

城市雨水资源化的实例分析

刘琳琳,何俊仕

(沈阳农业大学水利学院,辽宁 沈阳 110161)

摘要 以沈阳市浑南新区慧缘馨村小区为实例,建立了雨水资源化体系,进行雨水资源化设计、水景观系统设计和水量平衡计算。重点引入人工湿地生态系统作为雨水资源化的调蓄设施,进行湿地水质分析,探讨利用湿地内汇集的雨水作为城市生态用水的可行性。

关键词 城市 雨水 雨水资源化 人工湿地

中图分类号 :TV213.9 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-6933(2007)06-0052-04

Case study on reclamation of urban rainwater

LIU Lin-lin, HE Jun-shi

(College of Water Conservancy, Shenyang Agriculture University, Shenyang 110161, China)

Abstract Taking the Huiyuanxincun community of Hunnan new district in Shenyang City as an example, a rainwater reclamation system was established, including rainwater reclamation design, water landscape system design and the water balance calculation. Constructed wetland ecosystem was used as regulation facility of the rainwater resources. Water quality of the wetland was analyzed, and the feasibility of inflowing rainwater in wetland as ecological water was discussed.

Key words :city ; rainwater ; reclamation of rainwater ; constructed wetland

进入 21 世纪,在城市化和工业化快速发展的阶段,存在水资源紧缺、水环境污染、城市洪涝灾害三大水问题,严重制约着城市的发展、影响着环境的质量、威胁着人类生命和财产的安全。对于水资源紧缺和城市洪涝灾害问题,主要原因就是降水。降水在时间和空间上的分配不均从客观上导致了“水少”和“水多”,但更多的人为因素使这两方面问题更加复杂和矛盾。因此,如何在城市发展建设中有效地利用城市降水资源,缓解城市水资源紧缺和洪涝灾害的局面,就成为一项亟待解决的问题^[1-2]。

1 实例研究

浑南新区是未来沈阳市 4 大发展空间之一,对加快沈阳经济社会发展起着不可忽视的作用。在城市和生态环境建设过程中,水资源紧缺、水污染加剧等水问题严重制约了城市的发展。虽然大伙房、石

佛寺输水工程运行后可以有效缓解城市缺水问题,但从目前情况看,提高有限水资源的利用率,采取措施拦蓄汛期雨水加以利用,减少城市暴雨径流,就地开源是一项近期乃至未来缓解水资源紧缺状况的重要措施。

1.1 降水资料分析

由于降水的随机性比较强,季节性和地区性的差异比较大,因此降水资料的合理性分析是科学决策雨水资源化的前提。选取浑南地区浑河水文站年降水序列 1958 ~ 2004 年 47 a 降水资料进行降水频率分析。根据经验点据频率曲线和选配的皮尔逊Ⅲ型频率曲线,频率分析成果见表 1。

1.2 慧缘馨村小区概况

慧缘馨村小区占地 23 万 m²,居民住宅楼占地面积约 7 000 m²/栋,共 20 栋,会所建筑物面积约 1 万 m² 区内绿地占地 2.3 万 m²,2 处大型公共绿地

表 1 浑南地区降水量频率分析

频率/ %	模比系数	降水量/ mm	频率/ %	模比系数	降水量/ mm
5	1.35	909.5	75	0.86	579.4
10	1.26	848.9	90	0.75	505.3
20	1.16	781.5	95	0.69	464.9
50	1.00	673.7	99	0.58	390.7
			平均	1.00	673.7

各占地约 3 000 m²,景观水面占地面积约 6 400 m²,与建筑物有机结合,形成了别具特色的水文化景观。其中中央喷泉景观占地约 3 000 m²,贮水容积约 1 000 m³,带状景观水池占地约 1 300 m²,贮水容积 500 m³,圆形景观水池占地约 2 100 m²,贮水容积 1 500 m³。

由于小区规划建设时没有从雨水资源利用和中水回用的角度加以考虑,造成了水资源的大量浪费。本文结合慧缘馨村二期工程建设对一期工程进行改造。在不影响小区整体性和功能的基础上,进行雨水资源化改造设计,结合人工湿地生态系统进行雨水资源化的雨水收集工程规划布置、水量计算等研究。

1.3 生态用水现状

小区内景观水系统运行时间为每年 4 月初至 10 月末,用水量约 4 万 m³,其中汛期可以集蓄雨水约 2 000 m³,其余为自来水补充。6 处景观形成了水循环系统,换水周期为 2 周。每次更新水的同时都有大量的景观水排入污水管网,既造成资源的浪费,又加重了排水管网和污水处理的压力。

小区内绿地面积占小区总面积的 10%。绿地的浇灌时间与景观水系统同步运行,在汛期需要 2~3 d 浇灌一次,在非汛期需要每天浇灌。目前浇灌水源全部为市政自来水。按照每天用水 2 L/m² 计算,每年用水量约为 7 000 m³,遇连续降雨或特大暴雨时,绿地滞蓄雨水能力有限,不能滞蓄的雨水形成径流流入雨水管网,增大管网的排水压力。

1.4 小区雨水资源化规划设计

1.4.1 城市雨水资源化体系

a. 规划设计要素:建筑物、硬化地面、绿地、渗透路面、水面、雨水排放系统。

b. 格局设计要求:①系统必须含有绿地,以保证其自净功能;②绿地处于水面之外的最低位置;③排水口设置于绿地中,高于绿地但低于硬化面,以保证集雨首先进入绿地;④硬化面处于最高位置;⑤渗透设施的设置要充分考虑水质问题。

1.4.2 建筑物屋面

屋面集蓄雨水是雨水收集的主要组成部分。蓄水池以景观水池代替,根据蓄水容积和占地面积对景观水池进行处理改造,以期达到合理比例。慧缘馨村小区建筑密度适中,建筑物面积占小区总面积

的 60%,屋面的防水材料比较环保,因此将屋顶进行简单处理即可收集大量的雨水。通过初期雨水弃流装置过滤,进入景观水池。经过景观设施的循环和调度,收集的雨水作为景观用水,多余雨水则通过雨水输水管网排入调蓄设施。弃流装置内的初期雨水排入污水管网,与生活污水一同进行处理。

1.4.3 绿地

在绿地改造中将公共绿地降低高程 10 cm 处理,考虑到小区雨水径流中污染物的含量比较高,控制进入绿地的径流水质难度比较大,因此只滞蓄和渗透绿地面积以内的降雨。同时为了尽可能多的不使雨水外流,在降低绿地高程的同时,增加绿地边坎的高度。在 2 块公共绿地改造中,就绿地坡度的自然变化各增加一个渗透沟,既可以汇集绿地内大量未能及时入渗的雨水,又达到美观和增加水面的效果。遇特大重现期降水时这种下凹式绿地还可以起到滞蓄暴雨的作用,对于超出滞蓄能力的雨水和路面径流则考虑通过排水口直接排入市政雨水管网。

1.4.4 道路

a. 主干道路。小区内主干道每天有大量的车辆出入,污染比较严重,所以不考虑收集雨水。但是路面雨水可以自流流入排水口,经过市政雨水管网排入雨水湿地人工生态系统。当路面需要进行翻新改造时应使用透水混凝土或透水沥青浇筑。

b. 人行道路及停车场。对于人行道路和停车场,结合小区风格进行改造。现有不透水的鹅卵石混凝土铺装面积大约占小区人行道总面积的 40%,将这部分地面改成透水性铺装。使用目前比较实用的开孔率可达 20%~30% 的草皮砖。公共停车场占人行道路面积的 10%,将现有的沥青路面全部改成草皮砖铺装。这种铺装的抗压性能和渗透性能比较好,对于雨水渗透回补地下水能够起到很好的效果。

1.5 初期弃流装置和蓄水池的设计

1.5.1 初期弃流装置容积

大量试验数据表明,初期降落在汇水区域上的 2 mm 雨水污染比较严重,主要为空气中的有害杂质、屋面沉积的灰尘和泥沙以及防水材料的析出物等,因此将屋面初期 2 mm 雨水弃流。所以确定每栋住宅楼弃流装置的容积 $V_{弃}$ 为 11.2 m³,取 12 m³; $V_{弃(会所)}$ 为 16 m³,取 20 m³。

1.5.2 蓄水池容积

a. 雨水设计流量。根据沈阳地区,暴雨强度

$$q = \frac{1825(1 + 0.774\lg T)}{(8 + t)^{0.724}} \tag{1}$$

雨水管渠设计流量

$$Q = A\varphi q \tag{2}$$

式中： T 为重现期； t 为降雨历时； A 为汇流面面积； φ 为汇流面径流系数。

每栋住宅楼和会所建筑物的雨水设计流量见表 2。

表 2 暴雨强度和雨水设计流量

重现期 T/a	降雨历 时/ min	暴雨强度/ $(\text{L}\cdot(\text{s}\cdot\text{hm}^2)^{-1})$	雨水设计流量/ $(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	
			住宅楼	会所
0.33	10	141.23	0.071	0.102
	15	118.27	0.060	0.085
	20	102.57	0.052	0.074
0.50	10	172.68	0.087	0.124
	15	144.60	0.073	0.104
	20	125.40	0.063	0.090
1.00	10	225.14	0.113	0.162
	15	188.53	0.095	0.136
	20	163.50	0.082	0.118

b. 蓄水池容积。蓄水池设计容积与降雨重现期和降雨历时存在一定关系。小区住宅楼蓄水池总容积

$$V = 60 \times Qt \tag{3}$$

将式(1)(2)代入式(3),绘制出不同重现期和降雨历时所对应的蓄水池容积曲线,见图 1。

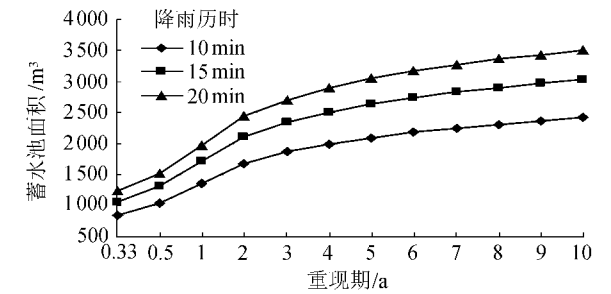


图 1 蓄水池容积

从图 1 中可以看出：①在降雨历时一定的条件下,重现期与蓄水池容积的关系呈对数关系,随着重现期的增加对蓄水池的设计容积要求也相应提高；②在重现期一定的情况下,随着降雨历时的增加蓄水池设计容积呈增长趋势,而且不同降雨历时所计算出的蓄水池容积之差也逐渐增大。

考虑到经济成本和整体性的问题,蓄水池的容

表 3 慧缘馨村小区雨水资源量

时段	降水 频率/%	年降雨 量/mm	降水总 量/ m^3	雨水资源 量/ m^3	年雨水收集量/ m^3			滞蓄(渗透)雨水量/ $(\text{m}^3\cdot\text{a}^{-1})$		雨水利 用量/ m^3	降雨径 流量/ m^3	雨水利用 率/%
					景观水系	屋面	合计	绿地	人行路面 和停车场			
改造前	20	790.9	181 907	157 350	3 500	0	3 500	6 129	0	9 632	147 718	6.12
	50	664.0	152 720	132 103	2 900	0	2 900	5 145	0	8 086	124 016	6.12
	75	580.6	133 538	115 510	2 570	0	2 570	4 499	0	7 070	108 440	6.12
	95	456.0	104 880	90 721	2 020	0	2 020	3 534	0	5 553	85 168	6.12
改造后	20	790.9	181 907	157 350	3 500	83 122	86 622	14 948	3 745	105 317	52 032	66.90
	50	664.0	152 720	132 103	2 900	69 785	72 685	12 550	3 144	88 420	43 683	66.90
	75	580.6	133 538	115 510	2 570	61 020	63 590	10 973	2 750	77 313	38 197	66.90
	95	456.0	104 880	90 721	2 020	47 924	49 944	8 619	2 160	60 722	29 999	66.90

积不应该盲目增大,根据沈阳地区实际情况和经验数据,一般重现期取 0.33 ~ 1 a,降雨历时取 20 min。在本研究中重现期和降雨历时的选取偏重于安全并结合已建工程,设定 T 为 1 a, t 为 20 min。确定蓄水池总容积为 $V_{\text{蓄}} = 1\,870\,\text{m}^3$,取 $2\,000\,\text{m}^3$ 。

小区内原有景观水池的总蓄水容积为 $3\,000\,\text{m}^3$,大于蓄水池的设计容积 $2\,000\,\text{m}^3$,满足蓄水要求。因此进行雨水资源化的蓄水池不考虑新建,而是在原有各种景观设施的基础上进行改造。

1.6 雨水调蓄系统

鉴于慧缘馨村小区与人工湿地临近,考虑将人工湿地生态系统之一的雨水湿地系统作为小区雨水的调蓄系统,既解决了调蓄系统大面积占地问题,又将雨水处理与园林景观有机结合。

对于雨水资源化的枢纽设施——雨水调蓄系统,利用人工湿地雨水系统实现,主要基于以下几点考虑 ①人工湿地雨水系统在工艺设计方面已经具备了滞蓄和处理雨水的功能,并且处理 $2\,\text{km}^2$ 汇水区以内产生的径流效果显著 ②在地理位置上,慧缘馨村与人工湿地仅相隔 100 m,结合小区二期在建工程进行雨水输水管网改造是可行的 ③雨水湿地作为调蓄系统可以省略沉淀池、过滤池等配套装置,利用湿地特有的生物多样性和强大的净化功能可以保证出水水质要求。

1.6.1 人工雨水湿地系统构成

雨水湿地占地 $3.4\,\text{万}\,\text{m}^2$,每天处理 $2\,\text{km}^2$ 汇水区内的雨水,约 $2\,000\,\text{m}^3/\text{d}$,接纳由污水湿地前期处理过的污水 $1\,000\,\text{m}^3/\text{d}$ 水面面积约为 $7\,500\,\text{m}^2$,蓄水容积为 $3\,500 \sim 7\,500\,\text{m}^3$,设计深度最深为 1.5 m,湿地底部做了局部的弱渗透处理 经过污水湿地芦苇草床系统处理后的污水,自流排入雨水湿地系统,进行再净化,同时又可以作为雨水湿地的补充水源和城市生态用水水源^[3-4]。

雨水湿地系统主要包括微池塘、前弯池、开阔池塘、连接段、雨水管道出口、溢流口及绿化种植等工程。在小区经蓄水池滞蓄和收集的雨水,经过泵站

提升和各级管线输送,可以通过喇叭口排入湿地,在湿地最前端的前湾池进行沉淀处理。在进入芦苇、香蒲等水生植物密集区域时,利用生物膜以及植物根系的强大分解作用,对雨水中所含有的重金属、有机物等有害杂质进行过滤和分解。经过前期净化后的雨水和由芦苇床污水处理系统处理过的污水共同贮存在雨水湿地中,形成池塘水面,接受湿地生物的深度净化。此时的水质经过长期检测可以达到中水回用要求,并且可以渗入地下以补充地下水,提升地下水位^[5]。

1.6.2 雨水湿地水质分析

由于雨水湿地同时吸纳雨水和由污水草床处理的生活污水,为了保证景观生态用水和中水回用的水质标准,对雨水湿地中污水草床系统出口、前湾池、溢流口和河渠出水水质进行监测分析。通过对水体中 pH 值、 $\rho(\text{SS})$ 、 $\rho(\text{COD})$ 、 $\rho(\text{BOD})$ 、 $\rho(\text{DO})$ 、 $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 和 $\rho(\text{TP})$ 的变化趋势进行分析,可以看出,经过雨水湿地处理后的水体水质各项指标在一定时期内是比较稳定的,均达到回用水水质标准。①pH 值的平均值为 7.48,呈弱碱性,各监测点的变化层次比较明显。②经过污水草床处理的生活污水中悬浮物含量比较稳定。在发生降雨有雨水汇入的情况下,前湾池悬浮物的含量明显增多,主要原因是雨水径流夹带的道路污染物。经过湿地植物的降解和吸附作用后,湿地各监测部位的悬浮物含量明显下降。③COD 质量浓度和 BOD 质量浓度在雨水湿地各监测部位的变化非常明显,污水草床出水中这两个值都较低,从前湾池开始这两个值分别呈现增长趋势,并且在河渠出口的含量达到最高。这主要是由于湿地中藻类难以控制,水体底物浓度过高,影响了处理效果。④氨氮和总磷的含量在雨水湿地变化不大。在污水草床出水时含量比较高,经过湿地生物降解和吸附后明显降低。从不同监测点氨氮和总磷含量的变化过程可以看出,雨水湿地对这两项指标的吸附和分解作用不是很明显,但是水质指标达标。⑤溶解氧质量浓度在雨水湿地各监测部位的变化也比较明显,污水草床处理的生活污水的 $\rho(\text{DO})$ 比较高,当有雨水径流汇入后含量有明显升高趋势。但是湿地生物对溶解氧的消耗作用比较明显,到达河渠出口后 $\rho(\text{DO})$ 有所下降。

2 水量分析

根据降水频率分析,从浑河水文站 1958 ~ 2004 年降水资料中,确定 20%、50%、75%、95% 降水频率所对应的 1974 年、1966 年、1982 年和 1965 年这 4 个

代表年的降水量进行水量分析。

2.1 径流系数确定

由于汇水面上各部分的覆盖情况不同,因此采用不同的径流系数值,而整个汇水面积的平均径流系数则采用各部分面积上径流系数的加权平均值,即 φ 为 0.798。

2.2 水量计算

在进行水量平衡计算时,对于季节折减系数和蒸发损失系数需要特别考虑:①在北方地区全年降水量中有 4 ~ 5 个月为降雪季节,一般鉴于气候、降水量和设备的问题,雨水资源化系统不运行,因此增加一个季节折减系数 β 。从浑南地区的月降水特征和气候特性看,5 月份和 10 月份的降水量也比较丰富,所以在雨水资源化研究中考虑将 5 ~ 10 月份的降水量作为资源量计算,占全年降水量的 86.5%,即 $\beta = 0.865$ 。②在水量计算过程中考虑到蒸散发、填洼、植物截留等损失,所以增加一个蒸发损失系数 γ 。

经过水量计算(表 3)可以明显看出,小区进行雨水资源化改造后雨水利用率可由原来的 6.12% 达到 66.9%,每年仅屋面收集雨水量就可以满足小区景观水系和绿地浇灌的用水量。虽然排入市政管网的水量最终也是到达雨水湿地,作为景观用水和生态用水水源,但是这部分水量完全可以就地解决小区景观生态用水问题,同时对于减轻排水管网压力和增加土壤入渗的效果也是非常明显的。

雨水湿地的设计容积为 3 500 ~ 7 000 m^3 ,每日可以容纳相当于 1 000 m^3 生活污水和 2 km^2 汇水区内的 2 000 m^3 雨水。对于小区的雨水资源化系统而言,从偏于安全的角度考虑,取丰水期的雨水资源利用量进行计算,在资源利用期内相当于每日产流 480 m^3 。将雨水湿地作为雨水资源化的调蓄系统可以实现对这部分水量的调蓄功能。当遇高强度或短历时暴雨,湿地的蓄水水位超过设计水位标准时湿地系统将自动溢流到雨水干线送至雨水泵站,经提升排入浑河。

3 效益分析

①小区通过雨水资源化改造,滞蓄和渗透效果明显,对于恢复地下水采补平衡、遏制地下水位下降、涵养地下水源具有很好功效。②雨水调蓄系统在改善城市环境、调节小气候、提供生态用水水源等方面产生的效益也非常显著。③变城市‘弃水’为资源水,不仅具有避洪、减涝的效能,还具有增水、保蓄的功能。同时降低了长距离调水、水厂处理、管道输送、排污设施,以及提高城市防洪标准的成本。

(下转第 65 页)

州市自来水水价的基础上,从水价中提取适当比例作为专业养护公司水环境治理和维护的资金。提取比例的确定,以能满足恢复水体生态环境和专业养护公司保护、管理水资源需要为前提。专业养护公司获得的此部分经费主要用于水资源的调查、监测、评价、保护、管理等政府事务上和水体的综合整治等公益性工程上。

2.2.3 金融扶持

金融机构本身就是调控社会资金流向和分布的服务机构^[5],苏州市政府应引导融资机构资金进入环保投资领域,金融扶持也可以说是财政扶持。专业养护公司对苏州水环境治理改善实施长效管理,其水环境的调查、监测、评价、保护、管理以及水体的综合整治等都是公益性事务,只有较小的财务收益^[6]。国家开发银行作为政策性银行,应对专业养护公司发放贷款。除了国家开发银行贷款支持以外,在市场经济下,苏州市政府为了鼓励各商业银行给予专业养护公司所需运营经费贷款支持,可以提供贷款担保、贷款贴息及对贷款的银行其他政府政策方面的优惠。这样,通过贷款贴息以及其他优惠政策,苏州市政府可以建立金融机构资金投向优惠机制,促使金融机构的资金大量流入环保领域,有利于促进环保投资多元化、社会化。

金融扶持的具体形式主要有:依靠政策手段取得低价或无息资金(如预算内资金),以较低的利率获取贷款;通过市场取得资金(如债券),这类资金在国家开发银行与商业银行的利率是相同的,但国家开发银行提供的贷款期限可以比商业银行长;专业养护公司可以获得部分贷款利率水平低于资金成本的资金,差额部分由财政贴息;还可以采取其他形式,如投资、担保业务等。

金融扶持的实现程序是 ①在水环境质量的长效管理中,专业养护公司需要持续投入大量的资金,进行诸如水生植物的季节更换、浮床设施的维护、水质的实时监测等环保工作。专业养护公司根据水环境治理和改善所需资金,提出贷款申请;②接到贷款申请的银行进行审核及批复,对符合贷款条件的环保技术及环保项目,国家开发银行以及各商业银行苏州分行应根据信贷原则,积极给予贷款支持;③对专业养护公司提供贷款的商业银行将贷款信息报给苏州市政府有关部门备案,并依据相关金融优惠措施,获得贷款贴息或其他政策等方面的优惠或补偿。

3 其他配套措施

苏州市水环境治理和养护运行的资金除通过财政金融支持外,还可以采取其他辅助性的融资渠道

补充资金的不足。

建立水环境保护捐助资金。该资金接受国内外企业、组织的捐赠,由苏州市政府委托专业养护公司安排使用。水环境保护捐助资金除用于修建、改进水环境保护基础设施、进行苏州水环境综合整治外,还可用于水环境改善工艺技术、设备以及“末端”治理技术、设备等的研究、开发、推广、应用,以及治理重点污染源。

参考文献:

[1] 张志铭. 公共财政下的水利投入机制探讨[J]. 山西水利, 2003(4): 54-55.
[2] 胥树凡. 建立社会化环保投融资机制[N]. 人民日报·海外版, 2001-06-02(10).
[3] 王明远. 论我国可持续发展的环境经济法律制度[J]. 中国人口·资源与环境, 1998(4): 61-66.
[4] 葛察忠. 利用市场手段削减污染: 排污收费、环境税和排污交易[J]. 经济研究参考, 2001(2): 28-43.
[5] 汪毅. 影响环保产业发展的外部因素分析[J]. 环境保护, 2003(5): 46-49.
[6] 吴国平. 应建立水资源有偿使用和补偿机制[N]. 中国水利报, 2001-04-19(3).

(收稿日期 2006-04-07 编辑 舒建)

(上接第 55 页)

参考文献:

[1] 杨丽华. 城市化对城市降雨径流的影响及城市雨洪控制[J]. 山西建筑, 2003, 29(17): 99-100.
[2] 苏晓辉, 陈国浩, 柴均章, 等. 关于实现城市雨水资源化的探讨[J]. 山东水利, 2005(2): 42-44.
[3] 李俊奇, 车武, 汪宏玲. 雨水利用与生态小区[J]. 给水排水, 2003, 29(5): 14-16.
[4] 贾海峰, 张晓健. 城市生态居住区水环境系统规划及其实践[J]. 北京水利, 2003(4): 15-17.
[5] 刘应宗, 李明, 金宇澄. 城市排水规划中雨水资源化问题探讨[J]. 中国给水排水, 2003(19): 97-98.

(收稿日期 2006-06-24 编辑 舒建)

