

联合国教科文组织 (UNESCO) 资助出版

水的再生 与回用

(美) 林宜狮 著

中国环境科学出版社

水的再生与回用

〔美〕 林宜狮 著
钱易 朱庆爽 李敬 译
叶书明 审校

中国环境科学出版社

1989

内 容 简 介

本书为联合国教科文组织 (UNESCO) 资助的环境教育进修班讲义。书中系统地讲述了水的再生与回用在美国各地进行的情况。包括水的回用系统、回用水的水质、废水的来源及组成、城市废水处理过程评价、废水再生系统评价、水回用系统的应用、水再生系统实例及工程及成本估算规范等。除列举了美国几个典型例子外, 还介绍了新加坡及澳大利亚的某些实例。这些资料对于我国在废水资源化, 解决水资源供需矛盾, 进行水的再生与回用方面有很好的参考价值。

本书可供从事环境工程及给水排水工程的科研和设计人员参考, 亦可供大专院校有关专业师生阅读。

YE-SHIH LIN, P.E.

WATER RECLAMATION AND WATER REUSE

September 1986

水的再生与回用

〔美〕 林宜狮 著

钱易 朱庆爽 李敬 译

叶书明 审校

责任编辑 杨吉林

中国环境科学出版社

北京崇文区东兴隆街69号

北京朝阳新源印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1989年 3月第 一 版 开本, 787×1092 1/32

1989年3月第一次印刷 印张, 12 1/4

印数: 1—5000 字数: 284千字

ISBN 7-80010-268-8/X·177

定价: 3.85元

序

随着世界人口的增长、工业与农业的发展，水资源的供需矛盾在很多地区尖锐地表现出来。为了解决水资源紧张的问题，水的再生与回用将废水开发为第二水源，越来越受到人们的重视。在我国华北及西北等干旱、半干旱地区，年降水量较少，水资源短缺，不能满足工农业发展及人们生活饮用的需要，问题尤为突出。北京是我国的首都，自建国以来，虽然在城市水利方面做了大量的工作，供水情况仍十分紧张。开发更多的水源，将废水再生与回用，是值得重视的问题。

清华大学环境工程系在联合国教科文组织(UNESCO)资助下，于1986年9月举办了环境教育进修班，聘请美籍台胞林宜狮先生来华讲学，主要讨论水的再生与回用问题。林先生在美国洛杉矶市任顾问工程师多年，在给水排水与环境工程设计方面，有很丰富的经验。他还是清华大学环境工程研究所的顾问。本书是他在进修班讲学的讲稿，书中系统地讲述了水的再生与回用在美国各地进行的情况，包括水质要求，再生与回用的系统，方法与评价等。除美国几个典型例子外，还介绍了新加坡及澳大利亚的某些例子。这些资料对我国在废水资源化，解决很多地区水资源的供需矛盾，进行水的再生与回用方面，有很好的参考价值。为此，清华大学环境工程系组织了一些同志将这份讲稿译成中文，以供我国从事环境工程及给水排水工程的有关同志参考。

我们对林宜狮先生和 参加翻译工作的同志表示衷心感谢！

陶葆楷 井文涌

1988年6月

x

译者的话

本书第一章、第二章的一、二节和第三章的一、二节由钱易翻译，第二、三章的其余部分和第四、五章由李敬翻译，第六、七、八章由朱庆夷翻译。全书由叶书明审校。

由于从接受翻译任务至完稿之间不到一年时间，原稿又是一份讲稿，有些不清楚的地方，一时难于准确辨认，故在某些地方的翻译中，根据前后内容作出判断，个别词保留原文未译；再加上译者水平有限，难免有不妥或错误的地方，恳请作者与读者谅解及指正。

在此对关心和帮助本书翻译出版工作的所有同志一并致谢。

目 录

序	(ix)
译者的话	(xi)
第一章 水的回用	(1)
一、 导 言	(1)
二、回用系统	(2)
三、用于城市给水	(3)
1. 概述	(3)
2. 回用类型	(4)
3. 将来的应用前景	(8)
四、用于工业	(10)
1. 回用类型	(10)
2. 回用经验	(12)
3. 将来的应用前景	(15)
五、农业用水	(16)
1. 直接灌溉	(17)
2. 排至灌溉渠	(17)
3. 回用经验	(17)
4. 喂养家畜	(24)
5. 其它用途	(25)
6. 将来的应用前景	(25)
六、娱乐性用水	(26)
1. 娱乐性湖泊	(27)
2. 水产养殖	(27)
3. 芦苇荡	(28)

4. 将来的应用前景	(28)
七、其它用途	(29)
第二章 回用水的水质	(31)
一、导言	(31)
二、地下水回灌	(31)
三、工业用水	(48)
1. 冷却水	(48)
2. 锅炉补给水	(55)
3. 工艺用水	(55)
四、灌溉用水	(68)
1. 含盐量	(68)
2. 渗透性	(72)
3. 特种离子毒性	(73)
4. 肥料价值	(75)
5. 其它标准	(76)
五、其它用途	(78)
1. 牲畜用水	(78)
2. 娱乐性利用	(78)
3. 冷水渔业	(82)
第三章 废水的来源及成分	(87)
一、导言	(87)
二、生活污水	(88)
1. 需氧量	(88)
2. 固体物含量	(89)
3. 磷	(91)
4. 含氮化合物	(91)
5. 成分的季节性变化	(91)
6. 病原菌	(93)
三、农业回水	(96)
四、工业废水	(96)

1. 需氧量和固体含量	(100)
2. 磷	(101)
3. 氮	(101)
五、有毒化学物质	(101)
1. 无机物	(102)
2. 有机物	(110)
六、环境考虑	(118)
七、污染源控制	(119)
1. 下水道条例	(119)
2. 不可再生的废水系统	(121)
第四章 城市废水处理过程评价	(122)
一、导言	(122)
二、原废水性质	(127)
三、初步处理	(131)
四、活性污泥法	(135)
五、延时曝气	(139)
六、悬浮生长的硝化系统	(140)
七、悬浮生长的反硝化系统	(142)
八、生物滤池	(144)
九、生物转盘	(146)
十、混凝沉淀	(148)
十一、过滤	(157)
十二、再碳酸化	(164)
十三、活性炭吸附	(166)
十四、氨吹脱	(172)
十五、选择性离子交换	(175)
十六、折点加氯	(176)
十七、反渗透	(178)
十八、氯化	(180)

十九、臭氧氧化	(184)
二十、灌溉	(186)
二十一、渗滤	(189)
二十二、地面漫流	(192)
第五章 废水再生系统评价	(195)
一、导言	(195)
二、初级处理	(201)
三、二级处理	(202)
1. 2A: 活性污泥	(203)
2. 2B: 生物滤池	(205)
3. 2C: 生物转盘	(206)
四、硝化	(207)
1. 3A: 两级硝化	(208)
2. 2B: 生物转盘	(210)
3. 3C: 延时曝气	(210)
五、硝化-反硝化	(211)
1. 4A: 两级硝化-反硝化	(211)
2. 4B: 选择性离子交换	(214)
六、过滤	(216)
1. 5A: 二级出水过滤	(217)
2. 5B: 向曝气池投加明矾	(219)
3. 5C: 在初级处理阶段投加氯化铁	(221)
七、石灰处理	(223)
1. 6A: 三级石灰处理	(224)
2. 6B: 硝化出水的三级石灰处理	(226)
3. 6C: 三级石灰处理后加离子交换	(228)
八、炭吸附	(230)
1. 7A: 二级出水过滤后加炭吸附	(230)
2. 7B: 三级石灰出水的炭吸附	(232)
3. 7C: 硝化加三级石灰处理加炭吸附	(234)

4. 7D: 三级石灰处理-选择性离子交换出水的炭吸附	(237)
九、生物及物理-化学处理后加反渗透	(239)
十、物理-化学处理	(241)
1. 9A: 投加石灰的物理-化学处理	(241)
2. 9B: 投加氯化铁的物理-化学处理	(246)
十一、土地处理	(247)
1. 10A: 灌溉	(247)
2. 10B: 渗滤	(247)
3. 10C: 地面漫流	(248)
第六章 水回用系统的应用	(249)
一、导言	(249)
二、处理水平与效用的一致性	(249)
1. 农业灌溉	(250)
2. 园林或城市灌溉	(251)
3. 家畜和野生动物给水	(251)
4. 发电厂和工业冷却水	(252)
5. 工业锅炉补给水	(252)
6. 工业给水	(253)
7. 渔业	(254)
8. 娱乐用水	(256)
9. 公共给水	(257)
10. 直接回用于饮用水	(259)
第七章 水再生系统实例	(261)
一、导言	(261)
二、水再生系统	(261)
三、洛杉矶县卫生管理区	(262)
1. 氧化塘出水的三级处理	(263)
2. 延时曝气及氯化	(265)
3. 活性污泥加双层滤料过滤	(266)

4. 活性污泥加活性炭过滤	(267)
5. 处理厂的总性能	(284)
四、Chino 流域市政用水管理区(CBMWD).....	(285)
1. 活性污泥或生物滤池接活性污泥加出水 过滤(地区一厂)	(265)
2. 活性污泥加出水过滤(地区二厂)	(267)
3. 处理厂的总性能	(293)
五、Orange县水管理区(21世纪水厂)	(293)
1. 各项工艺的一般说明	(295)
2. 厂的总性能	(298)
六、南Tahoe湖废水深度处理厂	(303)
七、华盛顿特区环保局Blue Plains中间试验厂	(306)
八、新加坡市的水再生回用	(312)
九、南澳大利亚州首府Adelaide的水再生回用	(315)
1. Glenelg处理厂	(315)
2. Bolivar处理厂	(318)
十、科罗拉多州丹佛市的水再生回用	(318)
第八章 工程及成本估算规范	(322)
一、导言	(322)
二、初步设计规范	(323)
1. 处理厂	(323)
2. 输送设施	(325)
3. 蓄水库	(326)
三、费用估算标准	(329)
1. 价格指数与价格上升	(330)
2. 建筑及投资费	(331)
3. 年费用	(332)
四、费用估算曲线	(334)
1. 关于费用曲线的一般信息	(334)
2. 管道	(335)

3. 蓄水库	(337)
4. 泵站	(338)
5. 管道及泵站的运行费	(340)
6. 废水深度处理单元过程的建筑费	(340)
7. 废水深度处理过程及消毒的运行费	(342)
五、方案可行性评价标准	(370)
1. 经济成本效益	(370)
2. 环境影响及社会影响	(371)
3. 功能特性	(371)
4. 方案可接受性及实现的可能性	(373)
参考文献	(374)

第一章 水的回用

一、导 言

水的回用并不是一个新的概念。古代的中国和希腊早就应用原污水灌溉农田，德国也从17世纪起就利用污水灌溉。美国则从19世纪起也将污水应用于干旱地带。将经过处理或未经处理的污水排入河流，然后又在下流取水使用，是对污水无计划的间接的再利用。美国在1972年公布联邦水污染控制法（PL92-500）以前，这种排放污水并对其间接利用，一直是被人们普通接受的方式。

不论主观意图明确与否，也不论提供的再生水水质是好是坏，水的回用能在美国经久不衰，正是地方上对匮乏的水源不能满足工农业需求的一种独特的反应。1972年联邦水污染控制法对污水再利用计划有着很大的影响，因为为了满足联邦政府和州制订新的、严格的排放标准，必须建造费用昂贵的废水深度处理设施，这使得某些管理人员转向水的回用方案，另一些在改进处理设施方面走在前面的部门，也开始认识到生产出高质量的出水已经成为工业及农业灌溉的有价值的水资源。

在美国，由于对有限水资源的需求日益增长，使得在制订水资源计划时必须考虑水的多次使用，目前更应该考虑废水的回用。在1972年的清洁水法及1977年的修正案中（PL92-500，PL95-217）正式具体地提出了废水的回用问题。

并且在很多州，特别是西部干旱地带，更鼓励废水再利用以增加供水量。再利用的意义不断增加，一些联邦机构支持对有关废水回用的各个方面及各种类型进行研究，1977年清洁水法的主要目的之一就是使水的再生、回用以及废水的循环在更大范围内得到推广。

根据美国内务部水研究及技术办公室的一项调查，1972年总的再利用量约为每天2566千米³。采用的回用系统共有536处，亚里桑那州的再利用水量最大，德克萨斯州和加州则在回用系统的数量上占先。1975年，加利福尼亚州有约200个水的回用工程，处理量相当于工业和城市废水总量的7%。1975年以前，大多数水的回用工程都是小规模，主要用于农业和工业。

二、回用系统

根据进水水质的不同，处理后的城市废水可以有很多不同的用途，以下将讨论的回用系统有：

- 用于城市
- 用于工业
- 用于农业
- 用于娱乐
- 其他用途

对水的回用的限制因素有：

- 对健康影响的认识
- 立法机构的批准
- 公众的接受程度
- 水的价格和取水难易程度
- 费用

国家科学院^[1] (NAS), 环境保护局^[2]和国家技术顾问委员^[3] (NTAC) 对于六种不同类型的水质标准已经制定了综合性文件。这六种用水是:

娱乐及美学

公共给水

淡水水生物及野生动物

海洋水生物及野生动物

农业用水

工业用水

国家科学院的蓝皮书是在国家技术顾问委员会1968年的绿皮书基础上发展起来的, 其中不少内容取自NTAC绿皮书。环境保护局 (EPA) 在1973年发布的文件既反映了国家环保局的地位, 也反映了它所作的努力。虽然上述三项文件规定的标准可能对同样用途和水质成分有不同的数字, 但它们是基本相似的。

城市废水再生后的利用通常并不包括在上述水质标准中, 这是假定所利用的是最佳的地表水和地下水, 因而并不需要保证回用水的水质达到某种用途可接受的水平。这里的工作是要鉴定已知的水质标准和城市废水再利用的其他限制因素, 以便确定一定水质的出水是否可以应用于某种类型的用途。以下还要讨论一定的回用目的所要求的一般处理步骤。

三、用于城市给水

1. 概述

将再生后的生活污水回用于城市还是最近才出现的事。再生废水所需的费用、淡水的可利用性、公众的意见以及未

知的健康影响等因素，支配了地表水和地下水的利用。但由于在缺水地区人口的大量增长，不得不开始利用再生后的废水。

1949年，加利福尼亚州的Azusa以 $1.89\text{千米}^3/\text{日}$ 的生物滤池出水通过渗滤床回灌至日益减少的地下水层〔4〕。50年代中期，堪萨斯州的某些城市（Chanute、Lyndon）供水严重不足，被迫在短期内将处理后的废水循环使用〔5〕。60年代初期，洛杉矶将活性污泥法出水与科罗拉多河水相混合，通过分布在渗滤床回灌至地下水〔6〕。最先有计划地直接利用再生水的是西南非洲的Windhoek，每天， 4.54千米^3 的废水经再生后与地面水混合作饮用水源〔7,8〕。从1979年起，加利福尼亚的Orange县水管理区一直将21世纪水厂生产的再生水注入海岸地下水层，以筑成屏障防止海水的侵入。21世纪水厂是废水深度处理与反渗透除盐结合的处理厂。

2. 回用类型

在不同条件下的城市废水回用共有三种不同类型：直接回用、间接回用及双系统，如表1-1所示。直接回用与间接回用的主要区别在于，间接回用中包括了某种程度的天然净化作用，如在地表水中或通过土层时；而直接回用则没有任何天然净化作用。双系统要求有两个平行的配水系统，其中之一供给饮用水，另一则输送再生水供给非饮用的其他用途。

(1) 直接回用

1956—1957年在堪萨斯州的Chanute，曾经有一次在紧急情况下采用了五个多月通过循环的直接回用〔5,7,10,11,12〕。严重的干旱使Neosho河干涸，水坝后只剩下一个小池塘，当时将消毒的二级处理出水循环了8—15次，虽然化