

# 屋顶绿化设计与施工技术探讨

徐懿 (上海长宁园林绿化建设有限公司, 上海 200051)

**摘要** 城市快速发展下, 屋顶绿化已成为增加城市绿化、改善生态环境的有效手段。随着屋顶绿化在国内的快速开展, 实际工程施工中出现了较多施工不规范的问题。针对屋顶绿化的设计和施工流程进行了阐述分析, 根据施工经验总结了屋顶绿化施工时的限制因素, 并提出了相应的建议。

**关键词** 屋顶绿化; 施工技术; 经验

中图分类号 S731 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)17-0124-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.17.032



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Analysis on Technologies of Roof Greening Design and Construction

XU Yi (Shanghai Changning Landscape Construction Co., Ltd., Shanghai 200051)

**Abstract** With the rapid development of city, roof greening had become an effective way to increase urban greening and improve the ecological environment. And with the rapid development of roof greening in China, there were many unstandardized problems in the actual construction. This paper expounded and analyzed the design and construction process of roof greening, summarized the limiting factors of roof greening construction according to the construction experience, and provided corresponding suggestions.

**Key words** Roof greening; Construction technology; Experience

21世纪, 我国高密度城市快速发展, 人绿比例失衡加剧, 城市居住环境面临一定挑战, 也增加了城市能源消耗<sup>[1]</sup>。屋顶绿化成为增加城市绿化覆盖率, 缓解城市内涝、空气污染、热岛效应等生态环境问题的有效措施<sup>[2]</sup>。国际上已将屋顶绿化作为应对气候变化的重要手段。

当前, 城市可利用土地越来越少, 尤其是中心城区地面绿化增量空间非常有限, 因此, 将城市绿化由水平向立面、由单层向复层发展既符合城市发展需求, 也是2035城规目标的要求。随着对生态环境需求的高涨, 广大市民不但要求低头见绿, 而且要求抬头见绿。屋顶绿化可以满足市民对城市环境的需求, 极大地丰富城市绿化形式, 同时, 也是推进城市绿化美化彩化工作的重要实施途径。

然而, 与地面绿化不同, 屋顶绿化是以建筑为载体形式的特殊绿地, 涉及的施工与维护决定了其能否长期有效地发挥应有作用, 目前国内屋顶绿化技术尚处于起步阶段, 相关施工与维护技术并不完善。本文围绕我国屋顶绿化在施工和维护过程中遇到的问题进行分析, 以期能为城市屋顶绿化的建设与发展提供借鉴。

## 1 屋顶绿化分类

屋顶绿化(roof greening)是指以建筑物、构筑物顶部为载体, 以植物为主体进行配置, 不与自然土壤接壤的绿化方式, 是多种屋顶种植方式的总称<sup>[3-4]</sup>。根据《上海市屋顶绿化技术规范》(DB31/T493—2010), 屋顶绿化的构造层自下而上依次为防水层、排(蓄)水层、隔离过滤层、基质层和植被层。

根据荷载要求, 屋顶绿化可分为花园式屋顶绿化、组合式屋顶绿化和草坪式屋顶绿化3种类型<sup>[5]</sup>。其中, 花园式屋顶绿化的植物以复层结构为主, 一般由适生性强的小型乔

木、灌木或地被植物组成<sup>[6]</sup>, 并配置一定量的园路、座椅和园林小品等, 为游人提供一定的游览和休憩活动空间, 更多地体现了生态性、景观性和休憩性; 组合式屋顶绿化以地被植物为主, 并在屋顶承重部位配置复层植物或盆栽植物, 其更多体现景观性和生态性; 草坪式屋顶绿化采用地被植物或攀援植物进行单层植物配置, 以大面积铺植为主, 其主要体现生态性。

## 2 屋顶绿化施工技术要点

屋顶绿化施工既是一项系统工程, 也是具有“高空”作业的特殊性, 因此在进行屋顶绿化施工时应按照严格的流程进行(图1)。



图1 屋顶绿化施工流程

Fig. 1 Construction process of roof greening

**2.1 屋顶荷载** 屋顶绿化的荷载包括静荷载和活荷载, 其中静荷载包括屋顶绿化的耐根穿刺防水层、排(蓄)水层、过滤层、种植基质和植被层等结构<sup>[7]</sup>和设备的荷载, 其在使用期间不随时间发生变化; 活荷载包括风荷载、雨荷载、维护管理屋顶绿化时的荷载、植物生长所增加的荷载、屋顶绿化系统里蓄水增加的荷载、生长介质的干重和湿重<sup>[8]</sup>, 以及上人后增加的荷载等。

根据《种植屋面工程技术规程》(JGJ 155—2007), 草坪式种植屋面荷载不小于1.0 kN/m<sup>2</sup>, 花园式种植屋面荷载不小于3.0 kN/m<sup>2</sup>。屋顶绿化必须保证建筑荷载安全, 设计施

**作者简介** 徐懿(1968—), 女, 上海人, 工程师, 从事园林绿化养护管理与技术指导工作。

**收稿日期** 2020-05-29; **修回日期** 2020-06-29

工前需进行荷载测试,以确定屋顶的最大承重力,根据荷载确定屋顶绿化可实施的类型。荷载也是屋顶绿化植被选择的关键因素(表1),施工前需计算出屋顶绿化所增加的荷载值(荷载计算指标见表2)。此外,根据屋顶的荷载,核算可容纳游人数量,以保证建筑承重安全。屋顶绿化也需要定期修剪维护,以控制植物生长,降低屋顶荷载。

表1 初栽植物荷重  
Table 1 Load of planning plant

类型 Type	株高 Plant height	荷载值 Load value
地被 Ground cover	0.2 m	15~30 kg/m <sup>2</sup>
草皮 Turf	—	10~15 kg/m <sup>2</sup>
低灌木(密植) Low shrub (close planting)	0.2~0.3 m	35 kg/m <sup>2</sup>
中灌木(密植) Medium shrub (close planting)	0.4~0.6 m	40 kg/m <sup>2</sup>
高灌木(密植) High shrub (close planting)	1.2~2.0 m	50~60 kg/m <sup>2</sup>
小乔木 Small tree	2.0 m	30 kg/株
中乔木 Medium tree	4.0 m	200 kg/株
大乔木 Big tree	6.0 m	500 kg/株
特大乔木 Supertree	6.0 m 以上	主树干体积 1 200 kg×系数(1.4)

表2 屋顶绿化荷载计算指标

Table 2 Calculation index of roof greening load

序号 No.	材料名称 Material name	荷重 Load/t/m <sup>3</sup>
1	天然土	1.6
2	半轻质土	1.2~1.4
3	轻质土	0.6~1.0
4	素土夯实	1.8
5	3:7灰土	1.8
6	水泥石屑	2.1
7	细石混凝土	2.2
8	钢筋混凝土	2.5
9	水泥砂浆	2.3
10	钢材	7.8
11	石材(青石板、砂石)	2.2~2.5
12	花岗岩板	2.8
13	地砖	2.2
14	木材	1.2
15	砖砌体	1.7
16	卵石、粗砂排水层	1.7~2.1
17	陶粒排水层	1.0~1.1

**2.2 施工要求** 在任何情况下,屋顶绿化的建设、使用和养护都不应危及安全。从建设、服务、健康、植物和安全通道等层面出发,设计功能全面,方便未来养护、更换和维修,有足够空间或安全的永久通道,以提高项目建成后的安全性。

**2.2.1 总体要求。**在屋顶绿化的施工和养护期间,屋顶荷载不能超过其所能承受的最大荷载。材料运送选择“随运随用”原则,运送方式包括井架运送、货梯运送、吊机运送和自制简易装置。为保证人员施工安全,需对施工人员进行安全知识培训,以提高其安全意识,同时做好保护措施。屋顶绿化设计安装应符合消防安全工程,具有防雷电、防水、防风等保护设施,并具有出入屋顶工作现场的安全通道。对于难以

进行养护的区域,需提供可进行安全养护的方法。

**2.2.2 材料要求。**屋顶绿化植物的养护至关重要。在设计阶段,必须考量植被养护的便利性及养护频率。在选择屋顶景观材料和植物时,优先考虑低养护的材料和耐旱耐病耐寒的植物,在常具有强风的区域,需选择抗风性良好的植物。花园式屋顶绿化倾向于选择小型乔木,其种植必须在屋面结构荷载以内(包括风荷载)充分锚定,且其尽量避免种植在建筑物边缘。定期修剪长树枝,以减少对风的阻力;定期检查潜在的风险、危险等问题,如树枝高空掉落。若从屋顶上移除乔木,应采取相应的预防措施以保证安全,如防止物体或人员从高空坠落。

理想条件下,屋顶绿化应采用简单有效的系统,尽量减少使用危险材料、溶剂和黏合剂;施工过程中,应尽量降低噪音,同时采取减少有害烟雾和细粉尘颗粒排放的措施;设计和施工时应注意是否存在不透水的区域或植物积水等,以避免蚊子大量繁殖。

**2.2.3 安全要求。**在屋顶安装永久通道(如楼梯和升降梯),以减少脚手架和梯子的使用。如果无法避免使用脚手架,则应根据规定进行搭建、使用和拆除,如果工作涉及在低矮或无护栏的屋顶边缘进行作业,则应根据专家的要求,在生命线和安全带上安装设置适当的锚点;此外,需妥善固定设备以防止高处坠落。

当屋顶处于孤立状态且环境恶劣时,需随时能获取清水,以便于应对紧急情况,如维修人员中暑或遭受割伤需立即清洁伤口等。在设计阶段,建议保留防雨防晒的存储空间来放置养护设备,以减少屋顶空间的混乱,同时保证维修人员可快速获得工具以进行高效养护。

**2.3 屋面防水** 根据《种植屋面工程技术规程》(JGJ 155—2013)和《屋面工程技术规范》(GB 50345—2012),屋顶绿化防水层应满足一级防水设防要求,且需进行二次防水处理,即在普通防水层基础上增加耐根穿刺防水层。二级防水层使用年限在20年以上。阻根层包括化学性阻根和物理性阻根2种方式,目前施工中常用的屋顶防水材料一般为含有化学阻根剂的沥青防水卷材或合成高分子防水材料等。卷材又分为全黏结防水卷材和非黏结防水卷材(图2)。非黏结防水卷材不需要在屋顶表面和膜之间增加黏合材料,可快速安装;与非黏结防水卷材相比,全黏结防水卷材可更好地识别和控制漏水处。采用物理性阻根时,一般会在二次防水处理后铺设滑动分离层,防止排水板和阻根膜之间黏连,常用400 g/m<sup>2</sup>无纺布,起到保湿和分离作用。

铺设二级防水层前,首先需要清扫屋顶表面,灰尘会影响二次防水层或阻根层的黏连,尖锐的杂物容易扎破防水层和阻根层。其次进行蓄水试验,避免屋顶绿化施工前出现渗漏,从而影响建筑安全。施工时,一般做法是封住屋顶排水孔,往屋顶注水至顶面上方5 cm并保持24 h,以检查屋顶防水层是否有效。二次防水处理时,原有屋顶防水层是刚性防水时,直接在原有防水层上加涂防水涂膜;原有屋顶防水层是柔性防水时,则加设一层同性热熔或非热熔防水层。二次

防水施工时需重点关注女儿墙和屋面设备的节点,以及变形缝、阴阳角、泄水口、搭接、边条。

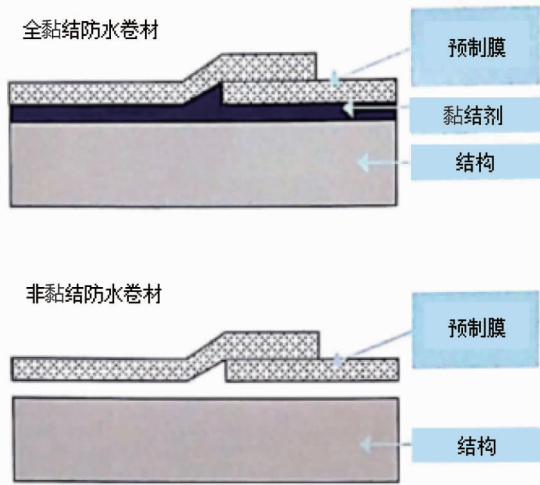


图2 全黏结防水卷材和非黏结防水卷材安装方式

Fig. 2 Installation methods of fully bonded and non-bonded waterproof rolls

**2.4 排(蓄)水层** 排(蓄)水层同时具有排水和蓄水功能,其可以改善基质的通气状况,为根系渗透提供更多附加空间,有利于提高植物的耐旱性;可排除基质层过量的水分,防止水分淤积,有效缓解瞬时集中降雨或灌溉时对屋顶承重造成的压力;储存种植层渗出的多余水分,土壤缺水时提供植物所需水分;为根系渗透提供更多附加空间。根据施工经验,排(蓄)水层有卷材和块板2种,卷材在坡面上铺设是需要顺坡搭接,块板铺设时必须搭扣连接,搭接宽度不小于10 cm。

为防止基质层细小颗粒随水流进入排水管道造成堵塞,排(蓄)水层上还需铺设过滤层,一般常见的材料为聚酯纤维无纺布等,无纺布规格一般为250~300 g/m<sup>2</sup>,搭接宽度20 cm,其上翻沿口与种植土平齐。

**2.5 种植基质层** 由于屋顶绿化荷载和环境条件等因素的影响,屋顶绿化基质具有轻质、透水、保湿、养分适度等特性,一般由各种天然或人造、有机或无机材料组合或混合而成(表3)。选择基质层材料时,需考虑屋顶绿化的用途、屋顶荷载、屋顶排水和植被生长需求。国内屋顶绿化基质大多选择混合土,而基质板(图3)和种植垫(图4)在国外使用较为广泛。目前,种植垫或预培种植垫逐渐应用于草坪式屋顶绿化中,其通常包括植被、生长介质和纤维垫3个部分,种植垫通常20~50 mm厚,具有重量轻、易施工的优点。

表3 基质材料类型与组成<sup>[9]</sup>

Table 3 Substrate type and composition

序号 No.	组成/形态 Composition/ morphology	通用术语 General terms	基质材料类型 Matrix material type
1	混合物	混合土	田园土、改良土、无机种植土
2	板状	基质板	改良泡沫材料矿物纤维
3	垫状	种植垫	矿物集料与低有机材料; 永久性或可分解垫料

**2.6 种植植物** 应选择生长缓慢、非直根性、耐修剪的本土

植物,尽量避免使用竹子。从安全角度考虑,屋顶绿化不宜选择高大乔木及深根、穿透能力强的植物,以保证屋顶结构的安全性。在屋面荷载范围内可适量种植小乔木,但须严格控制大乔木,乔木高度不得高于4 m。从生态角度考虑,以抗逆性强、易成活、低维护的植物为首选,便于养管,保持植物正常持续生长;以抗污、降噪、滞尘、吸霾等作用强的植物为优选,改善城市生态环境。从经济美观角度考虑,应选择易移植、耐修剪、耐粗放管理、生长速度适宜且不会对所依附的结构产生影响的植物。

植物栽植时应选择正常季节施工,最大程度确保成活率<sup>[10]</sup>。在栽植较高植物的时候,尤其处于风口处的植物需要对其进行固定处理,对于2 m以上的小型乔木需要对其根部进行固定处理,固定方法分为地上支撑法(图5)和地下固定法(图6)。植物种植时建议根据对水分或阳光等不同需求进行分区,以利于其生长和养护,也便于合理设计灌溉系统。土壤裸露部分应铺设覆盖物,如陶粒、卵石、白砂石或树皮。

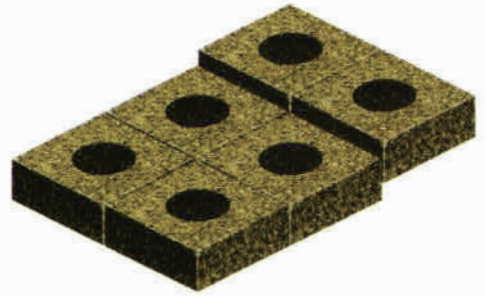


图3 基质板<sup>[9]</sup>

Fig. 3 Substrate plate



图4 种植垫<sup>[9]</sup>

Fig. 4 Planting pad

**2.7 屋顶绿化灌溉** 由于屋顶蒸发量大,种植基质薄,排水迅速,基质容易干燥,为提高灌溉质量,应采用少量频灌的方法进行灌溉。常用方式有人工浇灌、自动喷灌、滴灌和渗灌,优先设计滴灌、渗灌和微喷灌等节水微灌装置。优先采用智能控制技术,也可以采用配件,如雨水传感器和土壤湿度检测器,以进一步提高自动灌溉系统的效率。采用自动灌溉系统可大大降低人工维护费用,减少维护成本。灌溉设备应以微灌为主,喷灌为辅,预留人工浇灌接口作为应急措施,应对可能会对植物生长产生不利影响的长期干旱。

### 3 结语

屋顶绿化的施工程序要求严格,必须按规范进行,不能交叉施工或前后颠倒。在保证上一道程序合格后,施工人员

才能进入下一道程序,这是由于事后发现前道程序出现错漏时,无法进行局部修补,只能返工重做。屋顶绿化施工界面小,没有额外的材料堆场或加工场地,因此施工进度必须按计划进行,不能抢工期或搞人海战术。总结屋顶绿化施工限制因素有:①场地限制,卸货处无法吊运,而吊运处不能卸货;②施工时间限制,屋顶绿化只能在周末或晚间施工;③设备使用限制,商务楼屋顶绿化施工时,只能在下班后使用指定货梯。

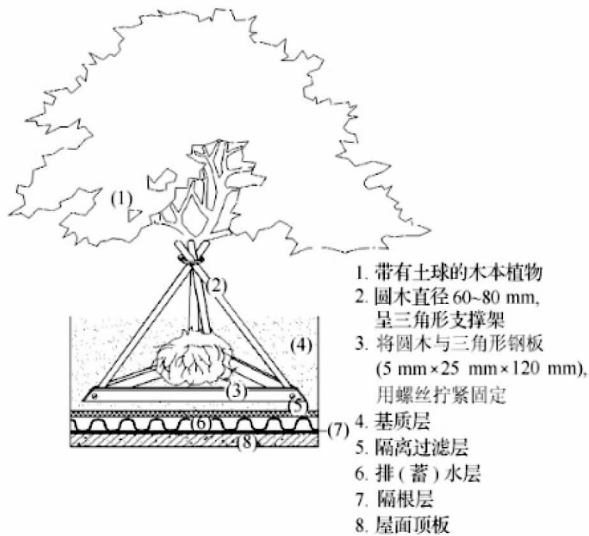


图 5 地上支撑法示意

Fig. 5 Schematic diagram of ground support method

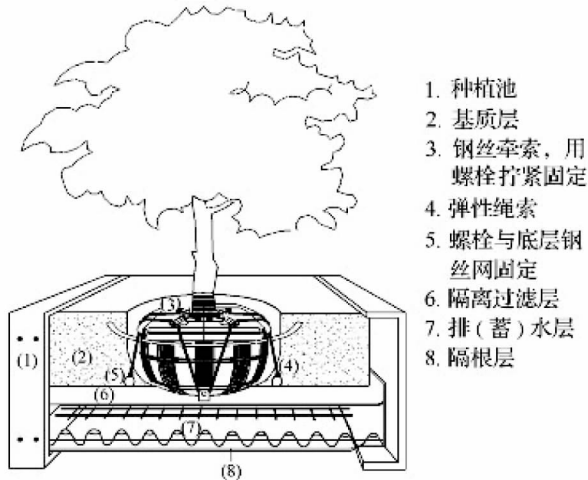


图 6 树木地下固定法示意

Fig. 6 Schematic diagram of underground fixation of trees

提出以下建议对策:①基于场地限制等因素,尽量将成品或半成品运送至屋顶;②现场施工需做好场地保护,避免

任何锋利的物料、工具与阻根层和防水层直接接触,硬质材料的堆放处必须有防护垫,运输通道需铺设防护板,翻斗车前撑脚用橡胶色包裹。除此之外,需禁止施工人员穿带铁钉的皮鞋,禁止在屋顶上使用钉钯、尖锹等锋利的工具;③完善售后服务,使屋顶绿化保持良好状态。众多案例表明,由施工单位负责养护的屋顶绿化景观面貌保存良好,而移交业主养护的屋顶绿化往往被疏于管理,景观面貌逐年下降,甚至出现荒废退化现象。施工单位可建立屋顶绿化项目养护跟踪档案,一方面提高养护水准,另一方面可对业主进行病虫害防治、补水、修剪等知识培训。

目前我国对屋顶绿化的重视逐渐加强,2010 年住房和城乡建设部发布新版《国家园林城市标准》,将“立体绿化推广”纳入园林城市指标体系<sup>[11]</sup>;2017 年 3 月,国务院参事、住房和城乡建设部原副部长、中国城市科学研究会理事长仇保兴阐述了立体化的城市功能和空间将成为解决面临的问题和保持城市紧凑发展的有效途径。北京、上海等城市也相继推出鼓励措施,如上海市在市绿委办的组织推动下,屋顶绿化可折算成地面绿化面积,以鼓励业主建设屋顶绿化。根据近几年的施工经验发现,屋顶绿化施工技术还存在较多问题,如乔木未得到合理固定支撑、屋顶绿化泥土流失、植物根系穿透阻根防水层甚至穿透屋面、缺乏养护导致植物死亡等。因此,国内屋顶绿化的发展需总结多年经验教训,规范设计、施工、检查验收和养护管理,加强国内外屋顶绿化技术的学习交流,积极引进国外屋顶绿化先进技术,以全方位支持国内屋顶绿化的发展。

#### 参考文献

- [1] ZIRKELBACH D, MEHRA S R, SEDLBAUER K P, et al. A hygrothermal green roof model to simulate moisture and energy performance of building components[J]. *Energy and buildings*, 2017, 145: 79-91.
- [2] 董楠楠, 吴静, 石鸿, 等. 基于环境效能的屋顶绿化研究性设计: 以同济大学屋顶花园为例[J]. *风景园林*, 2019, 26(7): 107-112.
- [3] 张小静. 广西绿色建筑节地与节能关键技术增量成本研究[J]. *绿色建筑*, 2017(4): 23-25.
- [4] 周军民. 屋顶绿化相关概念的辨析及生态建筑的构想[J]. *现代园艺*, 2016(17): 97-99.
- [5] 韩丽莉. 屋顶绿化系统技术[J]. *建设科技*, 2005(10): 42-43.
- [6] 吴海燕, 吴锦华. 花园式种植屋面设计: 以银城屋顶花园为例[J]. *园林*, 2015(4): 46-51.
- [7] 王月宾, 单进, 韩丽莉. 国内屋顶绿化施工技术解析[J]. *中国园林*, 2015, 31(11): 18-21.
- [8] Centre for Urban Greenery&Ecology. Guidelines on design loads for rooftop greenery[M]. Singapore: Centre for Urban Greenery&Ecology, 2010: 9-10.
- [9] Centre for Urban Greenery&Ecology. Guidelines on substrate layer for rooftop greenery[M]. Singapore: Centre for Urban Greenery&Ecology, 2010: 9-10.
- [10] 郭柳. 屋顶绿化施工技术要点分析[J]. *河北林业科技*, 2016(6): 70-72.
- [11] 马思云. 城市立体绿化初探[J]. *中外建筑*, 2014(7): 118-120.
- [12] 郝平安, 梁芳, 张燕, 等. 低温胁迫对蝴蝶兰光合及生理特性的影响[J]. *热带作物学报*, 2018, 39(10): 1955-1962.
- [13] 杨萍, 李杰. 2,4-表油菜素内酯对低温胁迫下辣椒幼苗抗氧化系统的影响[J]. *北方园艺*, 2017(21): 7-12.
- [14] 李彩霞, 林碧英, 申宝营, 等. 低温对茄子幼苗生理特性的影响及耐冷性指标的筛选[J]. *福建农业学报*, 2018, 33(9): 930-936.
- [15] 邹志荣, 陆帼一. 低温对辣椒幼苗膜脂过氧化和保护酶系统变化的影响[J]. *西北农业学报*, 1994, 3(3): 51-56.
- [16] THEOCHARIS A, CLÉMENT C, BARKA E A. Physiological and molecular changes in plants grown at low temperatures[J]. *Planta*, 2012, 235(6): 1091-1105.
- [17] FEDOTOVA M V, DMITRIEVA O A. Proline hydration at low temperatures: Its role in the protection of cell from freeze-induced stress[J]. *Amino acids*, 2016, 48(7): 1685-1694.
- [18] 李猛, 吕亭辉, 邢巧娟, 等. 瓜类蔬菜耐低温性评价与调控研究进展[J]. *园艺学报*, 2018, 45(9): 1761-1777.

(上接第 62 页)