

# 建筑雨水回收系统的设计与性能评估

张世财

信丰建筑勘察设计院有限公司 江西赣州 341000

**【摘要】**雨水回收系统作为绿色建筑重要组成部分,对提高水资源利用率具有重要意义。研究基于工程实践,探索建筑雨水回收系统设计方法,开展性能测试评估。通过场地气象条件分析确定系统规模参数,建立集水、储水、处理三大子系统设计方案。采用智能监控技术对系统运行状态进行实时监测,评估集水效率、水质指标、设备性能。结果表明,系统年均收集雨水量11340立方米,水量转化效率达87.2%;出水水质稳定满足回用标准,投资回收期8.6年。研究成果为同类工程设计提供参考依据。

**【关键词】**雨水回收;绿色建筑;系统设计;性能评估;全生命周期

水资源短缺已成为制约城市发展重要因素,雨水资源化利用成为缓解供需矛盾有效途径。建筑雨水回收系统通过收集利用降雨,减少自来水消耗,具有显著环境效益。现有研究多关注单项技术指标优化,缺乏系统性设计方法。针对绿色建筑雨水回收需求,开展工程设计参数研究,构建高效集成系统,实现降水资源持续利用。研究从工程实际出发,探索设计方法,评估运行效果,为推广应用提供支撑。

## 1 面向绿色建筑的雨水回收系统工程参数研究

### 1.1 建筑条件分析

建筑条件分析包含气象条件与建筑特征两大要素。气象条件着重分析近十年月均降雨量、降雨强度、降雨频率,计算可利用雨水资源量<sup>[1]</sup>。建筑特征分析测算有效集雨面积,划分汇集区域,确定管网布置。评估建筑竖向设计,计算水力坡度,验证重力流输送可行性。勘察场地标高与地质条件,为储水池选址提供依据。

### 1.2 设计参数确定

设计参数涵盖系统规模与技术指标两个维度。系统规模依据用水量平衡计算确定,分析建筑用水量变化,计算最大日需水量,结合降雨规律确定储水池容积<sup>[2]</sup>。技术指标包含集水效率、过滤能力、水质要求,选择适宜净化工艺。通过水力计算确定管网管径、集水沟尺寸,保证系统输送能力。综合技术与经济性确定最终设计方案。

## 2 多维度雨水资源高效利用系统集成设计

### 2.1 集水系统设计

集水系统设计采用分区集水与重力流输送方案,建筑屋面划分为东西两个集水区域<sup>[3]</sup>。集水量计算基于降雨强度和汇水面积进行分析,在建筑物各立面设置雨水立管收集系统,并通过埋地管网将雨水有效引导至储存设施。径流雨水设计流量可由下式计算:

$$Q = \psi \times q \times F \quad (1)$$

式中:Q为设计雨水流量,L/s; $\psi$ 为径流系数,建筑屋面取0.9;q为设计暴雨强度,L/s·ha;

F为汇水面积,ha。

集水管网水力计算采用曼宁公式:

$$v = \left( \frac{1}{n} \right) \times R^{\left( \frac{2}{3} \right)} \times J^{\left( \frac{1}{2} \right)} \quad (2)$$

式中:v为管内平均流速,m/s;n为管道粗糙系数;R为水力半径,m;J为水力坡度。

集水系统设计采用环形檐沟收集屋面雨水,304不锈钢材质,梯形截面,底宽300mm,深250mm,坡度0.5%。地面设置钢筋混凝土线性排水沟,宽400mm,深300-500mm。末端配置弃流装置去除初期雨水。屋面每隔15米设置竖向落水管,连接处安装带网罩雨水斗拦截杂物。地面排水沟采用B125轻型钢格栅盖板,间距25mm截留垃圾泥沙。

### 2.2 储水设施设计

储水设施采用地下式钢筋混凝土水池,位于建筑物西侧绿地下方,便于日常维护和检修。考虑场地水文地质条件和抗浮要求,水池底板标高设置在地下-4.5m处。储水池有

效容积通过连续降雨径流计算：

$$V = \alpha \times \psi \times H \times F \quad (3)$$

式中：V为储水池有效容积，m<sup>3</sup>；α为储存系数，取1.2；ψ为综合径流系数；H为设计降雨量，mm；F为汇水面积，m<sup>2</sup>。

水池结构设计中，池壁厚度通过抗弯强度计算：

$$M = \frac{(q \times l^2)}{8} \quad (4)$$

式中：M为计算截面弯矩，kN·m；q为单位长度荷载，kN/m；l为计算跨度，m。

计算确定水池尺寸为12m×6m×3m，池壁厚度300mm，底板厚度400mm。设置溢流管和放空管，确保系统安全运行。水池内设置液位监测装置和水质在线监测仪表。水池采用C30防水混凝土浇筑，内壁涂刷柔性防水涂料，外墙设置排水板与土工布。池底设置集水坑和潜水排污泵，便于定期清淤。在水池顶板预留4个直径800mm的检修口，采用双层铸铁材质井盖，具备防雨水倒灌功能。为防止产生水锤，进水管端部安装消能装置，出水管道设置电动蝶阀控制水流。

### 2.3 净化处理设计

净化处理系统采用“预处理+精处理+消毒”三段式工艺，确保雨水处理达到回用标准。沉淀池作为预处理核心单元，其设计参数通过沉淀时间计算公式确定：

$$t = \frac{H}{V_0} \quad (5)$$

式中：t为沉淀时间，h；H为池有效水深，m；v<sub>0</sub>为颗粒沉降速度，m/h。

该公式基于斯托克斯沉降理论，考虑颗粒在重力作用下的沉降特性。精处理阶段采用超滤膜技术，其膜通量计算采用达西定律：

$$J = \frac{\Delta P}{(\mu \times R_m)} \quad (6)$$

式中：J为膜通量，L/(m<sup>2</sup>·h)；ΔP为跨膜压差，MPa；μ为水的动力粘度，Pa·s；R<sub>m</sub>为膜固有阻力，m<sup>-1</sup>。

根据工程需求确定工艺参数：沉淀池停留时间2小时，表面负荷率1.5m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·h，确保悬浮物去除。超滤系统膜通

量80L/m<sup>2</sup>·h，运行压力0.1MPa，兼顾产水稳定性与能耗。紫外线消毒剂量40mJ/cm<sup>2</sup>，灯管功率200W。系统采用PLC控制器实现智能运行，监测水质，调节工艺参数，控制设备启停，设定反冲洗周期。处理出水满足绿化灌溉、道路冲洗、冷却补水等用途标准，配置在线监测装置实时跟踪水质指标。

## 3 基于智能监控的雨水回收系统性能测试

### 3.1 集水性能测定

系统采用在线监测与人工采样结合方式进行集水性能测定。屋面区域安装雨量计与流量计测量降雨强度与径流量，地面布设电磁流量计监测地表径流。数据采集终端实现降雨与流量数据同步采集。测定指标涵盖集水效率、弃流效果、管网输送能力。集水效率通过降雨量与实际收集量比值计算，弃流装置性能依据水质对比评估，管网输送采用示踪剂法测定流速特性。测试覆盖小雨、中雨、暴雨工况，建立降雨特征与集水效率关系模型，并定期检查系统构件完好性。

### 3.2 水质检测分析

水质检测分析围绕雨水水质特征与处理效果两个维度开展。在系统关键节点设置水质在线监测仪表，包括浊度仪、pH计、电导率仪等，实时监测水质变化趋势。采样点设置覆盖原水、预处理出水、精处理出水与消毒出水等关键环节。检测指标包括常规理化指标与微生物指标，理化指标涵盖pH值、浊度、悬浮物、溶解性总固体、化学需氧量等，微生物指标包括总大肠菌群、细菌总数等。采用标准分析方法进行实验室检测，评估各处理单元的去除效率。建立水质数据库，分析不同季节与天气条件下的水质变化规律。通过对比分析各处理单元出水水质，评估工艺参数的合理性。重点关注污染物在系统中的迁移转化规律，为工艺优化提供科学依据。同时建立水质预警机制，当关键指标超标时及时发出警报，确保系统安全运行。

## 4 雨水回收系统全生命周期运行效果评价

### 4.1 水量平衡评估

雨水回收系统水量平衡评估基于连续三年运行数据分析（表1）。年均降雨量为1250mm，其中春季占比23%，夏季42%，秋季25%，冬季10%。系统总集水面积12600m<sup>2</sup>，包括屋面8400m<sup>2</sup>，地面4200m<sup>2</sup>。年均收集雨水量11340m<sup>3</sup>，其中

屋面收集7650m<sup>3</sup>，地面收集3690m<sup>3</sup>。系统设计最大日处理能力120m<sup>3</sup>/d，储水设施有效容积650m<sup>3</sup>。通过水量平衡计算，系统年均供水能力9870m<sup>3</sup>，水量转化效率达87.2%。用水分配情况为：绿化灌溉4250m<sup>3</sup>，占比43.1%；道路冲洗2860m<sup>3</sup>，占比29%；冷却补水1980m<sup>3</sup>，占比20.1%；其他用途780m<sup>3</sup>，占比7.8%。系统运行过程中，旱季（12月-次年2月）供水保障率为85.3%，汛期（6-8月）供水保障率达98.7%。通过优化调节池容积与水泵运行参数，系统溢流损失控制在5.3%以内。水量平衡分析显示，在典型气象年份内，系统可替代自来水用量约9500m<sup>3</sup>，节水效益显著。

表1 雨水回收系统水量平衡数据分析表  
(测试周期：2020-2022连续三年)

季节	降雨量(mm)	占比(%)	系统收集量(m <sup>3</sup> )	实际供水量(m <sup>3</sup> )	供水保障率(%)	溢流损失(%)	使用效率(%)
春季	287.5	23	2610	2265	91.5	3.2	86.8
夏季	525.0	42	4860	4230	98.7	5.3	87.0
秋季	312.5	25	2835	2465	94.2	4.1	86.9
冬季	125.0	10	1035	910	85.3	2.1	87.9
年均	1250.0	100	11340	9870	92.4	3.7	87.2

总集水面积：12600m<sup>2</sup>（屋面8400m<sup>2</sup>，地面4200m<sup>2</sup>）

#### 4.2 水质达标评估

水质达标评估通过对系统出水水质指标的长期监测完成（表2）。处理后雨水水质稳定达到城市杂用水水质标准（GB/T18920-2020）。pH值控制在6.5-8.5范围内，全年监测数据合格率99.5%。浊度常年保持在1.5 NTU以下，溶解性总固体含量控制在1000mg/L以内。出水水质指标监测结果：悬浮物年均值4.2mg/L，最大值8.5mg/L；化学需氧量年均值15.6mg/L，最大值28.4mg/L；氨氮年均值0.8mg/L，最大值1.2mg/L。微生物指标检测显示：总大肠菌群检出率低于1.2%，细菌总数平均值82 CFU/mL。水质季节性波动分析

表明，夏季降雨期间出水水质波动幅度较大，但通过调节处理工艺参数，各项指标仍保持达标。处理工艺各单元的污染物去除效率：预处理对悬浮物去除率75.3%，精处理对悬浮物去除率95.2%，消毒工艺对细菌去除率达99.9%。水质稳定性评价结果显示，系统抗冲击负荷能力强，即使在暴雨工况下，出水水质仍能满足回用标准要求。

表2 雨水回收系统水质评估数据表（监测周期：2020-2022连续三年）

监测指标	原水水质	预处理出水	精处理出水	消毒后出水	去除率(%)
pH值	6.3-7.8	6.5-7.6	6.5-8.0	6.5-8.5	-
浊度(NTU)	15-45	8-12	0.8-1.5	0.3-1.0	97.8
悬浮物(mg/L)	55-125	15-25	3-6	2-4.2	96.6
COD(mg/L)	45-85	30-45	12-18	8-15.6	81.6
氨氮(mg/L)	2.5-4.2	1.5-2.2	0.8-1.2	0.5-0.8	81.0
总大肠菌群(MPN/100mL)	>1600	920-1200	80-150	<3	99.9
细菌总数(CFU/mL)	>2000	800-1200	150-280	60-82	95.9
溶解性总固体(mg/L)	180-320	165-280	150-260	145-255	20.3

#### 5 结语

基于工程实践开展雨水回收系统研究，建立了完整设计体系。通过气象条件分析确定系统规模，集成集水、储水、处理等环节，实现降水资源高效利用。运行数据表明，系统水量转化效率高，水质达标率好，经济效益显著。研究成果对同类工程具有指导意义，为建筑雨水资源化利用提供新思路。后续将深入探索智能控制策略，进一步提升系统性能。

#### 参考文献：

- [1]孙娣. 土木工程管理施工过程质量控制探究[J]. 大众标准化, 2023, (24): 37-39.
- [2]姜新强. 绿色建筑给排水设计的节水措施分析[J]. 佛山陶瓷, 2023, 33(06): 84-86.
- [3]林昌蕃, 黄修谱, 杨才龙, 等. 基于BIM的绿色建筑水资源回收利用体系集成[J]. 给水排水, 2023, 59(S1): 329-335.