

上海中心城区屋顶绿化建设发展评价研究

Research on the Evaluation of Green Roof Construction and Development in Shanghai Central City

聂浦珍¹ 王昊彬² 骆天庆^{1*} 李向茂² 邹福生²
NIE Puzhen¹ WANG Haobin² LUO Tianqing^{1*} LI Xiangmao² ZOU Fusheng²

(1.同济大学建筑与城市规划学院, 上海 200092; 2.上海市绿化管理指导站, 上海 200020)
(1. College of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai, China, 200092; 2. Shanghai Municipal Landscape Management and Instructional Station, Shanghai, China, 200020)

文章编号: 1000-0283(2023)04-0109-09
DOI: 10. 12193 /j. laing. 2023. 04. 0109. 014
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2022-09-09
修回日期: 2022-12-11

摘 要
上海屋顶绿化发展早、潜力巨大, 但一直重视建设增量而忽视存续管理, 影响其全生命周期生态效益的有效达成。利用Google Earth卫星影像判读上海中心城区的2008-2020年建成屋顶绿化, 并进行逐年、分区新建量和保有量、逐年新建量同比增长率及存续期统计, 结合既往政策、官方统计数据与分区实行情况调查, 研判建设养护中存在的问题并对未来发展提出建议。结果表明上海屋顶绿化逐年新建以非花园式为主导, 同比增长率各年差距很大; 逐年保有量持续累积, 花园式屋顶绿化保有情况更好; 分区新建和存续存在差异, 静安、黄浦、浦东新建较多, 虹口存续情况较好; 非花园式屋顶绿化相比花园式存续时长更短。上海屋顶绿化建设的问题主要体现在屋顶绿化建设类型结构有待调整优化、政策助力显著但有待进一步贯彻完善、各区屋顶绿化建设的经验有待探究总结、非花园式屋顶绿化存续期有待提高等方面, 相应的策略建议包括: 通过政策变更引领屋顶绿化发展方向、通过技术创新研发本地低维护产品、通过管理变革完善屋顶绿化建养市场。

关键词
屋顶绿化; 发展评价; 建设统计; 建设策略; 上海市

Abstract
Shanghai witnessed an early development of green roofs (GRs) of great potential but has been focusing on the increase in construction rather than the management of maintenance, which prevented the effective achievement of ecological benefits in a GR's lifecycle. This paper used Google Earth satellite images to interpret the constructed GRs in the central urban area of Shanghai from 2008 to 2020, conducted statistics on the numbers of new-built GRs and existing ones year by year and district by district, calculated the growth rate of construction per year and estimated the duration of GRs. Combined with the previous policies, official data, and practice surveys, problems existing in the construction and maintenance of GRs were analyzed, and suggestions were put forward for future development. The results showed the non-garden-oriented construction of yearly new-built GRs in Shanghai, the significant variation of year-to-year growth in new-built amount, the continuous accumulation of yearly existing GRs, the better situation of GRs in garden type, the differences in the construction and duration of GRs among the districts (i.e., Jing'an, Huangpu, and Pudong districts constructed more GRs while the GRs in Hongkou district have presented better duration), as well as the shorter duration of non-garden GRs than the garden GRs. The problems in the construction of GRs in Shanghai are mainly reflected as follows: (1) The type of structure of GRs needs to be optimized; (2) The policies presenting significant supports need to be further implemented and improved; (3) The experiences of GRs construction in each district need to be explored and summarized; (4) The duration of non-garden GRs need to be improved. The suggested strategies are: (1) Policies should guide the direction of GRs development; (2) Technic innovations should develop local GRs products of lower maintenance; (3) Management should improve the green roof construction and maintenance market.

Keywords
green roof; development evaluation; statistics of construction amounts; construction strategy; Shanghai

聂浦珍
1998年生/女/山西太原人/在读硕士研究生/研究方向为大地景观与生态修复

骆天庆
1970年生/女/浙江杭州人/副教授/研究方向为生态规划与设计

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: luotq@tongji.edu.cn

基金项目:
国家自然科学基金“街区尺度的屋顶绿化雨热效应协同、优化研究”(编号: 5207082105); 上海市科学技术委员会基金“上海城市树木生态应用工程技术研究中心”(编号: 17DZ2252000)

城市绿地作为城市生态系统中的唯一自然碳汇方式，在城市生态功能中具有不可动摇的地位^[1]。但随着高密度城市的不断发展，绿地增量日益困难，屋顶绿化成为了高密度城市拓展绿地空间的新途径。虽然相比城市绿地，屋顶绿化的直接全生命周期碳效益较低^[2]，但综合其节约城市用地、滞蓄雨水、制氧滞尘、缓解热岛效应，以及帮助建筑节能减排、延长寿命的突出生态效益^[3]，在城市问题不断突出的高密度城市中仍有重要的建设意义。

上海是国内高密度城市的代表，屋顶绿化发展早，研究多，政策鼓励力度大。19世纪80年代华亭宾馆、海伦饭店等涉外宾馆开始实施屋顶绿化^[4]，2004年提出了既有屋顶的一次成坪技术^[5]。到2008年，上海已有屋顶绿化41.23 hm²^[6]。2010年上海世博会为屋顶绿化发展带来了新的技术和发展契机。2012年，上海市政府出台《关于推进本市立体绿化发展实施意见》等一系列政策，屋顶绿化在上海大面积普及，当年新增了27.7 hm²屋顶

绿化，到2013年已累计建成165 hm²^[7]。在生态效益方面，有研究表明上海小雨时屋顶绿化截留率近100%，暴雨期截留率约为65%^[8]，夏季白天可降温28℃以上^[9]，黄浦区一年的公共绿地碳汇就高达6 977.65 t^[10]。

屋顶绿化的良好生长状况是发挥生态作用的重要前提^[11]。然而一直以来，上海屋顶绿化建设工作都是以建设指标为抓手，重视建设增量而忽视养护管理，不利于屋顶绿化存续^[12]。此外，屋顶绿化的实际保有量与分布格局，也一定程度上影响了其宏观的生态效益^[13]。但目前上海的实际存续情况、市场保有量和分布情况都缺乏深入调查。文章通过Google Earth历史卫星影像判读进行上海中心城区2008-2020年历史屋顶绿化的全面摸排，进行逐年、分区、分类型的统计，以了解上海屋顶绿化实际增建情况与存续期，客观评估建设情况；并结合相关政策演变、上海市绿化管理指导站的报表数据以及各区的实行情况调查，讨论屋顶绿化建设中的突出问题，

研判未来建设策略，以期优化区域建设，延长存续期，使屋顶绿化在未来做出更大的生态贡献。

1 研究方法

1.1 上海中心城区屋顶绿化建设情况判读与统计

1.1.1 上海中心城区屋顶绿化卫星影像判读

由于屋顶绿化地处屋顶，分布较广，逐一实地调研难度较大，而政府统计因口径和渠道限制可能存在遗漏，因此目前主流的市域屋顶绿化调查方法是卫星影像判读。国内相关文献较少，且自动、半自动判读仍在摸索阶段，因此人工判读仍是较为成熟、可靠的方法^[14]。Google Earth能够查看2008-2020年上海历史卫星影像，是屋顶绿化判读的常用卫星影像。考虑到云层和植物生长状态的影响，本文使用每年7月的1 m分辨率卫星影像对上海外环以内^①屋顶绿化进行地毯式人工判读。判读示例如图1，根据建筑屋顶轮廓线、



图1 建筑及屋顶绿化判读示例
Fig. 1 Examples of roof and GR identification

① 外环以内具体包括黄浦区、杨浦区、虹口区、静安区全域以及徐汇区、长宁区、普陀区、浦东新区、闵行区、宝山区和嘉定区的外环以内部分。

建筑立面及阴影来识别建筑屋顶。上海的屋顶绿化分为草坪式、组合式和花园式^① [15]，囿于卫星影像对乔灌木的区分度有限，对于屋顶绿化类型仅区分花园式和非花园式屋顶绿化（以下称花园式和非花园式）。非花园式表现为较均匀的绿色斑块，花园式表现为不均匀、植物乔灌木高低错落的绿色斑块。记录每片屋顶绿化在卫星影像上显示的建设年份、消亡年份。最终得到上海中心城区GIS点位数据1 282个（图2）。

1.1.2 上海中心城区屋顶绿化建设情况统计

将GIS点位数据按照屋顶绿化类型进行逐年、分区建设情况的统计（表1）。由于卫星影像无法获得准确的面积信息，统计仅针对屋顶绿化的数量；由于Google Earth没有2007年上海市卫星影像，2008年新建量和新建量同比增长率情况无法获得，逐年新建量和新建量同比增长率的统计年份为2009-2020年；分区建设情况将各年各区屋顶绿化情况统计成表并生成2020年的分区建设情况图，由于嘉定区大部分在外环以外，因此分析时并未纳入。

其中，逐年新建量同比增长率计算见公式（1）。

$$R_n=(C_n-C_{n-1})/C_{n-1} \times 100\% \quad (1)$$

式中， R_n 为当年新建量同比增长率， C_n 为当年屋顶绿化新建量（个）， C_{n-1} 为前一年屋顶绿化新建量（个）。

此外，对各个屋顶绿化逐一计算存续期并进行分类统计。由于统计年份有限，为了更为全面地认识屋顶绿化的存续情况，对2008年之后建设并在2020年前消亡、2008年

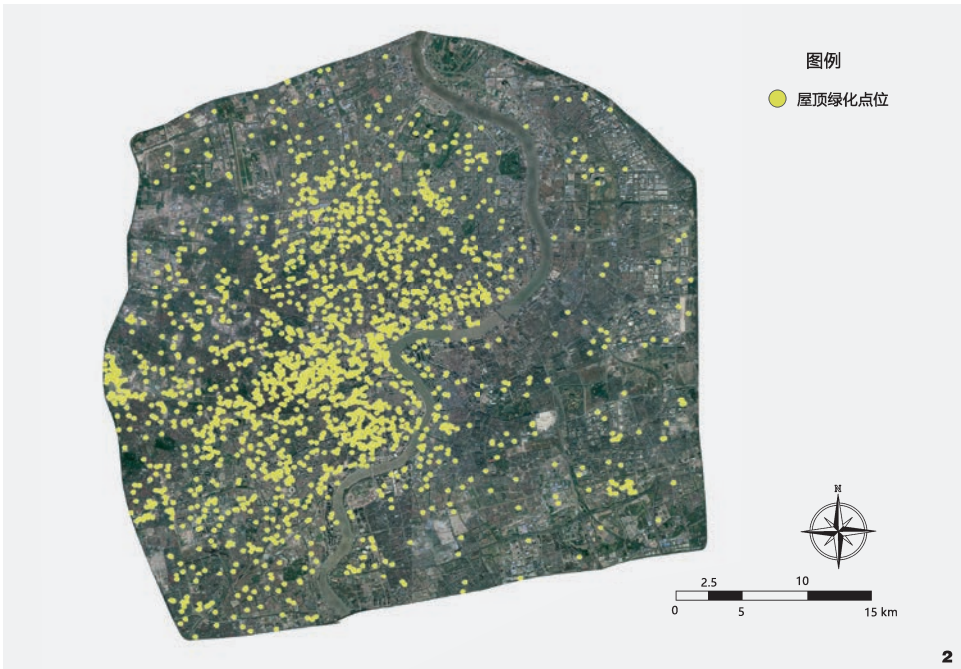


图2 上海中心城区2008-2020屋顶绿化点位分布
Fig. 2 Distribution of GR points in Shanghai Central City from 2008 to 2020

之后建设且至今仍然存活的屋顶绿化分别统计，使用SPSS中曼-惠特尼检验分别分析其中花园式与非花园式的存续期差异性，并计算存续期中位数。由于仍存活的屋顶绿化未

来的存续状况不明朗，考虑到其中存续期较短的屋顶可能存续时长会少于目前已消亡屋顶绿化的中位数，进一步统计仍存活的花园式与非花园式中超过和未超过已消亡中位数

表1 屋顶绿化建设情况统计项
Tab. 1 GR construction statistics

	统计项	含义及统计方法
	Statistics	Meaning and statistical method
逐年建设情况	年新建量/个	统计逐年卫星影像中当年新出现的同类型屋顶绿化数量
	年保有量/个	统计逐年卫星影像中当年的同类型屋顶绿化总数
	新建量同比增长率/%	统计逐年同类型屋顶绿化新建量相比前一年同期的增长率
分区建设情况	分区年新建量/个	各区各年卫星影像中新出现的屋顶绿化数量
	分区年保有量/个	各区各年卫星影像中的屋顶绿化总数
	2020年各区新建量/个	各区2020年卫星影像中新出现的屋顶绿化数量
	2020年各区保有量/个	各区2020年卫星影像中的屋顶绿化总数

① 草坪式屋顶绿化指采用适生地被植物或攀缘植物进行单层配置的屋顶绿化类型；组合式屋顶绿化指以单层配置为主，并在屋顶承重部位进行绿化复层配置的屋顶绿化类型；花园式屋顶绿化指选择各类植物进行复层配置，可供人游览和休憩的屋顶绿化类型。



图3 2009-2020屋顶绿化逐年新建量

Fig. 3 The annual number of new-built GRs from 2009 to 2020

图4 2009-2020屋顶绿化逐年新建量分类占比

Fig. 4 The category proportions of annual new-built GRs from 2009 to 2020

图5 2008-2020屋顶绿化逐年保有量

Fig. 5 The annual GR amounts from 2008 to 2020

的部分各自在仍存活屋顶中的占比。

存续期的计算见公式(2)。

$$D = T_{\text{extinction}} - T_{\text{construction}} \quad (2)$$

式中, D 为屋顶绿化存续期(年),

$T_{\text{construction}}$ 为屋顶绿化建设年份(年),

$T_{\text{extinction}}$ 为屋顶绿化消亡年份(年)。对于

2008年之后建设且至今仍然存活的屋顶绿

化, 统一取2020年。

1.2 上海屋顶绿化政策发展研究及官方数据统计

通过整理上海市历年屋顶绿化政策规范, 评判上海屋顶绿化政策发展情况, 以供后续建设问题讨论。此外人工判读可能有

小部分屋顶绿化存在误判、漏判等误差。因此对2008-2020年上海市绿化和市容管理局的“全市立体绿化建设情况统计表”按照屋顶绿化类型统计各年建设量, 参照全市每年新建屋顶绿化类型的比例核验人工判读的新建量数据。

1.3 上海中心城区屋顶绿化分区实行情况调查

上海的屋顶绿化建设, 主要遵循政府主导、指标引领、分区实行的办法^[16], 各区的建设情况因自身条件和实行办法不同而异。选取中心城区分区建设情况统计中具有代表性的区, 实地走访并接洽各区绿化市容管理部门, 了解各区的建设、养护办法, 并与各区新建、保有情况比对, 探讨各区实际情况与实行办法对屋顶绿化建设情况的影响。

2 上海中心城区屋顶绿化建设情况

2.1 上海中心城区屋顶绿化建设情况统计

2.1.1 逐年新建量

2009-2020年上海中心城区屋顶绿化年新建量及分类占比如图3, 图4所示。年新建量总体呈现先递减后递增的趋势: 2009年为一个高峰, 2010-2012年逐年递减, 从2013年开始虽有起伏, 但总体上逐渐增加, 2019年达到最高峰。其中, 非花园式新建量除2013年外每年均多于50%, 平均占比68.88%, 2015年之后新增量明显占优; 花园式新建则相对稳定, 大多年份都在50个以内。说明上海屋顶绿化建设以非花园式占据优势。

2.1.2 逐年保有量

2008-2020年上海中心城区屋顶绿化年保有量及分类占比如图5, 图6所示。相比逐年新建量, 年保有量呈逐年递增, 并于2019

年突破了1 000个；且两类屋顶绿化年保有量的平均占比更为接近，说明花园式的保有情况相比新建情况更好。

2.1.3 逐年新建量同比增长率

2009-2020年上海中心城区屋顶绿化新建量同比增长率如图7所示，起伏较大：2009、2013、2016、2017、2019年两类屋顶绿化均相比前一年新建更多，2013年增长最多，两类合计达363.2%；而2010、2012、2020年两类屋顶绿化均为负增长，2010年负增长最多，两类合计为-74.2%；其余年份则不同类型屋顶绿化呈现正负增长不同的情况。总体看来屋顶绿化建设量同比增长并不稳定，各年差别很大。

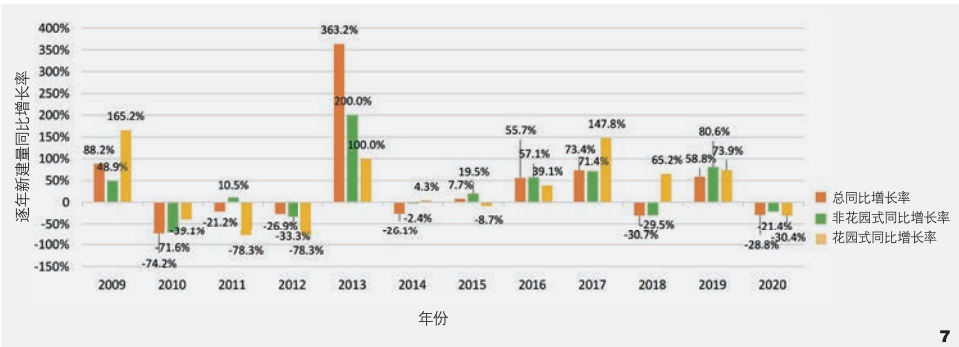


图6 2008-2020屋顶绿化逐年保有量分类占比
Fig. 6 The category proportions of annual GR amounts from 2008 to 2020

图7 2009-2020屋顶绿化逐年新建量同比增长率
Fig. 7 The annual growth rates of GR construction from 2009 to 2020

2.1.4 分区建设情况

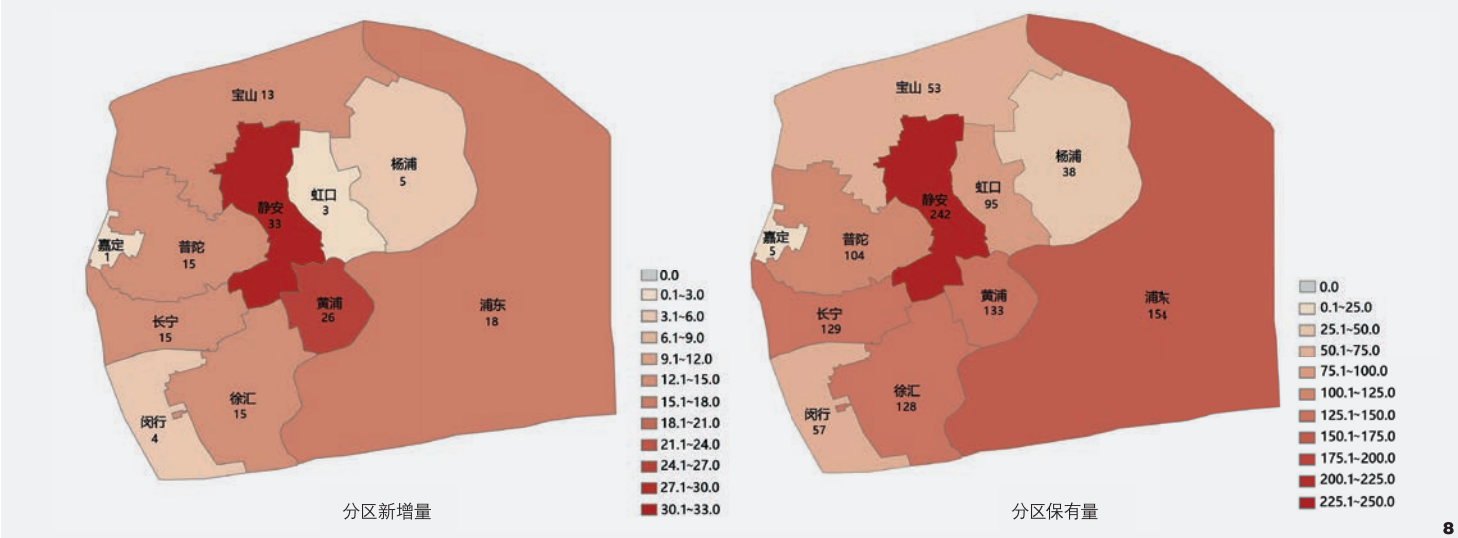
2008-2020年分区年新建量、保有量如表2所示。2020年各区屋顶绿化新建量及保有量如图8所示。整体上看各区的新建、保有情况并不均匀：新建与保有最多的区域为静安、黄浦、浦东，最少的是杨浦、虹口、

闵行；徐汇、长宁、虹口的保有情况要好于新建情况，特别是虹口区新建最少，仅有3处，但2020年实际保有95处屋顶绿化，保

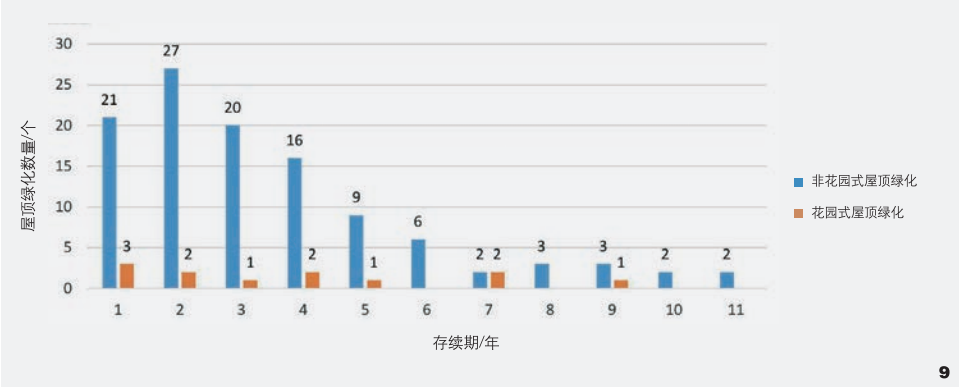
有量为中游水平；与此相反的是宝山、黄浦的保有差于新建；而闵行、杨浦两区的新建与保有状况都相对不佳。

表2 2008-2020年上海中心城区分区逐年新建量及保有量（单位：个）
Tab. 2 The annual number of new-built GRs and holdings for the districts in Shanghai central city from 2008 to 2020

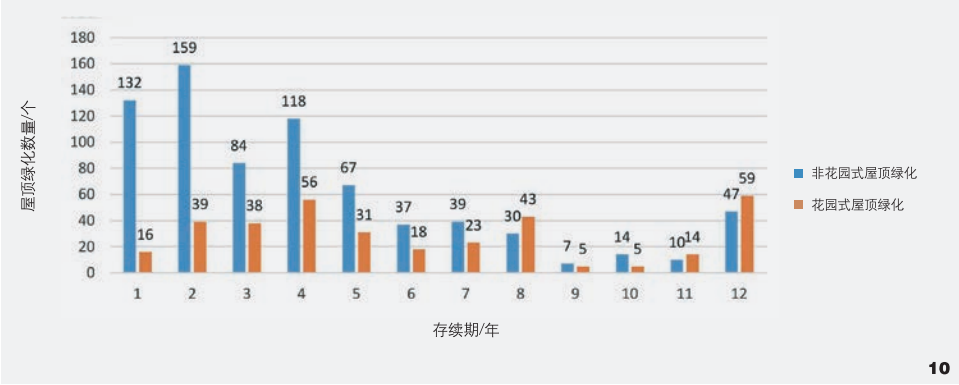
年份 Year	静安 Jing'an		黄浦 Huangpu		浦东 Pudong		徐汇 Xuhui		长宁 Changning		普陀 Putuo		宝山 Baoshan		杨浦 Yangpu		闵行 Minghang		虹口 Hongkou	
	新建量	保有量	新建量	保有量	新建量	保有量	新建量	保有量	新建量	保有量	新建量	保有量	新建量	保有量	新建量	保有量	新建量	保有量	新建量	保有量
2020	33	242	26	133	18	154	15	128	15	129	15	104	13	53	5	38	4	57	3	95
2019	44	212	19	109	36	143	23	117	17	120	12	94	10	40	11	42	17	55	17	92
2018	19	170	22	95	18	116	23	95	16	103	9	85	8	30	7	35	1	40	8	76
2017	34	152	22	73	32	99	15	73	20	87	19	78	7	22	7	29	11	41	22	70
2016	36	120	0	51	9	70	12	58	7	68	10	59	1	15	4	22	9	30	15	48
2015	10	86	6	45	11	63	7	46	13	61	5	52	3	15	6	21	3	21	6	33
2014	14	81	4	39	9	54	10	39	9	48	7	47	2	12	1	15	4	18	5	27
2013	24	69	6	37	3	48	11	30	14	41	12	40	2	10	6	14	6	14	4	22
2012	3	46	0	32	0	47	1	19	3	29	6	28	2	9	0	11	2	8	1	21
2011	0	43	1	32	14	49	0	18	2	26	2	22	3	8	1	12	0	6	2	21
2010	2	44	5	32	8	35	3	18	1	24	2	21	2	5	4	13	1	6	5	20
2009	23	43	24	28	8	29	10	16	23	23	19	20	3	3	5	10	5	5	7	15
2008		20		4		22		6		0		1		0		7		0		8



8



9



10

图8 2020年分区新建量及保有量
Fig. 8 The number of new-built GRs and GR amounts for the districts in 2020

图10 2008年后建设并一直存活屋顶绿化的存续期
Fig. 10 Duration of GRs built-and-remained after 2008

图9 2008年后建设并已消亡屋顶绿化的存续期
Fig. 9 Duration of GRs built-but-disappeared after 2008

2.1.5 存续期统计

在2008年之后建设并已消亡的屋顶绿化共有123个，占屋顶绿化总量的9.5%。其中非

花园式111个，占消亡屋顶绿化总量的90.2%，占非花园式总量的12.3%；花园式12个，占消亡总量的9.8%，占花园式总量的3.1%。存续

期情况如图9所示：非花园式存续期在1~11年不等，中位数为3年，其中61%的存续期在1~3年；花园式存续期较为平均，在1~9年不等，中位数为3.5年，50%的花园式存续期在1~3年。非花园式和花园式的中位数较为接近，曼-惠特尼分析的检验值为0.739，证明两类屋顶绿化的存续期无显著差异。

在2008年之后建设并一直存活的屋顶绿化共有1091个，占总量的85.1%。其中非花园式744个，占存活屋顶绿化总量的68.2%，占非花园式总量的82.7%；花园式347个，占存活总量的31.8%，占花园式总量的90.8%，存续期如图10所示。其中非花园式存续期超过已消亡中位数3年的占存活非花园式屋顶绿化的49.6%，花园式存续期超过已消亡中位数3.5年的占存活花园式的73.2%，花园式的存续情况好于非花园式。此外，相当一部分屋顶绿化在本研究时间范围内从始至终存在，存续12年的两类屋顶绿化分别占非花园式和花园式的6.3%和17%。曼-惠特尼的检验值为0.000，证明两类屋顶的存续期有显著差异，仍存活的花园

式屋顶绿化存续时长相比非花园式更长。

2.2 上海屋顶绿化相关政策演变及官方数据统计

上海市历年屋顶绿化政策如图11所示。表3是2008-2020年全市立体绿化建设情况统计表的统计，花园式、组合式和草坪式屋顶绿化的加总比例大约为1：1：1.4。

2.3 上海中心城区屋顶绿化分区实行情况

选取静安、虹口、杨浦、宝山作为保有、新建情况各异的代表区，从各区绿化管理事务中心了解情况，各区建设、养护与分区实行办法有显著差别（表4）。

3 上海中心城区屋顶绿化建设问题讨论

卫星影像判读得到花园式与非花园式新

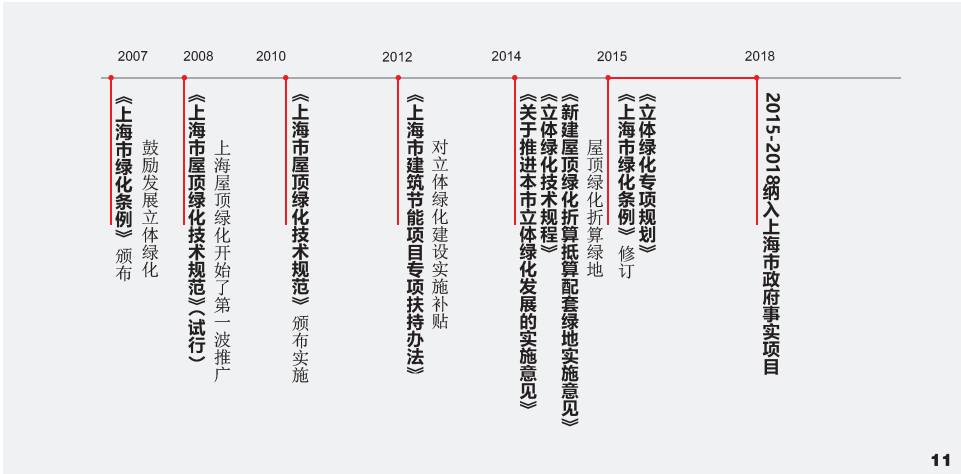


图11 上海市历年出台屋顶绿化政策
Fig. 11 GR policies in Shanghai over the years

建总量之比大约为1：2.4，与官方数据中花园式、组合式和草坪式屋顶绿化的加总比例1：1：1.4大致吻合，因此判读结果可以采信。

进一步比较屋顶绿化的类型统计结果、政策出台与建设增长的时间节点、各区建设实行的差异以及两类屋顶绿化的存续情况，可解析出以下建设问题。

表3 上海全市立体绿化建设情况统计表（单位：个）
Tab. 3 Statistical of vertical planting construction in Shanghai

年份 Year	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	合计 Total
草坪式屋顶绿化	16	54	41	63	37	7	37	14	77	80	55	46	50	577
组合式屋顶绿化	19	37	25	15	34	11	35	3	39	51	64	39	47	419
花园式屋顶绿化	34	46	22	25	20	8	40	8	44	54	46	37	18	402

表4 上海分区实行情况
Tab. 4 The practice of different districts in Shanghai central city

调研区 District	建设情况代表性 Representativeness of GF construction		具体办法 Practice measures
	建设情况	存续情况	
静安	好	好	全部由政府规划并出资统一建设、组织养护
虹口	差	好	公共建筑、事业单位由政府主导，同时鼓励企业自建。养护同理。
宝山	好	差	政府对新建建筑有屋顶绿化折算的强制政策，建设养护由企业自行负责。
杨浦	差	差	建设养护均由企业单位自行负责

3.1 屋顶绿化建设类型结构有待调整优化

三类屋顶绿化中，花园式更能与建筑结合设计^[17]，具备优越的景观性和游览性^[3]，因此受到民众偏好和政策的推崇。上海之前陆续出台政策鼓励新增公共建筑建设花园式屋顶绿化^[18-19]，官方数据和卫星影像判读均提示花园式占比最大，是发展的主流。

相比之下，其他两类屋顶绿化的景观性和游览性不佳，但相对轻薄，成本和维护要求低，适用建筑类型广^[20]。相较于德国90%以上屋顶绿化为草坪式^[21]，上海当前屋顶绿化的发展并不充分。随着城市建设工作的推进，高密度城市建设用地增量不断减少，屋顶绿化建设重点将会向既有屋顶转移^[22]，轻薄型屋顶绿化更具发展潜质，因此未来屋顶绿化建设的类型结构可能会发生变化，屋顶绿化的建设政策也需要针对类型结构进行调

整和优化。

3.2 政策助力显著但有待进一步贯彻完善

屋顶绿化的直接经济效益并不显著，因此政策的补贴与鼓励对于推进工作显得尤为重要^[12]。上海2008、2012、2014、2015-2018年出台一系列政策，而屋顶绿化建设在2009、2013、2015-2019年有不同程度的增加，至2020年新冠疫情影响使屋顶绿化建设停滞。可见历年政策均对第二年的屋顶绿化发展作用显著。但目前上海的屋顶绿化政策仍然有待完善。例如对于近年疫情期间的屋顶绿化建设工作缺乏进一步的鼓励政策，发展势头不够强劲；各区发展差异大，也需要出台针对性的分区政策，因地制宜地开展建设工作。

3.3 各区屋顶绿化建设的经验有待探究总结

从分区建设统计可以看出，各区的新建和存续情况差异较大。这一现象的背后，是各区用地和建筑条件、建设管理以及实行方法的不同。由于居住区屋顶绿化涉及的物权关系较为复杂，相较于公共建筑、商业建筑及工业建筑更难以实施建设屋顶绿化，故而缺乏商业、工业等类型的用地空间和建筑增量可能阻碍区内的屋顶绿化发展：如虹口区占地面积小，以居住用地为主，新增建筑量较少，致使屋顶绿化新增较为缓慢。此外在调研中发现各区的屋顶绿化组织管理方式也影响到屋顶绿化的建设存续：如静安屋顶绿化的建设养护、虹口养护均由政府规划并出资统一组织，因此情况比较理想；所在单位负责建设与养护工作的区往往建设积极性不高，屋顶绿化养护工作容易被放弃。

3.4 非花园式屋顶绿化存续期有待提高

上海市已消亡屋顶绿化中，超过50%的

花园式存续超过中位数水平（三年），远高于非花园式的39%的占比；而在仍存活的屋顶绿化中，花园式的存活期显著高于非花园式，其超过已消亡中位数的屋顶绿化占比也高于非花园式，且存活超过12年的屋顶绿化同样是花园式更多。总体看来，非花园式存续情况相对较差。此外，《屋面工程技术规范》中规定种植屋面所采用的I级防水层合理使用年限为20年；国外研究中屋顶绿化的全生命周期通常假定为30~50年^[23]。但从2008-2020年12年研究期看，可能到达理想存续期的屋顶绿化占比难以过半，尤其非花园式的存续期与理想存续期相去甚远。

存续期不理想，应是受到屋顶绿化建设质量和养护方法的影响。在建设市场上屋顶绿化的建造成本往往会被压制，致使产品质量低下，而劣质的屋顶绿化植物生长状况不佳，只能采用与公园一样的精细化养护维持存活，导致养护难度大^[24]。花园式建设与养护投入的人力财力更多，可令其存续期更长。相比之下，草坪式为代表的非花园式屋顶绿化由于投入少，景观效果差，更易因养护不力而消亡。

然而事实上，若产品质量能够保证，维护需求低恰恰是草坪式屋顶绿化的一大优势。有研究表明佛甲草屋顶并不需要过多的人工养护^[25]。如今国外往往采用粗放的混播屋顶，这种屋顶仅需要天然降水就可以保证旺盛生长，且四季成坪，杂草也更难以入侵，相比国内精细养护体系更加经济、利于操作，能延长非花园式屋顶绿化的存续期^[26]。而国内尚缺乏此类低维护产品适应本地气候条件的研发，实际建设中多数草坪式屋顶绿化的养护也陷入低成本建设、高强度养护的误区，没能发挥出低维护特点，存续期受限。

4 上海中心城区屋顶绿化建设策略

针对上述讨论，上海市屋顶绿化发展需通过政策引领、技术创新和管理完善，帮助屋顶绿化在高密度城市建设中持续焕发活力。

4.1 通过政策变更引领屋顶绿化发展方向

在屋顶绿化的推行方面，目前的政策鼓励花园式为主的屋顶绿化推广，但对于新建、既有建筑及不同屋顶绿化类型的政策不够细化，因此可以继续出台针对不同建筑类型及屋顶绿化类型的针对性政策，优化不同时期屋顶绿化类型结构，完善建设类型。其次可以挖掘分区建设潜力，针对各区特点因地制宜实施不同政策。用地、建筑条件的可调控性较差，各区可针对自身情况确定发展某一用地类型的屋顶绿化，既可以探索不同建筑类型的屋顶绿化建设与养护方法，也可以挖掘分区潜力，均衡屋顶绿化建设工作。建设管理和实行方法则可以相互借鉴优化。最后，针对屋顶绿化存续情况不理想的问题，可通过专项政策提供养护规范、进行养护补贴，明确提出存续标准，帮助屋顶绿化延长存续期。

4.2 通过技术创新研发本地低维护产品

目前国内屋顶绿化产品往往是容器、覆土屋顶绿化产品。国外较为流行的卷毯式屋顶绿化产品建设容易，也方便养护，对屋面有保护作用，但因成本较高，并没有在国内普及。混播草坪式屋顶绿化低维护性、存续期长，但目前国内屋顶绿化也缺乏能够低维护混播的本土植物筛选。应通过重视屋顶绿化研发，创新屋顶绿化产品，从技术角度提升本地产品的质量水平，降低建设养护成本。

4.3 通过管理变革完善屋顶绿化建养市场

通过屋顶绿化建养市场的管理变革, 转变低成本建设、高强度养护的思路和做法, 能够提升屋顶绿化建养质量, 延长存续期。在建设中通过成本和质量管能避免低成本建设带来的养护难问题。市场价格应由相关协会或政府部门进行管控, 使各类屋顶绿化的材料、施工价格免遭恶意哄抬或恶性压价。针对建设材料的质量检验, 以及施工做法规范应更加详实, 并建立规范的建设和验收流程, 保证屋顶绿化工程能够合格验收。在养护阶段通过出台对养护方法、频率进行分类的指导规范, 能够使养护强度更为合理。此外, 政府部门在追求屋顶绿化建设指标的基础上, 应对各区屋顶绿化的存续期有一定的政策要求, 并建立屋顶绿化监测系统, 保证屋顶绿化养护工作强度适中, 存续良好。

注: 文中图表均由作者自绘。

致谢:

感谢杨昊霖、骆文慧、彭月儿、李如雯、金衍孜5位同学在屋顶绿化卫星影像判读中的贡献。

参考文献

- [1] 滕明君, 周志翔, 岳辉, 等. 低碳园林的生态学途径[J]. 中国园林, 2012, 28(04): 40-43.
- [2] 陶婷婷, 韦文珊, 吴永常, 等. 基于生命周期评价的屋顶绿化碳成本和碳效益研究[C]//中国人口·资源与环境2013年专刊——2013中国可持续发展论坛(一). 北京: 中国可持续发展研究会, 2013: 5.
- [3] 简兴, 鲍荻, 王雪娟. 屋顶绿化研究现状与展望[J]. 世界林业研究, 2021, 34(06): 14-19.
- [4] 许思珠, 李莉, 陈辉, 等. 立体绿化助力高密度城市空间环境质量的提升——“上海立体绿化专项发展规划”编制研究与思考[J]. 中国园林, 2018, 34(01): 67-72.
- [5] 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): 16-18.
- [6] 马志飞. 上海市屋顶绿化现状研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2008.
- [7] 陆月星. 加快立体绿化发展 建设生态宜居城市——上海市立体绿化发展概况和前景展望[J]. 国土绿化, 2014(10): 28-31.
- [8] 曹建军. 屋顶绿化植物对温度和雨水的调控研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2019.
- [9] 骆天庆, 周婷慧, 刘东, 等. 上海佛甲草模块式屋顶绿化夏季昼夜节能效应研究[J]. 风景园林, 2019, 26(05): 94-98.
- [10] 王敏, 石乔莎. 城市高密度地区绿色碳汇效能评价指标体系及实证研究——以上海市黄浦区为例[J]. 中国园林, 2016, 32(08): 18-24.
- [11] 王德玲. 屋顶绿化对空气中二氧化碳含量的影响[J]. 四川建筑科学研究, 2012, 38(05): 311-313.
- [12] 许思珠. 上海市立体绿化后评估及建设管理的思考[J]. 园林, 2016(05): 80-83.
- [13] 陈柳新, 唐豪, 刘德荣. 对高密度特大城市绿地系统规划中立体绿化建设发展的思考——以深圳为例[J]. 广东园林, 2017, 39(06): 86-90.
- [14] 黄瑞, 董靓, 吴林梅. 基于地理信息技术的成都市屋顶绿化现状调查与分析[J]. 中国园林, 2015, 31(01): 79-82.
- [15] 上海市城乡建设和管理委员会. 上海市立体绿化技术规程2.0.1(DG/TJ08-75-2014, J12714—2014)[S]. 上海: 同济大学出版社, 2014.
- [16] 魏维轩, 刘冠鹏. 高密度城市屋顶绿化社会使用现状及发展策略[J]. 城市建筑空间, 2022, 29(01): 222-224.
- [17] 周曦, 张芳. 建筑与绿化一体化设计的理念、技术及空间类型[J]. 华中建筑, 2020, 38(08): 32-36.
- [18] 程云. 上海地区屋顶绿化设计技术方法研究[D]. 天津: 天津大学, 2014.
- [19] 尹斯文. 上海市屋顶绿化的现状分析及对策研究[D]. 甘肃: 兰州大学, 2017.
- [20] 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(01): 82-85.
- [21] 志成, 琳达贝拉斯克斯. 城市“第五面生态建筑”新趋势[J]. 资源与人居环境, 2014(12): 64-69.
- [22] 王俊. 我国既有建筑绿色改造实践与发展建议[J]. 建设科技, 2015(06): 38-41.
- [23] 董楠楠, 吴静, 石鸿, 等. 基于全生命周期成本-效益模型的屋顶绿化综合效益评估——以Joy Garden为例[J]. 中国园林, 2019, 35(12): 52-57.
- [24] 王雅楠, 巨关升, 刘俊祥, 等. 北京地区节水型屋顶绿化植物配置及养护[J]. 农业科技与信息(现代园林), 2014, 11(03): 7-11.
- [25] 刘伟, 李子宁, 袁琼. 佛甲草轻质屋顶绿化技术[J]. 林业实用技术, 2013(07): 58-61.
- [26] SARAEIAN Z, FARRELL C, WILLIAMS N S G. Green Roofs Sown with an Annual Plant Mix Attain High Cover and Functional Diversity Regardless of Irrigation Frequency [J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2022, 73: 127594.