

# 工业厂房建筑雨水回收利用研究

沈晓晨

建学建筑与工程设计有限公司 北京 100027

**【摘要】**：工业厂房屋面面积大、汇水条件稳定，为雨水资源化利用提供了良好基础。针对厂区雨水直接排放、水资源利用效率偏低及排水压力较大等问题，构建由屋面集水、初期弃流、过滤净化、蓄水调节和分级回用组成的雨水回收系统。依据降雨特征与用水需求优化设施容量，将处理后的雨水用于绿化、道路冲洗、设备冷却及消防补水，可降低自来水消耗，减轻雨季排水负荷，提高工业厂房水资源循环利用水平。

**【关键词】**：工业厂房；雨水回收；雨水净化；分级回用；水资源循环利用

DOI:10.12417/2705-0998.26.13.028

## 引言

工业厂房拥有大面积屋面和较为集中的排水管网，降雨形成的径流量较大，但多数厂区仍采用快速外排方式，既增加市政排水系统压力，也造成可利用水资源流失。生产辅助、场地冲洗、绿化养护及消防储备等环节对非饮用水存在稳定需求，为雨水替代自来水创造了条件。研究需要解决雨水收集规模如何确定、初期污染如何控制、储存设施如何配置以及回用水质如何保障等问题，形成适合工业厂房运行特征的雨水回收利用方案。

## 1 工业厂房雨水资源的利用基础

### 1.1 厂房屋面汇水条件与径流特征

工业厂房屋面通常面积较大，结构形式以彩钢板、混凝土板及防水卷材屋面为主，表面平整度较高、渗透能力较弱，降雨后能够在较短时间内形成集中径流。屋面汇水量受当地降雨强度、降雨历时、汇水面积、坡度及径流系数影响，不同材质屋面对雨水汇集速度和污染物携带程度存在差异。彩钢板屋面径流系数较高，降雨转化效率较好，但初期雨水中可能含有粉尘、金属颗粒和沉积物；混凝土屋面则容易夹带砂粒、悬浮物及表面附着杂质。厂房天沟、雨水斗和落水管的布置决定径流输送能力，若排水节点衔接不畅，易出现局部积水、溢流和短时排放压力增大等情况。汇水条件评价应结合多年降雨资料和典型暴雨参数，对年可收集雨量、峰值流量及弃流比例进行测算。

### 1.2 厂区非饮用水需求结构

工业厂区非饮用水需求主要集中于绿化灌溉、道路冲洗、车辆清洁、设备冷却补水、景观补水及消防水池补充等环节，各类用水在水质标准、使用频率和需求强度方面存在明显差异。绿化灌溉具有季节性特征，春夏季需水量较高，连续降雨期间需求相对减少；道路与场地冲洗受生产运输频次、扬尘水平和清洁制度影响，通常具有周期性和可调节性<sup>[1]</sup>。设备冷却补水对悬浮物、硬度及腐蚀性指标要求较高，需要根据生产工艺配置相应处理单元。消防补水虽然日常使用量较少，但储备

容量和供水可靠性要求严格。厂区用水结构分析应依据生产班次、厂区面积、绿化比例、设备运行时长及历史用水记录，划分稳定需求、间歇需求和应急需求，并核定不同用途的水质控制指标，为雨水分级处理和供水调度提供依据。

### 1.3 雨水收集利用系统构成

工业厂房雨水收集利用系统由汇水、输水、初期弃流、净化处理、蓄水储存、回用供水和监测控制等部分组成。屋面雨水经天沟、雨水斗和管道集中输送，在进入处理设施前设置格栅或截污装置，用于拦截树叶、包装碎屑及较大颗粒物。初期弃流单元根据降雨量、屋面污染程度和水质变化规律排除污染浓度较高的前段径流，后续雨水进入沉淀、过滤或消毒设施。蓄水池容量需要兼顾可收集水量、连续用水需求和暴雨调蓄要求，并设置溢流、排空、通气及防倒灌设施。回用系统通过提升泵、独立管网和用水终端向绿化、冲洗或冷却环节供水，配置液位、水质和流量监测设备。控制系统可依据蓄水量和用水负荷自动切换雨水与市政补水，避免供水中断及管网混接。见图1，建筑屋面及场地雨水经过汇流、分流、过滤、消毒和蓄存处理后，可用于绿化浇灌、景观补水、车辆冲洗及冲厕等非饮用环节。

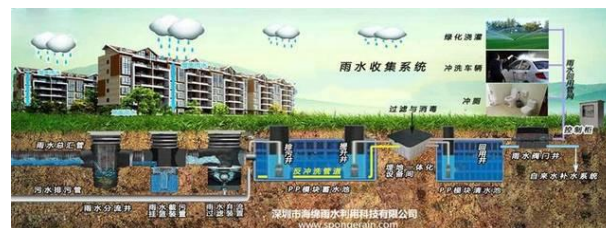


图1 建筑雨水收集净化与多用途回用系统示意图

## 2 厂区雨水利用的主要制约因素

### 2.1 收集范围与设施容量不匹配

部分工业厂房雨水回收设计仅覆盖主体车间屋面，仓库、连廊、辅助用房及硬化场地未纳入统一汇水体系，导致可利用径流未能充分集中。部分项目在容量核定时偏重单次暴雨排放需求，未综合考虑年降雨分布、连续无雨期、厂区用水波动及

蓄水周转频率,容易形成雨季存储空间不足、旱季供水保障偏弱的矛盾。蓄水池设置过小会造成大量溢流外排,设置过大则增加建设投资、闲置容积和水质滞留风险。不同屋面材质、坡度及排水分区对应的产流能力存在差异,若采用统一径流系数和固定设计参数,容量结果难以反映实际汇水水平。

## 2.2 初期径流污染控制不充分

工业厂房屋面长期暴露于生产粉尘、车辆尾气、金属碎屑及大气沉降环境中,降雨初期形成的径流往往含有较高浓度的悬浮物、化学需氧量和细颗粒污染物。部分系统仅设置简易弃流井,依靠固定时间或固定水量排放,未根据降雨间隔、屋面污染程度和实时水质变化调整弃流过程,容易出现污染雨水进入蓄水池或清洁雨水被过量排放的情况<sup>[2]</sup>。格栅、沉砂和过滤设施配置层级不足时,细小颗粒仍会随水流进入后续单元,造成滤料堵塞、池底淤积和管道磨损。部分厂区缺少对酸碱度、浊度、色度及微生物指标的连续检测,污染异常难以及时识别。

## 2.3 回用设施运行管理不健全

雨水回用系统投运后涉及水泵启停、阀门切换、滤料反冲洗、消毒投加和水质检测等多项环节,部分厂区缺少明确的岗位责任和标准化操作流程,设备运行主要依赖经验判断。蓄水池长期未清淤会积累泥沙和有机物,增加异味、藻类滋生及微生物繁殖风险;过滤设备未按压差或运行时长维护,则会出现出水流量下降和处理效果波动。雨水管网与生产给水管网标识不清、接口管理不严时,存在误接、倒流和交叉污染隐患。部分监测装置只记录液位和流量,未形成水质预警、故障报警和用水调度联动,难以根据储水量变化及时调整回用方式。

# 3 雨水回收系统的优化建设路径

## 3.1 科学划分屋面汇水单元

屋面汇水单元应依据厂房功能、建筑高度、屋面材质、坡向、排水组织及污染风险进行细化划分,避免不同水质等级的径流混合进入同一收集系统。生产车间、仓储用房、办公附属建筑和设备平台可分别设置独立汇水分区,并结合天沟走向、雨水斗位置及立管服务范围确定单元边界。对粉尘沉降较多、金属构件裸露或存在油污风险的屋面,应纳入高污染控制区,配置独立截污和弃流设施;清洁度较高的屋面则可优先接入回收系统。汇水单元划分还需核算单位面积产流量、设计峰值流量和管道输送能力,使屋面径流能够分区汇集、分级处理,减少局部积水、管道超载及污染扩散问题。

## 3.2 完善弃流净化与蓄水工艺

弃流净化工艺需要根据屋面污染负荷、降雨间隔和径流水质变化设置多级处理流程。降雨初期可采用自动弃流装置排除高污染径流,并通过浊度、电导率或降雨量信号动态调整弃流阈值,避免固定参数造成清洁雨水浪费。后续雨水依次进入格栅、沉砂、过滤和消毒单元,去除大颗粒杂物、悬浮物及微生

物污染<sup>[3]</sup>。蓄水设施应结合有效汇水量、日均回用量和连续无雨期合理确定容积,设置导流、溢流、排空和通气装置,减少短流、死水区及沉积物积聚。池体内部可采用分格设计,使沉淀区、调节区和供水区相对独立,便于清淤维护与水质稳定控制。见图2,厂房屋面雨水经管道汇集后完成弃流、过滤与蓄存,并与绿化浇洒、道路清洗及雨水渗透设施协同衔接,形成多层次回用路径。

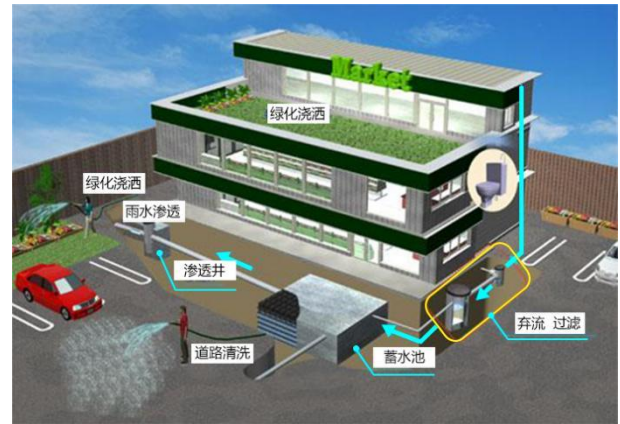


图2 工业厂房雨水收集净化与综合回用系统示意图

## 3.3 建立雨水分质供水机制

雨水分质供水应按照不同用水环节对水质和水量的要求建立多级利用路径。经简单沉淀和过滤处理的雨水可用于绿化灌溉、道路冲洗和场地降尘;增加精细过滤与消毒后,可用于车辆清洁、景观补水及部分设备冷却补水;对水质稳定性要求较高的工艺环节,应设置深度处理和在线检测装置。供水系统需采用独立管网、专用阀门和明显标识,防止与生活给水及生产洁净水系统发生误接。调度控制可依据蓄水池液位、回用需求和水质状态自动切换供水对象,当雨水不足或指标异常及时启用备用水源,使不同等级雨水与对应用途准确匹配。

# 4 典型厂房雨水回用工程检验

## 4.1 工程条件与系统配置方案

案例厂房总建筑面积约3.6万平方米,可利用屋面汇水面积约2.8万平方米,屋面以彩钢板和混凝土结构为主,年降雨量能够满足部分非饮用水需求。系统按照生产区、仓储区和辅助用房划分汇水单元,设置独立雨水斗、输水立管和截污装置。雨水经初期弃流后进入沉砂池,再经过石英砂过滤和消毒处理,最终储存在两座调蓄池内。调蓄池总有效容积按照设计降雨量、连续用水负荷和溢流控制要求确定,并配套变频供水泵、液位监测器及自动补水装置。

## 4.2 回收水量与水质检测结果

系统运行期间对降雨量、屋面径流量、弃流量和实际回用量进行连续记录,结果显示中小降雨事件能够保持较高收集效率,强降雨期间受调蓄容量限制出现一定溢流<sup>[4]</sup>。年回收雨

水量约占理论可收集水量的70%以上,储存雨水主要用于道路冲洗、绿化灌溉和冷却补水。水质检测设置浊度、悬浮物、化学需氧量、色度和大肠菌群等指标,处理后雨水浊度和悬浮物浓度明显下降,消毒后微生物指标保持在回用控制范围内。连续运行阶段出水水质波动较小,长时间无雨后形成的初期径流污染程度较高,经增加弃流量和延长过滤时间后,出水指标能够恢复稳定。

#### 4.3 节水减排与运行效益评价

雨水回收系统投运后,厂区绿化、道路冲洗和部分设备补水对自来水的依赖明显降低,年替代水量与回收水量基本保持一致。雨季屋面径流经过调蓄池削峰后分时回用,进入厂区排水管网的峰值流量有所下降,短时积水和集中外排现象得到缓解。运行成本主要包括水泵能耗、消毒药剂、滤料更换及设备维护费用,与节约的自来水费和排水费用相比,系统具备较稳定的经济回报。采用变频供水和按需启停方式后,单位回用水能耗得到控制。设施运行还减少了雨水直接排放带来的污染负荷,为厂区节水管理、排水安全和绿色建筑评价提供了量化依据。

### 5 雨水循环利用机制持续完善

#### 5.1 推进海绵设施协同配置

工业厂房雨水利用不宜局限于屋面收集与集中储存,还应与下凹式绿地、透水铺装、植草沟、调蓄池及生态滞留设施形成协同体系。屋面径流经管道输送后,可根据水质等级和场地高程分配至不同设施,清洁雨水优先进入蓄水池,超出储存能力的部分导入下凹绿地或生态滞留带,延缓地表汇流速度。道路及装卸区径流污染程度较高,应经过沉砂、隔油和过滤处理后再进入调蓄空间,避免直接混入回用水体。设施布置需要结合厂区生产流线、地下管线、消防通道和地基条件,明确各单元的服务范围、调蓄容量与溢流路径,使渗透、滞蓄、净化和回用功能相互衔接。

#### 参考文献:

- [1] 刘墨涵,张伟,孙慧超,等.城市典型屋面和道路径流颗粒态和溶解态污染物初期冲刷特征及弃流量确定[J].水电能源科学,2025,43(9)42-46.
- [2] 赵冬梅,王萱,吴一凡.建筑屋面雨水资源化利用措施及适用性分析[J].河南科技,2024,51(9)109-113.
- [3] 屈蕴,乔梦曦,王思思.工业厂区海绵城市建设方案模型模拟与优化——以青岛市某厂区为例[J].北京建筑大学学报,2024,40(2)50-59.
- [4] 陈伟伟,张丰良,常布辉,等.质控型城市屋面雨污弃除产品研发与应用[J].水利与建筑工程学报,2023,21(2)190-194.
- [5] 何贝贝,范珊珊,洪念,等.不同储存方式下屋顶雨水水质特性变化规律研究[J].生态环境学报,2023,32(3)567-578.

#### 5.2 加强智能监测与动态调控

智能监测系统应覆盖降雨、进水、处理、储存和供水全过程,形成连续采集与联动控制机制。雨量计、流量计、液位计和水质传感器可实时记录降雨强度、进出水量、池内水位、浊度、电导率及余氯等参数,并将数据传输至统一管理平台<sup>[5]</sup>。控制程序依据监测结果自动调整弃流时长、泵组启停、阀门开度和补水方式,当水质超限、液位过高或设备故障时及时触发报警。结合短时降雨预报,可提前降低蓄水池水位,为强降雨预留调蓄空间;连续无雨期间则根据用水计划控制供水节奏,减少储水长期滞留。历史数据还可用于修正径流系数、处理负荷和设备运行参数,提高系统调度的准确性。

#### 5.3 健全运行维护与评价制度

雨水回收设施需要建立覆盖巡检、保养、检测、维修和绩效评价的管理制度。日常巡检应明确格栅清理、沉砂池排泥、过滤器反冲洗、消毒设备校准、水泵检查及管网渗漏排查的周期,发现堵塞、异味、水质波动或供水压力异常时及时处理。蓄水池应定期排空清洗,重点检查池壁防渗、通气设施、溢流口和防倒灌装置,防止沉积物累积及结构损坏。运行评价可设置雨水收集率、有效回用率、出水达标率、单位水量能耗、设备完好率和维护成本等指标,并按月度或年度形成记录。评价结果应与设施改造、参数调整和维护计划联动,使运行质量得到持续检验。

### 6 结语

工业厂房雨水回收利用应立足屋面汇水条件与非饮用水需求,统筹收集分区、初期弃流、净化储存和分质供水等环节。科学配置调蓄设施,能够提高雨水回收率与水质稳定性,降低自来水消耗及排水负荷。海绵设施协同、智能监测调控和规范化运行维护,可进一步增强系统的适应能力与运行效益,为工业厂区节水减排、资源循环利用和绿色化建设提供可靠支撑。