灌溉；
- (5) 商业用途，如车辆冲洗、洗衣店、窗户清洗用水，用于杀虫剂、除草剂以及液态肥料的配制用水；
- (6) 景观用水和装饰用水景，如喷泉、反射池和瀑布；
- (7) 建筑工地扬尘和配制混凝土用水；
- (8) 连接再生水消防栓的消防设备；
- (9) 商业和工业建筑内的卫生间和便池的冲洗。

城市杂用包括为公众提供服务的场所，如公园、运动场、田径场、高速公路中间带、高尔夫球场和娱乐设施。另外，通过双管道系统，也能够为主要用水工业或者集住宅、工业和商业特性于一体的工业联合体提供再生水。有研究者在实验田/花圃开展了为期两年的研究，比较了使用再生水与饮用水灌溉时对地表植物、土壤和浇灌成分的影响。结果表明，两者没有明显区别。但是，用再生水灌溉的地表植物生长速度更快（Lindsey等，1996）。然而，这样的结论并不是一成不变的。据报道，佛罗里达州圣彼得斯堡市内供应的再生水中过高的氯化物抑制了浇灌植物的生长（Johnson，1998）。

双管道系统通过独立于社区饮用水管道的并行管道向用户输送再生水。除了污水和饮用水之外，再生水输送系统成为第三大水系统。再生水系统的运行、维护和管理方式与饮用水系统相似。圣彼得斯堡市拥有美国最早的市级双管道系统之一，该系统从1977年开始运行，为包括住宅、商业开发区、工业园区、可再生能源发电厂、棒球场和学校在内的设施提供再生水。加利福尼亚州的波莫纳（Pomona）市于1973年首次运行再生水输送系统，向加州理

工学院提供再生水，之后又为两个造纸厂、道路景观绿化、一个地方公园和一个配备了能源回收装置的垃圾填埋场增设了再生水供应系统。

再生水城市杂用系统进行规划时，首先需确定再生水系统的供应方式：间歇供应还是连续供应。在再生水不单独用于社区消防设施的情况下，再生水系统可采用间歇供应方式。圣彼得斯堡市采用了间歇供应的再生水系统，同时该系统还被用作消防用水的备用系统。

如果社区决定需要连续供应的再生水，那么再生水系统的可靠性应与饮用水系统相当，必须确保在任何条件下连续供应再生水。再生水系统的可靠性可以通过建立多个再生水厂来保障。另外，也可建立备用水库提供再生水，以保证在再生水厂运行出现故障的情况下，仍能连续供应再生水。但是，这些可靠性保障措施会增加工程投资。

对于已建的城市，建立再生水输送系统需要较大的工程投资。但在某些情况下，使用再生水可以节约饮用水而获得效益。这部分效益可以部分弥补再生水系统的投资。在下列情况下，再生水系统具有一定的经济可行性：（1）再生水水源距离较近；（2）水源水质较好（避免以高盐度的海水作为再生水水源）；（3）对于再生水回用后的水体质量要求不过于严格。

对于开发中的城市，建立双管道系统可以节省大量投资。1984年，佛罗里达州艾尔塔蒙特泉（Altamonte Springs）市颁布了开发者配置再生水管道的法案，以保证新建设施都能得到再生水供应。城市土地开发法案中的相关章节规定：“再生水系统的目的不是复制一个饮用水系统，而是两者之间互为补充，从而尽可能减小管路规模和降低饮用水系统的要求”（Howard, Needles, Tammen, Bergendoff, 1986a）。

加利福尼亚州厄湾水管理区（IRWD）对城市双管道系统提供再生水，用于评价高层建筑卫生间和便池冲洗的经济可行性。结果表明，对于6层以上的建筑，使用再生水冲洗卫生间、便池和排水弯管具有较好的经济可行性（Young 和 Holliman, 1990）。之后，管理部门又颁布法令，要求所有新建超过55ft(17m)的建筑物安装双管道系统，以普及再生水的利用（厄湾水管理区，1990）。加利福尼亚州的阿瓦隆（Avalon）市也对再生水替代海水用于冲洗厕所和消防用水的可行性开展了评价。结果表明，如果以再生水替代海水，该市的供水系统每年将节省数千美金（Richardson, 1998）。

### 2.1.1 再生水的需求

再生水回用于农业灌溉时，每日灌溉所需的再生水水量根据灌溉面积和预计的灌溉频率确定。其中，再生水的灌溉频率受当地的土壤特征、气候条件和景观类型等因素的影响。在某些州，推荐灌溉频率可由给水管理的政府部门和农业专家来确定。再生水水量的评估还必须考虑系统内任何其他方面的回用途径。

每日灌溉所需的再生水水量也可通过分析当地实际的用水情况来确定。在佛罗里达州的奥兰多（Orlando）市，部分居民采用两个水表来计量用水量。其中，一个水表设在户外，主要记录饮用水用于农业灌溉的用水量。另一个水表设在户内，主要记录饮用水用于日常生活的用水量。结果表明，用于农业灌溉的用水量大约为506gpd(1.9m<sup>3</sup>/d)，而用于日常生活的用水量大约为350gpd(1.3m<sup>3</sup>/d)（CDM公司，2001）。如果采用双管道系统，用再生水代替饮用水用于农业灌溉，可以节约59%的住宅饮用水使用量。

用水量记录还可用来分析再生水需求量随季节的变化趋势。图2-1和图2-2分别表示了加利福尼亚州厄湾水管理区和佛罗里达州圣彼得斯堡市某年饮用水和非饮用水每月需求量的变化。尽管上述两个地区的需求量的季节变化规律不同，但饮用水需求量和非饮用水需求量之间在变化趋势上相似。

在估算城市系统再生水需求量时，还必须考虑除灌溉之外的其他使用需求。这些需求可



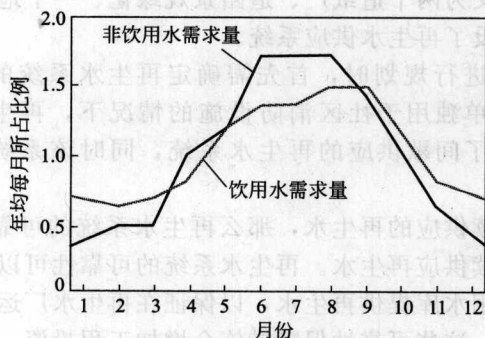


图 2-1 饮用水和非饮用水某年需求量变化 (加利福尼亚州厄湾水管理区)

能包括工业、商业和娱乐设施的使用。对于工业、商业的用水设施，像洗车间等，可以根据用水量记录来估算再生水的需求量。对于娱乐设施的贮水量，则可通过维持既定贮水水位所需的用水量来估算。

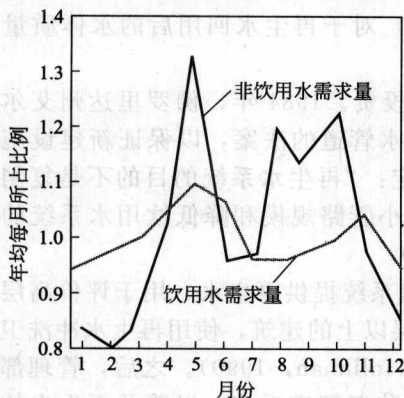


图 2-2 饮用水和非饮用水某年需求量变化 (佛罗里达州圣彼得斯堡市)

对再生水冲洗卫生间利用系统，用水量记录也能用来估算再生水的需求量。根据 Grisham 和 Fleming 的统计 (1989)，卫生间冲洗用水量占室内住宅用水水量的 45%。1991 年厄湾水管理区开始在高层建筑中利用再生水代替饮用水用于卫生间冲洗，使得饮用水的消耗量减少了约 75%。

### 2.1.2 可靠性与公众健康保护

在城市再生水输送系统的设计中，最重要的因素是考虑供水系统的稳定性和公众健康的保护。在 3.4 节中将详细介绍满足一定水质条件和水量条件以及保障系统可靠性的措施。设计双管道系统时，必须考虑

以下安全措施：(1) 确保为用户输送的再生水水质符合相应的水质标准；(2) 防止发生误操作；(3) 防止与饮用水管路错接；(4) 防止误用非饮用水。

为防止再生水管道与饮用水管道错接，所有地面之上与再生水管道系统相连的装置和设备都要有明确标记。虽然目前关于再生水管道的标记颜色尚未统一，但美国大多数地区都采用紫色来标记再生水管道。佛罗里达州选用 Pantone 国际色卡 522C 号色作为再生水系统的标记颜色。同时，该州政府还要求再生水的输送管道上粘贴明确的英语和西班牙语标记。另外，在所有再生水设备上都要附有包括国际标志“禁止饮用 (Do Not Drink)”在内的标识。除了地上的再生水管道系统要做标记外，地下的再生水系统也要求做标记，以减小错误连接的可能。在 3.6.1 的输送系统中将更详细地阐述输送安全装置和避免错接的预防措施。

### 2.1.3 设计注意事项

城市再生水系统包括两个主要组成部分：再生设备和再生水输送系统，包括调蓄和提升设施。

#### 2.1.3.1 再生设备

再生设备必须能够进行必要的处理以满足预期的水质要求。在污水再生处理过程中，除了二级处理以外，通常还需要过滤和消毒处理。因为再生水的城市杂用往往需要灌溉那些公众非限制性接触的设施或其他公众可能接触到再生水的场所，因此城市杂用的再生