

基于雨水利用的高校校园生态景观营造

——以沈阳市东北大学(浑南校区)为例

曲鹏慧, 于丁一, 董泽强, 闫晓含, 景元蕾, 石平* (东北大学江河建筑学院, 辽宁沈阳 110169)

摘要 以沈阳市建设“海绵城市”为背景, 深入分析高校利用雨水设计生态景观的相关概念和基本方法, 解析两者之间的关系。学习国内外杰出的校园生态景观设计案例, 结合沈阳市的生态条件, 以东北大学(浑南校区)为研究对象, 分析沈阳市高校生态景观设计利用雨水的可行性。采用雨水花园、蓄水池等技术手段规划设计建筑馆区的景观, 并对现存的蓄水池适用性进行综合评价, 以期为其他高校利用雨水资源营造校园景观提供借鉴。

关键词 沈阳市; 高校; 雨水高效利用; 生态景观; 干旱与内涝
中图分类号 S731.9 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)24-0168-06

Campus Ecological Landscape Construction Based on the Rainwater Utilization——Taking Northeastern University (Hunnan Campus) as the Research Object

QU Peng-hui, YU Ding-yi, DONG Ze-qiang, SHI Ping* et al (Jiangho Architecture College, Northeastern University, Liaoning, Shenyang 110169)

Abstract The related concepts and basic methods of using rainwater to design ecological landscape in universities were deeply analyzed by taking the construction of sponge city in Shenyang as the background, while the relationship between rainwater use and landscape design in colleges and universities was analyzed. Taking Northeastern University (Hunnan campus) as the research object, the feasibility of using rainwater in ecological landscape design of university in Shenyang was analyzed, by studying the outstanding ecological landscape design cases at home and abroad, and combing with the ecological conditions of Shenyang City. Rainwater garden and cistern and other technical means were adopted in landscape planning and design of building area, and a comprehensive evaluation of the existing reservoir suitability was made in order to provide reference for other universities to use rainwater resources to build campus landscape.

Key words Shenyang; Campus; Rainwater efficient utilization; Ecological landscape; Drought and waterlogging

高校校园利用雨水资源进行生态景观营造是一个系统的、复杂的和长期的过程, 在具体的设计应用中, 要考虑每一个雨水利用设施的细节构建, 处理好校园片区各个雨水处理子系统之间的联系, 以及对校园雨水系统整体的运行进行预先模拟及优化, 提高雨水处理系统的人工操作性, 建设基于雨水利用的智慧的、经济的、生态的高校校园景观。

高校校园内高效利用雨水资源在很大程度上可以实现绿化用水的自给自足, 既可以灌溉绿植, 涵养地下水源, 也可以构建水景, 增添景观特色。东北大学(浑南校区)利用雨水进行生态景观的设计和和实践, 以点带面, 为沈阳市其他高校的建设和改造提供值得借鉴的经验, 推动沈阳市“海绵城市”的建设进程。

东北大学(浑南校区)是对于沈阳市政府建设“大学城”策略的积极响应。在新校区建设中, 东北大学基于政策支持, 利用沈阳市地形平坦、雨季降水量大、水源充足和土壤结构渗水性强等自然优势, 大胆运用雨水利用和校园景观结合建设的新模式, 既实现了校园内绿植浇灌用水的自给自足, 又提升了校园景观的丰富度。笔者以浑南校区建筑馆区场地为具体设计对象, 利用雨水植草沟、雨水花园、地面透水性铺装、人工湖和人工湿地等雨水利用设施, 构建校园雨水系统的子系统, 对已建成的雨水利用设施的运行情况进行综合

评价, 提出蓄水池改造利用方案。

1 研究背景

1.1 沈阳水资源状况与城市内涝问题 沈阳境内汇有辽河和浑河等丰富的自然水体, 区域年平均水资源为 $3.684 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。其中, 区域年平均地下水资源为 $2.3648 \times 10^9 \text{ m}^3$; 境内年地表水利用量为 $1.3192 \times 10^9 \text{ m}^3$, 约占径流量的 16%^[1]。然而, 沈阳是一个严重缺水的地区, 人均水资源为 486 m^3 , 约是辽宁省人均占有量的 1/2, 全国人均占有量的 1/5^[1]。

沈阳夏季高温多雨, 雨季集中在每年 6、7、8 月份, 内涝严重, 期间由暴雨引发城市内涝问题^[2], 而其他时间相对干旱, 水资源在时间分配上严重不平衡。

1.2 沈阳市高校利用雨水资源营造生态景观的迫切性 高校校园是城市生态系统的一个重要的子系统。沈阳市域内大学校园总面积约为 2881.8319 万 m^2 , 约占沈阳城市绿地总面积的 14.49%, 在沈阳市绿地系统规划中占有极其重要的地位。截至 2016 年, 沈阳市多所高校出现水资源供应不足的情况, 伴随着雨水资源的大量浪费, 给学生的正常生活带来极大的不便, 城市内涝与城市水资源短缺问题也越发严重。利用雨水营造生态景观, 可以有效利用校园中的雨水资源, 调控高校校园中雨水流速, 控制雨水径流量, 减轻排水压力, 促进地下水的积蓄^[3]。

2 雨水利用与高校景观设计的关系

2.1 高校校园内雨水利用 校园景观是由土地、各种建筑、道路及铺装、植物、水体和微生物等实体组成, 土地和建筑物是校园环境的主要组成部分^[4]。高校景观设计与雨水利用的关系主要是通过校园内的土地、水系(池塘)和生态环境紧密联系在一起(表 1)。

基金项目 国家自然科学基金, 青年科学基金项目(51504066); 国家级大学生创新创业训练计划资助项目(201610145102); 教育部直属高校基本科研业务费项目(N161104002)。
作者简介 曲鹏慧(1994—), 男, 山东青岛人, 本科生, 专业: 城乡规划。* 通讯作者, 讲师, 博士, 从事城市景观设计及生态修复研究。
收稿日期 2017-06-26

表 1 高校雨水利用与景观设计关系

Table 1 Relationship between rainwater utilization and landscape design in universities

高校雨水利用措施 Utilization measures of rainwater in colleges and universities	与景观设计的联系 Links to landscape design	功能 Function
植草沟 Grassed swales	一般	暂贮、净化雨水,补充地下水
雨水花园 Rain garden	紧密	滞留、过滤雨水,丰富生态景观
透水性铺装 Permeable pavement	一般	铺装景观,雨水下渗
人工湖 Man-made lake	紧密	生态景观,储蓄、调控雨水
人工湿地 Constructed wetland	紧密	人工生态景观,储蓄雨水

高校利用雨水资源进行校园景观的营造,是一种高效的资源利用和景观建设理念,即结合高校内在的建筑的密集性、水资源利用的多样性、生态景观的多样性等特点,高效利用雨水资源,提升校园景观的丰富度,促进水文循环,提高景观发展的可持续性。

2.2 高校雨水资源有效利用对沈阳市水资源的影响作用

沈阳市范围内高校校园总面积约为 2 881. 831 9 万 m²,按照沈阳市雨水收集量计算公式,可以计算出沈阳高校年收集雨水量约为 8. 801 × 10⁶ m³ (校园规划中一般按照建筑密度不高于 30%,绿化率不低于 40%,该研究均取临界值),是沈阳境内正常年地表水利用量的 6. 67 × 10⁻³ 倍,在沈阳市存量水资源中占有重要地位,有效缓解沈阳市旱季缺水的现状。校园内收集的雨水既可汇入高校水循环系统,涵养地下水源,又可以用作植物灌溉用水和景观建设,减少市政管网系统对高校的投入,自给自足,加速其他设施的建设。

3 国内外案例研究

3.1 国内案例

3.1.1 项目简介。沈阳建筑大学位于东北地区南部,以平原地形为主。校区位于沈阳市浑南新区,占地约 100 hm²。校园整体的景观设计与功能分区联系密切,包括以科研教学为主的人工生态区和以人工河、微型生态保护区为主的半自然生态区。校园绿化覆盖率达到 50%,水域面积约 3. 5 hm²。整体景观设计采用低影响开发(LID)技术思想,减少和削减洪峰流量,实现可持续发展。

3.1.2 景观营造和雨水利用。在设计中,模拟了自然水循环,并结合源头控制的概念,对雨水资源的保护与利用进行了探讨。设施装置按照功能可分为 2 部分:雨水存蓄装置和调蓄装置。其中,存蓄设施主要包括雨水花园、湿塘、生态树池、雨水湿地及蓄水罐;调蓄设施包括引水沟和生态沟。

具体雨水利用方式如下:①建筑屋面雨水利用。将屋顶雨水收集排入中央水系进行过滤、净化处理,对于难以直接汇入中央水系的雨水,利用蓄水罐进行暂处理,同样达到清洁、绿化的目的,提高了建筑屋面雨水的利用效率。②广场道路雨水利用。将道路雨水收集、汇入绿地,减少透水性铺装的消耗,有效利用了道路广场中的雨水。③绿地雨水利用。建设引水沟设施,地面的雨水被排入生态树池。当原有的树池面积不能满足蓄水需要时,扩大树池面积或在雨水花园附近建设,以满足当地雨水调蓄的需要^[5]。④水循环系

统。将稻田种植利用的地下水与屋面、绿地和道路广场等利用的雨水衔接,形成的良好的水循环系统,既能充分利用雨水资源,又能够充分利用稻田的净化功能。

3.2 国外案例 波特兰州立大学设计中对于雨水的利用主要体现在宿舍楼建筑中,建筑设计坚持可持续的理念,充分发掘和利用新型技术,提高雨水的利用率,其平面图如图 1 所示。

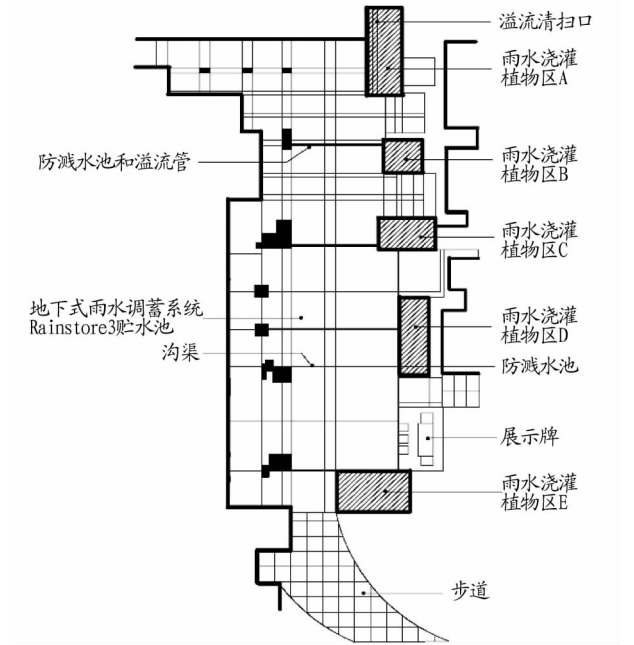


图 1 建筑雨水系统布局

Fig. 1 Layout of building rainwater system

具体雨水利用方式如下:①雨水庭院。建筑屋面雨水通过落雨管排放到位于地面的防溅水池中,雨水在流动过程中经历一定的过滤作用,池中的雨水沿着“河沟”排入种植区,充分利用雨水。降雨强度较大的时期,雨水超过了河沟的运送能力,通过溢流管将防溅水池中的水排到雨水种植区,缓解积蓄压力。②雨水积蓄池。宿舍开敞空间中建设有 4 个防溅水池、5 个雨水种植区。汇入种植区的雨水经过土壤层和砂砾层后渗透进入种植区底部,经过穿孔管的过滤排入积水构筑物。雨水超过种植区 30 cm 的路沿就会汇入到雨水积蓄池中,形成良好的雨水利用体系。③集水坑。雨水经过过滤后从积蓄池流入集水坑,经过井泵加压后将水输送到厕所或者灌溉管道。雨水需要经过紫外线消毒的预处理,压

力开关在水位低于 8 cm 时将会自动停泵;当水位涨至 15 cm 时,水就会通过溢流口排入临近的雨水管理系统^[6]。

4 东北大学(浑南校区)雨水利用途径与雨量计算

4.1 东北大学(浑南校区)简况 东北大学(浑南校区)位于沈阳市浑南新区创新路 195 号,校区总面积约为 89 万 m²,规划期末建筑总面积达 97 万 m²。目前校区已投入使用的建筑包括建筑楼、信息楼、生科楼、文管楼及宿舍、食堂和浴池等公共建筑,总计 11 栋建筑,校区学生人数约为 12 000 人。

东北大学(浑南校区)2016 年年平均用水量为 84 230 m³,其中雨季期间校园用水量较大,约为 92 300 m³,冬季少雨期间约为 76 700 m³,时间维度上存在不均衡性。

4.2 沈阳市雨水利用优势 通过对沈阳市相关资料文献的查询,经过一定的实地考察,分析总结沈阳市高校雨水利用的优势如下。

(1)自然优势。沈阳市的地形较为平坦,气候适宜,四季分明,是高校建设优秀景观的重要前提。

(2)雨季雨水充足。沈阳市降雨集中在每年的 6、7、8 月的雨季,降雨量充足,是高校利用雨水营造景观的基础条件。

(3)土壤结构利于雨水渗透。沈阳的土壤结构有利于雨水的渗透,补充地下水资源,有益于地下水的积蓄和水文循环。

(4)河流资源丰富,形成良好的雨水利用系统。沈阳市境内存在多条河流,流经范围广阔,可以将校园景观营造过程中富余的雨水排入河流内,充分利用天然的雨水循环系统。

(5)政策支持。沈阳市要以生态城市规划为重要核心,力争“海绵城市”试点资格,鼓励和支持相关理念的工程 and 项目。

4.3 相关理论 从景观形式的角度考虑,雨水利用的途径主要有屋顶雨水景观、雨水花园、蓄水设施景观、渗透地面铺装、水质净化生态设施、雨水基础设施(雨水井、雨水口)等^[7]。雨水利用技术主要包括雨水收集技术、雨水储存技术、雨水入渗技术和雨水处理技术等^[8]。

沈阳市在利用雨水花园进行景观营造时,需酌情考虑自身冬季严寒少雨,夏季雨量充足,雨季集中的气候条件、景观设施和地域文化等,走可持续发展之路。

4.4 校园雨水利用途径 直接回收利用:将屋顶、路面和其他方式收集的雨水经过滤网简单的过滤后,直接用于校园内植物的灌溉和景观蓄水,或者作为公共用水进入校园水循环系统,节约用水。

间接处理利用:雨水经过一定的渗透装置,补充地下水。在允许土地空间和土壤渗透性良好的情况下,利用洼地、水池或池塘进行雨水的收集,进行地表蓄水和入渗。同时,可利用渗透井、渗透管(排水管)、雨水花园、下沉式绿地等典型增深设施补充地表土壤的渗透性能^[9]。

5 东北大学(浑南校区)校园雨水利用方法

5.1 雨量计算

5.1.1 数据来源。通过近 50 年来沈阳市的雨水资料统计,沈阳市降水季节性差异较大,降雨集中在 6—8 月份的雨季,可以充分利用该时期的降水特征,收集、利用雨水,反哺生态

环境,丰富校园景观设计。

5.1.2 径流系数法。径流系数计算法的影响参数为不同覆盖面类型的径流系数及有效汇水面积,在确定地区年平均降水量的前提下,计算出该地区的雨水收集量,原理易懂,计算过程简单,计算结果具有较高的参考价值。

结合沈阳市近 50 年的降水资料,通过径流系数法计算东北大学(浑南校区)和建筑馆区的设计雨水收集量^[10]。

5.1.3 雨水收集计算。雨水收集量 Q 计算公式如下:

$$Q = S \times q_1 \times \varphi \quad (1)$$

式中, S 为汇水面积(m²), q₁ 为地区年均降水量(m), φ 为径流系数。

沈阳市年均降水量(1976—2014 年)约为 678.8 mm,不同覆盖面径流系数不同,参照单一覆盖径流系数标准得研究对象建筑屋面径流系数为 0.90,道路和广场(以干砌砖石和碎石路面为主)径流系数为 0.40,绿地和草地径流系数为 0.15。

东北大学(浑南校区)用地总面积为 89.17 万 m²,其中,建筑屋面总面积为 26.7 万 m²(已建),道路和广场总面积为 23.1 万 m²(按照规划期末道路广场用地比 30% 计),绿地和草地总面积为 35.67 万 m²(按照规划期末绿地率 40% 计)。根据雨水收集量公式计算,(浑南校区)校园范围内可以有效收集雨水 262 155.95 m³,规划期末雨水收集量远高于此,丰富的雨水收集量为东北大学(浑南校区)的景观设计提供了充足的基础资源,拥有巨大的发展前景。

5.2 东北大学(浑南校区)校园雨水利用方法

5.2.1 下凹式绿地。

(1)雨水植草沟。植草沟是在校园道路两侧,利用绿地低洼处或者人为沟槽种植水生植物的沟渠,以鹅卵石铺装为主,对雨水进行一定的过滤和净化作用。同时也形成一定的径流通道,调节地表径流(图 2、3)。

植草沟在校园景观中的应用有一定的限制。对于雨水量偏小的地区,雨水植草沟具有很高的生态效益,不仅能改善雨水的质量,还能暂时储蓄雨水,降低径流速度,雨水经过植草沟的过滤和净化作用之后渗入补充地下水;雨水量较大或者内涝的情况下,植草沟的服务能力就会显得不足。

(2)雨水花园。雨水花园是利用雨水的新型景观形式,在生态城市和可持续发展的发展战略中占有重要地位。在高校景观系统中,雨水花园发挥的主要功能包括雨水收集、过滤、净化和再利用,调节控制高校景观系统中的雨水。在高校较常见的雨水利用方式中,雨水花园对于雨水的处理利用能力强于植草沟,雨水调蓄量和净化利用效率都高于植草沟。同时,雨水花园可以为高校景观建设提供更丰富的植物种类和景观形式,提高校园景观的观赏性(图 4)。

常规的雨水花园由蓄水层、覆盖层、种植层、砂层和砾石层 5 部分组成,在雨水花园的上面设置溢流口(图 5)。

5.2.2 透水性铺装。透水性铺装,常见于生活中的景观路面或地面铺装,采用一定的技术手段,使雨水透过路面,直接进入路基的人工铺装。

透水性铺装面层和基层都要具有良好的透水性结构,与



图 2 植草沟示意

Fig.2 Sketch map grass ditch

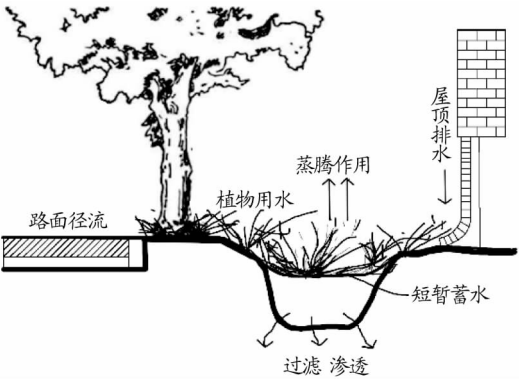


图 3 植草沟构造剖面

Fig.3 Grass ditch section



图 4 雨水花园示意

Fig.4 Rain garden

普通路面铺装材料相比,透水路面材料在校园景观设计中具有较大的发展潜力。校园规划中,大面积广场和绿地中的小径铺设透水性铺装,补充校园地下水源,调洪蓄水,吸收太阳辐射,降低校园温度,生态效益突出(图 6、7)。

5.2.3 人工湖。在校园内的公园、广场和其他景观节点处,水景通常都是大多数教师和学生的集聚地。水景富有活力的表现形式给校园带来了不同的体验。我国在校园内的公园、广场和其他景观节点处的规划设计中,也是以丰富多彩的水景来提高整体生态环境的观赏性。高校内常见的人造水景有人工湖、喷泉、跌水和水景墙等(图 8)。

5.2.4 人工湿地。人工湿地与自然界的湿地相似,是人工建造的雨水处理生态系统。其构造是将土壤和填料按一定坡度填充组成填料床,设置在一定坡度和长宽比的洼地中,

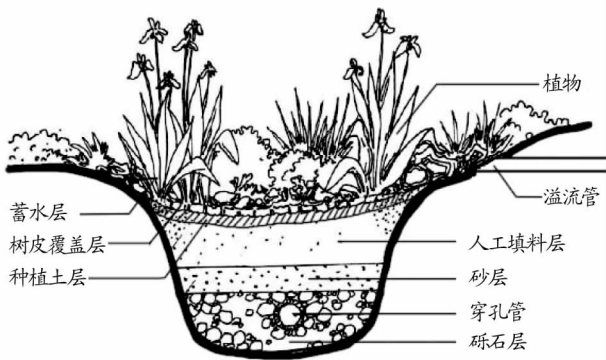


图 5 雨水花园构造剖面

Fig.5 Structural section of rainwater garden



图 6 透水性铺装示意

Fig.6 Hint of permeable pavement

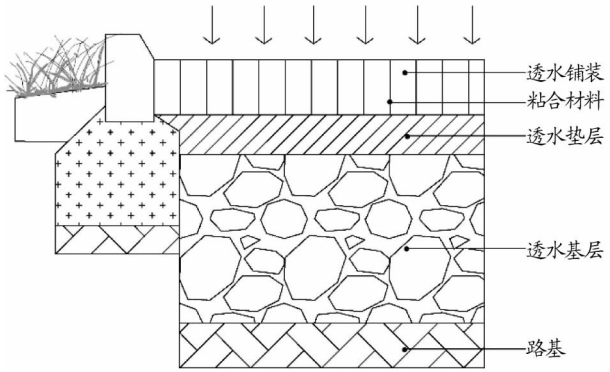


图 7 透水性铺装构造剖面

Fig.7 Structural section of permeable pavement

在填料的表层土壤中种植一些高成活率、生长周期长、净水效果好,既美观又具有景观价值的水生植物^[1],在校园中模拟小型生态系统,收集利用雨水资源,反哺校园生态系统,形成良性循环。

5.3 建筑馆区景观规划设计

5.3.1 蓄水池适用性综合评价。建筑馆区现存一个长 85.825 m,宽 5.525 m,深 0.35 m 的景观水池(图 9)。该水池长期处于枯水状态,雨季期间也未能长期存蓄雨水,不能二次利用雨水资源。该设计研究中将该景观水池作为雨水利用系统中的蓄水池进行改造,既作为校园中的特色景观,又是校园雨水系统中不可或缺的一部分,二次利用雨水资源,提供充足的绿化水源。

(1)初期径流弃流量 q_0 (m³)。

$$q_0 = 10 \times \gamma \times S$$

(2)

式中, γ 为初期径流弃流深度(mm),研究中根据沈阳市雨季降水量统计资料确定深度为 3 mm, S 为汇水面积(万 m²)。

- (2)地区暴雨强度 $q(\text{L/s} \cdot 10^4 \text{ m}^2)$ 。
- $$q = 1984(1 + 0.77\lg P)/(T + 9)^{0.77}$$
 (2014 年) (3)
- 式中, P 为重现期(年), T 为降雨历时,即连续降雨的时段(min)。
- (3)设计雨水流量 $Q(\text{L/s})$ 。
- $$Q = \Phi \times S \times q$$
 (4)
- 式中, Φ 为径流系数, S 为汇水面积(万 m^2), q 为地区暴雨强度($\text{L/s} \cdot 10^4 \text{ m}^2$)。
- (4)蓄水池设计容积 $V(\text{m}^3)$ 。
- $$V = Q \times T \times 60/1\,000 - q_0$$
 (5)



图8 东北大学(浑南校区)南区人工湖

Fig.8 Artificial lake in Northeastern University (Hunnan campus)



图9 建筑馆区的蓄水池

Fig.9 The reservoir in construction area

式中, Q 为设计雨水流量(L/s), T 为降雨历时(min), q_0 为初期径流弃流深度(mm)。

此次评价中降雨重现期为 1 年,降雨历时按 15 min 计算,建筑馆区总面积为 1.83 万 m^2 ,其中,建筑屋面总面积为 7 069.78 m^2 ,道路和广场总面积为 4 578.5 m^2 ,绿地和草地总面积为 6 569.32 m^2 ,分别代入公式(2)(3)(4),计算得初期径流弃流总量 q_0 为 34.941 m^3 (表 2),沈阳市暴雨强度 q 为 171.7 $\text{L/s} \cdot 10^4 \text{ m}^2$,涉及雨水流量 Q 为 157.6 L/s (表 3),将上述计算数据代入公式(5),计算得蓄水池设计容积 V 为 106.9 m^3 。

现有蓄水池容积为 165.96 $\text{m}^3 > 106.9 \text{ m}^3$,不需要改造便能满足目前的雨水收集和处理的需要,更能结合校园景观设计,高效利用雨水资源。

表2 初期径流弃流量
Table 2 Initial runoff discharge

下垫面覆盖层 Underlying surface covering layer	汇水面积 Catchment area//万 m^2	初期径流弃流量 Initial runoff discharge// m^3
道路和广场 Roads and plazas	0.457 8	13.734
建筑屋面 Building roof	0.706 9	21.207
总计 Total	1.164 7	34.941

道路路沿及广场处设置一定数量的雨水集水口,集水口处带有过滤设施,对建筑屋面经由雨水管引导和道路广场汇入的雨水进行简单净化,排入雨水处理系统。当雨水汇入量超过集水口的最大负载时,富余雨水排入蓄水池,可以作为水景丰富校园景观,也可再次利用成为绿化水源。

表3 设计雨水流量
Table 3 Designed stormwater flow

下垫面覆盖层 Underlying surface covering layer	汇水面积 Catchment area 万 m^2	径流系数 Runoff coefficient	设计雨水流量 Designed stormwater flow// L/s
道路和广场 Roads and plazas	0.457 8	0.40	31.44
建筑屋面 Building roof	0.706 9	0.90	109.24
绿地和草地 Green land and grassland	0.656 9	0.15	16.92
总计 Total	1.821 6		157.6

5.3.2 建筑馆区景观规划设计。出于方案设计考虑,研究设计以建筑馆(A、B座)区域为设计对象,基于雨水资源的高效利用进行景观规划设计(图 10)。

建筑馆区总面积为 1.83 万 m^2 ,其中,建筑屋面总面积为 7 069.78 m^2 ,道路和广场总面积为 4 578.5 m^2 ,绿地和草地总面积为 6 569.32 m^2 。根据雨水收集量公式计算,建筑馆范围内可以有效收集雨水 6 231.11 m^3 。

该区域内相对于校园内其他部分,雨水下垫面覆盖层种类丰富,道路广场和绿地占有较大比重,汇水面铺设硬质铺装,通过简单的引导便能收集大量的雨水,汇入雨水处理系统(图 11)。建筑和广场周边设有适量绿地,该部分收集的雨水既可以用于植物的灌溉,富余部分又可以渗入地下,补充校园地下水源。建筑屋面收集的雨水通过排水管进入道路、广场以及绿地等汇水面,随直接降落到该面的雨水一起进入雨水收集、处理系统。因此,该区域可以将雨水利用与景观设计有效结合在一起。

建筑馆 A、B 座之间的广场是整个建筑馆区的主要出入口及活动空间,是建筑馆区景观设计的重点。A 座南侧的雨水花园处,植物种植自由灵活,地形呈山丘状,覆有草地,地表景观形式丰富。同时,高低不平的地势有利于收集雨水的下渗,补充地下水源。整个广场采用砖石铺装,透水性较差,但是便于雨水收集进入蓄水池。广场中部新建两处绿地,绿地一侧设有植草沟,可以暂蓄雨水,并对雨水进行简单过滤、净化后渗入地下,涵养地下水源。入口广场地面铺设在地灯,夜间景色优美。B 座南侧的绿地以草地为主,地势略起

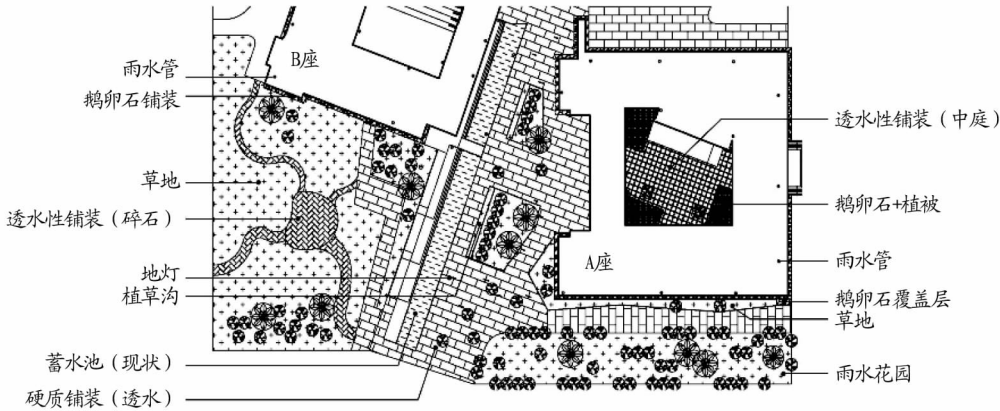


图 10 建筑馆区景观规划改造设计

Fig. 10 Landscape planning and reconstruction design of the museum building

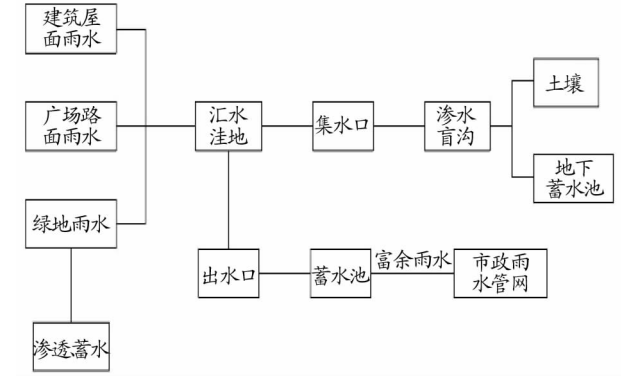


图 11 建筑馆区雨水利用设计流程

Fig. 11 Design process of rainwater utilization in the museum building

伏不平,有利于雨水的渗透,小径铺装是大面的透水性铺装,雨水经由铺装过滤之后渗入地下,补充绿化水源。蓄水池位于A、B座之间,临近入口广场,收集的雨水汇入蓄水池,营造独特的水景,又可以涵养绿化水源,具有很高的生态效益。

参考文献

[1] 张志全,郑泽宴. 沈阳区域水资源动态变化及可持续利用对策[J]. 水土保持研究,2004,11(1):156-159.

[2] 杨楠,冯凯,称正奎. 海绵城市实践探索:以七二四绿地雨洪设计为例[C]//中国城市规划学会,贵阳市人民政府. 新常态:传承与变革:2015中国城市规划年会论文集(02城市工程规划). 北京:中国建筑工业出版社,2015:8.

[3] 胡亚萍,姜宏立,吴世平. 郑州大学新校区雨水收集与利用探究[J]. 能源与环境,2012(6):77-79.

[4] 周森. 老高校校园扩建改造规划原则的探讨[J]. 河海大学学报,1995,23(4):106-110.

[5] 曾彦钦,张耀煌,胡继峰,等. 谈沈阳建筑大学海绵校园改造方案及应用[J]. 山西建筑,2016,42(13):129-131.

[6] 章欣. 苏州独墅湖高校校园雨水收集利用景观设计研究[D]. 苏州:苏州大学,2015.

[7] 王胜利. 海拉尔河东新区雨水收集利用的景观设计研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2011.

[8] 车伍,李俊奇,刘红,等. 现代城市雨水利用技术体系[J]. 北京水利,2003(3):16-18.

[9] 李小雪. 北京雨水人工渗透蓄利用系统优化研究[D]. 北京:北京建筑工程学院,2008.

[10] TSIHRINTZIS V A, HAMID R. Modeling and management of urban stormwater runoff quality: A review [J]. Water resources management, 1997, 11 (2): 137-164.

[11] 梅燕. 若尔盖高原湿地生态旅游资源保护性开发研究[J]. 中国人口·资源与环境,2003,13(6):62-64.

(上接第 156 页)

表 5 不同林龄油松人工林各层次生物量分配比例

Table 5 Percentage of biomass allocation at different layers of *Pinus tabuliformis* in different stand age %

林龄 Age of stand//a	乔木层 Tree layer	灌木层 Shrub layer	草本层 Herb layer	枯落物层 Litter layer
12	55.63	9.55	16.19	18.64
26	96.48	0.55	0.64	2.32
45	96.70	0.40	0.73	2.18

还是树干、树枝、针叶、根系等部位的生物量均出现增加趋势。其中以树干生物量增加最为明显。12、26、45 年生的总生物量分别为 9.79、217.48、276.06 t/hm², 树干所占比例逐渐增大, 分别为 32.79%、45.86%、52.46%。树枝和针叶所占比例随林龄的增大而降低。果实为 26 年生占比例最大, 为 3.00%。根系所占比例变化不大, 为 16.10%~16.93%。

(2)各层次生物量所占比例随林龄的不同而不同。乔木层占绝对优势。各层次的生物量从大到小依次为乔木层、枯落物层、草本层、灌木层。

参考文献

[1] 徐新良,曹明奎,李克让. 中国森林生态系统植被碳储量时空动态变化研究[J]. 地理科学进展,2007,26(6):1-10.

[2] 杜虎,宋同清,曾毓平,等. 桂东不同林龄马尾松人工林的生物量及其分配特征[J]. 西北植物学报,2013,33(2):394-400.

[3] 朱燕飞,胡海波,徐娜,等. 不同林龄麻栎林地上生物量及碳储量的分布特征[J]. 林业工程学报,2014,28(1):20-24.

[4] 赵金龙,王烁鑫,韩海荣,等. 辽河源不同龄组油松天然次生林生物量及空间分配特征[J]. 生态学报,2014,34(23):7026-7037.

[5] 贾全全,罗春旺,刘琪璟,等. 不同林分密度油松人工林生物量分配模式[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2015,39(6):87-92.

[6] 王宁,王百田,王瑞君,等. 晋西山杨和油松生物量分配格局及异速生长模型研究[J]. 水土保持通报,2013,33(2):151-155.

[7] 许丰伟,高艳平,何可权,等. 马尾松不同林龄林分生物量与净生产力研究[J]. 湖北农业科学,2013,52(8):1853-1858.