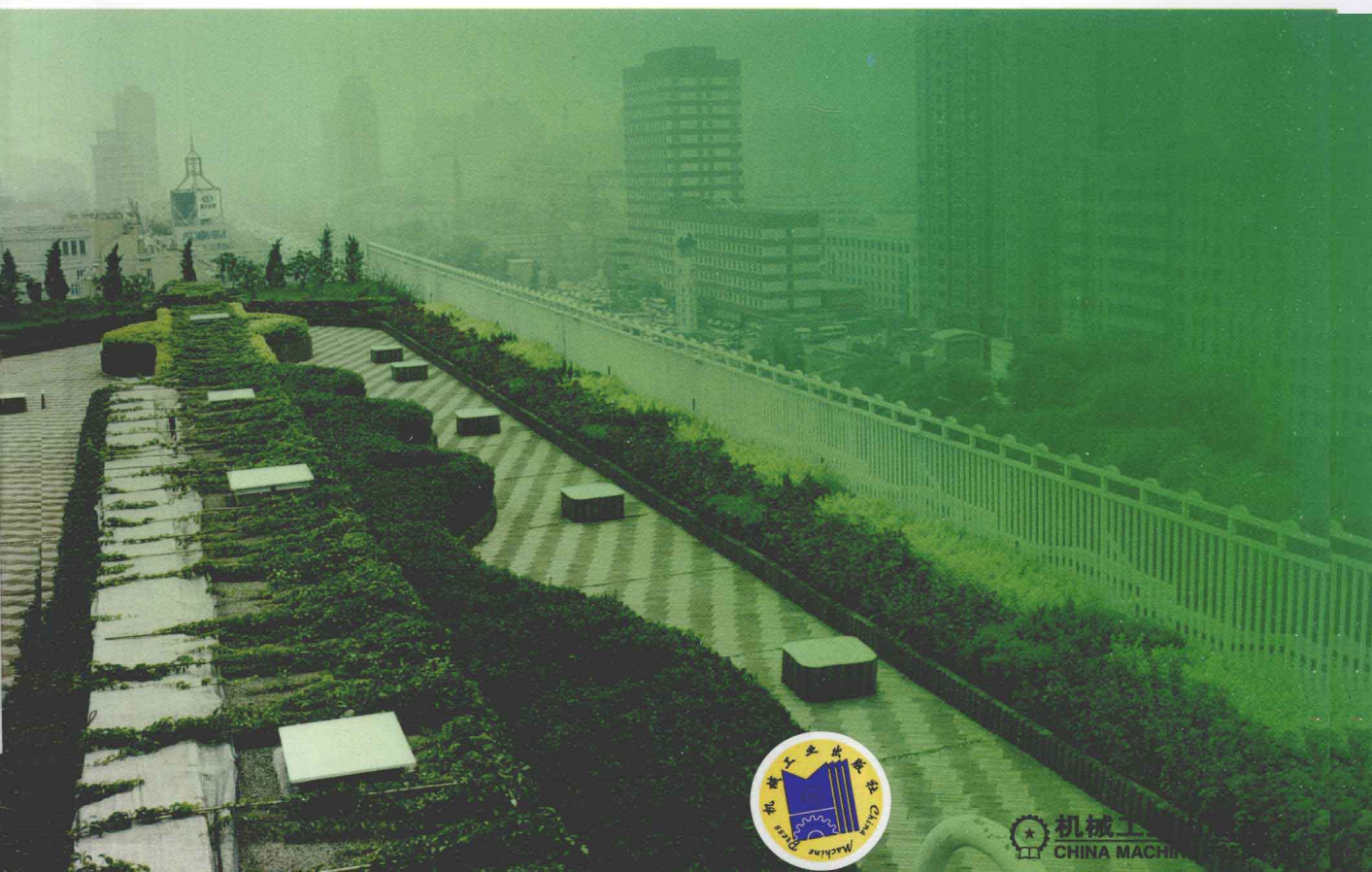


屋顶绿化 设计与建造

第2版 马月萍 董光勇 主编

DESIGN AND CONSTRUCTION OF
ROOF GREENING



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

屋顶绿化设计与建造

第2版

主 编 马月萍 董光勇
副主编 张宝鑫 赵黎芳
参 编 尹吉光 李连龙 李立香 聂秋枫 李 薇
 阎少波 毛秀红 白淑媛 李 强 梁 芳

机械工业出版社

本书较为系统地介绍了屋顶绿化（屋顶花园）设计与建造的原理与方法、最新的应用技术和材料以及花园的建造程序、养护管理技术等，各项内容均结合图片和插图进行了较为详细的介绍和阐述。本书的主要内容包括：屋顶绿化的意义、屋顶绿化（花园）的历史发展、屋顶绿化未来的展望、屋顶绿化的类型、屋顶花园的设计、施工建造的程序、屋顶景观的维护和植物的养护管理等。在此基础上重点讲解了植物材料选择与应用、屋顶荷载与景观营造、屋顶花园施工技术等相关知识，并以国内外优秀的屋顶花园作品为例，详细阐述了设计思路与技术要点。

本书适用于对屋顶花园的设计和建造有兴趣的专业和非专业人员，可为屋顶花园设计、施工人员提供启发和参考。

图书在版编目（CIP）数据

屋顶绿化设计与建造/马月萍，董光勇主编. —2版. —北京：机械工业出版社，2011.8

ISBN 978-7-111-35644-8

I. ①屋… II. ①马…②董… III. ①屋顶—绿化 IV. ①S731.2
②TU985.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 166169 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：罗 筱 责任编辑：罗 筱

责任校对：纪 敬 封面设计：张 静

责任印制：杨 曦

北京双青印刷厂印刷

2011 年 10 月第 2 版第 1 次印刷

184mm × 230mm · 12.5 印张 · 2 插页 · 267 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-35644-8

定价：38.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010)88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销 售 一 部：(010)68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销 售 二 部：(010)88379649

读者购书热线：(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

目前,随着城市化进程的加快,城市建设迅猛发展,城市绿化用地日益紧张,因为屋顶绿化具有建筑节能、截留雨水、净化空气、缓解城市雨洪压力及热岛效应等显著的生态效益,愈加受到世界各国的重视。

屋顶花园的设计和建造巧妙地利用主体建筑物的屋顶、平台、阳台、窗台、女儿墙和墙面等来开辟绿化场地,并使之有园林艺术的感染力,很好地丰富城市的俯仰景观,能补偿建筑物占用的绿化地面,大大提高了城市的绿化覆盖率,因此种植屋面是一种值得大力推广的屋面形式。

本书较为系统地介绍了屋顶绿化(屋顶花园)设计与建造的原理与方法、最新的应用技术和材料以及花园的建造程序、养护管理技术等,各项内容均结合图片和插图进行了较为详细的介绍和阐述。本书的主要内容包括:屋顶绿化的意义、屋顶绿化(花园)的历史发展、屋顶绿化未来的展望、屋顶绿化的类型、屋顶花园的设计、施工建造的程序、屋顶景观的维护和植物的养护管理等。在此基础上,重点讲解了植物材料选择与应用、屋顶荷载与景观营造、屋顶花园施工技术等相关知识,并以国内外优秀的屋顶花园作品为例,详细阐述了设计思路与技术要点。

本书在第1版的基础上对内容进行了局部的调整,充实了屋顶花园设计的程序等内容,并根据当前屋顶绿化建设的新进展,增补了一些屋顶花园的实例,以期更为全面地介绍屋顶绿化的设计与建造。

在本书中编者参考并总结了一些国内外优秀的屋顶花园实例,绘制了大量的插图,同时也引用了部分图表,在此向这些优秀的屋顶花园的设计和建设者表示感谢。

由于编者水平有限,加之成书时间比较仓促,书中难免有错误和疏漏之处,希望广大读者朋友不吝赐教,我们将非常感谢。

编 者

目 录

第2版前言

第1章 绪论	1
1.1 城市环境状况	1
1.1.1 当前城市环境现状	1
1.1.2 解决的途径和原因	3
1.1.3 当代屋顶绿化发展时代背景	3
1.2 屋顶绿化的概念和意义	4
1.2.1 屋顶绿化的概念	4
1.2.2 屋顶绿化的意义	4
1.3 屋顶绿化的历史发展	10
1.3.1 古代的屋顶花园	10
1.3.2 中世纪和意大利文艺复兴时期的 屋顶花园	13
1.3.3 1600~1875年的屋顶花园	15
1.3.4 第二次世界大战前的屋顶花园	16
1.3.5 第二次世界大战后的屋顶花园	17
1.3.6 我国屋顶绿化(花园)的发展	20
1.4 屋顶绿化(花园)发展分析	23
1.4.1 屋顶绿化的发展分析	23
1.4.2 屋顶绿化发展面临的问题	26
1.4.3 屋顶绿化发展的思路与方向	26
第2章 屋顶绿化的类型	28
2.1 简单式屋顶绿化的各种形式	28
2.1.1 简单式屋顶绿化的概念	28
2.1.2 简单式屋顶绿化的特点	28

2.1.3 简单式屋顶绿化的植物应用	28
2.1.4 简单式屋顶绿化的绿化形式	29
2.2 屋顶花园的分类	31
2.2.1 按使用要求分为3类	32
2.2.2 按绿化形式分为4类	33
2.2.3 按空间组织状况分为3类	34
2.2.4 按高度分为2类	36
第3章 屋顶绿化设计	38
3.1 屋顶绿化(花园)设计的 基本原则	38
3.2 简单式屋顶绿化设计	40
3.2.1 简单式屋顶绿化的特点	40
3.2.2 简单式屋顶绿化的指标	41
3.2.3 简单式屋顶绿化的设计原则	41
3.2.4 简单式屋顶绿化的布局与结构	42
3.2.5 绿化的形式	42
3.2.6 简单式屋顶绿化的设计 实例分析	43
3.3 屋顶花园的设计	47
3.3.1 屋顶花园的构造层次	47
3.3.2 屋顶花园的布局	47
3.3.3 屋顶花园的植物配置	51
3.3.4 屋顶花园的景观设计	54
3.4 屋顶花园设计的程序	61
3.4.1 准备阶段	61
3.4.2 总体设计阶段	62

3.4.3 深化和施工设计阶段	65	5.3.2 园路荷载	141
3.5 屋顶花园设计实例分析	68	5.3.3 水景工程荷载	141
3.5.1 公共建筑屋顶花园	68	5.3.4 假山、置石和雕塑的荷载	141
3.5.2 居住建筑屋顶花园	76	5.3.5 园林建筑、小品的荷载	142
3.5.3 地下停车场屋顶绿化	77		
3.5.4 国外屋顶花园	85		
第4章 屋顶绿化植物的选择与应用 ...	93	第6章 屋顶绿化的施工建造	143
4.1 屋顶绿化植物选择的原则	93	6.1 施工流程	143
4.1.1 屋顶环境中的生态因子	93	6.2 施工前期工作	143
4.1.2 屋顶绿化植物选择的原则	94	6.2.1 准备工作	143
4.2 屋顶绿化植物的选择	94	6.2.2 屋顶花园施工安全	147
4.2.1 屋顶绿化植物的类型及使用要求 ...	94	6.2.3 做闭水试验	147
4.2.2 不同地区屋顶绿化应用植物	96	6.3 防水层做法	148
4.3 屋顶花园植物选择实例	98	6.3.1 防水层的分类	148
4.3.1 简单式屋顶绿化	99	6.3.2 防水层材料的选择	149
4.3.2 屋顶花园	99	6.3.3 防水材料的施工要点	149
4.4 屋顶绿化（花园）常用		6.3.4 耐根穿刺防水层施工	152
植物	100	6.4 排（蓄）水层施工	153
4.4.1 乔木	100	6.4.1 排水系统的重要性	153
4.4.2 灌木	105	6.4.2 排水系统的类型及要求	153
4.4.3 地被植物及宿根花卉	119	6.4.3 排水材料及选择要求	153
4.4.4 攀援植物	128	6.4.4 排水管	156
第5章 屋顶绿化建设荷载要求	133	6.4.5 排水层施工方法	157
5.1 建筑物屋顶及其承载能力	133	6.5 过滤层施工	159
5.1.1 建筑物结构体系的类型	133	6.6 植物栽植工程	160
5.1.2 建筑物的屋顶形式及承载能力 ...	135	6.6.1 种植区的构造层	160
5.2 屋顶花园设计时的荷载分析 ...	138	6.6.2 场地准备	160
5.2.1 屋顶绿化荷载的基本要求	138	6.6.3 基质配置	161
5.2.2 活荷载确定	139	6.6.4 植物栽植	165
5.2.3 实例分析	139	6.6.5 植物固定	165
5.3 园林工程的荷载（静荷载） ...	140	6.7 其他园林工程	168
5.3.1 种植区荷载	140	6.7.1 水景工程	168
		6.7.2 园路及铺装	169
		6.7.3 建筑与小品	172

第7章 屋顶绿化的维护与管理	177		
7.1 屋顶绿化植物养护管理	177	7.2.2 夏季养护管理	188
7.1.1 浇水	177	7.2.3 秋季养护管理	188
7.1.2 施肥	178	7.2.4 冬季养护管理	188
7.1.3 修剪	179	7.3 屋顶景观与结构维护	188
7.1.4 病虫害防治	180	7.3.1 注意防风	188
7.1.5 防寒越冬	187	7.3.2 做好防雷设施	189
7.2 屋顶绿化各季节养护管理		7.3.3 其他辅助设施的维护	189
要点	187	7.3.4 屋顶漏水与处理	189
7.2.1 春季养护管理	187	参考文献	191

第1章 绪 论

1.1 城市环境状况

1.1.1 当前城市环境现状

随着社会经济、科学技术的飞速发展和人口的迅速增长,世界城市化的进程在不断加快,尤其是发展中国家的城市化进程更是日新月异。我国是世界上人口最多的国家,目前正处于城市化高速发展的阶段,各大中小城市均在进一步扩大规模,也带来了诸多的城市环境问题,例如,大量有害气体、沙尘暴及城市热岛效应等,造成城市污染日趋严重,生态平衡出现失调。因此,如何在城市发展的进程中坚持可持续发展的原则,把城市人口、资源、社会经济与城市生态环境建设协调统一,促进城市的全面发展,是现代城市发展不容回避的问题。联合国环境署

确定2005年世界环境日的主题为“营造绿色城市,呵护地球家园”(Green Cities—Plan for the Planet),可见城市问题已经引起国际上的重视,也反映了城市问题已经危及我们的生存与发展。城市生态系统作为自然生态系统重要的组成部分,影响着人们的生存状态和生活水平,因此人们应该构建和谐的自然生态系统(图1-1),从根本上解决城市环境问题。

1. 水环境状况 在自然界中,水通过蒸发和植物蒸腾、输送、凝结降水、下渗和径流(地表径流、地下径流)等环节,在各种水体之间进行着连续不断的运动,使各种自然地理过程得以延续,也使人类赖以生存的水资源不断得到更新并能持续利用(图1-2)。但是当前,城市地面水污染普遍严重,并有恶化趋势,其主要原因是城市工业和生活污水直接排放所造成的。根据

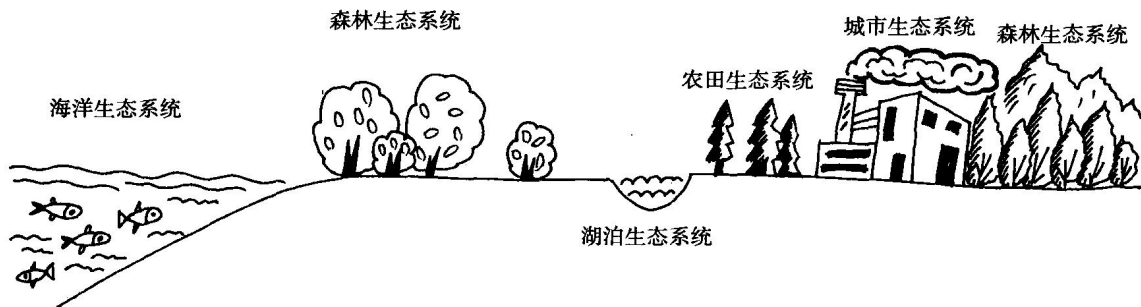


图 1-1 自然界生态系统

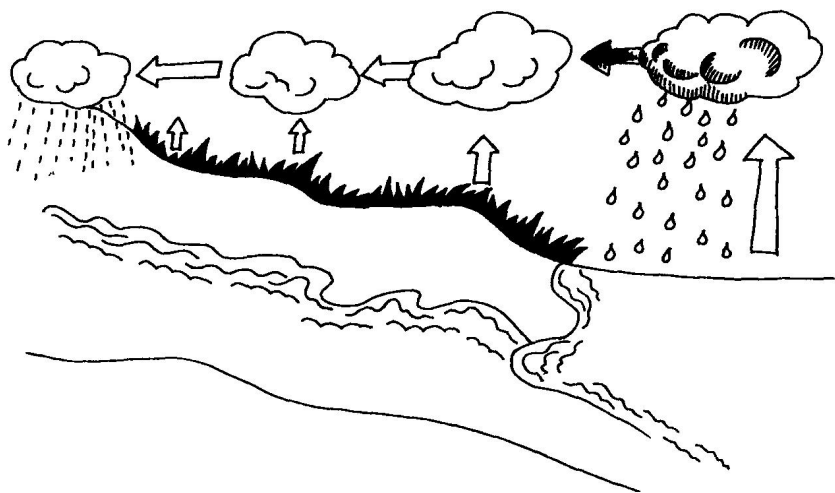


图 1-2 自然界水循环示意图

2008 年国家环保部统计的七大水系 200 条河流的 409 个断面, 其中 I ~ III 类断面占 55%, IV、V 类断面占 24.2%, 劣 V 类断面占 20.8%, 主要污染指标为氨氮、高锰酸钾指数和五日生化需氧量等。

2. 大气污染状况 城市大气污染物主要来源于煤炭的燃烧、汽车尾气等。根据 2008 年统计, 在监测的 519 个城市中, 有 399 个城市空气质量达到二级以上 (含二级) 标准, 占监测城市数的 76.9%; 有 113 个城市为三级, 占 21.8%; 有 7 个城市为劣三级, 占 1.3% (数据来源于国家统计局网站)。其中机动车保有量的高速增长所导致的城市空气污染已成为城市发展, 特别是大城市发展面临的严峻问题。

3. 固体废弃物状况 城市固体废弃物主要是工业废渣和生活垃圾。随着人口增长和经济发展, 工业固体废弃物和生活垃圾还将日益增多, 这些固体废弃物的堆放、

处理不仅要占用大量城市和农村用地, 使已经非常紧张的人口与居住、绿地、城市空间的矛盾加深, 同时, 固体废弃物的处置还会给地下水、地表水、空气带来严重的二次污染。

4. 噪声污染状况 城市噪声主要来源于城市交通。目前, 我国多数城市处于中等噪声污染水平, 根据 2008 年的统计, 在监测的 392 个城市中, 城市区域声环境质量好的城市占 7.9%, 较好的占 63.8%, 轻度污染的占 27.0%, 中度污染的占 1.3% (数据来源于国家统计局网站)。城市噪声污染投诉在各类环境污染投诉中所占的比例较高, 而且有逐年增加的趋势。

5. 城市生态失衡状况 城市自然生态系统受到了严重破坏, “城市热岛”、“城市荒漠”等问题突出。同时, 城市自然生态系统的退化, 进一步降低了城市自然生态系统的环境承载力, 加剧了资源环境供给和城



市社会经济矛盾的矛盾。

1.1.2 解决的途径和原因

城市绿色植物对环境的调控功能是其其他设施无法代替的,它们能通过自身的生理活动,消化和吸收人类社会产生的污染,取得很好的生态效益。因此,利用一切可能的人为手段与方法,拓展城市绿化空间,尽量地发展和扩大城市植物的生物总量,合理栽种植物是提高城市生态环境质量的最有效措施。

1. 植物对大气的净化 绿色植物通过光合作用吸收二氧化碳,释放出氧气,维持大气中氧气与二氧化碳的基本平衡,为人们提供了新鲜的空气。

植物能够通过叶片等吸收大气中的有毒物质,减少大气中的有毒物含量。如有的植物对二氧化硫有较强的吸收能力,在二氧化硫污染区内,植物含硫量比正常叶片含量高5~10倍。植物吸收二氧化硫后,便形成毒性小得多的亚硫酸及亚硫酸盐,只要大气中二氧化硫浓度不超过一定限度,植物叶片就不会受害,并能不断对二氧化硫进行吸收。另外,植物通过叶片等能降低和吸附粉尘,如茂密的树林能降低风速,使空气中的大粒尘埃降落,特别是某些植物的叶面粗糙多毛,有的还分泌黏液和油脂,更能吸附大量飘尘。蒙上尘埃的植物,经过雨水的冲洗,又能迅速恢复吸附的能力。

2. 植物对水体的净化 植物具有对有毒物质进行分解转化和富集的作用。在水中有毒物质低浓度的情况下,水生植物能吸收某些有毒物质,并在体内将有毒物质分解和转化为无毒物质。如植物从水中吸收有毒物质丁酚,并在体内形成酚糖苷一类无毒物质

而储存起来,在以后的生长发育过程中,酚糖苷可以被分解和利用参加细胞的正常代谢过程。水生植物吸收并富集的有毒物质,一般可高于水中有毒物质浓度的几十倍、几百倍甚至几千倍。

3. 植物对土壤的净化 植物发挥净化作用主要表现在对土壤中污染物质的吸收上,如植物对化学农药、毒性除莠剂,工业废水、废渣中的有毒物质等都能进行吸收,或者通过某种生理过程使之转化为对人类无害的物质,从而减少土壤中污染物质的数量。根据相关报道,绝大多数种类的污染物,都可以被各种植物吸收。

4. 绿色植物的碳汇作用 碳汇一般是指从空气中清除二氧化碳的过程、活动、机制。树木通过光合作用吸收了大气中大量的二氧化碳,将其固定在植被或土壤中,从而减少该气体在大气中的浓度,减缓了温室效应。它把吸收的二氧化碳在光能作用下转变为糖、氧气和有机物,为生物界提供枝叶、茎根、果实、种子,提供最基本的物质和能量来源。

1.1.3 当代屋顶绿化发展时代背景

1. 城市化进程加快

城市是人类文明的标志,是人们经济、政治和社会生活的中心,城市化是人类进步必然要经历的过程。在21世纪的今天,随着城市化进程的加快,密集人口大量涌向大中城市。而且,城市化也意味着城镇用地扩展,在这个逐渐发展的过程中,城市建设范围内各种现代建筑、道路和铺装面积不断增加,城市中植物覆盖面积锐减,人与自然割裂的现象日益严重,城市生态环境日益恶化,空气污染、水污染、环境噪声、热岛效应等问题严重损害着城



市居民的身心健康,人们对自身环境的关注和重视达到了前所未有的程度。

2. 城市绿化空间减少

随着城市的迅速发展,城市对环境质量的影响日益明显,城市中心区热岛效应明显增强,在许多城市中尤其是城市的中心区绿地严重不足,使得城市中心绿化覆盖率过低,景观环境和生态环境恶劣。在城市的发展建设过程中,许多城市充分利用各种场地,增加绿地面积,出现“见缝插绿”的现象。但即便这样,还是达不到人们预期的目的。因此,在常规的地面绿化建设趋于饱和的同时,人们开始探索更加适合城市绿化建设的其他绿化方式,使绿化向城市的立体空间发展。发展屋顶绿化为此提供了经济便捷地利用城市屋面空间的手段。

3. 对绿化作用的重视

多年来的实践和相关研究证明,绿化对于改善生态环境,缓解城市热岛效应等方面具有不可替代的作用。城市绿化作为现代城市中唯一有生命的基础设施,具有改善城市人居环境质量、增加绿视率、提供城市健康游憩空间等作用,近年来在城乡都得到了较快的发展。针对当前城市发展所带来的环境问题,屋顶绿化作为一种最具发展前景的、恢复绿地最有效、最直接的措施,越来越受到人们的重视。人们逐渐认识到了屋顶绿化包括建筑节能、降低城市热岛效应等多种功能,并借助相关研究成果在城市中不断探索实施。

1.2 屋顶绿化的概念和意义

1.2.1 屋顶绿化的概念

广义的屋顶绿化(Roof Greening)指在

高出地面以上的非渗透性的建筑物和构筑物上进行绿化,包括建筑物的屋顶、露台、阳台,建筑物的空中平台和厂房的屋顶等。它是一种不与大地土壤连接、位于建筑物顶部空间的绿化形式,是城市绿化向立体空间发展,拓展绿色空间,扩大城市多维自然因素的一种绿化、美化形式。狭义的屋顶绿化即屋顶花园(Roof Garden),是指以建筑物顶部平台为依托,进行蓄水、覆土并营造园林景观的一种空间绿化美化形式。

1.2.2 屋顶绿化的意义

屋顶绿化对增加城市绿地面积,改善日趋恶化的人类生存空间环境,改善城市高楼和众多道路的硬质铺装取代自然土地和绿色植物的现状,改善因过度砍伐树木、硬化铺装面积增多、各种废气污染而形成的城市热岛效应,减少沙尘暴等对人类的危害,开拓人类绿化空间,建造田园城市,改善人民的居住条件,提高生活质量,以及对美化城市环境,改善生态环境等方面都有着极其重要的意义。

1. 改善城市生态环境 植物是屋顶绿化的主体,在屋顶栽植的植物和地面的植物一样,具有吸收二氧化碳、释放氧气、吸收有毒气体、阻滞尘埃等作用。此外,由于屋顶的特殊环境,屋顶植物能在城市空间中多层次地净化空气,起到地面植物所达不到的效果。雨水被屋顶植物吸收,通过蒸发和植物蒸腾作用扩散到大气当中,调节空气湿度,洁净城市空气,从而达到改善城市空气与生态环境的目的(图1-3)。

目前城市中一般生活建筑约占城市土地面积的四分之一,如果把生活建筑的屋顶进

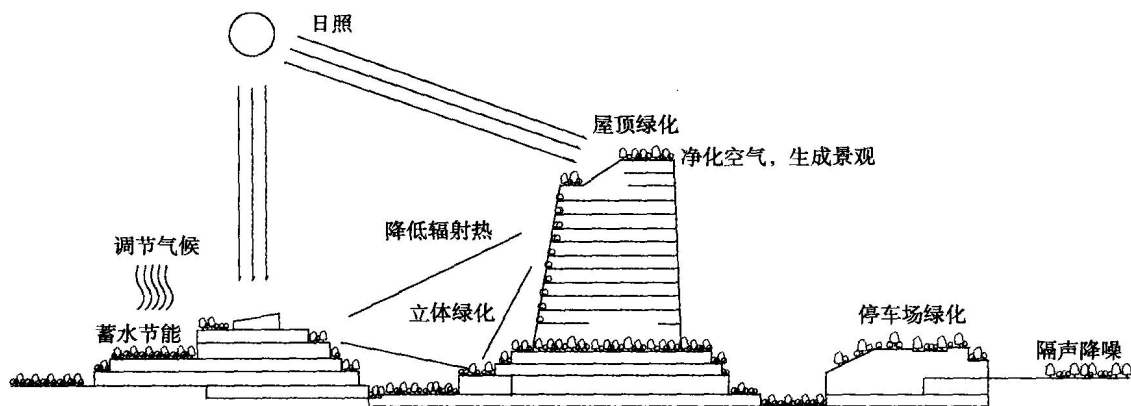


图 1-3 屋顶绿化改善城市环境

行绿化, 就可以偿还建筑所占的绿化覆盖面积, 符合当今可持续发展关于将绿色融入建筑空间的观点, 以建造生态型建筑, 因此屋顶绿化将成为人类可持续发展战略的重要组成部分。

2. 美化城市景观 亮丽城市空间环境与主体建筑的几何空间相比, 屋顶花园具有柔和、丰富和充满生机的艺术效果, 通过植物的形态及色彩的季相变化, 赋予建筑物不同的季相美感, 形成多层次的空中美景, 使绿色空间与建筑群体相互渗透, 融为一体, 丰富和美化了城市景观。屋顶花园把大自然的绿色景观移到建筑物上, 把植物的形态美、色彩美、芳香美、韵律美展示在人们面前, 增加绿视率, 对减缓人们的紧张度、消除工作中的疲劳、缓解心理压力、保持正常的心态将起到良好的作用 (图 1-4)。

3. 减少城市热岛效应, 完善城市生态系统

(1) 缓和周边小气候, 改善城市环境。城市空气因交通工具及住宅、写字楼的空调

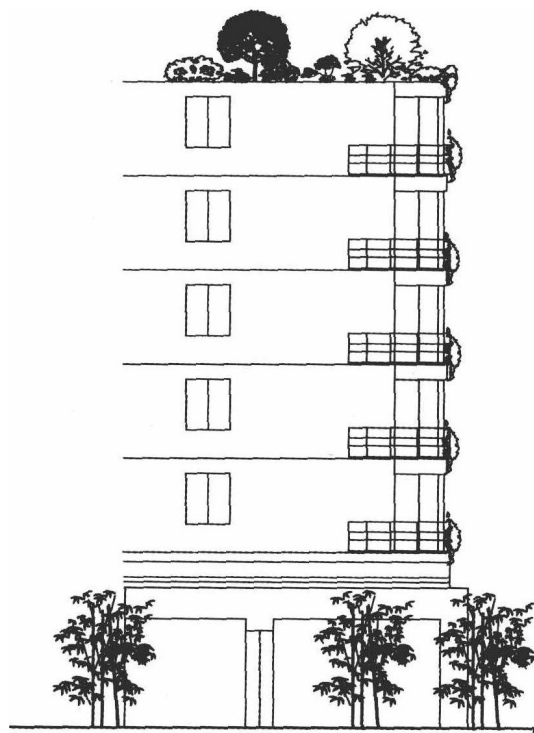


图 1-4 屋顶绿化美化丰富建筑空间

设备等造成的污染已成为一大环境问题，绿化屋顶的植物覆盖层可以吸收部分有害气体，吸附空气中的粉尘，具有净化空气的作用。同时，屋顶绿化可以抑制建筑物内部温度的上升，增加湿度，防止光照反射、防风，对小环境的改善有显著效果。而绿化场地周围的若干“小气候改善”的交叉作用使城市整体的气候条件得以改善，针对日益严重的“城市热岛”问题（图 1-5），屋顶绿化是一条有效的解决途径。联合国环境署的研究表明，如果一个城市屋顶绿化率达 70% 以上，城市上空二氧化碳含量将下降 80%，热岛效应会趋于消失。

（2）创造城市内的生物共栖空间。人与自然的共生是现代城市发展的方向，而节能、可自我循环、完善的城市生态系统是城市可持续发展的基础。

城市的过度扩张扰乱了当地的生态系统，破坏了自然界的生态平衡，使很多当地原有物种消失，减少了绿化的自然面积，相反增加了硬化的面积。系统化的屋顶绿化以及垂直绿化设施可以偿还大自然有效的生态绿色面积，为野生动植物提供新的生活场所，从而增加城市局部地区生物多样性（图 1-6），并通过实施屋顶绿化来促进绿地的多样化，实现城市生态系统的多样性，可

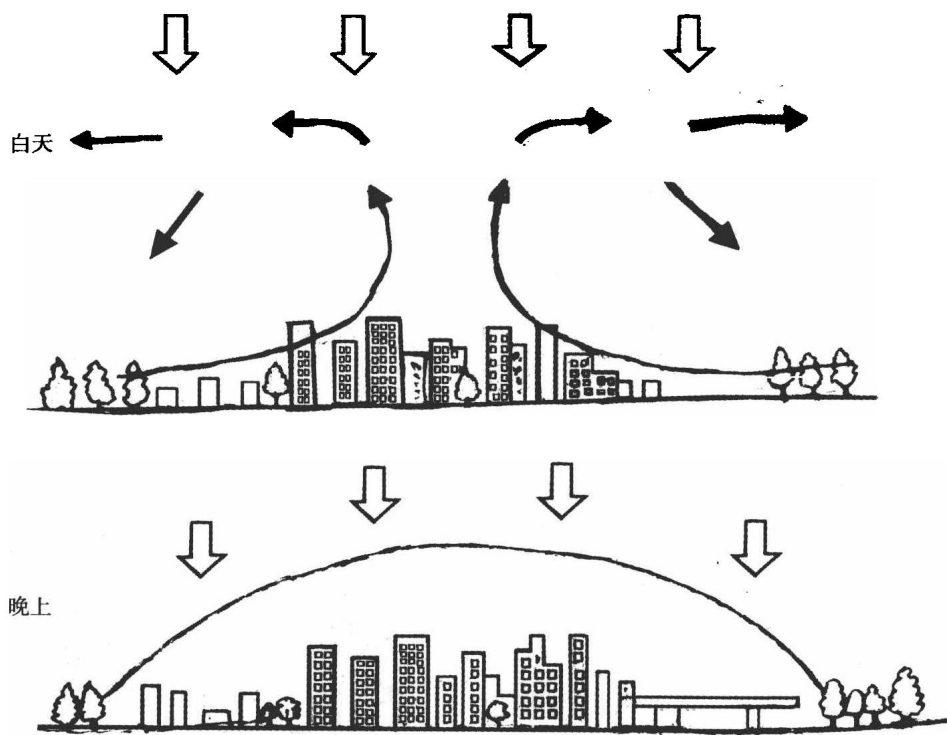


图 1-5 热岛效应图

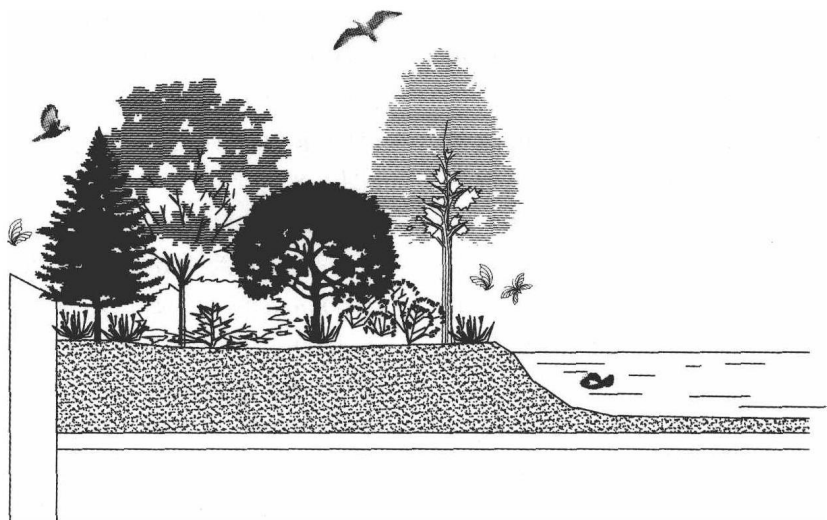


图 1-6 屋顶绿化增加城市局部地区生物多样性

以从根本上改善城市环境。

4. 增加建筑节能效应 屋顶绿化对于建筑来说,是冬暖夏凉的“绿色空调”,大面积屋顶绿化的推广在一定程度上有利于缓解城市的能源危机。

(1) 夏季隔热作用。绿化覆盖的屋顶可以吸收夏季阳光的辐射热量,有效地阻止屋顶表面温度升高,从而降低屋顶下的室内温度(图 1-7)。北京市园林科学研究所研究的结果表明:在夏季,北京地区绿化屋顶可保持室内温度比未绿化室温平均低 $1.3 \sim 1.9^{\circ}\text{C}$;在冬季,绿化屋顶可以使室内温度保持比未绿化室温平均高 $1.0 \sim 1.1^{\circ}\text{C}$ 。低层大面积的建筑物,由于屋面面积比墙面面积大,夏季从屋面进入室内

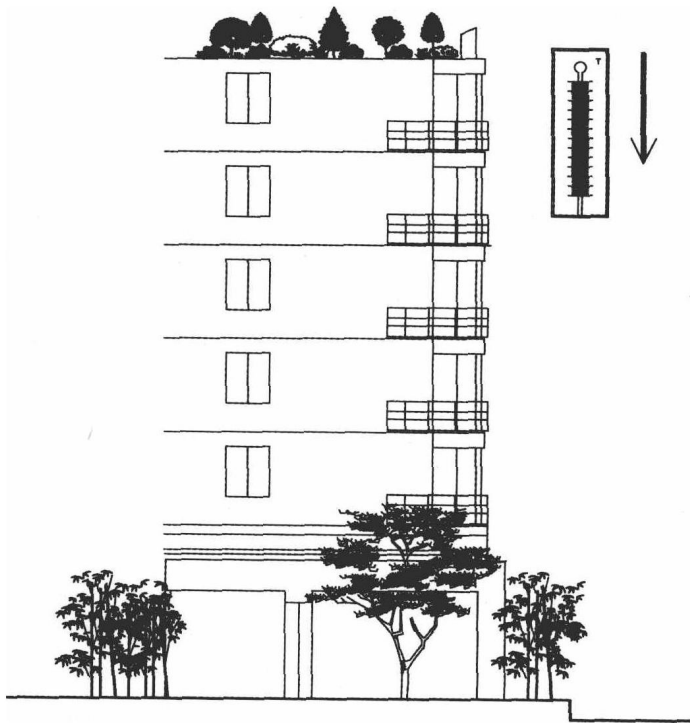


图 1-7 屋顶绿化降温隔热效应



的热量占总围护结构的热量的 70% 以上,绿化的屋顶外表面最高温度比不绿化的屋顶外表面最高温度可降低 15℃ 以上。

(2) 冬季保温作用。冬季,室内热量由于种植层的作用而不易散失,外界低温不易侵入,从而可以起到防寒保温的作用。在北方,屋顶绿化如采用地毯式栽植地被植物,则地被植物及其下的轻质种植土组成的“毛毯”层完全可以起到屋顶保温层的作用,达到冬季保温、夏季隔热的效果。

(3) 隔声作用。因为植物层对声波具有吸收作用,因而绿化后的屋顶可以隔声和降低噪声,按照霍希尔·施密德原理,绿化后的屋顶与砾屋顶相比,可降低噪声 20 ~ 30dB。根据有关资料显示,屋顶土层 12cm 厚时可隔声大约 40dB, 20cm 厚时可隔声大约为 46dB。

(4) 建筑节能效益。根据研究机构最新测算的结果,在炎热夏季,如将全北京市的建筑顶板所增加的热量利用空调降温,总耗电量折合约 9557 万度/天,假定按照民用电费 0.48 元/度进行核算,则能耗约为 4574 万元/天。反之,在寒冷冬季,如将建筑顶板所散失的热量利用空调升温,总耗电量折合为 887.7 万度/天,能耗总计约为 426 万元/天。那么,冷暖季总能耗约为 5000 万元/天。若将 7000ha 平屋顶面积的 30% 进行绿化推算,则可节约能耗 1500 万元/天。

5. 减少屋面泄水,减轻城市排水系统的压力 经过绿化的屋面可以把大量的自然降水储存起来,减轻了城市排水系统的压力。一般来说,普通的屋面约有 80% 的雨水流入下水道,在雨季,这给下水道形成

了很大的压力。屋顶绿化后,50% 的雨水滞留在屋顶上,储藏于植物的根部和栽培介质中,待日后逐渐蒸发,从而减轻了下水道的压力,对城市环境起到了平衡作用(图 1-8)。

以北京为例,北京规划市区 1097km² 内现有平屋顶约 7000ha,按照本地区年降水量 600mm 测算,通过屋顶径流的雨水总量为 4200 万 t/年。若将现有平屋顶拿出 30% 即 2100ha 进行屋顶绿化,其中简单式屋顶绿化占 80%,花园式屋顶绿化占 20%,总计截留雨水总量可达 1260 万 t/年,依据目前 4 元/t 的用水计算,截留淡水总价值约为 5040 万元/年。同时,依据 1.5 元/t 的污水处理费用计算,又可节约污水处理费用 1890 万元/年,两项总计可节约 6930 万元/年,即屋顶绿化可截留雨水和减少污水处理费用 3.3 元/(m²·年)。

6. 对建筑构造层的保护作用 平屋面的建筑屋顶构造的破坏,多数情况下是由屋面防水层温度应力引起的,还有少部分是承重物件引起的,通过温度变化引起屋顶构造的膨胀和收缩,使建筑物出现裂缝,导致雨水渗入,而形成屋顶的渗漏。

建筑物屋面由于长期暴露在空气中,夏季日光暴晒,冬季冰雪侵蚀,温差变化相当大,所产生的大的热应力较易破坏屋顶结构,使建筑物出现裂缝,导致雨水的渗入。绿化覆盖的屋顶避免了太阳直接照射和冰雪侵蚀,缩小了屋顶结构层的温差变化,大大降低了混凝土屋面板由于热胀冷缩引起开裂的几率,从而起到保护建筑防水层及屋面的作用,延长建筑物的寿命。

7. 拓展游憩空间,宣传、美化城市形



图 1-8 屋顶绿化滞留雨水

a) 绿化屋顶 b) 未绿化屋顶

象的作用 绿色建筑有益于人的身心健康，又丰富美化了环境，对树立良好的城市形象，聚集商业设施和娱乐设施及吸引游客有很大的作用。建筑物上实施的立体绿化，使城市的立面街景变得更加丰富多彩，在创造与周围环境相协调的城市景观的同时，可以软化硬质建筑线条给人带来的烦躁感，使城市更自然、更人性化，为人们开拓更多的休闲空间（图 1-9）。屋顶绿化不仅为城市增添了风采，而且为人们提供了在工作生活之

余能在自然和谐绿色平台上活动、休息的休闲场所，提高了人们的生活质量，实现了人们对回归自然精神家园的追求。

从某种意义上说，人们建设一栋楼房，等于破坏了一块自然的土地，如果我们能够充分利用建筑屋顶及其他各种立面空间进行绿化，就能把占用的绿地补偿回来。这样不但美化了我们的生活，还能将城市更好地融于自然之中。

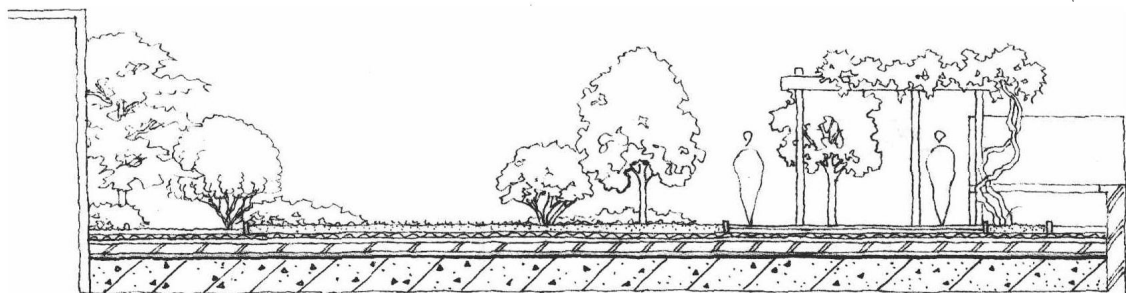


图 1-9 屋顶游憩空间

1.3 屋顶绿化的历史发展

1.3.1 古代的屋顶花园

屋顶花园（绿化）并不是现代建筑发展的产物，其已有 4000 年以上的历史。

(1) 亚述古庙塔（图 1-10）。早在公元前 2000 年左右，在古代幼发拉底河下游地区（即现在的伊拉克），古代苏美尔人最古老的名城之一——乌尔城建造了雄伟的亚述古庙塔（或称大庙塔），由于其上有栽植植物的痕迹，因此有人称其为屋顶花园的发源地。

亚述古庙塔主要是一个大型的宗教建筑，其次才是用于美化的“花园”。20 世纪 20 年代初，在发掘这个建筑物遗址时，英国著名考古学家伦德·伍利爵士，发现该塔三层台面上有种植过大树的痕迹，它包括层层叠进并栽植有植物的花台、台阶和顶部的一些庙宇。然而，从某种程度上说，花园式的亚述古庙塔并不是真正的屋顶花园，因为塔身上仅有的植物并不是栽植在“顶”上。

被人们称为真正屋顶花园的是继亚述古庙塔以后 1500 余年才修建的著名的古代巴比伦“空中花园”。

(2) 古代巴比伦“空中花园”。古代巴比伦“空中花园”建于公元前 6 世纪，遗址在现伊拉克巴格达城的郊区，被称为“古代世界七大奇迹”之一。它是在公元前 604 ~ 前 562 年，新巴比伦国王尼布加尼撒二世娶了波斯国一位美丽的公主，名叫塞米拉米斯，公主日夜思念故国山乡，郁郁寡欢。国王为了取悦于她，下令在平原地带的巴比伦堆筑土山，并用石柱、石板、砖块、铅饼等垒起每边长 125m、高达 25m 的台子，在台子上层层建造宫室，处处种植花草树木（图 1-11）。为了使层间不渗水，在种植花木的土层下，先铺设石板，在板上铺设浸透柏油的柳条垫，再在其上铺砖和铅饼，最后才铺上种植土。古罗马历史学家迪奥多·西库勒斯（Diodorus Siculus，死于公元前 21 年之后）这样记述这座花园：“通向花园的路倾斜着，登上山坡，花园的各部分一层高过一层，所以它像一座剧场，最上层有