

100% NEW / RENEWABLE ENERGY

100% 新能源与 可再生能源城市

姜 伟 著

100% NEW ENERGY AND RENEWABLE ENERGY CITY

- 不是所有城市都适合走 100% 新能源与可再生能源城市之路，
但未来，必然有越来越多的城市转向走 100% 新能源与可再生能源城市之路



社会科学文献出版社
SOCIAL SCIENCES ACADEMIC PRESS (CHINA)

 中国社会科学院创新工程学术出版资助项目

100%

100% 新能源与 可再生能源城市

100% NEW ENERGY AND
RENEWABLE ENERGY CITY

娄 伟 著



社会科学文献出版社
SOCIAL SCIENCES ACADEMIC PRESS (CHINA)

图书在版编目(CIP)数据

100% 新能源与可再生能源城市/娄伟著. —北京: 社会科学文献出版社, 2015. 4

ISBN 978 - 7 - 5097 - 6924 - 9

I. ①1… II. ①娄… III. ①城市 - 新能源 - 能源管理 - 研究 ②城市 - 再生能源 - 能源管理 - 研究 IV. ①F206

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 297628 号

100%新能源与可再生能源城市

著 者 / 娄 伟

出 版 人 / 谢寿光

项目统筹 / 恽 薇

责任编辑 / 蔡莎莎

出 版 / 社会科学文献出版社·经济与管理出版分社 (010) 59367226

地址: 北京市北三环中路甲 29 号院华龙大厦 邮编: 100029

网址: www.ssap.com.cn

发 行 / 市场营销中心 (010) 59367081 59367090

读者服务中心 (010) 59367028

印 装 / 三河市尚艺印装有限公司

规 格 / 开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 31.5 字 数: 497 千字

版 次 / 2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷

书 号 / ISBN 978 - 7 - 5097 - 6924 - 9

定 价 / 129.00 元

本书如有破损、缺页、装订错误, 请与本社读者服务中心联系更换

 版权所有 翻印必究

不是所有城市都适合走 100% 新能源与可再生能源城市之路，但未来，必然有越来越多的城市转向走新能源与可再生能源城市之路！

前 言

新能源与可再生能源城市是近年来国内外很多城市建设的一个重要方向。新能源城市是指交通、建筑与工业等方面的能源消费以新能源为主要能源来源的城市。可再生能源城市则是指能源消费以可再生能源为主的城市。新能源城市不仅使用可再生能源，也使用核能等新能源，因此，新能源城市包含可再生能源城市。

由于中国大多数城市能耗较大，单纯依赖可再生能源难以满足其能源需求，因此，中国一般提“新能源城市”；而欧美一些城市由于比较排斥核能，因此，更多地强调建设“可再生能源城市”。

近年来，国际上一些国家积极开发利用可再生能源，特别是德国、丹麦等一些欧美国家甚至提出了实现 100% 利用可再生能源的目标，更有大量城市明确提出了建设 100% 可再生能源城市的目标，有少数城镇业已实现了 100% 利用可再生能源。

在 2009 年全球瞩目的哥本哈根会议上，中国承诺“到 2020 年单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 40% ~ 45%”。为实现这一发展目标，中国各个城市开始积极开发新能源与可再生能源。近年来，中国很多城市争相打造“太阳能城市”“可再生能源建筑应用示范城市”“风能城市”“新能源城市”“新能源汽车示范城市”“低碳城市”等。国家能源局也将新能源城市建设纳入“十二五”可再生能源规划，计划建设 100 座新能源城市和 1000 个新能源示范园区，来推动新能源技术在城市中的规模化应用。

在中国，一些城市也开始“100% 新能源与可再生能源城市”“零碳

城市”等方面的实践与探索，如上海崇明“东滩生态城”等。

面向未来，随着化石能源的日益枯竭，中国城市能源将逐步转向新能源与可再生能源。到 2030 年、2050 年前后，将有一批城市实现 100% 利用新能源与可再生能源。特别是那些可再生能源资源丰富且偏远的小城镇或孤岛将更早走向 100% 可再生能源城镇之路。

但目前，由于缺乏经验，以及缺少标准等因素的制约，中国新能源城市建设大都处于“三无”（无确切内涵、无标准、无政策）状态，100% 新能源城市建设更是处于空白状态，亟待理论与方法的支持。因此，研究 100% 新能源与可再生能源城市建设的理论、方法与实践具有较强的理论与现实意义。

100% 新能源与可再生能源城市能否实现？

如果能，何时能实现？如何成为现实？怎样规划与建设？理论基础又是什么？

这些问题都是本书要回答的主要内容。

本书立足于学术前沿，着眼于基础研究，服务于现实需要，从研究进展、建设现状、理论基础、规划方法、建设模式、典型案例等多个层面系统研究分析了 100% 新能源与可再生能源城市。

在国际上，100% 新能源与可再生能源城市的研究与实践都具有前沿性，是面向未来城市的一个研究领域，因此，很多理论与实践都具有很大的争议。本书深入研究了该领域的最新思潮、动态及争论，有利于读者全面了解与把握该领域的现状与走势。

100% 新能源与可再生能源城市建设需要基础理论的支持。笔者进行了大量基础研究工作，几乎查阅了该领域所有代表性的文献，并进行了大量的引用，在此基础上，对该领域的相关理论与方法进行了系统的归纳分析，并创新性地提出了一些自己的观点。如对 100% 可再生能源城市内涵的界定，以及对建设模式的归纳等。

研究各种理论与方法的最终目的都是要服务于现实需要。该书的主要定位是为中国建设新能源与可再生能源城市工作提供研究支持，因此，归纳了大量国外案例，系统分析了相关经验，总结出多种类型的建设模式，并适应现代人“读图”的阅读习惯，以图文并茂的形式予以表现。

本书主要面向关注新能源与可再生能源在城市中应用的相关人士，既能为研究领域的专家学者提供研究参考，也能为实践和应用领域的政府官员、规划师提供具体的操作指导，还能对该领域感兴趣的广大读者提供大量有价值的信息。

由于作者水平有限，书中肯定存在一些疏漏及不足之处，敬请广大读者批评指正。

作 者

2015 - 3 - 15

目录

CONTENTS

第一章 100% 可再生能源城市研究	1
第一节 100% 可再生能源研究	2
第二节 代表性的 100% 可再生能源研究成果	18
第三节 100% 可再生能源城市研究	38
第二章 100% 可再生能源城市建设	49
第一节 100% 可再生能源城市模式	50
第二节 提出 100% 可再生能源目标的区域与国家	61
第三节 提出 100% 可再生能源目标的城市	77
第三章 100% 可再生能源城市规划方法	123
第一节 规划理念	124
第二节 规划方法与重点	130
第三节 典型案例	151
第四章 100% 可再生能源电力城市	165
第一节 可再生能源电力与城市	166

第二节	100% 可再生能源电力城市	189
第三节	典型案例	212
第五章	100% 新能源与可再生能源城市交通	221
第一节	新能源与可再生能源交通	222
第二节	100% 新能源城市交通	249
第三节	新能源汽车	268
第六章	100% 可再生能源城市供热制冷	292
第一节	可再生能源与城市供热制冷	293
第二节	100% 可再生能源城市供热制冷	321
第三节	可再生能源供热与制冷的主要技术	329
第七章	100% 可再生能源建筑	342
第一节	可再生能源建筑	343
第二节	100% 可再生能源建筑	358
第三节	零碳建筑	384
第八章	中国新能源城市建设	402
第一节	新能源城市	403
第二节	中国新能源示范城市建设	419
第三节	中国 100% 新能源城市建设	481

第一章

100% 可再生能源城市研究

联合国环境规划署 2012 年发起的资源节约型城市全球倡议认为,目前,全球超过一半人口居住在城市,使用了 80% 的世界资源。预计到 2050 年,城市人口比例将高达 80%。城市占有 3% 的土地面积,产生了 50% 的全球废物,排放了 60% ~ 80% 的全球温室气体,消耗了 75% 的自然资源,创造了 80% 的全球 GDP。

建设可再生能源城市是应对能源危机及气候变化压力的重要路径。建设 100% 可再生能源城市,既是化石能源日益枯竭背景下的必然选择,也是可再生能源城市建设的重要目标。

目前,欧洲很多城市都提出了建设 100% 可再生能源城市的目标,欧盟也是 100% 可再生能源城市最积极的推动力量。主要原因在于,欧洲能源政策的三个基本目标是竞争力、安全性和碳中和。^① 100% 可再生能源以及 100% 可再生能源城市目标的确立,是欧洲能源政策目标的具体体现。

实现 100% 可再生能源诉求,无论对于国家,还是对于城市来说,都是很大的挑战。由于标准高,难度大,缺乏可以参考的成功经验,迫切需要相关理论与方法的支持。在 100% 可再生能源成为一些国家及大量城市的发展目标后,100% 可再生能源实现的可能性及路径也逐步成为欧美国

^① PricewaterhouseCoopers, "100% Renewable Electricity: A Roadmap to 2050 for Europe and North Africa", 2010.

家近年来的一个研究热点。

系统分析国际上相关研究成果及进展,有利于我们深入认知 100% 可再生能源这一命题,正确把握 100% 可再生能源城市的研究背景。本章全面归纳了国际上关于 100% 可再生能源及 100% 可再生能源城市方面最新的研究成果,深入分析了正反双方的主要观点及论据。

第一节 100% 可再生能源研究

一 100% 可再生能源

国际能源机构(IEA)对可再生能源的定义如下:可再生能源是起源于可持续补给的自然过程的能量。它的各种形式都是直接或者间接地来自太阳辐射能、地热能或潮汐能,包括太阳能、风能、生物质能、地热能、水力能等,以及由可再生资源衍生出的生物燃料和氢所产生的能源^①。

可再生能源和化石能源相比,虽然具有资源丰富、可再生和环境污染小等优点,但它们还具有以下缺点:能源密度较低,并且较为分散;太阳能、风能、潮汐能等具有随机性和间歇性;目前可再生能源开发利用的技术难度较大,经济性很难与煤炭等化石能源相比。但随着化石能源日益枯竭及气候变化压力日益增大,开发利用可再生能源成为越来越多的国家、区域和城市的选择。100% 可再生能源也成为一些国家及城市在能源领域的新的发展目标。

“100% 可再生能源”是指零化石燃料或核能燃料^②,是可再生能源城市的最高级形态。从狭义上理解,可再生能源应完全覆盖建筑、交通、工业三大领域的能源消费,但输入货物的能耗被排除在外。但从广义上理解,实现 100% 可再生能源的领域可以涵盖建筑、交通、工业等所有能源消费领域,也可以是一个层面或领域,如 100% 可再生能源电力城市、100% 太阳能城市等。

① IEA, “Renewable Energy”, <http://www.iea.org/aboutus/faqs/renewableenergy/>.

② “100% Renewable Energy for Cities”, <http://www.futurepolicy.org/2801.html>.

100% 可再生能源不仅意味着用可再生能源替代化石能源,也意味着提高能源利用效率,减少能源消费。推动 100% 开发利用可再生能源,不仅要立足于应对气候变化、减少碳排放、改善环境,也应有助于减少贫困、创造就业机会、改善人们的健康状况。否则,100% 可再生能源就难以持续。可以说,100% 可再生能源不仅意味着能源替代,也意味着生活方式和消费模式的变化。

对于 100% 可再生能源目标,一些人认为这是“乌托邦”,难以实现。但国际上的实践及理论研究都证明,100% 可再生能源目标在一定范围内是可以实现的,也是未来新能源与可再生能源开发利用的重要趋势之一。

专栏 1-1 可再生能源资源的特点

人类开发利用后,在相当长的时间内不可能再生的自然资源叫不可再生资源。主要指自然界的各种矿物、岩石和化石燃料,例如泥炭、煤、石油、天然气、金属矿产、非金属矿产等。传统化石能源也是不可再生资源,主要包括煤、石油、天然气等。

通过天然作用或人工活动能再生更新,而为人类反复利用的自然资源叫可再生资源,又称为更新自然资源,如土壤、植物、动物、微生物和各种自然生物群落、森林、草原、水生生物等。可再生能源是指除常规化石能源和大中型水力发电及核裂变发电之外的生物质能、太阳能、风能、小水电、地热能和海洋能等一次能源以及氢能、燃料电池等二次能源。

可再生能源共同的特点主要有以下几点。

(1) 能量密度较低,并且高度分散。大部分可再生能源具有分散的地域性特点,其能源产品的生产受市场开拓率的影响较不可再生能源大,从而限制了可再生能源资源的利用率。因此,在资源评价时,要与当地市场的常规能源供应情况相结合,以确定合理的经济开发量。

(2) 资源丰富,可以再生。可再生自然资源在现阶段自然界的特定时空条件下,可定期再生。因此,可再生能源资源可利用总量不存在上限。在资源评价时,应采用资源拥有量来衡量地区的能源资源供应潜力,

以区别于不可再生能源的储量概念。

(3) 清洁干净,使用中几乎没有损害生态环境的污染物排放。可再生能源是一类干净、无污染的能源,在人类对环境保护日益重视的今天和未来,它们将是可持续发展中高含碳燃料的重要替代能源,具有广阔的发展潜力。

(4) 太阳能、风能、潮汐能等资源具有间歇性和随机性。

(5) 开发利用的技术难度大。可再生能源的利用量与将其转换为有用能源的生产技术水平密切相关,脱离转换技术的限制,单纯度量可再生能源资源理论储量对能源规划而言是没有用处的。因此,从能源规划角度分析和估计它们的资源供应数量时,必须估计在这种资源利用的技术经济条件下真正可能利用的数量范围。例如,某一地区的太阳能利用的资源数量,不仅取决于该地区的太阳辐射强度,更主要取决于把它转换成热能和光电的技术水平和它的投资费用。

(6) 可再生能源的利用也不是无限制的,它受到现实条件的制约。如薪材的开采应该以不破坏生态环境为条件。有的情况下生产率的限制来自能源利用设备的技术性能,例如,风力发电机的效率限制了风力所提供的动力和发电量。此外,新能源和可再生能源开发水平还直接受制于市场条件。例如,家庭用太阳能热水器的供应受制于愿意购买此种热水器用户的数量。

二 100%可再生能源研究综述

当前,全球面临越来越大的能源安全压力及应对气候变化压力。有估算数据显示,全球石油储量的使用年限共计 40.5 年,中国为 12.1 年;全球煤炭储量的使用年限共计 150 年,中国为 50 年;全球天然气储量的使用年限共计 63.3 年,中国为 41.8 年。尽管国际上对于化石能源枯竭的时间有很大的争议,但化石能源资源将逐步走向枯竭则是不争的事实,只是时间问题而已。

在传统化石能源资源濒于枯竭,以及气候变化问题日益突出的大背景下,世界未来能源利用模式是研究的热点领域。其中,对于 100% 可再生

能源的研究也大量出现。

国际上 100% 可再生能源的研究主要有以下几类。

一是研究报告,从全球、欧盟、国家、城市、专项等多个层面研究了 100% 可再生能源的可行性及实现路径。代表性研究报告见表 1-1。

表 1-1 国外代表性的 100% 可再生能源研究报告

研究视角	报告名	作者及时间	主要结论
全球或 欧盟	The Energy Report: 100 Percent Renewable Energy by 2050	World Wide Fund for Nature (WWF), February 4, 2011	到 2050 年全球能源需求的 95% 能够由可再生能源满足
	Putting the EU on Track for 100% Renewable Energy	World Wide Fund For Nature (WWF), February 2013	为实现 2050 年 100% 可再生能源目标,该研究提出了欧美 27 国到 2030 年需要实现的具体目标
	Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (SRREN)	Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2011	到 2050 年可再生能源最高将能够供应全球 80% 的能源
	RE-thinking 2050	European Renewable Energy Council (EREC), 2010	欧盟有望于 2050 年实现能源的全部可再生
	EU Energy Evolution-Towards a Fully Renewable Energy Supply in the EU27	Greenpeace and EREC, July 8, 2010	主要研究能源供给情景及欧盟 27 国未来可再生能源开发情景
国 家	100% Renewable Electricity Supply by 2050	German Advisory Council on the Environment (SRU), 2011. 1	到 2050 年,德国电力 100% 由可再生能源供应是可能的
	Beyond Zero Emissions. Zero Carbon Australia Stationary Energy Plan	University of Melbourne Energy Research Institute, 2010	在未来 10 年之内(从 2010 年开始),澳大利亚实现零排放,并不存在技术上的障碍,利用现有的技术,并且只使用太阳能及风能就可满足全国的能源需求
	Towards 100% Renewable Energy in Belgium by 2050	VITO, the Federal Planning Bureau, consultancy firm ICEDD, 2012	2050 年比利时完全依赖可再生能源的计划是非常雄心勃勃的,但也是有可能实现的

续表

研究视角	报告名	作者及时间	主要结论
国 家	Zero Carbon Britain 2030	Centre for Alternative Technology (CAT), 2010	提出了一条至 2030 年实现碳中和的路径。报告突出风能对英国碳减排的重要作用。英国目前现有和计划中的海上风能项目居世界第一位
	Energy Plan Climate Plan	IDA, 2006 IDA, 2009	丹麦第一个 100% 可再生能源研究报告是 IDA2006 年所做的《能源规划》。2009 年的《气候变化》是其升级版, 目标是研究 2050 年实现 100% 可再生能源的路径
城 市	100% Renewable Energy— and Beyond—for Cities	World Future Council, 2010	该报告系统介绍了 100% 可再生能源城市的基本理念、具体规划方法及政策措施
	几乎每个提出建设 100% 可再生能源目标的城市都有相应的研究报告, 由于数量较多, 这里不再一一介绍		
专 项	100% Renewable Electricity: A Roadmap to 2050 for Europe and North Africa	Pricewaterhouse Coopers, 2010	提出欧洲与北非走向 100% 可再生能源电力的路线图
	Heading for 100% Renewable Urban Transport	World Future Council	分析 100% 可再生能源交通的现实需要、战略与政策支持
	2020 - 2030 - 2050 Common Vision for the Renewable Heating & Cooling Sector in Europe	European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling (EU-RHC-Platform), 2011	到 2050 年之前, 生物质能、地热能、太阳热能和热泵一起可以满足欧盟 100% 的供热和制冷需求

二是研究专著。相关研究专著数量不多, 但研究的内容相对全面, 从理论与实践, 再到具体的规划方法都有所涉及。代表性的专著如下。

列支敦士登大学的 Peter Droege 教授 2011 年出版的专著——*100% Renewable-Energy Autonomy in Action*, 该书主要研究了 100% 可再生能源的基本目标、可行性、政策路径、可再生能源交通、100% 可再生能源社

区等。

丹麦奥尔堡大学能源规划专业教授 Henrik Lund 博士于 2009 年出版的专著 *Renewable Energy Systems: The Choice and Modeling of 100% Renewable Solutions* 一书。该书从技术和社会两个方面深入探讨了一个国家如何实现从化石能源系统向可再生能源系统的转型, 以及如何使用 100% 可再生能源。

三是研究论文。相关研究论文数量较多, 内容涉及 100% 可再生能源的理念、实践与建设方略等多个方面。

其中, 影响较大的是斯坦福大学的学者 Mark Z. Jacobson 和 Mark A. Delucchi. 发表在 2009 年 11 月出版的 *Scientific American* 上的 “A Path to Sustainable Energy by 2030” 一文。

通过网站 <http://www.sciencedirect.com> 检索 “100% renewable” “Zero Carbon” 等关键词, 可以发现大量相关研究论文, 这里不再一一赘述。

四是有一些组织及机构积极推动 100% 可再生能源工作, 并推出大量相关研究成果。

欧洲可再生能源协会 (EUROSOLAR), 是一个非营利性组织, 成立于 1988 年, 其使命是致力于推动可再生能源完全取代核能和化石能源。

欧洲可再生能源理事会 (European Renewable Energy Council, EREC)、绿色和平组织 - 欧洲单位 (Greenpeace-European Unit) 等机构建立的专门传递 100% 可再生能源信息的网站: <http://www.100percentrenewables.eu/>。

全球能源网络学会 (Global Energy Network Institute, GENI) 进行了大量 100% 可再生能源方面的研究, 其发布的多部报告分别研究了智利、中美洲、法国、德国、西班牙、日本、韩国、澳大利亚及一些岛屿实现 100% 可再生能源的可能性。

可持续能源国际网络 (International Network for Sustainable Energy, INFORSE) 开发了一个 “Vision 2050” 全球情景模型, 从 2010 年开始, 分析了多个国家和地区实现 100% 可再生能源的可能性及路径。

“Go 100%” 是一个全球性的志愿性质团体, 该组织的网站为

<http://www.go100percent.org/cms>。该组织的目标是：建立一个 100% 可再生能源相关项目及世界各地目标的互动地图；发布相关新闻及社论；提供教育工具；提供讨论平台；推动实践；建立伙伴关系。

国际能源机构（IEA）、世界未来理事会（World Future Council）等机构在 100% 可再生能源方面也做了大量的研究。其中，欧洲可再生能源协会是一个非营利性组织，成立于 1988 年，其使命是致力于推动可再生能源完全取代核能和化石能源。

2011 年 10 月 6 ~ 8 日，第一届国际 100% 可再生能源会议在土耳其伊斯坦布尔举行。会议由欧洲可再生能源协会土耳其分会主办，旨在探讨全球能源政策，探索全球由传统能源向可再生能源过渡的解决方案，参会人员涉及政府官员、学者、企业家、经济学家、金融学家、建筑师、工程师等。

2012 年 6 月 28 ~ 30 日第二届国际 100% 可再生能源会议在土耳其伊斯坦布尔召开，这次会议的主题包括可再生能源供应技术、风力发电、太阳能发电、太阳能热、生物质能、地热能、零耗能房屋、碳零排放城市和国家、可再生能源储能及智能电网技术、能源终端使用能效（建筑、工业和运输）、能源政策、法律框架、决策支持模式、能源和环境（能源部门的社会成本）、本地可再生能源自给自足和能效、可再生能源投资和融资模式和能效、100% 可再生能源的能力建设和培训、气候变化和温室气体缓解及适应、能源生产及消耗与自然和谐、社区供电等。

第三届国际 100% 可再生能源会议（IRENEC 2013）于 2013 年 6 月 27 ~ 29 日在土耳其伊斯坦布尔举行。这次会议主题包括：100% 能源替代、政治经济学；转换到 100% 可再生能源、能源终端使用效率；100% 转换、建筑环境；来自可再生能源（风能、太阳能、地热能、生物质能发电和供热）；智能电网；当地政府与社区权力。

第一次在北美举办的 100% 可再生能源国际会议，于 2013 年 4 月 16 日在美国旧金山举办，180 多位来自各界的专家、官员、企业领袖参加了会议。

中国对于 100% 可再生能源的研究较少，主要是对国外 100% 可再生能源建设实践的介绍，以及对少数国外研究报告及专著的翻译。