

# 再生水的发展历程及研究现状

赖福州

元指针电商数码(深圳)有限公司

**摘要:**为解决城市用水短缺,提高水资源循环利用效率等问题,本文首先阐述了国内国外再生水的研究和发展现状,在此基础上,重点分析了再生水存在的问题,并对再生水以后的发展趋势提出了自己的见解,以期为相关人员提供参考。

**关键词:**再生水;研究现状;发展趋势

## 引言

截止 2020 年,我国水资源总量为 3.16 万亿立方米,居世界前列,但人均水资源占有量仅为 2000 立方米,不足世界平均水平的 1/4,且我国总耗水量高达 5800 亿立方米,居世界首位。近几年来,随着我国城市化进程的加快,城市人口暴增,城市水资源承载力逐年降低,以北京为例,城市人均水资源占有量不足 300 立方米,仅为全国平均水平的 1/8,远低于国际公认的缺水警戒线,已到严重缺水的程度。

河流湖泊的生态补水作为城市市政用水的重要组成部分,直接反映城市的水资源承载力和调控能力。城市生态用水缺口逐年扩大,污染加重,水量型缺水和水水质型缺水问题同时出现。为解决城市用水短缺,开辟城市第二水源,提高水资源循环利用效率,大力发展再生水已成为解决城市市政用水短缺的重要方针。

## 1 再生水起源与发展

“再生水”起于日本,“再生水”的定义有多种解释,在污水工程方面称为“再生水”,工厂方面称为“回用水”,一般以水质作为区分的标志。其主要是指城市污水或生活污水经处理后达到一定的水质标准,可在一定范围内重复使用的非饮用水。城市污水经处理设施深度净化处理后的水(包括污水处理厂经二级处理再行深度处理后的水和大型建筑物、生活社区的洗浴水、洗菜水等集中经处理后的水)统称“中水”。目前,再生水行业的不断发展、推进主要有以下五点原因:

### (1) 水资源需求增加

人口不断增长使世界性的水荒在不断蔓延,这点在发展中国家最为突出。即使发达国家人口增长出现负值,城市化的进程也会带来水资源的紧张。在这种形势下,必须开发新的水源,而市政污水再生利用因为其诸多优点,越来越被当作是一种重要的水资源。

### (2) 水资源总量减少

近些年来干旱频发,以美国为例,截至 2020 年,已出现了长达 10 年的干旱,致使国内水资源急剧下降。再生水利用现在已经被认为是解决气候变化导致的水资源严重短缺问题的一种可能的解决方案

### (3) 政策变化

国内外政商环境的变化、公民环保意识的觉醒,导致各个国家对环保的要求愈加严苛,这样进一步从政府层面推进再生水的推广和使用。

### (4) 环境要求

城市规模和人口的高速发展使得城市内部及附近河道、湿地断流、生态退化,地下水位逐年下降、水质恶化。利用再生水对河道、湿地、地下水进行补水可提升环境容量,改善生态环境,缓解水资源危机。

### (5) 经济所需

对于工业用户来说,现在生产用水消耗成本已经很高,使用再生水进行生产会获得更大的收益,尤其像北京这样的缺水城市,已经从政策上禁止使用自来水进行生产。即使南水北调来水后,再生水的利用还是会节省大部分资金。

## 2 国外再生水发展

欧州发达国家对再生水回用于城市市政设施的研究及工程应用起步早,且利用项目广泛,如农业灌溉、湿地补水、道路浇洒、工业回用等。自上世纪 30 年代起,在欧美及以色列等发达国家已开展再生水生产、回用方面的研究并逐步将再生水作为市政用水回用到城市绿地和河道<sup>[1]</sup>。日本、以色列、新加坡等国家再生水回用比例均超过 70%,并在部分再生水回用项目中,再生水回用比例达 90%以上<sup>[2]</sup>。

在北美干旱地区如加州、德州和内华达州等西部地区,再生水是城市景观和生态用水的重要部分。1932 年,世界上第一个将污水处理后回用于公园湖泊观赏用水的污水处理厂在美国 San Francisco 建立。到 1947 年,公园湖泊和景观灌溉用水已达到  $3.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,城市污水进行市政回用的可能性开始被学术界认同<sup>[3]</sup>。1961 年,在加利福尼亚建造的 Pedre Dam 污水处理厂的废水被用作限制娱乐用水,并被证明此法非常可行的。加州在 1962 年建立 Montebello Forebay 再生水间接回用系统(IPR)是世界上最早的市政再生水回用案例。其污水厂二级出水经过过滤消毒之后进入人工河道,利用土壤-含水层进行自然净化然后回用。1975 年,加州 Orange County 建立的 21 号水厂是世界上首次使用活性炭、微滤膜、反渗透膜、UV-OP 等技术,并首次使用 GC-MS 监测微量有机污染物。这些技术如今都成为了技术标准。2005 年,这个项目进一步升级,就有了大家熟知的地下水补给系统(Ground Water Replenishment System, GWRS),预计 2023 年日处理规模将达到 49.2 万立方米<sup>[4]</sup>。

日本于 1962 年开始城市污水处理及再生利用,并于上世纪 70 年代初见规模。通过不断努力,日本实现了将城市污水再回用至 150 多条被严重污染和富营养化的城市河流中来恢复其原始景观价值的目标。在 1980 年代,东京市利用 Tamajyo 污水处理厂的再生水重新修复了东京郊区的 Nobidome 河<sup>[5]</sup>。

以色列是使用再生水最有特色的国家之一,并且使再生水成为该国水量平衡重要组成部分。在以色列,46%的再生水直接用于灌溉,其余的 33.3%和 20%被补给地下水或补充河水。预计到 2040 年,以色列的再生水使用量将达到  $8.7 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ,从而确保人口增长对粮食的需求以及景观休闲娱乐用水需求<sup>[6]</sup>。

## 3 国内再生水利用

与上述回用水历史较长的国家相比,我国再生水回用虽然起步较晚,在回用水规模及处理技术上都存在较大差距,但是发展速度

较快,且应用规模逐年加大。

我国城市的污水资源再利用,最先应用于农业,其后回用于工业、生活杂用。20世纪50年代,我国城市污水主要是生活污水,一般直接利用污水灌溉农田。90年代之后,随着城市发展,城市人口暴增,市政污水增加,城市河道干涸,市政污水处理后的再生水利用主要方向集中在人工湿地和生态补水。

我国对城市污水回用于景观水体的研究始于“七·五”国家科技攻关计划。“十·五”期间,在天津,泰安,西安,合肥和石家庄等地接连建成了一系列再生水回用于景观水体的示范工程。

北京是全国较早开展污水资源化循环利用的城市,也是全国再生水用量最大的城市之一。在1980年代,北京实施了一些小型污水再生利用工程,并建立了几座大型污水处理厂<sup>[7]</sup>。由此推动北京再生水循环利用进入快速发展时期。正是源于再生水的循环利用,高碑店湖、南护城河城及通惠河的水质也得到了改善。2003年,北京开始再生水大规模利用,实现从无到有的突破<sup>[8]</sup>。到2010年,北京的再生水用量已达到 $6.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,超过地表水源供应量。其中,在工业再生水用量为 $1.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,农业领域再生水用量为 $3 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,市政杂项方面再生水用量为 $0.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,河湖景观等环境方面再生水用量为 $2.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

#### 4 存在问题

再生水在缓解城市生态用水方面水量优势显著,但其水质本身存在不可忽视的问题。与天然水相比,受城市污水处理厂处理工艺影响,再生水含有较高氮、磷营养元素,以及重金属、消毒副产物、多氯联苯及多环芳烃等多种有毒有害物质<sup>[9]</sup>。再生水通过绿化灌溉、河湖水源补给及地下水回用进行长期生态补水,势必会产生环境风险,包括对环境的风险与对人体健康的风险。研究表明,再生水作为景观补充水源,高含量的营养元素大量带入景观水体,存在藻类大量繁殖、水体富营养化的风险。尤其对于再生水回用于水流缓慢的城市景观水体,引起的富营养化问题尤为严重。水体中藻类生长过盛,进而引发由藻类次生代谢产物所导致的水体恶臭、鱼类等水生动物大量死亡的现象,破坏整个水生生态系统,严重影响城市景观及生活环境<sup>[10]</sup>,由此带来水体景观的舒适性急剧下降,大大降低了再生水回用景观水体的生态价值与社会价值<sup>[12]</sup>。

再生水中含有多种重金属,检出频率较高的有As、Cu、Cd、Cr、Pb、Zn等。有研究显示,再生水中短期补给灌溉不会对土壤及地下水产生生态风险<sup>[13]</sup>,水长期补给会对水体、底泥、土壤及地下水产生高生态风险。对于有机污染物,再生水中含有如多环芳烃、有机绿农药等含量较高的有机污染物,浓度一般在10-1000 ng/L<sup>[14]</sup>。研究发现,再生水长期补给的水体底泥中有机污染含量高于水体,呈现有机污染在底泥聚集的现象<sup>[15]</sup>。近些年来,再生水补给所带来的有机污染物生态环境风险成为研究关注热点。这些污染物随再生水进入景观水体,通过水文地质循环、生物作用等进入生态系统,对生态系统安全及人体健康造成一定威胁<sup>[16]</sup>。

基于以上再生水的自身特点,以及补给城市景观所会产生的一系列问题,国内再生水工程应评估补给所带来的各项风险,并应用相关物理、化学、生物等处理措施,改善再生水补给水体水生态环境,消减风险源,提升水体健康状况,增强城市水景观舒适度,促进区域协调发展。

#### 5 总结与展望

再生水回用的相关研究已经取得一定的研究成果,但从研究现状中可以得到再生水回用于地下水回灌中的技术还不是很完善,成本很高且存在一定环境风险,不利于实际的应用,如何广泛地应

用于实际还有待进一步研究。同时,再生水回用中的环境破坏风险研究以及如何平衡再生水回用中的风险和效益都是以后要重点研究的方向。在技术上我们应开展再生水利用的关键技术研究及不断研究开发经济有效的处理技术、途径、设备是再生水回用在我国长足发展的前提。同时应加强培养节能环保型服务业,从源头上遏制水体的污染。在我国,政府应该如何制定相关政策来引导和规范再生水回用的市场运行更是一个重点需要解决的问题<sup>[17]</sup>。

#### 参考文献:

- [1]张昱,刘超,杨敏.日本城市污水再生利用方面的经验分析[J].环境工程学报,2011,5(06):1221-1226.
- [2]柏昕然.我国再生水利用现状与发展趋势[J].供水技术,2022,16(04):47-49+56.
- [3]Alvaro Calzadilla, Katrin Rehdanz, Richard S. J. Tol, The economic impact of more sustainable water use in agriculture: A computable general equilibrium analysis, Journal of Hydrology, Volume 384, Issues 3-4, 2010, Pages 292-305.
- [4]Morgan, K.T., Wheaton, T.A., Parsons, L.R., & Castle, W.S. (2008). Effect of Reclaimed Municipal Waste Water on Horticultural Characteristics, Fruit Quality, and Soil and Leaf Mineral Concentration of Citrus, Hort Science, 43(2), 459-464.
- [5]郭茹,贾海峰,井艳文,廖日红.污水回用 大势所趋——关于北京市污水回用的思考[J].北京水利,2001(05):42-44+62.
- [6]马乃毅,徐敏.以色列水资源管理实践经验及对中国西北干旱区的启示[J].管理现代化,2013(02):117-119.
- [7]陈婉.再生水成为北京稳定可靠的“第二水源”[J].环境经济,2021(10):24-25.
- [8]文爱平.北京高碑店污水处理厂规划建设历程[J].北京规划建设,2009(06):89-91.
- [9]北京市统计局.北京统计年鉴[R].2013.
- [10]李一,刘宏权,陈任强,柴春岭,王鑫鑫.再生水灌溉对作物和土壤的影响[J].灌溉排水学报,2022,41(S1):26-33+43. DOI: 10.13522/j.cnki.gggs.2022084.
- [11]于汇洋,徐志嫻,龙怡静,史可,曹琛洁.再生水补水的景观水体优势藻种水华爆发阈值条件的确定[J].水资源与水工程学报,2021,32(06):102-108.
- [12]马挺军,林炳荣,贾昌喜.再生水养殖鱼体内重金属残留及食用风险分析[J].中国农学通报,2010,26(05):332-336.
- [13]肖雨霄,邓凌云,裴宏伟,李雅丽,吕圣薇,刘孟竹,胡锦涛,肖捷颖.生活再生水灌溉对草坪根区主要土壤养分的影响[J].节水灌溉,2022(05):60-64+70.
- [14]李现壮.南水北调密怀顺受水区地下水有机污染分布及健康风险评估[D].中国地质大学(北京),2021. DOI: 10.27493/d.cnki.gzdzy.2021.000854.
- [15]夏绮文.潮白河再生水河道入渗区浅层地下水化学演化特征分析[D].中国地质大学(北京),2021. DOI: 10.27493/d.cnki.gzdzy.2021.000156.
- [16]颜秉斐,夏瑞,魏东洋,刘雪瑜,万科玲.黄河流域区域再生水循环利用对策建议[J].环境保护,2021,49(13):15-16. DOI: 10.14026/j.cnki.0253-9705.2021.13.002.
- [17]金兆丰,王健.我国污水回用现状及发展趋势[J].环境保护,2001(11):39-41.