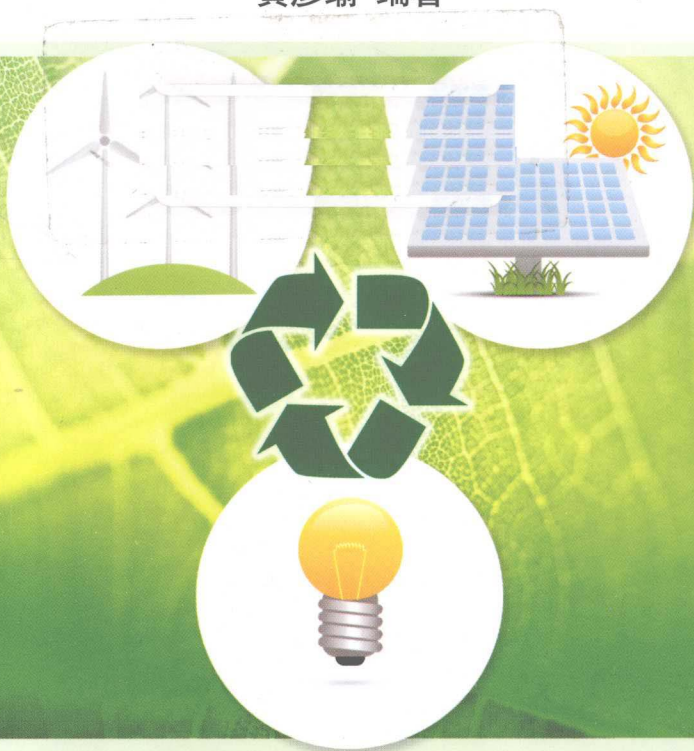


ZHONGGUO KEZAISHENG NENGYUAN ZHANLUE YU
DIANWANG ZHENGHE

中国可再生能源战略与 电网整合

黄彦瑜 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中国可再生能源战略与 电网整合

黄彦瑜 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书立足 2050 年中国的能源情境,研究包括风能、太阳能在内的间歇式可再生能源的电网整合问题。通过搜集大量资料,包括该领域研究的最新发展和各国可再生能源电网整合的实践,得出在多种不同情境下应用多种技术,间歇式可再生能源的电网整合问题是可以解决的结论。

本书可供从事可再生能源政策研究。电网管理研究、工程哲学研究的师生及相关工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国可再生能源战略与电网整合 / 黄彦瑜编著. --
北京:中国水利水电出版社, 2010.8
ISBN 978-7-5084-7825-8

I. ①中… II. ①黄… III. ①再生资源: 能源—发电—研究—中国 IV. ①TM61

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第169745号

书 名	中国可再生能源战略与电网整合
作 者	黄彦瑜 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	140mm×203mm 32 开本 3.625 印张 91 千字
版 次	2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001—1000 册
定 价	18.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

中国可再生能源战略与电网整合

序

黄彦瑜在博士论文的基础上完成的《中国可再生能源战略与电网整合》一书即将付梓，作为她的导师，我欣然命笔。

未来我国很可能大力发展可再生能源，但是可再生能源的一个固有特性在于“有风有电，无风无电”，“有太阳有电，无太阳无电”，学界称之为“间歇性”，它将对电网造成严重的冲击。在可再生能源进入电网规模比较少的情况下，电网本身固有的调节手段还可以“消化”；但如果当像风能那样、能源不能连续供应的可再生能源在电网中占有的比重增大的时候，它们整合进入电网就会成为问题。这个问题能不能解决，是牵涉到可再生能源未来应用和发展是否顺利的重大问题。

本书主要是看看国外如何讨论风能、太阳能等间歇性可再生能源的电网整合问题，看看有没有合适的技术可以解决该问题。为此，作者搜集了大量资料，包括这个领域研究的最新发展。

首先，本书的结论指出可再生能源的间歇性并不

可怕，可再生能源的发展也没有所谓的“上限”，间歇性的“克服”在技术和成本上均无原则性的、不可逾越的障碍，综合利用多种调峰备用技术，可再生能源的电网整合问题完全可以经济地解决。

其次，作者提出“一个绝妙的主意”——用可再生能源来解决可再生能源自身的间歇性问题！书中充分论述了“主意”并不是空想，“风电/光伏发电+储能电池”与“太阳能热电+储热罐”的技术组合将是最有前途的路径。在调峰电价的范围内，太阳能热发电作为调峰备用电源在成本上显示出竞争力。因此在发展光伏发电的同时，发展太阳能热发电，很有必要。

再次，作者指出，抽水蓄能电站对电网“吸纳”间歇式电力非常有价值，有了抽水蓄能电站，风能等随机性较强的“垃圾电”就能变成“优质电”。因此大力发展规模大、调蓄能力强的“大水电”，特别是建设具有较强调度能力的抽水储能电站应当成为未来中国能源结构调整的“大方向”。

最后，本书“拨开了弥漫于间歇式可再生能源周围的迷雾”，作者借由欧洲的电网整合实践，指出传统电力部门的天然垄断与其设置的高门槛，是可再生能源的间歇性的所谓“危害性”被过度“抬高”的重要因素。作者进一步指出电网整合问题不只是技术方面的问题，它牵涉各个利益主体之间的复杂关系问题。这些问题的解决有赖于国家宏观政策的支持和现有电

网运营机构的松绑。

书中结论指出：可再生能源的电网整合解决的关键在于改变电网管理理念。过去我们在电网的调节方式上都是围绕需求侧管理。这种理念的直接结果体现在电网部署朝着有利于季节性拉电、将拉闸限电的用户聚拢在一条线路上的方向发展，往往不是从供给的角度来解决。本书回答了解决电网整合关键问题在于使电网管理理念从“需求侧管理”转变成为“供应侧管理”。

总之，此书是一个跨学科的研究成果，有许多新意，但只是一个初步的研究成果，涉及的一些问题尚需深化。相信本书的出版能够给关注可再生能源的发展与电网管理理念问题的读者以启发，并能给相关的决策者以参考。

何祚庥

2010年7月

中国可再生能源战略与电网整合

前言

人类有两大基本问题：生存问题与发展问题。生存问题的关键是吃饭，以农业为基础。发展问题的关键是能源，能源是发展的先导。能源是经济发展的动力，2020 年我国将实现小康社会的总目标，不可避免地将面临能源需求的高速增长。

党的十六大报告提出全面建设小康社会的目标，要“国内生产总值（GDP）到 2020 年力争比 2000 年翻两番”。能源消费翻一番不足以支撑 GDP 翻两番的目标实现，仅仅依靠大量节能与节电也无法解决中国能源问题（何祚庥，2005）。解决中国能源问题的关键是“开源”而不能仅仅依靠“节流”。综合资源、技术、经济、环保四方面的因素，大规模发展可再生能源是解决我国能源和电力短缺的最现实的战略选择（何祚庥，2004）。

从 20 世纪 90 年代开始，世界能源电力市场发展最为迅速的已经不再是以石油、煤和天然气的传统能源技术，而是以风能、太阳能、生物质能等为主的可再生能源技术。世界各国都将可再生能源纳入未来发

展的重点计划。当代能源技术以及相关产业，正积极向可再生能源方向发展，已为世界所共识。2004 年世界可再生能源发电量占总发电量的 17.9%，仅次于煤电的 39.8% 和气电的 19.6%，高于核电的 15.7% 和油电的 6.7%。国际能源署 2007 年的统计表明，包括地热、太阳能、风能等在内的新可再生能源以每年 8.2% 的比率在增长，风能与太阳能的年增长率分别达到 48.1% 与 28.1%。2004 年德国提出要在 2020 年让可再生能源达到能源消费总额的至少 20%（DENA, 2005）；英国前能源大臣 Malcolm Wicks 说：“我们的目标是在 2010 年可再生能源电力达到英国电力供应的 10%。”（UK Energy Research Centre, 2006）；西班牙力争到 2010 年 30.3% 的电力来自可再生能源（IEA/OECD, 2007）。中国颁布《中华人民共和国可再生能源法》、西班牙颁布《购电法》、英国早期实施《非化石燃料公约》制度、美国有些州以及澳大利亚和日本（山口馨，2005）等国实施可再生能源“配额制”，这些法律和法规的颁布大大促进可再生能源的发展。美国前总统布什在 2007 年的国情咨文里强调要“更多地使用清洁能源，如太阳能、风能、核能等”（President Bush, 2007）。德国前总理施罗德在 2004 年 6 月的国际会议中指出“能源的有效使用和可再生能源的开发是世界获得可持续能源供应的双重策略（马重芳，2005）”。

中国国家主席胡锦涛在 2005 年北京国际可再生能源大会的致辞中提出两个“必由之路”：加强可再生能源开发利用，是应对日益严重的能源和环境问题的必由之路，也是人类社会实现可持续发展的必由之路。

目前大量中国能源问题研究都只将目标停留在 2020 年，许多有识之士纷纷提出，要提前规划 2050 年的问题，特别是可再生能源，必须提早作出决策（董庆九，2006）。研究表明，2050 年中国未来电力需求将上升到 30 亿 kW，从资源、环境等诸多因素进行考察，化石能源无法承担 2050 年中国巨大的能源需求，在 2050 年以前，中国就对可再生能源有迫切需求。因此，中国必须尽可能地转向可再生能源为主导的能源结构，应大力发展 4 种可再生能源：水能，生物质能，风能，太阳能（何祚麻，2004）。

但是，太阳能与风能利用过程中的重大问题在于：“有风有电、无风无电”、“有太阳有电，无太阳无电”。太阳能与风能的这种固有特性，称为间歇性；风力发电与太阳能发电被称为间歇式电力。2050 年，风能与太阳能的大规模开发利用，解决电网整合问题是关键。这是因为：太阳能与风能资源大都集中在人烟稀少的西部，远离负荷中心，因此风能与太阳能必须通过电网传输，并网利用。电力传输过程必须遵循一系列物理规律、准入规则与互联协议。由于风能与太阳能的间歇性，它们的功率输出会随着能量来源的波动而涨

落，这将对电力系统运行产生影响。

中国电网是否可以消化这部分间歇式电力？它们会对电网的系统运行产生怎样的影响和冲击？这些问题不解决，大量可再生电力将无法上网，未来能源发展计划将是一纸空文。已有的研究表明：间歇式电力的电网整合不仅是与科学技术相关的应用、扩散或选择的问题，还是中国的特定情境下可再生能源开发利用的一项系统工程——间歇式电力的电网整合工程。

本书拟运用工程哲学的理念和分析方法，针对未来中国可再生能源的间歇性问题，讨论：“瓶颈”在哪里？发展的方向在哪里？运用什么样的技术路线、遵循什么样的原则？的问题。值得注意的是，过去可再生能源在电力系统中的比重很少，电网固有的调节手段就可以完全消化；而我们现在讨论的是可再生电力的大规模、大范围、远距离的并网输送，这是一个具有中国特色并且在全球范围内被予以特别关注的崭新话题。

除此以外，本书还希望借助这个电网整合的案例，可以较好地研讨如下问题：应该如何平衡工程过程中局部目标与整体目标之间的矛盾；如何通过改变“决策变量”或“软约束”，扩大决策行动的“空间范围”，令决策达到可能的最佳成果；如何占据技术制高点的先机，运筹帷幄等。这些问题，虽是工程技术的问题，但是又离不开社会、哲学层面的分析和思考；虽是社

会政策问题，又需要技术工程师乃至自然科学家的参与。所有这些问题，都不是单单依靠工程技术科学或社会科学的某一个学科和某一类的学者专家所能解决的。这些问题，兼有学术性和现实性，兼有理论研究和政策研究的特点。

本书在写作过程中得到何祚庥院士的悉心指导，水利电力工程协会的张博庭老师、中科院电工所的孙广生老师、中科院研究生院人文研究所的李伯聪老师、北京大学科学与社会研究中心的任元彪老师在书稿审阅过程中提供了宝贵的意见，在此表示衷心感谢。

由于笔者自身的才学所限，必定存在一些缺点和需改进之处，敬请读者批评指正。

黄彦瑜

2010年7月

目录

CONTENTS

序

前言

第 1 章 2050 年可再生能源电网整合目标设定	1
1.1 2050 年中国电力需求将上升到 30 亿 kW	1
1.2 2050 年中国巨大的电力需求只能寄希望于 可再生能源	2
1.3 要满足 2050 年中国的电力需求, 至少需要 8 亿 kW 风电与 6 亿 kW 太阳能电力	5
第 2 章 风能与太阳能电网整合的困境	12
2.1 电网整合的概念	13
2.2 风能与太阳能间歇性: 可变、不可控, 但可 预测	19
第 3 章 风能与太阳能电网整合“瓶颈”	24
3.1 电网整合研究概况	24
3.2 间歇性能源电网整合的“瓶颈”	35
第 4 章 电网整合的资源、技术与政策特征	45
4.1 资源特征	45
4.2 技术特征	54
4.3 政策特征	60
第 5 章 我国电网整合相关法律法规的约束与放宽	65
5.1 风电并网政策法规的约束宜适当放宽	65

5.2	调峰技术政策法规的约束与放宽·····	67
第6章	电网整合的发展方向：建设带储热罐的	
	太阳能热电站 ·····	69
6.1	太阳能热发电技术的基本原理与发展状况·····	71
6.2	太阳能热发电解决电网整合问题·····	75
6.3	占据技术制高点——新式太阳能聚光技术·····	78
第7章	局部与整体的矛盾：电网整合中非工程技术	
	因素影响 ·····	80
7.1	间歇性的蕴涵：认识有时不只基于事实·····	80
7.2	天然垄断与高门槛·····	83
第8章	结论 ·····	89
8.1	间歇性与其在电力系统中的蕴涵·····	89
8.2	可再生能源的并网不存在“上限” ·····	91
8.3	可再生能源的电网整合在技术和成本上均 无原则性、不可逾越的障碍·····	93
8.4	建设带有储热罐的太阳能热电站是重要的 发展方向·····	95
8.5	电网管理新理念：供应侧管理的提出·····	96
	参考文献 ·····	99

第 1 章 2050 年可再生能源电网 整合目标设定

工程活动是从计划阶段开始的，而计划工作又是以设定目标作为开端的。目标设定之后，它就要在整个工程过程中发挥一种导向性的作用。所以，在整个工程过程中，目标不但发挥着“第一推动”的作用，而且发挥一种“最终引导”的作用（李伯聪，2002）。

计划工作中的“灵魂”就是要对“特定对象”与“特定状态”进行认识 and 把握。可再生能源电网整合工程的计划工作是，以中国的可再生能源作为“特定对象”，以 2050 年中国可再生能源的发展状态作为“特定状态”的认识和把握开始的。

1.1 2050 年中国电力需求将上升到 30 亿 kW

现阶段中国人均能源消费量只有世界人均能源消费水平的一半，只有日本的 1/8，美国的 1/13。中国正处在“以信息化带动工业化，以工业化促进信息化”的发展阶段。世界各国发展的经验证明：在工业化时期，往往有一个人均能源消费迅速增长的阶段。

2006 年 1 月 25 日，《科学时报》曾报道侯祥麟院士谈“要提前考虑 2050 年怎么办？”（董庆九，2006），何祚庥院士认为，侯祥麟院士谈的不仅是石油问题，而是整个能源问题，尤其是可再生能源问题，需要提前作出决策。

中国的发展需要巨大的电力需求。一个重要原因是：中国所要实现的工业化将是 13 亿~15 亿人的工业化，其人口超过

美国、欧洲、俄罗斯、日本、加拿大、澳大利亚等发达国家和地区人口的总和。2005年的美国，人均电力约是3kW；2050年的中国，将是15亿~16亿人，如果人均2kW，就将是30亿kW。然而这仅是当前美国人均水准的2/3。中国电力需求由2020年12亿kW，上升到2050年的30亿kW，也就是平均每年增长3.1%。

1.2 2050年中国巨大的电力需求只能寄希望于可再生能源

一般来说，最后设定的目标是从若干个“备选目标”中选择出来，所以设定目标的过程也就表现成一个“理性选择”的过程。在这个例子中，相关研究表明：未来能源的“备选目标”包括了以化石能源为主、以核能为主、以可再生能源为主3个。

1.2.1 不能期望由化石能源解决电力需求问题

如果2050年的电力装机容量为25亿~30亿kW，中国巨大的电力需求将不能通过化石能源来解决（何祚庥，2005）。

1. 煤炭

资源、运输、环境三大因素决定在2050年，煤炭不能成为“主角”。2002年，中国的煤炭储量为1886亿t（国土资源部，2002），2006年剩余开采储量（技术可开发量）为1145亿t（崔民选，2006）。根据《中国煤炭资源有效供给能力态势分析》研究表明，如果将环境容量、高硫煤储量、乡镇煤矿的采出量与损失量考虑在内，中国有效可采储量仅为1037.6亿t^①。2003年原煤产量是17.36亿t，其中54%用来发电。

① 数据引自《中国煤田地质》2001年S1期，田山岗的文章《中国煤炭资源有效供给能力态势分析研究综述》。

如果中国电能以翻两番的速度发展，而且主要由煤炭担当“主角”的话^①，仅电煤就要求年产 26.6 亿 t。如果扣除电煤后，其他方面用煤仅翻一番，到 2020 年，就将至少要求年产 40 亿 t，亦即 2003 年产量的 2.3 倍，或者是 2000 年年产 13 亿 t 煤的 3 倍（何祚庥，2005）。但随着我国社会经济发展水平和城市化水平的提高，煤炭生产的安全问题和相应的长期环境影响将明显影响煤炭生产能力的扩大，“十一五”期间，煤炭的增产将越来越困难。国家发展和改革委员会副主任张国宝在 2003 年电力论坛上的讲话指出，对于如此高电煤需求，“有没有这么多资源可供开采，运力能不能保证，环境能不能承受都是问题（张国宝，2004）”。

实际上，如果 2000~2020 年的电力弹性是 1.0，那么在 GDP 翻两番的假设下，可以算出，2020 年的电力装机容量将是 $4 \times 2.82 = 11.28$ （亿 kW），届时中国的电力需求将至少是 40 亿 t 标准煤。如果在 2020 年后维持年产 40 亿 t 的开采不再增加，以 1145.0 亿 t 计算，我国探明可利用的煤炭资源仅能再维持 30 年。历年来铁路运煤约占煤炭总量的 60%，占铁路货运量的 40% 以上。如果 16 年间煤炭的运量再增加两倍，必将造成铁路运输的全面紧张，甚而不堪承受！值得关注的问题是：我国的资源、运输以及环境容量，不能支撑 7.6 亿 kW 的火力发电（以下简称火电）。如果 2050 年的电力装机是 30 亿 kW，而又由煤来主导未来的电力建设，这将是“天文”数字（何祚庥，2004）！

2. 石油和天然气

资源储量不足与进口障碍造成石油和天然气无法成为“主角”。石油与天然气的资源储量严重不足，而且耗用速度很快。

① 有些研究认为，在 2015 年以前，煤充当能源构成的“主角”，几乎是唯一可能选择。

截至 2003 年底，石油探明可采储量为 63.4 亿 t，剩余可采储量为 23.7 亿 t（徐锭明，2004），而 2003 年中国原油产量是 1.7 亿 t，2003 年消耗石油达 2.7 亿 t。截至 2003 年底，我国进口原油 9000 万 t，成品油 2000 万 t，共进口 1.1 亿 t。

截至 2003 年底，天然气探明可采储量为 3.4 万亿 m^3 ，剩余可采储量为 2 万亿 m^3 。2003 年天然气产量达到 350 亿 m^3 ，比 2000 年 277 亿 m^3 的产量多出 73 亿 m^3 ，平均年增长达到 8.79%。事实上，从 20 世纪 90 年代开始，天然气的产量与消费量呈现台阶式的增加：“八五”期间平均年产量为 168 亿 m^3 ，“九五”期间达到 243 亿 m^3 ，“十五”期间前三年平均年产量就达到 326 亿 m^3 （徐锭明，2004）。

1.2.2 不能期望由核能来解决

未来 50 年中国的能源需求是否能够由核能来提供？答案是否定的！中国将不能走以核能为主导能源的道路。理由是：中国的天然铀资源供应不足，仅能支撑 50 座标准核电站，连续运行 40 年（何祚庥，2006）。需要注意的是，这里已将未来的可能的天然铀资源也计算在内。

中国也无法通过进口天然铀，解决核电的资源短缺问题。近年，澳大利亚、加拿大等国家已经或将要和中国签订长期供应天然铀的合同。但是，在世界纷纷大力发展核能的形势下，一些人估计“世界铀资源大约在 40 年内就会耗尽”（霍布森，2001），那么在天然铀方面的资源争夺，绝不亚于对石油的争夺！有人认为这里对资源的估计过于悲观，但是核工业专家王乃彦院士等 7 位院士和 8 位研究员给国务院呈送的“咨询报告”的确说明：天然铀资源短缺是一个世界性问题。

何祚庥院士在分析核电前景的时候说道：“有相当一些同志寄希望于快中子增殖堆，因为这将可能使天然铀的利用率扩展 60 倍！我们赞成大力发展快中子增殖堆，但必须看到快中子增殖堆将面临一个价格成本十分昂贵和核扩散问题。”（何祚