

坡屋顶绿化的设计与技术

Design and Technology of Greening of Sloping Roof

马秀英 唐鸣放 MA Xiuying, TANG Mingfang

摘 要 现阶段关于屋顶绿化的研究成果主要集中在平屋顶上，针对坡屋顶绿化的研究则相对甚少。本文着重介绍坡屋顶绿化的防滑技术要点，同时分析其与平屋顶绿化在技术和效果上的差别。

关键词 坡屋顶绿化；防滑；技术

Abstract: At present, most of the studies on roof greening are about the flat roof, and the studies on the greening of sloping roof are rare. This paper mainly introduces the antiskid technical points of the greening of sloping roof, and analyzes its difference from the greening of flat roof in terms of technology and effect.

Keywords: Greening of Sloping Roof; Antiskid; Technology

建筑屋顶绿化不仅对建筑室内空间物理环境的改善作用显著，且因还原建筑所占用的土地资源、重现灰色城市中的绿色自然而对城市生态环境的改善、节约能源、减缓全球温室效应等具有重要意义。目前国内所进行的建筑屋顶绿化主要集中在北京、上海等大城市，中小城市对此的重视度普遍不够；主要研究成果则集中针对平屋顶^[1-3]，对坡屋顶绿化的介绍和研究尚缺乏系统性。坡屋顶建筑包括从屋顶延伸到地面的倾斜式屋面建筑 and 传统坡屋顶建筑，相对于平屋顶绿化，坡屋顶绿化具有增大绿化面积、延伸景观、丰富建筑形态等特点；构造难点则在于如何采用防滑措施来防止结构层和基质的滑落。本文在梳理坡、平屋顶绿化之间的差异的基础上结合具体案例分析二者的不同做法，进而总结各种坡度条件下的适应性设计。

1? 坡屋顶绿化在城市建设中的意义

近年来，随着我国城市建设的快速发展，建设用地不断扩大导致了绿地的减少和环境的恶化，钢筋和混凝土的大量使用更是加重了城市环境问题，城市绿化成为越来越重要的课题，作为城市主体的建筑的绿化尤为重要。建筑绿化包括屋顶绿化和垂直墙面绿化，现阶段屋顶绿化技术较为成熟，尤其是平屋顶绿化。

平屋顶的绿化同地面绿化一样，在荷载允许的情况下合理选择防水材料进行种植，具有植物种类选择性大、施工方便、后期维护管理方便等特点。坡屋顶绿化则因建筑屋面坡度大而导致植物受力不均匀、不易生长，一些不规则或曲线屋顶更是给屋顶结构、绿化带来不便，因此许多专家都认为坡屋顶绿化不应提倡。但是技术的问题不应限制坡屋顶绿化的发展和进步。

坡屋顶绿化不仅可以与平屋顶绿化一样缓解城市热岛效应、调节屋顶温度和空气湿度、提高建筑保温效能从而降低能耗、减尘降噪从而提高空气质量、美化建筑、改善城市环境，更具有以下的特点：

1.1 扩大绿化面积，增强吸收辐射能力

资料表明，植物可吸收 60% 的太阳辐射热，反射 27% 的阳光，13% 则通过基质传到屋面

中图分类号 TU983

文献标识码 A

文章编号 2095-6304(2014)01-0108-05

*“十二五”农村领域国家科技计划课题
(2013BAJ11B05)

作者简介

马秀英：重庆大学建筑城规学院，2011 级硕士研究生，739679722@qq.com

唐鸣放：重庆大学建筑城规学院，教授，博士生导师

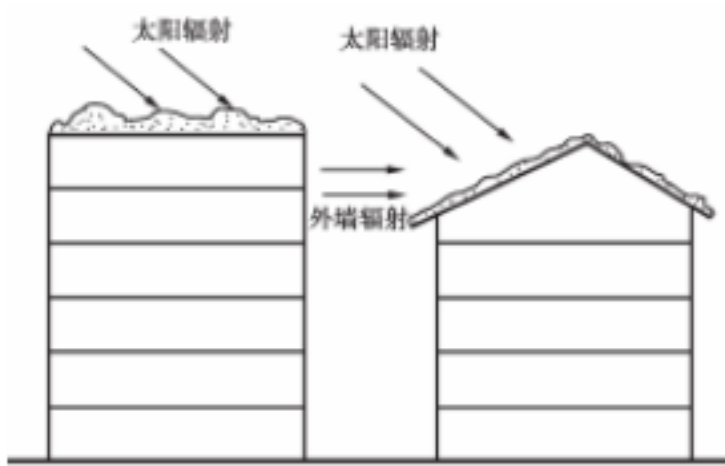


图1? 坡屋顶与平屋顶吸收辐射热的能力对比
Fig.1 a comparison of the capacity of absorbing radiant heat between sloping roof and flat roof

中。绿化屋顶对空气平均增温量的总量为普通屋顶的 1/4 左右。在夏季极端气候下，能缓解城市的空气温度热岛问题^[4]。建筑平面相同的情况下，坡屋顶建筑接触空气的表面积大于平屋顶建筑，因而屋顶绿化面积增大，可吸收更多的太阳辐射热量。如图 1 所示，对于相同的建筑高度，若由平屋顶倾斜一个角度形成坡屋顶，则垂直墙面的绿化面积增加，因此可增加建筑对邻近建筑辐射热量的吸收，从而减少空气中的热量，改善城市局部环境。由此可知，坡屋顶绿化不仅能吸收更多的太阳辐射热，同时也降低了邻近建筑墙面的辐射热。

1.2 美化城市天际线，延伸生态视线

随着我国人口的剧增，因城市用地有限，技术的发展使得城市建筑的高度普遍增加，有限的城市绿地无法满足人们接近自然的要求。平屋顶建筑的屋顶绿化因建筑太高而使处于地面的人视线无法企及，而对坡屋顶进行绿化，特别是从地面升起的大斜顶，则可扩大绿化面积，延伸视线，扩大视野，满足更多人对绿色自然的要求（图 2），不仅美化了城市景观，更延伸了城

市的生态视线。

以南洋理工大学艺术、设计与媒体学院为例（图 3），该大楼由 CPG 设计，用地位于规划保留下来的供师生与大自然共生的山谷中。建筑由三个相连的楼体和一个下沉广场组成，还有一个人工瀑布池。为减少破坏，CPG 同当地景观设计 Tropical Environment Landscape 合作设计了大楼的屋顶花园。波浪形绿色屋顶从地面升起，建筑立面使用了玻璃幕墙和清水模板墙，十分醒目。清新自然的风格和层层遮阳的结构使大楼恰如其分地融入了周围的景色。建成后的大楼成为当地景观的一部分，并完全融入现有环境之中^[5]。

1.3 绿化坡屋顶界面，增强建筑的生态效应

现今国内建筑大多是方盒子、平屋顶，“千城一面”造成了城市地域性的缺失。坡屋顶或曲线屋顶可有效破除现有建筑的单调，丰富建筑形态，对屋顶进行绿化则可美化屋顶界面，增强建筑的生态效应。现代建筑注重对人际交往和绿色空间等需求的满足，斜屋顶或曲线屋顶建筑相对于平屋顶建筑更具动感，对其进行屋顶绿化不仅可增加建筑的趣味性，更满足了人们亲近自然的需求。

以北京郦城云楼为例（图 4），该项目位于北京市西四环外，东侧紧邻四环路绿化带，西北侧为皇家园林——颐和园，周边视野开阔，可远眺西山美景，环境优越。设计师考虑到与周边环境的协调将住宅建筑设计成波浪形屋面，层层叠叠的屋顶如同流动的波浪，与远山、远景和谐共生。这样的造型不仅不同于现代建筑的呆板，更增加了建筑的动感及空间的流动性。

2? 坡屋顶种植的技术要点

坡屋顶种植的构造层次包括植被层、种植土、过滤层、蓄排水层、耐根穿刺防水层、普通防水层、保温隔热层和结构层等，与平屋顶相比少了找坡层（图 5）。因种植土和植物具有较好的保温隔热性能，在我国除寒冷地区外可不设置保温层。防水层应严格按照国家标准选择防水卷材类型。

坡屋顶大多为不可上人式屋顶，因其特殊的结构，绿化要求建筑静荷载大于等于 $100 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ，在建筑设计时只考虑人员施工与屋面维修等的要求，故绿化后不利于经常上人维护。因此，要想做好坡屋顶绿化，就应在尽可能减少屋顶绿化投资的前提下，从技术结构方面采取必要措施，以克服坡屋顶结构的特殊性所容易引发的一系列难题^[6]。

2.1 坡度的处理方式

坡屋顶种植的范围理论上可在任何坡度下（ $0^\circ \sim 90^\circ$ ），但坡度较大时种植结构层易滑坡，水分与基质中的养分下移情况较为严重，容易导致坡面屋顶上部的植物由于水分的胁迫而退化、死亡，因此针对不同的坡度需采取相应的防滑措施。坡度在 20% 以下时不考虑防止种植土、保温层的滑动，可以满铺种植土，通过相应规格的带网格的砂砾板、塑料种植瓦等的嵌套排放或采用不易被冲刷的基质材料来解决；坡度大于 20% 的坡屋顶则应采取一定的防滑措施，特别是坡度大于 30% 时，需要分别详细计算以满足设计的要求。根据屋顶楼盖板构造形态的不同，坡屋顶坡度的处理方式可分为以下三类：

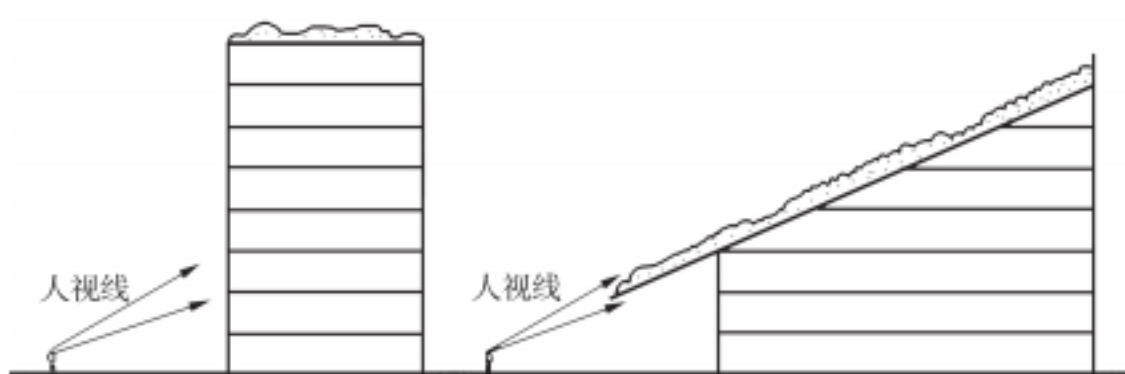


图2? 人眼视线对屋顶绿化的观察范围
Fig.2 people's range of observation about the greening of roof



图3? 南洋理工大学艺术、设计与媒体学院的屋顶花园
Fig.3 the roof gardens of Art and Design Institute of Media, Nanyang Technological University

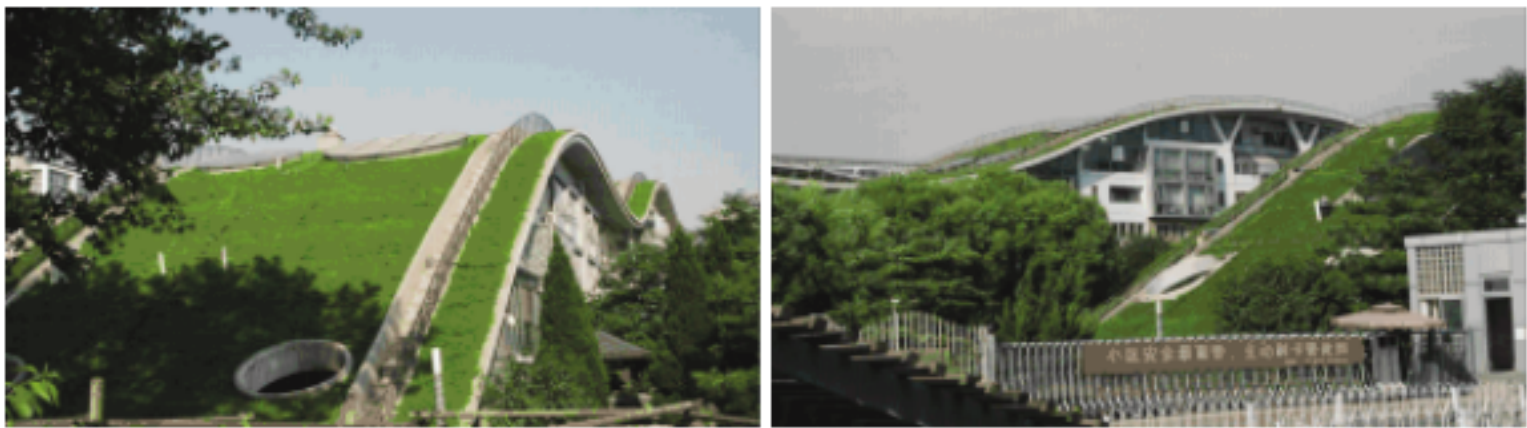


图4? 北京郾城云楼的屋顶绿化
Fig.4 the green roof of Licheng Yunlou in Beijing

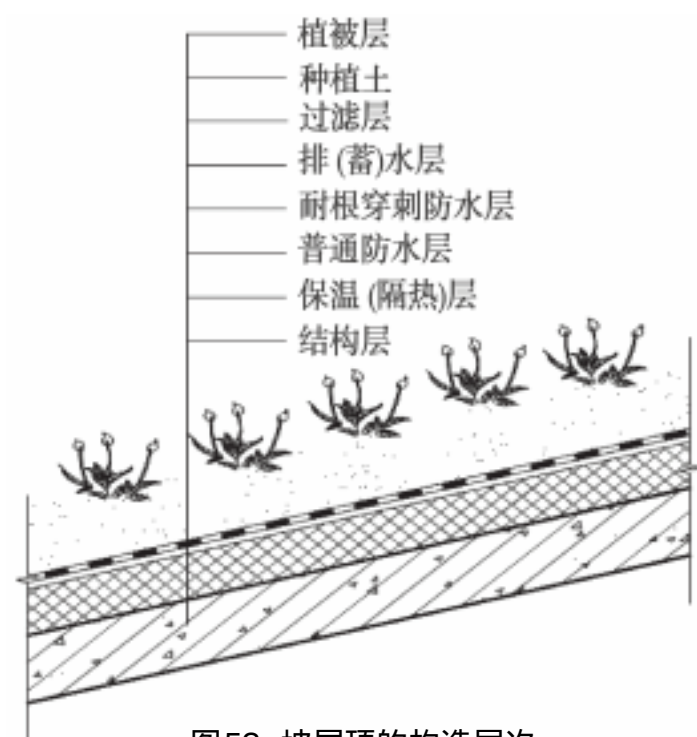


图5? 坡屋顶的构造层次
Fig.5 structural level of sloping roof

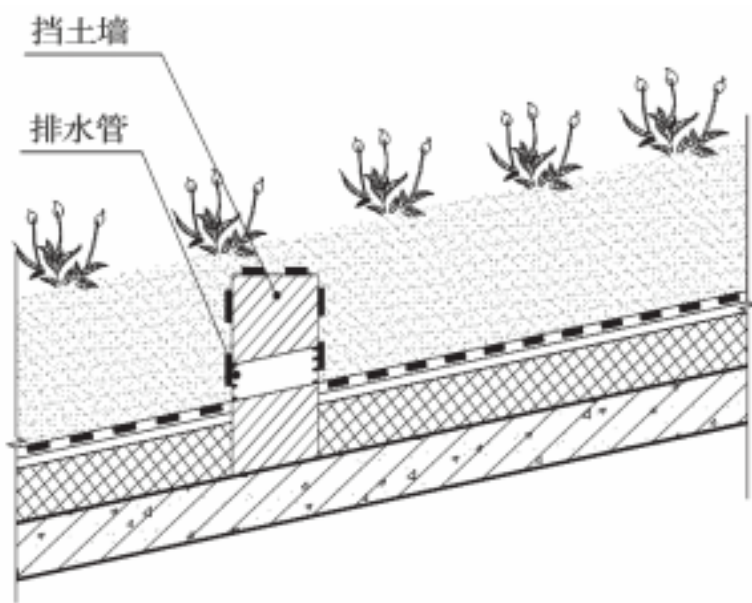


图6? 坡屋面的防滑做法
Fig.6 antiskid practice of sloping roof

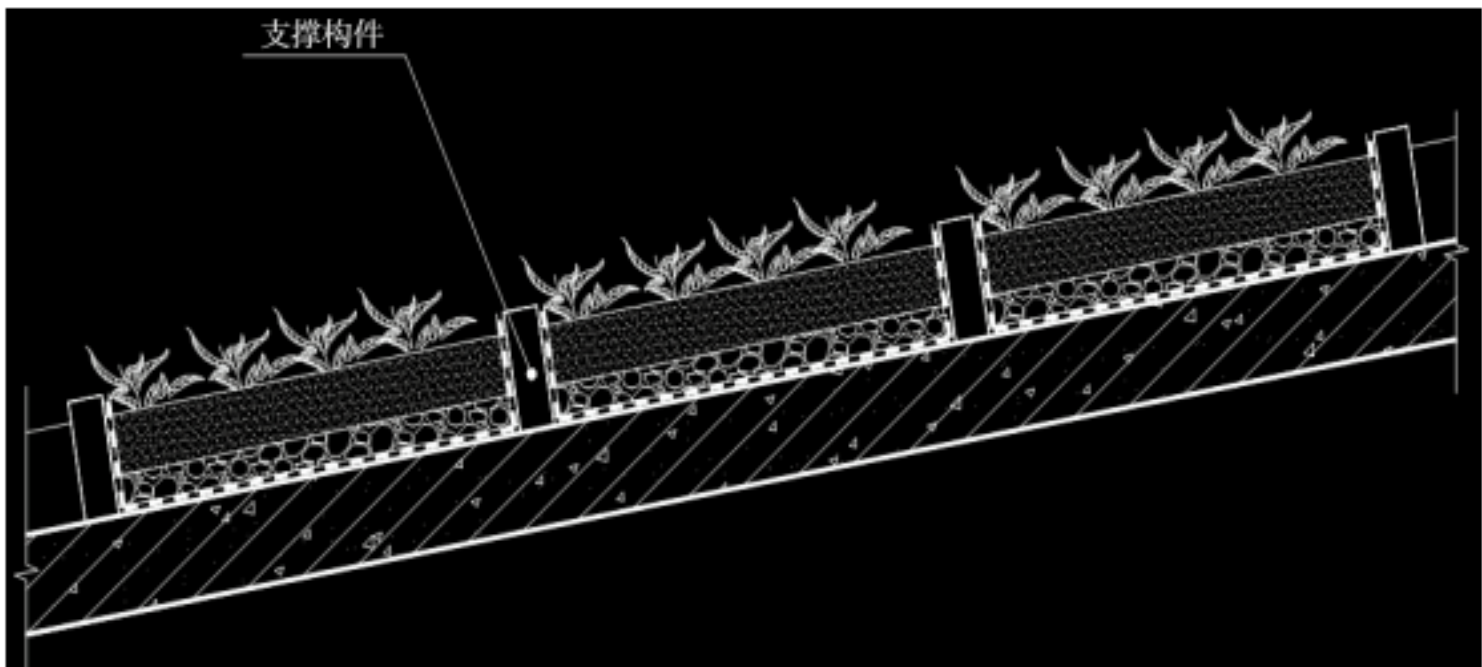


图7? 支撑构件
Fig.7 the bracing member

2.1.1? 直坡式

直坡式是指屋顶楼盖板呈斜直面，后再铺设保温层、防水卷材、蓄水层、过滤层和种植层等。当屋顶坡度大于 20%时，可在楼板上设置挡土墙，也可采用预制挡板支撑作为防滑措施。

采用挡土墙时，挡土墙应直接与楼板相连，保温层、排水层在此断开，排水管设置在挡土墙中，防水卷材绕过挡土墙。挡

土墙上是基质，基质上种植植物（图 6），形成连续的植物景观。这种构造方式适用于坡度较缓的传统屋顶，常用于平改坡、坡屋顶改造等，特点是造价低、易施工，但因种植土厚度不宜大，植物选择有限，且没有园路，无法上人，造成后期维护困难，因此建议选用低维护植物。

采用支撑构件时，连接屋面的固定件、预留孔洞、给排水管道、电器和集中天

线等设备均应在浇筑混凝土前一次性全部预埋，不得在结构和防水层施工完毕后再通过电钻打眼或用膨胀螺栓等使设备与钢筋混凝土基层相连，以免造成屋面渗漏，因此此类做法适合用在正建或待建房屋的钢筋混凝土楼盖上。在屋面设置一定形状的支撑时，可在支撑形成的格中种植植物，因为支撑形成的区域较小，这种屋顶绿化形式相对比较稳定，基质不会轻易流失，排水一般设置在支撑的下部。构件一般采用钢材及其他耐腐蚀的金属材质，造价高，因此推广较难，通常用在要求较高的建筑中（图 7）。这种做法的特点是不受屋面坡度的影响，可根据屋顶形式灵活布置，易形成效果，故受到建筑师的喜爱。因构件的抗剪性差，可承受的侧压力弱，因此不宜种植灌木和乔木，可选择易于生长的地被植物^[7]。

以 2010 年上海世博会爱尔兰馆的坡屋顶绿化为例（图 8），爱尔兰馆的屋面有平屋面和斜坡屋面两种，其中平屋面约 2000m²、斜坡屋面约 460m²^[8]。屋面系统设计为绿化屋面系统，由特选植物、轻质营养土、过滤布、蓄排水板、保湿保护毯、根阻型防水卷材、保温板、隔汽层及附属配件组成。

2.1.2? 阶梯式

阶梯式是指挡土墙同楼盖板一起现浇，挡土墙和结构反梁统一的做法。施工时挡土墙应比种植土面高 100mm，墙下按一定的间距预留排水孔，在每个排水孔处先设置钢丝网片，排水孔的四周堆放过水的砂卵石，砂卵石应完全覆盖泄水孔，以免种植介质流失或堵塞泄水孔。防水层的收头应做至墙顶。



图8? 爱尔兰馆的种植屋面
Fig.8 the planted roof of Ireland Pavilion

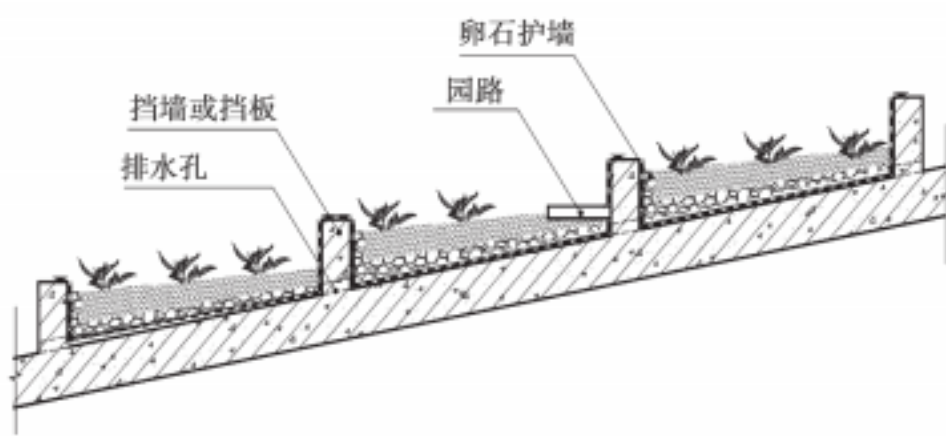


图9? 阶梯式种植屋面

Fig.9 ladder planted roof



图10? 重庆大学 A区主教学楼的阶梯式种植屋顶

Fig.10 the ladder planted roof of the Main Building in campus A of CQU

在挡土墙之间形成较小区域的基质层,可以种植植物,也可以设置园路等(图9)。这种形式的特点是可利用排水层和种植层找坡以缓解屋面坡度。基质上可设置园路,故屋顶可以上人以供游览,同时方便后期维护。植物选择上亦更为灵活,靠近挡土墙处种植土厚,可种植根系发达的树木。如重庆大学A区主教学楼的坡屋顶采用的即是此种做法(图10)通过结构反梁形成多个长方形的小仓,固土效果好。在每个挡土墙上预留的排水洞数量合理,过多则影响蓄水效果。屋顶种植的是小型灌木,可定期进行维护管理。从图中可以看出,主教学楼的坡屋顶绿化形成了周边绿化的延伸。

2.1.3? 台阶式

台阶式种植是指利用结构形式将屋面做成台阶状,不同台阶上用基质填充并种植植物(图11)。此种做法的优点是结构层水平,种植土中的水份和营养均衡,有利于植物的生长,且结构受力均匀,便于施工。此外,台阶式种植将坡屋顶转化为若干平屋顶的组合,有效化解了坡度方面的不利因素,有利于设计师在屋顶上设置休憩座

椅等各类小品,也为后期维护人员在屋面上进行灌溉、修护等工作提供了便利。这样的做法等同于平屋顶的种植,因此植物的选择可以灵活多变。以日本福岡 ACROS 屋顶的台阶式绿化为例(图12),建筑用地的南边是市中心公园,设计师为了给市民提供更多的休闲娱乐空间,同时与南边的公园形成连续的绿色景观,采用了台阶式的屋顶处理方式。南侧公园的绿化植被与台阶状屋顶上的混植植被融为一体,每一层植被由台阶屋顶植被和栽植于下一层墙体上容器内的植被组成,整体上仿佛山脊植被与山谷相连。竣工数年后,建筑屋顶上的植被已经郁郁葱葱,在城市中央形成了一座绿色的“人工山林”,成为福岡市民娱乐休憩的理想空间^[9]。

2.2 坡屋顶种植植物的选择原则

与地面相比,屋面环境具有湿度小、风大、种植土薄、日照时间长、强度大、温差大等特点,同时屋顶绿化是在人工创造的环境中进行植被栽植,采用客土、人工灌溉系统为植被提供必要的生长条件。因此屋顶种植应在充分考虑植物的生长需

求、屋顶的负荷能力和建筑整体的设计要求的基础上选择与配置植物,从而形成良好的绿化效果。

坡屋面由于南北分区明显,日照强度差异很大,在进行坡屋顶绿化地被植物选择时应更谨慎。总体而言,坡屋顶绿化种植植物的选择应当注意以下几个方面:

2.2.1? 选择耐旱、耐寒性较强的低矮灌木和草本植物

建筑的屋顶夏季气温高、风大、土层保湿性能差,冬季则保温性差,故绿化时应主要选择耐旱、耐寒性较强的植物。坡道式处理的坡屋顶因种植土层薄,保水不均匀,不适合高大的植物,故应选择耐旱性强的易存活的草本植物。

2.2.2? 根据受阳面或背阳面选择阳性或喜阴的耐瘠薄的浅根性植物

坡屋顶的受阳面基本上正对太阳,全日照直射,光照强度大,绿化时应尽量选用阳性植物;而背阳面刚好相反,几乎没有阳光直射,光照强度小,故应选择喜阴的植物。通常南向光强>平面光强>北向光强,坡屋顶南北朝向时,南向光照强,水分和基质蒸发作用强于北向,因而对植物的

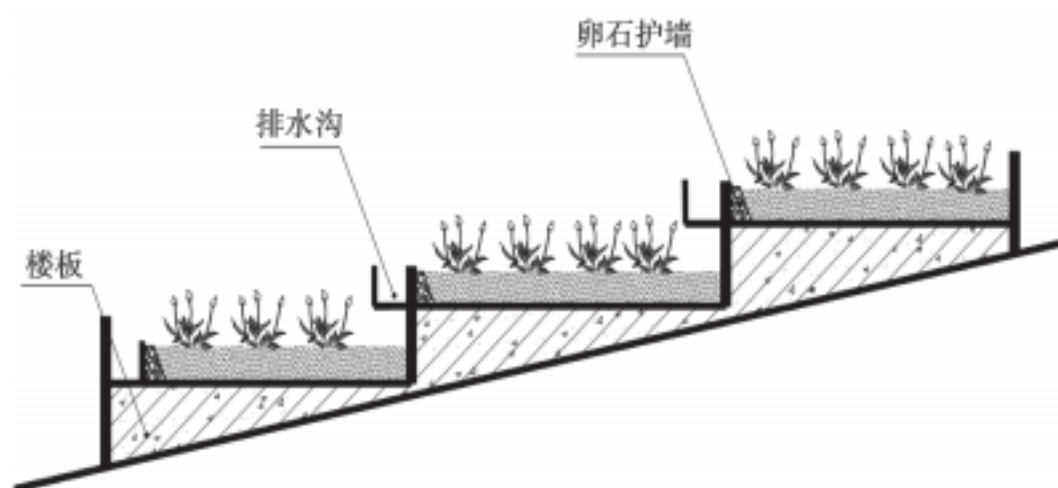


图11? 台阶式种植屋面

Fig.11 stepped planted roof



图12? 日本福岡市 ACROS的台阶式屋顶绿化

Fig.12 the stepped green roof of ACROS of Fukuoka in Japan

影响较大。研究表明，北向基质含水量是南向的 1.3 倍 所以类似佛甲草和海滨雀稗的地被植物在北向比南向生长得更好^[10]。

屋顶的种植层较薄，为防止根系对建筑结构的侵蚀，应尽量选择浅根系的植物。因施用肥料会影响周围环境的卫生状况，故屋顶花园应尽量种植耐瘠薄的植物种类。

2.2.3? 尽量选择低矮、耐积水的植物种类
屋顶上的空风力一般较地面为大，特别是雨季或台风来临时，风雨交加的天气对植物的生存危害最大；加上屋顶种植层薄，土壤的蓄水性能差，一旦下暴雨，易造成短时积水，故屋顶绿化中应尽可能选择一些抗风、不易倒伏同时又能耐短时积水的植物。台阶式屋顶的绿化可选用此类灌木或乔木，其他形式的坡屋顶绿化则应选择地被、小灌木等低矮植物。

2.2.4? 选择以常绿为主、冬季能露地越冬的植物

营建屋顶花园的目的是增加城市的绿化面积，美化建筑的“第五立面”，故屋顶花园中的植物应尽可能以常绿为主，宜用叶形和株形秀丽的品种。为使屋顶花园更加绚丽多彩，体现植物的季相变化，还可适当栽植一些色叶树种。在条件许可的情况下可布置一些盆栽的时令花卉，使花园四季有花，但容器式种植方式不宜用于坡屋顶绿化。

2.2.5? 尽量选用乡土植物，适当引种绿化新品种

乡土植物对当地的气候有高度的适应性，在环境相对恶劣的屋顶花园绿化中，选用乡土植物往往有事半功倍之效。同时，考虑到屋顶花园的面积一般较小，为将其布置得更精致，可适当选用一些观赏价值较高的植物新品种，以提高屋顶绿化的档次。

3? 结语

本文概要论述了坡屋顶绿化在建设中的意义，总结出坡屋顶绿化设计中应重点处理的方面，包括坡屋顶的防滑处理、坡屋顶种植的构造要点、根据坡度确定适当的屋顶处理方式以及植物种类的选择等等。虽然坡屋顶绿化相对于平屋顶绿化来说在技术上比较困难，植物选择的种类亦有限，但其所能达到的设计和景观效果是平屋顶绿化难以企及的。未来技术的发展必将解决坡屋顶绿化的局限性，使之成为新的建设趋势。

注释：
中华人民共和国行业标准，种植屋面工程技术规程（JGJ155-2007）

参考文献：

[1] 王庆. 屋顶花园设计与适宜技术 [D]. 重庆：重庆大学, 2007.

[2] 余伟增. 屋顶绿化技术与设计 [D]. 北京：北京林业大学, 2006.

[3] 赵定国. 屋顶绿化及轻型平屋顶绿化技术 [J]. 中国建筑防水, 2004(04): 17-19.

[4] 唐鸣放, 杨真静, 李莉, 等. 自然状态草地式屋顶绿化隔热特性分析 [J]. 暖通空调, 2007, 37(03): 1-4, 14.

[5] 《城市建筑》编辑部. 南洋理工大学艺术、设计与媒体学院 [J]. 城市建筑, 2008(02): 81.

[6] 张斌, 胡永红, 秦俊, 等. 轻型坡屋顶绿化技术的研究与实践 [J]. 西北林学院学报, 2009(02): 171-175.

[7] 李海英, 白玉星, 高建岭. 屋顶绿化的建筑设计案例 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012: 123.

[8] 吴玉勇. 世博会爱尔兰馆绿化屋面系统设计及施工 [J]. 中国建筑防水, 2012(03): 25-29.

[9] 《工程质量》编辑部, 福州市 ACROS 福冈台阶状屋顶花园 [J]. 工程质量, 2007(14): 56.

[10] 王兆龙, 李洁, 胡玉咏, 等. 坡面屋顶绿化草坪技术研究 [C].//2007 年中国科学技术协会年会论文集, 2007: 749-755.

图表来源：
图1-2、5-6、7、9、11：作者绘制
图3：杨恩达，在新加坡的绿肺里上学 -NTU-ADM 南洋理工大学艺术设计媒体学院 [EB/OL]. (2010-10-18) [2013-10-25]. <http://www.forgemind.net/phpbb/viewtopic.php?t=19153>.
图4：作者拍摄
图8：吴玉勇. 世博会爱尔兰馆绿化屋面系统设计及施工 [J]. 中国建筑防水, 2012(03): 25-29.
图11：唐鸣放教授提供
图12：郑维伟，日本 福冈独特的绿屋顶设计 [EB/OL]. (2010-12-07) [2013-10-25]. <http://www.landscape.cn/Article/ShowInfo.asp?ID=51856>.

收稿日期：2013-11-30
(责任编辑：郑曦)