

海绵城市在公共建筑给排水设计中的应用

齐显奇

中国中元国际工程有限公司西安分公司 陕西 西安 710000

摘要：海绵城市理念通过“渗、滞、蓄、净、用、排”六字方针，在公共建筑给排水设计中实现雨水资源化与生态协同。透水铺装、下沉式绿地及雨水调蓄池等技术削减径流峰值，提升雨水下渗率；生物滞留设施与人工湿地通过多级净化，提升水质至回用标准；灰水回收工艺结合MBR膜技术，实现冲厕、绿化等非饮用水场景的循环利用。智慧监测系统与BIM模型优化排水管网运行，降低内涝风险，推动公共建筑水资源可持续管理。

关键词：海绵城市；公共建筑；给排水设计；应用

引言：随着城市化进程加速，公共建筑给排水系统面临雨水径流激增、内涝风险加剧及水资源浪费等挑战。海绵城市理念以生态优先为导向，通过“渗、滞、蓄、净、用、排”技术体系，构建低影响开发模式。其核心在于将雨水管理融入建筑全生命周期，利用透水铺装、雨水花园等绿色设施与灰色管网协同，实现雨水资源化利用。本研究聚焦公共建筑场景，探讨海绵技术在实际工程中的集成应用与优化策略，为城市水安全与可持续发展提供理论支撑。

1 海绵城市与公共建筑给排水理论基础

1.1 海绵城市核心理念

(1) “渗、滞、蓄、净、用、排”六字方针解析：“渗”指通过透水铺装、绿地等设施让雨水下渗，补充地下水，减少地表径流；“滞”利用植草沟、雨水花园等延缓雨水汇流速度，降低排水压力；“蓄”借助蓄水池、地下水库等储存雨水，为后续利用储备水源；“净”通过过滤、沉淀、生物处理等方式净化雨水，提升水质；“用”将处理后的雨水用于绿化灌溉、道路冲洗等非饮用水场景，节约水资源；“排”在极端天气下，通过合理规划的排水系统，保障雨水安全排出，避免内涝^[1]。(2) 低影响开发(LID)技术体系构成：该体系以生态理念为核心，包含源头控制、过程调控和系统治理三类技术。源头控制技术有透水铺装、绿色屋顶等，从雨水产生源头减少径流；过程调控技术如植草沟、渗透池，在雨水汇流过程中进一步滞蓄净化；系统治理技术包括人工湿地、调蓄塘等，实现区域雨水的统筹管理，降低对自然水文循环的干扰。

1.2 公共建筑给排水系统特征

(1) 用水类型复杂：公共建筑涵盖多种功能区域，办公区需稳定的饮用水和生活用水供应，餐饮区对热水、净水需求大且水质标准高，绿化用水则对水量和灌

溉时间有特定要求，不同用水类型的水质、水量需求差异显著。(2) 排水峰值流量大、污染源分散的挑战：公共建筑在早晚高峰期人员集中，生活用水量骤增，导致排水峰值流量大，对排水系统承载能力要求高；同时，办公区的废纸、餐饮区的食物残渣、绿化区的农药残留等污染源分散，增加了污水处理的难度和成本。

1.3 海绵化设计的耦合机制

(1) 雨水控制与中水回用的协同路径：通过雨水收集系统收集屋面、路面雨水，经处理后与中水系统衔接，将达标雨水纳入中水回用范畴，用于厕所冲洗、绿化灌溉等，实现雨水资源与中水的互补利用，提升水资源循环利用率。(2) 灰色基础设施(管网)与绿色设施(雨水花园)的整合逻辑：灰色基础设施的管网负责快速排放超出绿色设施承载能力的雨水，绿色设施则通过渗透、滞蓄等作用削减雨水径流，二者形成“绿色滞蓄+灰色排放”的协同模式，既降低管网排水压力，又充分发挥绿色设施的生态效益，提升公共建筑给排水系统的综合效能。

2 海绵城市在公共建筑给排水设计中的应用

2.1 雨水收集与渗透系统

(1) 透水铺装(透水混凝土、植草砖)的渗透效率计算：渗透效率需结合公共建筑场地实际条件测算，核心公式为渗透量 = 渗透系数×有效渗透面积×水力梯度。透水混凝土的渗透系数通常为 10^{-3} ~ 10^{-2} m/s，需考虑骨料粒径(一般选用5~10mm单粒级骨料)、孔隙率(设计值多为15%~25%)对渗透能力的影响；植草砖则需叠加植被根系孔隙的作用，实际渗透效率需扣除植被覆盖导致的面积折减(通常折减系数为0.7~0.8)。计算时还需参考当地降雨强度(如采用5年一遇24小时降雨数据)，确保铺装系统能消纳单次降雨的80%以上径流^[2]。(2) 下沉式绿地与生物滞留设施的设计参数：下沉式绿地需控制

下沉深度（公共建筑周边多设计为100-200mm），高出周边路面50-100mm以防倒灌，植被选择耐淹性强的本地物种（如鸢尾、菖蒲），种植土层厚度不低于300mm，下设100-150mm厚碎石盲沟。生物滞留设施需明确水力停留时间（设计值2-6小时），填料层由上至下依次为种植土（厚度300-500mm，有机质含量5%-10%）、砂层（厚度100-150mm，粒径0.25-2mm）、碎石层（厚度200-300mm，粒径20-50mm），同时设置溢流口，溢流标高需高于填料层顶部100mm，避免积水浸泡植被。

2.2 雨水储存与净化技术

（1）雨水调蓄池的容积计算与布设位置优化：容积计算采用“降雨径流总量-渗透量-蒸发量”差值法，公式为调蓄容积 = (汇水面积×降雨深度×径流系数) - (渗透量+蒸发量)。公共建筑多采用地下式调蓄池，布设需靠近雨水汇流核心区（如屋面排水立管下方、透水铺装集中区域），距离建筑物基础不小于3m以防影响结构安全，同时需预留检修通道（宽度不小于1.2m），池体采用抗渗混凝土（抗渗等级不低于P6），内壁做防腐处理（如涂刷环氧树脂涂料）。（2）人工湿地、植被过滤带的污染物去除机理：人工湿地通过“基质吸附+微生物降解+植物吸收”协同作用去除污染物，基质（如沸石、砾石）可吸附悬浮物、磷等，湿地微生物（如硝化细菌、反硝化细菌）降解COD、氨氮，水生植物（如芦苇、香蒲）通过根系吸收氮、磷；植被过滤带则依靠植被阻挡、土壤过滤拦截径流中的悬浮物，根系分泌物抑制部分病原菌繁殖，对SS的去除率可达60%-80%，COD去除率30%-50%，适用于公共建筑周边的道路、停车场径流净化^[3]。

2.3 中水回用与循环利用

（1）灰水（洗手、淋浴）回收处理工艺：灰水处理采用“预处理+MBR+消毒”工艺，预处理阶段通过格栅（孔径5-10mm）去除毛发、杂质，再经调节池均衡水质水量；MBR系统采用浸没式膜组件，膜孔径0.1-0.4 μm，可截留99%以上的悬浮物和微生物，COD去除率达85%以上，氨氮去除率超90%；后续经紫外线消毒（剂量不低于40mJ/cm²），确保出水达标。该工艺占地面积小（相比传统工艺节省30%-50%空间），适合公共建筑室内或地下室安装。（2）回用水用于冲厕、绿化的水质标准与管网设计：冲厕回用水需符合《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920）中“冲厕用水”标准，即COD ≤ 50mg/L、氨氮 ≤ 10mg/L、浊度 ≤ 5NTU；绿化回用水需满足“绿化用水”标准，即COD ≤ 60mg/L、氨氮 ≤ 20mg/L、pH值6-9。管网设计采用“独立循环系

统”，管材选用UPVC或PE管，颜色标注为浅绿色以区别于自来水管道，管网压力控制在0.2-0.4MPa，每个用水点设置止回阀，防止回用水倒灌污染自来水。

2.4 智慧监测与动态调控

（1）物联网传感器在雨污水管网流量监测中的应用：在公共建筑雨污水管网的进水口、出水口、关键节点（如溢流口前）布设超声波流量计，测量范围0-5m³/s，精度±2%，数据采样频率设为1次/分钟；同时安装液位传感器（量程0-3m，精度±1mm），实时监测管网水位。传感器通过LoRa或NB-IoT网络传输数据至云端平台，当流量超设计值80%或水位超预警线时，自动触发报警，通知运维人员排查^[4]。（2）基于BIM的给排水系统模拟与优化：构建包含海绵设施（透水铺装、调蓄池等）、管网、用水设备的BIM模型，导入当地降雨数据（如近10年降雨时序数据）、建筑用水规律（如办公区早8-12点用水高峰），通过HydraulicBIM软件模拟不同工况下的系统运行状态。例如，模拟5年一遇降雨时雨水调蓄池的水位变化，优化池体容积；模拟早晚用水高峰时回用水管网的压力分布，调整泵组运行参数，确保系统压力稳定，降低能耗（通常可实现节能15%-20%）。

3 海绵城市在公共建筑给排水设计应用的挑战与优化策略

3.1 技术集成难题

（1）绿色设施与建筑立面的空间冲突解决方案：公共建筑立面常需兼顾美观与功能，绿色设施（如垂直绿化、屋面雨水花园）易与窗户、空调外机、消防设施争夺空间。优化策略可采用“立体分层布局”，将垂直绿化设置于建筑非采光立面（如背阴面、设备机房外侧墙面），选用模块化种植盒（尺寸适配墙面结构间距，单盒重量≤20kg/m²），避免破坏建筑承重；屋面雨水花园优先布局于屋顶承重梁上方区域，采用轻质种植土（干密度≤800kg/m³），并与屋面消防通道保持1.2m以上安全距离，同时在种植区与屋面防水层间增设耐根穿刺层（如聚氯乙烯卷材），防止植物根系破坏屋面^[5]。（2）极端天气下（如超标暴雨）的应急排水设计：超标暴雨易导致绿色设施饱和、管网溢流，需构建“分级应急系统”。在绿色设施末端设置应急溢流口（标高高于设计滞蓄高度100-150mm），连接专用应急排水管（管径比常规管网放大1-2级）；在建筑周边道路设置临时集水井（间距≤50m，直径≥800mm），配备潜水泵（扬程≥10m，流量≥50m³/h），与城市雨水干管直接连通；同时在BIM模型中预设暴雨模拟场景，明确应急排水路径与泵组启动阈值（如管网水位达设计高度80%时自动启

动), 确保30年一遇暴雨下无内涝风险。

3.2 经济性分析

(1) 初期投资与长期运维成本平衡: 透水铺装初期造价(约120-180元/m²)高于普通沥青路面(80-120元/m²), 但需通过寿命周期成本核算实现平衡。优化策略包括选用高耐久性透水材料(如硅烷浸渍透水混凝土, 使用寿命延长至15-20年, 比普通透水混凝土长5-8年), 减少更换频率; 建立“运维成本分摊机制”, 将透水铺装运维费(约5-8元/m²·年)纳入建筑物业费, 通过减少雨水管网清淤频次(每年可减少2-3次, 节省费用30%-40%)降低整体成本, 经测算, 全寿命周期(20年)内透水铺装总成本可比普通路面低15%-20%。(2)政府补贴与碳交易市场的激励路径: 针对初期投资压力, 可申请地方海绵城市专项补贴(如部分城市补贴比例达项目投资的20%-30%), 优先用于调蓄池、人工湿地等核心设施; 同时对接碳交易市场, 公共建筑海绵设施(如透水铺装减少热岛效应、人工湿地固碳)可核算碳减排量(每万平方米透水铺装年减排约5-8吨CO₂), 通过碳交易平台出售获取收益; 此外, 争取绿色建筑评价加分(如LEED认证中海绵设施可获3-5分), 提升建筑资产价值, 吸引社会资本参与。

3.3 政策与标准适配

(1) 地方海绵城市规划对建筑排水指标的强制要求: 各地对公共建筑海绵指标要求存在差异(如北京要求年径流总量控制率≥85%, 深圳要求≥80%), 设计需提前对接地方规划。优化策略包括在项目立项阶段委托专业机构开展海绵专项评估, 明确指标分解路径(如屋面雨水通过绿色屋顶控制40%、透水铺装控制30%、调蓄池控制15%); 对旧建筑改造项目, 若现有场地无法满足指标, 可通过“异地补偿”(如在周边公共绿地增设雨水设施)达标, 确保符合《海绵城市建设评价标准》

(GB/T51345)要求。(2)跨部门协作机制(住建、水利、环保)的建立: 海绵设计涉及多部门审批(如住建部门负责建筑方案审核、水利部门负责排水许可、环保部门负责水质监测), 易出现流程卡顿。需建立“项目专班”制度, 由建设单位牵头, 提前邀请各部门参与方案评审, 明确审批时限(如住建部门方案审核不超过10个工作日); 同时搭建信息共享平台, 实时同步设计进展、监测数据(如雨水水质、管网流量), 实现“一次申报、多部门联动审批”, 减少重复沟通成本, 提高项目推进效率。

结束语

海绵城市理念在公共建筑给排水设计中的应用, 实现了雨水资源的高效利用与城市生态的良性循环。通过透水铺装、雨水调蓄池及中水回用系统等技术的集成, 不仅缓解了内涝风险, 更推动了水资源的循环再生。未来, 需进一步强化智慧监测与多部门协同机制, 优化技术经济性, 同时完善政策标准体系。唯有如此, 方能将公共建筑打造为海绵城市建设的示范载体, 为城市可持续发展与居民生活品质提升注入持久动力。

参考文献

- [1]徐军丽.节能环保理念在建筑给排水设计中的运用[J].居舍,2020(12):80-81.
- [2]刘赫南.环保节能理念在建筑给排水设计中的应用[J].工程技术研究,2020,5(20):181-182.
- [3]何幸蕾.建筑给排水节能减排设计应用研究[J].低碳世界,2024(3):100-102.
- [4]鲁凯强.海绵城市理念在建筑给排水设计中的应用[J].绿色建造与智能建筑,2023(9):129-132.
- [5]李文锦.海绵城市在公共建筑给排水设计中的应用研究[J].江西建材,2022(6):124-125.