

文章编号: 1007-4929(2019)11-0085-06

基于多孔吸滤材料的自动灌排垂直绿化装置的结构设计和参数确定

刘旭飞¹, 同炫玥¹, 周伟¹, 蔡耀辉^{1,2}, 张林^{1,2}

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 咸阳 712100; 2. 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 咸阳 712100)

摘要: 为了实现垂直绿化中针对不同景观植物的灌溉需求, 设计了基于多孔吸滤材料的自动灌排垂直绿化装置。装置利用土壤水分平衡原理, 通过多孔吸滤材料使土壤水势由负压向正压的变化, 营造不同的土壤水分环境, 以满足多种景观植物需水要求, 并通过土壤含水率与土壤基质势之间耦合关系调节灌水器出流量, 实现针对不同植物的自动灌溉。为了确定装置参数, 将水箱高度、土壤埋深、吸水线材材质及直径、多孔陶瓷渗水片原料配比作为待定参数, 通过景观植物灌溉需水量的理论计算、不同线材材质及直径对土壤吸水高度和含水率的影响试验的结果分析, 多孔陶瓷渗水片原料配比优选, 确定了装置中各项待定参数。通过效益分析对比, 装置较现有垂直绿化装置成本降低 50%~70%。

关键词: 垂直绿化; 自动灌排; 多孔吸滤材料; 模块化设计

中图分类号: S275.4 文献标识码: A

Structural Design and Parameter Determination of Automatic Irrigation and Drainage Vertical Greening Device Based on Porous Absorbent Filter Material

LIU Xu-fei¹, TONG Xuan-yue¹, ZHOU Wei¹, CAI Yao-hui^{1,2}, ZHANG Lin^{1,2}

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering of China, Northwest A&F University, Xianyang 712100, Shaanxi Province, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Xianyang 712100, Shaanxi Province, China)

Abstract: In order to meet the irrigation requirements of different landscape plants in vertical greening, an automatic vertical greening device based on porous filter material is designed. The device realizes the change of soil water potential from negative pressure to positive pressure through Porous absorbent filter material by using the principle of soil water balance, so that the soil water potential is maintained at different pressure values, thereby creating different soil moisture environments to meet the water requirements of various landscape plants. And through the coupling relationship between soil moisture content and soil matrix potential, the discharge flow of emitters is adjusted to achieve automatic irrigation for different landscape plants in vertical greening. In order to determine the parameters of the device, the water tank height, soil depth, water-absorbing wire material and diameter, and porous ceramic emitter material ratio are taken as the parameters to be determined. Through the theoretical calculation of water demand for landscape plant irrigation, the analysis of the impact test of different wire materials and diameters on soil water absorption and water content and the ratio optimization of porous ceramic emitter, the parameters are determined. Through the benefit analysis comparison, the cost of the device is reduced by 50%~70% compared with the existing vertical greening device.

Key words: vertical greening; automatic irrigation and drainage; porous absorbent filter material; modular design

收稿日期: 2019-06-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(551879225); 宁夏回族自治区重点研究开发项目(2018BBF02006); 陕西省重点研发计划项目(2017NY-118); 杨凌示范区科技计划项目(2017NY-28)。

作者简介: 刘旭飞(1998-), 男, 本科生, 专业方向为能源动力工程。E-mail: liuxufe370106@163.com。

通讯作者: 张林(1981-), 男, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事节水灌溉理论与设备研究。E-mail: zl0211wy@163.com。

“热岛效应”是中国乃至世界城市化进程中最为严峻的挑战之一,而垂直绿化作为一种新型城市绿化方式,通过墙面进行绿化减少了城市绿化对土地的占用,在促进城市植物多样性、提高空气质量、改变区域小气候和减轻热岛效应上作用显著^[1]。广义上的垂直绿化指尽可能少占用或不占用绿化用地,对平行于地面的建筑顶部或垂直于地面的构筑物进行合理绿化^[2];狭义上的垂直绿化特指利用攀缘植物对建筑外墙、栏杆、栅栏、屋顶、窗台、护坡、高架桥、立交桥等处进行绿化的方式^[2]。垂直绿化的理念在于将传统平面绿化扩展到三维空间,并利用植物材料沿建筑立面或者其他构筑物表面攀附、固定、贴植、垂吊形成垂直面,在一定程度上缓解了城市绿化区域减少和绿化需求增加之间的矛盾。欧美等国家已经开展关于垂直绿化的植物种类选择、支撑结构的研发以及后期维护管理措施等方面的研究,尤其在西欧、美国和东南亚地区的垂直绿化设计、施工以及维护方面的技术已经比较成熟。相比较之下,由于垂直绿化在我国发展历程较短,理论研究尚处于起步阶段^[3]。

目前各国研制的垂直绿化装置种类繁多,垂直绿化装置总体结构可分为:布袋式、铺贴式、固态基质式、和竖立花坛造景式等。Fukuzumi于1996年提出了一种用于垂直或倾斜的墙体表面绿化的植物种植技术,其主体部分是一个具有弹性、透气性、不透水性的软性气囊,灌溉时将气囊水平放置进行一次性灌水^[4];吴丹妮等发明的一种定时喷淋的立体绿化喷灌系统,该装置通过电磁阀门将输水管道与蓄水池相连接,起到定时对植物进行喷淋的作用,降低人工养护成本^[5];杨英亮等设计的一种垂直绿化滴灌装置,将水泵与出水管相连,通入接水容器连接块的内部,接水容器底部有固定连接的压力开关以控制滴灌装置的输水时间,起到控制灌水时间的作用^[6]。在实际应用中,以上装置设计为加快垂直绿化产业发展提供了很好的参考依据。但是这些垂直绿化装置基本采用滴灌和微喷灌进行灌溉,无法制定针对小区域的不同景观植物的灌溉制度,采用统一灌溉制度进行灌溉,导致灌溉不合理,进而造成土壤(或有机质)流失、水资源浪费或植物大量缺水枯死的现象,极大限制垂直绿化产业的发展。

为此,本文为了实现垂直绿化中针对不同景观植物的灌溉需求,营造出不同土壤水分环境,以满足多种景观植物需水要求,设计出基于多孔吸滤材料的自动灌排垂直绿化装置,将水箱高度、栽培壳土壤埋深、吸水线材料质及直径、多孔陶瓷渗水片原料配比作为待定参数,再通过景观植物灌溉需水量的理论计算、不同线材料质及直径对土壤吸水高度和含水率分布影响试验的结果分析,多孔陶瓷渗水片原料配比优选,最终确定了垂直绿化装置中的各项待定参数,最后通过效益分析对该装置经济性能进行进一步的探究。

1 自动灌排垂直绿化装置结构设计

1.1 设计思路

为了满足垂直绿化中各种景观植物对土壤水势的要求,结合吸水线材料主动吸水特点,使植物利用土壤基质势(土壤吸力)主动从水箱中吸取水分,并在水箱前侧利用多孔陶瓷片进行渗

流,实现土壤水势由负压向正压的变化,使装置内土壤水势维持在不同压力值,从而营造出不同的土壤水分环境,以满足多种景观植物需水要求,并通过土壤含水率与土壤基质势之间的耦合关系调节灌水器出流量,实现垂直绿化中针对不同作物的自动灌溉。同时,装置进水口设置浮球阀,配合水箱侧方溢流出水口,以控制水箱水位,实现自动灌排功能。

1.2 结构设计

如图1所示的基于多孔吸滤材料的自动灌排垂直绿化装置,装置主要由支撑架、防水布、栽培壳、水平隔板、垂直隔板、渗水片、吸水线材料、水箱、进出水口、连接口、浮球阀等组成。为确定垂直绿化装置中关键部位的技术参数,现将栽培壳高度设为 H 、水箱高度设为 H_w 、多孔陶瓷渗水片原料配比为 X_i 、吸水线材料种类设为 W_i 。

如图1(a)所示,固定于墙面的支撑架通过平台外边缘的凸起限定栽培壳的位置;防水布为PE涂层布,由L型平面角码与膨胀螺丝配合固定于防水布四角,起到防止水分渗入墙面影响墙体强度的功能;栽培壳由聚丙烯材质制成,放置于支撑架的水平凸起平台上,栽培壳长800 mm,宽200 mm,高 H mm,栽培壳前侧开有直径和间隔均为30 mm的 n 个圆孔,用以限定景观植物栽培位置。

如图1(b)所示,水平隔板和垂直隔板为聚丙烯材质,水平隔板长800 mm,宽200 mm,厚8 mm,安装于栽培壳内壁 H_w 高度位置,水平隔板将栽培壳分为上下两个空间,垂直隔板位于水平隔板下部,垂直于栽培壳底面安装,将下部空间分为前后两个部分,垂直隔板长800 mm,厚8 mm,高度与水箱高度相同为 H_w 。水平隔板和垂直隔板分别开有孔洞用以安装渗水片和吸水线材料;渗水片为微孔陶瓷渗水片 X_i ,微孔陶瓷渗水片四周表面光滑,用粘连工艺固定在水平隔板与垂直隔板圆孔内,微孔陶瓷渗水片为薄圆片结构,由具有微米孔径的微孔陶瓷材料加工而成,该微孔陶瓷渗水片中具有大量相互连通的微孔形成的孔道,水分可在这些孔道中流动;吸水线材料为 W_i ;水箱位于垂直隔板后侧,是由水平隔板、垂直隔板和栽培壳共同围成的储水装置,水箱一侧设置有进出水口,另一侧设置有连接口,进出水口、连接口均安装连接头,同一层初始栽培壳内的水箱进水口安装有控制水位的浮球阀。当水箱正常工作时,水流自进水口进入水箱,并通过连通口进入同水平方向的另一个栽培壳内的水箱,以此类推,直到水流进入同一层的每一个栽培壳内的水箱。随着水位的上升,进水口内安装的浮球阀随水位一同上升,直到达到满足栽培容器内景观植物正常生长的需水量的设计水位时,浮球阀将进水口关闭,植物消耗水分后,水位下降使浮球阀下落,进水口打开继续供水,最终达到水箱水位智能控制的目的。

1.3 装置特点

(1) 自动灌溉。装置利用土壤水分平衡原理,通过多孔吸滤材料实现土壤水势由负压向正压的变化,使装置内土壤水势维持在不同压力值,从而营造出不同的土壤水分环境,以满足多种景观植物需水要求,并通过土壤含水率与土壤基质势之间的耦合关系调节灌水器出流量,实现垂直绿化中针对不同作物的自动灌溉,有效解决因灌溉制度不合理造成的水土流失或景

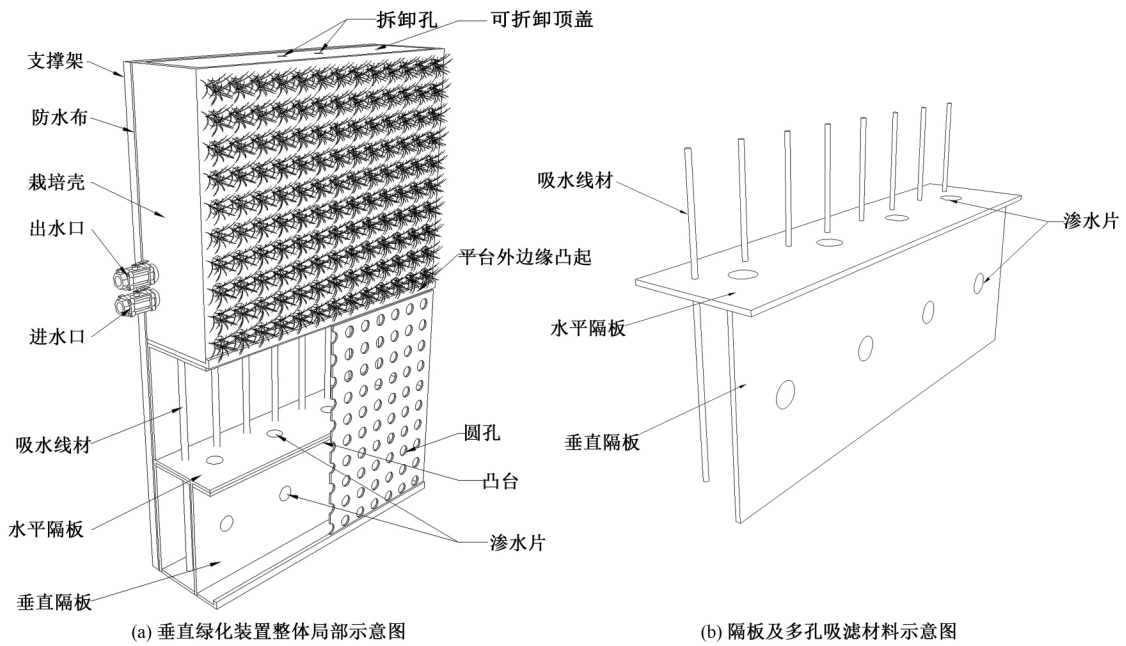


图1 垂直绿化装置整体局部和隔板及多孔吸滤材料示意图

观植物缺水枯死的问题。

(2) 自动排水。装置水箱处设有由浮球阀控制的进水口以及溢流出口,当水箱中水分消耗至低于设计水位时,浮球阀自动开启补水,以保证水箱中水分的连续供给;在雨季,当装置中积水过多达到淹没植物根部的临界水位时,多余水分从出口溢流排出,避免出现景观植物过涝现象。

(3) 模块化设计。装置采用模块化设计,由各个模块拼接成为整体,使垂直绿化装置安装便捷,同时在后期维护中便于更换与拆卸,从而降低成本。另外,每个模块皆可满足不同植物的需水量,因此不同模块可选择不同植物种植,满足了垂直绿化对城市建设美化的功能,如图2所示。

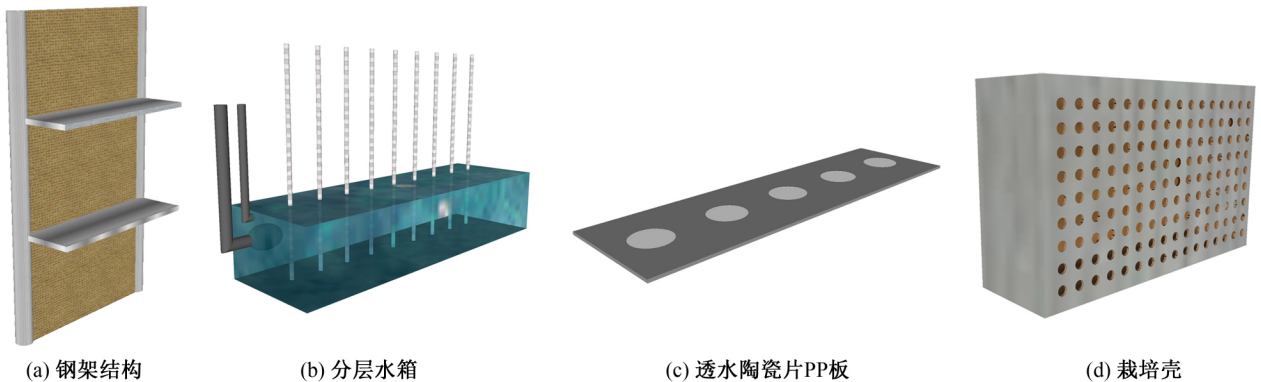


图2 模块设计图

2 自动灌排垂直绿化装置技术参数确定

2.1 水箱高度的确定

2.1.1 景观植物灌溉需水量理论公式推导

由廖荣、崔洁、卓春丽等人关于成都市32种立体绿化植物降温增湿效应比较研究^[5],进行景观植物灌溉需水量理论公式的推导,并从中选取较有代表性的8种景观植物的年蒸发强度数据,计算出本装置水箱设计底面面积下植物日蒸发蒸腾量所对应的计算高度。

由于植物所吸收的水分绝大部分用于蒸腾,所以景观植物需水量可以由蒸腾强度进行计算,单位叶面积日蒸发蒸腾量计

算公式如下^[7]:

$$E_0 = 18 \times 10^{-3} E \quad (1)$$

单位绿化面积日蒸发蒸腾量计算公式如下:

$$E_m = E_0 r \quad (2)$$

以单位绿化面积日蒸发蒸腾量和实际测量时间可算出单位绿化面积日蒸发蒸腾量后,可以根据栽培容器实际绿化面积得出景观植物需水量。单位绿化面积实际日蒸发蒸腾量计算公式如下:

$$E_m = K_L E_0 r \quad (3)$$

由于垂直绿化属于园林绿化,综合考虑园林植物种类、植物种植密度、园林小气候、园林系数的计算公式如下^[8]:

$$K_L = K_s K_d K_{mc} \quad (4)$$

式中: E_0 为单位叶面积日蒸发蒸腾量, mm/d; E 为植物日蒸腾总量, $\mu\text{mol}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$; 18 为水的摩尔质量; E_m 为单位绿化面积日蒸发蒸腾量, mm/d; r 为叶面积指数; K_L 为园林系数; K_s 为园林植物种类因子; K_d 为园林种植密度; K_{mc} 为园林小气候因子。

(1) 植物种类因子 K_s 。植物种类因子 K_s 考虑到不同植物种类在需水量上的不同, 其数值可以参考表 1 进行选取^[8]。由于垂直绿化在实际应用中多采用灌木, 并且同时种植多种耐旱植物与喜水植物, 因此在计算中植物种类因子 K_s 采用灌木较高值 0.7。

表 1 不同类型植物的植物种类系数 K_s

植被类型	高	平均	低
树木	0.9	0.5	0.2
灌木	0.7	0.5	0.2
地被植物	0.9	0.5	0.2

(2) 密度因子 K_d 。园林中种植密度因子 K_d 考虑到园林种植间绿化植物密度的差异, 其数值可以参考表 2 进行选取^[8]。在垂直绿化中常应用浓密紧凑的种植方式, 导致在同一种植面积下聚集较大的叶面积, 造成植物会消耗更多的水量。因此在计算中种植密度因子 K_d 采用灌木中较高的取值 1.1。

表 2 不同类型植物的种植密度因子 K_d

植被类型	高	平均	低
树木	1.3	1.0	0.5
灌木	1.1	1.0	0.5
地被植物	1.1	1.0	0.5

(3) 小气候因子 K_{mc} 。在垂直绿化应用过程中可能存在差别较大的小气候条件, 导致植物水分消耗量不同, 因此在估算中需要考虑小气候的影响。尤其在城市中, 其建筑物种类以及铺装的不同, 影响温度、风速、光强度和湿度的差异较大, 采用了小气候因子 K_{mc} , 其数值可以参考表 3 进行选取^[8]。考虑到垂直绿化安装环境受气候影响较大, 因此在计算中小气候因子 K_{mc} 采用灌木中较大值 1.3。

表 3 不同类型植物的小气候因子 K_{mc}

植被类型	高	平均	低
树木	1.4	1.0	0.5
灌木	1.3	1.0	0.5
地被植物	1.2	1.0	0.5

2.1.2 景观植物灌溉需水量计算及水箱高度确定

为确定垂直绿化装置水箱高度 H_w , 由式(3)计算出单位绿化面积实际日蒸发蒸腾量。并根据水箱设计底面面积(长×宽=800 mm×200 mm)将需水量折算为水箱高度进行对比, 最终确定实际装置水箱的设计高度。如表 4 所示为常见景观植物的种类^[9,10]及灌溉需水量计算。

表 4 计算植物种类

植物名称	植物种类	拉丁名	日蒸发蒸腾量	周蒸发蒸腾量
常春藤	灌木	Hedera nepalensis K.	8.41	58.87
肾蕨	灌木	Nephrolepis auriculata (L.) Trimen	24.29	170.03
木香	灌木	Common Vladimiria Root	16.55	115.85
金叶女贞	灌木	Ligustrum × vicaryi Hort.	34.43	241.01
小叶女贞	灌木	Ligustrum quihoui Carr	37.85	264.95
南天竹	灌木	Nandina domestica Thunb.	12.66	88.62
四季桂	乔木	Osmanthus fragrans var. semperflorens	19.71	137.97
紫叶李	乔木	Prunus cerasifera Ehrhart f.	18.00	126.00

通过以上理论计算中可以看出, 应用不同景观植物进行灌溉需水量的理论计算时, 当用水箱高度来表示不同景观植物周蒸发蒸腾量时, 最大周蒸发蒸腾量为小叶女贞 264.95 mm/d, 最大周蒸发蒸腾量为常春藤 58.87 mm/d, 为了最大程度的满足植物的需水量, 从以上计算和分析中, 垂直绿化装置水箱高度 H_w 需高于 264.95 mm, 因此装置水箱高度 300 mm 设计合理。

2.2 吸水线材材质及直径的确定

2.2.1 试验材料与方法

供测土壤取自西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院试验用地, 经干燥、破碎、混合均匀后过孔径为 0.20 mm 的筛网封存, 初始含水量为 0。为模拟实际中的垂直绿化装置, 并确定装置吸水线材种类 W_i 和栽培壳高度 H , 采用对比试验的方法, 试验装置包括长方形透明有机玻璃箱(长 800 mm, 宽 100 mm, 高 500 mm), 供水烧瓶, 吸水线材等。土箱前侧每 100 mm 间隔各打一圆孔, 以便放置土壤水分传感器 EM50, 供测的吸水线材材质分别为包芯棉绳和尼龙绳, 具有透水不透气的特性。在土箱中每间隔 10 cm 共设置 6 根吸水线材, 直径按照 4、6、8 mm 布置进行编号, 1~3 号为包芯棉绳, 4~6 号为尼龙绳。吸水线材自土箱底孔引出, 放置在分别标有对应数字 1~6 号的 6 个烧杯中, 同时向 6 个烧杯中盛放体积相等的水, 并保证每根吸水线材都能等长度的被水浸没, 装置示意图如图 3 所示。同时为测试实际应用中垂直绿化装置含水量的分布情况, 使用 EM50 土壤水分传感器, 传感器共 6 个测片, 分两次分别测量包芯棉绳组和尼龙绳组的土壤含水率, 每组线材垂向间隔 100 mm 布置 2 个测点, 共设置 6 个土壤含水量测点, 分别编为 1~6 号测片, 每隔 5 min 记录一次数据, 试验结束后进行试验数据的处理。

试验前期, 由于土壤需水量较大, 烧杯中水分消耗较快, 同时在线材主动吸水和土壤基质势的作用下, 土箱下部开始形成不规则椭圆形湿润区。随着试验的不断进行, 在 4 h 时不同吸水线材形成的土壤湿润区开始汇合, 并随着试验的继续进行, 土壤水分吸收高度继续向上移动, 同时由于土壤含水量的逐渐增加, 水分消耗量开始下降, 因此对试验过程进行了调整, 由前期的每 1 h 测量一次调整为每 3 h 测量一次, 最终调整为每 12 h 测量一次。在吸水高度稳定后, 开始使用 EM50 土壤水分传

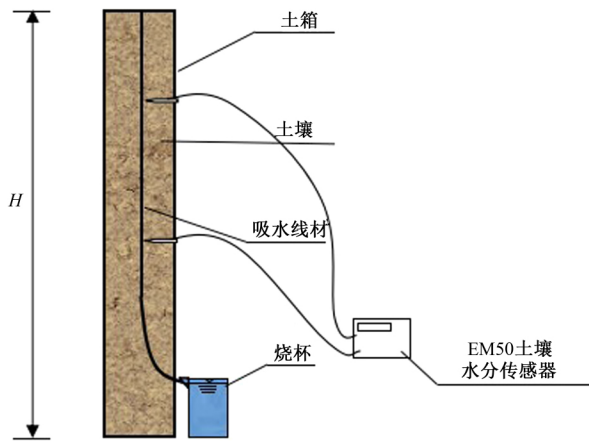


图3 测试装置示意图

感器分组测量不同吸水线材附近土壤的含水率,整理并记录数据。

2.2.2 栽培壳高度的确定

图4为不同吸水线材材质和直径对吸水高度的影响,从图4可以看出,不同处理下吸水高度 H 值随时间 t 值变化趋势基本类似。吸水高度均随测试时间的增加而逐渐增大。在不同材质和直径下吸水高度随时间变化曲线有重合和交错的现象。在相同直径条件下48 h后包芯棉绳材质的吸水高度均大于尼龙绳材质的吸水高度。在相同直径和灌水时间下,包芯棉绳材质的吸水高度较高于尼龙绳,48 h后包芯棉绳材质直径8 mm条件下吸水高度最高,为395 mm;尼龙绳材质直径4 mm条件下吸水高度最低,为290 mm;吸水高度随时间的变化趋势可分为2个阶段:初始阶段(0~12 h左右),不同材质不同直径的吸水线材的吸水高度随时间的增加而迅速上升,说明初始阶段土壤含水量较低,吸水线材含水率与吸水线材周围土壤含水率相差较大,土壤对水分的吸收能力较强,进而吸水高度迅速增加;稳定阶段(12~50 h)随着时间的继续增加,吸水高度逐步趋于稳定,说明稳定阶段土壤含水量较高,吸水线材含水率与吸水线材周围土壤含水率变化较小,基本处于相互耦合状态,因此吸水高度变化较小,接近于0。

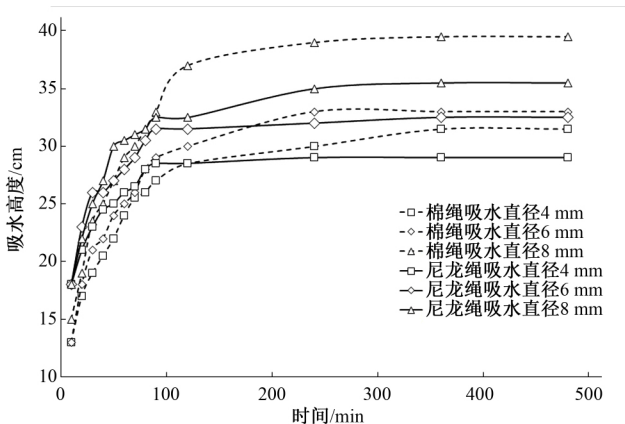


图4 不同吸水材质及直径对吸水高度的影响

通过以上分析发现,不同材质及直径的吸水线材吸水高度变化过程基本类似,吸水高度变化过程均可分为初始阶段和稳

定阶段;在0~48 h内最终吸水高度排序为,包芯棉绳材质直径8 mm>尼龙绳材质直径8 mm>包芯棉绳材质直径6 mm>尼龙绳材质直径6 mm>包芯棉绳材质直径4 mm>尼龙绳材质直径4 mm;包芯棉绳材质8 mm直径的吸水高度最高,高度为395 mm。装置栽培壳高度 H 扣除水箱高度后应总体低于不同线材材质及半径的吸水高度,才能满足湿润土壤的目的,从数据中看出包芯棉绳材质4~6 mm直径线材和尼龙绳材质直径6 mm和8 mm线材吸水高度均大于300 mm,因此选择300 mm作为土壤深度,并确定栽培壳高度 $H=600$ mm可满足装置湿润土壤的要求。为进一步选择具有较好吸水性能的吸水线材,需进一步进行不同材质和直径的吸水线材对土壤含水率影响的探究。

2.2.3 吸水线材材质及直径的确定

表5为不同材质和直径的吸水线材对土壤含水率的影响,将EM50土壤水分传感器测片分别放置在土壤深度为100 mm和300 mm处,由表中土壤含水率的测量数据中发现,除尼龙绳材质4 mm直径的吸水线材在100 mm和300 mm深度土壤含水率相近外,不同处理下土壤体积含水率总体上随土壤深度的增加而增加,符合垂直绿化装置内土壤含水率维持在不同数值的预期。通过不同材质的线材比较发现,尼龙绳材质的土壤含水率总体上均高于相同直径的包芯棉绳的含水率,其中8 mm直径的尼龙绳土壤含水率最高,分别为土壤深度100 mm处含水率为19.48%,土壤深度30 cm处含水率为32.63%;而4 mm直径的包芯棉绳在土壤深度100 mm处含水率最低,为8.56%,8 mm直径的包芯棉绳在土壤深度300 mm处含水率最低,为16.18%。从以上分析中,吸水线材种类 W_i 选择尼龙绳材质8 mm直径满足性能要求,可作为该装置的吸水线材。

表5 不同吸水材质及直径对土壤含水率的影响 %

直径 / cm	包芯棉绳			尼龙绳		
	4 mm	6 mm	8 mm	4 mm	6 mm	8 mm
10	8.56	10.45	10.88	20.53	18.99	19.48
30	19.55	21.10	16.18	19.43	30.95	32.63

2.2.4 多孔陶瓷渗水片的优选

本装置结构设计中,为了通过多孔吸滤材料实现土壤水势由负压向正压的变化,使装置内土壤水势维持在不同压力值,在垂直隔板上安装有多孔陶瓷渗水片,多孔陶瓷渗水片为薄圆片结构,由具有微米孔径的微孔陶瓷材料加工而成。本装置所采用的多孔陶瓷渗水片由黏土、硫酸钙、硅溶胶以及硅藻土作为原料制成。为了使多孔陶瓷渗水片在100 mm的水头下具有合理出流量,以满足垂直绿化装置中垂直隔板前侧植物的需水量,将采用不同原料配比烧制的多孔陶瓷渗水片,并且基于材料性能和水力性能进行进一步优化选取。蔡耀辉,吴普特等以黏土、硅藻土和硫酸钙为主要原料,对硅藻土含量及温度对微孔陶瓷材料性能及水力性能的影响进行分析。微孔陶瓷灌溉水器在使用时一般埋于地下,采用10 kPa以下的工作压力以期达到节水、节能的效果,其在地下的流量以1 L/h左右为宜^{[11][12]}。其中对比不同质量比,当黏土、硫酸钙、硅藻土质量比

为 75 : 10 : 15 , 烧结温度为 1 075 °C , 工作压力在 10 kPa 时 , 微孔陶瓷的流量为 1.6 L/h , 具有良好的材料性能和水力性能 , 在满足植物所需的同时 , 达到节水节能的效果^[13]。

3 装置效益分析及应用前景

3.1 经济效益分析

为分析基于多孔吸滤材料的自动灌排垂直绿化装置的经济效益 , 结合本装置在结构设计中所需的主要材料 , 根据 2019 年 5 月市场均价数据 , 调查和计算装置中角钢及钢板、PP 材料、灌溉模块、景观植物和人工的市场均价 , 并对现有市场中垂直绿化施工费用进行市场调查 , 大致确定了单位面积施工费用范围 , 为 1 600~3 500 元/m²。由表 6 列出有垂直绿化施工费用和本垂直绿化装置计算成本 , 通过对比发现 , 本垂直绿化装置单位成本为 700~1 100 元/m²。和现有垂直绿化施工费用对比 , 装置成本可降低 50%~70% , 具有一定经济效益。

表 6 经济效益分析 元/m²

项目	现有垂直绿化 施工费用	本垂直绿化装置
角钢及钢板价格		150~200
PP 材料价格		200~380
灌溉模块价格	1 600~3 500	100~120
景观植物价格		150~300
人工费		100
总计	1 600~3 500	700~1 100

3.2 社会效益分析

在城市发展进程中建设用地与绿化用地矛盾日益突出 , 不少城市为发展而不惜牺牲城市绿地的情况时有发生 , 增加城市绿地面积困难重重。而垂直绿化能有效缓解城市建设用地与绿化用地的矛盾关系 , 大力发展垂直绿化 , 实现利用最小的占地面积创造最大的绿化效果 , 对缓解城市绿化用地紧张、增加城市绿化面积、改善城市绿化结构具有深远的现实意义。

3.3 环境效益分析

据研究表明 , 夏季垂直绿化的建筑表面周围空气温度可降低 2~3 °C , 室内温度可降低 1~2 °C , 能耗比常规幕墙降低 40% 左右 ; 垂直绿化的植物叶多繁茂有绒毛 , 能吸附大量的漂浮尘 , 有明显的过滤和净化空气的作用 ; 同时垂直绿化的植物墙体有明显的降低噪音作用 , 当声波通过立体植物墙时 , 约有 30% 的声波被吸收 ; 另外建筑物室内垂直绿化体系可以有效净化甲醛等有毒气体^[14] , 释放氧气 , 调节空气湿度以及降低 PM2.5 等作用^[15] , 可以更直接更有效地改善城市居民的生活环境 , 具有很高的环境效益。

4 结 语

(1) 为了满足垂直绿化中各种景观植物对土壤水势的要求 , 通过利用土壤水分平衡原理 , 设计了一种基于多孔吸滤材料的自动灌排垂直绿化装置。通过吸水线材与多孔透水陶瓷

片 , 实现垂直绿化装置中土壤水势由负压向正压的变化 , 达到自动灌溉的目的。同时通过由浮球阀控制的进水口和溢流出水口 , 达到自动排水的目的。

(2) 通过景观植物需水量计算 , 确定装置水箱高度 H_w 为 300 mm ; 并通过不同吸水材质及直径对吸水高度的影响试验 , 测试了多孔吸滤材料的吸水性能 , 绘制了吸水高度随时间变化的过程曲线 , 确定装置栽培壳高度 H 为 600 mm ; 同时通过测试不用吸水线材材质和直径对周围土壤含水率的影响并对数据进行分析 , 确定装置所选吸水线材 W_i 为尼龙绳材质 8 mm 直径 ; 最后优选黏土、硫酸钙、硅藻土质量比 X_i 为 75 : 10 : 15 , 烧结温度为 1075 °C 的多孔陶瓷渗水片 , 以保证在实际运行过程中 , 装置达到最优性能。

(3) 装置具有自动灌溉 , 自动排水 , 便于安装与维护等优点 , 可满足垂直绿化中不同景观植物对水势的要求。同时装置采用模块化设计 , 便于装置的安装与后期维护 , 成本比现有垂直绿化装置也降低 50%~70% , 有利于垂直绿化在市场的推广使用。

参考文献:

- [1] Manso M. Castro-Gomes J. Green wall systems: a review of their characteristics [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews , 2015 , 41: 863-871.
- [2] 赵军鹏. 浅谈垂直绿化在城市中的应用 [J]. 河北林业科技 , 2012 (3) : 82-83.
- [3] 杨云峰 , 赵燕萍 , 吴家炜 , 等. 南京市垂直绿化调查分析 [J]. 北方园艺 , 2018 (2) : 116-123.
- [4] Yutaka Fukuzumi. Plant growing method for greening wall surfaces: 5579603 [P]. 1996-12-03.
- [5] 吴丹妮 , 董运常 , 罗伟常 , 等. 一种定时淋喷的立体绿化喷灌系统: 201510629382.9 [P]. 2015-09-25.
- [6] 杨英亮 , 朱志和 , 王宗业. 一种垂直绿化滴灌装置: 201820306616.5 [P]. 2018-03-06.
- [7] 廖荣 , 崔洁 , 卓春丽 , 等. 成都市 32 种立体绿化植物降温增湿效应比较研究 [J]. 江苏农业科学 , 2012 , 40 (6) : 199-204.
- [8] 邱振存 , 管健. 园林绿化植物灌溉需水量估算 [J]. 节水灌溉 , 2011 (4) : 48-54.
- [9] 张仪东 , 王玲玲 , 王杰 , 等. 临沂市垂直绿化植物的现状及应用研究 [J]. 安徽农业科学 , 2018 , 46 (8) : 118-120.
- [10] 李莉 , 魏晓英. 西安市垂直绿化现状及对策 [J]. 安徽农业科学 , 2006 , 34 (5) : 903-914.
- [11] 张国祥 , 赵爱琴. 痕量灌溉理论支撑与技术特点的质疑 [J]. 农业工程学报 , 2015 , 31 (6) : 1-7.
- [12] 李久生 , 杨凤艳 , 刘玉春 , 等. 土壤层状质地对小流量地下滴灌灌水器特性的影响 [J]. 农业工程学报 , 2009 , 25 (4) : 1-6.
- [13] 蔡耀辉 , 吴普特 , 朱德兰 , 等. 硅藻土微孔陶瓷灌水器制备工艺优化 [J]. 农业工程学报 , 2015 , 31 (22) : 70-76.
- [14] 杜鹏. 建筑室内墙体垂直绿化对甲醛的净化能力分析 [J]. 科技通报 , 2018 , 34 (2) : 248-251.
- [15] 闫珊珊 , 洪波 , 秦红巧. 垂直绿化对空气温湿度和 PM2.5 浓度影响的实测研究 [J]. 北方园艺 , 2018 (15) : 80-85.