

“十二五”国家重点图书

低碳

LOW CARBON
ARCHITECTURE

建筑

陈易 等著
Lead Author: Chen Yi

同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

“十二五”国家重点图书

国家自然科学基金支持项目(编号 51278338)

上海市 I 类高峰学科计划同济大学“交叉创新 LAB 团队项目”

低碳建筑
Low Carbon Architecture

藏书 陈易等著
Lead Author: Chen Yi



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

低碳建筑 / 陈易等著. -- 上海: 同济大学出版社,

2015. 12

ISBN 978-7-5608-6145-6

I. ①低… II. ①陈… III. ①建筑设计—节能设计—研究 IV. ①TU201.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 318462 号

低碳建筑

陈 易 等著

责任编辑 江 岱 责任校对 张德胜 封面设计 张 微

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 上海安兴汇东纸业有限公司

开 本 787mm×960mm 1/16

印 张 12.75

印 数 1-2100

字 数 255000

版 次 2015 年 12 月第 1 版 2015 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-6145-6

定 价 48.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

序 言

礼赞低碳建筑

全球气候变化的议题已经越来越受到社会各界的关注,并提高到国家安全的高度。20世纪60年代兴起的“绿色建筑”运动和20世纪90年代的可持续发展理念要求建筑关注对环境的保护,抵制高强度开发带来的城市扩张,主张使用无污染、可再生利用、可再循环的材料,这种新兴的理论旨在发展一种建筑与自然环境之间的和谐关系。我们这个世界是建筑的世界,建筑为我们提供了住所、工作和娱乐场所,但是建筑也给我们这个星球带来了问题,如大量的能源消耗和温室气体,尤其是碳排放。根据2009年的统计,中国的二氧化碳排放量占全球的23.6%,其中建筑产生的二氧化碳排放量占有很大的份额。

建筑在施工、运行和拆除或改造过程中都会排放出温室气体,建筑碳排放量是全球碳排放量的重要组成部分。根据测算,建筑在温室气体排放总量中占到了38%,其中住宅占20%,公共建筑占18%,因此,降低建筑碳排放量是减缓全球气候变暖趋势的重要举措。低碳意味着减少使用能源,尤其是矿物能源,而尽可能使用太阳能、风能等可再生能源,延长建筑的使用寿命。低碳建筑与一般建筑相比,碳排放量大为减少,低碳建筑一般是指在建筑材料生产、设备制造、施工建造和建筑物使用、拆除的全寿命周期内,减少矿物能源的使用,提高能效,降低二氧化碳排放量,最大限度地节约资源,包括节能、节地、节水、节材、保护环境、减少污染,为人们提供健康、适用和高效的使用空间,与自然和谐共生的建筑。一般而言,建筑在全寿命周期内,每平方米大约排放5 000公斤的二氧化碳,当然这与所处的环境、建筑类型有关。但是,低碳建筑与一般建筑相比,至少应当减少80%的温室气体排放量,这是一项十分具有挑战性的任务。

英国在低碳建筑方面处于领先地位。英国政府从2006—2010年启动低碳

建筑计划(Low Carbon Building Programme, LCBP),在资金和政策上支持低碳建筑的发展,2011年起改为可再生能源计划(Renewable Heat Incentive)。伦敦的贝丁顿零碳排放住宅项目(Beddington Zero Energy Development, BedZED)由英国建筑师比尔·敦斯特(Bill Dunster, 1960—)设计,该项目有85套住宅,共1405平方米,于2000—2002年建成。该项目完全使用可再生能源,安置了777平方米的太阳能板,采用太阳能、风能和水源热能联动,实现建筑内的通风、制冷、除湿、加湿等功能,以满足生活的舒适性要求。贝丁顿零碳社区实现了零温室气体排放,向世界展示不依赖化石能源的社区是可行的,同时该项目按照经济适用房的标准建设,以确保每一个公民都能够住得起,同时也确保每一个工人都能够进行维修和管理。

贝丁顿零碳排放住宅在2010年上海世博会城市最佳实践区展出时,根据上海的气候条件和建筑规范,进行了调整。同时引入了生物质能技术,通过“生物能热电联产系统”对餐厅内的各种有机废弃物、一次性餐具等降解而获得电能和热能。此外,世博会的上海案例馆“沪上生态家”的主题是“生态建造、乐活人生”,展示了绿色宜居模式,适合人生的不同变化,体现绿色低碳技术,如无纸化阅读、LED多功能照明、智能集成管理、家庭远程医疗、家用机器人服务系统、智能厨房、健康监测系统、无障碍卫浴等技术和设备。此外,应用了固废再生混凝土、气候适应性围护结构、燃料电池家庭能源中心、非晶硅薄膜光伏发电系统、自然通风强化技术、壁挂式模块绿化、生活垃圾资源化等生态技术。

目前低碳建筑已逐渐成为国际建筑界的主流趋势,许多欧美国家已经在低碳建筑设计、建筑节能与可再生能源利用、绿色环保建材、室内环境控制改善技术、资源回用技术、绿化配置技术等关键技术研究方面取得大量成果,并在此基础上,发展较完整的适合当地特点的低碳建筑集成技术体系。同时,根据自身特点,结合自然通风、天然采光、太阳能利用、地热利用、中水利用、绿色建材和智能控制等技术,建造了一批绿色建筑示范工程。

低碳是和绿色、生态、可持续发展联系在一起的概念,因此,低碳建筑又可称为绿色建筑、可持续发展建筑、生态建筑、回归大自然建筑、节能环保建筑等等。低碳建筑代表了一种概念和伦理,是社会价值观的体现。中国已经成为

全球最大的温室气体排放国家,而且温室气体排放仍然在呈快速增长的趋势,因此推广低碳建筑具有十分重大的意义。我国从20世纪90年代开始,引入绿色建筑的概念,近年来又引进了低碳建筑的概念。低碳建筑涉及了十分广泛的学科和实践领域,陈易教授和他的团队在这本《低碳建筑》中就介绍了与低碳建筑相关的一系列概念和设计原则。陈易教授与英国可持续发展研究院有着长期的合作,同时也长期研究生态建筑和生态城市,承担了许多国家级的研究课题,获得了重大的成果。《低碳建筑》一书致力于从建筑设计角度出发,研究适合于建筑师运用的低碳建筑设计方法,具有重要的学术价值和实用价值。

作者在后记中指出:“低碳发展模式要求人类怀有一颗感恩和敬畏之心,人类应该感谢大自然的赐予,应该敬畏大自然的威力。唯如此,才能减少对自然的索取,才能减少抛向自然的废弃物,才能实现人与自然的和谐。”这正是对低碳建筑、低碳社会的精辟总结。



同济大学教授,博士

同济大学学术委员会主任

中国科学院院士,法国建筑科学院院士

罗马大学名誉博士,美国建筑师学会荣誉资深会员

2015年12月9日

前 言

“低碳”是近年来出现频率极高的词,几乎所有行业、所有专业都把降低碳排放量作为自身发展的主要目标之一。在建筑界,低碳建筑已经成为研究热点,本书致力于从建筑设计角度出发,研究适合于建筑师运用的低碳建筑设计方法。

近年来,作者有幸主持了国家自然科学基金项目“基于碳排放计算及评价体系的低碳建筑设计方法研究——以长三角地区办公建筑为例”(编号 51278338)的研究。同时,也有幸主持或参加了一系列与低碳建筑有关的课题,如“十一五”国家科技支撑计划“低碳社区建设关键技术集成应用示范研究”(编号 2009BAC62B03)、国家自然科学基金项目“高层建筑形态的生态效益研究”(编号 51078267)、上海市政府间国际科技合作项目“上海虹桥商务区低碳城市建设评价指标研究”(编号 10230712300)、上海市科学技术委员会项目“临港新城低碳城市实践区建设指标体系与建设导则研究”(编号 09DZ1200800)等,上述课题的研究经历和成果都为本书提供了强有力的支撑。

低碳建筑研究的涉及面十分广泛,本书是集体智慧的结晶,凝聚了同行、同事和课题组成员的大量心血。下列研究人员的贡献尤其值得尊重。

鞠 颖硕士(中国建筑西南设计研究院有限公司): § 1.2.1 和 1.2.2, 第 7 章的大部分;

夏 冰硕士(同济大学博士候选人): § 3.2, § 8.2;

赵 桢硕士(同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司): § 8.2;

周 欣硕士(浙江大学建筑设计研究院有限公司): § 8.3;

刘军明硕士(同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司): § 8.4;

陈薇伊建筑师(姚仁喜大元建筑工场),薛天博士研究生、董之鑫硕士研究生、武毅超硕士研究生、蔡少敏硕士研究生等协助绘制了精美的插图,使本书增色不少。

本书中的尺寸、数字以说明原理为主,若与国家或地方规范有不一致时,以国家或地方规范为准。本书参考、引用了国内外学者的一些图片,在此表示衷心感谢。书中已经尽可能详细地标明了出处,如有遗漏则表示由衷歉意。由于时间紧迫,加之缺少联系方式,无法与有关学者一一联系,相关学者见本书后,可与出版社联系,以便当面致谢。

本书是在繁重的教学、科研、社会服务工作之余,利用晚上、周末的时间完成的。在成书过程中得到不少朋友和同仁的大力支持,在此表示诚挚的谢意。尽管尽了很大的努力,但由于学科涉及面广,加之水平有限、学识不够、事务繁忙,书中定有不少不妥之处,这些都是作者的责任,在此表示深深的歉意。

在大力提倡生态文明的时代,在提倡“创新、协调、绿色、开放、共享”发展理念的时代,全球气候变化的议题将越来越受到大众的关注,希望本书能够为推动中国的可持续发展起到积极的作用。

笔者

2015年12月

目 录

序言

前言

上篇 低碳建筑

| | |
|----------------------|----|
| 第 1 章 低碳建筑与建筑碳排放量 | 2 |
| 1.1 温室气体及其后果 | 2 |
| 1.1.1 二氧化碳及其排放 | 2 |
| 1.1.2 气候变化及其后果 | 3 |
| 1.2 建筑碳排放量计算 | 4 |
| 1.2.1 国外研究回顾 | 5 |
| 1.2.2 国内研究回顾 | 8 |
| 1.2.3 建筑碳排放计量 | 14 |
| 1.3 低碳建筑 | 18 |
| 1.3.1 低碳建筑概述 | 18 |
| 1.3.2 低碳建筑与建筑节能 | 19 |
| 1.3.3 低碳建筑与相关概念 | 19 |
| 第 2 章 低碳建筑的社会背景 | 22 |
| 2.1 发展模式与低碳建筑 | 22 |
| 2.1.1 工业革命之前的发展模式与建筑 | 23 |
| 2.1.2 工业革命之后的发展模式与建筑 | 26 |
| 2.1.3 未来发展模式与未来建筑 | 27 |
| 2.2 生活模式与低碳建筑 | 31 |
| 2.2.1 反对崇尚物质的生活模式 | 31 |
| 2.2.2 推崇“关心与分享”的生活模式 | 33 |
| 2.2.3 反对依赖私人汽车的生活模式 | 36 |
| 2.3 技术选择与低碳建筑 | 37 |
| 2.3.1 技术的哲学思辨 | 37 |
| 2.3.2 优先采用适宜技术 | 39 |

| | |
|-----------------------------|-----------|
| 2.3.3 技术进步与低碳建筑 | 40 |
| 2.4 美学标准与低碳建筑 | 42 |
| 2.4.1 建筑之美概述 | 42 |
| 2.4.2 低碳建筑之美 | 46 |
| 第3章 低碳建筑的发展愿景 | 51 |
| 3.1 气候变化与中国 | 51 |
| 3.1.1 中国的环境问题 | 51 |
| 3.1.2 气候变化与中国 | 53 |
| 3.2 中国建筑师的低碳认知 | 54 |
| 3.2.1 调研方法 | 55 |
| 3.2.2 调研结果 | 55 |
| 3.2.3 结论启示 | 59 |
| 3.3 中国低碳建筑的发展愿景 | 59 |
| 3.3.1 愿景一:进一步完善政策法规 | 60 |
| 3.3.2 愿景二:进一步加强科研积累 | 62 |
| 3.3.3 愿景三:进一步注重设计师的作用 | 63 |
| 下篇 低碳建筑设计 | |
| 第4章 城市设计层面 | 66 |
| 4.1 土地利用规划 | 66 |
| 4.1.1 适度提高密度 | 66 |
| 4.1.2 土地综合利用 | 68 |
| 4.2 交通规划 | 71 |
| 4.2.1 倡导以公共交通为导向的开发 | 71 |
| 4.2.2 重视步行与自行车的作用 | 74 |
| 4.3 绿地规划 | 75 |
| 4.3.1 扩大绿地固碳能力 | 75 |
| 4.3.2 降低城市热岛效应 | 77 |
| 4.3.3 绿化结合食品生产 | 77 |
| 4.3.4 关注绿化本身的生态问题 | 81 |
| 第5章 建筑设计层面 | 83 |
| 5.1 建筑绿化 | 84 |
| 5.1.1 与建筑设计相结合 | 85 |

| | | |
|------------|------------------|------------|
| 5.1.2 | 与专业公司相结合 | 86 |
| 5.1.3 | 与细部设计相结合 | 87 |
| 5.2 | 自然通风 | 90 |
| 5.2.1 | 注意总体布局和周边景观 | 90 |
| 5.2.2 | 注意形体和空间设计 | 92 |
| 5.2.3 | 注意开窗面积和方式 | 94 |
| 5.2.4 | 注意细部设计 | 101 |
| 5.3 | 日照采光 | 102 |
| 5.3.1 | 注意总体布局和周边环境 | 102 |
| 5.3.2 | 注意形体和空间设计 | 105 |
| 5.3.3 | 注意开窗设计 | 105 |
| 5.3.4 | 注意导光设计 | 108 |
| 5.4 | 保温隔热 | 109 |
| 5.4.1 | 注意形体和空间设计 | 109 |
| 5.4.2 | 注意围护结构细部设计 | 110 |
| 5.5 | 遮挡阳光 | 114 |
| 5.5.1 | 注意形体和景观设计 | 114 |
| 5.5.2 | 注意建筑遮阳措施 | 117 |
| 第6章 | 材料选择层面 | 123 |
| 6.1 | 设计与减少材料消耗 | 123 |
| 6.1.1 | 设计中的注意事项 | 123 |
| 6.1.2 | 选材中的注意事项 | 128 |
| 6.2 | 绿色建材及其评价体系 | 128 |
| 6.2.1 | 绿色建材及其评判 | 128 |
| 6.2.2 | 生命周期评价 | 130 |
| 6.3 | Ⅲ型环境声明与碳足迹 | 132 |
| 6.3.1 | Ⅲ型环境声明 | 132 |
| 6.3.2 | 材料的碳足迹 | 134 |
| 第7章 | 方案设计与低碳判断 | 138 |
| 7.1 | 方案设计与碳排放量 | 138 |
| 7.1.1 | 研究目标 | 139 |
| 7.1.2 | 研究内容 | 140 |
| 7.1.3 | 研究思路 | 141 |

| | |
|------------------------------|------------|
| 7.2 形体设计与碳排放量 | 142 |
| 7.2.1 形体限定因素对碳排放量的影响效应 | 142 |
| 7.2.2 形体限定因素对碳排放量的影响程度 | 145 |
| 7.2.3 形体导出因素的影响效应分析 | 147 |
| 第8章 低碳建筑设计实例分析 | 148 |
| 8.1 北欧的合作社区 | 148 |
| 8.1.1 目标明确 | 148 |
| 8.1.2 共同参与 | 152 |
| 8.1.3 低碳节能 | 153 |
| 8.1.4 富有人情味 | 154 |
| 8.1.5 经验启示 | 154 |
| 8.2 德国住宅的节能减排 | 154 |
| 8.2.1 低能耗住宅 | 155 |
| 8.2.2 “被动屋”住宅 | 156 |
| 8.2.3 产能型住宅 | 160 |
| 8.2.4 经验启示 | 164 |
| 8.3 德国联邦环境局办公楼 | 166 |
| 8.3.1 FEA 办公楼可持续设计 | 166 |
| 8.3.2 FEA 办公楼的能效表现 | 172 |
| 8.3.3 经验启示 | 175 |
| 8.4 中国某办公楼减碳设计 | 176 |
| 8.4.1 设计背景情况 | 176 |
| 8.4.2 立面设计构思 | 177 |
| 8.4.3 中庭导光设计 | 181 |
| 8.4.4 经验总结 | 182 |
| 主要参考文献 | 183 |
| 后记 | 188 |

Contents

Preface

Forward

Chapter I Low Carbon Architecture

- 1 Low Carbon Architecture and Carbon Emission from Buildings 2
 - 1.1 Greenhouse Gas and its Consequence 2
 - 1.2 The Calculation of Carbon Emission from Buildings 4
 - 1.3 Low Carbon Architecture 18
- 2 The Social Factors of Low Carbon Architecture 22
 - 2.1 Development model and Low Carbon Architecture 22
 - 2.2 Lifestyle and Low Carbon Architecture 31
 - 2.3 Choices of Technology and Low Carbon Architecture 37
 - 2.4 Aesthetics Standard and Low Carbon Architecture 42
- 3 The Prospect of Low Carbon Architecture Development in China 51
 - 3.1 Climate Change and China 51
 - 3.2 The Knowledge of Low Carbon Architecture of Chinese Architects 54
 - 3.3 The Prospect of Low Carbon Architecture Development in China 59

Chapter II Low Carbon Architecture Design

- 4 Urban Design Aspect 66
 - 4.1 Land Use Planning 66
 - 4.2 Traffic Planning 71
 - 4.3 Green Land Planning 75
- 5 Architecture Design Aspect 83
 - 5.1 Greenery 84
 - 5.2 Natural Ventilation 90

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.3 | Day Lighting | 102 |
| 5.4 | Insulation | 109 |
| 5.5 | Shading | 114 |
| 6 | Material Selection Aspect | 123 |
| 6.1 | Reducing Material Consumption through Design | 123 |
| 6.2 | Green Material and its Evaluation System | 128 |
| 6.3 | Environmental Product Declaration of Materials and Carbon Foot- print of Materials | 132 |
| 7 | Concept Design and Carbon Emission Determination Basis | 138 |
| 7.1 | Concept Design and Carbon Emission from Buildings | 138 |
| 7.2 | Building Form and Carbon Emission from Buildings | 142 |
| 8 | Case Studies | 148 |
| 8.1 | Cohousing in Northern Europe | 148 |
| 8.2 | Energy Efficiency Measures for Housing Design in Germany .. | 154 |
| 8.3 | The Office Building of Federal Environmental Agency of Germany | 166 |
| 8.4 | Low Carbon Design Measures of an Office Building in China | 176 |
| | Afterwards | 183 |
| | References | 188 |

上篇 低碳建筑

大量研究显示,因温室气体过量排放而造成的气候变化会对人类社会造成严重的不利影响。因此,如何在经济发展过程中减少温室气体排放已经成为各行各业发展的重要目标,低碳建筑也随之成为建筑界的热点议题。低碳建筑研究涉及诸多领域,本篇主要从低碳建筑的概念、建筑碳排放量计算、实现低碳建筑的社会文化背景、低碳建筑的发展愿景等方面进行研究,提出观点。

第 1 章 低碳建筑与建筑碳排放量

自进入 21 世纪以来,“低碳”(low carbon)、“碳排放”(carbon emission)、“碳足迹”(carbon footprint)、“碳指纹”(carbon fingerprint)等词汇的出现十分频繁,关于减少碳排放量的讨论也逐渐从少数学者的研究扩展到社会各界,“减少碳排放量”正成为各行各业发展的重要趋势之一。

1.1 温室气体及其后果

温室气体(greenhouse gas, GHG),按照《联合国气候变化框架公约》(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)的定义,主要指:二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)、氧化亚氮(N_2O)、全氟碳(Perfluorocarbons, PFCs)、氟代烃(Hydrofluorocarbons, HFCs)、六氟化硫(SF_6)等六种气体。^①

温室气体具有可以透过短波辐射而阻挡长波辐射的作用,太阳的短波辐射可以透过温室气体进入大气射至地面,而地面变暖后放出的长波辐射却被它们吸收,从而导致大气变暖,因此,温室气体就像一层玻璃,使地球变成一个巨大的暖房,这种作用就是所谓的温室效应(greenhouse effect)。温室效应具有一定的优点,它给人类创造了较为温和的环境,利于人类生存繁衍,但如果温室气体含量过高,就会造成各类负面作用。

1.1.1 二氧化碳及其排放

从对增加温室效应的贡献来看,最重要的气体是 CO_2 ,其贡献率大约为 66%。 CO_2 比较稳定,它在大气中的留存时间可达 10 年以上。在过去很长一段时间内,空气中的 CO_2 含量基本保持恒定,这是由于大气中 CO_2 始终处于“边增

^① 龙惟定,白玮,范蕊等. 低碳城市的区域建筑能源规划[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2011:3.

长、边消耗”的动态平衡状态。大气中 CO₂ 有 80% 来自人和动、植物的呼吸, 20% 来自燃料的燃烧。而散布在大气中的 CO₂ 有 75% 被海洋、湖泊、河流等地表水以及空中降水吸收并溶解于水, 还有 5% 的 CO₂ 通过植物的光合作用转化为有机物质储藏起来。

近几十年以来, 由于人口急剧增加、工业迅猛发展、能源消耗攀升, 煤炭、石油、天然气燃烧产生的 CO₂, 远远超出了过去的水平。而在另一方面, 由于对森林乱砍滥伐, 大量农田被侵占, 植被被破坏, 降低了吸收和储存 CO₂ 的能力。再加上地表水面积缩小, 降水量降低, 吸收和溶解 CO₂ 的能力变差, 破坏了大气中 CO₂ 浓度的动态平衡, 使得大气中的 CO₂ 含量逐年增加。据估算, 化石燃料燃烧所排放的 CO₂ 占排放总量的 70%。

一般而言, CO₂ 的排放主要有三个来源: 自然现象、土地利用、能源消耗。其中, “自然现象”中, 碳源(carbon source, 指释放 CO₂ 的母体)和碳汇(carbon sink, 指从空气中清除 CO₂ 的过程、活动、机制)^①是平衡的。CO₂ 排放到大气中, 最后又被捕捉回土地里。^②但是, 另外两项, “土地利用”和“能源消耗”往往大大增加了碳源, 减少了碳汇, 甚至将碳汇变成碳源, 最终打破了自然平衡, 导致全球大气中 CO₂ 含量不断增加。

1.1.2 气候变化及其后果

温室气体过量会对人类产生各种各样的影响, 其中最引人关注的是: 因温室气体过量排放而造成的气候变化。这种气候变化是由人为活动造成的, 其影响是全方位、多层次的。尽管这种影响有利有弊, 但其负面影响更大, 正越来越引起人们的关注。

2009年6月, 美国13家政府机构及相关大学和研究机构的科学家联合完成了《全球气候变化对美国的影响》报告。报告指出, 与气候相关的变化将影响到人类健康、淡水供应、农业生产、沿海地区以及社会生活和自然环境的其他诸多方面: 海平面上升将增加沿海地区遭受侵蚀、风暴潮及水灾的风险, 尤其是在美国东南部和阿拉斯加部分地区; 积雪的减少和过早融化将改变水供应的时间和数量, 加剧西部地区的水资源短缺; 作为美国重要的石油和天然气田, 墨西哥湾地区未来可能会发生更强的飓风活动, 从而使沿海相关基础设施更加脆弱, 进而影响到美国的能源生产。由于气候变暖的速度加快, 许多地区和大量的人口将遭受越来越严重的影响。报告认为, 社会和生态系统虽能适应某种程度的气

① 王旭烽. 中国生态文明辞典[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2013: 180-181.

② 龙惟定, 白玮, 范蕊等. 低碳城市的区域建筑能源规划[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011: 4-5.