

天津市某大学校园雨水利用探究

孙欢¹, 刘志强¹, 刘洪海², 田宇²

(1. 天津大学 环境科学与工程学院, 天津 300072; 2. 天津大学 建筑设计规划研究院, 天津 300072)

摘要:雨水是一种宝贵的淡水资源,对其加以利用能够缓解城市水资源短缺的形势,雨水资源化利用正逐渐成为生态校园建设的重要内容。在对天津市某大学校园雨水径流水质进行监测的基础上,设计了雨水资源化技术方案,以保证景观湖、绿地及道路浇洒用水为核心,以自然净化、生态处理和循环净化为关键技术,多种途径收集利用雨水。同时还着重介绍了下凹式绿地、花坛式渗滤净化技术、景观湖净化系统等雨水生态化利用技术的特点及机理。分析与计算表明,该校园的雨水资源化利用方案具有明显的经济、社会和环境效益,能够为其它校园乃至天津市的雨水利用设计提供借鉴。

关键词:雨水资源化;生态化处理技术;下凹式绿地;花坛;景观湖净化系统

中图分类号: TU991.11⁺4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)02-0288-05

Analysis and Research on the Rainwater Utilization on One Campus of Tianjin

SUN Huan¹, LIU Zhi-qiang¹, LIU Hong-hai², TIAN Yu²

(1. School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Research Institute of Architectural Design & Urban Planning, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Rainwater utilization can alleviate the shortage of clean drinking water in many cities. It has also become one of essential parts in the construction of an ecological campus. Based on the monitoring of the rainwater runoff, detailed analysis and research were conducted on the rainwater utilization process. The whole process was designed to guarantee the demand of landscape water body, depending on self-purification, ecological treatment and repeated-purification as the major techniques, reclaiming and utilizing rainwater in variety of ways including sunken green space, flowerbed process and landscape lake purification system. Characteristics and mechanisms of these technologies were illustrated in particular. Analysis and calculation revealed that rainwater utilization on this campus could achieve a lot of economic, social and environmental benefits, which could provide reference for other campuses and even Tianjin City.

Key words: rainwater utilization; ecological treatment technologies; sunken green space; flowerbed process; landscape lake purification system

雨水的资源化利用能够有效缓解城市水资源供需矛盾,补充地下水资源,改善和美化城市环境。通常人们将雨水利用只简单地理解为雨水回用,即将雨水处理消毒后用于冲厕、洗车等。实际上,雨水利用还包括雨水入渗和调控排放两种方式。雨水入渗是指通过绿地、透水性铺装、渗水管等渗透设施将雨水回补地下,涵养地下水资源;雨水的调控排放是在雨水排出区域前暂时蓄存在池塘、洼地等调蓄设施里,待洪峰过后再将蓄存的雨水缓慢排放,以防止雨洪灾

害,减轻城市排水系统的压力。本文尝试结合雨水利用的三种方式,对天津市某大学校园的雨水资源化技术方案进行分析与研究。

1 城市雨水资源化利用的必要性

城市化是人类社会进步的体现,它给人类带来巨大福祉的同时,也产生了很多困扰人类生存发展的问题。随着城市人口的增加和工业生产的规模化,水质污染加剧,水环境不断恶化。加之人口的剧增必然对

水资源产生巨大的需求,导致很多城市都出现了水资源短缺的现象。以天津市为例,人均水资源占有量仅为 160 m^3 ,只占全国人均量的 $1/15$ ^[1],处于全国各省市之末,水资源形势非常严峻。在天津的某些区域,由于地下水严重超采,使地下水位下降的最大深度已达 90 m ,地面沉降区范围达 $7\,300 \text{ km}^2$ ^[2],甚至还会导致海水入侵等更加严重的后果。

此外,城市化也使得自然水文特征发生变化,改变甚至破坏了自然水循环过程。城市里的建筑、广场、道路等不透水路面的增加,削弱了土壤的下渗性能,使得径流量增加,洪水过程线变得尖且陡,从而加重了城市防洪系统的压力。如果还是按照传统的管理理念将雨水简单迅速排除,那么优质的雨水资源将被白白浪费,且会加重排水系统的负担。反之,如果对雨水资源加以利用,不仅可以缓解城市水资源短缺的形势,调节补充地下水资源,减少非点源污染物的排放,改善城市居住环境,还可以减少因排出雨水而产生的防洪费用,具有非常明显的环境、经济和社会效益。

2 大学校园雨水资源化利用的可行性

2.1 校园概况

该大学位于天津郊区大学城内,规划用地总面积 148.7 万 m^2 ,绿化率达 45% ,拥有 3 个景观湖,是天津市重点建设的生态校园之一。整个校园宽敞整洁,环境优雅,景色宜人。校园内各种用地类型的面积及其径流系数详见表 1,其中径流系数参考《建筑与小区雨水利用工程技术规范》。

表 1 校园各用地类型的面积及其径流系数

类型	面积/ hm^2	径流系数
建筑屋面	22.3	0.90
道路、广场	40.5	0.90
透水铺装	8.0	0.40
绿地	66.9	0.15
景观水体	11.0	1.00
合计	148.7	0.54

2.2 天津市的降雨特征

天津地区属半干旱大陆性季风气候,年平均降水量为 $522.2 \sim 663.4 \text{ mm}$,受地形、气候等因素的影响,降水量时空分布不均。在空间上,降水由南向北逐渐增加,北部山区 800 mm ,市区及周围近郊 500 mm 左右;在年内分布上,6—9 月降水量占全年降水总量的 85% 左右,且主要集中在 7 月下旬和 8 月上旬^[3]。于 2011 年在该校园内对全年的降雨情况进行了实地监测,表 2 列出了部分典型降雨事件的相关信

息,其中降雨量采用自记雨量桶进行测量(型号 3554WD),数据采集间隔设置为 5 min 。从表 2 中可以看出,天津地区雨季的降雨以暴雨为主,历时短强度大,基本上每 10 d 左右会有一场中等强度的降雨。

表 2 2011 年部分典型降雨事件的特点

日期 (月-日)	降雨量/ mm	历时/ h	平均降雨强度/ ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)	前期晴 天数/d
06-30	20.3	0.5	40.6	7
07-07	6.9	1.0	6.9	7
07-14	18.6	1.5	12.4	7
07-24	43.0	3.5	12.3	9
07-29	89.8	10.0	9.0	5
08-07	21.9	2.0	11.0	9
08-23	11.8	0.5	23.6	16
08-31	31.6	1.5	21.1	2

2.3 校园的雨水水质特征

雨水资源化利用的可行性不仅取决于降雨量及其时空分布,还取决于雨水的水质状况。而雨水径流水质主要与下垫面材料及污染状况、降雨强度、降雨量、降雨间隔时间等因素有关。为了明晰该校园雨水径流的水质特性以及降雨产流过程中污染物浓度的变化情况,以便为校园的雨水资源化技术方案的设计提供理论依据,于 2011 年 6—9 月对该校园的四场降雨的径流水质进行了取样监测,取样时间分别为降雨开始后的第 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90 min。其中,路面雨水取自该校园的主干柏油路,试验面积为 200 m^2 ;屋面雨水取自一栋 6 层的学生公寓,建筑面积 992 m^2 ,屋顶为 SBS 防水屋面。自记雨量桶同时也采集到了降雨量的具体数据。表 3 为所监测的四场降雨中各污染物的次降雨径流平均浓度(EMC)。EMC 的计算及径流量的处理方法参考文献[4]。虽然降雨条件不同,但污染物浓度的变化规律相似。本文选择 8 月 7 日的典型降雨事件作为分析对象,绘出了此次降雨中部分污染物浓度随降雨历时的变化过程(图 1—2)。

表 3 表明,屋面雨水水质较好,只有 TN 未满足地表 V 类水质的要求;路面雨水水质较差,所列指标只有 TP 接近 V 类水质。从图 1—2 中不难看出,在降雨初期,各种污染物的浓度均较高,具有明显的初期冲刷效应。随着降雨历时的增加,污染物浓度整体呈下降趋势,最后趋于稳定。综上,整个校园应优先考虑收集利用屋面雨水,初期雨水需进行弃流处理,以减轻后续处理的负荷;而对路面雨水要进行截污净化后再考虑收集利用,或者直接将其排入市政污水管网。

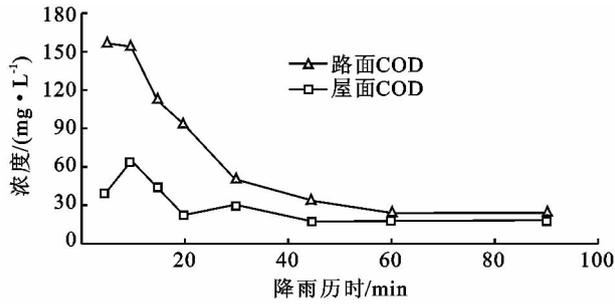


图1 8月7日降雨中路面和屋面雨水的COD浓度随降雨历时的变化

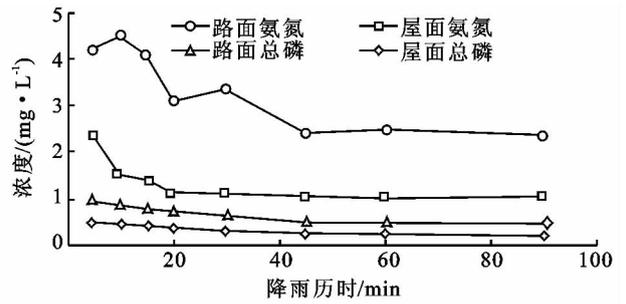


图2 8月7日降雨中路面和屋面雨水的NH₃-N、TP浓度随降雨历时的变化

表3 4场降雨中各污染物的次降雨径流平均浓度(EMC值)

项目	悬浮固体(SS)	化学需氧量(COD)	氨氮(NH ₃ -N)	总氮(TN)	总磷(TP)
范围	110.0~139.3	99.4~109.8	3.01~4.15	6.14~10.80	0.51~0.69
路面					
平均值	128.3	104.0	3.46	8.55	0.57
标准偏差	13.6	6.4	0.52	2.51	0.08
屋面					
平均值	41.8	36.9	1.78	4.19	0.17
标准偏差	8.8	12.5	0.69	1.11	0.05

3 校园雨水资源化技术设计方案

天津雨季降水充沛,校园的雨水水质较好,且下垫面良好,因此雨水的收集利用是完全可行的。考虑到维持校园的绿化及大面积的景观湖需要大量的自来水,因此本校园的雨水资源化技术方案以景观湖、

绿地及道路浇洒用水为核心,以自然净化、生态处理和循环净化为关键技术,多种途径收集利用雨水,把雨水调蓄、雨水入渗、景观水质保障等目标结合起来进行综合设计,以期实现整个系统的协调性和持续性。图3为该校园的雨水资源化技术设计方案流程图。

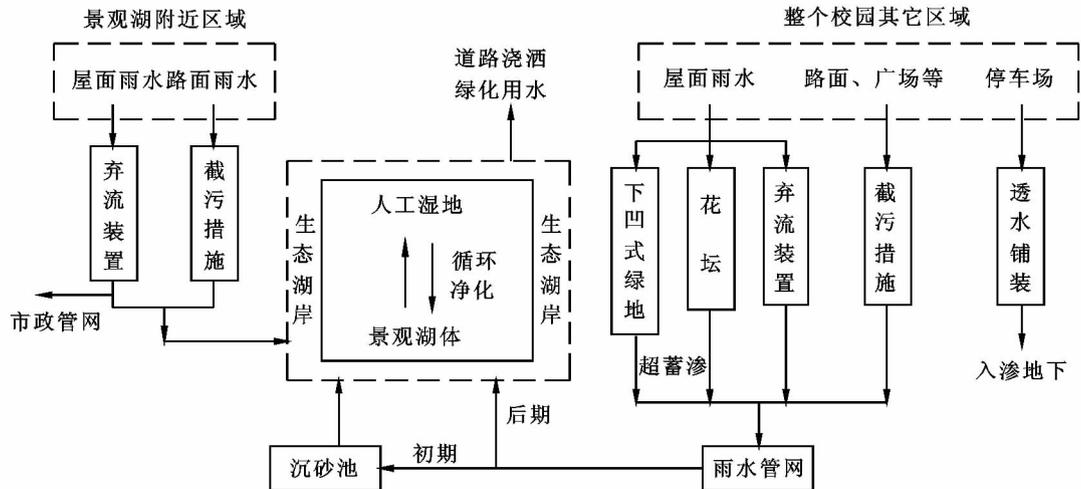


图3 校园雨水资源化技术设计方案流程图

在景观湖附近的较小区域内,经过初期弃流后的屋面雨水通过雨水管网直接排入景观湖,根据监测到的径流水质情况并参考类似研究^[5],确定弃流量为2 mm;路面雨水经过截污后进入景观湖,截污措施包括截污挂篮、沉淀井、植被浅沟等。而在校园的其它区域,屋面雨水分别排入下凹式绿地和花坛进行入渗或净化,对超蓄渗雨水进行收集;路面、广场等雨水经过截污后进入雨水收集管网。在雨水管网的末端设有沉砂池和雨水泵站,初期雨水经过沉砂处理,去除比

重较大的颗粒物后经提升泵打入景观湖;后期雨水水质较好,不经过沉砂池,直接用泵送至景观湖。景观湖对雨水进行调蓄。湖内设计有一定面积的人工湿地,采用一定的措施使水体循环流动后,可以实现对雨水的循环净化,净化后的雨水可以用于道路浇洒和绿化。下面对校园的几种雨水生态化处理与利用技术进行分析与研究。

3.1 下凹式绿地雨水蓄渗利用技术

绿地既是汇水面又是一种有效的径流截污措施,

并具有调蓄雨水和增加下渗的功能。根据学校的实际情况结合本地的土壤、气象等条件,通过调整道路地面、绿地地面以及雨水口的高程,使校园绿地地面低于道路地面,将雨水口设在绿地中,雨水口高于绿地但低于路面高程。这种下凹式绿地雨水蓄渗利用技术是低冲击开发模式在雨水利用方面的一种最简便的应用,不仅简单易行、工程投资少,而且利用效果好^[6]。

城市绿地土壤的人渗性能试验表明^[7],有草坪的地表稳定入渗率比无草坪地表大 5%~25%,最初 1 h 的累计入渗量,绿地比裸地大 30%,究其原因植物根系的生长衰亡过程能够提高土壤的入渗性能。在此基础上,下凹式绿地还充分利用下凹空间蓄集雨水,显著增加了雨水的入渗时间。基于以上两点,下凹绿地能够显著增加雨水入渗量,减少径流量,削减洪峰流量。叶水根等^[8]通过计算证实,在一倍汇水面积的情况下,对于 10 a 一遇的暴雨,下凹式绿地的降雨拦蓄率为 87.15%,洪峰削减率为 71.04%,蓄渗、减洪效果极为明显。此外,下凹式绿地还有净化地表径流,削减非点源污染物的作用。这主要得益于降雨过程中土壤及植物根系对悬浮物、氮磷等污染物的吸附、过滤和截留作用,以及降雨之后微生物对这些污染物的降解作用,是生物与非生物共同作用的结果^[9]。

基于上述种种优点,设计时将下凹式绿地作为校园绿化的主要形式(图 4)。校园内的一些教学楼为雨水内排水系统,雨水立管在建筑物内部,只在建筑下端靠近散水的地方伸出建筑物,雨水通过散水进入下凹式绿地。绿地内设有雨水篦,水质良好的超蓄渗雨水通过雨水口进入雨水收集管网。

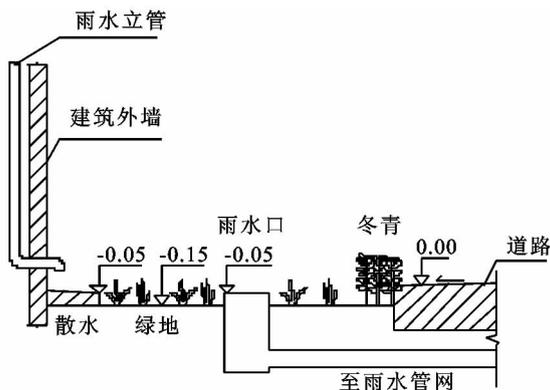


图 4 下凹式绿地雨水蓄渗利用技术示意图

3.2 花坛式渗滤净化技术

花坛式渗滤净化技术的本质是人工土壤处理系统,是基于土壤学、植物学及微生物学等基本原理而建立的,在土壤、植物根系及微生物的共同作用下,经

过一系列物理、化学、微生物过程净化雨水。它把雨水的收集、净化、利用进行结合,从而构成了一个雨水净化处理与景观绿化相结合的生态系统。

在建筑物的周围修建高于地面的花坛,屋面雨水通过雨水立管引到花坛内进行入渗,如图 5 所示。土壤中种植多种植物,土壤层下面分别是砂层和砾石层,砾石层内设有穿孔集水管。雨水经过渗滤、截留、吸附及微生物的降解等作用得以净化,最后收集到的雨水可以进入雨水管网或者进一步排入绿地进行入渗。同时,在花坛的内部还设有上凸式雨水篦,将超蓄渗的中后期雨水收集至雨水管网。这种花坛式渗滤净化技术是一种生态化的雨水净化和收集利用技术,具有显著的生态和环境效应。

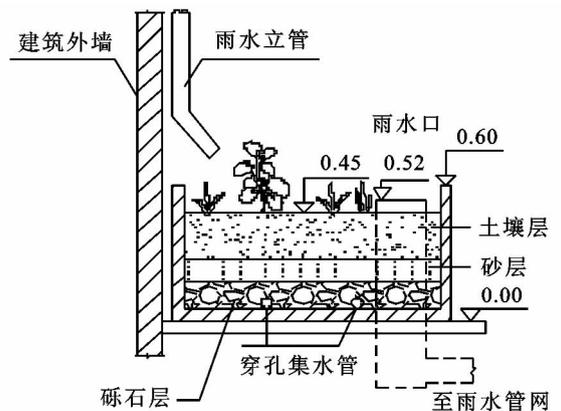


图 5 花坛式渗滤净化技术示意图

3.3 景观湖雨水生态净化系统

景观湖是一种有效的雨水调蓄设施,通过合理的设计后还可以实现净化雨水的功能。该校园拥有一个中心湖和两个镜湖,一对镜湖对称呈眼镜状且互相连通,3 个景观湖水体总面积达 11 hm²。通过合理的布置与设计,构成中心湖和镜湖两个独立的景观湖生态净化系统,每个生态净化系统主要包括湿地系统、生态湖岸等。

根据污染物负荷、水力停留时间等要求,在每个景观湖内设计一定面积的人工湿地。通过土壤—植物根系的过滤、沉淀、吸附等物理作用及污染物与基质间的多种化学反应,植物的同化、吸收作用以及微生物对污染物的降解作用^[10-11],雨水在人工湿地中得到净化。同时景观湖采用外部机械动力加快水体循环流动,这样,人工湿地就可以对景观水体进行循环净化处理,可以保持景观湖的水质。

湖岸是景观湖的组成部分,湖岸的形式不仅影响着径流雨水的水质,还在一定程度上影响着水体的生态价值和美学价值。3 个景观湖都采用自然生态的湖岸形式,以生态防护为手段,采取自然形态的水岸处理形式。湖岸种植柳树等根系发达的植物,能够稳

固河床、保持水土;树下种植绿地,雨水经过绿地截污净化后,通过地表漫流的形式进入景观湖;岸边种植芦苇、水葱、香蒲等挺水植物,以避免沿岸死水区发生富营养化,保持水体水质。经过立体绿化,完全自然生态形式的湖岸既能够稳定河床、净化雨水,又能够改善生态、美化环境,图6是该校园内的景观湖及其人工湿地。



图6 景观湖及其人工湿地

4 雨水利用效果

整个校园实施上述的雨水收集利用工程后,通过水量平衡估算,在6—9月能够充分满足景观湖的需水量。雨水在景观湖进行循环净化后,既能够被抽取用于道路浇洒、绿地浇灌等,又能够降低水位为下一次蓄洪做准备;假定景观湖湖水被抽取利用时水位的下降量为0.1 m,每年雨季按照8场中等强度的降雨计算,每年能减少自来水用水量约8.8万 m^3 。景观湖还具有很强的调蓄能力,允许的最大水位变化范围是0.7 m,那么调蓄总容积为7.7万 m^3 ,相当于一次的调蓄能力为96 mm日降雨量(大于天津地区2 a重现期的24 h降雨量)。由此在校园内62.8万 m^2 的不透水下垫面上,可减少多种污染物的排放量(基于表1和表3的计算结果,年降水量按500 mm计):SS约为30.64 t/a,COD约25.17 t/a, $\text{NH}_3\text{-N}$ 0.90 t/a,TN 2.20 t/a,TP 0.13 t/a。综上,整个校园的雨水资源化利用具有明显的经济效益、社会效益和环境效益。

5 结论和建议

(1) 对雨水水质的监测发现,初期雨水污染较严

重,在雨水回用工程中建议对初期雨水进行弃除,弃除量要根据具体情况而定,以提高雨水水质,减少处理费用。

(2) 下凹式绿地、花坛式渗滤净化技术及人工湿地等雨水的生态化处理设施是雨水利用的有效形式,同时还具有很高的生态价值和美学价值。鉴于天津水资源短缺的形势,建议在城市小区、医院、宾馆等地方广泛推广建设此种形式的生态化雨水利用设施。

(3) 以景观湖、绿化及道路浇洒用水为核心,以自然净化、生态处理及人工湿地循环净化为关键技术的校园雨水资源化方案,能够有效节约常规水资源,保护生态环境,也能够为今后类似校园的建设提供借鉴,值得推广应用。

参考文献:

- [1] 高建颖,赵德奎.天津市水资源可持续利用评价[J].地下水,2007,29(3):1-3.
- [2] 孙津媛,张健.天津市水资源的可持续发展[J].水利科技与经济,2010,16(11):1284-1286.
- [3] 王晓霞,徐宗学,阮本清.天津市降水量变化趋势的时空分布特征[J].干旱区资源与环境,2008,22(9):92-96.
- [4] 李倩倩,李铁龙,刘大喜,等.天津市不同土地利用类型雨水径流污染特征[J].环境污染与防治,2011,33(7):22-26.
- [5] 车伍,张炜,李俊奇,等.城市雨水径流污染的初期弃流控制[J].中国给水排水,2007,23(6):1-5.
- [6] Environmental Protection Agency. Low Impact Development (LID): A Literature Review [R]. Washington, DC: EPA, 2000.
- [7] 潘安君,张书函,陈建刚,等.城市雨水综合利用技术研究与应用[M].北京:中国水利水电出版社,2010.
- [8] 叶水根,刘红,孟光辉.设计暴雨条件下下凹式绿地的雨水蓄渗效果[J].中国农业大学学报,2001,6(6):53-58.
- [9] 杨清海,吕淑华,李秀艳,等.城市绿地对雨水径流污染物的削减作用[J].华东师范大学学报,2008(2):41-47.
- [10] 王书文,邹轶,张吉娜,等.大学园区污水生态处理技术工艺及系统设计[J].水土保持研究,2004,11(3):196-198.
- [11] Lee S, Maniquiz M C, Kim L H. Characteristics of contaminants in water and sediment of a constructed wetland treating piggery wastewater effluent[J]. Journal of Environmental Sciences, 2010, 22(6): 940-945.