

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2012.02.014

公共建筑与住宅建筑非传统水源利用技术分析

冯萃敏 姚仁达 张雅君 汪慧贞 王俊岭

(北京建筑工程学院环境与能源工程学院市政工程系 北京 100044)

摘要 对在公共建筑与住宅建筑中利用非传统水源的技术进行了比较和分析,着重研究了雨水、中水和海水利用技术,指出了各项技术的优缺点和适用条件。结果表明,采用雨水利用技术时,可以因地制宜采用与直接利用、渗透、调节等功能相关的技术组合;采用中水回用技术时,可采用有发展前景的膜生物反应器技术,也可采用生物接触氧化或混凝沉淀等技术;采用海水利用技术时,可根据各种技术特点选用多级闪蒸、低温多效、反渗透等技术。另外,用清洁能源淡化海水是海水淡化技术的发展方向。实践中选用非传统水源利用技术时,应综合各种因素,进行全面比较。

关键词 公共建筑;住宅建筑;非传统水源;雨水利用;中水回用;海水淡化

中图分类号:TU991.11 文献标识码:A 文章编号:1004-6933(2012)02-0057-05

Analysis of technologies of non-traditional water resources utilization in public and residential buildings

FENG Cui-min, YAO Ren-da, ZHANG Ya-jun, WANG Hui-zhen, WANG Jun-ling

(Department of Municipal Engineering, School of Environment and Energy Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China)

Abstract :Through comparison and analysis of various technologies for non-traditional water resources utilization in public and residential buildings, this study focuses on the technologies of rainwater utilization, greywater recycling, and seawater desalination, and describes the advantages, disadvantages, and applicable conditions of these technologies. The results show that the combined technologies with functions of rainwater harvesting, penetration, and retention can be applied to rainwater utilization based on local conditions, that the promising technology MBR, as well as the biological contact oxidation and coagulation-sedimentation technologies, is feasible for greywater recycling, and that the technologies of multi-stage flash evaporation, low-temperature multiple-effect evaporation, and reverse osmosis can be used for seawater desalination. It is also pointed out that clean energy is a preferred alternative for seawater desalination. When using the technologies for non-traditional water resources utilization in practice, it is wise to consider multiple factors and make comprehensive comparisons.

Key words : public buildings; residential buildings; non-traditional water resources; rainwater utilization; greywater recycling; seawater desalination

由于城市化、工业化进程加快,导致我国城市生活用水量所占的比例大幅度增加,因此,从城市生活用水方面提高水资源利用率,意义重大。在公共建筑与住宅建筑中进行非传统水源的合理利用,可以达到“开源与节流”的双重目的。开发利用新型水源

(雨水、中水和海水等),可减少自来水用量和排污量,从而实现资源、环境的可持续发展。目前,我国通过借鉴国外的先进经验和自主研发,已经掌握了多项非传统水源利用技术,并且将其应用于公共建筑与住宅建筑非传统水源利用的示范工程中,如,北

京华嘉小学雨水与景观工程、上海世博园内大型公共建筑雨水利用工程、北京新世纪饭店中水工程、上海浦东新区示范小区中水工程、天津市滨海新区海水利用示范工程、山东黄岛电厂低温多效海水淡化示范工程等。从这些大量的工程实践中总结技术经验及其适用性,能有效地促进在公共建筑与住宅建筑中实施和推广非传统水源的利用。

1 公共建筑与住宅建筑中的雨水利用

利用人工或自然水体,如池塘、湿地或洼地等,收集和调蓄雨水,并采用适当技术将这些雨水净化至所需要的水质后,作为冲刷、绿化、浇洒、消防及景观用水等。刘洋^[1]对北京市已建成的 274 项公共建筑与住宅建筑雨水利用工程的统计显示,各雨水利用技术所占比例(面积比)分别为:雨水池 37%(封闭式雨水池 28%,敞开式雨水池 9%),人工湖 9%,下凹式绿地 17%,渗透路面 21%,嵌草砖 4%,渗井 6%,其他 6%。

1.1 雨水利用技术

1.1.1 直接利用

a. 沉淀。用于雨水沉淀处理的主要构筑物是雨水池。根据构造形式雨水池分为封闭式雨水池、敞开式雨水池和雨水罐等。雨水贮存于雨水池中经过进一步的沉淀处理后,可以有效去除其中的固体物质和悬浮物。但是自然沉淀得到的雨水水质较差,需结合混凝、过滤、消毒等工艺,达到理想的出水效果^[1-2]。

b. 过滤。用于雨水过滤处理的主要构筑物有多介质滤池和土壤快渗滤池等。多介质滤池滤料的级配由上到下依次增大,滤料依次为石英砂、陶粒、焦渣和鹅卵石等。雨水由上到下流经多介质滤池,经过截留和净化得到具有良好水质的出水。土壤快渗滤池属于生态模式,其机理是雨水在土壤、植被和微生物的共同作用下得到净化^[1]。

c. 消毒。消毒常在雨水处理的末端进行。当雨水的用途要求较高时,可以采用物理或化学方法对收集的雨水进行消毒处理,以杀灭水中有害的病原微生物。常用的消毒方法有紫外线消毒和加氯消毒等。

1.1.2 土壤渗透

常用的土壤渗透设施包括渗透路面、植被浅沟、下凹式绿地和渗井等。

a. 渗透路面。主要指各种人工铺设的透水路面,如多孔沥青路面、多孔混凝土路面等。渗透路面在减少路面积水的同时,其边缘的沟槽缝隙还能够贮存部分雨水,达到雨水缓慢下渗的效果。在此

过程中,雨水经过土壤层的过滤得以净化,净化后的水作为地下水的补充水源^[3-4]。

b. 植被浅沟。植被浅沟一般设置在绿地内,内部种植长草并填充粒径较大的砾石和卵石,从而对流经的雨水进行截留、过滤和净化。在植被浅沟内,每隔一定的距离设有雨水篦子,净化后的雨水经雨水篦子汇入雨水渗透管下渗。植被浅沟还具有一定的贮水空间,可以应对暴雨的影响^[5]。

c. 下凹式绿地。下凹式绿地具有雨水贮存、渗透和绿化三重功能。将绿地设计为下凹式,可以有效增大雨水的贮存空间,从而起到调蓄雨水的作用。贮存的雨水经过土壤、植物及微生物的共同净化作用后,污染物含量大大降低^[6-7]。

d. 渗井。包括深井和浅井两类。深井适用于贮存水量大、集中且水质好的雨水,浅井的井壁和底部均为透水材质,在井底部和四周铺设碎石,雨水通过井壁和井底向四周渗入或者从四周向井中汇流渗入^[1]。

1.1.3 雨水调节

雨水调节设施主要有 6 种形式:

a. 屋顶绿化。指在屋顶种植绿色植物,雨水入渗后,通过土壤、植物的吸附和过滤作用,净化雨水,显著地削减径流,减轻污染,净化空气,降低室温,美化环境。屋顶绿色植物宜选择本地生的耐旱植物,基质宜选择孔隙率高、密度小、耐冲刷且适宜植物生长的天然或人工材料^[8]。

b. 雨水花园。指在凹地里种植花草、灌木、树木等植物的花园式雨水利用构筑物。雨水花园由草皮带、沙床、蓄水区域、有机层、土壤和植被 6 部分组成^[3],主要利用土壤、植物的截留和过滤作用来净化雨水,同时有效减少地表径流量,补充地下水,并美化和改善环境。由于雨水花园属于下凹式设计,雨季时,雨水花园可以取得蓄水、渗透的双重效果^[9]。

c. 调节池。调节池兼有贮存和沉淀功能(与 1.1.1 中提到的沉淀设施类似)。

d. 塘。指具有天然净化功能的雨水处理构筑物。塘属于生态型的调节池,除调节雨水外,还可利用微生物的降解作用去除水中的污染物质^[10]。

e. 人工湖和水景。指同时具有调蓄雨水和景观作用的雨水利用构筑物。收集的雨水经过简单处理后,借助重力作用或泵提升排入人工湖和水景中,作为人工湖和水景的补充水源,在美化环境的同时,也节省了自来水用量^[5]。人工湖和水景作为雨水的调蓄设施,其贮存的雨水可用于绿化、浇洒等。

f. 多功能调蓄设施。指在传统调蓄设施的基础上,设计并开发的集雨洪调蓄、景观美化、社会功能于一体的新型雨水调蓄设施,如下沉式花园、下

沉式广场、停车场、运动场等。由于多功能调蓄设施采用下沉式设计 ,内部空旷 ,可以短时间内清空场地 ,因此既可以在旱季使用 ,又可以在雨季用来调蓄雨水。在年降雨量大的地区 ,或在易发生短时期暴雨的地区 ,这种设施应大力推崇^[11-12]。

1.2 雨水利用技术比较

公共建筑与住宅建筑雨水利用技术的比较见表 1。

2 公共建筑与住宅建筑中的中水回用

中水是相对于上、下水而言的 ,指生活污水中的部分优质杂排水经过处理后 ,达到生活杂用水水质标准 ,作为一些回用用途的非饮用水。在用水量大的建筑或建筑群中常设有中水回用系统 ,优质杂排水经过处理就地回用 ,作为冲厕、绿化、浇洒用水等^[14]。据北京市节约用水办公室提供的资料 ,对北

京市 143 项公共建筑与住宅建筑的中水工程进行统计 ,结果显示 ,各中水回用技术所占比例分别为 :生化技术 47 项 ,占 32.9% ;物化技术 11 项 ,占 7.7% ;生化、物化组合技术 85 项 ,占 59.4%。

2.1 中水回用技术

2.1.1 物理化学技术

a. 混凝沉淀。指混凝、沉淀、过滤、吸附相结合的中水回用技术。向污水中投入适当的混凝剂 ,使其与水充分混合、反应 ,污水中微小悬浮颗粒和胶体颗粒凝聚成体积较大且沉淀性能更好的絮凝体 ,经过沉淀、过滤后去除 ,再经过活性炭的吸附 ,可以大幅度提高污水处理效率 ,使其达到回用水水质标准^[15]。

b. 混凝气浮。利用混凝沉淀技术去除污水中的悬浮物和胶体物质后 ,再进行气浮处理。气浮池中的微小气泡可以黏附带有极性的表面活性剂且易上浮分离 ,因此可以获得良好的出水效果^[16]。

表 1 公共建筑与住宅建筑中的雨水利用技术比较^[1 9 43]

技术		优点	缺点	适用条件
直接利用	沉淀和过滤	1. 处理工艺简单 ,施工方便 2. 造价低	1. 出水水质不稳定 ,受汇水面清洁程度影响较大 2. 需要经常清理和维护	污染较轻的屋面
土壤渗透	渗透路面	1. 防滑 2. 吸收交通噪声 3. 有效削减地面径流量 ,补充地下水	渗透能力受雨水水质影响较大。如 ,径流雨水含过多的悬浮固体 ,长时间使用会发生堵塞现象。应考虑截污、弃流等预处理措施	建筑物周边道路、广场、停车场
	植被浅沟	1. 渗透能力强 2. 降低径流速度 ,有效削减地面径流量 ,补充地下水 3. 污染物去除能力较强		建筑物和广场周边、道路两侧、绿地
	下凹式绿地	1. 渗透能力强 2. 渗蓄雨水 ,可充当调蓄池 ,降低径流速度 ,有效削减地面径流量 ,补充地下水 3. 污染物去除能力较强 4. 节省用于绿化的自来水量		建筑物周边、道路两侧、大面积的绿地
	渗井	1. 有效削减地面径流量 ,补充地下水 2. 占地面积小 ,便于集中控制管理		路面、广场和停车场
雨水调节	屋顶绿化	1. 节省用于绿化的自来水量 2. 美化环境	水量不易控制 ,旱季和雨季水量差异较大	坡度小于 15°的建筑物屋顶
	雨水花园	1. 有效去除径流中的颗粒物、有机物、重金属离子、油类及病原体等 2. 降低径流速度 ,有效削减地面径流量 ,补充地下水 3. 具有良好的景观和生态效果	1. 水量不易控制 ,旱季和雨季水量差异较大 2. 占地较大	大面积的绿地及住宅区的花园
	调节池	1. 处理工艺简单 ,施工方便 2. 造价低	1. 出水水质不稳定 ,受汇水面清洁程度影响较大 2. 需要定期清理和维护	住宅区雨水直接利用时 ,可采用地上或地下封闭式调节池 ;有景观水体的住宅区 ,可采用敞开式调节池
	塘	1. 通过微生物的降解作用 ,可以去除部分污染物质 2. 处理工艺简单 ,施工方便 3. 造价低	出水水质不稳定 ,受汇水面清洁程度影响较大	汇水面积大于 4 hm ² 的区域
	人工湖和水景	1. 节省人工湖和水景的补充水量 2. 美化环境	水量不易控制 ,旱季和雨季水量差异较大	建筑物周边、住宅区景观
多功能调蓄设施	多功能调蓄设施	可充当临时的雨水调蓄池 ,有效削减地面径流量和洪峰流量	建成后 ,可能出现利用率低或闲置情况	地势低洼处、防涝压力大的地区、住宅区公共场所(广场、运动场、停车场等)

2.1.2 生物技术

a. 生物接触氧化。该技术由生物膜技术派生而来。在生物接触氧化池内填充一定数量的填料 , 通过向生物接触氧化池内曝气 , 利用附着在填料上的生物膜的净化作用 , 使污水中的有机物被高效生物氧化分解 , 达到理想的出水水质^[17]。

b. 膜生物反应器。这是一种生物处理技术与膜分离技术相结合的污水处理技术。膜分离装置取代了传统工艺中的二次沉淀池 , 从而保持相对较低的污泥负荷 , 减少了污泥产量 , 并大大节省了污水处理构筑物的占地面积^[18]。膜分离技术属于物理技术 , 其污水处理原理是 , 由于混合物所含物质的粒径不同 , 在压力的推动下 , 污水通过半渗透膜时 , 物质被截留于膜上 , 从而实现选择性分离。

2.2 中水回用技术比较

公共建筑与住宅建筑的中水回用技术的比较见表 2。

3 公共建筑与住宅建筑中的海水淡化

海水淡化又称海水脱盐 , 是一种从海水中获取淡水的技术 , 具有污染少、水质优良等优势。淡化后的海水可以作为饮用水、居民生活用水、城市杂用水等。据对 2007 年海水淡化市场情况的统计显示 , 在中东地区 , 多级闪蒸技术的市场占有率超过了 70% ; 在欧洲、美洲和亚洲 , 反渗透技术的市场占有率最高 , 其中 , 欧洲和美洲均超过了 80% , 亚洲约为 60%^[21]。

3.1 海水淡化技术

3.1.1 多级闪蒸技术

海水经预热后进入闪蒸室 , 热盐水依次流经若干个压力逐级降低的闪蒸室 , 并且逐级蒸发降温 , 直到水温接近天然海水的温度停止。这就是多级闪蒸技术^[21-22]。

3.1.2 低温多效技术

多个单效蒸发器串联 , 但仅第一效蒸发器的热源来自锅炉 , 用前一个蒸发器发出的蒸汽为下一个蒸发器提供热源 , 并在其中冷凝为淡水。这就是低温多效技术^[21-22]。

3.1.3 反渗透技术

海水在大于其渗透压的外部压力作用下 , 通过反渗透膜 (一般为高分子聚合物材料 , 且考虑该材料的脱盐率、抗压性等) 使海水中的纯水反向渗透到淡水中。该技术就是反渗透技术^[21-22]。

如果能根据海洋的特性利用海边的风能 , 则可大大降低海水淡化的成本。挪威引进了一套德国设计的采用反渗透技术的风力海水淡化系统 , 该系统的能量回收装置设计新颖 , 仅依靠一台低压泵和一个柱塞式能量收集装置 , 即可将脱盐能耗降至 2 ~ 2.8 kW · h/m³^[23]。

3.2 海水淡化技术比较

公共建筑与住宅建筑中的海水淡化技术的比较见表 3。

4 结 论

非传统水源在公共建筑与住宅建筑中的有效利用 , 可以替代部分自来水用量 , 缓解城市化、工业化带来的城市生活用水危机 , 同时减少对受纳水体的排污量。在实际工程中 , 各种非传统水源利用技术多种多样 , 应因地制宜 , 选用适当的技术 , 以达到资源、环境、经济效益的最优化。

采用雨水利用技术时 , 宜因地制宜采用技术组合 , 即对直接利用、土壤渗透、雨水调节等技术体系中一些技术进行组合利用 , 既可以节省自来水用量 , 又可以补充地下水 , 具有良好的环境与生态效益 ; 采用中水回用技术时 , 可以采用颇具前景的膜生物反应器技术 , 该技术具有污染物去除效率高、污泥产量

表 2 公共建筑与住宅建筑的中水回用技术比较^[17-20]

技术		优点	缺点	适用条件
物理化学	混凝沉淀	1. 产生臭味较小 2. 操作、管理简单 3. 能耗较低 4. 投资、运行费用低	1. 出水水质不稳定 , 受混凝剂种类和数量影响 2. 溶解性有机物去除能力较差 3. 受水量负荷变动影响较大	较低水质要求 , 如绿化、景观用水
	混凝气浮	1. 产生臭味较小 2. 操作、管理简单 3. 能耗较低 4. 可间歇运行	1. 出水水质不稳定 , 受混凝剂种类和数量影响 2. 溶解性有机物去除能力较差 3. 受水量负荷变动影响较大	适用于住 (客) 房用水量波动较大、水源水量变化较大或间歇性使用的公共建筑 (如宾馆、酒店等)
生物	生物接触氧化	1. 反应器中微生物的活性高 , 有机物的去除率高 2. 具有较强的抗冲击负荷能力	装置密闭性较差 , 产生的臭味较大	较高水质要求 , 如冲厕、洗车用水
	膜生物反应器	1. 污染物去除效率高 , 出水稳定 , 水质高 2. 设施结构紧凑 , 占地面积小 3. 剩余污泥产量少 4. 易实现就地回用	1. 膜组件易发生堵塞现象 , 通量降低 , 需要经常清洗 2. 使用年限短 , 能耗大 , 成本高 3. 水的回收率较低	较高水质要求 , 如冲厕、洗车用水

表 3 公共建筑与住宅建筑中的海水淡化技术比较^[21-22,24]

技术	优点	缺点	适用条件
多级闪蒸	1. 防腐蚀能力强,结垢易于清理 2. 对原料水质要求低,适用于较为复杂的水质 3. 单台装机容量大	1. 产品水质中等,需增加后处理设备且对材料要求较高 2. 运行温度高 3. 能耗、设备成本较高	原水水质要求较低
低温多效	1. 防腐蚀能力强 2. 产品水质高 3. 前处理较简单,化学药剂消耗较低 4. 单台装机容量较大 5. 运行温度较低 6. 能耗较低	1. 结垢较难清理 2. 设备占地面积大,装置费用较高	出水水质要求较高
反渗透	1. 防腐蚀能力极强 2. 虽单台装机容量较低,但易于单元式叠加 3. 无相变、能耗较低、操作简单 4. 运行温度低,在常温即可 5. 建造周期短、成本较低、启动运行快 6. 装置紧凑,占地较小	1. 产品水质较低 2. 反渗透膜需要定期清洗和更换,膜使用年限短 3. 对原料水质要求高,需要较复杂的预处理设备及工艺以保持反渗透膜的使用寿命	原水水质要求较高

少、出水水质好等优点,也可以采用应用较多的生物接触氧化、混凝沉淀等技术;采用海水淡化技术时,可根据各种技术特点选用多级闪蒸、低温多效、反渗透等技术,另外,如能采用风能、太阳能等清洁能源来淡化海水,则更符合“低碳”和“可持续发展”理念,是海水淡化技术发展的方向。

参考文献：

[1] 刘洋. 北京城市雨水利用工程实效调研分析与对策研究[D]. 北京: 北京建筑工程学院, 2008.

[2] 钱坤, 谢传贵, 蒋兴林. 小区雨水处理技术探讨[J]. 黑龙江科技信息, 2007(15): 40-41.

[3] 解燕平, 罗岚, 王熙, 等. LID 理念对西安雨水利用的启示[J]. 新西部, 2010(14): 31-16.

[4] 赵飞, 张书函, 李文忠, 等. 北京奥林匹克公园中心区雨水利用总体思路[J]. 给水排水, 2008, 34(10): 91-94.

[5] 何强, 柴宏祥. 绿色建筑小区雨水资源化综合利用技术[J]. 环境工程学报, 2008, 2(2): 205-207.

[6] 程江, 徐启新, 杨凯, 等. 国外城市雨水资源利用管理体系的比较及启示[J]. 中国给水排水, 2007, 23(12): 68-72.

[7] 俞绍武, 丁年, 任心欣, 等. 城市下凹式绿地雨水蓄渗利用技术的探讨[J]. 给水排水, 2010, 36(S1): 116-118.

[8] 潘金锋. 城市雨水利用综述[J]. 山西建筑, 2010, 36(7): 173-175.

[9] 罗红梅, 车伍, 李俊奇, 等. 雨水花园在雨洪控制与利用中的应用[J]. 中国给水排水, 2008, 24(6): 48-52.

[10] 张啸楚, 文屹, 吴梅生. 低密度住宅小区的雨水回用[J]. 山西建筑, 2010, 36(19): 165-166.

[11] 车伍, 张燕, 李俊奇, 等. 城市雨洪多功能调蓄技术[J]. 给水排水, 2005, 31(9): 25-29.

[12] 李俊奇, 车伍, 边静. 城市雨水排放系统中调蓄系统的设计及应用[J]. 城市住宅, 2009(11): 110-112.

[13] 李海燕, 车伍, 董蕾. 北京城市住区雨水利用适用技术选择[J]. 建筑科学, 2009, 25(12): 7-11.

[14] 孙静. 北京市非传统水资源利用潜力及效益综合评价

研究[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2007.

[15] 王斌, 孙大朋, 张瑞青. 中水回用现状及其研究发展[J]. 科技信息, 2010(24): 744-746.

[16] 吴瑛, 朱伟君. 公共建筑中的中水回用技术研讨[J]. 工程建设与设计, 2009(11): 65-69.

[17] 苟红英. 绿色居住小区节水与水资源利用技术研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2007.

[18] 杨辉. MBR 处理工艺及其在中水回用中的实践[J]. 山西建筑, 2010, 36(20): 176-177.

[19] 李勤军, 何玉磊, 王卓艺, 等. 膜生物反应器在中水回用领域应用前景[J]. 中国新技术新产品, 2009(17): 2.

[20] 张雪. 水危机与中水回用技术方法的探讨[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2009, 19(2): 95-98.

[21] 周赤忠, 李焱. 当前海水淡化主流技术的分析与比较[J]. 电站辅机, 2008, 107(4): 1-5.

[22] 李雪民. 主要海水淡化方法技术经济分析与比较[J]. 一重技术, 2010(2): 63-70.

[23] 冯宾春, 赵卫全. 风能海水(苦咸水) 淡化现状[J]. 水利水电技术, 2009, 40(9): 8-11.

[24] 宿翠霞, 倪华秋, 李凌霄, 等. 海水淡化技术及其应用现状[J]. 中国资源综合利用, 2009, 27(7): 31-32.

(收稿日期: 2010-12-09 编辑: 彭桃英)

