



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

中国低碳发展丛书

“十二五”国家重点图书出版规划项目

主编/解振华 杜祥琬

低碳建筑和 低碳城市

DITAN JIANZHU HE DITAN CHENGSHI

彭琛 江亿 秦佑国 等 / 著

中国环境出版集团



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

中国低碳发展丛书

“十二五”国家重点图书出版规划项目

主编/解振华 杜祥琬

低碳建筑和 低碳城市

DITAN JIANZHU HE DITAN CHENGSHI

彭琛 江亿 秦佑国 等/著



中国环境出版集团·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

低碳建筑和低碳城市/彭琛等著. —北京: 中国环境出版集团, 2018.3

(中国低碳发展丛书)

ISBN 978-7-5111-3543-8

I. ①低… II. ①彭… III. ①建筑设计—节能设计—研究—中国 ②低碳经济—城市建设—研究—中国
IV. ①TU201.5 ②F299.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 045202 号

出版人 武德凯
责任编辑 张秋辰 丁莞歆 周煜
责任校对 任丽
封面设计 彭杉

出版发行 中国环境出版集团
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67175507 (环境科学分社)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京建宏印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2018 年 3 月第 1 版
印 次 2018 年 3 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 17.75
字 数 300 千字
定 价 68.00 元

【版权所有。未经许可，请勿翻印、转载，违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题，请寄回本社更换

《中国低碳发展丛书》编委会

主 编：解振华 杜祥琬

编 委：（按姓氏笔划排序）

丁一汇 田成川 刘功臣 齐 晔 江 亿

苏 伟 何建坤 林而达 周大地 温宗国

总 序

党的十八大报告提出，要“着力推进绿色发展、循环发展、低碳发展，形成节约资源和保护环境的空间格局、产业结构、生产方式、生活方式，从源头上扭转生态环境恶化趋势，为人民创造良好生产生活环境，为全球生态安全作出贡献”。2015年4月25日《中共中央 国务院关于加快推进生态文明建设的意见》发布，再次明确了“绿色发展、循环发展、低碳发展”的发展路径。实际上，低碳发展与绿色发展、循环发展有着本质上的相通性和工作方向上的一致性。低碳发展既是应对气候变化的战略，也是全球可持续发展的必由之路，对我国更有着紧迫的现实意义和长远的战略意义。

在我国，社会各界对“绿色发展”“循环发展”的理解比较清晰，相对而言，对“低碳发展”的认识仍有待提高。在“低碳发展”已成为全球发展大势、党和国家高度重视低碳发展的今天，有必要普及和传播有关知识，凝聚共识，强化行动，让我们的国家在这场绿色、低碳的国际比赛中力争走在世界的前列，也为人类的文明进步作出更大的贡献。

在这样的背景下，中国环境出版社策划并出版了《中国低碳发展丛书》，得到了相关政府部门和专家学者的支持和响应。

本丛书定位为高级科普丛书，读者对象是各级公务员、企业负责人、

科技和教育工作者、大学生、研究生及对低碳知识感兴趣的公众，他们是我国低碳发展道路的创造者和实践者，希望本丛书能对他们有所助益。

本丛书由有关领域的著名专家、学者组成编委会并主持丛书及各分册的设计与撰写。丛书的结构包括低碳发展总论、气候变化科学知识、低碳产业、低碳交通、低碳建筑、低碳城市、低碳农林业、低碳能源、低碳发展的国际借鉴等相关内容，力求全套丛书具有科学性、系统性、新颖性、可读性。

本丛书的问世是绿色发展、低碳发展客观需求呼唤的产物，是众多专家、学者和中国环境出版社编辑辛勤付出的结果。由于时间仓促、作者水平有限，书中难免有不足和差错，诚望读者批评指正。

杜祥琬

2015年12月

序 言

低碳，是人类持续发展的基本保障。

人们的生产生活消耗了煤、石油、天然气等化石能源，产生的碳排放是引起温室效应的重要原因。自工业革命以来，在生产力大幅提高的同时，化石能源的消耗量不断增加，因化石能源的使用产生的碳排放打破了地球生态系统与大气二氧化碳交换的平衡，不断升高的二氧化碳浓度使地球大气的平均温度也在升高，由此引起的冰川融化、海平面上升、粮食减产、物种濒危等一系列问题威胁着人类的生存发展。

根据《巴黎协定》，参与其中的近 200 个国家或地区将积极加强应对气候变化的行动，力争把全球平均气温的升高幅度控制在较工业化前水平的 2℃ 之内。为此，到 2050 年全球碳排放应该控制在 150 亿 t 以内。2016 年，中国排放二氧化碳约 100 亿 t，而到 2050 年能够排放的量应限制在 30 亿~35 亿 t 以下。这就意味着，在保持一定发展速度的情况下，要对能源结构进行大幅变革才能保证全球能耗需求增长和二氧化碳总量控制的双重要求。

从发达国家的发展历史来看，工业时代初期是煤炭时代，煤炭占总能源的 80% 以上。美国在 1920 年左右率先开始煤改油，煤炭占比逐年下降。“二战”之后，各国开始进入从“煤炭时代”向“油气时代”转型的阶段，

大部分国家花了近 20 年的时间进行转型。在气候变化问题引起广泛关注后，许多发达国家相继制定能源发展规划，开始了从油气向可再生能源和低碳能源的转型，比如丹麦计划到 2050 年全部使用可再生能源，实现零碳。

目前，我国的煤炭占总能源的比例为 60%~70%，也就是说中国还处在煤炭时代，煤炭是主要能源。如果我们参照发达国家的历史，先从燃煤向油气转型，再从油气向低碳能源转型，从未来的目标时间倒推看是不可行的，油气能源基础设施的投入也将成为重复建设和投资。我们是否能够从燃煤直接向低碳转型呢？

从另一角度看，发展低碳能源可以把我国缺气少油这些不利条件反过来变成促进我国大力发展可再生能源的一个有利条件。在我国能源资源的条件下，将煤炭为主的能源供应结构再保持一段时间，先完成城镇化和“美丽中国”的高能耗基础设施（房、路、桥、大坝、能源系统）建设。实际上，目前我国的基础设施建设已经基本完成，处于收尾阶段。基础设施建设完成后，高能耗产业（钢铁、建材）的市场需求会迅速下降，由此就可以比较顺利地大规模开始向可再生和低碳能源结构转型，而不必再重复地发展油气能源系统。

能源结构转型不仅是供给侧的革命，也需要消费侧的响应。作为能源消费的三大部门（工业、建筑和交通）之一，随着城镇化的发展和生活水平的提高，建筑用能需求呈现不断增长的趋势。由于建筑用能的使用主体分散且数量大、负荷强度随昼夜和季节周期性变化、使用者行为方式对负荷影响大、建筑服务水平与能耗呈现非线性关系等特点，建筑用能消费革命需要工程技术、市场机制和舆论宣传等各方面共同作用。需要强调的是，

建筑服务水平与能耗呈现非线性关系，也意味着如果不进行能耗总量控制，在提高服务水平的主观需求和经济利益刺激下，建筑能耗的增长幅度很有可能超出能源资源的承载能力，势必使碳排放控制难以实现。

本书从建筑碳排放的内容和现状出发，基于生产和消费领域的用能需求差别提出将建筑碳排放分为建设和运行两个部分。建设阶段碳排放主要与建设、拆除速度，以及建造材料和方式有关，从低碳发展的角度应该避免“大拆大建”，根据实际居住需求及未来公共服务和商业的发展模式合理控制各类建筑面积和发展速度，降低建筑材料折算到使用期的年平均碳排放量；建筑运行阶段碳排放由建筑能耗和用能结构决定，根据公共建筑、北方城镇供暖、城镇住宅和农村住宅等不同建筑用能特点，在基于现状和发展趋势对能耗实施科学控制规划的同时，积极发展与建筑用能结合的低碳能源利用相关技术，在保障用能需求的同时最大限度地减少运行阶段用能的碳排放。

从能源使用与碳排放的关系来看，排放权与发展权是相关联的。在应对气候变化威胁的过程中，控制排放量又体现了一个现代国家的责任。由此来看，低碳转型是为国家争取持续发展空间、为全人类争取持续发展未来的必由之路。

本书是中国工程院杜祥琬院士组织编撰的“中国低碳发展丛书”中的建筑部分，建筑低碳发展是我国低碳发展的重要构成，随着城镇化的发展，其重要性也越发凸显。本书是在清华大学建筑低碳节能领域多年研究的基础上，由彭琛与江亿、秦佑国、林波荣、杨旭东合作完成的。书中大量引用了国内外文献，有许多数据和相关信息随着时间的推移还将不断更新完善，希望有更多有识之士能够关注到建筑低碳发展中来。

目录

第一章 建筑碳排放的定义与现状	1
第一节 什么是建筑碳排放	1
一、基本定义	1
二、建筑碳排放的组成举例	2
第二节 我国建筑碳排放如何计算	6
一、建筑碳排放的计算	6
二、我国建筑碳排放	15
第三节 中外建筑碳排放量对比	19
一、碳排放因子与能源结构	19
二、两个过程的比较	21
小结	23
第二章 建筑与低碳发展历史	24
第一节 建筑与碳排放的发展历史	24
一、建筑的起源与进化	24
二、前工业时代的建筑与碳排放	26
三、后工业时代的建筑与碳排放	30
第二节 建筑碳排放的变化趋势	33
一、全球与我国建筑碳排放的变化趋势	33
二、我国建材生产阶段碳排放的变化趋势	36
三、我国建筑运行阶段碳排放构成的变化趋势	39



第三章 城镇化背景下的城市规划与面积控制	41
第一节 城市规划需重视建筑对资源环境的影响	41
第二节 避免建筑“大拆大建”	42
一、“大拆大建”的现象	42
二、对资源、环境、经济和社会的影响	47
三、针对“大拆大建”的建议	53
第三节 未来建筑发展规模	56
一、住宅建筑规模规划	57
二、公共建筑规模规划	61
第四节 我国未来城市绿色化发展规划	63
一、未来建筑规模发展规划	63
二、实现建筑面积规划的政策建议	64
三、因地制宜地发展绿色建筑	66
第四章 我国的建筑运行碳排放	70
第一节 建筑运行碳排放	70
一、什么是建筑运行碳排放?	70
二、如何实现建筑低碳运行?	72
第二节 建筑能源需求与碳排放	72
一、建筑用能需求发展趋势	72
二、技术发展与建筑用能消费需求	76
三、建筑运行节能的建议	86
第三节 城市能源规划发展	89
一、城市能源规划发展的问题	89
二、低碳的城市能源系统	93
第四节 建筑运行能耗和碳排放的总量控制	97
一、总量控制的重要性	97
二、总量控制的政策建议	100
第五章 公共建筑运行能耗与碳排放	103
第一节 公共建筑能耗现状	103

一、公共建筑能耗发展现状	103
二、与国外公共建筑能耗对比	108
第二节 节能低碳的关键点	112
一、发展中存在的问题	112
二、重视建筑和系统形式设计	116
三、重视运行管理	124
第三节 未来发展模式	132
第六章 城镇供暖问题与碳排放	135
第一节 供暖能耗现状	135
一、供暖问题的由来	135
二、北方城镇集中供暖	136
三、南方地区的供暖	141
第二节 北方城镇供暖的节能低碳关键点	144
一、节能低碳的技术措施	144
二、节能低碳的管理与政策保障	150
第三节 南方城镇供暖的节能低碳关键点	154
一、节能低碳的技术措施	154
二、节能低碳的政策引导	158
第四节 未来发展模式	160
一、北方城镇供暖	160
二、南方城镇供暖	161
第七章 城镇住宅用能与碳排放	162
第一节 城镇住宅能耗现状	162
一、宏观发展现状与趋势	162
二、调查得到的住宅能耗状况	171
第二节 城镇住宅节能和低碳的关键点	175
一、生活方式对建筑能耗的影响	175
二、引导绿色生活方式	179
三、发展与绿色生活方式相适应的技术	181



第三节 未来发展模式	183
第八章 农村住宅低碳发展模式	188
第一节 农村住宅及其生活用能现状	188
第二节 传统农宅是低碳建筑的标杆	189
一、传统农宅的低碳化设计和建造	189
二、传统农宅的低碳化运行	190
第三节 农村住宅发展新趋势	191
一、农宅建筑形式的变迁	191
二、生活模式和能源需求的改变	193
第四节 农村住宅低碳化的关键措施分析	194
一、改善北方农宅围护结构热工性能	194
二、建立合理的生物质能源利用模式	195
三、开发低成本、高效率的可再生能源利用设备	197
第五节 农村住宅低碳化的实现模式	198
一、北方无煤村	198
二、南方生态村	199
第六节 农村住宅低碳化的前景展望	202
第九章 城市能源系统	206
第一节 我国的能源构成和能源系统状况	206
第二节 城市能源系统面对的需求	209
第三节 实现低碳城市能源系统的主要途径	213
一、降低用能末端对能源的需求	214
二、提高能源转换系统的效率	215
三、发展和优化各种零碳、低碳型能源	219
四、回收利用各种工业过程排出的余热	221
五、北方地区积极发展热电协同技术	223
第四节 关于城市能源的部分热点问题评述	225
一、为什么北方可以集中供热而南方不应该推广集中供热?	225
二、为什么在南方不适合推广区域供冷方式?	227

三、为什么多数场合不适宜推广燃气驱动的热电冷三联供系统?	229
四、发展多种热泵供热将是对建筑供暖方式的有效补充	231
五、为什么要发展充电式电动汽车?	232
第十章 总量控制	235
第一节 总量控制的背景与研究现状	237
一、总量控制的重要意义	237
二、建筑运行能耗总量与碳排放研究	239
第二节 我国能源消耗与碳排放发展趋势	240
一、我国能耗消费现状与组成	240
二、建筑能耗与碳排放发展的趋势	241
第三节 建筑能耗与碳排放总量上限	244
一、能源供应与环境容量的限制	244
二、建筑能耗上限目标和碳排放量讨论	248
三、建筑能耗与碳排放总量控制的整体思路	254
参考文献	260

第一章 建筑碳排放的定义与现状

碳排放问题引起广泛重视，是因为科学家发现二氧化碳等温室气体排放量的增长影响全球气候，也影响人类整体未来的可持续发展。

人类的生产生活，以及自然界绝大多数生物活动都会产生二氧化碳排放。各国政府和民间组织正在积极推进低碳发展、努力减少碳排放，那么，什么是低碳？怎样有效地减少碳排放？未来低碳发展应实现怎样的目标呢？

建筑碳排放是人类活动碳排放的重要组成，减少并控制建筑碳排放是未来可持续发展的重要保障。为什么这么说呢？

这里首先介绍本书讨论的建筑碳排放的定义，阐述其在碳减排工作中的重要性，进而介绍我国建筑碳排放的现状，以及我国的碳排放情况和国外的比较。为人们了解建筑碳排放情况提供一些基础的信息。

第一节 什么是建筑碳排放

一、基本定义

本书讨论的建筑碳排放，指的是从建筑建设到投入运行使用，直至拆除的过程中，由于材料使用、设备设施运行、施工运输等过程中原料的化学反应，直接或间接使用化石能源所产生的碳排放。其中，建筑的建造、维修和拆除过程，碳排放主要由工程施工、材料生产和处置以及运输等环节造成，如果把建筑物看成一个产品，这些碳排放更接近产品生产过程的碳排放；建筑运行使用过程中，碳排放主要由各种终端用能造成，这个过程类似于产品消费过程的碳排放。这样区分来看，除了产生碳排放的原因不同，两个阶段节能减排的主要路径和影响因素也不相同。



建筑碳排放的内容可以归纳为表 1-1:

表 1-1 建筑碳排放的内容

类型	建造、维修和拆除过程	运行使用过程
	(生产过程碳排放)	(消费过程碳排放)
直接碳排放	<ul style="list-style-type: none"> ①建材(建造和维修过程)生产原料化学反应,化石燃料燃烧; ②建材运输时运输工具燃料消耗; ③建造施工中机械设备燃料消耗; ④拆除施工中机械设备燃料消耗; ⑤拆除后运输垃圾的燃料消耗 	<ul style="list-style-type: none"> ①采暖、空调和生活热水用化石燃料; ②炊事及其他用化石燃料
间接碳排放	<ul style="list-style-type: none"> ①建材生产过程中对电力、热力的使用; ②建造施工中机械设备用电; ③拆除过程中机械设备用电 	<ul style="list-style-type: none"> ①采暖、空调和生活热水用电; ②照明、插座用电; ③电梯、给排水等辅助设施用电; ④建筑功能(炊事、冷藏、数据中心设备)用电

由表 1-1 可见,建筑碳排放主要与化石能源的直接或间接使用相关。从时间尺度来看,建筑建造和拆除过程通常以季度或者年计,建筑运行使用过程通常是数十年,一些建筑甚至使用超过百年。从内容来看,建造和拆除过程的碳排放主要包括建材生产、运输和施工的排放,通过设计选择低碳材料、优化工艺流程、提高施工效率,可以减少碳排放;运行使用过程的碳排放属于消费过程碳排放,需充分考虑建筑使用者的“消费需求”,将建筑的使用方式和提高系统运行效率综合考虑。本书后面的章节将进一步详细讨论各个环节的低碳发展。

二、建筑碳排放的组成举例

上文给出了建筑碳排放的基本定义,那么建筑碳排放的过程是怎样的?包含哪些具体的内容呢?根据何小赛的研究,下面以北京某高层住宅楼(采用框架结构,共 18 层,每层 16 户,建筑面积 2.88 万 m^2)为例,对各个阶段的碳排放情况进行讨论分析,便于读者更好地理解什么是建筑碳排放。

(一) 建筑建造、维修和拆除过程

建筑建造、维修和拆除过程的碳排放需要考虑建造和维修所用建筑材料的生产、运输、施工安装，以及拆除时施工、材料回收所造成的碳排放。

(1) 建造所需的建材生产：建设、维修时使用的材料主要包括钢筋、水泥、砖块、玻璃和铝金属等，其中以水泥、钢筋为主要成分，其生产过程会产生碳排放。该住宅建筑的水泥用量为 240.2 kg/m^2 ，钢材用量为 63.6 kg/m^2 ，水泥的碳排放系数为 $740.6 \text{ kgCO}_2/\text{t}$ 、钢筋的碳排放系数为 $2.5 \text{ tCO}_2/\text{t}$ 。通过计算，得出这两种材料的碳排放量见表 1-2。

表 1-2 某住宅楼使用的水泥和钢材生产碳排放量

建材	用量强度/ (kg/m^2)	总量/t	排放因子/ (kgCO_2/t)	碳排放量/ tCO_2
水泥	240.2	6 917.7	740.6	5 123.3
钢材	63.6	1 831.7	2 500	4 579.2

注：①根据《建筑碳排放计量标准》(CECS 374—2014)，取 $2.5 \text{ tCO}_2\text{eq/t}$ ；②需要说明的是，同一种材料由于生产工艺不同、生产的流程差别，其产生的碳排放强度也有差别，表中取值参考了《建筑碳排放计算标准（征求意见稿）》。

(2) 建材运输：将钢筋、水泥等建材从工厂通过专用的车辆运输到建筑工地，或拆除建筑物后废弃或处置材料的运输，车辆在运输过程中需要消耗汽油，产生碳排放。根据熊宝玉对建材运输距离的研究，对上述两种材料的运输碳排放进行计算分析，见表 1-3。相比于建材生产，建材运输的碳排放较少。

表 1-3 某住宅楼建造使用的水泥和钢材运输碳排放量

建材	运输重量/t	运输距离/km	运输方式	排放因子/ [$\text{kgCO}_2/(\text{10}^4\text{t}\cdot\text{km})$]	运输碳排放量/ tCO_2
水泥	6 917.7	65.57	公路柴油	1 983	89.9
钢材	1 831.7	122.72	公路柴油	1 983	44.6

(3) 工程施工：在建筑建造或拆除过程中，土方机械（如挖掘机、推土机等）及起重、桩工和压实机械等在施工作业过程中的燃料或电力消耗产生碳排放。熊宝玉分析了某 13.4 万 m^2 的住宅项目，施工总的碳排放量为 167.5 tCO_2 ，单位面