

浅谈国内外城市污水回用的主要途径

魏娜¹, 程晓如², 刘宇鹏²

(1. 武汉大学土木建筑工程学院, 湖北 武汉 430072; 2. 广东省冶金建筑设计研究院, 广东 广州 510080)

摘要:在介绍城市污水回用的基础上, 阐述了城市污水回用于农业灌溉、工业、娱乐景观水体以及地下水回灌等的主要途径, 指出我国各地区应结合当地实际情况, 采用不同的污水回用途径, 对城市污水进行再生利用以缓解水资源短缺的紧张局面, 实现水资源的可持续利用。

关键词:城市污水; 污水回用途径; 再生水

中图分类号:S273.5 **文献标识码:**A

Overview of Main Reuse Approaches Of Municipal Wastewater

WEI Na¹, CHENG Xiao-ru², LIU Yu-peng²

(1. School of Civil Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Guangdong Provincial Design Institute of Metallurgy Architecture)

Abstract: On the basis of introduction of municipal wastewater reuse, the main wastewater reuse approaches, such as agricultural irrigation, industry, scenic water and groundwater recharge, are expounded respectively in the paper. Finally, it is pointed out that according to the local actual situation, different wastewater reuse approaches should be selected in different regions of china to reuse the municipal wastewater to alleviate the shortage of water resources and realize the goal of sustainable water resources utilization.

Key words: municipal wastewater; wastewater reuse approach; recycled water

0 引言

水不仅是人类赖以生存的生命之源, 在现代社会中它还是社会及经济发展的制约因素, 是一个国家经济发展的命脉。然而, 随着社会的迅速发展和文明的不断进步, 用水量急剧增加、水污染、水资源开发不合理、浪费严重等原因正引发全球性的水危机。近年来世界各国, 特别是水资源短缺、城市缺水问题突出的国家, 对水领域的总体战略目标都进行了相似的调整, 将单纯的水污染控制转变为全方位的水环境的可持续发展。

城市污水回用是指将污水化为水资源予以科学利用, 它是将城市污水加以处理再生后回用于可用再生水的地方去, 从而取代干净的优质原水, 以污代清, 节约优质水, 使好水得以养息。对于水资源的开发利用, 科学合理的次序是地面水、地下水、城市再生水、雨水、长距离跨流域调水、淡化海水。这种对城市再生水的开发利用不仅使得城市污水成为城市第二水源, 缓解了水资源紧张的问题, 又减少了排放至自然水体的污染物

总量, 减轻了对水环境的污染, 还可产生巨大的经济效益和环境效益, 与长距离跨流域调水和淡化海水相比具有多方面的优势, 已成为世界各国解决水问题的优选策略。

1 国内外污水回用的主要途径

城市污水回用的历史已有近百年, 目前正处于全面普及的开始阶段。从城市污水回用的技术研究成果和工程应用状况来看, 将城市污水处理后再利用, 无论在技术上, 还是在经济上都是可行的。目前再生水的用途主要有农业、工业、环境娱乐、补充水源及地下水和市政杂用等。

1.1 城市污水回用于农业灌溉

城市污水再生后回用于灌溉的历史最早, 它是源于污水处理法中的土地处理法。有时很难将两者区分开, 事实上两者的最根本的区别在于侧重点不同, 土地处理法侧重于净化污水, 而污水回用灌溉则侧重于生产农作物。

城市污水再生后部分回用于农业灌溉, 这不但被证明是可

行的,而且还具有巨大的应用潜力。城市污水回用于农业灌溉因各地的情况不同而获得的益处不尽相同,但在所有水源中,再生水是农业灌溉的最佳选择。因为再生水是一种持续、安全而又富有营养的水源,使用再生水进行灌溉不仅可以节约农业生产成本,而且其本身也是水资源保护的一种方式。但在评价再生水回用于农业灌溉的前景时,也要考虑到健康、经济和环境等方面的局限和制度上的障碍,以及社会和法律上的关注等问题。例如,不是所有的农业生产者都十分愿意使用再生水,因为担心可能会因此减少农作物的质量,从而影响农作物的销售量。在健康和卫生方面,尽管大多数国家的健康条例都允许使用经妥善处理过的再生水进行农业灌溉,而且也没有明显迹象表明再生水的使用会带来疾病,但还是必须要考虑到使用再生水可能带来疾病的传播。另外,使用再生水灌溉农田,需要妥善地完成以下各个工作环节:再生水从污水处理设备出口到贮存再生水池的输送、再生水在再生水池内的贮藏、再生水的应用以及最终将再生水排放到水道、地下水或是表层水。

我国自 20 世纪 40 年代起在北京附近开始利用工业废水进行灌溉;1957~1972 年为迅速发展时期,1957 年建工部联合农业部、卫生部把污水灌溉列入国家科研计划,从此开始兴建污水灌溉工程,污水灌溉得到迅速发展,灌溉面积从 1957 年的 1.15 万 hm^2 增加到 1972 年的 9.3 万 hm^2 ;1972 年至今为积极慎重发展阶段,1972 年在石家庄召开的全国污水灌溉会议,制定了“积极慎重”的发展方针,并制定了污水灌溉暂行水质标准,到 20 世纪 80 年代末,污灌面积已达 133.3 万多 hm^2 ,其中,天津市已达 15.3 万多 hm^2 ,居全国各大城市第一位,北京市达 8.9 万 hm^2 。此外,西安、石家庄、太原、济南、沈阳也都是全国著名的污水灌区。近几年来,污水灌溉不断发展,灌溉面积不断扩大,现在污水已经成为城镇近郊灌溉用水的重要水源,尤其对北方干旱缺水地区。当然,由于目前我国污水处理总体水平较低,使得某些用于灌溉的污水水质严重超标,有些地区甚至直接引用未经处理的污水进行灌溉,造成土壤、农作物和地下水的严重污染。同时,虽然国家有关部门早在 1985 年就颁布了《农田灌溉水质标准》(GB5084-85),但由于污水灌溉大部分为农民自发进行的,尤其在北方缺水地区,情况更为普遍,造成污水灌溉水质无人监督,污水灌溉面积盲目发展,相关监控管理体系严重滞后。

大量的城市污水回用农业灌溉工程实例都表明,污水回用农业灌溉的主要问题是在计划管理上。成功的农业污水回用需要缜密的计划、全部成本估算、有效的操作和日常监督。在使用再生水之前,应该根据使用的目的来规定再生水的水质标准。另外,用于灌溉农作物的再生水的水质标准取决于是否对健康产生影响,但农业生产中的因素也必须予以考虑。例如农作物对盐和硼十分敏感,盐会阻碍农作物的生长,还可能降低其抗霜冻的能力;硼过多也会造成叶落现象的发生。因此制定再生水中污染物的限度要以作物、当地情况和健康要求为依据,目前有关人员正对用于农业灌溉的再生水水质标准进行广泛深入的研究。

1.2 城市污水回用于工业用水

城市污水用于工业生产用水的最大好处在于可以代替饮

用水,因为在很多情况下,工业用水对水质的要求远低于饮用水标准。因此,城市污水回用于工业对于工业企业和市政当局都有很大的益处。目前,随着社会的快速发展,工业相对于其他行业来说对水的需求量最大,因此再生水回用于工业生产的潜力巨大,特别是对于工业生产用水和工业冷却水而言。

美国城市污水回用于工业已有近半个世纪的历史,并积累了丰富的经验,其回用于工业冷却、工艺及锅炉的污水占其污水回用总量的 32%。日本回用于工业的污水占其污水回用总量的 29%。

我国原有工业水回用的效率较低,1999 年全国工业用水重复利用率约 53%,远远低于发达国家工业用水重复利用率 75%的水平,仅相当于美国 20 世纪 60 年代初和日本 70 年代初的水平。鉴于国内目前水资源严重短缺的情况,政府已采取了一系列有效措施来推动工业污水回用的发展。国家经贸委、水利部、建设部、科技部、国家环保总局、国家税务总局于 2000 年 10 月以国经贸资源〔2000〕1015 号文下达了《关于加强工业节水工作的意见》,明确提出了“十五”期间工业节水的总体目标:在工业增加值年均增长 10%左右的情况下,取水量增长控制在 1.2%以下;重复利用率由目前的 50%左右提高到 60%;万元工业增加值取水量从目前的 340 m^3 降到 170 m^3 。在我国城市水资源总消耗中,工业用水大约占 50%~80%,在节水方面有很大潜力。目前我国工业上的污水回用包括城市污水处理厂的工业回用以及企业内部污水的处理与回用两个方面。面对清水日缺、水价上涨的严峻现实,工业企业除了尽力将本厂废水循环利用、循序再用、以提高水的重复利用率外,对城市污水回用于工业也日渐重视。1992 年,我国第一个污水回用示范工程——大连市春柳水质净化厂正式投产运行,将城市污水经常规二级处理再经澄清、过滤、杀菌回用于工业冷却水。处理规模为 1 万 m^3/d ,几年来的运行结果表明,经深度处理后的出水用作循环冷却补充水,在浓缩倍数为 2,投加一定量的水质稳定剂情况下,循环冷却系统运转正常。

目前,影响污水回用于工业的主要因素是水质、水量和费用。再生水的水质要求各不相同,用于食品加工的水质要达到饮用水的标准,用于电子工业的水质要达到高纯度的标准,用于皮革制造的水质标准则很低。有些工业生产中,各个步骤对水质的要求各不相同,水质标准就更加复杂。尽管确定水质标准有一定的困难,但这使得直接污水回用和污水循环使用迈上了一个新的台阶。污水回用的实际用量主要取决于排水的地理位置、用户、适合的流速和季节变化。污水回用的费用取决于处理的要求,而处理的费用取决于供水的水质、水量和所需达到的水质标准。可溶金属和有机物对于纺织业、纸业和制作照片底片很重要。在补给锅炉用水的过程中,要注意除去再生水中的硬度物质,非溶解性钙镁盐是锅炉形成水垢的主要原因。

1.3 城市污水回用于娱乐景观用水

目前,随着水资源的缺乏和水污染的日益严重,各城市越来越多地将城市污水净化回用于娱乐景观用水。再生水回用于景观环境可以满足缺水城市对于娱乐性水环境的需要;可以将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,节省了长距离管路的投资;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;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。

国外城市污水处理后作为河道、湖泊观赏用水的研究及实践,早在19世纪30年代就已开始。美国、日本、澳大利亚等是开展此项污水回用较多的几个国家,并建有很多世界知名的工程,其他国家如南非、沙特阿拉伯、以色列等也有这方面的回用研究和实践。在美国,尽管娱乐业所用的再生水只占全部再生水的很小一部分,但这种回用在一些地区却起到了十分重要的作用。在日本,用于补充河道的环境用水、景观用水约占污水回用总量的12%。日本大部分地区利用处理后的再生水恢复受污染的水体,修复和保护水资源。澳大利亚的Adelaide市将污水和屋顶雨水收集起来经过处理回用于湖泊补给水、水景、景观灌溉、卫生间冲洗,以缓解该市Mawson湖区居民、大学及工业用水紧张的局面。

在我国,“七五”期间天津就制定了地方性标准《天津市景观河道水质质量标准》并开始尝试将纪庄子污水处理厂二级出水引入景观河道。“八五”期间,以天津、泰安、大连等城市为依托,开展了工程性试验,同时在泰安建立了城市污水再生回用于景观环境的示范工程,并对相关的水质标准值进行长时间的试验研究,取得了较好的示范效果。“十五”期间“城市污水再生利用政策、标准和技术研究与示范”课题研究全面展开,北京、天津、青岛等城市均建立起一批景观环境水回用示范工程,为景观环境水回用在国内的推广奠定了基础。现在,随着城市化进程的加快及可持续发展战略的实施,国内很多城市都投入了巨额资金对那些流过城区、污染严重、已变得黑臭的河道和湖泊进行整治。但往往在实施了污水截流、河道清淤、河底硬化、堤岸砌石等治理工程后,原有河道、湖泊因城市周边可利用的地表水资源匮乏变成了无水河。为解决这个问题,北京、天津、石家庄等城市在建设了大型城市污水处理厂后,将其出水进一步处理后作为这些干涸景观河道、湖泊的补给水,节省了新鲜水资源,使以前直接排出的处理后的城市污水得到回用,取得了可观的经济和环境效益,对我国再生水回用于景观环境起到了积极的推动作用。

当然,再生水作为娱乐景观水会对景观水体产生什么影响目前仍在研究中,是否应用控制水体富营养化的水质标准严格控制再生水中氮磷的含量,各专家的意见也不一致。部分专家认为再生水回用于流动景观水体,流动水流不断复氧,在水体生态系统的作用下,将一定程度地维持水体的环境容量,轻度的富营养化不会引起水体形成黑臭现象,可以适当放宽氮磷指标;但也有专家认为再生水中营养成分会促进藻类生物的生长并最终导致水体恶化,潜在危害大,须对再生水中氮磷指标严格控制。

1.4 城市污水回用于地下水回灌

从水的自然循环角度讲,再生水回用于地下水回灌体现了“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,因而从可持续发展的观点,地下水回灌是扩大污水回

用最有益的一种方式。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循环,将其中的有机物和病原体进一步去除,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,是维护健康良性的水生态循环的一种有益途径。将城市污水再生后回用于地下水回灌不仅可保护沿海含水层中的淡水以及阻止海水的入侵,扩大地下水资源的存储量,还可减少、阻止并改变地下水水位的下降,控制或防止地面沉降及预防地震,调节水温,保持取水构筑物出水能力,使河流的生态得到不同程度的恢复,溶解氧增加。从某种意义上讲,它是从水的大循环角度出发,集污水处理、污水再生回用以及水资源开发于一身的集成化水处理技术,比污水仅在处理厂中管对管的循环要好得多。

污水深度处理后进行地下水回灌已有很多应用,美国、以色列、德国、丹麦等国都在大力推行地下水回灌技术。美国加州从20世纪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%。由于长期缺水,以色列在污水净化和再生利用方面,始终处于世界领先地位。1987年其污水再生利用率已达全国污水总量的70%以上,其中约30%的再生水用于回灌地下。回灌地下部分再抽至管网系统,输送到南部地区,最南部地区甚至将它作为饮用水源。德国柏林将生物净化的污水投加氯化铁与助凝剂絮凝沉淀后,投加臭氧将有机物氧化,并使生物难降解的有机分子容易降解,同时杀灭细菌,再经无烟煤过滤,最后进行地下水回灌,以后作为饮用水重新抽取出来,该示范工程早在20世纪70年代已建成投入使用。

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,回灌前须经生物处理(包括硝化与脱氮),还必须有效去除有毒有机物与重金属,一旦回灌水质达不到要求,将会对地下水含水层造成污染。因此最大的问题可能是再生处理技术的成本问题,这需要国家有足够的经济实力来支持。我国再生水用于地下水回灌的技术研究起步较晚。“六五”~“八五”期间虽然也针对不同目的开展了一些实验研究,建立了土地处理系统,但也仅限于处理目的,尚未提到回用的高度。“九五”期间,清华大学承担了“城市污水地下回灌技术研究”的攻关任务,为我国地下水回灌示范工程的建立奠定了技术基础。

2 结语

城市污水是城市又一水量稳定、供给可靠的淡水资源,从国内外大量工程实践看,城市污水回用体现水的“优质优用、低质低用”原则,大力发展城市污水的再生利用,使其资源化不仅是解决我国水资源短缺、城市水危机的有效途径,对于水资源的可持续发展更具有深远的意义。我国的城市污水回用研究和实践经历了“六五”期间的起步阶段,“七五”到“九五”期间的技术储备和示范工程引导阶段,目前正处于发展阶段,但从规模到涉及的领域都与美国、日本、以色列等污水回用发展较早的国家的研究和实践有一定的差距。因此,应在深入分析和研究城市污水回用各主要途径的基础上,结合 (下转第36页)

3.2 反馈机制

反映水库生态状况的指标确定以后,应确定生态管理的部门和相应的工作方式,通过各种有效手段,收集各个指标的信息,已经建立公告机制的指标可以通过公告定期获取,如水质情况、污染排放量;自己能够测定的指标应该建立定期获取信息的制度并实施,如入库流量;尚未建立定期监测的指标,如水体营养度、水生物种类和数量、洪水期河流泥沙含量等,则需要建立定期监测的机制,包括实施机构、经费来源、工作细则等内容。收集与指标相对应的信息的目的是为了与指标体系进行对比,及时发现与生态水利建设宗旨不符合的有关信息,并及时反馈到有关部门,落实整改。

3.3 实现的途径

建立指标体系和反馈机制的目的是为了评价生态系统的自我调节功能、自我控制能力和自我修复能力,据此提出科学的开发、利用、管理和保护水生态系统的方法和措施并实施。要实现此目的,必须建立符合基于免疫思想的生态水利系统的网络模型,在此基础上建立生态安全预警软件系统,在系统运行过程中,还要根据实际运行情况不断地进行完善,使其发挥建设生态水利的参谋作用。

4 基于免疫系统的生态水利展望

4.1 建成完善的人水协调的防洪减灾体系

防治洪水,尽可能减少洪水带来的灾害,从控制洪水到管理洪水,建立人水和谐的自然洪水管理体系,使流域的管理符合生态水利的要求,对水文气象信息的采集加工、水库洪水调度分析、工程安全管理等方面的水平要有很大提高,防洪减灾效益及洪水损失的评估、防洪抢险、防洪通讯及防洪预案的实施等工作要得到切实加强。在流域管理上要充分考虑工程措施和非工程措施的建设,使之达到人水相协调的和谐的自然防洪体系。

4.2 建成适应社会发展需要的水资源保障体系

通过生态水利建设,建成适应社会发展需要的水资源保障体系。该体系能够适应经济社会发展对用水保障的需求,科学调配和保护水资源,实现流域水资源统一调度和优化配置;水土保持工作持续好转,使流域范围内涵养水源工作、水土流失防治工作满足生态需要;水体污染防治工作得到真正落实,使水库水质和河流水质都能达到国家水资源标准,为提供满足长远需要

的洁净水源提供保障;实现水资源的优化配置,上、中、下游的生活、生产和生态用水得到合理供给,促进和保障人口、资源、环境和经济的协调发展,实现水资源的可持续利用,支撑经济社会可持续发展。

5 结语

自然免疫系统是一种具有高度分布性的自适应学习系统,它具有完善的机制来抵御外来病原体的入侵,由它而启发的人工免疫系统的研究已经被应用到众多的工程领域。本文从免疫系统的自然特性出发,将人工免疫模型与方法引入到生态水利的建设中。本研究将在深入分析生态水利系统的要素、结构和功能的基础上,研建基于“免疫”理念的、完善系统内外的功能流运动、以和谐和共生为特征的生态功能网络系统模型,并展开基于免疫算法的生态系统预警研究。

我国的江河治理开发或多或少地造成了流域生态系统的扰动,只有以建设生态水利的观点进行江河治理,才能达到水利事业的可持续发展,并以此支持我国国民经济的可持续发展。

参考文献:

- [1] 谈英姿,沈炯. 人工免疫工程综述[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2002, 32(4): 666—682.
- [2] 王磊,潘进. 免疫算法[J]. 电子学报, 2002, 28(7): 74—78.
- [3] 吕岗,赵鹤鸣. 人工免疫系统的应用与发展[J]. 计算机工程与应用, 2002, (11): 35—37.
- [4] 谷吉海,姜兴渭. 免疫系统的反正选择算法在故障诊断中的应用[J]. 中国空间科学技术, 2002, (4): 24—29.
- [5] 王慧敏. 流域可持续发展系统理论与方法[M]. 南京:河海大学出版社, 2000.
- [6] 张金如. 走向现代水利和生态水利[J]. 人民论坛, 2003, (11).
- [7] 汪恕诚. 资源水利——人与自然和谐相处[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2003.
- [8] 徐中民,张志强,程国栋. 生态经络学、理论方法与应用[M]. 郑州:黄河水利出版社, 2003.
- [9] 沈增卿. 论生态经济型环境水利模式——走水利绿色道路[J]. 水科学进展, 1999, (3).

(上接第 33 页) 我国各地区的地理、经济和社会等各方面实际情况,采用单种或多种途径结合的方式大力开展城市污水的再生利用,缓解我国水资源短缺的现状,保障水资源及经济的可持续发展。

参考文献:

- [1] 张林生. 水的深度处理与回用技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2004.
- [2] 尹军,陈雷. 城市污水的资源再生及热能回收利用[M]. 北京:化学工业出版社, 2003.
- [3] 周彤. 污水回用决策与技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2001.

- [4] 杨飞,蒋丽娟. 浅议污水灌溉带来的问题及对策[J]. 节水灌溉, 2000, (2): 23—25.
- [5] 回滨. 试论工业污水回用[J]. 辽宁城乡环境科技, 2004, 24(1): 12—13.
- [6] 城市污水再生利用系列标准实施指南[M]. 北京:中国标准出版社, 2003.
- [7] John Anderson. 国际水回用实例研究[A]. 21世纪国际城市污水处理及资源化发展战略研讨会论文集[C]. 2001, 11: 45—49.
- [8] 单连斌,赵嵩堪,张聪璐,等. 地下回灌——污水回用的重要战略[J]. 环境保护科学, 2003, 116(29): 10—12.
- [9] 陈立,王启山,邱慎初,等. 缺水地区实现水资源良性循环的技术途径[J]. 中国给水排水, 2003, 19(2): 32—33.