

美国绿色建筑 理论与实践

Green Building Strategies and Practices in the USA

马 薇 张宏伟 编著

By Ma Wei, Zhang Hongwei



深度了解美国绿色建筑发展状况

A Green Building Practitioner's Summary

绿色建筑健康发展的有益借鉴

A Reference for Green Building

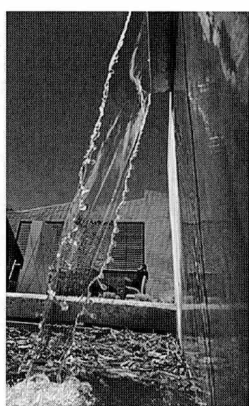
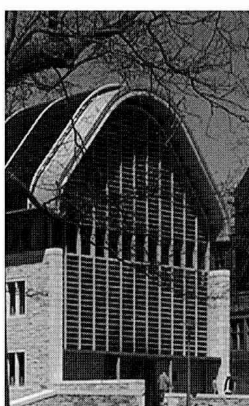
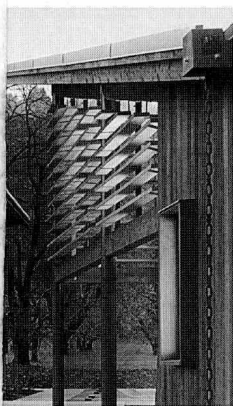
中国建筑工业出版社

美国绿色建筑 理论与实践

Green Building Strategies and Practices in the USA

马 薇 张宏伟 编著

By Ma Wei, Zhang Hongwei



深度了解美国绿色建筑发展状况

A Green Building Practitioner's Summary

绿色建筑健康发展的有益借鉴

A Reference for Green Building

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

美国绿色建筑理论与实践 / 马薇, 张宏伟编著. — 北京: 中国
建筑工业出版社, 2012.4
ISBN 978-7-112-14049-7

I. ①美… II. ①马…②张… III. ①生态建筑—研究—美国
IV. ①TU18

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 024219 号

责任编辑: 费海玲
责任设计: 董建平
责任校对: 肖 剑 赵 颖

美国绿色建筑理论与实践

Green Building Strategies and Practices in the USA

马 薇
张宏伟 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京嘉泰利德公司制版

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 880×1230毫米 1/16 印张: 21 字数: 625千字

2012年10月第一版 2012年10月第一次印刷

定价: 78.00元

ISBN 978-7-112-14049-7

(22065)

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)

前 言

在城市的开发,建筑物的营建、使用和维修过程中,如何减少资源的使用,提高资源的利用率,减少废物、废气和废水的排放,充分利用可再生的资源,尽最大可能地循环、再利用各种建筑材料,提高建筑物使用者的舒适度和生活质量,减少对人类生存环境和自然生态环境的破坏,为人类的明天保留一个可生存和可持续的环境,是目前世界各国所面临的共同的挑战。各个国家由于各自的自然资源、社会、经济、文化等诸多因素的不同,解决上述问题的方法也不尽相同。通常,通过考察其他国家具体解决问题的做法,可以为自己提供有益的启示,从而找到适合于自己国情的具体解决方法。这就是人们常说的“他山之石,可以攻玉”。这也是本书作者准备这部书稿的初衷。通过对美国绿色建筑理论与实践的全面、深度的介绍,为国内建筑同行和所有关心我们的生存环境以及我们后代生存空间的广大人士提供最直接、相关的信息。为绿色建筑及其理念在中国健康和迅速地发展、减轻快速和大规模的城市化对人们生存环境造成的严重破坏提供多元的经验和具有实践意义的借鉴。

在资源问题上,中美两国有着很大的相似和不同之处。中国人口众多,人均资源数量较少。资源过度消耗和利用率低下,以及快速的城市化对环境造成的不可逆转的影响正威胁着中国经济发展的前景和未来的生存环境。而美国虽然人口较少,人均资源占有率相对较高,但能源的消耗数量惊人,特别是大规模消耗化石燃料的问题尤为突出。自20世纪90年代末,世界石油产量的减少而引起的油价飙升,使得过分依赖海外原油的美国经济体系和整个社会生活受到了根本性的影响。走可持续发展的道路被证明是解决上述资源问题的切实而有效的办法。

19世纪的工业革命以及20世纪的现代工业的迅猛发展给自然环境和人类生存环境带来了毁灭性的破坏,加之20世纪70年代的能源危机,为美国的能源政策敲响了警钟,同时也为绿色建筑在美国的实践提供了发展的必然。此后的几十年间,美国政府迅速对能源政策进行调整,对化石燃料以外的其他能源的开发做出了巨大的努力。目前,美国的能源利用率得到显著提高,其人均原油消耗量已降到全世界排名中的第22位。其他的各个相关领域对资源的利用率也取得了斐然成绩。例如,钢的可回收率

Introduction

高达 83.3%。建筑中使用的玻璃窗已基本被 Low-e 玻璃所替代，传统的玻璃窗在建材市场中已很难找到。

指标和规范是绿色建筑发展中一个重要的组成部分。美国的各种标准和规范，包括绿色建筑的标准和规范采用的是一种分散的、民主的方式，由非营利专业团体制定。通过业内公示、讨论并达成共识后，再由地方政府根据各自行政区的特点和需要调整后，最后以法律的形式颁布实施。因此，美国各地法规、标准、规范千差万别，甚至同一个州，相邻的行政区的各种法规都有差别。本书主要对应用较广、影响较大的标准和规范体系进行介绍。

本书所有参考文献均为英文文献。为了使读者零距离了解美国绿色建筑的发展，在每一个章的开始都提供该章主要内容的中英文简介，主要章节的标题都采用中英文对照。书中主要的专业术语均保留了英文原文，有利于读者自己咀嚼英文的原意。在本书的最后还附有中英文对照绿色建筑术语及常用语的缩略语表供读者查阅。

本书的组织以绿色建筑设计为主线，内容涵盖美国绿色建筑发展历史和现状、绿色建筑理论、设计方法、绿色建筑各个组成部分和实例分析。全书共分五章：第一章对为什么要走可持续发展之路进行了讨论；第二章全面介绍了绿色建筑在美国的发展过程；第三章从理论和设计方法上对绿色建筑进行讨论；第四章主要从绿色建筑设计角度对绿色建筑的五大要素及其在美国的发展进行了详细的介绍；最后，第五章以美国建筑师学会的十大优秀绿色建筑项目为实例，对各种绿色建筑技术在实际项目中的应用进行了具体、深入的解析。

由于时间有限，加之绿色建筑在美国各地发展的巨大差异，疏漏和不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

马薇 张宏伟

2011 年 8 月于美国马里兰州

第一章

可持续性的设计和绿色建筑是 21 世纪建筑师、规划师的必由之路

建筑环境对自然环境、人类健康和社会经济有着巨大的影响。建筑是消耗自然资源最大的产业之一，它的温室气体的排放量对全球变暖造成了最直接的、重大的影响。建筑消耗了美国全部能源使用的 39%，全部水消耗的 12%，总电力消耗的 68%，以及二氧化碳排放的 38%^[1]。采用可持续的设计和绿色建筑之策略，我们可以最大限度地提高环保和经济性能，从而全方位地提升我们的生活环境和生活质量，为后代提供适于居住的生存空间。本章共分五节，分别探讨了以可持续发展为主线的未来城市形式，全球变暖的主要诱因和危害，绿色建筑和可持续发展对减缓全球变暖趋势的贡献，城市和建筑必须走可持续发展和绿色建筑之路等问题，并就绿色建筑、可持续发展、可持续设计、低碳建筑和节能建筑等相关概念进行了准确定义。



Part I

Toward Sustainable Design and Green Building in the 21st Century

The built environment has a significant impact on the natural environment, human health, and the economy. Buildings are the largest source of both energy consumption and greenhouse gas emissions in America as well as around the world. Buildings represent 39% of U.S. primary energy consumption, 12% of the total water consumption, 68% of total electricity consumption and are one of the heaviest consumers of natural resources and account for as much as 38 percent of all greenhouse emissions. By adopting sustainable design and green building strategies, we can maximize environmental, economic and social performance of the buildings and development, improve our living environment and overall quality of life and comfort, and most important, we can provide for our future generations with a livable earth. This chapter consists of five sections and provides discussion on issues such as what is the future sustainable city form, what are causes and impacts of global warming, how the sustainable development and green building contribute to the reduction of global warming, why the sustainable development and green building is the future. The chapter also defines the popular concepts such as green building, sustainable development, sustainable design, low-carbon building, and energy-efficient building.

第一节

由“美国未来城市：设计和工程之挑战”所引起的思考

Reflection Caused by “The City of The Future: A Design and Engineering Challenge” Competition Sponsored by the History Channel

美国历史频道 (History Channel) 主办的系列报道“工程帝国”，主要以世界各国的古代文明为线索，描述了各种全能的统治者是如何强迫聪明、智慧的建筑师和工匠们为他们建造旷日持久的建筑遗产，以及这些巨大的建筑纪念碑是如何设计、建造并保留至今的。在连续报道了古罗马和古埃及的建筑功勋和建筑文明之后，他们的目光又转向了美国的历史和未来。在 2006~2008 年连续的 3 年时间里，以美国历史频道为主举办的“美国未来城市：设计和工程之挑战” (The City of the Future: A Design and Engineering Challenge) 城市设计竞赛，在全美范围内征集竞赛方案。这是由美国历史频道、IBM 电脑公司、英菲尼迪 (Infiniti)、美国建筑师学会 (AIA) 和美国土木工程学会 (ASCE) 联合举办的竞赛。竞赛涉及美国六个大城市：纽约、芝加哥、洛杉矶、首都华盛顿、旧金山和亚特兰大。

这次竞赛号召具有远见和洞察力的建筑师们发挥其非凡的创造力，提交大胆而有具挑战性的设计作品，为 100 年以后未来城市的建筑、交通系统和商业中心的特点和奇迹发挥想象力。此次竞赛的目的是以古代文明的积淀为参考，去成就 100 年之后城市的建筑工程和设计的不同凡响之处：放眼未来为目标，以古代建筑遗产为标榜，来预言和描述我们未来的城市和建筑，希望看到的不只是三维的建筑空间、繁复的建筑语言，而是明天建筑和工程的奇迹，是一种永驻的、不随时代褪色的奇迹。

建筑师丹尼尔·李伯斯金 (Daniel Libeskind) 在介绍中说：“由于城市变得更加拥挤和密集，现代生活变得日益复杂，城市结构也呈现出了根本性的改变。21 世纪将是城市的世纪，对于未来城市的探索不应该是可有可无，而是必不可少的。当代城市发展的弊端在于：缺少足够的公共空间和自然清新的空气，交通堵塞，贫富分化日益严重，对于众多居民而言，当代城市的模式是完全不适于居住的。解决未来城市方案的重点在于寻找可持续发展的意向。未来积极的城市发展之路应该是合理地使用有限资源，建立一个民主、多元、美丽和可持续发展的城市，恢复城市的真正形态，使之成为市民文化、市民精神生活和社会生活结合的真正纽带。”

此次竞赛让设计师们给自己提出了许多问题：“100 年前的城市与现在截然不同，那 100 年以后究竟有什么不一样呢？”“到那时，我们还具备同样的城市基础设施吗？城市交通体系、安全体系又有什么根本性的改变？我们有什么新的城市商业和居住形态？”

历史频道的市场高级副总裁麦克·穆罕默德 (Mike Mohamad) 说：“就本着我们现在对过去的所知，我们希望能够建立起对未来 100 年城市的讨论。”

在所有递交的竞赛作品中，建筑师们没有探讨城市和建筑的美学，没有企图建立某种主义，也没有试图去解决某种社会问题。他们共同的方向是以我们未来的人类生存为主线，寻找一种更可靠、更持续的设计理念去发展未来的城市。这次竞赛的具体结果如下：

1. 纽约 New York City

“纽约——未来城市：设计和工程之挑战”的桂冠由纽约市建筑研究室 (ARO, Architecture Research Office) 摘取。ARO 方案的出发点为全球气候变暖这一事实。气候变暖和极地冰盖的融化导致海平面上升。“根据一系列的气候变化的假设，到 2050 年，纽约大都市的海平面将上升 18~60cm；到 2080 年，其海平面将上升 24~108cm”^[2]。也就是说 2106 年，曼哈顿比较低洼的社区和街道将被淹没

在汪洋大海之中（图 1-1）。这种似乎是势不可挡的灾难对于充满活力、繁忙拥挤的纽约街道来讲，意味着世界末日的到来。

1) 方案概述

由于极地冰盖的融化，到 2106 年，纽约曼哈顿的海平面估计将升高 152~914mm。几乎升高 1m 的水位严重影响了曼哈顿大部分地区的城市结构体系，特别是曼哈顿较低洼的社区与街道。水侵袭蔓延到城市的每个角落，水成为纽约城市的一大主题（图 1-2~图 1-5）。

“与其视洪水为灾难，不如将其作为振兴我们城市和再生城市生活的通道。本来水也是曼哈顿的



图 1-1 海平面的上升对纽约市的影响 Flooded Streets as Result of the Raising Sea Level

图片来源：Architecture Research Office, ARO



图 1-2 2106 年，曼哈顿的预测水位 Predicted Water Levels around Manhattan, 2106

图片来源：Architecture Research Office, ARO



图 1-3 2006 年，曼哈顿的实际水位 Actual Water Levels around Manhattan, 2006

图片来源：Architecture Research Office, ARO



图 1-4 2106 年，曼哈顿较低洼地区 Manhattan under Water, 2106

图片来源：Architecture Research Office, ARO

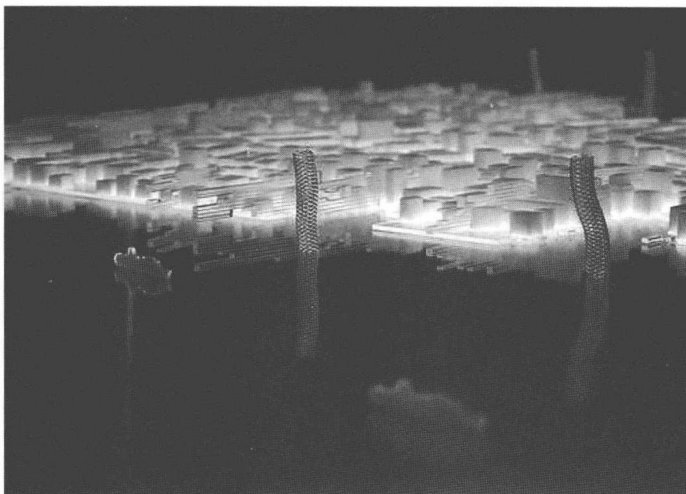


图 1-5 2106 年，曼哈顿淹没在洪水之中 Manhattan under Water, 2106

图片来源：Architecture Research Office, ARO

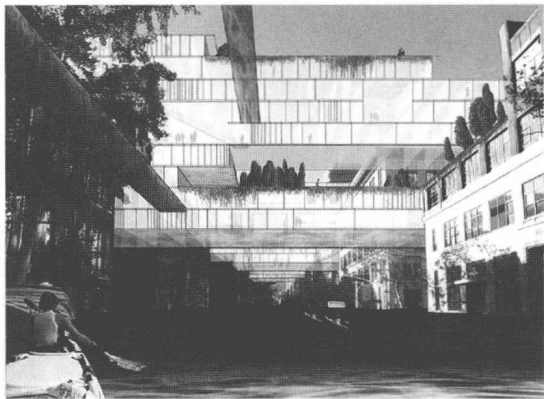


图 1-6 2106 年, 纽约的城市交通 NY City Urban Transportation, 2106

图片来源: Architecture Research Office, ARO

街道空间, 而且作为街道网格服务性的纽带将纽约的生活连接在一起。城市现有建筑也由叶片支持和连接, 通过“叶片”强调城市的历史顺序, 加强曼哈顿的城市环境意向。

在设计中一些额外的特点值得一提。首先, 每个叶片是不同的, 它们的形状和特征必须进一步满足特定的街道和位置。这就是说, 每个叶片都有一个主要的外立面和入口, 要进入叶片必须经过横向的人行通道或水路运输通道。叶片发展是分阶段的, 像今天的市场发展, 由少到多地增加, 以满足市场的需求。如果城市的街道需要扩建, 就会影响到叶片的长度、高度和规模。叶片最大的特点就是具有相当大的灵活性, 主要通道和服务层面可以扩展或收缩。

2) 能量、水和交通

ARO 假定大多数现在的技术可以用于 2106 年纽约的城市建造。但是在未来的世纪, 技术的发展将是迅猛的。基于这个假定, ARO 在城市周边设计了多个超高层的蒸发塔, 以“提炼”足够的水来满足城市的饮用水和基础设施的需求。而对于叶片外围护系统, ARO 设计了一系列的膜状结构体系, 以便于收集太阳能。这些膜结构不仅能供电, 而且还能随意开启达到自然通风的效果。

由于洪水蔓延在整个城市, 水运系统便成了整个淹没区及其周围城市海岸线的连接枢纽。这些交通设施在被洪水淹没的街上运行, 并非私人所有。因此为了与这些水路交通相联系, 一些与叶片连接的巨型过渡平台便形成了。在叶片与叶片之间的行人天桥成为城市交通的主宰, 它们各有不同宽度、长度和建筑风格。这些行人天桥成为纽约城市交通的中介点, 并成为纽约人偶尔停下来欣赏自己城市的天然平台^[3]。(图 1-8)

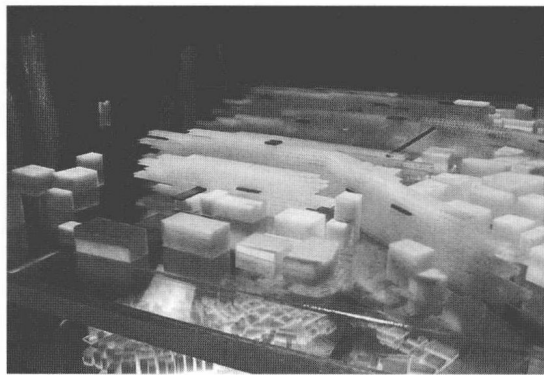


图 1-7 叶片穿行在城市之中 Vane Connecting the City

图片来源: Architecture Research Office, ARO

城市特色之一。”主设计师亚当·亚润斯基 (Adam Yarinsky) 解释道。洪水的蔓延需要一种新型建筑类型。一种什么样的建筑体系能使曼哈顿从洪水的灾难中解脱出来呢? 亚当·亚润斯基说: “如果摩天大楼是 20 世纪纽约的代表, 那么‘叶片’ (Vane) 式的建筑就是 22 世纪纽约的象征。”“叶片”是一种新型的混合式建筑体系, 设计呈轻型而透明, 它们既能吸收日照又便于自然通风。它们水平叠加在一起“悬浮”于水中, 或像码头一样矗立在淹没的街道上 (高架结构)。它们形成了住宅、办公楼、商场、公园和花园, 并将社区和社区联系在一起 (图 1-6、图 1-7)。

它们的出现不仅弥补了被水吞没的



图 1-8 叶片与城市周边的蒸发塔 Vane and Evaporation Towers at the Perimeter of the City

图片来源: Architecture Research Office, ARO

2. 旧金山 San Francisco

Iwamoto Scott 建筑事务所赢得“旧金山未来城市：设计和工程之挑战”设计竞赛头等奖。他们主要的设计理念是：为了减缓全球变暖，100 年以后的城市能源将来源于庞大的地下水电网（Hydro-net）系统。为取代以化石燃料（Fossil fuel）为基础的能源开发，减少释放二氧化碳，这种以氢为主要元素的水电网系统将明显降低温室气体排放，同时维持城市可再生性发展。这种地下水电网不仅将能源输送到城市各个街区，而且也是人、车和水的重要交通枢纽（图 1-9）。

用于连接地下网络的是资源收集系统，其形式类似于海藻和蘑菇。它们包括产生氢藻类的农场，收集空气水分的捕雾器，以及从地下淡水层提取水的抽水机等。之所以命名为水电网，是因为它能够将氢气存储在它的碳纳米管墙面内（Nanotube wall structure）。这些细微的碳基管状结构是一种新兴技术，它能够有效存储氢气并为建立微型计算机提供支持平台（图 1-10）。



图 1-9 2108 年，旧金山—生态之城 1 Ecological City, San Francisco, 2108

图片来源：Iwamoto Scott



图 1-10 2108 年，旧金山—生态之城 2 Ecological City, San Francisco, 2108

图片来源：Iwamoto Scott

3. 芝加哥 Chicago

在所有得奖的作品中，对环境危机的关注是创建未来城市的主题。设计者们主要关心资源的再生产和消耗、海平面上升，以及城市干旱缺水等一些环境问题。芝加哥未来城市得奖者 Urbanlab 所递交的作品就是以 100 年以后城市缺水为主线。他们在设计中这样分析：

- （1）联合国的报告指出，到 2025 年，世界上每三个人中就有两个人面临缺水的困扰。
- （2）北美的五大湖区蕴藏着 20% 的世界淡水资源，同时它又是美国 95% 的淡水储备地。
- （3）每一天芝加哥从密歇根湖中提取上亿吨的水，只有 1% 的水最后又回到大湖。
- （4）Urbanlab 的结论：2106 年，水会像今天的石油一样成为人类非常珍贵的资源。

因此，他们力争寻找一套绿色的城市基础设施，将芝加哥变成一个能产生水并可以无限提供市政运行和市民消费的样板城市。Urbanlab 通过 100% 的水资源的生产和回收，力争创建一套城市自给自足的生态系统，于是一系列贯穿于整个城市的“生态大道”（Eco-boulevards）和连接自然水体与可再生水资源的水循环系统便形成了（图 1-11）。

“生态大道”是一系列巨大的活机器，利用天然微生物、小型无脊椎动物（如蜗牛）、鱼类和植物等，来净化 100% 的芝加哥的污水和雨水（图 1-12）。处理后的水再返回到大湖盆地以待今后循环使用。

4. 设计竞赛所引起的思考 Reflection on the Design Competition

我们的城市在未来 100 年，究竟与现在有什么不同？在全球气候的变化加速、自然资源日益短缺的

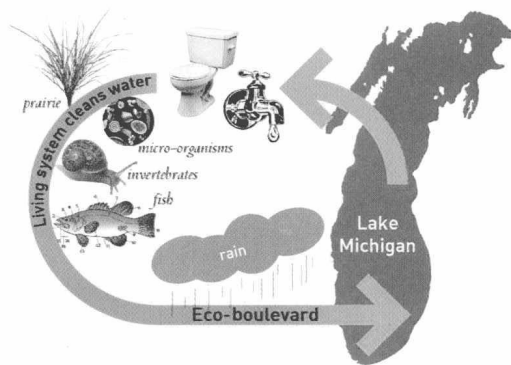


图 1-11 芝加哥的“生态大道”实现 100% 用水循环
100% Closed Water Loop Recycle

图片来源: Urbanlab



图 1-12 以水网为主体的生态大道 Eco-boulevard

图片来源: Urbanlab

情况下,我们未来的城市会有什么根本性的改变?人类的未来会面临着一个怎样的生存空间?以现在的城市开发速度,我们的地球资源何时耗尽,我们的后代将如何维持他们的生存?

这次竞赛的参赛者的一个共同特点都是围绕着可持续性发展这个主题。人口剧增,环境污染日趋严重,自然生态环境不断破坏,人为因素造成森林面积大幅度锐减,海平面不断上升,所有这些因素都对我们的城市和建造方式造成了根本性的影响。作为规划、设计和营建这些城市的建设者们,应该做些什么?在我们赖以生存的自然环境被无限度地开发的同时,我们是否想到过应该给后代留下什么?我们是在由于人类为生存所产生的环境破坏,而造成不健康的生活环境空间的局面下被动应付,还是主动担当,在建造最好的建筑环境的同时,最大限度地减少建筑给自然环境所带来的负面影响?

第二次世界大战以后形成的基于化石燃料的发展方式和主宰自然的建造方式,过多地、过快地消耗了大量的自然资源,同时对我们生产的环境造成了巨大的破坏。要改变这一现状,必须对以往的发展模式和建造方式进行彻底的反思,寻找今后的发展方向。无论是纽约应对海平面上涨的“叶片”系统,旧金山以氢为主要元素的水电网系统生态城市概念,还是芝加哥百分之百进行水循环的生态大道概念,其最基本的观点在于将城市、建筑乃至整个经济行为视为我们所生存的自然生态环境的一个不可缺少的一部分,通过利用、再利用所有的自然资源来满足人们的发展需求,与此同时最大限度地减少对自然的影响,包括减少温室气体排放、污水排放和固体废弃物及垃圾的产生等。

基于这样一种全新的概念,在城市发展和建筑建造过程中,必须在空间上将整个建造发展过程各个部分视为一个整体来考虑,在时间上将整个建造过程从选址、建设、拥有、维修、更新到结构最后使用完毕后的拆除和处理所消耗的能源和成本纳入成本效益的计量。同时,城市发展和建筑建造充分利用一个地区特有的资源和材料,在最大可能地提高人们的生活、生活质量的前提下,以整个发展和建造行为对环境的最终影响程度来作为评定发展的标准。通过这样的发展方式,最终才能达到扭转过去我们对环境产生的破坏、逆转全球变暖趋势的目的。

第二节

全球变暖的主要原因和城市开发建设给全球变暖所造成的直接影响

The Causes to Global Warming and its Impacts on Built Environment

1. 全球变暖和全球变暖的主要原因 Global Warming and its Causes

全球变暖指的是由于过量的二氧化碳和其他温室气体的排放 (Greenhouse gas emission),而造成地球表面温度逐渐上升。这种现象几乎被当今大部分科学家认为是人类大规模的生产行为所致。整个过程的

发生可以追溯到 18 世纪初的工业革命。工业革命完成了工场手工业向机器大工业过渡的阶段，它是以机器生产取代手工劳动，以大规模工厂化生产取代个体工场手工生产的一场生产与科技革命。

工业革命主要依赖化石燃料能源。蒸汽机、焦炭、铁和钢是促成工业革命技术加速发展的四项主要因素。在瓦特改进蒸汽机之前，整个生产所需动力依靠人力和畜力。伴随蒸汽机的发明和改进，工厂不再依河或溪流而建，很多以前依赖人力与手工完成的工作自蒸汽机发明后被机械化生产取代。

自工业革命开始到现在，人类大规模的机器生产已持续了 150 多年。人们焚烧化石矿物以生成能量，大量燃烧煤、油、天然气和树木，产生大量温室气体，包括二氧化碳、甲烷、氯氟化碳、臭氧、氮氧化物和水蒸气等，其中最主要的是二氧化碳。全球大气层和地表之间形成了一个巨大的温室（Greenhouse），使地球表面始终维持着一定的温度，提供了适于人类和其他生物生存的环境。而在这一环境系统中，大气既能让太阳辐射透过而达到地面，同时又能阻止地面辐射的散失。大气对地面的这种保护作用我们通常称为大气的温室效应。造成温室效应的气体称为“温室气体”，它们可以让太阳短波辐射自由通过，同时又能吸收地表发出的长波辐射。据美国环境保护署（Environmental Protection Agency, EPA）的资料显示，从工业革命开始到 2005 年，大气中二氧化碳的含量增加了 35%，远远超过科学家可能勘测出来的过去十几万年的全部历史纪录，而且目前尚无减缓的迹象。许多科学家都认为，温室气体的大量排放造成温室效应的加剧是全球变暖的主要原因（图 1-13）。美国国家海洋和大气管理局（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）的测试数据显示^[4]：自 1880 年到现在，全球地面表面平均温度大约已升高了 0.9℃，到 21 世纪末，地球的温度将升高 1.1℃~6.4℃，最乐观的估计温度将升高 1.8~4.0℃^[5]。

美国国家海洋和大气管理局国家气候数据中心（National Climatic Data Center, NCDC）国家气候 2008 年全球的分析报告（State of the Annual Global Climate Analysis 2008）显示：2008 年，结合陆地和海洋表面的温度，全球气温在 1 月至 12 月为 0.49℃，该温度高于 20 世纪的平均温度水平，是 1880 年开始温度记录以来的八个暖年之一（与 2001 年的温度相当）。该年全球平均陆地温度为 0.81℃，高于平均温度，

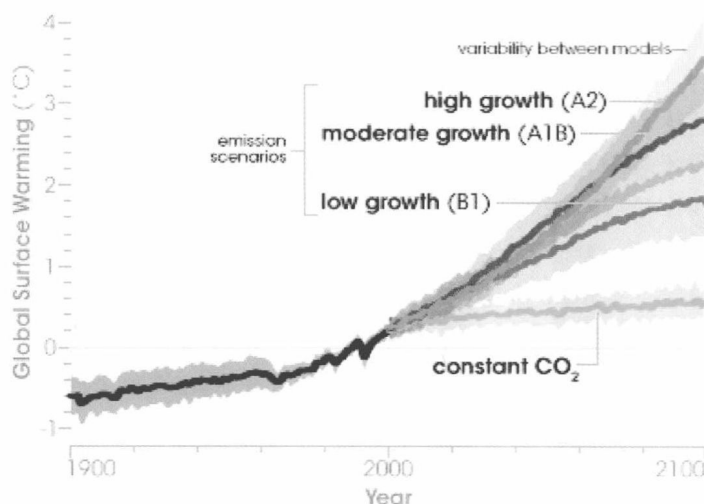


图 1-13 温室气体的排放量增加的预测 Greenhouse Gas Emissions Forecast

注释：该图显示了 1900~2100 年期间根据全球气候模型预测的高、中和低三种增长模式下温室气体的排放量增；

水平线指数为 1900~2100 年期间的温室气体的预测排放量，竖向指数为地球表面温度的升高预测。

资料来源：美国航空航天局地球观测局：NASA Earth Observatory, IPCC 第四次评估报告（2007）^[4]

而海洋温度 0.37℃也高于平均温度，分别排名 10 大暖年的第六名。表 1-1 记录了自 1880 年以来最暖的 10 年的温度情况。

自 1880 年以来全球的 10 大暖年（1 月至 12 月）^[4]

表 1-1

1880 年以来全球的十大暖年（1 月至 12 月） (Global Top 10 Warm Years, January–December)	异常摄氏度，℃ (Anomaly, °C)	异常华氏度，°F (Anomaly, °F)
2005 年	0.61℃	1.10°F
1998 年	0.58℃	1.04°F
2002 年	0.56℃	1.01°F
2003 年	0.56℃	1.01°F
2006 年	0.55℃	0.99°F
2007 年	0.55℃	0.99°F
2004 年	0.53℃	0.95°F
2001 年	0.49℃	0.88°F
2008 年	0.49℃	0.88°F
1997 年	0.46℃	0.83°F

哈佛大学能源政策和应对气候变化研究专家、物理学家约翰·霍尔德伦（John P. Holdren）形象地形容：“你的身体的体温通常是 98.6°F（37℃），当它仅仅升高几度到 102°F（39℃）时，它会出现什么问题？你的身体这时出现了大问题，它在发烧。这种变化和地球表面温度升高是一个道理。”

2. 全球变暖给人类带来的后果 Impacts of Global Warming

全球变暖对人类所产生的后果是灾难性的。全球变暖的最大危险是导致海平面的急剧上升。主要是由两个因素造成。其一是高山冰川和极地冰盖的融化。这其中包括 5 大洲的冰川大规模退缩，北冰洋的冰正在变薄，巨大的南极冰盖正以令人难以置信的速度崩溃。其二，海洋水温的热膨胀。由于海洋水温的升高和海洋内张力更加疏松，导致海水蔓延。海水正在占据着地球越来越多的面积。从以下数据我们可以看出海平面上升的事实和对人类所产生的后果：

- （1）自上个冰河时代末期约 1.8 万年前以来，海平面上升了大约 120m。
- （2）地质资料表明，在过去的 3000 年中，全球海平面可能平均以每年 0.1~0.2mm 的速度增长。
- （3）潮汐测量数据表明，20 世纪全球海平面上升速度为平均每年 1~2mm。
- （4）较平坦的海岸线，如大西洋所连接的较肥沃的海岸和人口密集的河流三角洲，1mm 的海平面上升导致约 1.5m 的海岸线后退^[6]。

大多数科学家表示，2100 年，全球海平面预计将上升 40~65cm。据欧洲地球科学联盟在 2008 年奥地利维也纳会议中的数据，到下一个世纪，全球海平面有可能上升到 0.8~1.5m，最终可能淹没岛屿国家，淹没沿海城市，数以万计的居民不得不迁徙。就美国而言，有 53% 的美国居民居住在海岸城市，当海平面上升 1m 时，部分沿海城市如东海岸位于佛罗里达州的好莱坞市（Hollywood, Florida）、西海岸的加利福尼亚州的福斯特市（Foster City, California）可能的淹没状况如图 1-14~图 1-17。

全球气候变暖和海平面上升对其他国家和地区的影响还有：

- （1）除了岛屿国家以外，海平面上升也对地势低洼的沿海国家造成威胁。1m 的海平面上升将淹没孟加拉国（Bangladesh）一半水稻土地面积，孟加拉国一半以上的居民不得不搬迁。其他将被淹没的水稻种植低洼地区包括越南、中国、印度和泰国等。^[6]



图 1-14 佛罗里达州好莱坞现状 Hollywood, Florida



图 1-15 佛罗里达州好莱坞: 当海平面上升 1m, 城市的淹没状况 Flooding after Sea Level Raised 1 Meter, Hollywood, Florida



图 1-16 加利福尼亚福斯特市 Foster City, California



图 1-17 加利福尼亚福斯特市: 当海平面上升 1m, 城市的淹没状况 Flooding after Sea Level Raised 1 Meter, Foster City, California

(2) 由于全球气温升高,水分蒸发便随之增加,因而雨季延长。气候的变化导致不均衡的降水现象发生,一些地区降水增加导致洪水泛滥,而另一些地区降水减少而干旱化严重。由于干旱所引起自然森林火灾将烧毁大面积的森林,严重破坏森林生态系统。同时洪水和火灾造成成千上万的建筑被毁,很多人被迫流离失所。

(3) 全球气候变暖影响和破坏了自然界的生态大环境。更为严重的自然恶果是洪水泛滥和海平面温度上升破坏了自然的生物链、食物链。大气中的二氧化碳增加可刺激植物生长,但有证据表明,在大气二氧化碳浓度升高下生长的植物,其枝叶中含的氮较少,这对食草动物而言意味着营养减少,这最终将导致重要生态系统的崩溃和物种逐渐灭绝。气候变化也将改变降雨模式。干燥地区导致野火增加而潮湿的条件下可能会导致更多的害虫,如蚊子和松树甲虫。在加拿大,由于近几年冬天不够寒冷,甲虫在冬季仍然存活,它们的侵扰使数百万公顷的松树林干枯死亡。

(4) 生态系统: 气候变暖的趋势将改变树木和其他原生植物的分布,改变动物的栖息地。模型预测温带树种向北移动,热带和亚热带树种也逐渐向北转移。但个别物种对气候变化的反应有所不同。物种群落不会只是简单地追逐冰盖,但通常植物和动物的生态环境将会被彻底打乱。



图 1-18 受松树甲虫侵害的加拿大森林 The Dying Canadian Forest Infested by Pine Beetles

图片来源: <http://ecoworldly.com/2009/07/22/massive-infestation-of-beetles-threatens-mountain-pines-in-western-us/>

(5) 大气二氧化碳浓度升高,不但直接影响气候变化,而且使野生动物和植物的生命受到威胁。例如,由于变异性增加,即使温度低于冰点仅仅几个小时,植物也有可能死亡。同样,如果温度过高,鸟类和昆虫也可能会死亡^[6]。

(6) 较暖的气温给各种疾病、流行病提供了可传播的机会。哈佛大学医学博士保罗·爱泼斯坦(Paul R. Epstein)的研究表明,气候变暖使得蚊虫的疾病传播现象越来越普遍,因为气象条件是蚊虫传播疾病的最重要手段。寒冷的气候给人类带来很多益处,因为温度保持在特定的低水平,能限制蚊虫的繁殖和滋长。冬季温度低(低于临界度的温度)能使许多细菌或寄生虫的卵虫和幼虫死亡。例如,导致疟疾爆发的气温通常要超过 60°F,因为这种温度是疟疾的寄生虫如恶性疟原虫传播不可缺少的条件。同样,埃及伊蚊是黄热病和登革热主要的传播体,其病毒只有在气温高于 50°F 的时候存活。虽然非常热和非常冷的温度都同样能使昆虫致死,不过在蚊子存活温度范围内,热的环境中更易于它们繁衍和叮咬人类。同时,在热环境中病原体更易成熟和生产。又例如,在 68°F,不成熟的恶性疟原虫的寄生虫需要 26 天才充分成熟,但在 77°F 却只需要 13 天。所以气温升高大大缩短了寄生虫成熟的时间和它们传播疾病的机率。随着越来越多的地方变得更加暖和,蚊子就有可能带着疾病扩散到以前没有进入的比较寒冷的地区。此外,温暖的夜晚和不太寒冷的冬季气温使得疾病的传播时间更长。于是,由于整个地球热了起来,冰川融化,植物也随冰雪而移动。随着山峦顶峰的变暖,海拔较高处的环境也越来越有利于蚊子和它们所携带的微生物如疟原虫的生存。一些热带疾病将向较冷的地区传播,如西尼罗病毒、疟疾、黄热病等热带传染病,在美国的佛罗里达、密西西比、得克萨斯、亚利桑那、加利福尼亚和科罗拉多等地相继爆发^[7]。

3. 城市开发建设给全球变暖所造成的直接影响 Urban Development as a Direct Cause to Global Warming

以全球范围而言,能源消耗和温室气体排放量最大的来源之一是城市开发建设。城市开发和建筑营建本身就意味着清理土地、开发森林,通过挖掘矿物去生产水泥、砖、金属、塑料合成等建筑材料,并且在建筑使用过程中消耗大量能源。目前建筑使用的能源主要来源于燃烧不可再生的资源如焦炭和化石等。皮博迪能源(Peabody Energy)是世界上最大的私营煤矿公司,它每年要从地球中挖掘 2.4 亿吨的原煤。皮博迪能源公司将每年他们所生产的 10% 的能源提供给美国。如果美国仍然坚持走传统的工业革命以来的能源消耗之路,在将来的 20 年每年的能源消耗将增长 37%,温室气体排放将增长 36%。

1) 温室气体排放量 The Amount of Greenhouse Gas Emission

在美国,居住、商业和工业建筑能源消耗所产生的温室气体排放量,占有所有温室气体排放量的 58%。其中有 43% 的二氧化碳(CO₂)、7% 的甲烷、8% 的一氧化二氮^[8],还有部分二氧化硫、铅、微量的粉尘、一氧化氮和挥发性的有机化合物(VOC)(图 1-19, EPA-美国环境保护署)。就主要的居住和商业建筑能源消耗所产生的温室气体排放量而言,其二氧化碳的排放量就占了美国总温室气体排放量的 38%(图 1-20)。从 1990 年起,建筑的温室气体排放量以每年 2% 的百分比在增长,据美国能源信息管理局(EIA)估算,到 2025 年,它将持续增长到 1.4%。主要的原因是建筑要消耗能源,而生产和运输能源的过程伴随着大量温室气体排放。其中居住和商业建筑能源消耗较多,是大量温室气体的主要来源。居住建筑因为电的消耗而产生的二氧化碳排放量为 67%,商业建筑为 76%。在加热锅炉和热水器时,燃烧天然气而产生的温室气体排放,居住建筑为 23%,商业建筑为 17%。在美国中西部和东北部,通过燃油加热取暖而产生的温室气体排放,居住建筑为 9%,商业建筑为 5%。

2) 能量消耗 Energy Consumption

随着人口的增加,经济和建筑规模的扩大,建筑业对能源的依赖也随之增长。据美国环境保护署一份 2004 年的统计显示,2002 年,建筑所消耗能源占了美国总能源消耗的 39%,其中电能占了全美总消耗量的 68%^[9]。在建筑使用过程中,电能的消耗主要来源于热水和照明。图 1-21 提供了美国居住和商业建