



未来污水处理技术发展方向思考与探索

□ 清华大学环境学院 王凯军 宫徽 金正宇

现有污水处理系统的优势与弊端值得反思和总结。结合可持续发展的要求，污水处理系统未来的发展方向应从碳减排和资源利用的角度来设计思考。结合集中式和分散式处理各自的优点，末端分离的分散处理模式值得探讨。

回顾百年来的发展变革，污水处理技术为改善人居环境，推动人类文明进步产生了巨大影响。面对气候变化、能源危机、资源紧缺等全球环境变化的挑战，结合可持续发展的要求，污水处理系统未来发展方向应从碳减排和资源利用的角度来探索思考。结合集中式和分散式处理理念各自的优点，依托膜混凝技术的末端分离分散处理模式是一种有益的创新尝试。

一、影响世界的污水处理技术和系统概念

当今社会，由抽水马桶、下水道和污水厂构成的污水处理系统已经成为现代城市文明的象征之一。人们的生活深受其影响，习惯的力量让人们鲜有机会去深入思考现行污水处理系统的合理

性。实际上，污水处理系统的发展从无到有，是与各个时代的社会需求紧密联系的，经过近一个世纪时间几经变革才形成今天的模样。具体的污水处理技术也随之不断发展。回顾污水处理系统发展历史上的重大变革，有利于人们对污水处理进行系统的理性思考。

虽然起初并不系统，但城市的排水设施古今中外历来有之。到19世纪，伦敦、纽约等全球各大城市相继修建了科学的公共排水系统，许多系统一直沿用至今。从字面意思可以看出，早期的排水系统承担的主要任务既非收集也非处理，而仅仅实现污水的即时排放。首个变革世界污水处理系统的事件是抽水马桶的出现。抽水马桶极大改善了人居环境，为遏制19世纪黑死病，鼠疫等传染性疾病的蔓延起到了重要作用。比尔盖茨基金全球发展项

2、源分离污水处理模式在我国的发展与应用

与传统集中式系统不同,源分离作为颠覆性的变革,采用在源头对污水进行分别的方式收集和处理污水。生活污水中80%的氮和50%的磷来自于尿液。源分离式收集利于将氮、磷元素进行彻底的回收,同时缓解污水末端处理过程中产生的运输以及生产化肥产生的能源消耗、污染排放等问题。此外,通过污水处理系统的发展变革可以看到,通过管网输送污染物是特定社会技术背景下的历史选择。现代的管网系统已经被证实为缺乏可持续性和抗干扰能力的脆弱系统,其带来的后果往往是对资源的破坏,而非回收利用。源分离处理系统摒弃污水运输管网,以符合清洁生产、循环经济和可持续发展的源头减量、循环利用、全过程控制为原则,实现最大程度污水能源与资源回收。(图3)



图3 奥林匹克公园和鄂尔多斯源分离示范项目

源分离系统在世界范围内得到广泛关注。我国在源分离领域也进行了积极的探索实践,奥林匹克公园和鄂尔多斯生态城镇是其中两个典型项目,却都没有取得良好的实际效果。奥体公园北部的黄水资源化处理中心长期处于停工状态,而改用汽车运输到污水处理厂处理。采用瑞典技术的鄂尔多斯项目在社区居民长达几年的反对声中改回了抽水马桶系统。深究其原因,技术层面和管理层面上皆有。鄂尔多斯东胜区政府认为项目总体不成熟,存在决策盲目的问题。在质量和技术方面政府没有认真把关,开发商的建设进度也存在滞后。瑞典斯德哥尔摩环境研究院总结认为项目整体设计有缺陷,对中国气候了解不透彻,国内外设备也存在不匹配的问题。总之,目前技术和管理上还存在一定不足,高速城市化的中国承担不起分散处理的缓慢推进,中国庞大的管理体系也限制了分散式处理技术的本土化,源分离技术也没有与现有的管理体系相结合,间接导致社区民众接受程度低。源分离理念从生态卫生和循环利用的角度出发是非常先进的,分散处理也蕴含着清洁生产的源头减量、全过程控制理念。然而其实际推广应用还需要从管理技术等多个社会层面进行研究设计,这也是目前世界各国,尤其是部分欧洲国家积极探索研究的领域。

3、末端分离分散污水处理系统

从低碳、资源回收、零排放的角度定位未来的污水处理系统,需要整体考虑从收集运输到处理再利用多个环节,全面关注水、氮磷元素和能源三个方面的回收利用。在技术爆炸的当下,寻求符合可持续发展理念的污水处理模式可谓是世界上最困难的问题和最具有挑战性的事业,尤其需要考虑遵循可持续原则的顶

层设计,而非过分局限于污染治理技术的开发上。(图4)

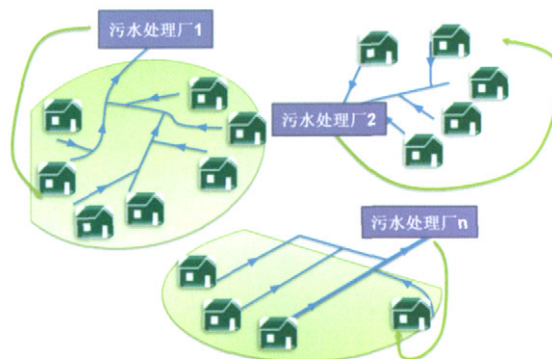


图4 集中与分散相结合的末端分离分散式污水处理系统

污水处理模式由目前的集中式向集中与分散相结合发展是未来发展可能的趋势之一。集中与分散问题专家聂梅生教授认为未来应用新技术更倾向分散式的。住房和城乡建设部仇保兴副部长指出“要超越福特式大规模、集中式处理的旧框框,这是一个工业时代的观点,不是文明时代的观点”。新的路线能否在尊重目前我国集中式污水处理系统建设现状的同时,充分考虑可持续发展理念在污水处理上对再生水循环等方面的要求呢?国外曾有一些类似的探讨,比利时的威力教授提出面向未来城市设计的“零废水ZeroWasteWater系统”,强调了上游分离概念,他认为现有技术可以首先对污水进行分离处理,把污水作为综合资源来对待。结合我国国情而言,基于“末端分离”的分散污水处理系统或许是更适用于我国的新模式。与源分离模式不同,基于“末端分离”的资源化处理路线指污水在管网系统的末端,即在进入污水厂时先完成浓缩预处理后,分别得到富含有机物的污水浓缩液和低浓度污水,之后再下一步的资源化利用的污水处理方式。高浓度浓缩液可以进行厌氧产沼气、生物燃料电池等方式回收能量;对于低浓度有机废水,可以用膜处理过程获得高品质回用水;浓缩处理后氮、磷元素易于作为植物肥料得到再次利用,最终实现污水充分的资源化。末端分离的污水处理系统的发展面临的不仅仅是技术问题,同时要考虑技术人员的接受程度,公众接受程度以及社会管理体系。寻求符合可持续发展理念的有效合理污水处理模式还需要不懈地探索努力。

三、面向未来的污水处理技术初步研究

在基于末端分离的污水资源化处理过程中,污水的浓缩预处理是实现污水资源化的关键步骤,需要相应的技术开发作为支撑。近年来不断涌现的新技术为未来污水处理技术增加了选择。以MBR为代表的膜技术近年来发展迅速。混凝和过滤技术的结合工艺作为污水浓缩预处理的技术路线进行了初步研究,探讨了“混凝—微滤”和“混凝—动态膜”两条浓缩路线的可行性并考

(下转42页)

内容,但是缺乏专门的有针对性的、系统、全面的法规和政策,现有的有关政策和技术标准也缺乏强制性。二是缺乏雨水管理设施建设的投融资、审批、建设、运维、管理等政策细节。例如有文件提出实施雨水利用措施后可减免防洪费,但是没有具体的实施办法。没有在工程项目立项审批、开工许可、竣工验收等环节,把好实施雨水管理相关措施的关。三是缺乏奖惩措施,没有调动社会资金投资雨水管理的积极性。四是基础设施建设的规范对雨水管理考虑不足,建筑、道路、园林绿化、市政等基础设施建设时没有实施雨水管理的相关技术措施。

5、缺乏高效管理体系,雨水管理水平低

与发达国家和地区的城市相比,北京城市雨水系统管理的水平较低、手段较落后,主要表现在:(1)管理较混乱,资料信息不全;(2)资料载体落后,缺乏数字化、信息化;(3)雨水监控系统不健全,缺乏雨水管网的水量监测和水系、河湖的自动化监控与调度设施;(4)管理手段以临时决策、应急管理为主,缺乏整体、综合、系统的管理和超前管理,缺乏对暴雨和城市排水系统的准确模拟和积水预报预警。

五、城市雨水管理发展建议

1、工程与规划方面

(1)摸清现状城市雨水系统,特别是地下管网的现状和排水能力。校核地面雨水口和管网的排水能力,疏通各级雨水管线,联通断头管线,修补不满足排水要求的管线。校核城市河道的排涝能力,对不满足排涝要求的河道进行疏挖整治。(2)建设专门应对超标准降雨所产生积滞水的内涝防治工程体系,包括有序疏导超标准降雨径流的道路及边沟、滞蓄区、泵站等。(3)全面开展城市雨水系统的综合规划。在蓄排结合的理念下开展雨水管

网、雨水集蓄工程和城市水系综合规划,统筹考虑内涝防治、雨水利用和面源污染控制。(4)尽快构建城市雨水管理综合模拟模型。全面收集城区各类各级雨水管线和水系的基本资料,以及与管线匹配的详细下垫面资料,并将其数字化,构建覆盖整个城区的降雨径流过程模拟模型,包括地面产汇流模型、管网模型、河网模型和积水模型等。(5)对城区雨水系统进行模拟与诊断,依此进行关键工程的规划建设,包括雨水系统监控工程,并依据模型进行内涝预报、实时调度和应急管理。(6)建立城市内涝灾害风险评价制度,绘制城区内涝灾害风险等级分区图,指导城市的开发建设。

2、政策与法规方面

(1)建立各部门、各行业、全社会共同参与城市雨水管理的体制和机制。(2)加快制定并完善城市雨水管理的政策、法规体系。研究并适时出台北京市城市雨水管理办法,实现城市雨水管理与内涝防治的规范化、制度化。(3)将城市雨水管理,特别是内涝防治,纳入建设项目立项审批、核准或备案的前置条件。

(4)研究制定切实可行的建设雨水管理工程的奖励激励政策。

(5)修订或编制建筑、道路、广场、绿地、水系等城市建设相关行业的地方规范标准,补充“雨水管理和内涝防治”的相应内容,完善技术规范与标准体系。

3、科研与公众教育方面

加强城市雨水管理与内涝防治的科学技术研究,建立实用的技术体系。特别要加强研究城市内涝防控标准、内涝风险评估与分析方法、综合管理雨水的技术措施和关键产品等。加强城市雨水管理和内涝灾害防范的宣传教育,告诉广大市民如何做好应对暴雨积水的准备,如何依据各级预报预警采取相应的措施,如何安全地滞蓄和利用雨水等。C

(上接38页)

察了污水中有机的浓缩过程。在混凝-微滤污水浓缩技术的研究上,选取了平板膜和中空纤维膜两种膜构型,都取得了良好效果。膜污染会引起膜通量下降,从而导致高昂的运行能耗以及频繁的膜清洗甚至膜更换,被视为制约膜技术应用的主要障碍。与膜生物反应器运行机理类似,混凝污泥混合液的各种组分对膜污染均有贡献,且影响机理错综复杂。然而与膜生物反应器不同的是污水浓缩过程希望避免污水中有机物被生物过程所消耗,因此需要削弱甚至避免反应器中的曝气过程。因此,如何在削弱曝气的条件下控制膜污染是利用膜技术实现污水浓缩的研究重点关键点之一。初步研究表明:摒弃生物混凝过程,结合化学混凝的膜分离过程利用混凝泥饼层对微滤膜污染的抑制作用,可以实现生活污水的直接物化处理和污水浓缩。在混凝-动态膜浓缩技术研究则利用混凝污泥在滤布表面形成自生动态膜。污水中的有机物

通过混凝作用以及滤布动态膜的分离作用实现最终的浓缩。混凝过程动态膜的形成可以增加截留效果,尤其是悬浮态有机物的去除。同时复配吸附剂可以提高溶解性污染物的去除。动态膜的周期再生可以维持滤布的高通量。混凝过程结束后,常规的沉淀过程被过滤过程代替,混凝动态膜的特点有利于实现良好的浓缩过程。

四、结语

现有污水处理系统的优势与弊端值得反思和总结。结合可持续发展的要求,污水处理系统未来的发展方向应从碳减排和资源利用的角度来设计思考。结合集中式和分散式处理各自的优点,末端分离的分散处理模式是一种值得探讨的创新尝试。初步研究表明膜混凝浓缩过程在技术上具有可行性,末端分离的分散式处理系统的设计和开发还需要更多的研究和探索。C