

城市雨水收集与利用系统的设计与评估

潘 静

中冶沈勘秦皇岛工程设计研究总院有限公司 河北 秦皇岛 066000

摘 要：城市给排水系统的缺陷导致了水资源的短缺，引起了雨水污染，并造成了城市内涝的问题。鉴于当前情况，雨水收集与利用系统作为一种有效的解决方法，正日益受到广泛的重视。本文主要研究雨水收集与利用技术在城市给排水系统中的应用，旨在促进城市的持续发展。雨水收集与利用技术包括多功能集成：同步实现蓄水、减排、生态改善，如结合海绵城市透水铺装与植草沟。城市给排水系统面临着前所未有的挑战，雨水收集与利用系统提供了一种有效的解决方案，旨在通过收集、处理和利用雨水来实现城市的可持续发展。

关键词：雨水收集与利用；城市给排水设计；水资源可持续利用

城市化进程的加速，环境日益变化带来的排水压力，城市排水系统面临着前所未有的挑战。因此，做好雨水收集与利用系统设计，雨水管网系统有效评估、管理，对于改善城市给水排水环境具有重要意义。

1 城市雨水收集与利用的重要性

1.1 城市化和环境压力的影响

社会不断发展，城镇人口增加，城市化进程加快，伴随而来的人们生活环境发生变化。这是一把双刃剑，一方面带来了社会的发展，经济的增长，就业机会的增多，然而另一方面环境的影响暴露大量问题，如水资源短缺、空气质量下降、生物多样性锐减，以及更频繁和更严重的极端天气发生。随着城市规模扩大，自然地表被大量的硬质地表径流，增加了洪涝的风险，城市排水系统超负荷运行，造成城市内涝现象。此外，随着城市化进程加速，大量的自然水体被填埋，城市自然蓄滞能力大大降低。自然水体在调节气候、改善水质、保持生物多样性方面起到了重要作用，这些生态系统在城市化进程中常常被忽视或破坏。同时，环境压力对城市的影响不容忽视。由于全球气候的变化。极端天气的概率和强度都在呈上升趋势，海平面的不断上升，给城市的排水系统带来了巨大压力。而且，城镇人口的日益增加、生活水平不断提高，使得城市的用水量不断增加，也使得供水系统面临前所未有的压力。如何平衡城市发展和环境保护，如何提高城市韧性以应对日益严重的环境压力，是需要面对和解决的问题。因此，深入研究城市化对雨水收集和利用的影响，制定出更具有适应性和可持续性的雨水收集和利用的策略，对实现城市的可持续发展具有重要意义。

1.2 城市防洪减灾的防线

城市的洪涝灾害不仅对城市的基础设施产生影响，

还会对城市居民的生活质量、经济活动、甚至生命安全造成威胁。科学合理的雨水收集利用系统能有效保障生命财产安全。通过屋顶集流、地面渗透等设施，可减少暴雨时地表径流量，降低城市内涝风险；蓄水池和过滤装置能储存净化雨水，为消防应急提供备用水源；渗水井和雨水花园的设计可缓解排水管网压力，避免积水引发的坍塌事故。同时，规范的防渗处理和定期维护能防止雨水渗漏导致建筑地基受损。这种“蓄排结合”的雨水管理方式，既缓解了水资源短缺压力，又构建起多层次的城市防灾体系。有效的雨水收集利用系统通过多维度维护经济社会稳定：一方面缓解水资源短缺压力，降低干旱对农业、工业生产的冲击，保障粮食安全和产业链运转；另一方面减少城市内涝治理成本，避免暴雨导致的交通瘫痪、财产损失等直接经济损失。其创造的绿色基建就业岗位能促进环保产业发展，而分散式水资源管理可增强区域抗旱防灾韧性，减少因水危机引发的社会矛盾。这种可持续的水资源管理模式，既优化了公共财政支出结构，又为低碳经济转型提供支撑，形成“资源节约-风险防控-产业升级”的良性循环。

1.3 雨水收集与利用对城市可持续发展的重要性

雨水的收集和利用对城市可持续发展具有战略价值。通过构建雨水回收系统，可有效缓解水资源短缺，替代传统水源，如降低干旱对农业、工业生产的冲击，保障粮食安全等。雨水是一种宝贵的自然资源，但在许多城市，大部分雨水通过雨排水系统直接排放，没有得到有效利用，通过雨水的收集和利用系统，可以将雨水转化为可利用的水资源，降低对地下水和水库的依赖，提高水资源利用率。现在很多城市推广海绵城市设施，削减暴雨径流，显著提升了城市防洪韧性，有效改善了城市的水环境。初期雨水携带地表污染物是水体污染的

重要来源。雨水收集系统通过弃流装置和生态滤池（如雨水花园、植被缓冲带）对雨水进行分级处理，有效拦截悬浮物、重金属等污染物，减少受纳水体的污染负荷。经多层净化的雨水可用于景观补水，降低直排自然水体的污染风险。城市硬化地表加剧暴雨径流峰值，有效的雨水调蓄池、生态蓄水设施可在降雨高峰时滞留雨水，延缓洪峰形成，降低排水管网瞬时负荷，显著缓解了城市内涝问题。有效的雨水管理推动绿色基建发展，可修复水生态系统。雨水渗透和回用技术（如下凹式绿地、人工湿地）能增加城市水域连通性，为水生生物提供栖息空间，促进生物多样性恢复。同时，补充地表水体（如景观池塘）和地下水，有助于维持河流基流，改善水生生态环境的稳定性。雨水资源化利用通过“渗、滞、蓄、净、用、排”的系统治理，构建了可持续的城市水环境循环体系，是实现城市社会化发展的重要路径。

2 城市雨水收集与利用设计原则和方法

2.1 生态优先与因地制宜

遵循自然水循环，通过下沉式绿地、透水铺装等设施强化雨水渗透与净化，结合当地气候、地形和水文特点定制方案，避免标准化复制。低影响开发，利用绿地、透水地面增强雨水滞渗能力，实现“自然积存、自然渗透、自然净化”。雨水收集设施包括绿色屋顶集水系统及地面渗透设施等。屋顶集水系统：屋面集水面→导水管→弃流装置→储水罐（地上/地下）。其特点是水质较好（污染物比路面低70%），适合家庭灌溉、冲厕等。其局限为储水量有限，需定期清洁防藻类滋生。地面渗透设施（适用于绿地、公共区域），如雨水花园与植草沟：利用下沉式绿地和植被沟渠滞留雨水，模拟自然水循环过程，促进下渗，削减地表径流70%以上，补充地下水。渗透洼地，适用于坡度 $\leq 5\%$ 的缓坡区，搭配砾石层加速渗透；人行道边缘、停车场周边种植带。另外还有集中储存设施（适用于中大型项目），PP模块蓄水池，模块化拼装，抗压强度 $\geq 40\text{吨}/\text{m}^2$ ，寿命25年，有效地下储水，容积按汇水面积 $\times$ 降雨量 $\times 0.8$ 计算。雨水调蓄塘：暴雨时暂存雨水（容积公式 $W = 10\Psi qF$ ），旱季回用。

2.2 雨污分流与污染防控

城市雨水收集与利用中，传统的给排水管网系统的存储和输送也同样不容忽视。尽管在当前的环境气候挑战下，绿色海绵设施越来越受到关注，但是传统的雨排水管网系统也同样需要重视。将雨水系统纳入城市国土空间规划，与道路、绿地、水系统及排水防涝等专项规划衔接，确保整体协同。排水管网系统应合理规划，雨污分流优先，新建区域强制采用分流制，独立设置雨

水管网；老旧城区结合城市基础设施的更新逐步改造。合理规划布局雨水管网，分区管理。依据地形、地势科学划分排水分区，利用自然地势进行雨水收集，减少能耗。在不同的用地分类区域采用差异化管径设计，匹配区域排水需求。另外分层处置雨水优化雨水调蓄体系，改造雨水口与集水设施，如在雨水口配置初雨弃流装置（弃流量2-5mm），削减初期径流污染。

实施保障机制，动态运维管理。雨季前完成雨水口清淤，管网检测周期不大于5年；建立GIS管网数据库，标注淤堵高风险区。衔接海绵城市指标，新建项目设置海绵设施；预留15%管网容量冗余应对超标准降雨、极端天气。

2.3 分级调控策略

雨水按水质分级利用需遵循“高水高用、低水低用”原则，按水质分级利用：屋顶清洁雨水直接回用于灌溉或工业冷却；道路雨水经净化后用于市政杂用水；富余雨水补给地下水或景观水体。同时将调蓄池与应急事故池结合，提升设施利用率。雨水分级利用的意义在于通过科学分类实现水资源的高效管理和可持续利用。其核心目的是根据雨水污染程度（如无污染型、中度污染型、重度污染型）匹配差异化的处理工艺与回用场景（如绿化、工业冷却、地下水补给），从而降低净水成本、减少初期雨水直排污染，并缓解城市内涝与水资源短缺矛盾。这一模式兼顾了生态保护与经济性，是海绵城市建设的核心策略之一。雨水水质需按用途分级处理，预处理弃流和末端消毒是保障安全的核心；配合智能监测与生态工艺，可实现低成本高效回用。

2.4 城市雨水利用的创新途径

立体空间耦合利用，建筑集成系。屋顶雨水→净化→温室灌溉（如上海港虹生态基地年回收5.8万吨雨水供菊花种植）；立面垂直绿化墙嵌入导流槽，同步灌溉与降温。地下空间开发，地铁站/地下车库顶部铺设透土层，雨水下渗补给地下水；地下调蓄池雨季蓄水、旱季反补景观水体（上海光华社区年调蓄300m³）。工业-生态循环模式，工业流程替代水源。原料场封闭大棚收集雨水→净化→替代烧结工序用水；数据中心用雨水冷却服务器，降低冷却塔耗水量。生物协同净化，雨水花园种植鸢尾、香蒲等耐污植物，净化重金属（铅、锌去除率超80%）；人工湿地耦合雨水调蓄池，实现水质提升与生物栖息地双功能。智能动态管理，AI预测调度，土壤湿度传感器+气象预报联动，动态调节灌溉量（干旱区增量30%）；道路冲洗机器人依据雨量预报自动作业，提升效率50%。景观互动装置，智能旱溪：晴天为砾石景观，雨

天变流水剧场（水位传感器控制水流）；公共广场透水铺装嵌入LED灯带，雨夜发光提示渗透状态。城市雨水利用的创新途径正通过技术、生态与管理的协同突破，构建可持续的城市水循环系统。其核心意义在于从资源、生态、经济和社会多维度推动城市高质量发展。

3 城市雨水收集与利用系统评估方法

3.1 技术效能评估。径流控制能力，径流总量控制率：通过年径流总量控制率（目标 $\geq 80\%$ ）评估系统对地表径流的削减能力，需结合暴雨重现期参数进行模拟计算。污染削减效能：分析悬浮物（SS）、COD等污染物削减率（目标 $\geq 65\%$ ），初期雨水弃流装置是关键控制节点。模型验证：采用SWMM、InfoWorks等水文模型模拟极端降雨场景，验证排水响应时间及调蓄设施有效性。水质达标评估，处理工艺检测：对沉淀、过滤、消毒后的出水进行水质检测，确保符合《雨水控制利用系统监测标准》的非饮用水回用标准。实时监测：集成pH值、浊度传感器动态监控水质，防止回用污染。

3.2 经济性评估，成本效益分析。全生命周期成本：建设、运维总成本宜控制在城市GDP的0.1%-0.3%内。节水收益：测算替代市政供水的节水量及水费节省（如项目年节水38万 m^3 ，节省130万元）。投资回收周期：依据节水收益与运维成本，计算静态回收期（通常需5-10年）。

3.3 生态与社会效益评估。生态增益，地下水补给率：评估雨水下渗对地下水位提升的贡献。热岛效应缓解：通过绿地和透水铺装降低地表温度，结合遥感数据量化热岛强度变化。社会风险防控。内涝减灾能力：利用GIS疏散模型定位20分钟内无法疏散的高风险区，验证系统排涝效率。应急响应验证：模拟暴雨灾害场景，测试智能报警（如洪水预警广播）与泵站调度的协同性。

3.4 智能化与合规性评估。智能系统效能，物联网平台实时监测水位、流量，通过数据融合生成水情“一张图”，评估预测精度与响应速度。关联LEED/BREEAM认证体系，核查雨水回用率、径流污染控制等绿色建筑评分项达标情况。

3.5 模型精度局限性。复杂气候下降雨预测偏差影响

设计可靠性，需融合多源气象数据修正。地形适配性：地形精细程度（如DEM数据层级）直接影响面雨量模型精度，需匹配区域特征优化。评估需动态迭代：建议每3-5年结合监测数据更新模型参数，同步调整运维策略。

4 城市雨水收集与利用系对城市水环境的影响

缓解水资源短缺与优化供水结构。在面临日益严重的水资源短缺的今天，提高水资源利用效率和减少供水压力成为城市排水管理的重要目标。通过收集屋顶、路面等区域的雨水，经简单处理后可用于绿化灌溉、工业冷却及冲厕等非饮用用途，显著降低市政供水压力。

减轻城市内涝与径流污染，系统通过透水铺装、雨水花园等设施增强地表渗透能力，削减30-40%的排水管网负荷，降低暴雨期积涝风险。同时，组合式生态净化设施（如生物滞留池）有效拦截的悬浮物（SS），减少初期雨水携带的污染物排入河湖，抑制水体富营养化。

改善生态环境与微气候，雨水蒸发与植被蒸腾协同作用可降低地表温度，缓解城市热岛效应。海绵城市措施（如绿色屋顶、下凹式绿地）还能增加生物多样性，构建“吸水-蓄水-释水”的生态循环系统，支撑城市水环境韧性提升。

总之，通过对城市雨水的收集与利用设计及其评估，实施有效的雨水规划管理，提高城市环境质量和水资源利用效率，减轻给排水系统压力，提高城市韧性，实现城市可持续发展。尽管面临技术挑战等诸多因素，但凭借政策助力、技术革新以及公众的参与，雨水收集利用创新技术有望被纳入城市给排水系统设计中，成为其不可或缺的组成部分。预计在未来，随着技术水平的提升和公众环保意识的增强，雨水收集和利用机制将在促进城市的持续发展过程中扮演越来越重要的角色。

参考文献

- [1]王鹏.城市雨水管理策略及其对给排水系统的影响研究.2023.
- [2]高宏宇.城市给排水系统规划与设计的可持续性研究.2022.