

城市生态修复中的园艺技术系列  
Urban Horticulture for Eco-restoration in Cities

# 屋顶花园与绿化技术

The Solutions to Green Roof

王红兵 胡永红 著

中国建筑工业出版社

城市生态修复中的园艺技术系列

Urban Horticulture for Eco-restoration in Cities

# 屋顶花园与绿化技术

The Solutions to Green Roof

王红兵 胡永红 著

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

屋顶花园与绿化技术 / 王红兵, 胡永红著. — 北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 8

(城市生态修复中的园艺技术系列)

ISBN 978-7-112-20864-7

I. ①屋… II. ①王… ②胡… III. ①屋顶—花园—园林设计  
IV. ①TU986. 5

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第137993号

城市化的持续发展使城市为大量的不透水表面所占据, 加之全球气候变化的影响, 城市排水系统相对滞后, 导致城市内涝灾害频繁发生。中国为此提出了建设“海绵城市”的目标。屋顶绿化作为海绵城市的主要内涵之一, 越来越受到城市管理者和设计师的重视。本书基于文献理论与应用研究系统地论述了屋顶花园的功能、生境的特殊性、介质厚度的确定、介质特性和配方、植物选择和营造工程技术等, 并分公建类、住宅类和展示类介绍了最新案例。本书集理论与技术为一体, 适合园林、园艺专业师生学习和研究, 并为从事屋顶绿化研究的科研人员提供学术性参考, 也可作为广大屋顶花园从业人员的参考书目。

More frequent water logging happens in cities because of global climate warmer, ongoing urbanization, quantity of impervious urban surfaces, and backward urban drainage system. As a primary countermeasure, the Sponge City was proposed in China, one of the measures is to build green roof which is a hot topic to city managers and designers. Based on scientific papers and research findings, this book reviews systematically on the greenroof functions, the special attributes of greenroof habitat, the contents and depth of substrate, the suitable plant species, and the technology of construction engineering. New cases are classified as public buildings, residential estates and exhibition halls. The book includes basic concepts, principles and application which integrate theory with technology. It is a valuable book for the academic teachers and students who study Landscape Architecture and Horticulture, researchers who engage in greenroof, and general employees relative to the construction and design of greenroof.

责任编辑: 杜洁 孙书妍

责任校对: 焦乐 张颖

城市生态修复中的园艺技术系列

## 屋顶花园与绿化技术

王红兵 胡永红 著

\*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京京点图文设计有限公司制版

北京盛通印刷股份有限公司印刷

\*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 17 字数: 343千字

2017年8月第一版 2017年8月第一次印刷

定价: 112.00元

ISBN 978-7-112-20864-7

(30509)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)



# 序

拿到《屋顶花园与绿化技术》书稿,我很欣慰。因为这是胡永红博士计划的“城市生态修复中的园艺技术系列”丛书的一部分,对该丛书的出版我是非常赞赏的。在城市化浪潮冲击下,越来越多的人口涌向城市,刺激国民经济快速发展。但过快的城市化也给中国带来了一系列生态环境问题,比如,大量农田、林地、水体被建筑物、道路等不透水表面所替代,交通拥堵、水质恶化、地下水短缺、空气质量下降、热岛效应、城市内涝灾害、生物多样性下降等问题日益严重,严重制约宜居性。如何实现城市生态修复,改善环境成为新形势下亟待解决的问题。中国为此提出了建设海绵城市的策略,屋顶花园无疑是其中重要的一环。国内外同行已经开展了系统的相关研究,取得了一系列成果。以胡永红为首的城市园艺研究团队也在这方面进行了多年的探索,完成了多项课题,取得了丰硕成果。例如,他曾主持完成“生态建筑绿化配置技术研究”,获得了2007年上海市科技进步一等奖。在2010年世博会还指导建成了面积达5000m<sup>2</sup>、当时世界最大的生态绿墙。他们完全可以把多年来积累的成果凝聚提炼,从屋顶绿化、垂直绿化、可移动绿化、行道树等方面系统总结,编辑出版,回馈社会。因此,2015年出版了第一本著作《移动式绿化技术》,如今又完成了《屋顶花园与绿化技术》这本书,令人颇为欣慰。

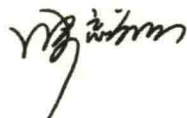
通览全书,更为内容的学术性所感动。可以说,显然不同于一般屋顶绿化方面的书籍重案例、轻理论的行文格调,本书通过大量的篇幅介绍国内外有关屋顶绿化的研究进展,特别是围绕海绵城市有关的屋顶截蓄雨水功效和径流水质影响的理论实证性研究作了系统的分析。可见作者花费了很多的时间,阅读了大量的文献,方能有此成果。比如,第2章屋顶绿化的作用就引用了100余篇英文文献。这是本书的最大亮点,为提高本书的学术价值奠定了非常扎实的基础,完全可以成为园林园艺专业的教学参考书。

本书还有一个让我感兴趣的地方是对屋顶花园适用植物资源的推荐,筛选的矮生松柏类和观赏草类好像在一般的同类图书中较少见,可为丰富屋顶绿化的植物多样性提供了有益的参考。这两类植物不仅适生性强,株型低矮,更适合屋顶干旱的生境,而且还能增加景观的多样性和观赏性,值得肯定。

书中配有大量优美的图片,是作者团队多年积累的财富,让我们领略到多种屋顶花园的多姿多彩,也学习到多种屋顶花园形式、介质配方、植物资源,体现了学

术性之外技术性和观赏性的一面，可供广大读者学习和鉴赏，也可服务于专业设计师，成为他们的良师益友。

作者治学严谨，勤奋好学，为本书的出版付出了艰辛的努力，并克服了诸多困难，使本书得以按时出版，幸甚。希望继续努力完成后续分册的编写，早日实现该丛书的完整出版，为我国城市生态建设和园艺技术的进步发挥更大的作用。

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Wang Zhen' (王震), written in a cursive style.

# 前 言

2015年6月,导师胡永红教授送给我一本新作《移动式绿化技术》,给我讲述了出版“城市生态修复中的园艺技术系列”计划,使我深受启发和鼓舞。也正是这一天导师把丛书第二本《屋顶花园与绿化技术》的编写任务交给了我,记得当时诚惶诚恐,担心辜负老师的重托。好在胡老师给了我很多鼓励,还亲自拟定书稿框架,送给我一些有关屋顶绿化的参考书籍。其实,胡老师团队经过10多年屋顶绿化方面的研究已经积累了很多材料和成果,加以整理不难成书。我们通过收集分析国内外相关的图书,认为大多数侧重介绍屋顶绿化的技术和案例,在系统的理论方面仍显不足。我们应该在学术性方面予以强化,以期更多地面向大学和研究机构。

后来大量的文献阅读证明了我们判断的正确性。数百篇的中英文文献为研究分析屋顶绿化的作用、介质和植物筛选等提供了非常翔实的数据。从这些数据中可见全球多地屋顶绿化在截蓄雨水和降低径流、改善径流水质、节能减排、延长屋顶寿命、降低噪声、增加和维护生物多样性,以及社会、经济效益等方面的作用及其异同,反映了屋顶这一特殊生境的复合功能及其制约因素。特别在中国当下“海绵城市”建设热潮中,屋顶绿化成为热点。城市化的持续发展使城市为大量的不透水表面所占据,加上受全球气候变化的影响,城市排水系统相对滞后,导致城市内涝灾害频繁发生。中国为此提出了建设“海绵城市”的目标。屋顶绿化作为海绵城市的主要内涵之一,越来越受到城市管理者和设计师的重视。全球很多学者也一直在关注屋顶绿化,从事相关理论研究和技术研发。我们应当把这些研究成果进行系统的归纳整理和分析,找出更多有价值的信息,更加系统地阐述屋顶绿化营造原理,为实现精准化屋顶绿化设计提供重要理论依据。

本书集理论与技术为一体。首先是基于大量的文献研究系统地论述了屋顶花园的功能(特别是截蓄雨水、降低暴雨径流)。其次分析了屋顶生境的特殊性、介质厚度的确定、介质特性和配方、植物选择(特别是低矮针叶类、观赏草类)和营造工程技术等。最后从公建类、住宅类和展示类三类,集中介绍了国内上海、成都等地的最新案例,最后以摘录形式介绍了国内外相关的屋顶花园法律法规,比如德国《屋顶花园规划、实施和维护导则》、美国绿色建筑协会《能源与环境设计指南》、国标《种植屋面工程技术规程》,以及北京、上海、成都和深圳的地方性屋顶绿化规范,为读者提供了方便。另外,以附录形式归纳了屋顶花园适生植

物及其图录、常用栽培介质配方等，可供读者直接参考。不过，屋顶花园因地理气候条件的制约而往往表现为地域差异性，比如北方寒冷地区对植物耐寒性要求更高，介质存在冻土层的威胁，以及屋顶结构材料（如防水层、阻根层）的低温稳定性（不收缩、不脆化、不变形）要求等。本书侧重于研究长江流域以南的屋顶花园，属亚热带气候区，一般没有冻土层问题，年降雨量在 1000mm 以上，雨热同季，对植物的耐热性、耐寒性和耐旱性都有一定的要求，沿海地区还有防台风的要求。这是读者在参考本书时需要注意的地方。

本书把大量篇幅侧重于理论上，充分利用国内外优秀文献系统分析了屋顶花园多方面的理论研究进展和成果，在生态效益、植物、介质和栽培技术方面作了系统的探讨，这是本书的最大亮点，特别适合高校相关专业师生和科研人员作为学术性著作使用。当然，本书亦注重新技术和成果的介绍，实现理论与技术的统一，比如在适用植物资源上筛选了抗旱的矮生松柏类和观赏草类，为丰富屋顶绿化植物多样性提供了技术可能性。所以适合从事园林园艺和屋顶绿化相关的设计师和工程技术人员学习使用。本书图文并茂，书中很多优美的图片也可供社会大众爱好者鉴赏。

最后，非常感谢在编写过程中提供各种帮助的老师、同学和朋友。首先感谢辰山植物园秦俊博士不仅积极参与书稿修订，在书稿框架和内容上提出了宝贵建议，还提供有关参考书，积极协调帮助开展屋顶绿化案例点的实地调查和拍照。其次，感谢上海植物园的王玉勤高工和冷寒冰高工、辰山植物园的刘洋高工和田亚玲高工，以及上海市闵行区绿化管理所张美萍女士在矮生松柏类植物、观赏草类植物资源和其他屋顶绿化植物资源的调查和拍照过程中给予的热情帮助。感谢上海市静安区管理局吕彬高工提供了宝贵的案例基础资料并同意使用。感谢深圳“屋顶农场”博主授权使用其图片。书中绝大部分图片为著者和团队所有，其他图片已经获得授权或进行了适当的引用来源说明。本书所有文献都已进行了适当的引用说明，符合我国著作权法的要求。如果发生引用不周的问题，请作者直接与著者联系，协商解决。最后，感谢多年来参与胡永红团队研究的所有成员，特别是赵玉婷、张杰、张斌、谷世松、张萌、张飞飞、高凯、王丽勉、朱苗青、黄姝博、徐阳等。特别感谢恩师、北京林业大学张启翔教授在百忙之中欣然为本书作序。由于著者水平有限，虽经努力，书中缺点错误仍在所难免，欢迎读者批评指正。

特别致谢：本书及相关研究获资助的课题来源是上海市科委项目“城市低光照区域立体绿化技术集成”（16DZ1204900）及其子课题“轻型优质新型介质研发”（16DZ1204903）。

王红兵

# 目 录

序	
前言	
第 1 章 绪 论	1
1.1 定义	3
1.2 分类及其特征	3
1.3 历史、现状与前景	19
1.3.1 历史与现状	19
1.3.2 问题与对策	23
本章参考文献	28
第 2 章 屋顶花园的作用	31
2.1 生态效益	32
2.1.1 截蓄雨水,降低暴雨径流	32
2.1.2 降低污染	37
2.1.3 节能减排	44
2.1.4 降低噪声污染	50
2.1.5 提供栖息地,增加和维护城市生物多样性	52
2.2 经济收益	53
2.3 社会效益(含美学价值)	59
2.4 延长屋顶寿命	60
本章参考文献	61
第 3 章 屋顶花园生境的特殊性	69
3.1 光照	71
3.2 温度	71
3.3 风速	73
3.4 水	74
3.5 介质	75
本章参考文献	77
第 4 章 介质厚度的确定	79
4.1 瞬时降雨量	80
4.2 介质粒径与介质渗透率	82



4.3	介质与根系结合后渗透率的变化	84
4.4	介质与根系结合后蓄水量的变化	85
	本章参考文献	86
<b>第 5 章</b>	<b>介质特性和配方</b>	<b>89</b>
5.1	有机质含量	90
5.2	节水保水性	91
5.3	容重	92
5.4	废弃物利用	93
5.5	介质微生物	93
	本章参考文献	96
<b>第 6 章</b>	<b>植物选择</b>	<b>99</b>
6.1	筛选原则	100
6.1.1	抗旱 (适应性)	100
6.1.2	抗寒 (适应性)	102
6.1.3	低矮且植株小 (形态)	104
6.1.4	须根系	104
6.1.5	生长缓慢	105
6.1.6	易维护 (低维护)	105
6.1.7	耐热性	105
6.1.8	生态服务功能	108
6.2	屋顶绿化适用的植物种	108
6.2.1	低矮针叶类	109
6.2.2	抗旱丛生灌木	115
6.2.3	观赏草类	121
6.2.4	景天及多肉类	127
6.2.5	抗旱地被类	129
6.2.6	小乔木和小型竹类	134
6.2.7	蔬菜类	137
	本章参考文献	139
<b>第 7 章</b>	<b>营造工程技术</b>	<b>143</b>
7.1	分层与成分	144
7.1.1	防水层和隔热层	145
7.1.2	阻根层	147
7.1.3	排水层、过滤层与保水层	147
7.1.4	附属设施	147
7.1.5	坡屋顶花园系统	148
7.2	灌溉设施	149

7.3	种植技术	150
7.3.1	种前准备	150
7.3.2	植物栽种	150
7.3.3	种后养护	152
7.4	安全保障	154
7.5	屋顶农业	155
7.6	临时绿化	156
<b>第8章</b>	<b>案例赏析</b>	<b>157</b>
8.1	公建类屋顶花园	158
8.1.1	上海辰山植物园(办公型,粗放式)	158
8.1.2	上海市公安局静安分局(办公型,组合式)	161
8.1.3	上海市闵行区法院(办公型,粗放式+组合式)	177
8.1.4	上海市闵行智慧园(办公型,集约式)	178
8.1.5	上海市日新实验小学(学校,粗放式+组合式)	184
8.1.6	上海市莘光学校(学校,粗放式+组合式)	186
8.1.7	上海市民立中学(学校,集约式)	187
8.1.8	成都西单商场屋顶花园(商业型,集约式)	190
8.1.9	上海市溢柯城市花卉广场莘庄仲盛店(商业展销类)	193
8.2	住宅类屋顶花园	198
8.2.1	云海苑	198
8.2.2	上海市明丰公寓地下车库顶绿化	200
8.2.3	上海市莱顿小城地下车库顶绿化	201
8.3	展示类屋顶花园	203
8.3.1	德国馆(2010上海世博会)	203
8.3.2	瑞士馆(2010上海世博会)	204
8.3.3	香港园(2014青岛世界园艺博览会)	206
<b>附录</b>		<b>209</b>
附录A	屋顶花园适生种图录	210
A1	低矮针叶类	210
A2	抗旱丛生灌木	216
A3	观赏草类	221
A4	景天及多肉类	225
A5	抗旱地被类	226
A6	小乔木和小型竹类	231
A7	蔬菜类	234
附录B	屋顶花园研究中常用植物	236
附录C	国内外研究案例中的介质配方	237
附录D	常见栽培介质配方	238

附录 E 相关的屋顶花园法规条文选编.....	239
E1 德国 FLL:《屋顶绿化规划、实施和维护指南》(摘录).....	239
E2 美国 LEED:《能源与环境设计指南》(摘录).....	248
E3 《种植屋面工程技术规程》JGJ 155—2013 (摘录).....	249
E4 《屋顶绿化规范》 (北京市地方标准, DB 11/T 281—2005) (摘录).....	254
E5 《屋顶绿化技术规范》 (上海市地方标准, DB 31/T493—2010) (摘录).....	258
E6 《成都市屋顶绿化及垂直绿化技术导则(试行)》(摘录).....	260
E7 《屋顶绿化设计规范》 (深圳市农业地方标准, DB440300/T 37—2009) (摘选).....	261

# 01

## 第1章

# 绪论

1.1 定义

1.2 分类及其特征

1.3 历史、现状与前景

城市化作为一种人类社会进步的发展方式，一直在全世界多个国家和地区积极推行着。据联合国统计报告，2014年全球总人口72.44亿，城市化水平达到53.8%。预计2050年全球总人口将达93.06亿，城市化水平将达到67.7%（联合国，2014）。城市化带来深刻的土地利用与土地覆盖变化（Land Use and Land Cover Change, LULCC），特别是不透水表面的增加对环境和居民生活质量产生不利的影响，比如自然生态资源（森林、湿地等）的破坏和减少，生境破碎度增加，暴雨径流和城市内涝频繁和加剧，以及城市热岛效应（UHI）、空气污染、噪声污染、水资源短缺、空调能耗增加和交通拥堵等。美国环境保护署（USEPA）报告认为一个典型城市街区产生的径流量是相同面积林地的5倍以上，而城市暴雨径流带来大量的污染物，比如杀虫剂、重金属和多种营养物质，最终会汇入湖泊或溪流。

如何改善城市生态环境，减缓城市生态系统的失衡，实现城市可持续发展，已经成为城市生态学的重要命题。城市绿地因为具有纳碳吐氧、降温增湿、降低噪声、舒缓心情、健身与交往空间等积极功能而成为普遍的城市环境改善方式。然而，由于城市土地非常紧张，往往存在着开发与保护的用地冲突。大量的土地被用于居住、工商业和市政建设，而用于绿地保护的用地非常有限。

如何在土地资源昂贵而稀缺的城市里实现更多的生态用地呢？屋顶花园不失为一种有效的绿化空间格局优化选择。一方面，屋顶花园主要面向建筑第五面，弥补了地面绿化空间的不足，增加了城市绿化面积；另一方面，针对高楼林立的城市水泥“森林”，屋顶花园起到柔化建筑生硬表面的作用，增加建筑的使用寿命，并促进建筑的可持续性。此外，屋顶花园还能够截蓄雨水，起到减缓暴雨径流的作用，这在当前由于全球气候变化而导致暴雨事件增多的形势下显得更为重要。显然，屋顶花园具有明确的多方面环境改善功能，成为一种生态友好型技术。

许多城市的不透水表面高达70%。屋顶面积能够占到一座城市建成区面积的32%（Gedge and Kadas, 2005），甚至在密集的中心城区占到50%的不透水面积（Dunnett and Kingsbury, 2004）。平屋顶占市区和商业区屋顶面积的85%（Carter and Jackson, 2007）。北京市建成区平屋顶面积达6979万 $m^2$ （<http://www.yuanlin.com/zhuanti/wdlh/>）。武汉市屋顶面积近1亿 $m^2$ （戴希刚等，2011）。如果能够把大部分屋顶用植物覆盖，必将显著提高城市绿化水平，从而改善城市生态环境。屋顶绿化的设计，涉及多个学科，如土壤学、植物学、工程力学、环境科学等，其中植物和生长介质的选择对屋顶绿化的景观效果、生态效益、维护成本和使用寿命有巨大的影响。

## 1.1 定义

屋顶花园 (green roof), 顾名思义, 一般指布置在建筑物顶面的一种绿化形式。Berndtsson 等人 (2009) 和 Hathaway 等人 (2008) 进一步把屋顶花园明确为覆盖土壤和植被的屋顶, 一个屋顶花园应该包括植物、生长介质、过滤层、排水层和防水层等多层结构。国内根据建设部 2002 年发布的行业标准《园林基本术语标准》(CJJ/T 91—2002), 屋顶花园指在建筑物屋顶上建造的花园, 有狭义和广义之分: 前者以绿化为主, 主要功能是植物观赏, 是游人可以进入的花园; 后者还包括以铺装为主、结合绿化, 适宜游人休憩的或完全被植物覆盖、游人不能进入的屋顶空间。另外, 上海屋顶花园技术规范把屋顶花园 (roof greening) 定位为以建筑物、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。

屋顶花园在英文里普遍采用的是 green roof, 即绿色屋顶。其实, 并非所有的屋顶花园植物都是绿色的, 还包括彩叶植物, 而且许多植物在不同的生长季节表现出不同的颜色, 可见从某种意义上讲, green roof 并不准确, 所以有的文献称之为 vegetated roof、rooftop garden、living roof、eco-roof 或者 bio-roof。此外, 一些屋顶花园可以成为鸟类的栖息地 (habitat), 提高生物多样性, 因此超越了绿色植物范畴, 应该理解为 living roof。Steven Peck (1999) 进而提出了 green roof infrastructure 概念, 反映了屋顶花园具有的多个公共基础设施功能, 从城市生态系统高度把屋顶花园视为城市绿色基础设施的有机成分。上述概念虽然表述上有所差异, 但核心是一样的, 即建筑物顶面由植物材料构成的动态和有生命的环境。总之, 本书倾向于把屋顶花园理解为 green roof, 简洁、清晰, 也符合大多数国外学者采用的术语。屋顶花园通过把植物与建筑有机地融为一体, 不仅为建筑带来了新的景观, 提高了节能效能和居住舒适性, 而且为城市天空增添了绿色的天际线, 营造了更多的生态空间。所以屋顶花园基于其对城市环境改善的多重功能而获得了全世界普遍接受, 特别是人口拥挤的大城市更愿意推行屋顶花园。

## 1.2 分类及其特征

屋顶花园因为建筑类型、土壤特性、植物种类和配置方式等因素的多样性而存在多种分类标准和类型。归纳如下:

(1) 按照建筑荷载大小分: 由于建筑荷载局限, 可分为轻型屋顶花园和重型屋

顶花园,前者一般要求荷载小于  $150\text{kg}/\text{m}^2$ ,对种植介质比重、介质厚度和植物材料都有严格的限制,常见如地毯(草坪)式(图 1-1)。后者指荷载大于  $150\text{kg}/\text{m}^2$  的屋顶花园,往往土层较厚,可以种植小乔木和灌木,表现为花园式(图 1-2),或者配置山水景观和亭榭廊架,从而表现为山水式(图 1-3)。重型屋顶花园往往允许人们进入驻足观赏,对建筑荷载要求更高,因此必须在满足建筑安全的前提下开展设计和实施。



图 1-1 轻型屋顶花园



图 1-2 花园式屋顶花园



图 1-3 屋顶亲水平台

(2) 按照建筑物屋面坡度分:坡屋顶花园和平屋顶花园。前者指在屋面坡度大于  $5\%$  的屋顶上进行的绿化,可扩展空间的绿色视野,增加立体绿化面积。但由于坡度较大时种植结构层容易滑坡,水分和养分容易下移,造成坡面水养分的不均衡,带来管理上的难度。所以需要加强防滑措施,比如设置固定格,或者设计为阶梯式、台阶式。坡屋顶以传统建筑为主,以及少量的现代景观建筑(图 1-4、图 1-5),所以坡屋顶花园规模较小。其实,现代建筑大量地表现为平屋顶,所以大部分屋顶花园研究着重针对平屋顶花园,即屋面坡度小于  $5\%$  的屋顶上的绿化。本书除特别说明外,一般指的是平屋顶花园。



图 1-4 厦门一坡屋顶覆盖炮仗花



图 1-5 坡屋顶用油麻藤铺满了屋顶(成都)

(3) 按照植物种类和配置方式分:①地毯式(草坪式),指利用草坪、景天类等地被植物或蔓长春等藤本植物覆盖屋面,形成贴近屋面植被层的一种绿化形式

(图 1-6), 主要特点是植物种类往往单一, 植株低矮, 覆盖效果好, 种植介质往往轻而薄, 常见 2.5 ~ 15cm。另外, 根据植物种类多样性还可把地毯式屋顶花园分为简单草坪式和宿根花园式。前者应用种类非常单一, 往往仅 1 ~ 2 种植物, 平坦低矮、密集厚重、色彩简洁明亮, 犹如绿色地毯, 营造舒心、开敞的景观, 不过也往往显得单调。后者选择多种低矮宿根植物为主造景, 充分利用植物的季变化和形态变化从而营造多彩多姿的景观, 具有低维护、低成本、景观丰富等优点。宿根花园式屋顶花园多见于欧洲、北美洲和亚洲少数国家。总之, 地毯式屋顶花园的优点体现在对建筑负荷要求低, 栽培管理简单, 成本相对较低, 适合大规模推广应用。②花园式, 指包含乔木、灌木、藤本和草本等相结合的复混植物群落模式, 属于近自然式植物配置方式。植物选择范围较宽, 无论植物种类还是植物类型均较多, 所以物种多样性高, 生态功能强, 并且观赏性强。但是对建筑荷载要求较高, 对栽培介质厚度要求标准高, 水分需求高, 往往需要人工辅助灌溉, 日常管理和维护要求细致周全, 施工成本和管理成本均较高, 多见于高档酒店等商业建筑和公共建筑(图 1-7)。③组合式, 介于地毯式和花园式之间, 包含了两类的一些特点, 既有地毯式的开敞空间, 又有花园式的植物群落组合, 形成疏密有致的复合空间(图 1-8)。该方式对建筑负荷要求表现为多样性, 即种植地被植物的地方土层浅, 负荷低, 而种植乔灌木的地点要求土层厚, 负荷高。施工成本和管理成本应该高于地毯式、低于花园式。④山水式, 指屋顶花园的主要元素是假山、廊架和水体, 而植物仅起到辅助点缀的作用, 种类和数量均很少。其环境效益主要依靠水体和假山石的物理覆盖和隔离, 缺少植物的多重生态功能。由于假山石和水的自重较大, 所以对建筑荷载要求较高, 对防水性要求更为严格。目前市场上假山石往往昂贵, 加大了建造成本, 而且拦蓄雨水净化和基于水质保障的水景补水和更换等, 均加重了养护成本。因此, 山水式应用的并不多, 往往出现在一些高档酒店(图 1-9)。



图 1-6 地毯式屋顶花园(上海闵行巴黎春天)



图 1-7 花园式屋顶花园(上海静安固体废弃物流转中心)





图 1-8 组合式屋顶花园（上海日新实验小学）



图 1-9 山水式屋顶花园（上海贵都大酒店）

（4）按照管理程度分：①粗放型（extensive greening），指选用一些抗性很强的低矮植物，诸如景天类的多肉植物或草本植物用于覆盖屋顶（图 1-10），要求生长介质很浅，耐旱性强，基本依靠天然降水即可，而不需要人工灌溉。由于它易实施、成本低廉，所以适合普通建筑大面积绿化，是德国最常见的一种形式，也是北美最可能普及的一种形式。②集约型（intensive greening），类似于花园式，需要较厚的介质以支持诸如乔灌木的较大植株（图 1-11）。由于选择了乔灌木多类型植物，对土壤和水分的要求较高。需要专业技术人员加强管理，养护成本较高。尽管如此，由于它的景观多样性提高了，生态效能增加了，因此在条件和经费有保障的单位应该提倡实践集约型屋顶花园。由于粗放式屋顶花园所需介质更薄、更轻，对建筑荷载要求低，而且成本相对低廉，戴维斯（Davis）等人（2005）认为集约型屋顶花园正在越来越多地被粗放式屋顶花园所替代。③半集约型（semi-intensive greening），指介于粗放型和集约型之间，既有耐粗放管理的植物，又有需要精细管理的植物群落，包含地被和灌木等的屋顶花园（图 1-12）。对土壤和水分的要求相应介于粗放型和集约型之间，管理成本也介于二者之间。



图 1-10 粗放式屋顶花园（大连万达广场）



图 1-11 集约式屋顶花园（上海民立中学）



图 1-12 半集约式屋顶花园（上海市闵行区某证券公司营业部）

（5）按照使用功能分：①居住型，指居民楼屋顶的绿化（图 1-13 ~ 图 1-17），主要服务于社区居民的居住和生活。由于经费限制，往往选择粗放型或半集约型。