

智慧水务时代下北京市建筑中水系统的重构路径-日、新、美多维度经验对京津冀协同治理的启示

刘子怡¹ 阴亚军¹ 周泽宏²

1. 北京市节水用水管理事务中心; 2. 怀柔区水务局 北京 101117

DOI:10.12238/ems.v7i7.14209

[摘 要] 本文聚焦于北京市建筑中水设备的运行现状及未来发展路径, 借鉴日本、新加坡等国的先进经验, 分析北京市建筑中水设备在技术、管理及政策层面存在的问题, 并提出针对性的优化建议。研究表明, 北京市建筑中水设备在运行中面临技术瓶颈、管理漏洞及成本效益等问题, 而通过完善法规制度、技术创新、优化管理方案及加大政策支持, 可有效提升中水设备的运行效率和经济效益, 为北京市水资源的可持续利用提供有力支撑。

[关键词] 建筑中水设备; 水资源循环利用; 国际经验; 技术与管理优化

引言

研究背景与意义

(1) 国家战略与节水优先导向

“节水优先”是我国生态文明建设的核心战略, 也是新时代治水理念的重要组成部分。党的二十大报告明确提出“实施全面节约战略”, 强调通过水资源的高效利用和循环再生缓解供需矛盾。建筑中水回用技术作为城市节水的关键路径, 通过将生活污水经过处理后用于冲厕、绿化、消防等非饮用水场景, 实现了“优水优用、分质供水”的目标, 显著提升了水资源利用效率。其高回收率(可达70%-90%)和低能耗(较传统供水系统降低30%-50%)的特性, 为城市用水“解压”提供了可行方案。

(2) 北京水资源紧缺的现实挑战

北京市作为典型的资源型缺水城市, 人均水资源量长期处于国际警戒线以下。第三次水资源评价数据显示, 1980-2016年间北京市本地人均水资源量仅为108立方米, 2014年南水北调入京后综合人均水资源量提升至150立方米左右, 但仍远低于联合国确定的人均500立方米的缺水标准。这一严峻的水资源格局使得节水成为北京可持续发展的核心命题。尽管南水北调缓解了短期供需矛盾, 但地下水超采、外调水依赖度高等问题依然突出, 亟需通过技术创新和制度优化构建内生型节水体系。

(3) 建筑中水回用的探索与瓶颈

我国建筑中水回用起步较晚, 但近年来在政策推动下取得进展。以京津冀地区为核心, 新建社区、酒店、公共建筑普遍配套中水设施, 形成区域示范效应。北京市自1987年起实施《中水设施建设管理试行办法》, 要求建筑面积2万平方米以上的旅馆、3万平方米以上的公共建筑及住宅小区配套

中水设施。这一政策在初期阶段显著减少了污水排放量, 降低了自来水消耗, 为中水技术推广奠定了实践基础。然而, 随着城市发展和用水需求升级, 现有中水设施面临覆盖率不足、运行效率低、公众接受度有限等问题。

1 北京市建筑中水设备运行现状

1.1 分布格局与规模态势

北京市建筑中水设施的分布格局与规模态势呈现出多样化和区域集中的特点。截至目前, 全市范围内在运行的建筑中水设施约有400座, 主要分布在宾馆饭店、大专院校、居民小区以及部分工业企业等场所。

从具体分布来看, 中水设施广泛覆盖于各类建筑类型之中。例如, 宾馆饭店类如新世纪饭店, 高校如北京服装学院, 住宅社区如中加花园, 以及企业单位如北京木材厂等均设有相应的中水处理系统。这些设施的日处理能力通常介于150至500m³之间; 从整体规模分析, 约82%的设施日处理能力集中在10至500m³区间。全市高峰期的总日处理能力约为14.3万m³。此外, 北京市还建设了一批区域性的中水利用设施, 如东城区的南馆公园和柳荫公园, 其处理规模可达每日1000m³。

从单位性质来看, 居民小区及公寓类建筑占比最高, 达到31.1%, 其中在用设施占11.41%, 停用或未启用的设施占19.69%; 其次是宾馆、饭店、文体建筑、公用建筑、写字楼及公寓类建筑, 占比26.84%, 其中在用设施占9.40%, 停用或未启用的设施占17.44%; 机关、企业及学校类单位占比42.06%, 其中在用设施占24.16%, 未用或停用设施占17.90%。这一数据反映出不同类别建筑在中水设施配置和使用效率上的差异, 也为未来政策制定和资源分配提供了依据。

1.2 运行状况综合评估

(1) 中水产量、质量及回用率的现状分析

北京市建筑中水设施主要生产城市杂用水和景观用水两类。其中，城市杂用水处理后主要用于冲厕、城市绿化、车辆冲洗、道路清扫、消防用水等；景观用水则主要用于观赏性景观补水。在中水利用方面，冲厕和城市绿化的利用率最高。

(2) 设备运行的稳定性与可靠性分析

中水处理工艺主要采用生物处理方法，如活性污泥法、接触氧化法、生物转盘等，这些方法单独或组合使用。近年来，膜处理技术的应用逐渐增多，包括膜分离技术、膜生物反应器 (MBR)、生物活性炭等，为中水工程提供了更先进的技术支持。随着膜技术的发展，膜的质量提高且成本降低，使得 MBR 成为未来中水处理领域的重要工艺之一。

然而，居民小区中水设施面临诸多挑战，如运行难、成本高以及监管盲区等问题。据西城区常青藤可持续发展研究所对 34 个住宅小区的调研显示，只有约 5.9% 的小区中水设施实际在运行。一些小区由于中水水源不足而不得不补充自来水，导致中水系统未能充分发挥作用。

(3) 运行困境与经济效益制约

北京作为资源型极度缺水的城市，年人均水资源量远低于联合国认定的极度缺水标准。虽然南水北调工程提高了人均水资源量，但仍处于严重缺水状态。不同类型的用户适用不同的水价标准，中水价格设定为 1.00 元/立方米 (2014 年调整为不高于 3.5 元)，显著低于自来水费用。因此，尽管中水设施的建设和维护成本较高，但其使用可以大幅降低企业用水成本，并有效节约水资源。

1.3 存在问题深度剖析

(1) 技术层面的瓶颈与挑战

尽管新技术如膜生物反应器 (MBR) 和中空纤维超滤器等在建筑中水处理中的应用日益广泛，这些技术能够有效地提升水质净化效果。然而，随着新型态废水处理系统的引入，原标准未能及时更新以涵盖这些新工艺的要求。此外，建筑中水运行管理模式也经历了转变，包括由物业公司管理、产权单位直接管理或委托专业公司管理等多种形式。

(2) 管理层面的漏洞与不足

小区中水设施通常与主体工程同步竣工验收，在居民入住前完成。这意味着验收时仅能确认设施建设情况，而无法评估实际运行状态。节水管理部门因此难以获得全面的基础数据，导致监管不到位，部分小区的中水设施可能长期处于停用或自我管理状态。

同时实际负责中水设施运行的物业管理人员普遍缺乏必

要的专业知识和技能培训，难以理解复杂的技术标准和设备说明书。加之缺乏针对性的培训或指导文件，这进一步加剧了设施的运行管理和维护难题，导致一些小区的中水设施因操作不当或维护不善而被迫停用。

2 日本建筑中水设备发展的政策驱动与借鉴

2.1 健全的政策法规与标准体系驱动发展

日本政府将水资源循环利用提升至国家战略高度，构建了“国家法律-地方条例-技术标准”三位一体的政策体系，形成强有力的制度保障。为建筑中水设备发展筑牢制度根基。

2016 年颁布的《水循环基本法案》，要求制定水循环基本计划，明确将加强雨水和再生水利用作为重要目标，从宏观层面为中水回用指明方向。在地方层面，以福冈市为例，其制定的《节水推进条例》《再生水利用下水道事业相关条例》，对大型建筑物再生水回用作出了详细且可操作的规定，包括设施建设标准、使用规范、监督管理等内容。在城市规划和建筑设计审批流程中，中水系统建设被列为必要条件，若不满足相关要求，项目将无法通过审批。这种“政策前置”的管理模式，确保了中水项目在新建建筑中的广泛覆盖。据统计，在政策推动下，日本部分城市新建大型公共建筑中水设施配备率已超过 80%，有效促进了水资源的循环利用。

2.2 多元协同的技术研发与投入支撑创新

日本在中水技术研发领域投入巨大，整合高校、科研机构和企业多方力量，形成产学研深度融合的创新体系。在膜处理技术方面，不断突破技术瓶颈，研发出高性能的膜材料和先进的膜组件，其膜分离技术在去除污水中微小杂质、有机物和微生物等方面表现卓越，能够大幅提升中水水质。在生物处理技术领域，持续优化活性污泥法、生物膜法等传统工艺，并不断探索新的生物处理途径。这些先进技术的应用，使处理后的中水水质达到较高标准，不仅广泛应用于厕所冲洗、绿化灌溉等常规领域，还在部分工业生产环节替代了自来水，实现了中水利用的多元化和高效化。

3 新加坡再生水源开发与政策体系完善的中水发展实践与借鉴

3.1 再生水源开发：从探索到规模化应用

新加坡自上世纪 60 年代起，积极探索多元化供水路径，将再生水列为四大“水龙头”之一。2003 年，勿洛和克兰芝两座新生水厂建成，标志着再生水开发进入规模化阶段。水厂采用过滤、反渗透技术和紫外线辐射消毒等先进工艺，将生活污水净化为高质量再生水，缓解水资源压力。

经过二十余年发展,新加坡再生水供应规模不断扩大。目前已拥有5座新生水厂,其中樟宜第三座新生水厂将于2024年二季度动工,预计2026年启用,日供水量可达19万吨,相当于当前日用水量的11%。截至目前,再生水占全国用水量比例超30%,且规划到2060年将提升至55%。随着技术进步,部分再生水已融入自来水源,虽占比不足5%,但为饮用水源拓展提供了新方向。

3.2 政策体系完善:构建全链条管理框架

新加坡构建了系统且高效的水供应政策体系,为中水发展提供坚实保障。该体系以统筹管理为根基,由PUB统管供水、污水处理及再生水生产,破除部门职能交叉。这种管理架构为中国整合水务部门职能、成立统一管理机构提供了直接参考,有助于解决国内水资源管理分散的问题。

以法治保障为框架,制定覆盖水资源规划、污染防治及节水标准的全域法规,并将水资源管理深度融入土地规划,协同布局集水区与再生水设施。经济层面实施阶梯水价、再生水价格优惠,叠加节水减税、超标排污重罚,激发市场参与动力,推动再生水单位成本较传统供水低25%;这些政策多管齐下,有效推动了再生水的广泛应用。

4 美国建筑中水利用的典型案例分析与经验总结

4.1 政策强制与经济激励

美国多州通过立法将中水设施与建筑审批挂钩,如加州要求新建商业建筑($\geq 5000\text{ m}^2$)必须配套中水系统,公共绿地灌溉禁止使用自来水;同时以税收减免、补贴等经济手段降低成本,如加州对中水设备提供50%购置补贴,亚利桑那州对使用中水企业减免30%水资源税,有效提升市场主体参与度。

4.2 技术创新举措并行

美国采用多级净化工艺突破水质瓶颈,如加州“从马桶到水龙头”项目通过活性炭过滤、三级反渗透膜和紫外线消毒,使再生水达饮用水标准并接入家庭;同时推广小型化智能设备,如旧金山公寓楼内模块化水循环系统,回收95%生活废水用于冲刷、洗衣甚至啤酒酿造,设备占地仅 15 m^2 且支持实时水质监测。

4.3 生态协同:水资源的立体化循环利用

美国项目注重中水与生态修复结合,如图森市圣克鲁斯河项目每日处理1234万升废水用于灌溉,并将1.4亿升水回灌地下补给水源,改善河流生态;同时拓展工业与景观用途,如旧金山将再生水用于啤酒酿造,实现水资源在农业、工业、生态领域的多层次循环。

5 北京市建筑中水设备发展的未来路径与实施策略

5.1 持续完善相关政策体系

借鉴国内外成功经验,出台更为完善且具针对性的建筑中水设备相关政策法规。细化现有中水设施建设管理办法,明确不同类型、规模建筑的中水设施建设标准;明确新建或改扩建建筑的中水设施建设规模标准,并将其纳入规划审批的硬性条件。同时规范项目设计、施工、验收、运营各环节要求,严禁不合格再生水进入使用环节。建立跨部门联合执法机制,加强对违规建设、超标排放等行为的查处力度。

5.2 补充激励与市场机制

为提升政策实效,需完善激励与市场机制。在强制使用领域,规定市政绿化、道路保洁、洗车等必须优先使用中水,对高耗水工业企业设定中水使用比例目标,并通过税收减免、财政补贴等举措激发企业积极性。同时,引入市场竞争机制,采用特许经营、招标等方式吸引社会资本参与项目建设运营,培育再生水技术研发、设备制造、运营管理的全产业链,推动再生水产业规模化发展,形成“政策约束+经济激励+市场驱动”的协同治理模式。

[参考文献]

[1]新加坡、阿尔及利亚、西班牙创新用水护水之道——共同促进水资源高效利用(国际视点)章念生 郝瑞敏 颜欢《人民日报》(2024年03月25日第16版)

[2]日本再生水利用相关政策标准及典型案例分析水利部发展研究中心给水排水,2023.49(6)陈卓 陆慧闽 刘方华 王方 高强 郝姝然 闫晗 胡洪营

[3]日本水循环经济发展中的经验和做法及对我国的启示[J].全国商情·经济理论研究,2008(15):011.DOI:10.3969/j.issn.1009-5292.2008.15.011.韩冬梅,戴铁军.

[4]绿色建筑节水技术研究及应用[J].太原学院学报(自然科学版),2018,36(04).段兰兰.

[5]建筑节能降碳技术在建筑设计中的应用.陶瓷,(5),44.李莹.(2022).

[6]建筑中水合理利用分析[J].聊城大学学报(自然科学版),2024.任凤.

[7]建筑中水回用现状及发展趋势.《住宅与房地产》,(5),246.知网空间.张素娟.(2020).

作者简介:刘子怡,(1984年-),女,汉族,籍贯北京,中级职称,大学本科,研究方向为北京市重点用水单位节水用水监管和服务保障、节水技术的宣传推广、节水标准定额的制修订工作。