

工业厂房屋面雨水收集回用系统与海绵厂区协同设计技术

苏丽娜¹ 吴军伟¹ 陈婷²

1. 中国汽车工业工程有限公司 天津市 300000; 2. 中机国际工程设计研究院有限责任公司 天津市 300000

DOI: 10.32629/ems.v8i2.18531

[摘要] 伴随着工业化进程的加快以及水资源短缺问题的日益突出,工业厂区水资源的高效利用已经成为绿色发展的主要方向。屋面雨水属于工业厂区潜在的优质水资源,其收集回用系统与海绵厂区的协同设计,是达成厂区水资源循环利用、削减雨水径流污染、改善厂区生态环境质量的重要途径。本文根据海绵城市建设理念,结合工业厂区生产特点和用水需求,对屋面雨水收集回用系统与海绵厂区的协同设计机理进行研究,从系统布局、工艺选型、参数优化、运维管理等几个方面梳理出关键技术要点,结合实际工程经验提出协同设计的实施策略,为工业厂区水资源可持续利用和绿色低碳发展提供技术支持。

[关键词] 工业厂房; 屋面雨水收集回用; 海绵厂区; 协同设计

引言:

在全球水资源供需矛盾加剧、生态环境压力增大的情况下,工业领域作为用水大户和污染排放主体,其水资源管理模式的转型成为绿色发展的必然要求。传统的工业厂区雨水管理大多采用快排快放的方式,造成水资源的浪费,同时还会引起径流污染和内涝的风险,不符合可持续发展的理念。随着海绵城市建设的不断推进,将海绵理念融入到工业厂区的规划设计当中,形成雨水自然积存、渗透、净化的生态系统,已经成为行业的共识。屋面是工业厂区面积占比最大、雨水水质相对较好的汇水面,屋面收集回用系统科学设计与海绵设施的协同运行,既可以挖掘水资源循环潜力,又可以提高厂区的生态韧性。本文以现实需求为出发点,从两个方面协同设计的关键问题出发进行研究,以期工业厂区绿色转型提供一个可行的方法。

一、屋面雨水收集回用系统与海绵厂区协同设计的内涵与目标

(一) 协同设计内涵

屋面雨水收集回用系统与海绵厂区协同设计,不是简单的系统叠加,是以厂区整体雨水管理、水资源循环利用为根本,统筹规划、系统整合,实现屋面雨水收集回用系统与海绵设施(绿色屋顶、下沉式绿地、雨水花园、蓄水池等)在功能、布局、工艺上的有机衔接。核心内涵就是“协同增效”,即通过两者共同运作,既可以达到单个系统功能目标,又可以产生1+1>2的综合效益,表现为屋面雨水收集回用系统给海绵厂区提供稳定的雨水来源,降低海绵设施的蓄水压力;

海绵设施可以对屋面雨水进行预处理和调蓄,提高雨水回用水质和水量保障能力,同时共同削减厂区雨水径流峰值,减少内涝风险,控制径流污染。

(二) 协同设计目标

协同设计的主要目的就是建立源头减排、过程控制、末端利用的厂区雨水管理体系,实现水资源利用、生态保护、经济效益的协同统一,具体包括三个方面。

一是水资源高效利用目标。协同设计来最大程度地收集屋面雨水资源,经过处理后用于厂区生产补充用水、绿化灌溉、道路冲洗、消防用水等,减少厂区对市政自来水的依赖。一般通过合理的协同设计,工业厂区屋面雨水回用率可以达到60%以上,部分水资源紧张地区可以达到70%以上,可以大大降低工业用水成本。

二是径流污染控制目标。屋面雨水收集回用系统对屋面雨水进行初步收集,减少屋面雨水直接排放造成的污染;海绵设施对厂区地面径流和屋面未回用雨水进行滞蓄、净化,降低径流中悬浮物、COD、氮磷等污染物的排放浓度,使厂区雨水排放水质达到相关排放标准。

三是生态和安全保障目标,海绵设施生态化设计可以提高厂区绿地覆盖率和生态景观质量,改善厂区微气候,协同系统可以有效削减雨水径流峰值,提高厂区防洪排涝能力,保障厂区生产安全和人员安全。

二、屋面雨水收集回用系统与海绵厂区协同设计机理

屋面雨水收集回用系统与海绵厂区的协同作用,主要从“水量协同”“水质协同”“功能协同”这三个方面来实现,

三者互相联系、互相支撑,共同构成协同设计的核心机理。

(一) 水量协同机理

水量协同是协同设计的基础,核心就是对厂区雨水径流进行合理调配和高效利用。工业厂房屋面汇水面积大,雨水径流集中,在降雨初期,屋面雨水经落水管收集后,一部分进入回用处理系统,经过处理后储存在回用蓄水池里,供厂区非饮用水使用;另一部分超出回用处理能力的雨水,则通过溢流管道排入海绵设施(雨水花园、下沉式绿地)。海绵设施依靠滞蓄作用,暂时储存部分雨水,一方面可以削减雨水径流峰值,避免厂区内涝;另一方面,储存的雨水可以通过下渗补充地下水,或者在降雨之后通过蒸发改善厂区微气候。当回用蓄水池水位较低时,海绵设施储存的雨水可以通过提升泵引入回用系统,实现雨水资源的循环利用,提高水量供应的稳定性。

暴雨天气下屋面雨水收集量突然增加,回用处理系统处于满负荷运行状态,多余的雨水进入海绵设施,海绵设施的滞蓄能力可以有效降低雨水排放流量,避免对市政排水系统造成冲击;干旱天气下回用蓄水池水位下降,海绵设施储存的雨水可以作为补充水源,保证回用系统的持续运行,从而实现不同降雨工况下水量的协同调配。

(二) 水质协同机理

水质协同的核心就是利用屋面雨水收集回用系统和海绵设施联合处理,提高雨水回用水质和排放水质。屋面雨水水质较好,但是仍然含有少量悬浮物、灰尘、鸟粪等污染物,降雨初期屋面雨水污染物浓度较高。屋面雨水收集系统在协同设计时先设置初期雨水弃流装置,弃流降雨初期的污染雨水(一般弃流厚度为2-5mm),降低后续处理难度。经弃流后的屋面雨水进入回用处理系统,经过过滤、消毒等工艺处理,去除水中的悬浮物、细菌等污染物,达到回用水质标准。

对于超出回用处理能力的屋面雨水和厂区地面径流雨水,进入海绵设施之后,经过物理截留、化学吸附、生物降解等多重作用进一步净化。海绵设施中的植被、土壤、填料等可以截留雨水所带有的悬浮物和部分污染物,土壤中的微生物可以降解水中的有机物,从而提高雨水水质。经海绵设施净化后的雨水一部分下渗补给地下水,一部分可以再次进入回用处理系统进行深度处理后回用,从而达到水质的协同提升。

(三) 功能协同机理

功能协同是实现协同设计综合效益的关键,核心就是把

屋面雨水收集回用系统水资源利用功能和海绵厂区生态、防洪功能结合起来,实现多目标协同优化。一方面屋面雨水收集回用系统给海绵厂区提供了一种“主动式”的水资源利用途径,将雨水资源转化为可以直接利用的水资源,减少厂区的水资源消耗;另一方面海绵厂区给屋面雨水收集回用系统提供了一种“被动式”的调蓄和净化保障,提高了回用系统的稳定性、可靠性。

海绵设施的生态景观功能和屋面雨水收集回用系统工业实用功能结合,可以提升厂区整体环境质量。在厂房周围设置雨水花园、绿色屋顶等海绵设施,不仅可以实现雨水的滞蓄净化,还可以增加厂区绿地面积,改善厂区视觉环境、微气候;回用的雨水用于绿化灌溉,减少绿化用水对自来水的消耗,形成雨水收集、处理、回用、生态灌溉的闭环系统,实现水资源利用与生态保护的协同发展。此外,协同系统可以提高厂区的防洪排涝功能,通过屋面雨水的集中收集、海绵设施的滞蓄作用,削减雨水径流峰值,降低厂区内涝风险,保证工业生产的正常进行。

三、屋面雨水收集回用系统与海绵厂区协同设计关键技术

(一) 系统统筹布局技术

系统统筹布局是协同设计的前提,要结合厂区总平面布局、厂房分布、用水需求、地形地貌等因素,做整体规划。首先合理划分屋面汇水区,按照厂房分布和面积,把屋面分成若干个汇水单元,每个单元设独立的雨水收集管网,便于水量调配和维护管理。其次,科学选址回用蓄水池、海绵设施,回用蓄水池应靠近用水负荷中心(生产车间、绿化区域),减少输水能耗;海绵设施应结合厂区地形地貌,布置在屋面雨水溢流口附近、厂区低洼区域或道路两侧,便于雨水的引入和滞蓄。

并且要合理安排雨水输送路径,建立“屋面收集、管道输送、初期弃流、处理回用、溢流调蓄”的雨水循环路线,使屋面雨水收集回用系统和海绵设施之间可以顺畅衔接。大型工业厂区可以采用“分区收集、集中处理、分散调蓄”的布局方式,屋面雨水分别收集,输送到集中回用处理站,经过处理的雨水储存在回用蓄水池内,超过处理能力的雨水通过溢流管输送到厂区内各处海绵设施进行调蓄,实现系统布局的优化与协同。

(二) 初期雨水弃流与处理工艺选型技术

初期雨水弃流是提高雨水回用水质的重要环节,要根据屋面材质、污染程度、降雨特征等选择合适的弃流方式和弃

流参数。常用的初期雨水弃流方式有容积式弃流、重量式弃流、翻板式弃流等。容积式弃流装置结构简单、运行稳定,适用于汇水面积小的屋面;翻板式弃流装置弃流效率高、自动化程度高,适用于汇水面积大的工业厂房屋面。弃流参数的确定要结合当地降雨强度和屋面污染情况,一般弃流厚度控制在2mm到5mm之间,可以现场监测或者用经验公式计算确定。

雨水处理工艺的选型应根据回用用途和进水水质来确定,工业厂房屋面雨水经过初期弃流后,水质较好,处理工艺以“物理处理+消毒”为主。对于绿化灌溉、道路冲洗等用途的雨水,可采用格栅、石英砂过滤、紫外线消毒的工艺,格栅去除水中的大颗粒悬浮物,石英砂过滤去除细小悬浮物和胶体,紫外线消毒杀灭水中的细菌和病毒,处理后的水质可以满足杂用水需求;对于生产补充用水的雨水,需要进一步提高水质,在上述工艺基础上增加活性炭吸附或超滤工艺,去除水中的有机物和微量污染物,保证水质符合生产用水标准。

(三) 海绵设施选型与参数优化技术

海绵设施选型要根据厂区功能分区、地形条件、协同需求合理选择海绵设施类型及组合方式。工业厂区常用的海绵设施有绿色屋顶、雨水花园、下沉式绿地、植草沟、蓄水池等。绿色屋顶可以直接设置在厂房屋顶,不仅可以收集屋面雨水,还可以降低屋顶温度,减少建筑能耗;雨水花园和下沉式绿地可以布置在厂区绿化区域,通过植被和土壤的净化作用,提高雨水水质;植草沟可以沿厂区道路两侧布置,收集道路径流雨水,引导雨水进入海绵设施;蓄水池可以和回用蓄水池联合设置,实现雨水的调蓄和循环利用。

海绵设施的参数优化要依照当地降雨特点、汇水面积、水质需求等要素来决定。雨水花园深度一般控制在0.5-1.0m,填料层厚度0.3-0.5m,植被选择耐涝、耐旱的本土植物;下沉式绿地下沉深度0.2-0.5m,滞蓄时间不小于24h,保证雨水充分下渗、净化;蓄水池容积应根据屋面汇水面积、降雨重现期、回用需求量来确定,一般按20-50年一遇的降雨重现期设计,以满足不同降雨工况下的调蓄需求。

(四) 智能调控与运维管理技术

智能调控技术是保证协同系统高效运转的保证,利用传感器、控制器、变频器等智能设备对雨水收集、处理、储存、回用的全过程进行实时监测和自动调节。在屋面雨水收集管

道上设置雨量传感器、流量传感器,对降雨量、雨水收集流量进行实时监测,在回用蓄水池、海绵设施中设置水位传感器,对水位变化进行实时监测,通过智能控制器根据降雨量、水位、用水需求等参数来自动控制初期弃流装置的开启与关闭、提升泵的运行与停止、溢流阀门的开关等,实现水量的智能调配。

运维管理技术要依照协同系统特性,创建完备的运维管理制度和技术体系。一方面定时对屋面雨水收集管道、初期弃流装置、处理设备等进行检查保养,保证设备正常运转;另一方面定时对海绵设施进行清理养护,清除设施内杂物、杂草,更换老化填料、植被,保证海绵设施的净化、调蓄功能。建立水质监测制度,定时检测回用水质、排放雨水水质,及时调整处理工艺参数,保证水质达标。加强运维人员培训,提高运维人员专业技能和管理水平,保证协同系统长期稳定运行。

四、结论

工业厂房屋面雨水收集回用系统与海绵厂区的协同设计,是破解工业水资源瓶颈、提高厂区生态品质的系统性方案。从系统布局统筹规划、工艺选型精准匹配、海绵设施参数优化、智能运维全流程控制四个方面形成一套设计、建设、运行的技术体系。协同设计的核心价值就是打破传统雨水管理与水资源利用的割裂状态,依靠功能互补和效益叠加,使工业厂区在实现水资源循环的同时,具备生态韧性以及环境友好性。未来技术更新迭代、实践加深,根据各个行业的厂区特点提出更具针对性的协同模式,使工业绿色转型达到更高的水平。

[参考文献]

- [1]张锋. 海绵城市措施在雨水回收利用系统工程中应用研究[J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(11): 90-92.
- [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(09): 109-113.
- [3]李清. 市政道路给排水设计中“海绵城市”理念的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023, (27): 193-195.
- [4]吴颖文,李贵雷,杨卓颖,等. 燃煤电厂雨水回收系统设计探讨[J]. 电力勘测设计, 2021, (S1): 33-36.
- [5]戴钰,张子妍,李鑫雨. 屋面雨水污水收集与处理方法[J]. 资源节约与环保, 2020, (08): 73.