



零能耗居住建筑

多目标优化设计方法研究

LINGNENGHAO JUZHU JIANZHU
DUOMUBIAO YOUHUA SHEJI FANGFA YANJIU

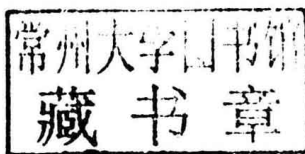
吴伟东 · 著



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

零能耗居住建筑多目标 优化设计方法研究

吴伟东 著



 东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

南京·2018

内 容 提 要

本书从宏观层面对国内外零能耗建筑状况和发展脉络进行了梳理,从微观层面对零能耗居住建筑的优化设计方法进行了具体的研究和探索,全面具体地分析和呈现了针对零能耗建筑这一建筑新模式的起源、发展、概念界定及优化技术等相关理论与方法,这对于统计和分析零能耗建筑具有重要的文献价值,为我国建设绿色生态城市及改善人居环境提供了一定的参考价值。

本书可供建筑学专业方面的研究者、从事城市建设及能源研究的人员和相关机构,以及对此方面感兴趣的读者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

零能耗居住建筑多目标优化设计方法研究/吴伟东
著. —南京:东南大学出版社,2018.2

ISBN 978-7-5641-7531-3

I. ①零… II. ①吴… III. ①居住建筑—建筑设计—节能设计—研究 IV. ①TU241

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 000332 号

零能耗居住建筑多目标优化设计方法研究

-
- 著 者 吴伟东
责任编辑 宋华莉
编辑邮箱 52145104@qq.com
出版发行 东南大学出版社
出 版 人 江建中
社 址 南京市四牌楼 2 号(邮编:210096)
网 址 <http://www.seupress.com>
电子邮箱 press@seupress.com
印 刷 江苏凤凰数码印务有限公司
开 本 700 mm×1 000 mm 1/16
印 张 15.75
字 数 283 千字
版 次 2018 年 2 月第 1 版 2018 年 2 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5641-7531-3
定 价 58.00 元
经 销 全国各地新华书店
发行热线 025-83790519 83791830

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

前 言

建筑与能源息息相关,本书从能源的视角来探讨建筑设计的问题,着重探讨了零能耗建筑的优化设计方法。零能耗建筑是建筑领域发展的一个方向,目前已被广泛关注,近些年零能耗建筑的工程实践也在逐步推进,但是零能耗建筑所涉及的领域与一般建筑有很大差异,其中仍有很多问题没有解决。在理论方面,该书较为详细地介绍该领域较少涉及但十分重要的内容即多目标优化设计方法,并进行细致和缜密的推理和实证研究,通过清晰的技术路线来呈现如何实现零能耗建筑的多目标优化设计问题。

优化设计是实现零能耗建筑设计工作的一个重要的环节。本书展开了实现零能耗建筑多目标优化为主旨的相关原理、数据统计、优化算法和 Pareto 解集最优解评价方法的系统性研究,并建立了多目标设计优化框架,构建了与零能耗建筑设计相关的多目标分析模型,拓展了多目标设计优化技术在零能耗居住建筑设计中的应用。以一案例为主线——京津寒冷气候区典型居住建筑为例,进行零能耗多目标优化设计,得出了基于典型模型的京津地区太阳能零能耗居住建筑的基本工况运行模式,并对一实验监测进行了详细的案例阐释。为了更为清晰地了解阐述内容,本书最后一章提供了原始研究数据,以便读者查阅分析。

本书主要研究内容依次如下:

一、基于相似理论构建了建筑物理实验分析典型简化模型,完成数据的筛选、录入和优选,构建了一个典型物理权衡分析模型,提出了一套用于确定建筑物理模型简化计算方法及基本物理边界条件(能耗模块)的“九宫格”分析理论。

二、以案例为主线,建立适合于京津寒冷地区居住建筑实现零能耗的基本路线和计算分析模型,分析了包括国内外高能效建筑各项指标、节能策略和能源规划,并建立了实现零能耗模式的基本参数阈值,总结和设计出基于不同零能耗类型特征的基本典型运行工况。

三、针对零能耗建筑运行机理建立了能量与成本分析理论模型;为了得到较为全面的零能耗建筑能量分析方法,构建了基于分析模式下的寿命期相对节能分析理论模型;研究了国内外寿命期成本分析并结合零能耗建筑成本特性,构建了基于寿命期节能收益成本的 LCC 理论分析模型;并结合上述建立的分析模型,针对围护结构节能主材厚度、窗传热系数和光伏面积为主要约束变量,进行了基于零能耗建筑实现

途径的京津地区 ZEB 建筑能量与成本相关数据统计与拟合,并建立了数学模型集合。

四、研究了当前多目标优化算法工作机理,经过遴选,选择了实值编码的 NS-GA II 优化技术,并引入了 Michalcwicz 交叉算子;分析了各学科之间的数据传递和耦合关系,确定设计变量、设计约束和优化目标;构建了“EEE-ZEB-MOP”技术框架;构建了零能耗建筑能量平衡与成本目标函数及约束条件,编制了优化程序,求得了 Pareto 解集,结果证明该算法在求解 Pareto 解集时表现出很好的贴近性、均匀性和完整性,具有较好的优化效率和决策的准确性;利用该算法对建立的典型零能耗建筑模型进行了多目标优化,验证了该优化方法的可行性和有效性。

五、为了解决在多目标 Pareto 解集中求得一定精确度又有实际意义的满意解问题,针对零能耗建筑多目标优化设计,建立了一套基于 Pareto 空间特征解分析的改进熵权评价法,得到了最优解,分析得出了寒冷气候区京津地区 ZEB 建筑的最佳节能系统组合数据、运行工况参数数据及能流基本运行关系;同时为了能够更为全面、灵活地评价 ZEB 建筑各情况的分析研究与决策,并具有定性定量指标相结合的综合评价决策方法,提出了一套混合灰色关联多层次综合评价法。

六、利用多目标优化技术对零能耗太阳能建筑进行了初步设计,并运用建立的混合灰色关联多层次综合评价法对实验室多能源集成系统进行了评价优选;介绍了零能耗太阳能实验室建设、监测系统构建及系统运行情况,提供了一套可借鉴和推广性的实践监测系统。

本书是作者近些年完成的研究工作成果,尚有些理论和观点有待深入研究,如有不足之处,请给予指正,希望它能对我国建筑发展起到微薄的促进作用。

吴伟东

目 录

1 绪论	1
1.1 研究背景与目的	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究目的	4
1.2 国内外研究现状及发展动态	4
1.2.1 ZEB 建筑相关研究	4
1.2.2 ZEB 建筑优化研究	14
1.2.3 ZEB 建筑能量分析理论与方法	20
1.2.4 ZEB 建筑评价模式理论与方法	21
1.2.5 多目标优化理论与方法	24
1.2.6 总结	27
1.3 研究内容	27
1.4 研究方法和技术路线	29
1.4.1 研究方法	29
1.4.2 技术路线	30
1.5 创新点	31
2 典型房理论模型构建研究	32
2.1 基于相似理论的典型房理论模型构建	32
2.1.1 相似理论	32
2.1.2 基于相似理论的简化模型构建	34
2.2 原型基本边界条件统计与分析	35
2.2.1 典型户型几何模型的选取	35
2.2.2 典型户型围护结构的选取	39
2.2.3 用能方式	43
2.3 基于相似理论简化模型的构建与应用	45
2.3.1 物理边界条件	45

2.3.2	“九宫格”分析方法	46
2.3.3	典型相似模型建立	47
2.3.4	相似度分析	50
2.4	简化模型的独户与集合式各类模式的能耗关系	53
2.5	本章小结	55
3	零能耗建筑实现技术途径与运行模式研究	58
3.1	ZEB 建筑实现技术途径研究	58
3.1.1	ZEB 建筑与一般节能建筑的区别	59
3.1.2	高能效建筑	62
3.1.3	国内外建筑节能策略差异	63
3.2	基于能量平衡的 ZEB 建筑运行模式	69
3.2.1	nZEB 建筑理论模型构建	69
3.2.2	NZEB 建筑理论模型构建	71
3.2.3	AZEB 建筑理论模型构建	73
3.3	本章小结	73
4	寿命期能量与成本数学模型构建研究	75
4.1	基于寿命期节能量的分析理论与评价	75
4.1.1	基本原理	76
4.1.2	基于烟分析模式下的 LCE 方法模型建构	77
4.1.3	寿命期节能量分析基本数学理论模型构建	80
4.2	基于寿命期节能收益成本的 LCC 分析理论	81
4.2.1	基本原理	81
4.2.2	基于能量分析的 LCC 理论模型建构	82
4.2.3	ELCC 基本数学模型	84
4.3	基于典型房 ZEB 实现途径的能量与成本分析数据库构建	84
4.3.1	ELCE 数据统计分析	84
4.3.2	ELCC 数据统计分析	97
4.3.3	能量与成本数学模型分析数据库	102
4.4	本章小结	104
5	多目标优化设计研究	106
5.1	多目标优化的设计原理	106

5.2	基于寿命期能耗与成本的 ZEB 多目标优化模型构建	110
5.2.1	基于实值编码的 NSGA II 理论模型构建	110
5.2.2	基于寿命期能耗平衡的目标函数理论模型	115
5.2.3	基于寿命期节能收益成本的多目标理论模型的构建	115
5.2.4	关于变量取法问题	116
5.3	基于典型房 ZEB 建筑实现途径的多目标优化研究	116
5.3.1	基于典型房的能量平衡目标子函数构建	116
5.3.2	基于典型房的成本目标子函数构建	118
5.3.3	各工况模式的多目标优化主函数模型构建	119
5.4	优化结果讨论	120
5.4.1	方法有效性验证	120
5.4.2	优化结果取值	121
5.4.3	最优方案的选取与解的应用	124
5.5	本章小结	125
6	零能耗建筑评价技术研究	127
6.1	ZEB 评价体系概述	127
6.1.1	国内外评价体系研究	127
6.1.2	评价方法的确定	128
6.2	评价方法模型的建立	129
6.2.1	熵权法理论模型	129
6.2.2	灰色关联度方法的理论模型	130
6.2.3	综合评价应用工作框架	134
6.3	ZEB 建筑能源供耗系统多目标优化方案的评价优选研究	134
6.3.1	基于 Pareto 空间特征解焓分析的改进熵权评价法	135
6.3.2	基于典型房的 Pareto 空间特征解的分析	135
6.3.3	综合特征值的改进熵权评价	136
6.3.4	结果总结与验证	138
6.4	本章小结	139
7	零能耗太阳能居住建筑实验室建设研究	141
7.1	实验室综合能源系统设计	141
7.1.1	ZEB 实验室建设概述	141
7.1.2	多目标优化设计	141

7.1.3 多能源系统设计	144
7.2 实验监测系统设计	152
7.2.1 地源热泵监测系统	152
7.2.2 建筑综合测控构建	153
7.3 实验室建造与运行	156
7.4 本章小结	158
8 总结与展望	159
8.1 总结	159
8.2 对今后研究工作的展望	161
参考文献	162
附录:研究数据	176
附录一:户型样本调研统计表	176
附录二:实际工程基本资料调研表(52 栋住宅楼)	186
附录三:典型户型围护结构基本仿真模拟参数设置表	192
附录四:能耗对比分析表	194
附录五:10 类户型能耗值(kWh)	195
附录六:3 单元 4 层能耗值(kWh)	196
附录七:围护结构选型与能耗数据表	197
附录八:住宅区用电量统计表	198
附录九:基于实值编码的 NSGA II 多目标优化求解 Pareto 解集(迭代 100,种群 50)	199
附录十:基本设备耗电量核算	206
附录十一:实验房多目标优化结果数据	207
附录十二:Equest 仿真模拟	209
附录十三:PVsyst 模拟实验室发电量表	214
附录十四:相变储能材料使用前后测温记录	215
致谢	241

1 绪论

1.1 研究背景与目的

1.1.1 研究背景

1) 能源与环境问题

20 世纪罗马俱乐部的 A. King 认为未来经济价值的评价应该是能(或焯)而不是金钱,因为金钱是暂时的,而能却是永恒的^①。这个论点是对未来普遍规律的一个预判,这个预判的准确性目前得以应验。人类对能源的利用经历了柴薪时代、煤炭时代、油气时代,目前主要为化石能源,伴随着能源供给短缺及全球变暖等环境恶化问题,全世界对于未来取代油气时代的新能源时代开始进行审视和思考,在利用新能源时如何提高它们的能效问题已成为解决能源与环境问题的关键,国际能源署(IEA)也非常关注能效市场的发展。相关数据表明,经过能效措施实现了能源需求的大幅下降(图 1.1)。

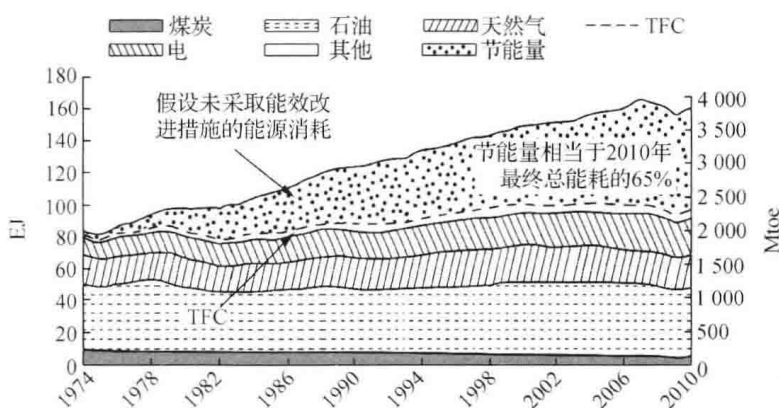


图 1.1 11 个 IEA 成员国能效措施所节约的能源消耗

(图片来源:来源于国际能源署 2013 年能效市场报告)

^① [俄]布罗章斯基.焯方法及其应用[M].王加璇,译.北京:中国电力出版社,1996:210-230.

我国的能耗从 20 世纪 80 年代以来一直呈现出快速增长的趋势,由于经济的发展随之也产生了能耗的增加,特别是从“十五”规划开始,每年节能减排的工作难度明显增强,能源消费弹性系数持续偏高。我国经济增长需要依靠对能源的使用,能源消费弹性系数为 0.775,远高于发达国家 0.5 的要求,因此能效在未来发展中有待进一步提高(图 1.2,表 1.1)。

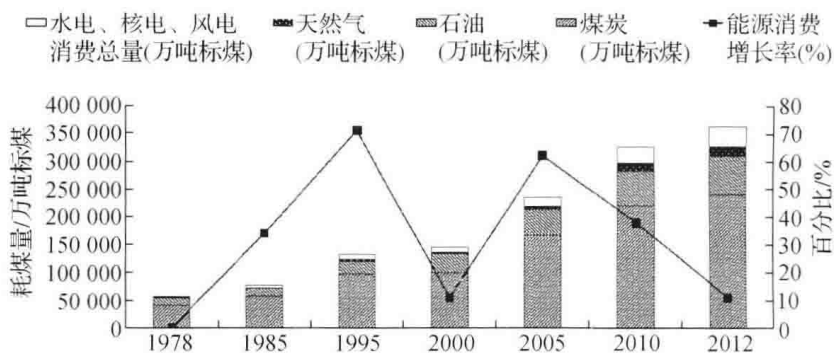


图 1.2 能源消耗总量趋势

(图片来源:作者自绘,数据来源于国家统计局)

表 1.1 我国能源消费弹性系数表

时间(年)	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001
能源消费弹性系数	0.51	0.76	0.58	0.57	0.41	0.59	0.76	0.93	1.6	1.53	0.66	0.4

(表格来源:作者自绘,数据来源于国家统计局)

在世界范围内建筑是最大的能源消费者,并且在未来也将是能源需求增加的一个主要来源。全球在人口增长和经济增长的驱动下,从 1971 年至 2010 年能源消费翻了一倍,达到 2 794 Mtoe。根据 IEA 2012 年预测及目前的发展状况,到 2035 年,全球建筑能源需求预计将比 2010 年增加 838 Mtoe,相当于美国和中国建筑行业的总和。如果没有进一步的政策行动在全球层面上提高它们的效率,建筑将增加大量潜在能源供应压力。

随着城市化发展进程的加快,我国城市环境压力与日俱增,城市环境污染严重,导致如严重的雾霾、二氧化碳排放量的剧增、废气污染物的排放量增大及健康不良等问题长期困扰城市,而建筑造成的有害污染气体排放占 50%^①。建筑业能源消费总量也呈逐年递增的趋势,到 2012 年消耗已达 6 167 万吨标煤(图 1.3),提高能效势在必行。

① 钱伯章. 节能减排——可持续发展的必由之路[M]. 北京:科学出版社,2008:97.

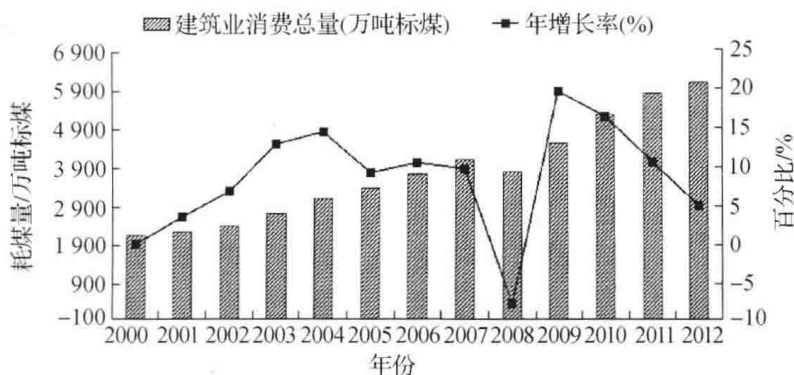


图 1.3 建筑业能源消耗总量趋势

(图片来源:作者自绘,数据来源于国家统计局)

2) 建筑节能

建筑用能能耗包括采暖、制冷、通风、照明、生活热水、办公、家用电器、辅助设备等方面的能耗。传统建筑能效重点放在提高能源使用效率,但未来建筑能效开始走向一条全面、有效的低能耗和低碳之路,力求建筑从能源消耗到能源生产,模式主要通过以下几种方式:提高“能源效率”措施使能源需求减少;使用高效建筑组件和设备减少能源消费,以满足能源需求;用可再生能源产生热能和电能,从而减少建筑物的净能源需求。此外,要将建筑变得更节能,应注意建筑的运行及系统和设备的维护,还需考虑含能值(即生产建筑材料和建造建筑所需的能源)以及建筑使用模式(使用者如何使用建筑)。这些因素表明,在整个建筑寿命期内,根据上述能源供耗情况及相应的节能措施,在建筑能源消耗越来越大的刚性驱使下,该如何综合考虑降低能源消耗的技术问题。^① 具体节能途径如图 1.4 所示。

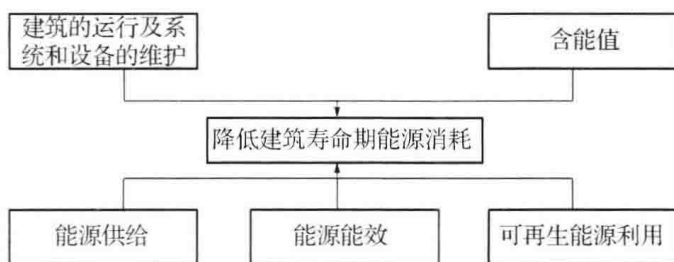


图 1.4 未来降低建筑能耗的技术途径

(图片来源:作者自绘)

^① IEA. Modernising Building Energy Codes to Secure Our Global Energy Future[M]. US: IEA Publications, 2013: 9-12.

3) 零能耗建筑

建筑节能发展到如今面临着抉择,建筑与能源的联系越来越紧密,建筑能耗与成本一直以来受到重视,随着对能源效率的标准越来越高,零能耗建筑开始逐渐受到关注,也逐渐步入建筑节能发展的未来途径上,为此对于零能耗建筑的研究各国已给予极大的重视,国际能源署对零能耗建筑的常规定义为建筑能源需求很低,而能源消耗主要是由可再生能源提供的建筑。为此,零能耗建筑在减少常规的能源消耗、减少环境负荷和运营成本方面都能给予很大的帮助,因此这不仅涉及科技问题,更重要的是人类社会如何安居与拥有良好生存环境的问题。

对于零能耗这一概念,随着科技和社会发展,其定义也会随之产生变化和增补。由于各地区所处的气候条件不同,能源供耗平衡关系也会有所差异,而且其所构成系统优化匹配程度的优劣亦会对后期的经济、社会和能源利用效率等因素产生可持续性的影响。“零”不仅意味着供耗能量平衡为零,也象征着最集约、最优化、不多不少恰到好处,真正做到人一建筑—自然的有机平衡,而做到这一点并非易事,但这也是研究它的意义和价值所在。

1.1.2 研究目的

零能耗建筑目前正处于探索和论证阶段,有许多问题亟待解决。针对不同地区、不同建筑属性的零能耗建筑物理边界和能量平衡边界如何确定及方法还需进一步研究;据统计,零能耗建筑需要更多的集成材料和安装费用,如何优化匹配技术—经济—生态的关系,还需对此进行更系统的研究;不同类型的零能耗建筑的物理边界和针对零能耗建筑的供能系统的区域性统计与评价工作等关键技术还未建立;零能耗建筑与目前能源利用系统如何连接和运营还未形成;分梯次、分类型及如何逐步与现有状况的建筑能耗模式耦合工作还未开始;大量具体量化的工作有待开展。为此,本书主要以京津寒冷地区居住建筑如何实现零能耗的优化设计为研究对象,将对这些问题进行系统的探讨和研究,运用多学科理论与方法,进行多目标优化研究,找到解决问题的途径,建立一套科学有效的优化设计体系,并为将来零能耗建筑推广与实践构建优化设计理论和技术基础。

1.2 国内外研究现状及发展动态

1.2.1 ZEB 建筑相关研究

1) 国外研究现状与发展动态

(1) 发展动态与政策

总结国际零能耗建筑(ZEB)的探索发展到目前可以分为3个阶段,即萌芽阶

段、技术探索阶段、整合与推进阶段(图 1.5)。

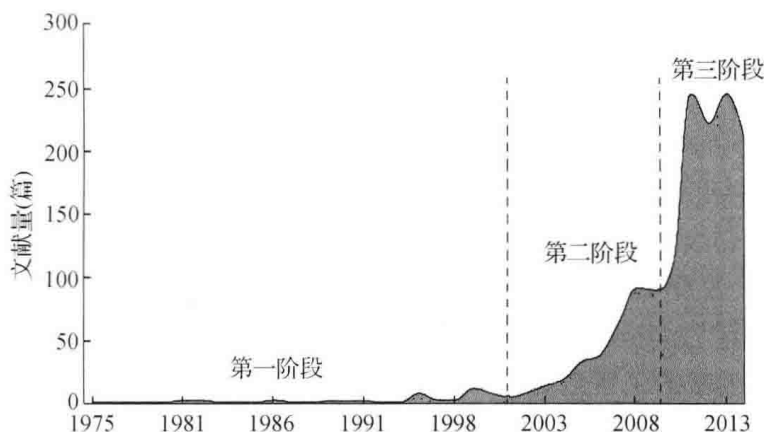


图 1.5 零能耗建筑研究发展趋势

(图片来源:作者整理自绘,数据经筛选源于 Scopus 数据库、EI Village 工程索引)

萌芽阶段(开始于 20 世纪 70 年代至 2000 年),在此期间一直是对各项技术层面的分项研究,局部零能耗实现技术的探讨,如能源利用、太阳能、制热、通风等方面如何实现零能耗。

技术探索阶段(2000 年至 2009 年),由于能源危机从 21 世纪初开始备受国际关注,在此大背景下 ZEB 建筑的探讨和研究发展得到迅速提升,各种实现零能耗技术的探索与实现零能耗可行性研究开始增多。

整合与推进阶段(自 2010 年开始至今),国际上开始进行技术整合研究及界定 ZEB 建筑,对如何为开展 ZEB 建筑提供技术条件和财政支持等问题进行研究和探讨。某些国家和联盟开始提出实现零能耗建筑未来发展目标,开始在政策上支持 ZEB 建筑发展,目前属于该阶段的初期。

2008 年,国际能源署(IEA)在《走向并网零能耗太阳能建筑》一文中对并网零能耗建筑提出国际性标准的限定,它的提出是基于当时国际建筑规范和标准针对并网 ZEB 建筑而做出的修订。^① 为此,标志着 ZEB 建筑作为正式研究领域在国际上开始展开,各国也开始对 ZEB 建筑研究迅速升温。2010 年,欧盟要求其成员国到 2018 年年底公共建筑能耗性能达到近零能耗建筑(简称为 nZEB)建筑标准,新建建筑应在场地内或其附近设有可再生能源的产能系统以满足供能需求;到 2020 年年底所有新建建筑达到 nZEB 建筑。^② 据欧盟 2013 年统计,德国、美国、奥地利

① IEA SHC Task40/ECBCS Annex 52, Towards Net Zero Energy Solar Buildings. <http://task40.iea-shc.org/2013>. (last accessed 08/02/2013).

② The Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. Official Journal of the European Union, 53, 2010.

和捷克等国已对本国的近零能耗标准做出限定。^①

各国发展情况:如美国,美国能源部(DOE, Department of Energy)根据2007年能源自立安全保障法,在2020年实现住宅零能耗批量进入市场^{②③},在2008年8月发表“零能耗公共建筑发展(Net-Zero Energy Commercial Buildings Initiative)”计划,提出到2030年新建办公楼、2040年50%既有业务用办公楼、2050年所有办公楼,以适当的成本进行ZEB化技术改造;^④2020年实现零能耗居住建筑(ZEH, Zero Energy House,或Zero Emission House)目标;美国不是强制规定实行ZEB,而是倡导开发、普及实现ZEB建筑技术,也取得了较好成效。^⑤

英国,在国际上英国是首先将以达到零能耗作为法律形式提出的国家,英国政府可持续发展战略的宗旨是确保“每个人,以及他们的后代,都能拥有更高质量的生活”^⑥;英国政府提出自2010年起每隔3年巩固完善法律,规定新建住宅到2016年为止要求达到零能耗,住宅类型外的建筑到2019年实现零能耗;2008年3月,英国发表“到2019年所有非居住建筑要实现零碳排放”的更高目标^⑦。

德国,是世界上建筑技术最发达的国家之一。1952年德意志标准研究所(Deutsches Institut für Normung)制定第一个建筑保温设计技术标准,20世纪90年代初期,德国政府启动了千屋顶计划(Das 1000-Dächer-Programm),建立太阳能并网发电系统。1992年德国开始弗赖堡落成的实验项目——全零能耗建筑;^⑧提出到2015年,德国所有建筑将按照“被动房”标准建造,2016年开始逐步按建筑占地面积大小实现近零能耗建筑,2018年公用建筑实现近零能耗,到2050年基本达到气候中和建筑。

瑞士,2014年,执行新建筑物按欧盟建筑能源指导委员会的要求,达到nZEB标准,并在各行政区建立相应的建筑规范,到2018年年底形成强制性的标准。

捷克,政府能源管理修订法案提出:自2018年(公共建筑2016年)开始所有新

① Andreas Hermelink, Sven Schimschar, Thomas Boermans, etc. Towards nearly zero-energy buildings; Definition of common principles under the EPBD. Ecofys 2012 by order of: European Commission, 2013, 2: 85 - 117.

② 莫争春. 可再生能源与零能耗建筑[J]. 世界环境, 2009(4): 33.

③ U. S. Department of Energy. Building Technologies Program, Planned Program Activities for 2008—2012 [EB/OL]. [2013-06-01]. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/corporate/myp08complete.pdf>.

④ United States Congress. Energy Independence and Security Act of 2007. https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_Independence_and_Security_Act_of_2007.

⑤ <http://energy.gov/management/downloads/microsoft-powerpoint-06-crawley-drive-net-zero-energy-commercial-buildings>.

⑥ Bill Dunster, 史岚岚, 郑晓燕. 走向零能耗[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008: 2.

⑦ Jones M. Zero Carbon by 2011: Delivering Sustainable Affordable Homes in Wales [C] // PLEA 2008-25th conference on passive and low energy architecture, PLEA 2008, 2008: 460.

⑧ 张神树, 高辉. 德国低/零能耗建筑实例解析[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007: 5 - 6, 122.

建建筑大于 1 500 m² 必须满足 nZEB 建筑能源要求,2019 年(公共建筑 2017 年)开始新建建筑大于 350 m² 必须满足 nZEB 建筑能源要求,2020 年所有其他新建建筑实现 nZEB 建筑。

日本,2009 年 4 月日本提出加速发展零能耗建筑,日本经济产业省为了研讨实现建筑物 ZEB 建筑化的具体路线,2009 年 5 月成立了“关于实现与拓展 ZEB 建筑的研究会”历经 8 次之多的认真细致研讨,2009 年 11 月提交了《关于建筑物 ZEB 化新展望的提案和对策》建言,《Construction Economy》2013 年第 5 期(总第 367 期)中提及 2010 年 6 月日本内阁会议决定的“能源基本计划”中确定的目标是:楼宇等建筑物到 2020 年新建公共建筑物实现 ZEB 建筑,2030 年全部新建建筑物整体上平均实现 ZEB 建筑^①。

综上所述,国外已经开始大力支持 ZEB 建筑研究,并开始取得一定成效,目前发展到如何进行技术应用与推广的阶段。总体有以下特点:

① 国外较为重视零能耗建筑,且发展较为迅速,各国政府通过横向发展专项技术、纵向过程深入集成使得零能耗建筑技术体系进行得较为完善;

② 政策层面导向工作不断加大,通过制定多角度的经济激励政策和制度措施来推进零能耗建筑的发展,甚至采取了行政手段强制推进零能耗建筑发展;

③ 从单体零能耗建筑逐步向社区零能耗展开探索,从点向面域过渡。

主要问题是虽然在政策上开始加大力度实现 ZEB 建筑推广,但从具体实施上看,各国开始积极建构符合各自国情和气候特点的零能耗评价体系,还未明确建立具体条件的设计标准、评价体系。

(2) 相关研究状况

目前,对于零能耗建筑的探索与研究越来越受国外的重视,发表的研究文献也在逐年增多,近几年发展较为迅速。综合国外研究文献发现,现阶段主要处于对能效、能源利用技术方面的探索居多。

最早提及零能耗建筑的文献是 1976 年瑞士 CKW 电力公司的 Locher W 在其文献《电制热对建筑技术发展的影响》中提到了零能耗住宅^②。1977 年,丹麦的 Esbensen T V 等^③和 Dattel Ctibor 等^④在丹麦科技大学一层家庭实验太阳能建筑(Nul-energi-hus)的制冷-热系统研究文献中也开始提及了“零能耗建筑(住宅)”。

① 运行监测协调局. 日本公布零能耗建筑(ZEB)研究报告书[R]. 北京:中华人民共和国工业和信息化部,2009-12-21.

② Locher W. The influence of electrical heating on the development of building techniques[J]. Elektrizitaetsverwertung, 1976, 12(51): 344 - 351.

③ Esbensen T V, Korsgaard V. Dimensioning of the Solar Heating System in the Zero Energy House in Denmark[J]. Solar Energy, 1977(12): 195 - 199.

④ Dattel Ctibor. Construction and Heat Balance of the Solar House in Nul-Energi-Hus (House with Zero Energy)[J]. Elektrizitaetsverwertung, 1977, 7(66): 415 - 418.

自此以后国际上对此类建筑的探讨开始不断出现。

2008年,国际能源署正式提出倡导发展并网零能耗太阳能建筑,标志着对该领域研究真正展开。

2010年,欧盟能源委员会的节能建筑性能指令(EPBD)提出了近零能耗建筑指导,推进了零能耗建筑进一步发展。

国际上关于零能耗建筑的定义或含义一直以来有着不同的描述,总体对零能耗建筑有以下几种界定形式:

① 近(或近并网)零能耗建筑(Nearly Zero Energy Building/nZEB, Nearly Net Zero Energy Building/nNZEB),参考欧洲建筑能源性能指令(EPBD2010)中的涵义,该类型建筑系统指的是经过成本优化后,建筑能耗最小,此类建筑能耗一般接近于0且大于0 kWh/(m²·a)初级能源,供能系统为并网形式或高节能性能参数建筑。

2011年,欧洲联盟的制热、通风和空调协会(REHVA)在欧盟能源委员会的倡导下每隔一年对nZEB建筑技术进行了补充定义和修订;REHVA的副主席Kurnitski J教授等^①基于2010年欧盟能源委员会对nNZEB建筑提出的定义,对其进行了补充和完善,提出了应以初级能源为指标,参考能源计算框架,包括并网能量传递系统的边界、标准的能源输入数据、年已用能量测试与计算、输送的初始能源影响因子,并需在EPBD标准下研究能源需要与系统计算规则方法。2013年,他又为nZEB建筑提出了技术定义^②,目的是建立统一的认识。

2012年,德国伍珀塔尔大学的Voss K教授等^③针对各国零能耗建筑的定义目标不同导致没有统一标准的状况,提出了应从物理与平衡边界、权衡系统、平衡类型、动态特性几个方面来研究零能耗建筑,并利用图表的形式表达了nNZEB建筑、NZEB建筑与产能建筑的关系(图1.6)。

2013年,葡萄牙国家能源与地理重点实验室的Oliveira等^④研究了地中海气候的近零能耗住

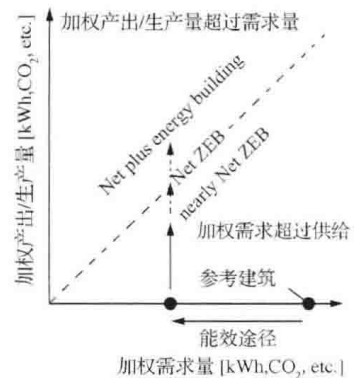


图 1.6 nZEB 建筑与 NZEB 建筑的关系 (图片来源:作者整理自绘)

① Kurnitski J, Allard F, Braham D, et al. How to Define Nearly Net Zero Energy Buildings nZEB: REHVA proposal for uniformed national implementation of EPBD recast[J]. REHVA Journal, 2011, 48(3): 6 - 12.

② <http://www.rehva.eu/publications-and-resources/hvac-journal/2013/032013/technical-definition-for-nearly-zero-energy-buildings/>.

③ Voss K, Sartori I, Lollini R. Nearly-zero, Net zero and Plus Energy Buildings[J]. REHVA Journal, 2012, 12: 23 - 27.

④ Oliveira Panão M J N, Rebelo M P, Camelo S M L. How low should be the energy required by a nearly Zero-Energy Building? The load/generation energy balance of Mediterranean housing[J]. Energy and Buildings, 2013, 61: 161 - 171.