

水的良性社会循环与城市水资源

李圭白, 李 星

(哈尔滨工业大学, 哈尔滨 150090)

[摘要] 文章从水的社会循环全过程的角度, 论述了城市水资源短缺危机的解决途径, 指出进行城市污水和工业废水的处理和回用, 节约用水, 进行饮用水除污染处理, 以及进行水的优质优用, 合理调配, 开发雨水、海水利用等, 以及在充分论证基础上进行远距离调水, 是缓解城市水资源危机的多种可能途径。

[关键词] 城市水资源; 水的良性社会循环; 节水; 污水回用

水是生命之源。水是人类社会不可少的和不可替代的资源, 所以水资源应成为人类可持续发展的宝贵资源。

地球上水的循环, 可分为水的自然循环和水的社会循环。水的自然循环有多种, 对人类最重要的是淡水的自然循环。图1是淡水的自然循环的典型示意图。水从海洋蒸发, 蒸发的水气被气流输送到大陆, 然后以雨、雪等降水形式落到地面, 一部分形成地面水, 一部分渗入地下形成地下水, 一部分又重新蒸发返回大气。地面水和地下水最终流回海洋, 这就是淡水的自然循环。

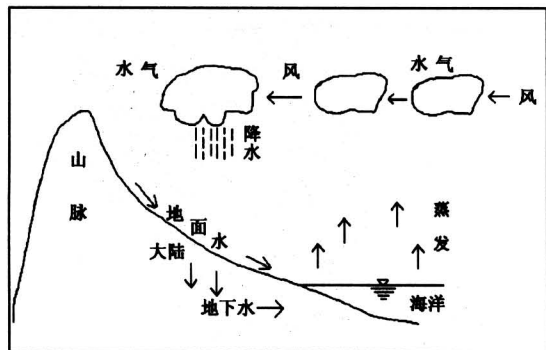


图1 水的自然循环

Fig.1 Natural cycle of water

城市是人口和工业集中的地方。城市用水主要是人们的生活饮用水和工业用水。城市由天然水体取水, 供人们生活 and 工业使用, 用过的水又排回天然水体, 这就是水的社会循环, 如图2(1)。

在水的社会循环过程中, 用过的水中常会有许多废弃物。一般天然水体都是一个生态系统, 对排入的废弃物有一定的净化能力, 称为水体的自净能力。由于社会循环的水量不断增大, 排入水体的废弃物不断增多, 一旦超出了水体的自净能力, 水质就会恶化, 从而使水体遭到污染。受污染的水体, 将丧失和部分丧失使用功能, 从而影响水资源的可持续利用, 并加剧水资源短缺的危机。水环境污染, 现已成为世界性的重大问题, 而我国的水环境污染尤其严重, 已使国民经济遭受重大损失。

对城市污水进行处理, 使其排入水体不会造成污染, 从而实现水资源的可持续利用, 称为水的良性社会循环。城市由未受污染的天然水体取水, 一般是比较经济的, 因为为满足用水对水质的要求(特别是生活饮用水)而进行的水处理比较易行。当水资源短缺危机出现时, 为减少由天然水体取水的量, 可以采取循环回用使用过的污、废水的方法, 如图2(2)所示。将清洁的冷却水循环使用于工业用水, 比较简单, 也比较经济。将含废弃物

较多的城市污水和工业废水回用于工业，为满足工业用水水质要求而进行的水处理会复杂得多，且也

比较昂贵。将尽量多的污、废水回用于工业，可以显著减少由天然水体的取水量，缓解水资源危机。

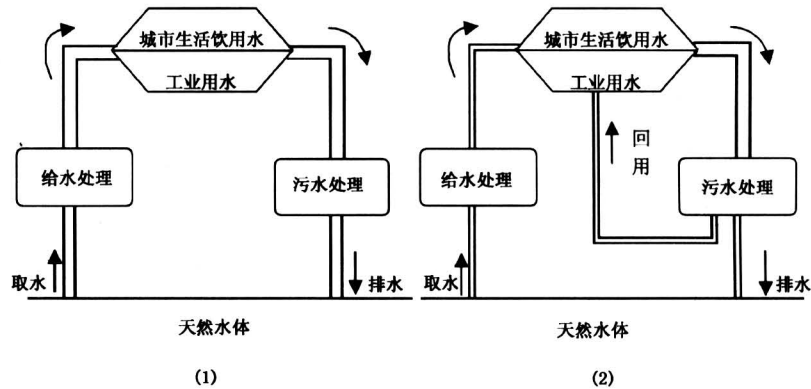


图2 水的社会循环

Fig.2 Society cycle of water

现代的水处理新技术，已能将城市污水处理到符合人们生活饮用水水质标准要求的程度。在国外，已建起了一定规模的水处理实验厂，也就是说，现在在技术上有可能实现城市污水回用做生活饮用水，甚至做到城市污、废水的零排放，这不仅将最大限度地缓解水资源危机，并完全消除城市对水环境的污染。在载人宇宙飞船中，已经实现了水的封闭循环和零排放。美国公共法规 92-500 规定，到 1983 年美国实现城市污水零排放作为全国性目标（后来美国已由这一目标后退）。当然，要将城市污水回用做生活饮用水，以及实现城市污水的零排放，费用是很高的。但是，这说明城市水资源短缺，只是相对的，并且主要是一个经济问题。

从水的良性社会循环角度看，人们生活和工业生产用过的污、废水排入天然水体以前需要经过处理，为此需要花费一定的费用。如果回用污、废水的处理费不高于上述回用费用，无疑是比较合理的，否则便需从多种方案中进行选择。

为解决水资源短缺危机，可行的有以下途径：

节水 我国许多地区，由于水价过低等原因，一方面水资源短缺，一方面又存在着大量浪费水的现象，所以节水，杜绝浪费，是缓解水资源危机的首要任务。在水资源短缺地区，应发展节水型工业，各种工业宜采用节水型工艺，减少单耗。生活方面采用节水型用水器具。提高器具质量，加强管理，减少跑冒滴漏。一般城市管道漏损量很大，可达 10% 以上，所以减少漏损是非常重要的。

节水具有重大战略意义 节水不仅可减少从天然水体的取水量，缓解水资源危机，并且可减少供水和给水处理费用。此外，节水还可同时减少排水量和污、废水处理费用。据测算，随着我国城市化进程和经济的发展，城市用水量会不断增加，相应的排水量也会不断增加，为实现水的良性社会循环，城市供排水所需费用将增大到国民经济难以承受的程度，只有节水，显著减少城市供、排水量，才能将费用降下来，所以不仅水资源贫乏地区要节水，水资源充足的地区也要节水，在国外，这也成为目前发达国家的共识。从战略角度，节水应受到高度重视。

污、废水回用 前已述及，污、废水回用可以减少城市由天然水体的取水量，缓解水资源危机，所以污、废水回用也是节水的重要方面。可行的污、废水回用有多方面，工业企业内部水的循环利用和重复利用是应用最广的一种，但是我国在这方面与发达国家尚有不少差距。

城市污水回用于工业，需要进行比排入天然水体更复杂的水处理，但对水资源短缺的地区，它在许多方案中仍是比较经济合理的一种，在国外已是一种成熟技术，但在我国尚处于起步阶段，今后潜力是很大的。

将城市污水回用于公用设施和住宅冲洗厕所、浇灌绿地、景观用水，浇洒道路等，一般称为中水道技术，也是很值得推广的。

优质优用、合理调配 城市附近的农业灌溉

用水，用水量很大，大都取自天然水体。城市用水为满足人们生活饮用需要，也要求取自天然水体。在水资源短缺地区，这就形成了城市和农业争水的矛盾。如将城市污水回用于农业灌溉，将原来用于灌溉的水供给城市，就能缓解争水矛盾和水资源危机。我国已有不少城市污水用于农田灌溉，但有的使用未经处理的污水或虽经处理但水质尚达不到灌溉要求的水灌溉，结果使农产品受到污染，是有待改进的。如将城市污水经适当处理，使其水质满足农业灌溉的要求，则城市污水回用于农业灌溉是可以得到迅速发展的。

海水 可大量用于工业冷却用水，从而减少城市对淡水的需求。对沿海地区的城市，利用海水是缓解水资源危机的重要途径。

雨水 是一种重要的淡水资源。现代大城市市区面积很大，大部分地面为不透水铺面覆盖，遇到暴雨会形成洪涝灾害。如将雨水部分贮积起来，则可获得可观的水资源。对年降水量为 500 mm 的半干旱地区，年降水体积为 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ，例如 100 km^2 市区面积，年降水体积可达 $5\,000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。在城市住宅小区或适当地方贮积雨水，可用于浇洒绿地、道路、水景以及下渗补充地下水，改善生态环境，并缓解水资源危机。

饮用水除污染 由江河取水的城市，若水质受到上游城市或其他污染源的污染而不宜再作水源时，称作水质型水资源短缺。现代的饮用水除污染技术，能将受到一定程度污染的源水处理到符合生活饮用水水质标准的要求，为此只要在现有城市自来水传统处理工艺基础上，再增加除污染处理设施就可以了，为此当然需要增加一些费用，但比城市污水的处理费用要低。饮用水除污染，可以缓解水质型水资源危机。但要完全解决水质型资源危机，需要大力治理污染源，即需要对城市排出的污、废水进行处理。对一个水系而言，上游城市由水系水体取水，用过后又排入水系，下游城市再由水系水体取水，这可称为水的间接回用。现代的城市化进程和经济发展，已使水的这种间接回用达到很高的比例。例如，对美国这样水资源充沛的国家，20 世纪 80 年代已有 40% 的水被城市和工业用过一次，所以对排入水体的城市污、废水进行处理，是实现水的良性社会循环的重要环节。

我国城市污水的处理率至今仅为不到 14%，再加上工业废水及农业面污染源，致使城市水域

90% 受到污染。所以城市水质型水资源危机是我国普遍存在的现象。据测算，即使到 2050 年，我国城市污水处理率达到 80%，由于城市污、废水量相应增加，那时水环境污染状况仍得不到根本改善，如果不进行饮用水除污染，人们肯定难以接受长达数十年饮用受污染水。所以，对饮用水除污染与污染源治理应该同时予以重视。但现实是，污染源治理已受到高度重视，而饮用水除污染却重视不足，特别是未给予资金支持，致使我国城市受污染水源的饮用水除污染率仅为 1% 左右，不能不说是一个偏差。

若将水的间接回用作为水的社会循环的一部分来看，上游城市污水处理的程度与下游城市取水的水质有关。所以，在经济上存在一个上游城市污水处理与下游城市饮用水除污染处理总费用的问题。显然，上游城市污水处理程度愈高，即费用愈多，下游城市的饮用水除污染处理的费用就会愈少。极限的情况是，上游城市污水处理的程度使排放的水质达到天然水体的水质，这样下游城市便只需对源水进行常规处理而不需再增设饮用水除污染设施，但这时上游城市污水处理费用会高到经济发展现阶段无法承受的地步。将上游城市污水处理程度和费用适当降低（当然还要兼顾对环境其他方面的影响），这时排出的污水对水体水质会造成一定程度的污染，下游城市就需要增加饮用水除污染费用，但总费用会比上述极限情况低许多，可能是目前比较合理的方案。所以，饮用水除污染应是整个水环境污染治理的一环。

远距离调水 当城市出现水资源危机时，也可以由远处的水体调水。当然远距离调水需要比较高的费用，且与调水的距离相关，即调水距离愈长，费用愈高。远距离调水应在充分节水的基础上进行。因为若不节水，用水浪费严重，用水效率低，必然要调更多的水，并且调来的水也会有相当部分被浪费掉，不能充分发挥调水效益。调水愈多，城市污水增加的也愈多，不仅增大调水费用，同时也增大了污水处理和排放的费用，若不能同步建设污水处理设施，还会加重对水体的污染。

远距离调水应与节水及污、废水回用进行经济比较 城市节水及污、废水回用在许多情况下比远距离调水经济。对水质型水资源短缺，远距离调水应与饮用水除污染进行经济比较。据测算，在城市自来水厂因进行饮用水除污染而增加的投资约和 25

~50 km 输水投资相当, 即当调水距离超过 25~50 km 时, 其投资将比饮用水除污染工程投资要高。为降低远距调水的成本, 有的工程采用明渠输水, 据调查明渠输水大多数会受到污染, 调来的水也需进行饮用水除污染处理, 使水的成本更高。

水对于人类社会, 虽然是不可替代的, 却是可以再生的。水在城市用水过程中, 不是被消耗掉了, 即水量上不发生变化(理论上), 而只是水质发生了变化, 失去了使用功能。用水处理的方法改变水质, 使之无害化、资源化、特别是再生回用, 就能实现水的良性社会循环, 既减少了对水资源的需求, 又减少了水的排放, 减少对水环境的污染, 一举两得, 这对人类社会的发展是有重大意义的。美国工程院在世纪之交, 以改善人类生活质量为评选

标准, 评出 20 世纪 20 项最重大工程技术成就中, “水处理”在电气化、汽车、飞机之后, 排名第 4, 足见其重要性。

远距离调水, 对水资源有限的地区, 只能愈调愈少, 是资源消耗型的做法。水如再生回用, 实现水的良性社会循环, 才是资源节约型的做法。只有将远距离调水与水的再生回用进行经济上的、技术上的和工程可行性等全面论证的基础上统筹考虑, 才是合理的。

鉴于人们决策时对城市节水及污、废水再生回用的认识不足, 有必要制定优先进行城市节水及污、废水再生回用的政策, 促使城市水资源的可持续利用和水工业发展步入节水型的轨道。

The Good Social Cycle of Water and the City Water Resource

Li Guibai, Li Xing

(Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

[Abstract] The solution ways of the crisis of the city water resource shortage are discussed from the viewpoint of whole process of social cycle of water. It is pointed out that the possible ways to pass the crisis of city water resource are as follows: treatment and reuse of urban wastewater and industrial wastewater, saving water, pollutant removal treatment of drinking water, good quality water for effective use, reasonable allocation of water, utilization of rainwater and seawater, and long distance transfer of water on the basis of full demonstration.

[Key words] city water resource; good social cycle of water; saving water; reuse of urban and industrial wastewater

我国研制成功骨器官生物材料

依据缺损骨头的形状, 用一种有机高分子材料制成支架, 在上面“种”上成骨细胞, 再植入体内, 材料为细胞提供养分, 过一段时间, 骨头渐渐长成, 而这种材料也消失。

这种生物材料目前已经在天津大学材料科学与工程学院研制成功。最近, 该院已在兔子身上进行了类似实验。实验表明, 这种材料具有良好的生物相容性和骨传导性, 新生骨组织在其身上以爬行方式生长, 一定程度上可使骨缺损尺寸降低到可自身修复的程度。较长时期不降解, 且力学性能保持良好, 有望成为治疗骨缺损的替代物。

这项研究是“973”项目“组织工程基础科学”的一部分。据该院的成国祥教授介绍, 天津市在 1997 年就开始着手制造器官的研究。而今, 这个项目的关键环节——研究开发一种能够为人体细胞提供养料并可降解的高分子材料的工作已经完成, 这一技术现已申请专利。