骆天庆，苏怡柠，陈思羽．高度城市化地区既有建筑屋顶绿化建设潜力评析：以上海中心城区为例 [J]. 风景园林，2019，26（1）：82-85．

高度城市化地区既有建筑屋顶绿化建设潜力评析——以上海中心城区为例

A Potential Analysis of Roof Greening on Existing Buildings in Highly Urbanized Areas: A Case Study of Shanghai Central City

骆天庆 苏怡柠 陈思羽
LUO Tianqing, SU Yining, CHEN Siyu

中图分类号：TU986
文献标识码：A
文章编号：1673-1530(2019)01-0082-04
DOI：10.14085/j.fjyl.2019.01.0082.04
收稿日期：2017-12-04
修回日期：2018-10-30

骆天庆 /1970 年生 / 女 / 浙江人 / 博士 / 同济大学建筑与城市规划学院景观学系副教授、博士生导师 / 研究方向为城市绿地生态规划与设计（上海 200092）
LUO Tianqing, born in 1970 in Zhejiang Province, Ph.D., is an associate professor and a doctoral supervisor in Department of Landscape Studies, College of Architecture and Urban Planning, Tongji University. Her research focuses on ecological planning and design of urban green spaces (Shanghai 200092).

苏怡柠 /1992 年生 / 女 / 江苏人 / 香港大学社会科学学院地理学系在读博士研究生 / 研究方向为城市生态（香港 999077）
SU Yining, born in 1992 in Jiangsu Province, is a Ph.D. student in Department of Geography, Faculty of Social Sciences, the University of Hong Kong. Her research focuses on urban ecology (Hong Kong 999077).

陈思羽 /1996 年生 / 女 / 上海人 / 同济大学建筑与城市规划学院景观学系在读硕士研究生 / 研究方向为景观规划设计 (上海 200092)
CHEN Siyu, born in 1996 in Shanghai, is a master student in Department of Landscape Studies, College of Architecture and Urban Planning, Tongji University. Her research focuses on landscape planning and design (Shanghai 200092).

摘要：广泛的屋顶绿化是改善城市生态环境的重要举措。为探求中国高度城市化地区屋顶绿化建设推广的可行途径，综述了国外先进国家的屋顶绿化建设历程以及针对既有建筑的拓展型屋顶绿化的建设难点，并以中国屋顶绿化发展较早的上海为例，对其中心城区（即上海市外环线以内的区域，总面积约 667.80km^2）既有建筑的屋顶绿化进行了适建性评估。国外屋顶绿化建设领先的国家大多经历了从鼓励到强制、从新建建筑到既有建筑的历程；针对既有建筑的拓展型屋顶绿化的建设更具技术挑战性，必须进行构造创新、基质优化、植物精选和成本控制；上海已率先发布屋顶绿化建设的强制性政策，相关技术研发已有相当基础，但推广建设类型仍有局限，拓展型屋顶绿化极具建设潜力。

关键词：风景园林；屋顶绿化；建设潜力；既有建筑；上海
基金项目：高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室 2016 自主与开放课题

Abstract: Extensive green roofs help improve urban environment. To explore the feasible ways to promote roof greening in highly urbanized areas in China, this paper has summarized the course of green roof construction in advanced foreign countries and the difficulties in extensive green roof construction on existing buildings. It has takes Shanghai, a forerunner of roof greening in China, as an example and carried out suitability assessment of roof greening on existing buildings in the city's central urban area (districts within the Outer Ring Road in Shanghai, with a total area of about 667.80km^2). Most of the foreign countries advanced in green roof construction have gone through the development pattern from encouragement to coercion and from new buildings to existing ones. Construction of extensive green roofs on existing buildings is more challenging technically. Structural innovation, substrate optimization, plant selection and cost control are required. Shanghai has taken the lead in issuing mandatory policies on roof greening. Related techniques have been developed, but there are still limitations in construction types. The construction of extensive green roof has great potential in the city.

Keywords: landscape architecture; roof greening; construction potential; existing buildings; Shanghai
Fund Item: the Seed Foundation of Key Laboratory of Ecology and Energy-saving Study of Dense Habitat (Tongji University), Ministry of Education, 2016

在绿地有限的城市空间中，利用占城市下垫面 65% 的屋顶来进行绿化，已成为高度城市化条件下解决城市环境问题的重要手段 [1-2]。国际经验表明，全民环境意识、法律及公共政策支持以及屋顶绿化技术体系，是屋顶绿化发展的关键因素 [2]。

1 屋顶绿化类型及公共政策推进

1.1 屋顶绿化的类型

按照技术要求和生态效能，屋顶绿化通常分为拓展型、半密集型和密集型 3 种类型 [3]。半密集型和密集型屋顶绿化对建筑的承重要求较高，成本和维护要求也较高，兼具生态效能和观赏、游憩功能，且具备商业价值，适用于屋面承重能力较好的新建或既有公共建筑；拓展型屋顶绿化重量小、成本低、维护要求低，适用于大多数建筑，尤其是既有建筑。虽然就单个屋顶绿化而言，拓展型的生态效能相对较低，但是因为其低成本、低维护 [4]、适用建筑类型广，大范围推广可从宏

观上实现城市生态环境的改良[1]。

1.2 国内外屋顶绿化的建设发展历程

现代屋顶绿化技术从以德国为代表的欧洲国家向全球传播，其在各国的传播多由公共政策推动[2]。尽管各国的具体政策有所不同，但基本上都采取了先鼓励后强制的推动方式。在率先开展屋顶绿化建设的德国，这一技术的发展经历了由平屋顶的密集型屋顶绿化到以老房屋改造重修的拓展型屋顶绿化为主的过程[5]；而稍后发展的国家，大多通过借鉴德国技术并进行自主创新，鼓励多建筑类型的发展，但基本都经历了由新建建筑屋顶到既有建筑屋顶、由公共建筑屋顶到其他各类建筑屋顶的渐进过程（表 1）。

21 世纪初开始中国屋顶绿化也呈现出快速发展的态势，相关政策以鼓励为主、强制为辅[2]。相比德国 80% 的屋顶绿化都是低成本、低维护、适用于多屋顶类型的拓展型屋顶绿化，中国的拓展型屋顶绿化研究亟待开展[6]。

2 既有建筑屋顶绿化推广建设的技术研发支撑

纵观国内外屋顶绿化的建设发展历程，公共政策的推进很大程度上是受到技术水平的制约。既有建筑屋顶类型多样、荷载有限，适用的屋顶绿化技术研发难度相对较大。对此，借鉴德国的经验，发展拓展型屋顶绿化极有必要，既可大大节省既有建筑屋顶重修维护的费用，又具有显著的生态效益[5]。

2.1 拓展型屋顶绿化建设的技术难点

受制于屋顶承重和屋面防水层的保护要求、屋顶严酷的环境条件、施工和养护的操作难度以及资金的缺乏，拓展型屋顶绿化的建造技术难点主要体现在构造创新、基质优化、植物精选及成本控制 4 个方面。

既有建筑的承重能力和屋面防水性能大多有限，无法满足常规屋顶绿化的要求，必须优选轻型基质，并严格保护屋面防水构造层。相较于地面环境，屋顶日照强、干燥、日温差大、风速高，对屋顶绿化植物的耐寒、抗辐射、耐旱、抗风特性要求极高，对基质的持水保肥性能也有较高的要求。拓展型屋顶绿化的土层薄，植物和基质的选择标准更高。此外，在既有建筑屋面进行绿化施工和养护，操作条件有限。且既有建筑屋顶绿化通常缺少商业价值，大面积的推广必须严格控制成本、减少维护需求。

2.2 内外拓展型屋顶绿化的研究进展

2.2.1 构造

拓展型屋顶绿化的构造层通常包括植物层、基质层、隔离层（过滤层）、排（蓄）水层、保护层（表 2），整体饱水重量可控制在 49~98kg/m^2 的范围[7]，勉强可符合中国对不上人屋顶的承重限制。内置式、地毯式和模块式种植槽是 3 种常见的拓展型屋顶绿化构造方式[8]。其中，模块式种植槽安装简单，拼装图案多元，可适应多种形式的建筑屋面[9]，是相对更适用于既有建筑的拓展型屋顶绿化构造方式。

防水材料的技术发展可以解决既有建筑建设屋顶绿化的防水问题[10]。目前表现较好的拓展型屋顶绿化防水层加强方式有功能集成式的防水卷材和模块内置防水层[11]。

2.2.2 基质

拓展型屋顶绿化使用的种植基质应密度低、渗透性佳、疏松、持水性高并含充气孔隙度[12-13]。基质厚度可直接影响植物生长和存活率、种植屋面的热力性能表现以及屋顶绿化的持水性能。不同基质、植物和气候条件下，种植屋面的节能效应差异显著；相同条件下，基质越厚，可承载的植物种类越丰富[14]，对屋面温度的昼夜变化有更大的减缓作用[15]，持水性也更强[16]。拓展型屋顶绿化的基质厚度一般建议在 75~100mm[15, 17]。目前中国市场中的轻质基质，在 75~100mm 厚的饱水状态下可满足既有建筑屋面承重要求，并可支持景天属植物的正常生长。但中国对于不同厚度和配比的基质对屋顶绿化生态效益的影响尚缺少研究。不过近几年针对拓展型屋顶绿化常用的景天属植物，已开始研究利于其生长的基质配比[18]，以及不同配比基质的持水性能[19]。

2.2.3 植物

国外研究表明，拓展型屋顶绿化一般宜选用喜光，抗旱、耐热、营养需求小、低穿刺型浅根性的植物[20]，如景天及部分草本地被植物。这类植物病虫害较少、维护要求低、生长缓慢，可以适应屋顶的严酷环境。要构建长期稳定的屋顶绿化系统，植物选择还须考虑当地环境[21]。

佛甲草等景天科植物耐旱、节水，在北京、上海等地区的推广应用都较为成功[22]。但相较于国外重视屋顶群落的建设，中国目前拓展型屋顶绿化的植物品种相对单一，应扩大筛选范围，从野生资源中挖掘更多的种类，增加生物多样性[23]。

2.2.4 成本

屋顶绿化的成本包括建造及维护费用。拓展型屋顶绿化具有显著的成本优势[4]，在既有建筑中推广较具潜力。

表 1 国外屋顶绿化推广案例

Tab. 1 Cases of roof greening promotion abroad

屋顶绿化推广项目	开始时间	推广过程	建设成效
德国斯图加特绿屋顶运动	20 世纪 70 年代	对公共建筑实施屋顶绿化——给私人建筑业主提供屋顶绿化财政补贴——将屋顶绿化作为强制性措施列入城市发展规划	截至 2007 年，公共建筑的屋顶绿化面积已经达到 105 000m^2，公共财政补贴的私人项目绿化了 55 000m^2
东京市屋顶绿化发展措施	1991 年	实施绿化条例推出屋顶绿化技术——编印《城市建筑绿化指南》无偿向市民提供技术指导——屋顶绿化义务化——屋顶绿化强制化	2012 年东京市屋顶绿化率已达 14%
韩国屋顶绿化激励制度	1999 年	制定普及型屋顶绿化建设指导——对屋顶绿化建设进行补贴激励——制定屋顶绿化造景标准	在住宅、办公楼、文化福利设施、商业设施和公共建筑上均进行了屋顶绿化，首尔市、京畿道、大邱市等屋顶绿化面积均有大幅上涨
新加坡屋顶绿化建设推进	2005 年	既有建筑绿色之星项目（要求建筑面积超过 2 000m^2 的新项目和翻新建筑达到绿色之星的认证标准）——涵盖新建筑和既有建筑翻新项目的立体绿化容积率鼓励项目——既有建筑屋顶绿化直接补贴试点项目	2010—2012 年，新增立体绿化面积 90 000m^2
丹麦哥本哈根屋顶绿化政策	2008 年	举办专题研讨会提高人们对屋顶绿化的认识——建设公共建筑示范案例——将屋顶绿化纳入 2009 年气候计划项目作为强制性规划目标	已建成若干示范性屋顶绿化，至 2012 年已有两项城市规划将屋顶绿化作为强制性规划方案

3 上海既有建筑屋顶绿化的建设潜力评估

上海城市化水平高，人多地少，须充分利用屋顶绿化以改善城市环境。相对轻质的拓展型屋顶绿化有可能解决上海大量既有建筑的屋顶绿化难题。

3.1 上海推广屋顶绿化建设的政策助力

上海是国内屋顶绿化发展较早的城市之一，近年来相关政策的出台力度相当大，已率先开始从鼓励性①向强制性②转变。但屋顶绿化的推广类型目前仍局限于新建和改、扩建的平屋顶公共建筑。进一步的政策推广有待于低成本、低维护、适于大面积推广的屋顶绿化模式的研究臻于成熟。

3.2 上海地区拓展型屋顶绿化的技术研发

上海早在 1982 年就开始了利用景天类植物进行拓展型屋顶绿化的实践 [24]。针对既有建筑的建设实践难点也已有试验研究展开 [25-26]。2004 年提出了“平改绿”的既有建筑屋顶绿化一次成坪技术，在地面培育佛甲草苗块后移至建筑屋面 [27]。杨浦区绿化管理署自 2008 年起在工业园区老厂房进行屋顶绿化改造时，选用“轻型屋顶绿化节能技术”，以组合容器的方式建设草坪式屋顶绿化 [28]。住宅建筑屋顶绿化改造的渗水、承重等关键技术问题已经基本解决，推进过程的关键在于屋顶绿化知识的宣传、政府的扶持力度和政策支持的加强 [29]。

3.3 上海中心城区既有建筑屋顶绿化发展的量化潜力评估

3.3.1 适建标准

参照研究文献，屋顶绿化适建性评估涉及建筑属性、屋顶属性、屋顶绿化属性和区域城市建设 4 类指标（表 3）[30-34]。而目前中国的屋顶绿化相关规范则出于工程建设限制和规划管理指标的考虑，对屋面荷载、防水等级、屋面坡度、植物抗风、绿化面积占比等进行了限制性规定（表 4）。考虑抽样调查的可行性、指标的说明性和必要性，精简了较难操作调查的指标（如屋顶归属、建筑年代）、与适建性相关度不高的指标（如区域城市建设指标、屋顶绿化属性指标）及重复冗余的指标（如建筑承载力、屋顶设计承载力和屋面荷载），得到的既有建筑屋顶绿化适建标准（表 5）。

表 2 拓展型屋顶绿化的构造类型

Tab. 2 Structural types of extensive green roof

	使用颗粒物排水层的屋顶绿化系统		使用排水板的屋顶绿化系统
屋顶绿化系统（根据 FLZL）			
系统编号	G1	G2	P1
植物层	景天科植物 草本植物	景天科植物 草本植物 多年生植物	景天科植物 草本植物
基质层	51mm	102mm	76mm
隔离层	3mm	3mm	3mm
颗粒物排水层	51mm	51mm	–
排水板	–	–	25mm
保护层	6mm	6mm	6mm
总厚度	102mm	152mm	102mm
干重	93kg/m^2	137kg/m^2	68kg/m^2
饱水容重	127kg/m^2	200kg/m^2	112kg/m^2
最小坡度	0 ： 12	0 ： 12	1/4 ： 12
最大坡度	1 ： 12	1 ： 12	1 ： 12
年雨水滞留效率 *	50%	60%	50%

注：* 为保守估计数据。

表 3 既有建筑屋顶绿化适建性评估指标

Tab. 3 Assessment index of existing building roofs suitable for roof greening

指标类型	指标
建筑属性	建筑年代
	建筑容积率
	建筑层数 / 建筑高度 / 屋顶高度
	建筑结构 / 建筑承载力
	建筑类型
	建筑坐落位置
屋面属性	屋顶归属
	屋面构造
	屋顶功能
	屋顶被遮面积
	其他占用面积 / 设备情况
	屋顶坡度
	屋顶方向
	屋顶设计承载力
屋顶绿化属性	植物种植
	可持续性
	养护水平
区域城市建设指标	区域建筑密度
	区域绿地率
	区域人均绿地面积
	区域建设用地占比
	区域绿化覆盖率

3.3.2 适建性调查

利用上海市中心城区 2016 年的 18 级谷歌地图与百度地图，通过 ArcMap 随机取点抽样（图 1），用人工判读的方式，采集建筑屋面信息（共获取 2 529 条有效信息）。按适建标准筛选后，适建屋顶绿化建筑共 1 815 处，占样本总数的 72%。其中适建坡屋顶占比（51%）高于平屋顶（49%），居住建筑占比（37%）高于工业建筑（35%）和公共建筑（27%）。综合考虑屋顶绿化的建造和维护成本，建议坡屋面、工业建筑以拓展型屋顶绿化为主，平屋面的居住建筑以半密集型屋顶绿化为主，平屋面的公共建筑以密集型屋顶绿化为主。按该选型建议，上海市既有建筑中 66% 适建拓展型屋顶绿化、13% 适建半密集型屋顶绿化、21% 适建密集型屋顶绿化。拓展型屋顶绿化将是上海既有建筑屋顶绿化中应用最广的类型。

3.3.3 调查结果比较检验

本次抽样调查中，上海市中心城区已建屋顶绿化的建筑中，办公建筑占比 26%，其次为科教文卫建筑（24%）、居住建筑（22%）、工业建筑（14%）、商业建筑（7%）和旅游建筑（7%）。在 2014 年由黄浦区绿化管理署牵头进行的黄浦区屋顶绿化实地调查中，居住建筑占比 30%，其次为商业建筑（29%）、办公建筑（21%）、科教文卫建筑（9%）、旅游建筑（8%）[35]。黄浦区位于上海市中心，商业繁华而工业建筑较少，故其商业建筑和工业建筑的屋顶绿化占比与本次中心城区抽样调查结果存在差异。此外，2015 年《上海市绿化条例修正案》正式实施，新建或改建的公共建筑须建屋顶绿化，因此本次调查中科教文卫建筑的屋顶绿化占比高于 2014 年的黄浦区调查结果。2 次调查虽然方法不同，总体上数据较为吻合，故认为本次调查结果可作为上海中心城区既有建筑屋顶绿化建设发展潜力量化评析的参考。

4 结论与展望

高度城市化地区既有建筑占比高，建设用地日趋紧张，城市绿地拓展受限，推广建设屋顶绿化是缓解城市环境问题的有效方法。囿于用地，上海其中心城区的绿地建设一直困难重重。上海 2016—2035 年规划进一步明确提出了城市建设用地总规模的“负增长”要求，意味着后续新增绿地和建筑的难度也越来越大。因此，推进屋顶绿化建设是正确的方向，而既有建筑应是屋顶绿化建设的主要市场。

从上海中心城区的屋顶绿化适建调查结果

表 4 既有建筑屋顶绿化的适建限制

Tab. 4 Construction restriction of roof greening on existing buildings

限制因子	规范规定
屋面荷载	简单式（即拓展型，下同）种植屋面荷载不应小于 1.0kN/m^2，花园式（即密集型，下同）种植屋面荷载不应小于 3.0kN/m^2，均应纳入屋面结构永久荷载（种植土的荷重应按饱和水密度计算，植物荷载应包括初栽植物荷重和植物生长期增加的可变荷载）
防水等级	一级防水等级设防要求
屋面坡度	不大于 50%
植物抗风	9 层及以下的中高层、多层及低层建筑
绿化面积占比	简单式种植屋面的绿化面积宜占屋面总面积的 80%以上，花园式种植屋面的绿化面积宜占屋面总面积的 60%以上

表 5 既有建筑屋顶绿化的适建标准

Tab. 5 Suitability index of roof greening on existing buildings

指标	适建标准
建筑类型	一般钢筋混凝土屋面的非临时性建筑
屋面坡度	不大于 30°（按 50% 坡度取整）
屋面层数	9 层及 9 层以下的中高层、多层及低层建筑
屋面绿化情况	目前无绿化
屋面设备情况	设备未占据屋面主要空间
不同方向屋面数量	≤ 4

1

1 研究区域和随机样点分布

Study area and random sample points

看，拓展型屋顶绿化的市场占比最高。而适建拓展型屋顶绿化的既有建筑中，坡屋面建筑占比较大。因此，对适用于坡屋面既有建筑的拓展型屋顶绿化进行相关技术的研发，将对既有建筑屋顶绿化的建设推广具有决定性的推动作用。

上海已率先对于新建及改建公共建筑的屋顶绿化建设强制立法，并且在“十三五”规划中继续强调立体绿网的建设。尽管当前的政策未及既有建筑的屋顶绿化建设，鉴于目前拓展型屋顶绿化技术的研发态势，未来上海全面推进屋顶绿化建设指日可待。

注释：

① 参见 2007 年发布的《上海市绿化条例》第十七条。

② 参见 2015 年 10 月 1 日开始实行的《上海市绿化条例修正案》和 2015 年 11 月发布的《屋顶绿化技术规范》。

③ 图 1 由作者自绘；表 1 根据参考文献 [2] 及孙健、李亚齐、胡春的《日本屋顶绿化建设对我国的启示》，赵红霞、姜太昊的《韩国屋顶绿化的激励制度和技术》，多拉茜·罗摩的《哥本哈根屋顶绿化政策将推动城市向绿色城市转变》绘制；表 2 根据德国景观发展和研究协会（FLL）提出的屋顶绿化技术规范绘制；表 3、5 由作者自绘；表 4 主要摘自《种植屋面工程技术规程》（JGJ 155-2013）。

参考文献 (References)：

[1] 甘德欣．浅谈我国屋顶绿化建设的误区和导向 [J]．风景园林，2011（4）：160．

[2] 谭一凡．国内外屋顶绿化公共政策研究 [J]．中国园林，2015，31（11）：5-8．

[3] 渥尔纳·皮特·库斯特．张钰译．中国屋顶绿化需要规范 [J]．风景园林，2006（4）：39-45．

[4] 宫永伟，杨一帆，李俊奇，等．屋顶绿化的效益及成本分析 [J]．环境与可持续发展，2015，40（3）：133-137．

[5] 魏艳，赵慧恩．我国屋顶绿化建设的发展研究：以德国、北京为例对比分析 [J]．林业科学，2007（4）：95-101．

[6] 皮特·库斯特．中德两国屋顶绿化对比 [J]．技术与市场（园林工程），2004（12）：10-11．

[7] WARK C, WARK W. Green Roof Specifications and Standards[J]. The Construction Specifier. 2003, 56 (8): 1-12.

[8] CARSON T B, MARASCO D E, CULLIGAN P J, et al. Hydrological Performance of Extensive Green Roofs in New York City: Observations and Multi-Year Modeling of Three Full-Scale Systems[J]. Environmental Research Letters, 2013, 8(2): 024036.

[9] 李晓东．武汉市斜坡屋顶绿化现状、特点及施工 [J]．中国建筑防水，2012（11）：16-18，29．

[10] 陈春荣．TPO 耐根穿刺卷材在既有建筑屋顶绿化改造中的应用研究 [J]．中国建筑防水，2017（3）：23-25．

[11] 任国亮．国外成熟屋顶绿化系统比较研究 [J]．中国建筑防水，2011（23）：24-28．

[12] GETTER K L. ROWE D B. The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development[J]. Hortscience A Publication of the American Society for Horticultural Science, 2006, 41(5): 1276-1285.

[13] VIJAYARAGHAVAN K, JOSHI U. M. Application of Seaweed as Substrate Additive in Green Roofs: Enhancement of Water Retention and Sorption Capacity[J]. Landscape and Urban Planning, 2015, 143: 25-32.

[14] BROWN C, LUNDHOLM J. Microclimate and Substrate Depth Influence Green Roof Plant Community Dynamics[J]. Landscape and Urban Planning, 2015, 143: 134-142.

[15] PEREZ G, VILA A, SOLE C, et al. The Thermal Behaviour of Extensive Green Roofs Under Low Plant Coverage Conditions[J]. Energy Efficiency, 2015, 8(5): 881-894.

[16] FANG C F. Rainwater Retention Capacity of Green Roofs in Subtropical Monsoonal Climatic Regions: A Case Study of Taiwan[J]. Design and Nature V: Comparing Design in Nature with Science and Engineering, 2010, 138: 239-249.

[17] NEKTARIOS P A, AMOUNTZIAS I, KOKKINOU I, et al. Green Roof Substrate Type and Depth Affect the Growth of the Native Species Dianthus fruticosus Under Reduced Irrigation Regimens[J]. Hortscience A Publication of the American Society for Horticultural Science, 2011, 46(8): 1208-1216.

[18] 钱瑭璜，梁琼芳，雷江丽．轻型屋顶绿化中景天属植物栽培基质配比研究 [J]．亚热带植物科学，2016，45（4）：369-372．

[19] 张华，袁密，刘栓，等．屋顶绿化基质雨水滞蓄效果影响因素研究 [J]．长江科学院院报，2017，34（4）：33-37．

[20] SNODGRASS E C, MCLNTYRE L. The Green Roof Manual: A Professional Guide to Design, Installation, and Maintenance[M]. Portland: Timber Press Inc, 2010: 51-87.

[21] DVORAK B, VOLDER A. Green Roof Vegetation for North American Ecoregions: A Literature Review[J]. Landscape and Urban Planning, 2010, 96(4): 197-213.

[22] 冷宇，张卫国，严秀珍，等．屋顶绿化植物研究综述 [J]．黑龙江农业科学，2008（2）：145-147．

[23] 冼丽铧，鲍海泳，陈红跃，等．屋顶绿化研究进展 [J]．世界林业研究，2013，26（2）：36-42．

[24] 刘玉琴．上海汽车二场的屋顶绿化 [J]．建筑知识，1983（5）：8-9．

[25] 韩丽莉，柯思征，陈美铃．容器式屋顶绿化在古建筑中的应用：以上海黄浦区政协人大屋顶绿化为例 [J]．中国园林，2015，31（11）：9-12．

[26] LLUO T Q, SU Y N. CHEN L B. How to Construct Green Roofs on the Tops of Existing Buildings: A Case Study in Shanghai[C]// The ASCE-EWRI Urban Water Resources Research Council. Proceedings of 2016 International Low Impact Development Conference. Reston, VA, USA： ASCE - American Society of Civil Engineers, 2016: 214-22.

[27] 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（4）：17-19．

[28] 曹敏．立体绿化几种形式在实践中的应用：以上海市杨浦区为例 [J]．农业科技与信息（现代园林），2010（4）：4-7．

[29] 周爱平．上海地区屋顶绿化在住宅建筑中的应用与影响 [J]．现代园艺，2015（20）：108-109．

[30] WILKINSON S J, REED R. Green Roof Retrofit Potential in the Central Business District[J]. Property Management, 2009, 27(5): 284-301.

[31] 邵天然，李超骐，曾辉．城市屋顶绿化资源潜力评估及绿化策略分析：以深圳市福田中心区为例 [J]．生态学报，2012，32（15）：4852-4860．

[32] 王新军，席国安，陈聃，等．屋顶绿化适建性评估指标体系的构建 [J]．北方园艺，2016（2）：85-88．

[33] 王新军，曹磊，王燕，等．苏南城市中心区屋顶绿化适建性及生态价值评价 [J]．南京林业大学学报（自然科学版），2017（6）：1-5．

[34] SILVA C M, FLORES-COLEN I, ANTUNES M. Step-by-step Approach to Ranking Green Roof Retrofit Potential in Urban Areas: A Case Study of Lisbon, Portugal[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2017, 25: 120-129.

[35] 魏维轩．高密度城市环境下屋顶绿化空间的社会功能研究 [D]．上海：同济大学，2015．

（编辑 / 陈汪丹）