

城市污水资源化的技术发展思考

文 / 方先金 (北京市市政工程科学技术研究所)

一、引言

随着经济发展和城市化进程的加快,城市缺水问题十分突出,缺水范围不断扩大,缺水程度日趋严重。据统计,全国668个城市中,约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 。2000年以来我国北方出现百年不遇的大旱,使许多水库河流出现从未有过的断流和枯干,北方13个省318个县级以上城市被迫限时供水,缺水人口达2000多万。预计2030年我国年缺水量将达到400-500亿 m^3 。在资源型缺水问题日益突出的同时,污染型水资源短缺成为更加棘手的问题。江苏、广东、上海等一大批水资源相对充足的省市已经面临日益严重的污染型缺水。

面对严峻的水资源形势,我国提出了“节流优先、治污为本、多渠道开源”的城市水资源可持续开发利用的新战略,以此来指导城市水资源规划和相关政策的制定,促进城市水系统的良性循环。城市污水资源化利用是最大的开源节流措施,通过污水资源化利用能够增加城市供水量,相应地节约清洁水资源。城市污水资源化利用的前提是污水

处理和污水深度处理,通过污水资源化利用能够减轻水体污染,改善生态环境,起到开源、节流和治污三重功能。如北京市2007年城镇污水资源化利用达4.8亿 m^3 ,2008年利用再生水达6.5亿 m^3 ,首次超过5.7亿 m^3 的地表水利用量,再生水已广泛用于工矿企业、建筑工地、城市绿化、补充城市水体、改善城市水环境;再生水已作为北京市重要的城市水源之一,直接参与城市水资源调配,对保证北京市经济社会可持续发展、保持北京城市的水环境质量、提高人们的生活水平发挥了重要作用。

实践表明,城市污水资源化利用是实现水资源可持续利用的重要环节。城市污水经过净化处理后成为再生水资源,数量非常巨大,是城市的第二水源,可用于作物的灌溉、工业冷却水、城市绿化用水、环境用水等。城市污水就近可得,污染比海水轻得多,比长距离引水、海水淡化、雨水利用更为实际可行。

通过国家科技攻关和缺水城市的不断探索,我国城市污水资源化利用技术取得了长足的进步,积累了宝贵的科技成果和经验,但是,与发达国家相比,我国尚存在不小的差距,还难于

满足城市污水资源化利用发展的需要。因此,结合我国的实际情况,推动城市污水资源化利用的技术进步,成为摆在我们面前急需解决的重要课题。

二、现状及存在的问题

从20世纪80年代开始,我国就大力开发城市污水资源化利用技术,对城市污水再生利用给予了充分的重视。从“七五”到“十一五”都将其列入国家科技攻关课题,取得了丰硕的成果,为城市污水资源化利用的工程化提供了技术储备。近十多年来,通过国家科技攻关,国内建成了一批不同工艺、不同回用对象的城市污水资源化利用工程,它们包括:(1)企业以城市污水处理厂二级出水为水源,将再生水用于循环冷却补充水,有邯郸热电厂、北京华能热电厂、大庆油田采油厂、克拉玛依采油厂等;(2)企业以自身废水为水源,再生利用作为工业用水,有贵州氧化铝厂、湛江炼油厂、大庆石化、燕山石化、哈尔滨炼油厂等;(3)以城市污水厂出水为水源,再生水用于城市河道补水和补充景观湖泊,有北京市、太原市、郑州市、济南市、沈阳市等;(4)以城市污水厂出水

为水源,进行长距离大面积绿地浇灌,有大连市、北京市、青岛市等。(5)城市的高层建筑、居住小区使用再生水作为绿化用水、街道清扫、车辆冲洗、建筑施工等城市杂用水,有北京市、天津市、大连市等。

尽管我国在城市污水资源化利用技术与工程实践方面取得了一定的进展,但总的来说,我国的城市污水资源化利用仍处于发展阶段:城市污水再生利用规模还较小,一般仅限于局部利用或处理厂内部利用,与当前城市污水资源化利用的多元化需求极不相称;二级处理出水的深度处理基本套用常规给水处理工艺,缺乏适合自身特征的、系统的技术体系;相关水质标准与工程技术规范不完善,政府工程决策缺乏集成化的技术基础,没有形成科学的、成套化的技术服务体系,尤其是没有形成以价格为核心的再生水市场;城市污水资源化利用技术、经济和产业政策滞后,限制了城市污水资源化利用的发展。发达国家的实践经验表明,城市污水资源化利用应该根据地区的特点选择相应的技术,通过技术革新扩大污水资源化利用在整个水资源利用中的比例和应用范围,保障污水资源化的安全性。

在技术层面,我国污水资源化利用还存在许多不足之处:已建设的工程中绝大部分工艺技术较单一,技术设备科技含量不高,不能适应生产高质量再生水

的需要;缺乏系统性和基础性的技术支持体系,没有形成集成化的技术平台,没有形成全方位的安全保障体系等。

1、缺乏先进高效的污水资源化利用技术

城市污水资源化利用事业的发展必须紧密依靠科技进步,从始至终都需要高新技术的保证和支持,跟踪和发展先进高效的技术是保证城市污水资源化利用发展的前提条件。我国现行的城市污水资源化利用技术发展和设备开发难以满足快速增长的工程建设和运行管理需求。城市污水资源化利用的技术发展应着重于研究开发先进适用、处理高效的技术,对已有技术不断改进和更新,进行整合和集成,以适应生产不同水质的再生水,满足各种用户的需要。

2、缺乏集成化的污水资源化利用技术

我国城市污水资源化利用技术的开发研究在以往国家科技攻关中投入较大,发展速度较快,单项技术已经接近当代国际水平,但是,系统性和完整性不足,缺乏可供比较的集成化技术体系,没有建立系统的技术平台,单纯的工艺与设备技术发挥不了应有的作用,造成多年来科技攻关成果推广应用困难。

在我国城市污水资源化利用领域,国内设备制造企业生产的设备总体质量不高,成套化能力不强,尤其是工艺技术与专用设备的开发和功能要求相脱节,不

能依据各种水质水量变化特性实现处理工艺与相应设备的紧密结合、同步发展和整体化,从而在适用性、稳定性和可靠性等方面不能满足城市污水资源化利用工程的建设和运行需要。

因此,应以水质净化与处理工艺为核心,筛选先进适用的技术,在规模化、工程化方面进一步开展攻关研究,并在此基础上进行集成化技术体系的研究开发与应用,形成集成化工艺平台,为工程建设和技术决策提供准确可靠的依据和技术支持。调整科技攻关的思路,将工艺研究和设备开发密切结合,在推广应用先进工艺技术的同时推出高质量的国产成套设备,为城市污水资源化利用工程建设提供全面的技术支持。与此同时,追踪国际发展趋势,展开新技术、新工艺、新设备的研究开发,注重基础性关键技术与理论的研究,保持技术持续发展的势头。

3、没有建立科学的安全保障体系

污水资源化利用将原本排水系统中污水对用户的种种风险部分转移到再生水系统中,对用户构成潜在的威胁。这种风险可能来源于自然因素,也可能来源于人为因素;可能表现为再生水水质不能达到某种利用方式的要求,也可能表现为水量不能满足用户的需求;可能表现为人体健康的影响,也可能表现为生态环境的恶化,还可能表现为社会经济的损失。因此,必须建立污水

资源化利用的安全保障体系，科学、经济、有效地将各种风险控制可以在接受的范围内，保证用户使用的安全性。

三、技术发展战略思考和建议

开展城市污水资源化利用关键技术的研究与工程实施，集中力量解决制约城市污水资源化利用发展的核心技术，为城市污水资源化利用提供全面的技术引导和支撑，将有力地推动城市污水资源化利用事业的迅速发展。

1、研究开发集成化的混凝—沉淀、过滤技术和设备

城市污水资源化利用技术的开发和运用应以当地的经济、技术水平为约束，寻找最佳适用技术。但无论污水资源化利用技术如何发展，污染物分离是保障污水资源化安全性的重要屏障。在分离技术方面，传统的混凝—沉淀、过滤技术仍然是大规模污水资源化利用实践中比较经济的技术选择，它们既可以单独应用，也可以作为其他深度处理技术的预处理，因此研究传统的混凝—沉淀、过滤技术，并对其进行改进和实现自动控制是十分重要的。建议重点研究内容包括：优化混凝剂选择、投加量及运行条件研究；新型廉价高效混凝剂研究；各种过滤技术适用条件、进水水质要求和处理效果研究；各种过滤技术设计参数、运行参数和运行管理研究；混凝—沉淀、过滤技术运行方式及自动控制研

究；成套化的混凝—沉淀、过滤技术和设备研究。

2、研究开发集成化的膜技术和设备

传统的分离技术可以达到污水资源化利用的水质要求，但是普遍存在着效率低，处理停留时间长，能耗高，占地面积大等不足，寻找替代传统分离技术的高效、低能耗的新分离技术成了污水资源化利用技术发展的关键。膜是一种具有特殊选择性分离功能的无机或有机高分子材料，它能够使流体中的一种或者几种物质通过，而将其它物质分离出来。膜技术是近些年来发展起来的新兴技术，并且极具发展潜力，具有很多适用于污水资源化利用的优点。我国应在改善膜的性能、降低膜的成本、延长膜的寿命等方面加强研究，攻克这些技术难题，推广膜技术的运用。建议重点研究内容包括：膜技术应用于城市污水资源化利用的预处理研究；膜技术应用于城市污水资源化利用的工艺性能和工艺参数研究及工程应用；膜技术应用于城市污水资源化利用成套化设备及仪器的研制和工程应用；膜技术应用于城市污水资源化利用的技术经济评价研究。

3、研究开发经济安全的消毒技术

污水资源化形成的再生水中含有多种微量有机化合物，传统氯消毒有可能产生各种有害的消毒副产物，对人体、动物和生态系统构成长期的潜在威胁；因

此，研究消毒技术对于提高污水资源化利用的安全性具有关键作用。在消毒技术方面，不同消毒剂的消毒机理不同，所需的接触时间和持续效果不同，可能产生的消毒副产物种类也不同。因此，消毒剂的选择、消毒方式的改进、消毒副产物的产生和控制等值得我们深入地研究。建议重点研究内容包括：氯消毒剂的优化选择、投加量和消毒方式研究；氯消毒剂优化组合研究；成套化臭氧消毒技术和设备研究；成套化紫外线消毒技术和设备研究；氯消毒、臭氧消毒和紫外线消毒组合研究；消毒副产物的产生、危害及控制研究。

4、研究开发分散式污水资源化利用技术

分散式的污水收集、处理和回用系统在城市水环境基础设施建设中日益占据了有利地位，在城市的可持续性上比集中式系统具有更大的优势。正是从节省资源、保护环境的角度出发，世界各地出现了从大型集中的污水系统向分散式污水系统转变的趋势。目前颇具发展潜力的膜处理、臭氧消毒和紫外线消毒技术都比较适用于小型化装置，但需要进一步提高安全性，降低成本。建议重点研究内容包括：集中与分散污水资源化利用的经济技术比较、规划及实施方案研究；分散处理方式研究与工程应用；小型污水资源化利用系统的工艺性能、工艺参数研究和工程应用；小型污水资源化利用系统

的自动化监测、控制技术和设备研究；小型污水资源化利用装置的成套化设备、仪器的研制和工程应用；小型污水资源化利用装置的技术经济评价研究。

5、研究城市污水资源化利用安全保障体系

城市污水资源化利用来源于成分极其复杂的污水，并且由于污水资源化利用技术水平和成本的限制，其水质通常劣于饮用水，因此再生水作为供水水源带来的各种风险显著地高于饮用水。

任何污水资源化利用项目都必须把控制公众健康风险放在首要位置；其次还必须考虑再生水的各种用途对生态环境可能产生

的风险；当再生水通过再生水系统进入工农业生产过程，必须高度重视再生水利用对生产过程和产品质量的潜在风险。

建议重点研究内容包括：再生水水质对人体健康、生态环境和产品的潜在影响研究及应对措施；再生水水质、水量供应的可靠性研究及其保障措施；城市污水资源化利用系统自动监测和自动控制技术设备与安全保障技术研究；安全利用再生水的技术、设备和方法的研究；突发事件发生时，城市污水资源化利用系统应急预案研究；城市污水资源化利用工程建设、设计和运行管理安全监督管理体系研究及其实施。

四、结语

城市污水资源化利用体现了“节流优先、治污为本、多渠道开源”的水资源战略指导思想，代表了先进的水资源利用战略目标。由于城市污水资源化水利用存在许多潜在的风险，客观上要求我们对再生水水质和水量供应提出更高的要求，应用科技含量更高的城市污水资源化利用技术是经济社会发展的必然要求。因此，城市污水资源化利用事业的发展必须紧密依靠科技进步。城市污水资源化利用技术的发展有利于缓解我国水资源短缺状况，有利于促进我国水资源可持续发展。

（上接第16页）和投资支持，设施建设融资平台和投融资管理制度缺少政策支撑。

四是“分质供水、分质定价”的价格体系没有形成，价格优势对再生水利用的推动作用没有得到充分体现。与价格配套的补偿机制没有建立。再生水收费方式不明确，收费机制不规范。河道景观环境补水等公益性用再生水的费用负担主体没有根本解决。

五是污水再生利用的宣传力度不够。虽然再生水水质达到国家标准要求，但因其源水是污水，人们在使用安全上仍存有疑虑。

三、政策建议

根据再生水利用的发展现状，结合实际，按照总体目标，提出以下政策建议：

第一，加大政府投资力度，规范再生水设施投资政策，按照准经营性、公益性设施对待。建立稳定规范的政府投资渠道，保证再生水设施建设的资金需求。根据再生水设施的性质，制定相应的政府投资补助标准。第二，建立与再生水价格相匹配的运营补偿机制。可按污水处理回用量给予一定补贴。再生水用于生态环境等公共事业，应由政府统一购买，纳入财政预算体系中，科学安全合理配置。第三，严格执法，加强监管。法律法规规定应使用再生水的领域，要严格执法，依法强制使用再生水。加强对再生水设施的运营监管，制定罚则，保质保量运行，结果要定期向全社会公布。第四，进一步通过水价机制引导再生水使用。进一步完善自来水价格体系，拉开不同用户

用水价格，尤其是要大幅提高应该使用再生水的用水领域自来水价格，通过加大用水成本，促进引导使用再生水。完善再生水价格体系，因质、因量、因时、因地、因类定价，实现多元化、多层次再生水水价体系，鼓励高品质再生水在生态环境等领域得到应用。第五，建筑中水设施应探索试点招标选择专业公司管理和运营。将建设分散再生水设施的单位纳入统一的专业公司管理，制定相应的管理制度和工作规程，保持中水设施正常运行。实行严格的水质监控，确保设施运行安全和再生水使用安全。难以纳入公司管理的，要对运营管理人员进行专业培训，持证上岗。第六，加强再生水利用的宣传力度。广泛宣传再生水的使用价值，普及再生水知识。