

现代城市雨水利用技术体系

车 伍¹ 李俊奇¹ 刘 红² 孟光辉²

(1 北京建筑工程学院 100044 2 北京市城市节水办公室 100036)

现代城市雨水利用是一种新型的多目标综合性技术,可实现目标有节水、水资源涵养与保护、控制城市水土流失和水涝、减少水污染和改善城市生态环境等。对现代城市雨水利用技术进行系统研究和总结,有利于构筑和完善该技术体系,尽快建立相关技术规范 and 标准。

1 雨水集蓄利用

(1) 屋面雨水集蓄利用系统。利用屋顶做集雨面的雨水集蓄利用系统主要用于家庭、公共和工业等方面的非饮用水,如浇灌、冲厕、洗衣、冷却循环等中水系统。可产生节约饮用水,减轻城市排水和处理系统的负荷,减少污染物排放量和改善生态环境等多种效益。该系统又可分为单体建筑物分散式系统和建筑群集中式系统。由雨水汇集区、输水管系、截污装置、储存、净化和配水等几部分组成。有时还设渗透设施与贮水池溢流管相连,使超过储存容量的部分溢流雨水渗透。屋面雨水集蓄利用技术在许多国家得到较广泛的应用。

(2) 屋顶绿化雨水利用系统。屋顶绿化是一种削减径流量、减轻污染和城市热岛效应、调节建筑温度和美化城市环境的新生态技术,也可作为雨水集蓄利用和渗透的预处理措施。即可用于平屋顶,也可用于坡屋顶。植物和种植土壤的选择是屋顶绿化的技术关键,防渗漏则是安全保障。植物应根据当地气候和自然条件,筛选本地生的耐旱植物,还应与土壤类型、厚度相适应。上层土壤应选择孔隙率高、密度小、耐冲刷、且适宜植物生长的天然或人工材料。屋顶绿化系统可提高雨水水质并使屋面径流系数减小到0.3,有效地削减雨水径流量。该技术在德国和欧洲城市已广泛应用。

(3) 园区雨水集蓄利用系统。在新建生活小区、公园或类似的环境条件较好的城市园区,可将区内屋面、绿地和路面的雨水径流收集利用,达到更显著削减城市暴雨径流量和非点源污染物排放量、优化小区水系统、减少水涝和改善环境等效果。因这种系统较大,涉及面更广,需要处理好初期雨水截污、净化、绿地与道路高程、室内外雨水收集排放系统等环节和各种关系。

2 雨水渗透

采用各种雨水渗透设施,让雨水回灌地下,补充涵养地下水资源,是一种间接的雨水利用技术,具有缓解地面沉降、减少水涝和海水倒灌等多种效益。可分为分散渗透技术和集中回灌技术两大类,见图1。

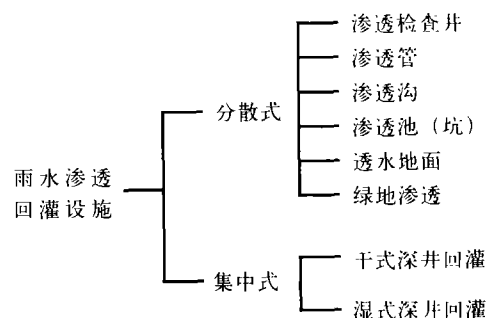


图1 雨水渗透技术分类

分散式渗透可应用于城区、生活小区、公园、道路和厂区等各种情况下,规模大小因地制宜,设施简单,可减轻对雨水收集、输送系统的压力,补充地下水,还可以充分利用表层植被和土壤的净化功能减少径流带入水体的污染物。但一般渗透速率较慢,而且在地下水位高、土壤渗透能力差或雨水水质污染严重等条件下应用受到限制。集中式深井回灌容量大,可直接向地下深层回灌雨水,但对地下水位、雨水水质有更高的要求,尤其对用地下水做饮用水源的城市应慎重。

(1) 渗透地面。渗透地面可分为天然渗透地面和人工渗透地面两大类,前者在城区以绿地为主。绿地是一种天然的渗透设施。主要优点是透水性好,节省投资;可减少绿化用水并改善城市环境;对雨水中的某些污染物具有较强的截留和净化作用。缺点是渗透流量受土壤性质的限制,雨水中如含有较多的杂质和悬浮物,会影响绿地的质量和渗透性能。人造透水地面是指城区各种人工铺设的透水性地面,如多孔的嵌草砖、碎石地面,透水性混凝土路面等。主要优点是能利用表层土壤对雨水的净化能力,对预处理要求相对较低,技术简单,便于管理。缺点是渗透能力受

土质限制,需要较大的透水面积,对雨水径流量的调蓄能力低。在条件允许的情况下,应尽可能多采用透水性地面。

(2) 渗透管沟。雨水通过埋设于地下的多孔管材向四周土壤层渗透,其主要优点是占地面积少,管材四周填充粒径20~30mm的碎石或其他多孔材料,有较好的调蓄能力。缺点是一旦发生堵塞或渗透能力下降,很难清洗恢复。而且由于不能利用表层土壤的净化功能,对雨水水质有要求,应采取适当预处理,不含悬浮固体。在用地紧张的城区,表层土渗透性很差而下层有透水性良好的土层、旧排水管系的改造利用、雨水水质较好、狭窄地带等条件下较适用。一般要求土壤的渗透系数明显大于 10^{-6} m/s,距地下水位要有一定厚度的保护层。可以采用地面敞开式渗透沟或带盖板的渗透暗渠,弥补地下渗透管不便管理的缺点,也减少挖深和土方量。渗沟可采用多孔材料制作或做成自然的带植物浅沟,底部铺设透水性较好的碎石层。特别适于沿道路、广场或建筑物四周设置。

(3) 渗透井。渗透井包括深井和浅井两类,前者适用水量大而集中,水质好的情况,如城市水库的泄洪利用。城区一般宜采用后者。其形式类似于普通的检查井,但井壁做成透水的,在井底和四周铺设粒径10~30mm的碎石,雨水通过井壁、井底向四周渗透。渗透井的主要优点是占地面积和所需地下空间小;便于集中控制管理。缺点是净化能力低,水质要求高,不能含过多的悬浮固体,需要预处理。适用于拥挤的城区或地面和地下可利用空间小、表层土壤渗透性差而下层土壤渗透性好等场合。

(4) 渗透池(塘)。渗透池的最大优点是渗透面积大,能提供较大的渗水和储水容量;净化能力强;对水质和预处理要求低;管理方便;具有渗透、调节、净化、改善景观等多重功能。缺点是占地面积大,在拥挤的城区应用受到限制;设计管理不当会造成水质恶化,蚊蝇孳生和池底部的堵塞,渗透能力下降;在干燥缺水地区,蒸发损失大,需要兼顾各种功能作好水量平衡。适用于汇水面积较大($>1\text{hm}^2$)、有足够的可利用地面的情况。特别适合在城郊新开发区或新建生态小区里应用。结合小区的总体规划,可达到改善小区生态环境,提供水的景观、小区水的开源节流、降低雨水管系负荷与造价等一举多得的目的。

(5) 综合渗透设施。可根据具体工程条件将各种渗透装置进行组合。例如在一个小区内可将渗透地面、绿地、渗透池、渗透井和渗透管等组合成一个渗透系统。其优点是可以根据现场条件的多变选用适宜的渗透装置,取长补短,效果显著。如渗透地面和绿地可截留净化部分杂质,超出其渗透能力的雨水进入渗透池(塘),起到渗透、调节和一定净化作用,渗透池的溢流雨水再通过渗井和滤管下渗,可以提高系统效率并保证安全运行。缺点是装置间可能相互影响,如水力计算和高程要求;占地面积较大。

3 雨水综合利用系统

生态园区雨水综合利用系统是利用生态学、工程学、经济学原理,通过人工净化和自然净化的结合,雨水集蓄利用、渗透与园艺水景观等相结合的综合性设计,从而实现建筑、园林、景观和水系的协调统一,实现经济效益和环境效益的统一,以及人与自然的和谐共存。这种系统具有良好的可持续性,能实现效益最大化,达到意想不到的效果。但要求设计者具有多学科的知识 and 较高的综合能力,设计和实施的难度较大,对管理的要求也较高。

具体作法和规模依据园区特点而不同,一般包括屋顶绿化、水景、渗透、雨水回用、收集与排放系统等。有些还包括太阳能、风能利用和水景于一体的花园式生态建筑,以下是2个实例。

1992年建于柏林市的某小区雨水收集利用工程,将160栋建筑物的屋顶雨水通过收集系统进入3个容积为 650m^3 的贮水池中,主要用于浇灌。溢流雨水和绿地、步行道汇集的雨水进入1个仿自然水道,水道用砂和碎石铺设,并种有多种植物。之后进入1个面积为 $1\,000\text{m}^2$ 、容积为 $1\,500\text{m}^3$ 的水塘(最大深度3m)。水塘中以芦苇为主的多种水生植物,同时利用太阳能和风能使雨水在水道和水塘间循环,连续净化,保持水塘内水清见底,形成植物鱼类等生物共存的生态系统。遇暴雨时多余的水通过渗透系统回灌地下,整个小区基本实现雨水零排放。

柏林Potsdamer广场Daimlerchrysler区域城市水体工程也是雨水生态系统成功范例。该区域年产雨水径流量 2.3万m^3 。采取的主要措施:建有绿色屋顶 4hm^2 ;雨水贮存池 $3\,500\text{m}^3$,主要用于冲厕和浇灌绿地(包括屋顶花园);建有人工湖 12hm^2 ,人工湿地 $1\,900\text{m}^2$,雨水先收集进入贮存池。在贮存池中,较大颗粒的污染物经沉淀去除,然后用泵将水送至人工湿地和人工水体。通过水体基层、水生植物和微生物等进一步净化雨水。此外,还建有自动控制系统,对磷、氮等主要水质指标进行连续监测和控制。该水系统达到一种良性循环,野鸭、水鸟、鱼类等动植物依水栖息,使建筑、生物、水等元素达到自然的和谐与统一。

4 雨水利用水质控制系统

雨水水质控制是现代城市雨水利用的重要组成部分和主要特征。城市雨水水质情况比较复杂,城市和区域的不同,汇水面、季节、降雨特征等的不同都会导致径流水质的很大差别。雨水径流污染主要表现在以下几个方面。

一是由于大气的污染,直接由降水带来的污染物。这取决于各城市的空气状况,也可能由大气的迁移,从外域带入。从北京城区降雨水质分析结果看,天然雨水中含有一些污染成分,如SS、COD、硫化物、氮氧化物等,但浓度相对较低。

其次是屋面材料的影响和在非降雨期屋面上积累的大气沉降物。屋面材料对径流水质有非常明显的影响。尤其是沥青油毡类屋面比水泥砖、瓦质类屋面的污染量高许多倍,而且严重影响市容。材料老化和夏季的高温曝晒,径流中的污染物浓度都会有显著的升高,色度大,主要为溶解性COD,多集中在初期径流中,浓度为数百甚至数千mg/L,取决于降雨量、气温,降雨间隔时间,屋面材料品质等,降雨后期的浓度可稳定在100mg/L以内。

路面雨水径流水质和影响因素更复杂,有路面材料、汽车排泄物、生活垃圾、裸露或植被地带冲出的泥沙等等。其成分复杂,随机性很大。一般规律也是污染物主要集中在初期径流中,浓度受降雨间隔时间、雨量与雨强、路面状况等因素影响。主要污染成分有COD、SS、油类、表面活性剂、重金属及其他无机盐类。COD、SS均可能高达数千mg/L。

雨水水质源头控制是最有效和最经济的方法,首先要从以下几方面抓起。

(1) 控制城市大气污染。我国不少城市目前的空气状况很差,导致雨水水质的下降。如不少城市的酸雨,不仅对渗透设施的利用会有影响,而且由于降水直接进入地面和地下水源,也会影响当地生态环境和水环境质量。因此,控制城市大气污染不仅改善城市的空气质量,美化城市环境,也能对水污染控制有明显的贡献。

(2) 屋面雨水水质的控制。屋顶的设计及材料选择是控制屋面雨水径流水质的有效手段。应该对油毡类屋面材料的使用加以限制,逐步淘汰污染严重的品种。一些城市有计划地对这类旧屋顶进行改造,不仅美化了市容,还解决材料老化漏水、保温抗寒效果差等问题,改善了居民的居住条件,也很好地控制了屋面污染源。利用建筑物四周的一些花坛和绿地来接纳屋面雨水,既美化环境,又净化了雨水。在满足植物正常生长的要求下,尽可能选用渗透速率和吸附净化污染物能力较大的土壤填料。一般厚1m左右的表层土壤渗透层有很强的净化能力。

(3) 路面雨水水质控制。路面径流水质复杂,比屋面雨水更难以收集控制。① 改善路面污染状况是控制路面雨水污染源的最有效方法。包括相关的政策、法规、管理及技术等各种措施。如合理地规划与设计城市用地,减少城区土壤的侵蚀,加强对建筑工地的管理,加大对市民的宣传与教育力度,配合严格的法规和管理,最大限度地减少城市地面垃圾与污染物,保持市区地面的清洁等。这方面,我国许多城市还存在不少问题,城区地面污染严重,垃圾、裸露地面的泥沙侵蚀,施工工地等都是比较突出的污染源。把雨水口和雨水井当作垃圾桶,随意倾倒污水和垃圾现象非常普遍,雨季严重地污染水体并影响下水道的正常运行,造成路面积水。② 路面雨水截污装置。为了控制路面带来的树叶、垃圾、油类和悬浮固体等污染物,可在雨水口和

雨水井设置截污挂篮和专用编织袋等,或设计专门的浮渣隔离、沉淀截污井,这些设施需要定期清理。也可设计绿地缓冲带来截留净化路面径流污染物,但必须考虑对地下水的潜在威胁,限于污染较轻的径流,如生活小区、公园的路面雨水。③ 初期雨水弃流装置。设计特殊装置分离污染较重的初期径流,保护后续渗透设施和收集利用系统的正常运行。合理确定并分离初期径流水量和有效地对随机的降雨进行控制是这种装置的技术关键,北京建筑工程学院研制的“分流式雨水弃流自动控制装置”(专利)可高效率地对初期雨水实施自动控制。

除了上述源头控制措施外,还可以在径流的输送途中或终端采用雨水滞留沉淀、过滤、吸附、稳定塘及人工湿地等处理技术。需要注意雨水的水质特性,如颗粒分布与沉淀性能、水质与流量的变化、污染物种类和含量等。我国对城市雨水水质特性和相应的处理技术的研究尚处于初级阶段,没有相应的技术规范和要求。随着城市雨水利用技术的推广和城市非点源污染控制的开展,雨水的净化处理也将受到越来越多的重视。

5 结语

现代城市雨水利用是一项涉及多学科的、复杂的系统工程,在选择雨水利用系统方案时,要特别注意国家、地域及现场各种条件的差异。即使在同—个城市,由于项目间各种因素和条件的不同,宜采用的方案也可能完全不同,切勿生搬硬套。

规划设计要根据现场的气候及降雨、水文地质、水环境、水资源、雨水水质、给水排水系统、建筑、园林道路、地形地貌、高程、水景、地下构筑物和总体规划等各种条件,充分考虑收集利用和各种渗透设施的优缺点及适用条件,通过水量平衡、水力计算和技术经济分析来确定方案,突出系统观点,协调好各专业的关系,兼顾经济效益和社会效益,考虑城市 and 小区环境、生态和美学、人和自然的统一和谐,力求最佳效果。

1998年以来,北京建筑工程学院和北京市城市节约用水办公室对城市雨水利用技术进行系统的研究,并在北京市政府专项资金的资助下,在城区一些学校、公园、机关、新建小区推广雨水利用技术。

这些项目的规模和特点各不相同,充分体现因地制宜、针对性强、灵活多样的原则,正确的设计思想往往比技术更为重要。

(责任编辑:刘培英)

