

缺水地区实现水资源良性循环的技术途径探讨

陈立¹ 邱慎初² 范洁²

摘要: 本文简要介绍了国内外对水资源的利用情况,总结了我国水资源开发利用的主要问题,就再生水回用的方式及其可能性加以重点论述,提出将再生水回用于景观水体和地下水回灌有机地结合在一起,作为实现我国水资源良性循环的短期目标和长期目标。将城市污水再生后回用于地表水源与地下水源的补给,利用自然界的物理、化学和生物作用,可以实现自然生物链的长循环,使水得到充分的净化、修复和恢复,从根本上解决水源的涵养问题,实现水生态的良性循环,保证经济、社会的可持续发展。

关键词: 水资源,水生态循环,可持续发展,污水回用,环境回用,地下水回灌

Probing into Technical Approaches of Implementing Water Resources Virtuous Cycle in Water-scarce Areas

Li Chen¹ Shenchu Qiu² Jie Fan²

Abstract: A brief introduction about water resources utilization at home and abroad was given in this paper. Main problems in exploitation and utilization of water resources were summed up. Approaches and possibilities of water reuse were discussed with emphasis. It was presented that using reclaimed wastewater as scenic waters and in groundwater recharge could be treated as short-term and long-term goals respectively in implementing water resources virtuous cycle in China. Reclaimed municipal wastewater is reused in surface water and groundwater source replenishment so that wastewater could be refined, rehabilitated and renewed through physical, chemical and biological process in biological long circle. By doing so, headwater conservation is to be solved totally in order to implement hydrological virtuous cycle. Sustainable development of economy and society will be secured.

Keywords: water resources; hydrological cycle; sustainable development; wastewater reuse; environmental reuse; groundwater recharge

1. 前言

1.1 污水回用的背景

水是人类生存发展的生命源泉,也是人类共有的资源,保护和节约水资源已成为全世界关注的焦点。地球表面的 71% 由水覆盖着,水资源总量超过 140 亿 m^3 ,但海水占了 97% 以上,淡水仅占地球水资源总储量的 2.6% 左右,其中的绝大部分蕴藏在南北极的冰雪中,仅有 0.8% 的淡水分布在江河、湖泊、土壤和空气之中。水资源的分布极不均匀,人口最多的地区,水资源最为贫乏;非洲、中东和中亚是世界上淡水资源极其贫乏的地区。地球上的淡水既存在着原始资源性短缺,也由于人类社会的不断发展,城市化和工业化的程度不断提高,人口剧增,呈现污染性短缺,更加剧了全球水资源问题的严重性。

1 中国市政工程华北设计研究院 North China Municipal Engineering Design & Research Institute

2 国家城市给水排水工程技术研究中心 National Engineering Research Center for Urban Water & Wastewater

由于我国地域辽阔,发展不平衡,水资源的原始资源性短缺和污染性短缺显得更为突出。据统计,全国 669 个城市中,400 个城市常年供水不足,其中有 110 个城市严重缺水(日缺水量达 1600 万 m^3 ,年缺水量 60 亿 m^3),由于缺水每年影响工业产值 2000 多亿元。天津、长春、大连、青岛、唐山和烟台等大中城市已受到水资源短缺的严重威胁。由于工农业的发展,耗水量剧增,污水排放量大,导致地表水体和地下水体污染。地下水超采,造成水位下降、地面沉降、海水入侵。水资源的严重短缺已成为制约我国社会经济可持续发展的重要因素,因此大力实施污水回用实已刻不容缓。

我国在工业回用、农业回用方面已有多年的经验。“七五”期间,国家就安排了“水污染防治及城市污水资源化技术”的研究课题,天津、北京、大连、太原、西安等缺水城市相继开始了污水再生工艺、回用技术、回用经济政策等方面的研究工作;“八五”期间,“污水净化与资源化技术”的研究课题,分别以大连、太原、天津、泰安等地的处理设施为依托工程,开展工程性试验;“九五”期间,国家继续安排了“回用技术集成化研究”和“城市污水地下回灌深度处理技术研究”两部分攻关内容;“十五”期间,国家将开始全面展开污水回用工作。

1.2 污水回用——实现水资源良性循环的重要途径

将污水作为一种资源再生后回用,是社会、经济持续发展的必然选择,其目的在于增加可供水量,抵抗干旱,增加供水可靠性,保护受纳水体,改善公共卫生条件,保护自然生态环境……。人类在控制自然、改造自然、发展自身的过程中,更深切地认识到,调整人与自然的对立关系,保护自然生态环境,就是保护人类自身的生存环境。人类对水的实践探索已经历了原始利用、初级利用、综合利用这样三个阶段,正在经历由必然王国向自由王国转化的第四阶段——水资源的可持续利用。因此发达国家在水环境问题上,已开始对总体战略目标进行调整,即由控制水、开发水、利用水,转变为对受污染水体功能进行全面修复与恢复,从根本上实现水生态环境的良性循环,从而保障水资源的可持续利用和人类社会的可持续发展。我国的“国民经济和社会发展第十个五年规划纲要”明确规定:重视水资源的可持续利用,坚持开展人工增雨、污水处理回用、海水淡化。多渠道开源,建设一批骨干水源工程。

2. 我国水资源开发利用的主要问题

目前我国水资源开发利用的主要问题是:水资源短缺、污染严重、浪费严重、再生回用率低以及与此关联的自然生态条件恶化。

2.1 水资源短缺

我国人均水资源拥有量仅为 $2160\text{m}^3/\text{a}$,不到世界平均水平的 $1/4$,已被列为世界 12 个贫水国之一。更由于时空分布不均、径流年内分布主要集中在夏季 3 个月、年际分布南北差别极大;北方地多水少:黑龙江、辽河、海滦河、黄河、淮河 5 大流域区,陆地面积占全国的 28.2%,耕地面积占全国的 57.3%,人口占全国的 43.5%,而径流只占全国的 12.3%;南方地少水多:西南诸河区耕地面积占全国的 1.8%,人口占全国的 1.5%,而径流却占全国的 21.6%;因此水资源在人口、地区和时间上的分配极不协调。近年北方出现百年不遇的大旱,许多水库河流出现了从未有过的断流和枯干,北方 13 个省 318 个县级以上城市缺水,日缺水量 815 万 m^3 ,城市缺水人口达 1690 万人,很多城市被迫限时限量供水。今年上半年又出现干旱,入夏以来,全国受旱面积已达 2060 万公顷,五月份北方八省大型水库蓄水量比去年同期减少 20%。

2.2 水资源污染严重

我国水资源污染严重,2000 年全国废水排放总量 415 亿吨,比上年增加了 3.5%,其中生活污水排放量 220.9 亿吨,比上年增加了 8.4%,工业废水排放量 194.2 亿吨,此外,还有大量的小城镇排放污水尚未计算在内。目前 63.8%的城市河段受到中度或严重污染;97.5%的城市地下水受到不同程度的污染;近岸海域无机氮污染严重,一类海域海水水质超标率为 60.3%、活性磷酸盐超标率为 55.8%,部分海域石油类超标率较高,海洋赤潮有频繁发生的趋势。

目前,我国已建污水处理设施 400 余座,城市污水处理率为 30%左右,城市生活污水处理率仅

为 20% 左右。而发达国家中, 美国 (1993 年)、日本 (1997 年)、欧共体国家 (1993 年) 污水二级处理率已分别达到 71%、55% 和 75%~96%, 深度处理率也已分别达到 30%、5% 和 12%~88%。在我国普及城市污水处理的主要障碍是资金不足, 许多城市的污水处理设施因为经费不足无法运行, 甚至基本不运行, 相当数量的城市至今还没有污水处理厂。因此国务院要求 2005 年所有大城市 (人口在 50 万以上) 的污水处理率必须达到 60%, 2010 年全部城市污水处理率都要达到 60%, 直辖市、省会城市、计划单列市以及重点风景旅游城市污水处理率不低于 70%。“十五”期间, 普及城市污水处理是解决日益严重的水环境污染的当务之急。

2.3 水资源浪费严重

我国水资源浪费严重。尽管用水总量与美国大体相当, 但国内生产总值仅为美国的 1/8; 工业生产耗水量大: 万元工业产值用水量是发达国家的 5~10 倍; 城市人均耗水量大: 1998 年城市人均综合日用水量为 556 公斤, 而 1991 年欧洲 15 国的人均综合日用水量仅为 256 公斤。我国在水资源的节约上与发达国家差距极大。根据发达国家的经验, 国民经济各部门用水量并非随着经济的发展不断增加, 而是当用水量达到一定程度后, 随着科学技术的发展和产品结构的调整, 耗水量也会有所下降。

但是, 目前我国用水总量中, 农业占 70% 以上, 工业和城市用水不足 30%。专家预测, 到 2030 年, 即使在充分考虑节水的前提下, 随着工业化和城市化进程的加快, 农业用水可基本不增, 工业和城市生活用水比重仍将逐步上升, 工业用水将由现在的 370 亿 m^3 增加到 660 亿 m^3 , 城市生活用水也将由现在的 260 亿 m^3 增加到 660 亿 m^3 , 城市缺水会日益严重。因此必须把节水放在首位。不仅农业要节水, 工业和城市也要节水; 贫水地区要节水, 富水地区也要节水; 枯水年要节水, 丰水年也要节水; 我国的经济和社会发展必须符合节水型社会的要求。

2.4 水资源再生回用率低

我国污水处理率低, 再生回用率更低。污水的处理、再生与回用远没有成为自觉的国民行为。大部分北方城市和沿海城市严重缺水, 水资源短缺造成地下水超量开采和资源储量锐减。城市缺水已成为制约城市发展和人民生活水平提高的重要因素, 因此污水回用势在必行。根据上述国务院对我国城市污水处理设施建设的要求, 实施污水回用潜力巨大, 因此当前急需制定切实可行的技术、经济政策, 确保污水回用成为缺水地区污水处理厂规划建设中不可缺少的重要组成部分。根据以上情况, 借鉴国外污水处理厂发展过程的历史经验, 笔者认为, 宜将我国的“污水处理厂”改称为“污水再生利用厂”, 以利全面启动污水回用。

2.5 自然生态条件的恶化

水资源短缺、水污染加剧引发的自然生态环境恶化, 是目前我国面临的环境重要环境问题。资源短缺, 导致地下水超量开采, 地面沉降, 海水入侵; 干旱严重, 气候异常, 导致天然植被破坏, 土壤沙化; 工业化、城市化进程加快, 污染排放增加, 导致地表径流和地下水的严重污染, 加重了水资源的污染性短缺。

大自然一直在警示我们, 应该把水循环作为整个生态循环的一部分来严肃对待, 发展是人类永恒的主题, 当“发展”违反了生态法则, 就会反过来危害人类自身的生存。因此我们不仅要关心自身的发展, 还必须关心整个生态资源的可持续。

3. 再生水回用的方式及其可能性

污水再生回用的目的在于节约珍贵的新鲜水资源、实现污水资源化, 促进水生态系统的良性循环。

3.1 再生水回用的方式

城市污水再生后可以回用于农业、景观环境、城市生活杂用、工业、地下水回灌。其中:

农业回用包括: ①非食用性作物, ②饲料性作物, ③熟食性作物, ④生食性作物, 等等。农业回用, 在世界范围内已经有多年的成熟的实践经验, 本文不再详述。

景观环境回用包括：①娱乐性环境回用，如景观河道、景观湖泊、娱乐性蓄水池、喷泉、瀑布等景观娱乐水体，②景观绿化，③恢复自然湿地或营造人工湿地，等等。

城市生活杂用包括：①道路喷洒除尘，②消防，③溶雪，④冲厕，等等。

工业回用包括：①冷却系统，②工艺生产用水，等等。

地下水回灌包括：①油田回注，②阻止海水入侵，③防止地面沉降，④非饮用含水层回灌，等等。

3.2 再生水回用的可能性

再生水回用于景观环境，一可以满足缺水城市对于娱乐性水环境需要；二可以景观河道作为输水渠道，提供沿途的城市绿化用水、城市生活杂用和其他可能的工农业用户的回用水源，节省了长距离双管路的投资；三可以通过娱乐性蓄水池调蓄水资源在时间上的分布不均，满足干旱期的用水需求；四可以通过改善水的流动、蒸发、移动、降水与渗透状态，间接改善缺水城市的水源涵养条件，从而达到改善自然气候条件以及水生态循环的目的。利用再生水构建人工水体或补充天然水体时，最大的问题可能是水体的富营养化（卫生问题可以通过消毒来解决），也就是水中营养盐的问题，一种解决方法是通过污水处理技术去除水中氮磷，这样做会增加污水处理的成本；另一种解决方法是通过人工培养具有观赏价值水生植物，使富营养化水体处于贫营养状态。可以预见，随着环境意识的提高，城市污水回用于景观环境将拥有广阔的前景。国外早就有过这方面的实践，日本曾在 1985 年~1996 年期间用再生水复活了 150 多条河道的景观功能，愉悦身心，深受居民欢迎。“七五”和“八五”期间，我国专门安排了城市污水资源化的研究课题，在天津、泰安相继开始了城市污水回用于景观河道和景观水体的研究，取得了可喜成功，目前正在制定和修订相关的再生水回用标准和规范。

再生水用于地下水回灌，从水的自然循环角度讲，体现了“减量化、资源化、无害化”的污染治理原则和可持续发展的战略思想，是城市污水回用重要发展方向之一。城市污水经深度处理后，以土壤基质作为生物反应过滤器，通过土壤蓄水层的物理、化学和生物作用实现了自然生物链的长循环，使水得到了充分的净化、修复和恢复，从根本上解决了水源的涵养问题，应该说是维护健康良性的水生态循环的一种有益的途径。再生水用于地下水回灌，对再生水水质要求很高，需要高级深度处理技术的支持，最大的问题可能是再生处理技术的成本问题，需要国家有足够的经济实力来支持。由于长期缺水，以色列在污水净化和回收利用方面，始终处于世界领先地位。据 1987 年统计，其污水再生回用率已达全国污水总量的 70% 以上，再生水 42% 用于灌溉，30% 回灌地下，回灌地下部分再经抽出至管网系统，输送到南部地区，最南部地区甚至将它作为饮用水源。美国加州 70 年代起即开始了再生水回灌地下的实践，1991 年再生水中的 14% 用于地下水回灌，到 1995 年回灌比例已增加为 27%。德国的 Langen 市，从 1979 年起，为解决地下水位下降问题，将污水处理厂的二级出水经过深度处理，通过土壤渗滤补充地下水。我国再生水用于地下水回灌的技术研究刚刚起步，“九五”期间，清华大学承担的“城市污水地下回灌技术研究”攻关任务，为我国地下水回灌示范工程的建立奠定了技术基础。

4. 实现水资源良性循环的短期目标与长期目标

从水资源的可持续利用的角度讲，再生水回用于城市景观环境和地下水回灌无疑都是完成水生态循环的物理、化学、生物自然修复与恢复的最佳途径。但由于我国各地的自然条件、经济能力和对水的需求程度各不相同，因此回用的方式也应有所区别，需要认真权衡利弊，综合考虑主客观各种因素，不可一概而论。否则，将造成经济上的浪费。

从目前我国的实际状况出发，污水处理尚需大力普及，工业废水的治理与达标排放率有待巩固与提高，污水回用还处在示范、推广阶段，因此将再生水回用于城市景观水体作为我国污水回用的短期目标，不仅会改善缺水城市的娱乐性水环境，减缓径流不断减少的趋势，改善城市的自然气候，间接地改善水源涵养条件，而且以其作为回用用户的输水渠道，可以降低回用设施的建设投资，在

短期内做到提高城市的整体形象,改善城市投资环境,获得老百姓看得见的环境效益、经济效益和社会效益。

与此同时,建立地下水回灌的示范工程,将示范引导与跟踪研究相结合,为高效安全地实现地下水回灌的工程化奠定技术基础。将再生水回灌地下作为污水回用的长期目标,在不远的将来,当污水处理全面普及,工业废水得到有效控制,再生技术不断完善时,将污水再生后回灌地下,不仅顺理成章,而且有了经济实力与技术基础。

5. 结语

“国民经济和社会发展第十个五年计划纲要”把污水回用正式写入文件,标志着我国开始全面启动污水回用,全民族致力于受污染水体功能的全面修复与恢复,并最终从根本上实现水生态环境的良性循环。为此不仅要大力宣传提倡强化污水回用与节水意识,提高国民的生态道德,使节水与污水回用成为一种自觉行为;还要在相关的政策法规中,使污水回用成为一种法制行为,更要在具体实施形式上因地制宜、实事求是。

实施污水回用,需要相关的水质标准作为技术支持。在制定水质标准时,既要考虑国情,又要考虑与国际接轨。一些发达国家由于工业排放的有效控制,城市污水中的有毒物质含量有限,因此其回用标准的主要关心点在于卫生指标;而我国正处于发展之中,工业排污仍是导致水污染的重要因素,因此在回用标准的制定上,要更多地着眼于诸如有机污染、营养盐、毒理学等卫生学以外的指标。

将再生水回用于景观水体和地下水回灌有机地结合,作为实现我国水资源良性循环的短期目标和长期目标,可以做到取之于水,用之于水。将城市污水再生后回用于地表水源与地下水源的补给,利用地被物调蓄、地表调蓄、土壤调蓄和地下调蓄,经过物理、化学和生物作用实现了自然生物链的长循环,使水得到了充分的净化、修复和恢复,从根本上解决水源的涵养问题,实现水生态的良性循环,保证人类社会的可持续发展。

参考文献

1. 全国城市供水节水与水污染防治工作会议文件及交流材料汇编. 北京, 2000
2. 郑兴灿. 城市污水再生利用的背景与技术途径分析. 2001
3. 周彤, 鲍宪枝, 赵丽君, 兰淑澄, 杭世君, 污水回用是解决城市缺水的根本途径, 全国污水回用研究会第五届年会主题报告, 2001
4. 张杰, 曹开朗. 城市污水深度处理与水资源可持续利用. 中国给水排水. 2001, 17 (3): 20~21
5. 聂梅生. 中国城市水业发展研讨. 2001
6. 陈传友, 王春元, 窦以松. 水资源与可持续发展. 中国科学技术出版社. 1999
7. 赵恩海, 朱文亭. 我国污水处理的发展趋势. 城市环境与城市生态. 2000, 13 (4): 39~41
8. Sustainable Water Use In Europe, Environmental Issue Report No 19, European Environment Agency, 2001
9. Noah Amin. Improving Desert Environment Through Water Reuse. 2001
10. USEPA Manual, Guidelines for Water Reuse, 1992
11. 胡晓槐. 走向绿色明天——天津环境保护及城市排水的回顾与思考. 中国言实出版社. 1999