



国家重点基础研究发展计划“973计划”项目
大规模非并网风电系统的基础研究(2007CB210300)
2015年国家发展和改革委员会优秀研究成果一等奖

大规模非并网风电系统 理论与实践

**Theory and Practice of Large-scale
Non-grid-connection Wind Power System**

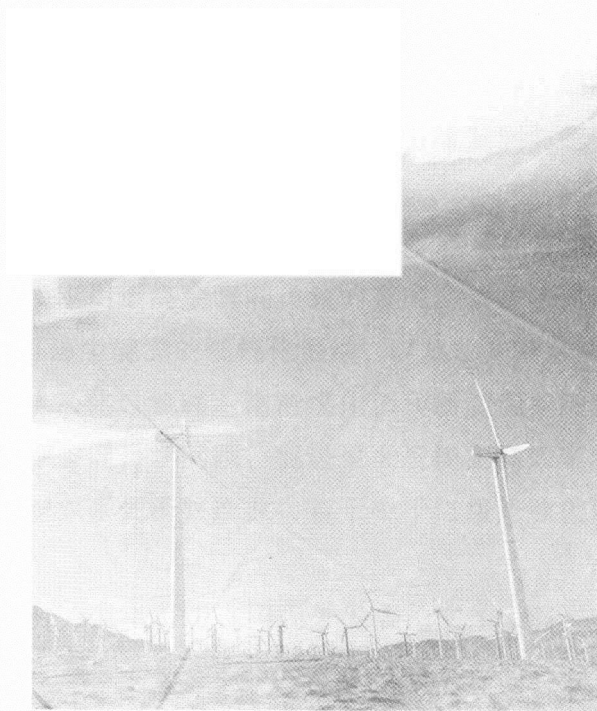
 江苏人民出版社

顾为东 主编

国家重点基础研究发展计划“973计划”项目
大规模非并网风电系统的基础研究(2007CB210300)

大规模非并网风电系统 理论与实践

顾为东 主编



 江苏人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

大规模非并网风电系统理论与实践 / 顾为东主编. —南京:
江苏人民出版社, 2013. 12

ISBN 978 - 7 - 214 - 11438 - 9

I. ①大… II. ①顾… III. ①风力发电系统—研究
IV. ①TM614

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 297463 号

书 名	大规模非并网风电系统理论与实践	
主 编	顾为东	
责 任 编 辑	王翔宇	
装 帧 设 计	许文菲	
出 版 发 行	凤凰出版传媒股份有限公司 江苏人民出版社	
出版社地址	南京市湖南路 1 号 A 楼, 邮编: 210009	
出版社网址	http://www.jspph.com http://jspph.taobao.com	
经 销	凤凰出版传媒股份有限公司	
照 排	南京理工大学资产经营有限公司	
印 刷	江苏新华柏印务有限公司	
开 本	889mm×1194mm	1/16
印 张	42	插页 144
字 数	650 千字	
版 次	2013 年 12 月第 1 版 2016 年 1 月第 2 次印刷	
标 准 书 号	ISBN 978 - 7 - 214 - 11438 - 9	
定 价	450.00 元	

(江苏人民出版社图书凡印装错误可向本社调换)

版权所有 侵权必究

编委会名单

主 编：顾为东

副 主 编：胡 骏 周 波 张卓然

龚春英 王兆文 蒋东翔

方创琳 方 敏

国家“973 计划”非并网风电项目简介

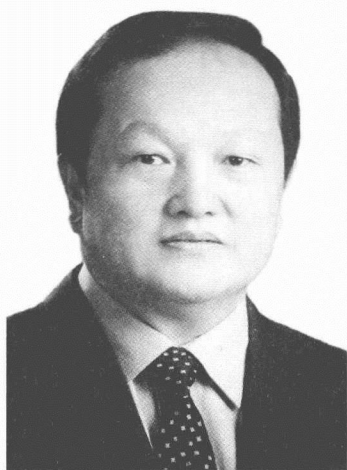
2007 年 7 月，在国家科技部、国家发展改革委和江苏省发展改革委、科技厅的关心支持下，由顾为东博士担任项目首席科学家的“大规模非并网风电系统的基础研究”（2007CB210300）项目获得国家 973 计划的立项。这是国家 973 计划能源领域第一个风电研究项目。

项目基于国内外首创的“非并网风电理论”，由清华大学、中国科学院、东北大学、南京航空航天大学、江苏省宏观经济研究院等院校合作，组成 3 名院士、7 个课题组、4 个国家重点实验室和 68 位研究骨干组成的国家级团队。并在国家科技部的安排下，组成倪维斗院士为组长、11 位专家的专家组，组成以黄其励院士为组长、3 位专家的项目跟踪组。项目经过 5 年奋力攻关，取得一系列重大理论和实证研究成果。

项目最大的特色和创新，是以基础科学研究紧紧围绕国家经济与社会重大发展战略的制约瓶颈进行研究，探索运行规律、弄清形成机理和梳理耦合关系，来凝炼解决矛盾的钥匙。为我国可再生能源高效、规模化发展以及高耗能产业功能升级和绿色、可持续发展奠定了基础理论和产业基础。

项目实现风电、太阳能等可再生能源以多能互补方式、各自独立、智能化协同、直接应用于终端智能负载的方案，解决了风能、太阳能等波动性、间歇性可再生能源的规模化消纳，以及非并网多能源与电解铝、规模化制氢、海水淡化、氯碱、清洁煤化工和新能源单细胞蛋白等高耗能负载协同运行等关键科学问题，促进更大规模更高效利用可再生能源，为非并网多能源系列新兴产业、若干个千亿级产业发展奠定了重要基础。

通过五年的努力，项目组在国内外发表论文 361 篇，其中 SCI 收录 27 篇、EI 收录 244 篇，出版著作 3 部，国家技术发明二等奖 1 项，申请发明专利 93 项，获得授权 35 项，培养博士后 9 名、博士研究生 27 名、硕士研究生 85 名，圆满地完成了项目计划。



顾为东

主编简介：

顾为东，江苏省宏观经济研究院院长、江苏省发改委政策研究室主任，研究员、博士，南京大学教授、首席研究员、江苏省非并网风电与高载能工程实验室主任，中国第一位国家973计划能源领域风能项目（“大规模非并网风电系统的基础研究”2007CB210300）首席科学家。

长期致力于宏观经济发展战略、产业经济、金融改革和新能源等领域的研究工作。坚持探索、实践宏观经济发展战略为导向、自然科学成果为支撑的融合研究，创造性地提出非并网多能源协同理论体系，解决可再生能源规模化消纳、非并网多能源与高耗能负载协同运行等理论与实践问题。主持和参与完成20余项国家、中外政府间合作及省重大经济社会发展课题和项目研究，其中主持国家发改委重大软科学研究项目4项。主持完成的成果中有3项成为国家战略，4项成为省发展战略。

先后被授予“江苏省先进科技工作者”、“江苏省新长征突击手标兵”、“全国新长征突击手”称号，江苏省五届人大代表。

先后获国家发展改革委优秀研究成果奖一、二等奖7项，省部级科技进步一、二等奖3项，江苏省发展改革委系统优秀研究成果一、二等奖16项。出版论著7部，其中3部获江苏省人民政府奖励，4部获国家发改委奖励。已授权国家发明专利12项、美国日本发明专利各1项，软件著作权2项，国家标准重要内容1项。发表论文100余篇，其中SCI、EI收录论文21篇。

前 言

随着世界经济特别是工业化的快速发展，全球能源、环境、气候变化问题日益突出，已成为各国面临的共同挑战。

《大规模非并网风电系统理论与实践》一书试图以风资源为突破口，撬动高耗能工业低碳化、煤炭利用清洁化、淡化水资源可持续化和多能源协同供电系统分布化的杠杆，推动中国和世界经济向低碳化、可持续化发展。

2007年，国家重点基础研究发展计划(973计划)《大规模非并网风电系统的基础研究》项目(2007CB210300)获批立项，由顾为东研究员担任首席科学家，这是973计划能源领域第一个风电研究项目。

项目由清华大学、中国科学院、东北大学、南京航空航天大学、江苏省宏观经济研究院等院校共同承担，项目共分7个课题组，3名院士、68位研究骨干、4个重点实验室组成研究团队。倪维斗院士担任项目专家组组长，石定环参事为副组长，杨裕生、施鹏飞、顾为东、汤瑞源、严仰光、严英龙和龚华军等担任项目专家组成员；黄其励院士担任项目跟踪专家组组长，陈霖新和袁振宏担任项目跟踪专家组专家。项目旨在解决国家重大战略需求中的重大科学问题，提升科技自主创新能力，为国民经济和社会可持续发展提供科学依据。经过5年的研究历程，取得一系列理论和实践的研究成果，充分体现原创性和系统创新性，国内外应用前景广阔。

性趣和爱好是最好的老师。顾为东研究员自小热爱科学，对科学充满憧憬，上世纪70年代在农村插队克服重重困难进行了多项科学实验，1978年获得江苏省政府“先进科技工作者”殊荣，“非并网风电”也是顾为东研究员于1980年在家中做实验时发现的一种自然现象，即在特定条件下多种电流不仅可以共

融而且互不干扰，当给予特定的信号源时可以实现按序输出电能的现象，当时根据实验做的线路图，后经我国风电产业发展奠基人戴昌辉教授的指导，构建了多能源协同供电原理性模型，首次提出了“非并网风电”的概念。

当时确定学术名称为“多能源协同”，但为了便于和“离网”、“并网”的区别和内在联系，就简称为“非并网”。经过近 40 年的研究、宣传和实践，“多能源协同”已成为目前分布式电源和智能微网的理论基础。

1980—1986 年期间，顾为东研究员先后在《中国风能》、《江苏工学院学报》、《太阳能学报》等刊物上发表论文，直至 2006 年 3 月 25 日，这一原创理论在清华大学原副校长倪维斗院士、钱易院士以及电力电子实验室主任柴建云教授的支持、协调下，在清华大学电力电子实验室用现代化的设备仪器和严谨的科学方法，重新演示了 1980 年顾为东研究员在家的实验。实验过程中，倪维斗院士、柴建云教授等反复实验，重复实现、验证了多能源协同效果，实验报告认为：“该实验数据准确，方法科学，结果可信。非并网风电直接应用于高耗能产业是一个值得探讨的方向。可在此基础上进一步进行工业性中试”。

这次清华园的验证圆满成功，为发展具有中国特色的风电产业走出了一条创新之路。

30 多年来，顾为东研究员对“非并网风电”理论不断加以充实和完善，提出将非并网风电的应用范围拓展到一些化工和冶炼产业（如制氢、海水淡化、电解铝、氯碱、抽油、风 / 煤多能源系统等）等多元领域，逐步形成了“非并网风电”的理论体系。其主要特点是风电系统的终端负荷不再是传统电网，而是直接应用于一系列能适应风电特性的高耗能产业及其它特殊领域。

2005 年以来，非并网风电理论得到国际风能专家的肯定，世界风能协会主席 Preben Maegaard 先生在 2005 年 11 月在南京召开的构建中国绿色能源之都国际论坛上首次认为这是“顾氏非并网风电理论”，他说“顾氏风电非并网理论在世界上是首创，为风电的应用和推广提供了非常有价值的建议，对其他发展风能的国家也提供了借鉴，顾在 20 年前提出的这一理论，现在仍能领先世界先进水平令我感到震惊，我将到世界各地广泛宣传这一理论”；世界可再生能源理事会主席沃尔夫冈认为大规模风电非并网世界上还没有先例，会使中国在风电发展方面成为世界先进的国家；美国国家可再生能源实验室主任丹·阿维祖认为发展非并网

风电这是一个很有意义的进步和创新，我非常乐意与你们共同开展这方面的研究和咨询。

我国“富煤、少油、缺气”的资源条件，决定了在未来一定时期内中国能源结构以煤炭为主的格局，由于电网结构不具备大规模深度调峰的能力，因此不能照搬国外传统风电并网模式。973 计划《大规模非并网风电系统的基础研究》项目围绕非并网风电系统基本构成和运行规律研究、大规模非并网风电与高耗能产业耦合路径和边界条件的基础研究和大规模非并网风力机设计及控制的基础理论研究三个关键科学问题，主要研究满足定桨距风力机达到变桨距风力机效果、新型兆瓦级双凸极无刷直流发电机高效稳定运行、高耗能特殊负载稳定运行的基础理论问题。同时，科技部还希望项目组在完成基础理论研究的基础上，大胆创新，进行面向国家重大战略需求的实证性研究，对具有自主创新特色系列研究成果要“沿途下蛋”，通过规模化的工业示范和产业化推广，探索我国基础理论研究成果转化为现实生产力的有效途径。

《大规模非并网风电系统理论与实践》一书，是在 973 计划《大规模非并网风电系统的基础研究》项目成果基础上修订完成的。为此，全书共分 9 个章节，具体章节安排为：

第一章“快速发展期的中国风电”，全面梳理了中国风电产业发展的现状、目前亟待解决的主要问题，阐述中国风电产业未来发展趋势以及目标，提出要以多元化模式发展中国大规模风电产业的新思路；

第二章“非并网风电理论体系”对首席科学家顾为东研究员创立的非并网风电理论体系的起源、内涵和对世界风电创新发展的重大战略意义进行论述。同时展望非并网风电产业体系在风电淡化海水、煤碳清洁化与风煤多能源系统的协同发展、风电采油、风电铝一体化等四个方面的广阔前景；

第三章“非并网风电理论在电解工业中的应用探索”，以电解铝、氯碱和制氢三大高耗能产业为例，阐述非并网风电在电解工业中应用的机理和产业基地战略布局。研究结论：一是输入电流密度大幅度波动对电流效率的影响并不明显，即在一定范围内风电电流变化并不影响电流效率：二是电解工业是热容量大的产业，只要掌握电解过程中电场、流场、温度场“三场平衡”的运行规律，负载就能较好地适应风电电流的波动。三是电解工业耗电量大、用电集中的产业，大规

模于应用风电来替代化石能源，有利于节能减排。

第四章“非并网多能源协同供电系统的示范应用”，主要论述非并网多能源协同供电系统在海水淡化、油田抽油等领域的应用。根据非并网风电理论建立的非并网多能源协同供电系统，通过智能控制，将风电、网电、光伏发电等多种能源产生的电能，按一定优先级顺序给负载协同供电。该系统不仅解决了风电等间歇性、波动性问题，而且较分布式电网系统的单一电能输入形式具有更丰富内涵和广泛的应用，实现了多种电能协同供电，做到高效、合理、优化配置和使用能源。

第五章“风/煤多能源系统”，以风电煤化工一体化系统（包括风/煤多能源系统、风/煤制甲醇集成系统、风/煤制乙二醇集成系统）和风电煤清洁利用系统（包括风/煤制天然气集成系统、风/煤液化制油集成系统、）两大系统为研究案例，系统论述将新能源和传统能源相结合，通过“嫁接”，改造和提升传统能源，减少高消耗、高排放，使其更加“绿色”；通过“嫁接”，还可降低成本、扩大使用范围，使新能源得到更好的发展。本章还回答了如何对风/煤多能源集成系统项目开展环境影响评价，提出合理的污染防治措施与对策。

第六章“非并网风力发电系统”，主要分析新一代非并网风力机组采用定桨距风轮、高可控性低速直驱式双凸极发电机，通过控制系统进行集成优化，风力机性能得到质的飞跃，该系统具有高效、高可靠性和低成本的特征。论述高压直流输配电系统及特种负载的特性、建立非并网风电系统的数学模型、进行非并网风电控制系统运行特性的仿真研究等方面开展非并网风电系统的可控性、可观测性和稳定性以及最优控制规律。同时就影响风力发电机安全稳定运行的气固耦合振动问题，提出深入研究风力机故障机理，建立大型风电机组故障模型和动态响应分析的理论方法和适合大型风电机组的状态监测与故障诊断新方法。

第七章“非并网风电产业体系和政策体系”研究认为，构建大规模非并网风电产业体系和政策体系，是风电产业多元化发展的重要保障，本章主要从非并网风电产业体系、产业指标体系、投融资体系和风电政策体系等四个方面深入探讨风电产业体系和政策体系建设的总体思路、指标体系和政策措施。如对非并网风电产业体系的构建思路是，以“非并网风电理论”为依据、以我国风能富集区的大规模风电场建设和运营为重点，涵盖其前向关联度大的风电设备零部件研发和制造、风机组装、电控系统等产业，后向关联度大的有色金属冶金、盐化工、大

规模海水淡化、规模化制氢制氧等高耗能产业，以及侧向关联度大的风机运营维护、风电场观光旅游、风电项目投融资管理、金融保险等产业，构成可涉及三次产业、多方位、多产业链交织的现代综合产业网络体系。

第八章“我国主要非并网风电产业基地建设的区域分布及建设规划”，全面梳理了我国各区域风能资源及空间分布特点，提出主要非并网风电产业基地建设的区域分布及建设规划。我国风能资源丰富地区主要分布在东南沿海及其岛屿风能丰富地带、“三北”（东北、华北、西北）风能丰富地带、内陆局部风能丰富地带和海上风能丰富地带。近30年来，在风能资源丰富区域（长江三角洲地区、环渤海地区、西北地区、中部地区和珠江三角洲地区）建立建设非并网风电产业基地，不仅为我国能源结构调整提供了一种新的电力补充方式，而且为经济与社会、人与自然的和谐可持续发展开拓了一条前所未有的道路。

第九章“海上风电场与非并网风电技术利用”，分析发展海上风力的优势，展望发展海上风电的前景。论述海上风电场具有丰富风资源，不占用耕地，不产生移民等优势，越来越受到国际能源界和开发商的关注。随着风力发电的发展，兆瓦级风力发电机组在近海风力发电场的商业化运行是国内外风能利用的新趋势，海上风力发电场将成为未来发展的重点。将大规模海上风电场与非并网风电系统相结合，可以为高耗能工业提供绿色的、全新生产途径，推动全球产业布局的调整，促进高耗能工业低碳化发展。

本书创新研究成果有：

第一、非并网风电系统基础理论创新。突破现有大功率风力机组必须并网的传统模式，构建大规模非并网风电系统的基础理论，为风电的大规模和高效、低成本经济利用走出新的道路。

第二、非并网风电系统负载适应性理论创新。针对非并网风电系统负载的非线性特点，构建适应性理论，使得高耗能产业和大规模蓄能应用工程在非并网风电系统中得到成功应用。

第三、风力发电机系统集成创新。对非并网风力机组的定桨距风轮、高可控性的低速直驱式双凸极直流发电机及控制系统进行集成，大幅度地简化了控制系统。使该系统的定桨距风力机达到变桨距风力机的性能，创造出新一代的风力发电机系统。

第四、社会科学与自然科学相融合的研究方法创新。突破传统的研究方法，充分体现自然科学与社会科学融合研究的特色，在“非并网风电”的产业化方面进行了大量探索，在新能源的高效低成本规模化应用、淡水资源的可持续利用、高耗能产业低碳化、煤炭的清洁化利用等方面，都进行了验证平台的工程化（示范）。

在研究过程中，得到了很多领导和专家的高度关注和肯定。全国政协副主席、科技部部长万钢，全国政协主席、原中国工程院院长徐匡迪，中国工程院院长周济，科技部副部长曹健林，国家发展改革委原副主任、中国宏观经济学会会长房维中等领导专家高度肯定项目研究成果。同时，国务院参事、中国可再生能源学会理事长石定环，清华大学原副校长倪维斗院士，解放军防化研究院杨裕生院士，解放军理工大学王景全院士，二炮工程设计院候立安院士，世界风能协会主席、中国风能协会理事长贺德馨，国家发展改革委宏观经济研究院原院长白和金，中国风能协会副理事长施鹏飞，中国能源学会副会长周凤起等专家在项目研究过程给予了悉心指导和热情帮助，在此表示衷心感谢。

经过 30 多年的理论研究和实践，“非并网风电”理论体系逐步得到国内外科学界和企业界的广泛认同。自 2008 年起，已连续召开 7 届“世界非并网风电与能源大会”，大会发表 EI 检索论文 420 余篇，受到了来自国内外理论界和企业代表的认知和肯定。2011 年在埃及召开的第 10 届“世界风能大会”上专设非并网风电分会场；谷歌（google）设立“非并网风电”英文专有名词在全球范围使用；由世界风能学会主席麦加德先生历时 4 年主编的《世界风能》巨著，专辟非并网风电栏目，用 39 页图文并茂向世界展示了非并网风电的研究成果：在各国，已出现非并网风电应用向大规模、产业化、市场化推进的端倪；至此，“非并网风电”理论与实践的研究成果，在风电直接应用高耗能产业机理研究方面填补国际空白，为人类进行风能的开发利用和大规模非并网风电产业化奠定基础。

序 一

直接应用于高耗能产业的理念的确是我国风电多元化发展的一个重要方向。从这以后,我成为了顾为东博士和非并网风电理论的坚定支持者。特别是2007年“大规模非并网风电系统的基础研究”项目被国家“973”计划立项后,经过五个研究单位、七个课题组的全力攻关,非并网风电理论已逐渐形成了一个完整的理论体系,并在实践上也取得了一系列重要成果。

以非并网风电为基础,今后我们完全可以利用协同的思路来发展风电。从能源的使用结构来看,多元化是一个必然趋势,每种能源都有自己的优势和劣势,各种能源的协调是必然规律。在不同地点、不同阶段,把各种能源协调在合适的位置,并网和非并网协调,大中小规模的互相协同,需要我们好好研究。能源多元化并不是要取消化石能源,化石能源还要用很长时间,而且还要用好,可再生能源怎样与化石能源互相配合地发展,逐步过渡,这是一个漫长的历史过程,不是一天两天,也不是十年、二十年,可能是一个世纪或者更长一点。

可再生能源和化石能源的协同,特点很清楚,可再生能源密度比较低、间歇性强、不可控,这是其本身的特色,是不可避免的。可再生能源不能单个独立发展,不能只敲自己的锣,吹自己的号,应该和其它化石能源协同考虑。顾为东博士通过实践证明,可再生能源可以应用在电解铝、海水淡化、制氯碱、制氢、油田抽油机等等领域,可再生能源和特定对象可以协同起来。可再生能源也可以和煤化工结合在一起,中国煤化工发展非常快,我到各富煤地区去,看到他们都在通过煤炭搞煤化工,这些地区都有很多风力资源,为什么两个不结合起来呢?把风电电解产生氢气和氧气,氧气来气化煤,氢气用来调整氢炭比,很少排二氧化碳就可以把大量风电利用掉,本来是要用氢和氧,用外面的电,同时还要用变换

反应来制氧,制氢,排大量的二氧化碳,风电和煤化工一结合,就可以实现二氧化碳近零排放。中国现在在国际上减排的压力很大,如果风电和煤能够大规模协同利用,就能控制大量温室气体的排放,来解决我们的低碳发展问题。

近期,我参加了“2013 第五届世界非并网风电与能源大会”,这个会议已经连续开了五届了,这个品牌也开始形成世界影响、国际影响,这个是中国自己开创的事,应该做得更好。因为在整个可再生能源方面,我们应该有自己的一些特殊想法,要引领世界的潮流,不要给世界本身潮流裹胁,我们应有自己的特色。

所以,我推荐大家读《大规模非并网风电系统理论与实践》这本书,深入了解以风电为代表的可再生能源的多元化发展和多能源协同发展之路。

中国可再生能源的投入非常大,包括风电和光伏,但目前能实现的二氧化碳减排量却很少,可见要通过可再生能源本身的发展来减排二氧化碳,成本很大。对任何一种能源,我们一定要强调经济性,以较小的代价取得较大的成果,才能实现可持续性发展。我们中国人口巨大,发展又不平衡,需要办的事情很多,所以我们一定要珍惜在可再生能源上的投资,使它达到最大的效率。风电的大规模发展不能老躺在国家补贴上,最后还是靠经济性说话。最根本的是对风电的发展不要一刀切,不要都以上网的标准来发展所有的可再生能源,要针对不同的地区、不同的要求,分别加以利用。一句话,就是把合适的能源放在合适的地方,做合适的事。总之,在未来的能源系统中多种能源要协同配合,发展其长处,就像人类社会要进入多元化的时代一样,能源也必然进入多元化供给满足多样化需求的时代,通过我们的努力,风能必将从目前的被动局面,成为各种能源协同大家庭中积极的、活跃的、能起较大作用的一员。

中国工程院院士、中国能源学会会长



序 二

当前,全球正都在面临一场新的能源革命和新的技术革命,它正在推动着世界经济的新一轮发展。

尽管目前全球还处在金融危机的阴影之中,但正像前几年温家宝总理所讲到的,每一次大的经济危机之后将寓意着世界新一轮的技术革命和新一轮经济增长,而新一轮经济增长也正是依靠新技术革命所推动。我认为,新能源技术和新一代信息化技术的发展及其相互融合发展,将是这场新技术革命中非常突出的重要内容,是一个重要的制高点。

在这样一场大变革中,中国同时面临着国民经济发展的转型升级。我们“十二五”以及今后的主要任务就是要转变经济发展方式,推动经济结构调整,使中国真正走上创新驱动的发展道路。特别是新能源产业,已成为我国七个战略性新兴产业之一,也是能源生产与消费革命的重要内容,国家正在给予大力扶持。

最近几年,在全社会的共同努力下,通过法律、政策环境的不断完善和科技创新的大力推动,中国的可再生能源事业取得了长足进步,尤其是风电。2006年中国《可再生能源法》实施以来,上网电价的政策首先在风电领域得到落实,推动了风电产业高速发展,风电装机总容量经过几年连续翻番达到了世界第一,其年发电量已超过 1000 亿千瓦时,成为我国继火电、水电之后的第三大电源。在快速发展中我们也面临着很大的挑战,特别是大规模集中的并网发电对电网的冲击影响是比较大的。如何建立一个和电网更加友好的风电产业,更好地融入电力系统、能源系统,让风电发挥更大的作用,这是当前大家关注的问题。但是由于种种原因,包括思想观念、体制、技术等方面问题,目前我国风电限电弃风问题仍然比较突出。2011 年全国约有 100 亿度左右风电电量由于被限发而损

失,2012 年的数量超过 200 亿度,比 2011 年增加近一倍,去年虽有所好转,仍是一个十分突出的问题。

在这方面我们需要反思,为什么会出现这样的情况,未来的方向是什么。按照我国已制定的发展目标,到 2020 年非化石能源占比要达到 15% 以上,这个任务还是很艰巨的。因为现在核电的发展因为安全上的问题受到了一定的制约,水电发展由于生态问题也遇到了一定困难。这样实现 15% 占比任务在更大程度上落到了可再生能源身上。如何实现这样一个目标,我想要从新能源本身和电力系统两个方面认真解决这个问题。

早在 80 年代初,顾为东博士就提出发展大规模非并网风电这样一种风电发展新模式,也就是说要把充分利用风能的绿色电力和用电负荷更好地结合起来,使风电不仅能够就近使用,还可以避免大规模上网可能对系统造成的冲击。

国家科技部在 2007 年国家重点基础研究发展计划(“973”计划)中设立了“大规模非并网风电系统的基础研究”项目,这是该项计划能源领域的第一个风电项目,力求探索出一条大规模风电高效多元化发展之路。立项后,江苏省宏观经济研究院联合国内不少大学、企业,通过产学研的合作进行了基础研究、技术攻关和应用示范,取得了一系列重要成果,证明这样一个方向是有可能走出大规模风电发展的新路子。风电可以和一些高耗能产业相结合,比如电解铝工业、海水淡化产业、氢能产业等,大规模非并网风电已在这些方面进行了积极探索并取得了初步成果。

最近一段时间,西部一些风电场也开始与顾博士的团队接洽,希望推动非并网风电工业化应用,来解决西部大规模风电尽可能就近消纳的问题。可以说,非并网风电大规模应用已苗头初显,未来发展潜力很大。

总之,积极开展这一领域产学研合作制度与应用,是非常有益的,它符合我们吸纳更多可再生能源应用到经济社会中的目标和方向。目前,非并网风电理论已得到国内外风能界很多专家与领导的支持,同时也对顾博士热心、热爱可再生能源发展,锲而不舍、兢兢业业的钻研精神、求实精神和创新精神,表示鼓励。

《大规模非并网风电系统理论与实践》一书,是顾为东博士和他率领的团队多年来研究成果的集中展现,会为世界风电事业的发展提供一个新的方向。希

望我国包括风电在内的各类可再生能源能够坚持实施创新驱动战略,通过体制创新、机制创新和制度创新,有更大的、更广阔的市场空间支持产业的发展,使得可再生能源真正在中国的绿色发展、低碳发展、可持续发展当中发挥更大的作用,为生态文明建设作出更大贡献。

国务院参事、中国可再生能源学会理事长

