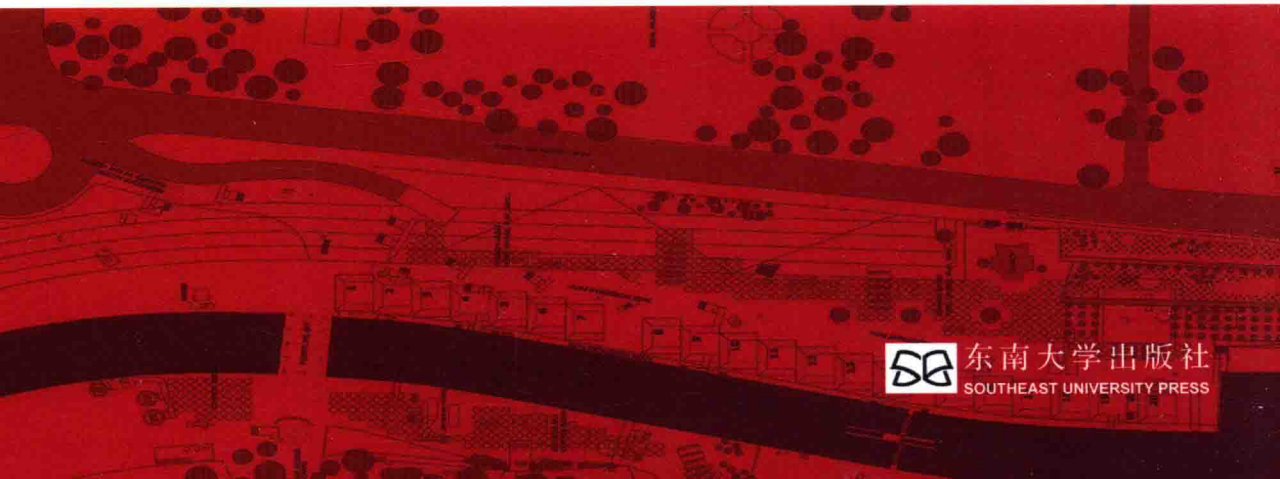


太阳花

SDE 2010零耗能太阳能住宅设计

杨向群 高辉 杨巍 著



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

国家自然科学基金资助项目(51108303)

太 阳 花

SDE 2010 零能耗太阳能住宅设计

杨向群 高辉 杨巍 著



东南大学出版社

SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

南京·2016

内容提要

本书通过分析历届参赛方案的技术特点,研究太阳能建筑的发展趋势,并以天津大学参加 2010 欧洲太阳能十项全能竞赛(SDE 2010)的参赛作品——“太阳花”(Sunflower)为案例,探讨了符合中国现实的太阳能建筑设计方法以及适宜、高效的技术策略;在此基础上,应用生命周期评价和成本方法,对“太阳花”的全生命周期能源、资源消耗、环境影响和成本进行了分析和计算,同时与同类普通住宅及其他参赛作品进行了比较研究,以评价此原型的优势和局限性。

本书适合以下人员参考或阅读:建筑技术领域的高校教师及科研院所的研究人员,生态建筑设计领域的建筑师,建筑院校的本科生、硕士生及博士研究生。

图书在版编目(CIP)数据

太阳花:SDE 2010 零能耗太阳能住宅设计/ 杨向群等著.

—南京:东南大学出版社,2016. 1

ISBN 978-7-5641-6050-0

I. ①太… II. ①杨… III. ①太阳能住宅—建筑设计

IV. ①TU241. 91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 237273 号

书 名: 太阳花:SDE 2010 零能耗太阳能住宅设计

著 者: 杨向群 高 辉 杨 巍

责任编辑: 孙惠玉 徐步政 编辑邮箱: 894456253@qq.com

文字编辑: 唐红慈

出版发行: 东南大学出版社

社 址: 南京市四牌楼 2 号 邮 编: 210096

网 址: <http://www.seupress.com>

出 版 人: 江建中

印 刷: 虎彩印艺股份有限公司

排 版: 南京新翰博图文制作有限公司

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16 印张: 9.25 字数: 208 千

版 印 次: 2016 年 1 月第 1 版 2016 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5641-6050-0

定 价: 29.00 元

经 销: 全国各地新华书店

发行热线: 025-83790519 83791830

* 版权所有,侵权必究

* 本社图书如有印装质量问题,请直接与营销部联系(电话: 025-83791830)

序言

21 世纪是人类从使用常规能源为主向越来越多地使用新能源和可再生能源,特别是向更大规模地使用太阳能转变的一个世纪。可以说,21 世纪也是人类的太阳能世纪。因此,如何更多、更好、更为经济地使用和推广太阳能的应用,也就成为我们当今必须重视和花气力去研究和实践的一个重要工作和研究领域。而在未来太阳能的应用方面,一个最直接、最经济且符合分布式能源特点和适于在高密度城市中应用的方法,就是太阳能与建筑的一体化应用。这其中,建筑师及相关专业工程师的积极参与和合作,并引领太阳能及其他可再生能源的建筑一体化设计研究与应用,是未来利用新能源和可再生能源改变城市能源结构、治理雾霾和改善城市生态环境、实现城市低碳和可持续发展的一条必由之路。

“太阳能十项全能竞赛”(Solar Decathlon, SD)是 2002 年以来美国能源部主办的、对世界各大学开放的太阳能建筑一体化应用实物竞赛。其参赛作品不仅体现了当今世界完全以太阳能在“建筑本体”内实现建筑“零能耗”和“负能耗”的太阳能建筑一体化应用的最高水平,而且也是建筑高度工业化建造体系、绿色与智能化建筑、建筑舒适健康环境以及建筑艺术与太阳能及相关应用技术高度有机融合的最完美体现,它展示并引领了太阳能建筑一体化应用的美好未来。

以建筑学院绿色建筑研究所为主体的天津大学团队(Team of Tianjin University of China, TUC)作为亚洲及中国第一支入围“太阳能十项全能竞赛”的大学团队,经过近两年(2008-09 至 2010-07)的辛勤工作和努力,克服了种种预想不到的困难和世界经济危机的影响,成功完成了在西班牙马德里举办的“2010 欧洲太阳能十项全能竞赛”(Solar Decathlon Europe 2010, SDE 2010)的全部赛程,并获得了组委会颁发的“十项全能精神奖”。回首竞赛,无论是对于知识和创新能力的挑战,还是远离祖国的竞赛现场对于每一位队员身心的历练,肩负的责任,收获的艰辛与快乐及异域文化的冲突和压力,无不在每位参赛队员的心中留下了今生难以忘怀的记忆。此次竞赛既体现了天津大学在太阳能建筑及其相关领域较高的研究水平和多专业协作攻关的良好氛围,也在世界舞台上展示了天津大学培养学生较高的专业知识水平和较强的实践动手能力,以及实事求是、踏实工作、综合素质高、创新能力强的突出特征。参赛成果不仅赢得了国内外的好评和广泛关注,也为天津大学争得了荣誉。竞赛的交流一方面开阔了我们的眼界,同时与其他欧美高水平大学参赛团队相比,也不难发现我们与其存在的差距,这也为我们提供了一次很好地向其他高水平团队学习的机会。

虽然竞赛结束了,但竞赛所展示的太阳能建筑领域的创新技术与经验非常值得我们很好地总结和消化。杨向群同志作为当年参赛团队学生的主要负责人,在申请、设计和完成整个竞赛过程中发挥了重要的作用。本书也是其对于竞赛经验的一个很好的总结和对于未来适合于中国的“零能耗住宅”进一步深入研究成果的体现。希望本书的出版能够对相关领域的进一步深入研究提供一些有益的参考,也期望能够吸引更多的建筑师和相关专业工作者积极参与到可再生能源,特别是太阳能与建筑一体化设计与应用的研究与实践当中,为中国的能源绿色化、节能减排和社会、经济与环境的可持续发展做出更多的贡献。



2014 年 3 月 12 日于天津大学建筑学院

目录

序言	/1
----	----

0 绪论	/1
------	----

0.1 国内外研究现状及发展	/2
----------------	----

0.1.1 国外研究动态	/2
--------------	----

0.1.2 国内研究动态	/4
--------------	----

0.1.3 研究发展趋势	/6
--------------	----

0.2 本书结构	/6
----------	----

1 零能耗太阳能住宅研究——以国际太阳能十项全能竞赛为例	/9
------------------------------	----

1.1 零能耗太阳能建筑的概念与定义	/9
--------------------	----

1.1.1 低能耗建筑和微能耗建筑	/9
-------------------	----

1.1.2 零能耗建筑	/11
-------------	-----

1.1.3 零能耗太阳能建筑	/13
----------------	-----

1.1.4 研究对象界定	/14
--------------	-----

1.2 国际太阳能十项全能竞赛	/14
-----------------	-----

1.2.1 竞赛缘起	/14
------------	-----

1.2.2 竞赛评审项目	/16
--------------	-----

1.2.3 竞赛设计理念	/16
--------------	-----

1.2.4 竞赛要求	/17
------------	-----

1.3 零能耗太阳能住宅被动式设计	/18
-------------------	-----

1.3.1 形体布局	/19
------------	-----

1.3.2 空间组织	/21
------------	-----

1.3.3 剖面设计	/23
------------	-----

1.3.4 太阳能表皮	/23
-------------	-----

1.3.5 热储存技术	/27
-------------	-----

1.3.6 其他生态建筑技术	/27
----------------	-----

1.4 主动式太阳能建筑技术	/28
----------------	-----

1.4.1 竞赛中的太阳能光热技术	/28
-------------------	-----

1.4.2 竞赛中的太阳能光电技术	/30
-------------------	-----

1.4.3 太阳能热、电联用技术	/33
------------------	-----

1.4.4	太阳能系统与建筑一体化技术	/35
1.4.5	光电储存和并网技术	/37
1.4.6	智能房屋控制系统和能量管理系统	/37
1.5	零能耗太阳能住宅的工业化与市场性	/40
1.5.1	模数化设计:灵活性与可移动性	/40
1.5.2	可扩展性:适应不同规模住宅	/41
1.5.3	经济可行性	/42
1.6	结论与讨论	/44
1.6.1	结论	/44
1.6.2	研究问题	/45

2 “太阳花”的设计、建造与性能实测 /48

2.1	SDE 2010	/48
2.1.1	SDE 2010 项目及规则	/50
2.1.2	“太阳花”设计的工作内容与团队组成	/51
2.1.3	“太阳花”建造过程与公众参观	/52
2.1.4	气候分析与设计策略	/56
2.2	建筑设计	/58
2.2.1	庭院空间的现代转译	/58
2.2.2	空间组织	/59
2.2.3	功能适应性	/61
2.2.4	中国传统建筑形态的新诠释	/61
2.3	工程设计	/62
2.3.1	建造体系	/62
2.3.2	照明设计	/64
2.3.3	水系统设计	/65
2.4	被动式太阳能设计	/66
2.4.1	合理的体型系数和良好的保温性能	/66
2.4.2	直接受益采暖、自然采光通风策略	/67
2.4.3	分区采暖/制冷策略	/69
2.5	太阳能光热系统设计	/70
2.5.1	光热系统组成	/70
2.5.2	光热系统设计	/72
2.6	太阳能光电系统设计	/73
2.6.1	光电系统设计	/73
2.6.2	太阳能热、电联用技术系统设计	/74

2.6.3	太阳能建筑一体化设计	/75
2.7	智能建筑控制系统	/75
2.7.1	光伏发电控制系统	/76
2.7.2	暖通空调控制系统	/77
2.7.3	热水控制系统	/78
2.8	模拟与实测结果分析	/78
2.8.1	马德里能耗分析	/78
2.8.2	气候分析	/81
2.8.3	计算机性能模拟结果	/84
2.8.4	建筑方案优化	/90
2.8.5	SDE 2010 结果分析与总结	/91
2.9	结论与讨论	/96
2.9.1	结论	/96
2.9.2	研究问题	/96
3	“太阳花”生命周期分析	/98
3.1	建筑生命周期分析	/98
3.1.1	建筑生命周期分析方法	/98
3.1.2	建筑生命周期分析数据库和工具	/99
3.1.3	中国建筑生命周期评价研究现状	/101
3.2	零能耗建筑与生命周期分析	/101
3.2.1	零能耗太阳能居住建筑的生命周期分析	/102
3.2.2	SDE 2010 参赛作品的生命周期评价	/103
3.3	“太阳花”居住原型的生命周期评价报告	/105
3.3.1	目标和范围的确定	/106
3.3.2	生命周期清单分析和影响评价	/107
3.3.3	计算结果及其解释	/110
3.3.4	与普通同类住宅的比较分析	/121
3.3.5	与其他 SDE 太阳房原型的比较分析	/125
3.4	结论与讨论	/127
4	结论与讨论	/130
4.1	研究内容总结	/130
4.2	研究结论	/131
4.2.1	零能耗太阳能住宅的技术策略和发展动态	/131
4.2.2	中国零能耗太阳能住宅的设计与实验	/131

4.2.3 中国零能耗太阳能住宅的生命周期评价 /132

4.3 未来发展 /132

4.4 结语 /134

图片来源 /136

表格来源 /138

后记 /139

0 绪论

近年来,中国的建筑存量规模和建筑能耗显著增长,未来10年还将保持这一趋势。截至2007年,中国城市房屋的总面积为174.5亿 m^2 ,其中住宅为112.9亿 m^2 ;农村房屋中的住宅总面积为230亿 m^2 ^[1]。每年房屋竣工面积达18亿—20亿 m^2 ,其中城乡住宅达13亿—15亿 m^2 。预计中国的城市化与经济高速增长将持续到2030年。如何在住宅建筑总量增长迅速、居住者对舒适度要求提高的同时,通过技术策略来实现住宅建筑的节能,是建筑领域的重要课题。

减少建筑能耗的基本原则是节流与开源。“节流”要求通过被动式建筑设计策略来减少住宅建筑的采暖和制冷能耗,以及采用节能灯具和家电以减少照明和其他电力能耗。“开源”则要求应用绿色新能源以满足住宅自身的能量需求。太阳能作为清洁、无污染、用之不竭的可再生能源,有着分布广、密度低的特点,与建筑中对低品位能源的需求吻合,因此太阳能住宅是建筑节能与可再生能源利用的典型代表和重要发展方向。

在建筑的设计寿命(50—70年)中,建筑运行能耗通常占生命周期能耗的70%—80%。因此,建筑运行能耗应是建筑节能最主要的关注对象,也是中国当前建筑节能的重点所在^[2]。从国际上来看,零能耗建筑正在成为未来的发展趋势。例如,2009年欧洲议会提出要求:自2019年起所有的新建建筑必须达到零(运行)能耗标准。其中零能耗太阳能住宅是一个主要的研究方向,除采用被动式生物气候学设计策略和节能电器外,还要通过主动式技术(如太阳能光电、光热利用)为建筑运行提供能量、优化系统设计,以提高能量供给系统的效率,以及采用能量储存和管理技术。

在传统上,由于太阳能系统的转换效率不高,加之天气因素影响较大,因此,其非常适合作为建筑能源系统的辅助系统,但无法独立完成对常规能源的替代^[3]。此外,太阳能光伏设备(PV)造价昂贵且本身的含能高,太阳能系统与建筑一体化不够,以及太阳能设备寿命与建筑寿命不相符等也是制约太阳能系统在建筑中应用的问题。近年来,太阳能系统的效率有显著提升,PV成本降低,“太阳能系统与建筑一体化”(Building Integrated Solar System, BISS)的进步,都为零能耗太阳能建筑的发展和应用提供了良好的基础。

使用光伏系统会提高建筑物化阶段的环境影响和造价,因此,需要从整个生命周期范畴来考察太阳能住宅在生态和经济上的可行性。大拆大建造成了中国的住宅建筑寿命过短,其生命周期其他阶段的能耗和环境影响所占比例就会相应增加。从建筑存量整体来看,中国每年的大规模建设所引起的建筑物化能耗占全国总能耗的比例与建筑存量的运行能耗几乎相等^①,同时还导致了大量建筑垃圾的排放。因此,在研究中国零能耗太阳能住宅建筑原型时,更加有必要对其进行生命周期分析,得出新建、运行、维修改造或拆除等不同阶段的基准流量,分析各阶段的优化设计方法,为零能耗太阳能建筑的设计和评价提供量化依据。在此基础上,可以计算建筑存量层面的整体流量和影响,从而评估

原型的发展和推广潜力。

基于以上背景,本书围绕零能耗太阳能住宅开展研究:首先科学定义零能耗太阳能住宅(ZESH),回顾其理论和标准的发展历程,并分析其在设计理念和技术策略上的发展趋势。在此基础上,通过“太阳花”这一零能耗太阳能住宅建筑原型的设计、模拟、建造和检测,探讨如何创造适合中国自然、文化和经济条件的零能耗太阳能住宅,并从全生命周期范畴对其进行量化分析与评价。

0.1 国内外研究现状及发展

0.1.1 国外研究动态

1) 零能耗建筑的概念、标准和发展

自 1980 年代末期,欧洲就开始通过如“欧洲建筑节能技术提升计划”(Technologies Européennes Pour La Maitrise de L'Energie, THERMIE)(关注节能技术)和“加强能效特别行动”(Specific Action for Vigorous Energy Efficiency, SAVE)(关注节能的非技术性措施)等项目来关注建筑节能问题^[4]。经过几十年建筑节能工作的开展,很多西方国家提出了“低能耗建筑”(LEB)的计算方式,并制定了相应的标准,例如丹麦的《丹麦低能耗建筑标准等级 1》(DK Low Energy Class 1)、法国的《法国低能耗建筑标准》(Effinergie)、瑞士的《瑞士低能耗建筑标准》(Minergie)和美国的《能源之星》(Energy Star)标准等。其中最有代表性的是德国,自 1980 年代就发展了一系列住宅建筑节能标准,形成了具有广泛影响的《被动屋》(Passivhaus)标准(图 0-1)。同时,政府还采取了经济鼓励措施,由德国再建设银行(KWF)提出超出 2009 年建筑节能规范(EnEV 2009)的 LEB 标准,并为其提供资助。其他国家也通过建筑法规和标准、资金补贴、技术培训与建设示范项目等推进 LEB 的发展。

在低能耗建筑推广的基础上,欧洲国家进一步提出了零能耗建筑的目标。零能耗建筑(ZEB)是指在满足《被动屋》标准的前提下,其余的能源需求完全由可再生能源供给。根据项目目标、投资者意图、温室气体排放以及能源支出费用等要素,ZEB 可以被定义为基地 ZEB(可再生能源在基地范围内生产)、来源 ZEB(可以依靠外部可再生能源供应)、排放 ZEB(零碳排放)和造价 ZEB(能量生产成本和效益平衡)。从能量供给的角度来说,ZEB 应当考虑可再生能源供给的优先顺序:首先来自建筑基底面积(Footprint)之内,其次在建筑场地内(On-Site),最后是场地外(Off-Site)的供给^[5](表 0-1)。

ZEB 正在成为未来的发展趋势。自 2009 年,欧洲议会、英国政府、美国能源部等纷纷制定了零能耗建筑计划。其中,英国的《可持续住宅标准》(CSH)进一步提出了更具挑战性的零碳排放建筑标准[2016 年达到六级(Level 6)的零碳排放建筑标准]。研究表明,实现 ZEB 的最大障碍不是技术,而是法规、文化和经济等要素的制约^[6]。

欧洲《建筑能效指令》(EPBD)的研究报告表明,LEB 相比传统建筑,造价只增加了 2%—10%,并不断下降。一般来说,造价增加约为 100 欧元/m²,而其成本返还时间不到 20 年^[7]。但 ZEB 则面临很多成本的障碍。虽然在现有技术水平下能够实现 ZEB 的能量返还,但在当前的能源价格和市场情况下,其成本返还却不乐观。

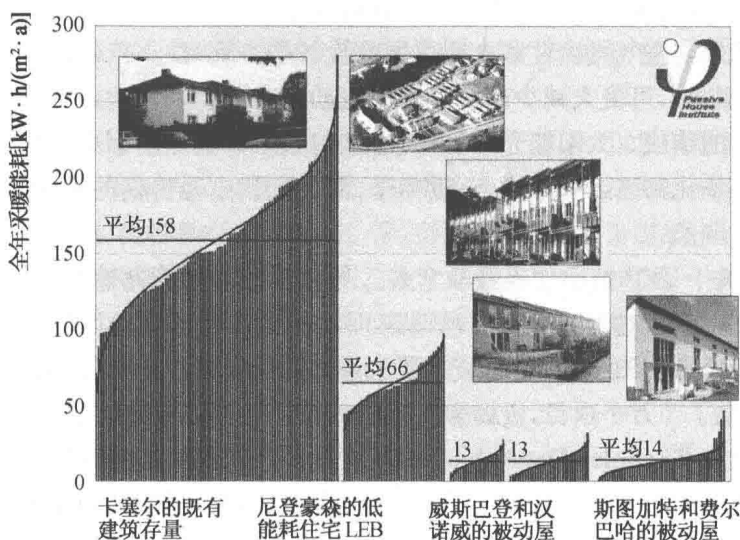


图 0-1 德国的建筑节能发展历程

表 0-1 ZEB 可再生能源供应的优先顺序

顺序	ZEB 能源供应选项	例子
0	通过 LEB 技术来降低场地(Site)内的能耗	自然采光、高效的采暖通风和空调系统(HVAC)设备、自然通风、蒸发制冷等
场地内供应(On-Site Supply)选项		
1	使用在建筑基底面积(Footprint)之内产生的可再生能源	光伏设备(PV)、太阳能热水、建筑上的风能利用装置
2	使用在建筑场地(Site)之内产生的可再生能源	光伏设备(PV)、太阳能热水、低环境影响水电、建筑场地上(但不在建筑上)的风能利用装置
场地外供应(Off-Site Supply)选项		
3	利用场地之外产生的可再生能源在场地(Site)内产生能量	生物质能、木质颗粒燃料、乙醇、可输送到场地的生物柴油、从场地内产生的废料、在场地上产生的热能或电能
4	购买场地之外产生的可再生能源	从电网中输送的风电、光伏设备(PV)发电、排放用额或其他绿色购买用额,也可考虑水电

目前,发展 ZEB 的主要障碍和相应对策包括:(1)能源价格低——欧洲很多国家已经实行可再生能源发电的政策性补贴;(2)环境、能源安全、社会政策和就业等外部影响没有内部化为价格因素——一些北欧国家开始征收环境影响税;(3)依靠进口造成的能源安全问题——通过建筑节能和发展 ZEB 可减少能源危险;(4)缺乏信息和技术——依靠培训和示范项目向公众提供 ZEB 的知识和信息。

2) 零能耗太阳能建筑的技术策略与推广

零能耗太阳能住宅(ZESH)是 ZEB 的一个重要组成部分,包括被动式、主动式太阳能利用。

在建筑领域,被动式太阳能利用主要指通过建筑场地布局、建筑形体、建筑内部空间组织、门窗设计、通风与空气气密性和太阳房温室设计等方式,在不依靠设备的情况下利用太阳能进行采暖(制冷),可极大减少建筑能耗。主动式太阳能利用主要指太阳能光热和光电技术与建筑设计集成。太阳能光热利用技术(包括太阳能热水制取、太阳能采暖和制冷)的研究、应用、市场化都已经非常成熟;近年来,随着光伏电池价格的不断降低,太阳能光电技术也开始迅速普及。

目前,欧美关于 ZEB 的示范项目非常多。如美国的净零能耗建筑帮助和行动计划、欧洲的《欧洲建筑节能技术提升计划》(THERMIE)、国际能源署(IEA)的“太阳能采暖制冷项目”第 28 号任务(SHC Task 28)等都资助了大量的示范项目。日本从 1994 年开始启动的太阳屋顶计划,资助了 7 万个项目,资助力度达到 50%。美国能源部从 2002 年起主办的“国际太阳能十项全能竞赛”(Solar Decathlon, SD)是最具影响力的零能耗太阳能建筑科技示范项目。美国国家可再生能源实验室(NREL)对历届 SD 的参赛作品进行了五个阶段的模拟和测试:竞赛前模拟、竞赛期间实测、短期测试、长期测试、最终数据处理和结果分析^[8]。同时,有多篇学术文章对 SD 参赛作品的技术策略、性能模拟及结果进行了分析。

3) 零能耗太阳能建筑的生命周期生态与成本评估

生命周期评价在建筑领域的研究和应用从 1990 年代开始就受到重视。近年来,随着“低碳建筑”成为热点,应用生命周期评价(LCA)方法来考察住宅建筑能耗和环境排放的研究日益增多。与建筑有关的生命周期评价研究始于对建材物化能的关注(上游过程),随后逐渐扩展到建筑构件和单体建筑物化能(上游过程加建造过程),进而涉及在整个生命周期过程中的能耗、物耗和污染物排放。当前,国外的主要建筑节能标准一般只计算运行能耗,而没有考虑建筑含能、运输,以及拆毁阶段。这很有可能造成误导:ZEB 项目减少了运行能耗,但其含能可能过高。因此,通过 ZESH 的 LCA 研究,可以客观地分析、评价其全生命周期的性能。

0.1.2 国内研究动态

1) 国内太阳能建筑的标准、政策与发展

国内的太阳能建筑最初是被动式太阳房,最早是天津大学研究建造的被动式太阳能采暖热水两层浴室,之后自 1970 年代起,开始了较大规模示范项目的研究。例如中德合作项目“北京大兴县新能源村”、甘肃兰州下官营太阳能示范基地等。自 1990 年代中期开始,被动式太阳房进入了稳步推广阶段,建成了大量的示范项目。在“十一五”期间提出的新农村建设为在乡镇、农村推广被动式太阳房带来了新的机遇。

在被动式太阳能供暖的基础理论研究方面,建立了太阳房热过程的动态物理、数学模型,编制了计算软件^[9],对影响太阳房热性能的相关参数进行了模拟实验,并提出了优化方法,编写出了适合中国国情的《被动式太阳房的原理及设计》(1989 年)、《被动式太阳房热工设计手册》(1993 年)、《民用建筑太阳能热水系统工程技术手册》(2006 年)等。同时结合城乡区别、各地区的气候特点和居住习惯编制了《被动式太阳能采暖乡镇住宅通用设计试用图集》(1989 年)和各省的被动式太阳房设计图集。

从 2000 年起,主动式太阳能供热采暖、制冷技术开始向工程应用发展。在科技部“十一

五”科技支撑计划中,就包括太阳能供热采暖的综合应用。有关部门编制了《太阳能供热采暖工程技术规范》(2009年)、《民用建筑太阳能空调工程技术规范(征求意见稿)》(2010年)等规范。

在光电技术建筑一体化方面,财政部、住房和城乡建设部于2009年联合发布了《关于加快推进太阳能光电建筑应用的实施意见》和《太阳能光电建筑应用财政补助资金管理暂行办法》,并确定了2009年首批补助标准为20元/W;并继续发布《关于组织申报2010年太阳能光电建筑应用示范项目的通知》和《关于组织实施太阳能光电建筑应用一体化示范的通知》。同时,2009年7月16日,财政部、科学技术部、国家能源局出台了《金太阳示范工程财政补助资金管理暂行办法》,对光伏发电系统及其配套输配电工程总投资的50%给予补贴。2010年,还编制了《民用建筑太阳能光伏系统应用技术规范》。

2) 目前的技术水平与应用情况

国内太阳能建筑技术首先表现在:被动式太阳房技术已经成熟,进入了普及阶段。在主动式太阳能技术中,太阳能热水器的技术普及率非常高。在1990年代后期,中国提出了太阳能热水系统与建筑一体化结合的发展目标,并在“十五”期间取得了实质性进展;在太阳房的材料、构件方面创造了如花格蓄热墙等新型采暖方式;在太阳能采暖和制冷方面,近年来天津大学利用外逸长波辐射降温理论,开发出天空辐射板制冷技术,并集成太阳能光热利用技术,应用于国际太阳能十项全能竞赛的参赛作品中。

近几年,随着国家鼓励政策和补贴力度的加大,国内的太阳能光电技术发展也进入了加速期。目前,主动式、被动式结合成为发展方向。中国城市用电频繁并出现紧缺,而太阳能光伏建筑一体化技术(BIPV)正好在用电高峰时期(9时至16时之间)发电;此外,除供应自身的用电需求,还具有实现并网的条件,可将峰值所发盈余电量输送到电网,能够起到“调峰、护网”的作用。同时,仍有广大边远农村无法得到国家电网的覆盖。而农村建筑因其层数低,太阳能利用面积大,具有天然的太阳能建筑利用优势。2002年由国家发展和改革委员会启动的“送电到乡工程”项目成为全球应用光伏发电解决偏远农村地区用电的一个亮点^[10]。与光伏电站相比,BIPV更具有灵活性和可操作性。

严格意义上的太阳能建筑,应能通过太阳能综合利用,满足房屋居住者舒适水平和使用功能所需的大部分能源供应(属于LEB),甚至全部能源供应(属于ZEB)。现阶段中国只能做到太阳能在建筑中的部分利用,且在技术合理性和实用性方面有许多问题需要解决,与世界先进水平仍有一定的差距^[11]。

3) 局限性、潜力、优势和区别

当前,在国家政策的提倡下,对太阳能建筑的研究方兴未艾。虽然不少技术手段在理论上具有良好的性能,但是它们在实践中和推广中的可能性有待进一步验证。太阳能建筑的技术研究包括太阳能光热、光电,这两部分都面临着与建筑一体化不尽完善的问题。同时,由于缺乏科学理论和政府政策的支持,太阳能建筑应用只注重眼前的经济利益,缺乏长远战略的常规能源节约意识;只比较初始投资,忽略未来的使用成本。基于生命周期的太阳能住宅的可持续性研究尚处在起步阶段。

与国外相比,中国的零能耗太阳能住宅还刚刚起步,示范项目还极少,尤其是能够在建筑自身范围内实现零能耗的住宅还未见诸文献。对ZESH的研究由于受到市场、技术等条

件的制约,也比较缺乏。另外,中国的城市建筑密度大,住宅以多层、高层为主;农村地区的经济条件有限,难以实现零能耗;幅员辽阔,太阳能资源的分布随地域有很大差别。中国发展零能耗太阳能住宅,需要充分考虑上述制约因素和特点,因地制宜,创造零能耗太阳能住宅建筑原型,用以研究实现和推广零能耗太阳能住宅在中国的技术、经济和社会可行性。

太阳能光电、光热系统本身会显著提高建筑的初始投资和含能,因此需要从生命周期范畴分析其生态性能和成本。零能耗太阳能建筑的 LCA 研究,尚未见诸国内的文献。国内对低能耗建筑的 LCA 研究,大多基于建材层面,而没有基于建筑构件层面,因此其结果很难成为优化设计的依据。另外,没有将生态信息和成本信息相结合的 LCA 研究。太阳能建筑尚处于发展初期,相对于使用常规能源的建筑在成本上具有劣势,但有环境效益,这就需要建立基于生命周期的评价体系,从而为宏观政策的制定提供依据。

0.1.3 研究发展趋势

根据国外的情况,零能耗太阳能住宅在技术、标准和实践方面均取得了显著成果,并成为未来的发展趋势;目前,ZESH 由实验性示范项目向市场化发展,但在成本控制和应用推广等方面还需要克服很多障碍;ZESH 的研究,由只注重使用阶段节能向生命周期整体性能优化发展,由单纯重视技术因素,向重视综合可持续发展,因此 LCA 和生命周期成本(LCC)是优化 ZESH 性能的重要方法和工具。

国内太阳能住宅在被动式和光热利用方面的应用较好,但是光电利用在近几年才得到比较好的发展,在技术和标准方面与国外相比还有很大差距,尤其是一体化设计、智能控制和生命周期范畴整体分析与优化方面。

中国由于土地资源有限,地域太阳能资源差别很大,因此在太阳能利用方面与国外有很大区别,需要发展自己的零能耗太阳能住宅建筑原型。太阳能住宅不仅要克服技术难度,还必须面对一系列社会审美接受和经济造价方面的挑战。只有满足了技术、社会和经济的要求,太阳能住宅才能得到广泛推广。

0.2 本书结构

本书的主要内容分为三章(图 0-2),第 1 章以国际太阳能十项全能竞赛为例,首先明确零能耗建筑的概念、回顾其发展历程、分析其定义,从而明确本书研究对象的系统边界;其次通过分析历届国际太阳能十项全能竞赛,总结当代国际零能耗太阳能住宅的发展趋势、发展特点等;最后以历届国际太阳能十项全能竞赛的参赛作品为例,剖析其在设计理念、被动式策略、太阳能系统、一体化设计、工业化和市场性等方面的创新和发展。

第 2 章采用设计与实证研究相结合的方法,通过 SDE 2010 参赛作品“太阳花”的设计、模拟、实验、建造、实测等过程,探讨适合中国寒冷地区气候条件和文化特色的零能耗太阳能住宅建筑原型的设计方法与技术手段,并讨论其可行性。

第 3 章首先通过国内外相关文献的分析,考察零能耗太阳能住宅生命周期范畴的生态性能和成本,归纳基于建材与基于构件的建筑生命周期的评价方法;其次以“太阳花”为例,用上述两种方法对其进行 LCA 分析,即基于典型建筑的生命周期清单分析,通过自下而上

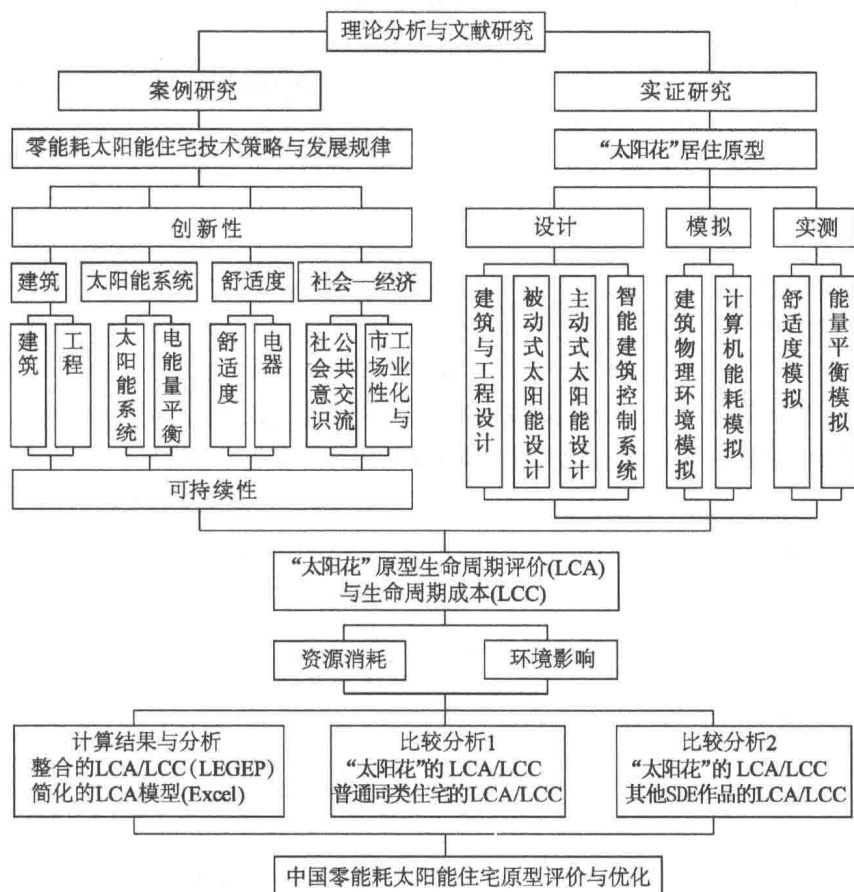


图 0-2 本书的内容与结构框架

注:LEGEp 是专业建筑生命周期评价工具;Excel 是一种数据分析工具。

的模型,计算此住宅建筑原型的建造、运行、维修改造和拆除引起的材料消耗、一次能耗、碳排放和建筑垃圾排放;再次将分析结果与普通住宅以及国外同类建筑相比较,论证其在生态与经济方面的优势和劣势,并提出改进方法。

本章注释

- ① 据建设部统计,中国建筑能耗约占总能耗的 45%,其中建材的生产、运输、房屋建造、维修和拆除所用能源占 20%—30%,建筑运行能耗约占 27.45%。

本章参考文献

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴(2008)[M/OL]. 北京:中国统计出版社,2009 [2011-06-30]. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2008/indexch.htm>.
- [2] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告(2009)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [3] 匡尧. 太阳能热、电系统与建筑的集成设计及能效评估[D]:[博士学位论文]. 南京:东南大学,2006.
- [4] Janssen R. Towards Energy Efficiency Buildings in Europe: Final Report[R/OL]. (2005-07-09) [2011-02-07]. <http://www.euroace.org/LinkClick.aspx?fileticket=gLfsI46BJdY%3d&tabid=84>.
- [5] Torcellini P, Pless S, Deru M, et al. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition [R/

- OL]. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 2006: 3, 275-286 [2015-01-30]. http://www.eceee.org/library/conference_proceedings/ACEEE_buildings/2006/Panel_3/p3_24.
- [6] Osmani M, O'Reilly A. Feasibility of zero carbon homes in England by 2016: A house builder's perspective [J]. Building and Environment, 2009, 44(9): 1917-1924.
- [7] EPBD. Low Energy Buildings in Europe: Current State of Play, Definitions and Best Practice [EB/OL]. (2009-09-25)[2011-03-22]. <http://www.kacst.edu.sa/en/research/bt/Documents/leb.pdf>.
- [8] Wassmer M R, Warner C L. Building-Energy Simulation and Monitoring Research Activities for Solar Decathlon Houses [R]. Florida: IEEE, Photovoltaic Specialists Conference, 2005: 1714-1717.
- [9] 张阳. 零辅助热源被动式太阳房热工设计计算方法[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 1999 (1): 1-5.
- [10] 徐伟, 郑瑞澄, 路宾. 中国太阳能建筑应用发展研究报告[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009: 7.
- [11] 徐伟, 郑瑞澄, 路宾. 中国太阳能建筑应用发展研究报告[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009: 3.

1 零能耗太阳能住宅研究——以国际太阳能十项全能竞赛为例

随着人口增长、城市化发展带来的住宅供应量的激增以及家庭用能的增长,住宅建筑节能的重要性日益凸显。以欧洲为代表的发达国家在住宅建筑节能标准的基础上提出了“低能耗住宅”、“被动式住宅”等标准,同时积极开发可再生能源,开展“零能耗住宅”的研究与实践。太阳能是建筑中开发潜力最大的可再生能源。近年来,零能耗太阳能住宅已经由最初的实验性建筑,向一体化设计、工业化建造以及市场化推广发展;关注的重点由使用阶段节能扩展到降低建筑生命周期的整体环境影响;同时,日益重视其经济、社会因素的优化。在这一背景下,美国能源部于2002年发起了两年一届的国际太阳能建筑十项全能竞赛(Solar Decathlon, SD),并逐渐发展到欧洲和亚洲。历届SD参赛作品都集中体现了零能耗太阳能住宅的发展趋势。本章从SD的发展趋势和技术创新入手,阐述太阳能建筑在实现环境、经济和社会三方面的可持续性过程中所面临的挑战和发展前景。

1.1 零能耗太阳能建筑的概念与定义

1.1.1 低能耗建筑和微能耗建筑

建筑在整个生命周期内(通常为50年)都消耗大量能量,其中,一般民用建筑的运行能耗约占总能耗的70%—80%。“低能耗建筑”(Low-Energy Building, LEB)主要关注建筑运行阶段的节能,是指在围护结构、能源和设备系统、照明、智能控制、可再生能源利用等方面选用各项节能技术,能耗水平远低于常规建筑的建筑物。

LEB是一个定义宽泛的概念。很多国家制定了各自的计算方法和建筑标准。在欧洲,主要有丹麦的《丹麦低能耗建筑标准等级1》(DK Low Energy Class 1)、法国的《法国低能耗建筑标准》(Effinergie)、德国的《被动屋》(Passivhaus)和瑞士的《瑞士低能耗建筑标准》(Minergie)等(图1-1)。在美国,《能源之星》(Energy Star)作为一种LEB评价标准,要求比ASHRAE 90.1和IECC 2004标准再节能15%^[1][ASHRAE主要作为大型商业建筑和高层住宅建筑标准,规定建筑采暖负荷为 10.71 W/m^2 ,制冷负荷为 15.75 W/m^2 ;IECC作为低于4层的小型住宅和商业建筑标准,规定了不同气候分区建筑外表皮的热导系数(U 值)和热阻值(R 值)]。而“节能建筑”(Energy Efficient Building)的目标,是比ASHRAE 90.1—2010标准 $[105\text{ kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})]$ 减少30%的能耗(图1-2)。

最有影响的LEB标准是德国的低能耗建筑标准——按照建筑能耗大小,可细分为三个等级:低能耗住宅(Niedrigenergiehaus)、三升油住宅(Drei-Liter-Haus)和“微能耗住宅”[又称被动屋(Passivhaus)]标准^[2]。各个标准的描述和终端能耗要求(一次能耗与终端能耗的转换系数为2.7)如表1-1所示。