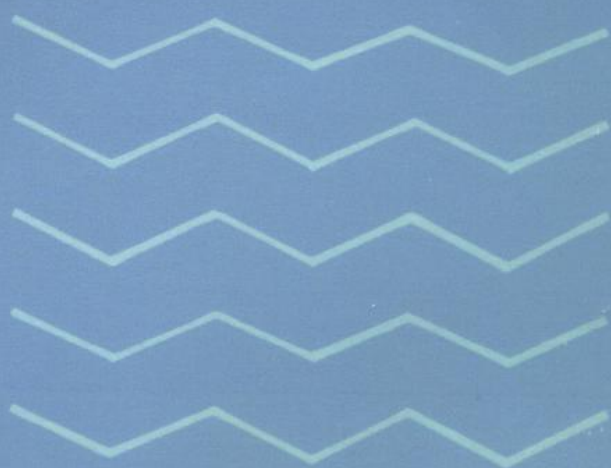


水的再淨与再用



中国建筑工程工业出版社



水的再净与再用

希利 I · 舒瓦尔 主编

邱中峙 钱荣孙 译

钟淳昌 孙振堂 校

中国建筑工业出版社

全书共分两卷，计十五章，较详细地介绍了近代废水处理的各种工艺，并叙述了废水在农业、工业和市政等方面的再用方式及其水质标准、卫生要求，还列举了世界各国在废水再用方面的实例和经验教训。全书内容比较丰富，对于开展环境保护和废水再用工作有一定参考价值。

本书可供从事环境保护、城市建设与有关科研、教育工作的同志阅读和参考。

Water Renovation and Reuse

Edited by

Hillel I. Shuval

Academic Press, Inc. 1977

* * *

水的再净与再用

邱中峙 钱荣孙 译

钟淳昌 孙振堂 校

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 19½ 字数: 470 千字

1986年9月第一版 1986年9月第一次印刷

印数: 1—6,700册 定价: 3.60元

统一书号: 15040·5024

译 者 的 话

当前世界各国由于工农业的发展和人民生活水平不断提高，普遍出现了水源污染和水源枯竭问题。近几十年来，不少国家积极探索废水重复利用的可能性，并研究相应的水处理技术。我国正进入四个现代化的建设时期，有些地区已经迫切需要解决水源污染和淡水不足的问题；因而废水的再净和再用，同样提到了议事日程。为此，我们翻译了以希利I·舒瓦尔为首，7个国家和地区的22位科学家共同编写的《水的再净与再用》一书。该书介绍了当代废水处理的工艺，并叙述了废水在农业、工业和市政等方面的再用方式及其水质标准、卫生要求，还列举了世界上英、美、德、日等国家在废水再用方面的实例和经验教训。原书内容比较丰富，对于开展环境保护、废水再用工作有一定参考价值。

本书在译校过程中得到了许景文、陈宝书、王敏之等同志的大力协助，特此表示感谢。

由于本书涉及多方面学科，加上我们水平有限，错误之处在所难免，尚请读者指正。

译 者

一九八五年四月

21047/18

序 言

在井水枯竭之前，你永远不会知道水的宝贵。

本杰明 富兰克林

本书旨在详细论述水的再净与再用的基本原理、最新技术和技术发展状况，并介绍世界各国水再用方面的经验和实践。

上卷“概论与处理技术”，共七章，论述了这个问题的不同方面，每章分别由这方面的权威编写。下卷“世界各国的经验与实践”共八章，报导了发达和发展中国家，包括干旱地区与具有丰富水资源的地区，水再用方面的成就。

世界各国对有限的水资源的贮存、再循环与再用的迫切性的认识正逐步提高。在过去一百年中，水的再净与再用方面的科学、技术与实践经历了几个发展阶段。最初阶段是由两个截然不同的动力所推动前进的。一个是自然资源保护工作者的概念，认为社会的废料应该保存与利用，以保持土壤的肥力；另一个更为实际的动力是要消除河流的污染。

早在1868年出版的维克多·雨果写的《悲惨世界》一书中有过自然资源保护方法的论述，这位作者对巴黎的污水排入河道，流进海洋而浪费深为感慨。他写道：“地球上丢失的人类与动物的粪便，如果回到土地上进行施肥，而不扔进海洋，则就能足以养育这个世界”。

1865年英国皇家污水处置委员会的第一个报告是污染控制方法的一个范例。该委员会介绍：“城镇污水处置的正确方法是连续地将污水排向土地。采用这种方法，河流能避免遭受污染”。上世纪末，英国、德国与美国首先采用草地过滤与大面积灌溉的土地处理的概念，与其说是作为保存水或将营养物质送回土壤的合理方法，还不如说是为了减少河流污染的污水处理方法。然而，一些早期的工程仅侧重于再用水的贮存。这些早期土地处置的极大部分工程最后随着城市的发展而被废弃。这是因为再也满足不了所需的大面积土地，并且从美观与公共卫生方面考虑也是不容许的。

第二阶段至今，主要的促进力量是在干旱地区水保存和再用的必要性。最早，我们看到致力于水的再净与再用工作是在美国的缺水地区，如加利福尼亚州与得克萨斯州。

目前，由于需水量的日益增多，水的再净与再用计划不仅干旱地区考虑采用，而且扩展到世界许多地区。除了农业上已建成的各种再用方式之外，该计划已扩大到工业、娱乐与城市上使用。

第三阶段与第二阶段是同时的，是再次基于减少河流与湖泊污染的迫切需要。在为了保护水体而需要昂贵的高水平深度废水处理的地区，设计者必然会认为，对废水的处理，已作出了如此大的努力，与其将其排入河流还不如直接再用更为合理。

这一阶段最终的结果是由于“零污染”政策所致，这一政策最近在美国已予以颁布。这一政策导致土地处置或其它再用计划只是作为污染控制的措施，而不论对废水再用有否

客观上的需要。

与最近阶段有计划直接再用的同时，由于城市、工业和农业几乎普遍地从严重污染的河流中取水，我们将会看到废水大量地“间接再用”或“暗中再用”的现实。世界上主要河流的下游河段都含有大量部分处理或全部未经处理的废水负荷。在河道最小径流期间，象莱茵河、泰晤士河与俄亥俄河的任何河段输送城市污水与工业废水量可能高达20%~50%。从这种水源取水，无疑的是最普通的废水再用方式中的一种。据估算，目前全世界大约有几亿人饮用间接的废水再用水。

日益证明常规水处理厂不能充分去除在这种水源中出现的数百种潜在的有害有机污染物质与无机污染物质。同时也不能依靠常规处理方法去除或灭活污水中有害的微生物。用常规处理方法处理受高浓度有机物质严重污染的水时，病毒已显示出特有的抵抗能力。目前，由于在间接或暗中再用水遇到了一些问题，因此必须发展废水的深度处理技术，这比制定城市直接再用为目的计划更为急迫。

废水再净与再用技术，目前已引起了许多地区的工程师、生物学家、化学工作者、农学家、公共卫生工作者、水资源管理工作者的关注。其着重点是因人而异的，是根据防止地表水污染的必要性、保存和再循环土壤养料的要求，以及象保护公共卫生那样的农业、工业或城市附加水源的发展所决定的。

在我们生活的世界上，有限的水资源将被很快地掠夺与耗尽。随着时间的推移，水的合理保存，再净与再用，对保护宝贵的水资源和以合理的方法进行再循环而供人们更好使用，会起到重要的作用。

在过去的二十五年中，已从各个方面广泛地对上述问题进行了研究。世界上许多部门在水再用实践方面获得了大量实际经验。目前水再用正迅速形成一个可靠的科学的基础，并且能吸取许多新颖的与重要的技术研究成果。本书将使政策制订者以及设计人员与科学工作者，进一步了解密切地关系到保障人类健康的水资源管理的生命力及其发展方面的复杂性（翻译时有删节）。

Hillel I. Shuval

目 录

上卷 概论与处理技术

第一章 水再用的废水深度处理技术 3	
F.M.Middleton	
I. 引言	3
II. 控制水再用的特定考虑	4
III. 定义	5
IV. 废水成分	6
V. 处理方法	6
VI. 废水处理过程中生成的残渣	14
VII. 水的再净与再用系统及其成本	16
参考文献.....	22
第二章 水的再净与再用的卫生条件23	
Hillel I.Shuval	
I. 引言	23
II. 污染物的种类	24
III. 各类废水再用的卫生要求	30
参考文献.....	45
第三章 废水用于农灌49	
Josef Noy、Akiva Feinmesser	
I. 引言	49
II. 有关灌溉方面的处理后废水性质	52
III. 用处理后废水灌溉的技术观点	58
参考文献.....	61
第四章 水在工业方面的再用63	
Lawrence K.Cecil	
I. 工业水的利用	64
II. 完善的废水规划	65
III. 争水	70
IV. 改变管理条例以促进水的再用	72
V. 水再用设备的租用	74
VI. 处理浓缩物质的处置	74
VII. 新系统设备操作人员的培训	76

Ⅶ. 给政府有关部门作出的各种报告	76
Ⅸ. 受益	77
X. 文献综述	79
参考文献	79
第五章 城市方面水的再用	81
G.J.Stander	
I. 引言	81
II. 当前水回收再用的状况	82
III. 讨论与结语	87
参考文献	87
第六章 压力驱动膜法与废水再净	89
Georges Belfort	
I. 引言	90
II. 压力驱动膜法的原理	93
III. 反渗透	96
IV. 超滤	118
V. 结论	122
参考文献	123
第七章 水再用系统的选择: 投资效益法	130
Lucien Duckstein	
Chester C.Kisiel	
I. 引言	130
II. 塔克森 (Tucson) 的实例研究	133
III. 方法论的应用	133
IV. 摘要与结论	145
参考文献	146
下卷 世界各国的经验与实践	
第八章 美国加利福尼亚的水再用	151
Henry J.Ongerth	
William F.Jopling	
I. 引言	151
II. 废水回收情况	152
III. 有关卫生问题	153
IV. 加利福尼亚的规定	155

V. 废水回收的发展	158
附录 废水回收标准	171
第九章 德意志联邦共和国的水再用	178
W.J.Müller	
I. 水资源和废水再用	178
II. 废水回收用于公共给水	180
III. 为工业要求的废水再用	184
IV. 为农业要求的废水再用	186
参考文献	188
第十章 印度的水再用	190
Sorab J.Arceivala	
I. 引言	190
II. 为工业用的城市污水处理	191
III. 高层建筑内的水再用	194
IV. 棉纺工业的水再用	196
V. 其他工业上的水再用	203
VI. 水再用于灌溉	206
VII. 大粪的使用	209
VIII. 结论	210
参考文献	211
第十一章 以色列的水再用	212
Gedaliah Shelef	
I. 引言	212
II. 再净废水作为总资源的一部分	213
III. 再用的目标和规定	214
IV. 废水再用的实践和规划	215
V. 经济方面	222
VI. 结论	224
参考文献	225
第十二章 日本的水再用	226
Takeshi Kubo and Akinori Sugiki	
I. 日本水资源的特性	226
II. 污水处理后再用于工业	230
III. 光合细菌和小球藻处理粪便水	235
参考文献	238

第十三章 南非的水再用	239
Oliver O.Hart and Lucas R.J.Van Vuuren	
I. 引言	239
II. 农业上的再用	244
III. 工业上的再用	250
IV. 废水的直接和间接再用	256
V. 远景规划	263
VI. 结论	264
参考文献	264
第十四章 联合王国的水再用	266
G.E.Eden, D.A.Bailey and K. Jones	
I. 不列颠诸岛水的经济状况	266
II. 间接再用	268
III. 直接再用	271
IV. 研究规划	277
V. 再用的选择	285
参考文献	286
第十五章 美国环境保护局 (EPA) 华盛顿哥伦比亚特区的中间试验厂	287
Dolloff F. Bishop	
I. 引言	287
II. 中间试验厂的设备	288
III. 早期的三级处理	292
IV. 哥伦比亚特区的中间性研究	293
V. 当前工作	300
参考文献	303

上 卷

概 论 与 处 理 技 术

第一章

水再用的废水深度处理技术

F.M.Middleton

I. 引言	3
II. 控制水再用的特定考虑	4
III. 定义	5
IV. 废水成分	6
V. 处理方法	6
A. 筛滤与沉降	7
B. 生物处理	7
C. 深度处理	7
VI. 废水处理过程中生成的残渣	14
VII. 水的再净与再用系统及其成本（按1974年美元计）	16
A. 灌溉方面再用	16
B. 娱乐方面再用	17
C. 工业方面再用	18
D. 非饮用的生活方面再用	19
E. 接近饮用的生活方面再用	20
参考文献	22

I. 引言

在美国和许多国家中，资源的循环与再用，显然必将成为一种很有前途的事业。1970年美国总统向国会提交的第一份环境质量报告中对此做过很好的说明，他说：“我们不能再任意浪费我们的自然资源，更不应再容忍为去除各种废料而不可避免地付出日益增多的费用，我们必须越来越多地采用闭路循环系统，把目前认为的废料变为有用之物而用于生产”。

人类总是在使用与再用水。天然水的蒸发与降雨循环就是一种再用。城镇与工矿企业

从地表河流取水，并将废水排入该河，接着，又成为该河下游用户的供水水源。过去，这种废水经过河流的稀释与自然净化，通常已可满足使用要求。但近年来，由于人口和工业的增长，显然，废水在排放前必须进行处理，才能保持河流的水质。然而废水的处理往往不够充分，甚至根本不进行处理。

各项保存措施可以节约目前大量废弃的水。生产工艺的改革常能减少污染，从而使水能在厂内循环使用。尽管如此，城市与工业仍然要大量用水。污染控制措施要求废水通过处理后能恢复到可供再用的优良水质。经过这样处理的废水可看作是一种增加的水资源，它有计划地供非饮用为目的的再用，可以节约大量自来水。从卫生观点来看，直接再用废水与从河流中间接地或无意地取用受污染的水相比较，两者只是程度上的不同，或者可能毫无区别。因此，合理管理全部水资源才是最佳用水的关键。

目前，在大多数国家中，污染控制已成为必要，同时由于法律上的支持，大规模消除污染的计划正在积极开展。大多数的废水中，污染物质含量很少。城市污水中污染物质的含量通常只有 0.1%。显然，在城市污水与工业废水中有大量可以再用的水资源。本书将讨论各种废水再用的潜力。

本章叙述废水处理工艺，特别是废水深度处理系统，并举例介绍各种工艺的組合以达到再用所要求的各种水质。

II. 控制水再用的特定考虑

在用水量大而废水污染不太严重的场合，将经过处理的出水进行再用是非常合适的。工业废水可能污染严重，因此洁净水回收的潜力不大。废水处理厂的位置与输送再净水的可能性是重要的考虑因素。废水再净厂的位置不一定要与城市污水处理厂设于同一地方，再净方法亦不一定取决于处理的废水总量。在废水流量稳定而不象城市污水那样通常流量变化不定的条件下，处理过程的运转最有效和最经济。只有取用部分城市污水才能得到这种条件。图1-1表明在某个地区内如何最好地规划水的再净与再用。

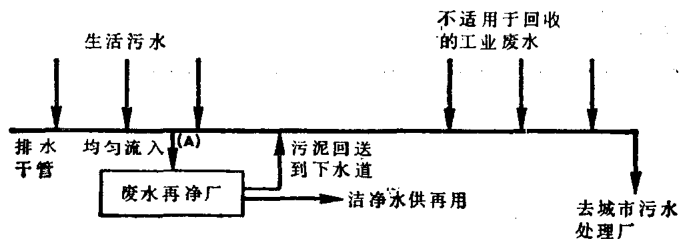


图 1-1 废水再用示意

从排水干管至废水再净厂的分流点(A)应选在只有排入居民生活污水的管段。

废水仅再用一次还是循环多次，这是一个非常重要的问题。多次循环会造成水中某些溶解性物质，特别是无机离子的增加，这就必需除盐。大多数再用不会使循环次数过多。灌溉是一种日益推广的普通的废水再用方式，灌溉的方式有很大不同，但一般也不会给废水造成多次循环的机会，除非它是作为生活用水处理系统中的一个处理步骤。

生活方面的再用提供了最好的再循环机会，尽管如此，再循环的水量要少于总用水量。进入处理厂的废水总量通常要小于原来城市供水系统的供水量。在温暖干燥的地区，水的损耗量可能相当大，这种地区生活方面再用的可能性最大。在美国，水量损耗的变化范围，从潮湿地区低于20%直至干燥地区的60%左右。这种损耗需要大量的补充水量，以防止水中无机盐浓度的大量增加。需要除盐的程度因此大体上低于没有损失和补充水的场合。所需补充水可以从除盐的再净废水中，或从补充水源中获得。在某种情况下，后者可能更为有效。

另外，需要考虑的是进入再净厂的废水特性，特别是废水含有某些工业污染物的时候，应注意去除那些有害于水再用的物质，水再用于生活目的时尤应如此。这些物质可能不仅仅是我们通常考虑的有毒物质。例如，如果再净废水需要除盐的话，则一般盐水就很讨厌。对下水道系统进行调查，即可确定能够再用的废水有多少。再净厂不能接纳受金属或高浓度溶解固体严重污染的水。

再则，需要考虑的是再净水的分配。在复合的管道系统中，每一分系统内不可含有不同水质的再净水，否则，会增加潜在的危险。然而，如处理厂附近有少数大用户用回收水作非生活用水，则配水就简单而且费用低廉。如果用户分布很分散，最经济而现实的办法是在城市供水管系中增设一个管路系统。

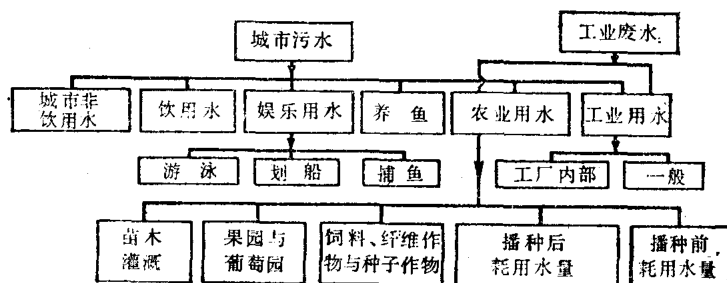


图 1-2 废水有目的的再用

处理后的废水可按不同目的有计划地慎重使用，如图1-2所示。有目的的废水再用现已不是新鲜事物，但对其必要性的认识还有一个过程。

III. 定 义

本章应用以下定义。

城市污水。城市地区所使用过的水。包括居住区，商业建筑与工厂的废水以及进入下水道系统的地表水或地下水。

间接再用。水经过一次或多次使用后为生活污水或工业废水，排入地表水体或地下水体，经过稀释再次使用称为废水的间接再用。

直接再用。为某种目的，有计划而谨慎地使用经过处理后的废水，如农业灌溉、娱乐、工业、地下水回灌以及饮用。

厂内再循环。为了保存水和控制污染，水在工厂内部进行再用。

工业废水。工业生产中用过的水，可在厂内进行处理与再用后，排入城市下水道；或

经局部处理（或不经处理）直接排放到地表水体。

废水深度处理。处理系统超过一般的一级处理与二级处理。废水深度处理工艺通常包括投加各种化学品（生物硝化——脱氮，使用活性炭），过滤或用膜法分离。

IV. 废 水 成 分

由于地质与地形的关系，未受污染的地表水和地下水含有各种矿物质与气体。水经城市使用后增加了各种杂质，如砂子、灰尘、油类、细菌、肥料、农药，以及通过街道或土壤冲刷后的各种有机杂质；人体废物（有机质、细菌、病毒、盐类）；洗衣废水（无机盐类、磷酸盐、盐类、表面活性剂）；工业废料（热、无机盐类、色、金属、有机物质、有毒物质、油类和工业产品本身）。即使废水中有无数物质，城市污水中水的含量仍占99.9%。

由于废水中许多物质的浓度很低，因此很难测定水中所有的物质，一些污染物质的测定方法已成为一种规则，如污水中有机物质测定用生化需氧量（BOD）与化学需氧量（COD）以及总有机碳（TOC）。BOD是测定生物体所需的氧量，COD是测定有机物质化学氧化所需的氧量，TOC是直接测定有机碳。固体测定较为容易。微生物特性主要靠测定大肠杆菌群来判定。

随着废水再用的增多，应更全面地对水质进行检测，这方面工作现在已有良好的进展。

V. 处 理 方 法

世界上多数采用图1-3所示的废水处理方法。这种系统有不同名称，如常规处理，生物处理，一级加二级处理。这种处理系统专门用来去除废水中的悬浮固体、可生物降解的有机物和微生物。过去，为了避免排放废水污染周围环境，在排放前就要除去废水中这三类污染物质。不久以来，由于人口的增长，工业的发展，对于水源在娱乐与观赏方面的要求大为提高，上述的处理方法就显得不够了。

在许多地方常规处理系统不再能满足要求，已在此基础上建设了一些更新的，更有效的处理系统。下面简略介绍该系统及其处理程度。详细的处理方法可查阅标准教科书。

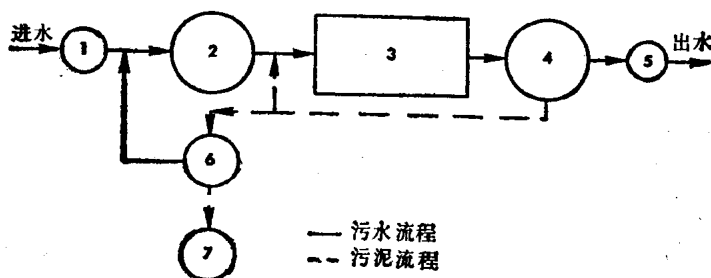


图 1-3 生物处理系统

1—预处理；2—初次沉淀；3—生物氧化；4—二次沉淀；5—消毒；6—污泥脱水；7—污泥最终处置

A. 筛 滤 与 沉 降

如图 1-3 所示, 废水第一步经过筛滤和除砂进行预处理。预处理是用来保护后面的水泵与管道, 以防止被废水中常有的大粒料和研磨料所损坏。第二步, 通过初次沉淀去除较大的有机固体。以上处理过程称为一级处理。城市污水在一级处理过程中只有三分之一的需氧物质被去除。细菌与病毒经过沉淀后只能部分去除。

经过一级处理的城市污水能用于农作物(如棉花)灌溉, 但不能直接供人们使用。城市污水中约有一半再用于农灌。

B. 生 物 处 理

第二阶段是生物氧化, 此阶段中, 大量微生物在好气环境下与污水接触。微生物消耗可溶的和胶状有机物质, 产生更多的微生物、二氧化碳和水。生物滤池与活性污泥法是用于生物氧化的两种系统。具体细节不在这里讨论。在生物氧化中活性的微生物在二次沉淀池内从污水中分离出来。微生物是有机物质, 不能随出水排掉。使其一部分返回至生物氧化处理设施的前端, 以保持池中有足够的微生物量, 剩余的部分送至污泥处理设施。污水经二次沉淀池后, 常用氯消毒后排放。

良好的二级处理出水能广泛地重复利用, 包括工业冷却用水, 大多数作物的灌溉与牧草用水。

表 1-1 为常规二级处理厂典型的运行指标。这一类型的处理厂不能有效地去除磷、氮或盐类。但对悬浮固体、有机物质以及微生物的去除效果则是显著的。

常规二级处理厂典型的运行指标

表 1-1

污 染 物	出水(毫克/升)	去除率(%)	污 染 物	出水(毫克/升)	去除率(%)
悬浮固体	20~30	80~90	氨氮(以N计)	15~25	0~10
BOD	15~25	80~90	磷(以P计)	6~10	0~40
COD	30~60	70~80	大肠杆菌	1个/毫升	99.999

C. 深 度 处 理

为满足严格控制污染的要求和为多种再用提供高质量的水, 可采用废水的深度处理。深度处理有时与常规处理联合使用, 或放在常规处理的后面作为三级处理。主要处理方法有化学处理、活性炭吸附、过滤、反渗透、电渗析、微滤、离子交换、氯化法和臭氧氧化。这些处理方法的原理及其使用时的设计依据, 可以参考1972年 Weber 的《水质控制物理化学方法》。