

 REmap 2030
A Renewable Energy Roadmap



可再生能源前景：

中国

© IRENA 2014 版权所有

除非另有说明，本出版物中确认源自 IRENA 的材料均可免费使用、分享或重印。

本报告为翻译文本，与英文原文报告如有差异，请以本译文的英文报告为准。该英文报告可在IRENA的网站上下载(<http://www.irena.org/remap>)。

关于 IRENA

国际可再生能源机构 (IRENA) 是一个政府间组织，为各国向可持续能源社会转型过程中提供支持，是重要的国际合作平台和卓越中心，是有关可再生能源的政策、技术、资源和金融知识的知识库。IRENA 促进对各种形式的可再生能源的广泛采用和可持续使用，包括生物能、地热能、水力发电、海洋能、太阳能和风能，以实现可持续发展、能源获取、能源安全以及低碳经济的增长和繁荣。

致谢

本报告受益于国家能源局 (Shi Lishan) 和中国国家可再生能源中心 (CNREC) 的宝贵评论和指导 (Wang Zhongying、Kaare Sandholt、Ren Dongming、Gao Hu、Zhao Yongqiang、Xuxuan Xie、Liu Jian)。为我们额外提供外部审核的有：亚洲清洁能源 (太阳能) 咨询有限公司 (弗兰克韩飞)、中国可再生能源行业协会 (CREIA) (Li Junfeng)、能源研究所 (Jiang Kejun、Yang Yufeng)、劳伦斯贝克莱国家实验室 (David Fridley) 和丹麦技术大学 (Peggy Mischke)。来自 IRENA 的下列同仁也为我们提供了宝贵意见：Rabia Ferroukhi、Diala Hawila、Ruud Kempener、Shunichi Nakada、Elizabeth Press 和 Frank Wouters。此外，在由 CNREC 协办的中国 REmap 北京研讨会 (2014 年 7 月 15 日) 和由 CREIA 协办的为期两日的中国太阳能光伏北京峰会 (2014 年 9 月 11 - 12 日) 上，本报告均接受了评审讨论。由 Digby Lidstone 担当本报告的技术编辑。

本报告的成功制作得益于中国政府和德国政府的鼎力协助，IRENA 对此深表感激。

作者：

Dolf Gielen (IRENA)、Deger Saygin (IRENA)、Nicholas Wagner (IRENA) 和 Yong Chen (IRENA)。向 Sven Teske 致以特别的感谢。

欲获得更多信息或向我们提供反馈，请与 REmap 团队联系。

电子邮箱：REmap@irena.org

报告引用

IRENA (2014), 可再生能源前景：中国 REmap 2030 分析 IRENA, 阿布扎比。
www.irena.org/remap

免责声明

虽然本出版物致力于促进可再生能源的采用和使用，但 IRENA 并不赞同任何特定项目、产品或服务提供者。

本出版物所使用的名称和所述的材料并不代表 IRENA 对任何国家、领土、城市或地区或其当局的法律地位，或其当局、其边界或边境划分，表示任何意见。

可再生能源前景：中国

REmap 2030 分析

2014 年 11 月

前言

REmap 2030 是国际可再生能源机构 (IRENA) 制定的全球可再生能源发展路线图。它阐述了如何通过各国之间的合作，最终在 2030 年实现可再生能源在全球能源中份额翻倍的目标。它描述了一项史无前例的国际合作计划。计划吸引将近 60 个国家和地区的逾 90 名国家级专家进行合作。这些专家通过网上讨论、地区会议和国家级研讨会继续开展通力合作，并吸纳众多技术专家、行业组织和政策制定者积极参与。2014 年 1 月的全球 REmap 报告发布后，IRENA 一直致力于通过同样细致的研究制作一系列国家的报告。



当今世界的“碳减排”要求越加强烈。中国作为全球最大的能源消费国，必须在全球向可持续能源未来转变的进程中发挥关键作用。其实，中国已然成为可再生能源领域的全球领袖，在利用不同种类的可再生能源和技术方面潜力巨大，不管是在发电领域还是终端市场，都可大有作为。

与基于化石燃料的能源系统相比，可再生能源系统可提供更广泛的参与，促进能源安全，创造更多的就业机会。同时，它也可改善大气污染、降低二氧化碳(CO₂)排放提供有效的途径，这一目标在当今世界尤其显得日益紧迫。如今，可再生能源技术提供成本效益最好的能源服务供应选项，并在不断扩大服务范围条件的同时，通过创新和应用规模的不断扩大将成本降至更低。

如果按目前的政策和投资模式，预计在 2030 年，可再生能源在中国能源结构中的比例预计仅为 17%，而这一比例在 2010 年已达 13%。然而，REmap 的研究显示，现代可再生能源在中国增长可实现翻番，达到 26%。如果将改善健康和降低 CO₂ 排放的收益计算在内，投入 1450 亿美元的投资额可为中国节省逾 2000 亿美元。

鉴于各个国家和地区必须基于自身状况制定能源决策，因此做任何决策时都应以最全面、透明的已有数据为基础。中国已经证明，其自身拥有充足的技术和人力资源，更不乏活力，足以成为全球能源使用转变中的领导者。REmap 2030 中就具体的途径提出了建议，目的是完成一个世纪性的挑战：在中国实现清洁、安全的能源系统，进而造福世界。

Adnan Z. Amin

总干事

国际可再生能源机构

目录

前言	V
图片列表	IX
表格列表	X
文本框列表	XI
执行摘要	1
重点内容	1
1. 前言	5
2 研究方法和数据来源	7
3 可再生能源的近期趋势和能源现状	10
3.1 可再生能源发展现状	10
3.2 基准年可再生能源情况	15
4 至 2030 年的参考情景发展情况	31
5 当前政策框架	34
5.1 大气污染防治行动计划	34
5.2 中国的可再生能源政策	36
5.3 交通运输部门相关政策	40
5.4 建筑一体化太阳能热水器政策	41
5.5 可再生能源产业政策	41
5.6 碳政策	42
5.7 电价	45
6 可再生能源潜力	47
7 REMAP 方案	49
7.1 可再生能源技术	50
7.2 路线图表格及分析	52
7.3 可再生能源技术成本预测	58
7.4 REmap 方案总结：成本供应曲线	60
7.5 REmap 2030 方案讨论	66
8 可再生能源转型的障碍和机遇	73
8.1 电力系统的障碍和机遇	73
8.2 电力市场改革	76
8.3 终端使用部门的障碍和机遇	76

9 推动可再生能源发展的建议.....	78
参考资料.....	80
缩写列表.....	89
附件 A:	91
技术成本和性能数据假设.....	91
附件 B:	93
能源价格假设.....	93
附件 C:	94
REmap 成本方法详解.....	94
附件 D:	95
参考情景.....	95
附件 E:	96
成本供应曲线数据，企业角度和政府角度.....	96
附件 F:	98
2030 年终端使用部门中可再生和传统技术的平准化成本.....	98
附件 G:	99
资源地图.....	99
附件 H:	100
路线图详表.....	100
附件 I:	102
中国生物质传统应用.....	102

图片列表

图 1: 在 REmap 2030 中, 各国在全球可再生能源应用总量中的比例	6
图 2: 中国可再生能源电厂累计装机容量	11
图 3: 中国风电容量增长, 2008-2013	12
图 4: 中国 TFEC 细分数据, 2010	16
图 5: 可再生能源容量和发电量, 2012	18
图 6: 中国煤炭、原油和天然气产量, 1990-2012	21
图 7: 国家电网公司装机容量和峰值负荷	27
图 8: 中国一次能源供应总量增长情况 1990-2030	31
图 9: 参考情景发电增长	32
图 10: 参考情景中, 可再生能源在终端使用部门中的增长	32
图 11: 中国参考情景 - TFEC 中的可再生能源	33
图 12: 可再生能源政策和可再生能源产业政策的相互关系	42
图 13: 碳价均价预期 - 中国碳交易	45
图 14: REmap 方案各部门初级生物质需求, 2030	51
图 15: 可再生能源消费在 TFEC 中占比的增加 (按资源划分)	52
图 16: 2010 和 REmap 2030 按应用和部门划分的可再生能源应用情况	53
图 17: REmap 2030 中一次能源供应总量变化	55
图 18: 可再生能源技术的电力容量	57
图 19: REmap 方案成本供应曲线, 企业角度, 按资源排列	60
图 20: REmap 方案成本曲线, 企业角度, 按部门排列	61
图 21: REmap 方案成本供应曲线, 政府角度, 按资源排列	62
图 22: REmap Options 成本供应曲线, 政府角度, 按部门排列	62
图 23: REmap 2030、REmap-E 和 REmap-U 的可再生能源技术方案, 2030	70
图 24: REmap 2030 与电力部门其他研究结论的比较, 2030	71

表格列表

表 1: 中国生物质应用总结 (根据不同来源数据分析)	20
表 2: 中国最大的生物质成型燃料厂	22
表 3: 中国五大乙醇生产厂	23
表 4: 国家电网公司的区域发电容量和峰值需求	26
表 5: 抽水蓄能发电装机容量和在建容量	29
表 6: 抽水蓄能电站的运营性能, 2008 和 2012	29
表 7: 中国三阶段 智能电网规划	30
表 8: 中国坚强智能电网预计可实现的 CO ₂ 年减排量	30
表 9: 可再生能源目标概述	37
表 10: 中国不同技术和资源现行电价补贴	39
表 11: 中国四省市碳交易系统	44
表 12: 中国的 ETS 及其特征	44
表 13: 中国的可再生能源潜力	47
表 14: 2030 年生物质总供应量细分表	48
表 15: 各部门可再生能源占比	54
表 16: 中国 REmap 2030 概述	55
表 17: 电力部门技术的 LCOE 比较	58
表 18: 中国 REmap 方案平均替代成本概述	63
表 19: 中国 CO ₂ 减排发展, 2010-2030	65
表 20: REmap 选项财务指标, 政府角度	66

文本框列表

文本框 1: 农村电网和微型电网.....	28
文本框 2: 煤电转型对水资源需求的意义.....	35
文本框 3: 中国可再生能源目标.....	37
文本框 4: 中国的分布式光伏和新政策发展.....	40
文本框 5: 中国发展可再生能源产业的“推拉式”战略.....	42
文本框 6: 内蒙古案例研究: 联网需求.....	74

执行摘要

重点内容

- 中国已成为可再生能源领域的全球领导者。中国可再生能源资源储备丰富，未来具有很大的发展潜力。2013年，中国新增的可再生能源装机容量超过了欧洲和亚太地区其他国家容量的总和。
- 可再生能源的成本竞争力越来越高，同时还兼有其他的效益，比如提高能源安全性和减少空气污染。这些优势是推动中国做出改变的主要动力。
- 2010年，可再生能源在中国能源结构中占13%，其中6%为生物质传统应用，7%为现代可再生能源应用。水电（3.4%）和太阳能（1.5%）是中国的主要两项可再生能源现代应用。
- 按照目前的政策和投资模式，预计在2030年，现代可再生能源在中国能源结构中的比例将达到16%。REmap 2030预计，无论是从技术还是经济方面来看，将现代可再生能源比例达到26%是完全可行的。
- 如果想要在2030年实现现代可再生能源26%份额的目标，2014年至2030年间的投资额需要保持在每年1450亿美元的水平。如果将改善健康和二氧化碳（CO₂）减排的因素也考虑在内，那么可再生能源将会给中国经济带来每年550亿至2280亿美元的节约。
- REmap 2030的研究显示，可再生能源在发电部门中的比例可以从目前的20%增加到2030年的40%。此外，REmap 2030还假设风电和光伏发电将实现发展提速，水电潜力得到了全面发展。若想达到这个目标，就必须大力发展电网和输电容量，同时进行电力市场改革。
- 在终端使用部门中，蕴藏着巨大的可再生能源潜力。工业的可再生能源应用份额可以达到10%，相比之下，目前的比例几乎为零。建筑行业也可以将其三分之二的燃料结构，由可再生能源替代。发展太阳能供热和发电，在加工供热、空间供热/热水领域推广生物质现代应用，也有助于实现这一目标。

中国可再生能源状况

中国的能源政策对全世界而言至关重要。中国是全球最大的能源消费国，占全球能源消费总量的五分之一。到2030年，中国的能源消费预计将增长60%。中国的能源选择对全世界遏制气候变化的能力将产生重大的影响。

人们对能源安全的关注持续升温。截至2014年，中国天然气供应中约30%源自进口，而未来这一比例可能大幅度上升。中国一半以上的原油供应源自进口，而这一比例也将上升。页岩气被视为一种可替代能源，但局部勘探证实，实现这一想法困难重重。截至目前，煤炭仍是满足中国绝大部分能源需求的唯一选择。然而，煤炭对环境的影响（2010年，严重的空气污染已造成

120万人过早死亡，高水耗更加剧了水资源短缺问题）成为公众日益关注的问题，导致相关政策发生了转变。

因此，中国转而求助于可再生能源。在风能和水电能源方面，中国已拥有全球最大的装机容量，已安装的太阳热供暖和沼气装置数量也在世界各国中遥遥领先。2013年，中国安装的太阳能光伏（PV）容量超过整个欧洲安装量的总和。

该战略带来的经济回报不可估量。中国已成为可再生能源技术的主要出口国，占在全球太阳能光伏模块产量的三分之二。2013年，中国的可再生能源行业吸引了260万人口就业。此外，中国还有能力开展进一步的投资。

如果按照现有发展步伐，中国远不能充分发挥其在可再生能源方面的巨大潜力。然而，正确的政策组合出台后，中国已具备充足的资源和活力，必将成为全球能源系统转变过程中的领导者。

REmap 2030：中国的可再生能源潜力

REmap 2030 阐述了如何在 2030 年实现可再生能源在全球能源中份额翻倍的目标。能否成功实现这一目标，中国将起到决定性的作用。

根据中国可再生能源中心 (CNREC) 的测算，IRENA 认为，如果按照现有发展步伐，现代可再生能源（传统使用的生物质除外）在中国能源结构中所占的份额将从 2010 年的 7% 左右，升至 2030 年的 16%（本研究中的参考案例）。

然而，根据 REmap 2030，借助适当的政策和支持并辅之以现行技术，可再生能源在能源结构中的占比将实现翻番，达到 26%。如果这样，中国将成为全球最大的可再生能源用户，在全球的使用总量中占据 20% 的份额。水力发电、风能、太阳能光伏、太阳热能以及现代生物质将构成中国可再生能源组合的主力部分。

电力行业的可再生能源多元化组合战略

中国在利用可再生能源进行发电方面的潜能不可小觑。当前，中国电力结构中有 20% 来自可再生能源。如果按照现行发展模式，这一比例在 2030 年将升至 30%。而采用 REmap 2030 的方案，这一比例将达到 40%。水力发电照旧仍将保持主力军的地位，但风能和太阳能光伏可实现最大增幅，发挥不可或缺的作用。

水能：到 2030 年，中国的水力发电潜力将达 400 吉瓦 (GW_e)。正如原先已面临的问题一样，这需要大量的跨境协调工作，并对河流和水资源加强管理。对于蓄能至关重要抽水蓄能总容量应达到 100 GW_e。

风能：2013 年，风能成为中国第二大可再生能源，具备强大的扩容潜力。最丰富的风能资源分布在西北和东北地区。按照 REmap 2030 的设想，陆上风电容量将增加五倍，从 2013 年的 91 GW_e 升至 2030 年的 500 GW_e（即当前全球总装机容量的两倍），同时海上风电容量增加 60 GW_e。为了实现这一目标，应对中国北部 2030 年之前可实现的资源潜力加以充分利用，同时必须提前淘汰部分煤电产能（主要集中在西部）。需建设新电网和输电能力（包括 100 条新的直流输电线路），用以将风能输送至中国南部和东部的用电密集地区。

太阳光伏：2013 年，中国已安装了 13 GW_e 的太阳光伏产能，这一大幅度增长使光伏总装机容量达到 20 GW_e。其中有 1 GW_e 源自分布式项目，如安装于住宅或商业建筑屋顶的太阳能光伏。中国计划在 2017 年将总装机容量提升至 70 GW_e，电站级和分布式项目各占半壁江山。按照 REmap 2030 的设想，到 2030 年，总装机容量将达 308 GW_e，达到当前全球总装机容量的两倍。其中 40% 将来自分布式项目。

难点与对策：

- **成本和外部效应：**根据当今的市场价格，风能和太阳能光伏还无法与低成本的燃煤发电抗衡。然而，如果将煤炭显著的外部效应（如空气污染和对人类健康的不利影响）计算在内，风能和太阳能光伏确是一种具有成本竞争力的资源。中国需在全国范围内将每公吨二氧化碳 (CO₂) 的价格定为 50 美元左右，借此提高燃煤发电成本，如此方法可赋予太阳能光伏足够的成本竞争力。每公吨 CO₂ 的价格接近 25 - 30 美元时，可保证电站级风能和太阳能光伏与煤炭发电比肩。
- **电网和输电：**由于缺乏充足的电网基础设施，也因为燃煤电厂享有优先调度权，中国的电站级太阳能光伏和风能均有缩减。现在，由于可再生资源相关优惠政策的出台，这方面已有所改善。由于中国有相当大一部分风能和太阳能光伏建设在远离污染中心的区域，因此电网和输电能力问题在未来将显得更为重要。为了在各省之间建设功率交换和新的联网，以及与邻国进行电力交易，需要更好地进行区域协作（比如，从西伯利亚购买水电，或从蒙古购买风能。）

- **分布式太阳能光伏提供了另一种解决方案。**其获得成功的前提是，必须开发回报率更高的商业模式，解决所有权不明确的问题，同时加速容量增长。
- **电力市场设计和基础设施规划：**当前电网并非为输送高比例的波动性可再生能源电力而设计。为了适应新形势，必须加快能源市场的改革，包括建立电力零售市场细分。这不仅将鼓励电力零售价格方面的竞争，还将刺激创新，创造有利于分布式发电可再生能源的商业模式。与此同时，中国还应加强有关未来电网方面的研究，特别是合并智能技术，以利于更好地处理地处中国北部和西部、远离能源需求中心的大规模波动性可再生能源。

生物质在向可再生能源转型中的角色

根据 REmap 2030 的预计，现代生物质在所有中国的可再生能源中将达到四分之一，主要为终端用户提供燃油和供热等产品。要实现这一目标，将给数据收集、使用现代生物质代替传统生物质、运输物流等领域提出了重大挑战。

难点与对策：

- **生物质原料：**中国拥有丰富的生物质资源，但如果想使其成为可持续性使用、价格亲民的能源，还需要精心设计的政策。生物质的主要形式是秸秆（集中于东北和长江下游区域）和薪材（东南和东北地区）。另外还有林业废弃物。如何将散布全国的生物质原料集中运输至特定中心，这是一项极大的挑战。
- **烹饪/取暖/发电：**当今几乎所有的生物质仍采用传统形式使用，如烹饪。依赖生物质传统使用方法的入口比例正逐步降低，而使用现代厨灶的比例与日俱增。但这些数字并非一成不变，因此需要改善数据收集，更好地评估未来的挑战。到 2030 年，源自生物质和废弃物的电力生产将在可再生能源发电总量中占 10% 的比例。
- **工业：**在中国目前的工业中，生物质仅限于用来制造纸浆和造纸，且规模较小。到 2030 年，生物质和废弃物可在炼焦工序能耗中占五分之一，而该工序占据了中国制造业中能源使用的最大份额。生物质也可用于工业热电联产 (CHP) 工厂和加热器以产生热能（如蒸汽），

但仍只能满足不到 5% 的工业部门燃料总需求。为了提高生物质的使用率，充分利用其潜能，工业部门仍可谓任重道远。

- **交通运输：**政府部门目前正致力于充分利用可持续原料，促进先进生物燃料的生产。根据 REmap 2030 的构想，生物燃料的产量将从 25 亿升提高到 370 亿升。中国现在的电动两轮车和三轮车保有量已达 2 亿辆。到 2030 年，这一数字可能升至 5 亿。提高先进生物燃料的增长幅度是一个不小的挑战。

生物质以外的可再生能源：为了实现 REmap 2030 中提出的生物质潜力，需要将三分之二以上的中国总生物质供应潜能利用起来。利用太阳能加热和推广不同形式的电动交通，也是生物质能以外可以利用的可再生能源科技。中国在太阳能领域领先世界，且按照 REmap 2030 的构想，其装机容量可大幅增加，达到现有装机容量的六倍：其中 30% 用于制造业，70% 用于住宅和商业建筑。现在，每年有数亿乘客搭乘电动车辆出行。到 2030 年，电动车辆将满足 20% 的预计汽车需求。与此同时，随着中国的电力系统走向可再生之路，这些技术消费的电力也将发生同样的变化。

REmap 2030 的成本

为了实现 REmap 2030，从现在到 2030 年期间的投资额需要保持在每年 1450 亿美元的水平。这意味着，按照目前的预测值，每年将在可再生能源技术领域增加 540 亿美元的投资额。

REmap 从两个角度量化成本：商业角度和政府角度。

- 首先是**商业角度**，其包含终端用户税收和补贴，REmap 方案可按照 20.2 美元/兆瓦小时 (MWh) 或 5.6 美元/吉焦 (GJ) 的平均增量成本进行部署。
- 其次是**政府角度**，其排除了能源税收和补贴，因此成本可升至 24.8 美元/兆瓦小时 (6.9 美元/吉焦)。这意味着，每年在整个能源系统投入的额外成本必须达到 580 亿美元。
- 如果将外部效应，如人类健康和 CO₂ 减排量考虑在内，REmap 2030 每年的净节省费用为 550 - 2280 亿美元。

降低 CO₂ 排放

由于大量使用煤炭，中国是全球最大的 CO₂ 排放国。在 2012 年，中国电力和终端市场每年产生约 7 Gt 的 CO₂。如果按照现有发展步伐，这一数字将在 2030 年增长 50%。REmap 2030 显示，通过取代煤炭（主要在电力行业），可将排放增幅降低一半。

然而，虽然按照本报告的预测中国的可再生能源潜能巨大，但中国的煤炭使用量到 2030 年时仍将维持目前的消费水平。到 2030 年之前，中国需继续部署可再生能源，提高终端市场的能源效率，最终实现向可持续能源系统的转变。

如果 REmap 方案在全球范围内得以实现，辅以更高的能效，可使大气中的 CO₂ 浓度保持在 450 ppm 以下，有效防止全球平均温度升高，使其比工业化前水平增加不超过 2 摄氏度。

政策需求

REmap 2030 提供了诸多建议，为加速向可再生能源转型建言献策。其中包括：

可再生能源政策：

- 制定一个综合性的国家能源计划，包括电力、热能和燃气输送和分配所必要的基础设施。
- 运用税收、限额和/或 CO₂ 交易系统等手段，改善 CO₂ 排放和燃煤导致的其他空气污染。
- 评估不同可再生能源技术对社会经济、能源安全、卫生、土地和水资源所带来的影响。
- 为制造、建筑和交通部门制定可再生能源目标。

供电系统和市场设计：

- 建立国家电力市场，利用经济激励手段实现灵活运营，引进新投资者。
- 发展电网，更好地整合可再生能源，加强电力交易，解决电力不稳定问题。

技术相关政策：

- 加强政府对创新和研发的支持，降低可再生能源的成本。
- 支持下一代可再生能源技术的发展。
- 改善对生物质技术的了解和信息收集，建设一个运转良好的生物质原料市场。

近年来，中国的能源使用增速惊人，且到 2030 年将再增加 60%。如果按照现有发展步伐，中国不仅将成为目前为止全球最大的能源消费国，也将成为世界第一大 CO₂ 排放国，排放量达排名第二国家的两倍以上。如果提高可再生能源的利用，中国的能源系统将继续产生高水平的空气污染，不但对健康产生消极影响，也不利于经济增长和保持良好的环境。没有能源系统的多元化及向可再生能源的转变，中国对进口石化燃料的依存度将越来越高，最终对其国家能源安全和经济增长产生不利影响。

中国可以另辟蹊径，从而加速向可再生能源未来迈进。这条路必定充满挑战，包括优化电网和输电基础设施，以及生物质收集和物流等方面。通过有效地制定计划，创建对可再生能源的外部效益进行评价的机制，这些挑战最终都能被一一克服。如果中国能果断出击，提高可再生能源在其能源系统中的地位，就能大幅度降低环境污染，促进能源安全，助益经济，并在遏制气候变化中发挥主导作用。

1. 前言

REmap 2030 是国际可再生能源机构 (IRENA) 编制的一份全球可再生能源路线图。它阐述了如何加快可再生能源在各国家的发展速度，从而在 2030 年实现可再生能源在全球能源中份额翻倍的目标。

若要实现可再生能源得翻倍目标，重点就是加强在供热、发电和生物燃料领域中的生物质使用，发展风能和太阳能技术，拓展能源领域中的电气化应用。根据对 26 个国家的分析，REmap 2030 认为，如果按照目前对可再生能源现阶段和未来发展的规划，可再生能源在 2030 年世界最终能源消费总量中所占的比例将达到 21% (IRENA, 2014a)。为实现可再生能源翻一番，即占全球总体能源消费 36% 的目标，还存在 15% 的差距 (世界银行, 2013)。

REmap 2030 是 IRENA、各国 REmap 专家及其他利益相关方合作的成果。中国是世界上的能源生产和消费大国，也是二氧化碳 (CO₂) 排放的主要来源国之一。因此在这份最新报告中，将着重探讨可再生能源在中国的现状和未来发展潜力。2010 年，中国已成为世界上最大的能源消费国，其终端能源消费总量 (TFEC) 达到每年 57EJ (艾焦) (相当于 19.5 亿吨标准煤, Mtce)¹，在全球 TFEC 中占比 18% (IEA, 2012a)。

国际能源署的《世界能源展望》(WEO) 2012 (IEA, 2012a)² 数据显示，中国在 2010 年至 2030 年间的 TFEC 预计增加 60%。IEA 和中国的国家可再生能源中心 (CNREC) 预计，在中国的 TFEC 总量中，

1 1tce 等于 29.3 GJ, 1EJ 等于 109 GJ 或 34.1 Mtce。

2 中国的参考情景根据 IEA 的 WEO 2012 编制，在这份资料中，预计 2030 年的 TFC 较 IEA 的 WEO 2013 预估的 103EJ (IEA, 2013a) 减少 5%。但在这两年的预估数据中，2010-2030 和 2011-2030 的增长率数值比较接近，大致为年均 2.2%。

现代可再生能源增长将只能从 2010 年的 7% 增加到 2030 年的 16% (不包括生物质传统使用)³。

但是，除了参考情景中所列的方式之外，如果能够将 REmap 中提出的所有可再生能源技术加以充分利用，中国的可再生能源还将存在巨大的发展潜力 (IRENA, 2014a)。为实现翻番目标而需要加以利用的可再生能源技术被称为 REmap 方案 (REmap Options)。中国幅员辽阔，各地区在可再生能源技术和潜力方面的情况各异，因此这些 REmap 方案中包括地热能、风能、以及不同形式的太阳能和生物质能。附件 G 中提供了不同能源及其潜力的分布图。

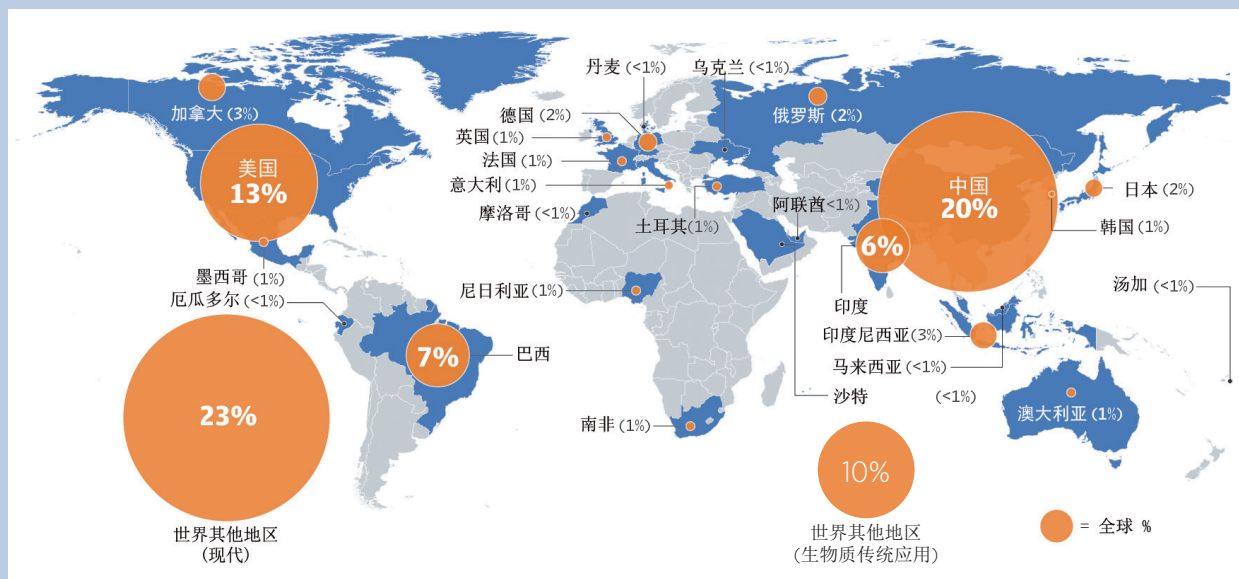
中国的可再生能源发展潜力，对于全球而言至关重要。图 1 显示了已制定了 REmap 规划的 26 个国家中利用可再生能源的具体情况。其中 6 个国家的新增可再生能源潜力占总潜力的四分之三，在全球 REmap 方案中占比超过一半。中国拥有全球最大的可再生能源潜力，占全球总潜力的 20%。若要实现全世界可再生能源份额翻倍的目标，中国的参与至关重要。

本报告的目标是提供中国 REmap 国家分析的详细背景数据和分析结论，并为如何将这些分析结果转变成行动提供建议。

本报告首先对 REmap 2030 的编制方法进行了简要说明 (第二章)，然后介绍了当前的能源状况和可再生能源应用的最新趋势 (第三章)。第四章详细介绍了中国参考情景的结论。即在目前

3 由于数据来源不同，对生物质传统应用的估值差异较大。相关信息的详情见第 3 章和附件 I。

图1：在 REmap 2030 中，各国在全球可再生能源应用总量中的比例



六个国家（巴西、中国、印度、印度尼西亚、俄罗斯和美国）的潜力接近全球的一半。如果在 26 个国家中部署 REmap 选项，上述六个国家在总增量估值中将占比 75%

条件下的发展预测。第五章讨论了当前的政策框架。第六章介绍了中国各种类型可再生能源的潜力。第七章也是本报告的核心内容，通过对 REmap 方案技术进行量化，阐述了中国如果想提高参考情景中的可再生能源使用比例，还具有

哪些潜力。随后介绍了中国可再生能源面临的机会和障碍（第 8 章）。

第九章提出了加快可再生能源发展的政策建议。

2 研究方法和数据来源

本章介绍了 REmap 2030 的研究方法，提供了中国分析所使用的背景数据信息。附件 A-F 提供了更详细的数据和背景假设条件。

《人人享有可持续能源》(SE4ALL) 倡议中提出了 2030 年全球可再生能源份额翻番的目标。作为一种定量分析方法，REmap 评估了现今各国可再生能源规划，以及各国 2030 年可采用的其他可再生能源技术方案，并评估了这两者与 SE4ALL 目标之间的差距。

REmap 共评估了 26 个国家：澳大利亚、巴西、加拿大、**中国**（本研究）、丹麦、厄瓜多尔、法国、德国、印度、印度尼西亚、意大利、日本、马来西亚、墨西哥、摩洛哥、尼日利亚、俄罗斯、沙特阿拉伯、南非、韩国、汤加、土耳其、乌克兰、阿联酋、英国和美国。

研究首先分析了国家层面的数据，包括终端使用部门（建筑、工业和交通运输）以及电力和集中供热部门。本分析中采用的当前国家计划以 2010 年为基准年，并以之为起始点⁴。参考情景所使用的是已到位或国家正在考虑的政策，包括这些预期数据中可能涉及到的能源效率改善。参考情景中列出了各终端使用部门的 TFEC 以及电力和集中供热部门所产生的能源总量，并提供了 2010-2030 年间按照各种能源载体的分解数据。中国参考情景以 CNREC 估算数据和 IEA 的《WEO 2012 新政策情景》为研究基础。在必要的地方，已使用其他中国资料来源或 IEA 自己的估算数据对中国 2010 IEA 能源平衡数据进行了更新，特别是住宅部门的传统生物质利用情况。

⁴ 在可获取的数据范围内，为关联内容提供了更近几年的数据（比如 2012, 2013）。

根据参考情景又确定了其他的技术方案，我们称之为 REmap 方案。之所以选用方案分析法而非情景假设法，是基于如下考虑：REmap 2030 是一项探索性研究，而非为了制定目标。

我们通过多项研究来确定中国的 REmap 方案，包括：

- 电力部门：使用 CNREC 估算数据、历史趋势、《IEA 中国风能路线图》(IEA, 2011a) 和 IRENA 可再生能源行业路线图及其相关数据 (IRENA, 2014b)
- 交通运输部门：使用 IRENA 估算数据
- 工业部门：使用了 IRENE 近期发表的工业可再生能源路线图 (IRENA, 2014b) 及其相关数据
- 建筑行业：采取了为建立参考情景和制定 REmap 方案进行的内部分析，以及《中国太阳能发展路线图研究》草案 (Ruicheng, Tao 和 Xuan, 2014)

IRENA 开发了一个 REmap 工具，研究人员和外部专家可通过这个工具，在 2010、2020、2030 年的能量核算中输入数据，然后评估 2030 年前为加快可再生能源利用可采取的各种技术方案。除了本报告附件中提供的内容，还可以在我們的网站上查看这些技术的详细列表及相关背景数据。这个工具中的内容包括：各部门的可再生能源和传统能源技术（化石燃料、核能和生物质传统应用）的成本（资本、运营和维护）和技术性能（参考装机容量，能力系数和转换效率）。分析的部门包括：工业、建筑、交通运输、电力和集中供热。

每一种可再生能源技术都通过其成本进行描述，每一种 REmap 方案的成本都通过其替代成本进行描述。替代成本的计算方法为：REmap 方案年化成本与生产同量能源所用传统技术成本之间的差值，除以最终能源数据中的可再生能源使用总量（按照 2010 年实际美元/吉焦 (GJ) 终端能源消费量）⁵。有了这个指数，就可以比较为各部门所确认的所有可再生能源技术。

替代成本是评估 REmap 方案经济可行性的重要指标。它们的决定因素有：被替代的传统能源技术类型、能源价格和 REmap 方案的特性。成本可为正值（增加）也可以为负值（节约），因为随着经验积累和规模效益，到了 2030 年，很多可再生能源技术已经或可能比传统技术更具成本效益。

根据替代成本和各 REmap 方案的潜力，我们分别从以两种视角绘制了 2030 国家成本供应曲线：政府视角和企业视角。政府视角成本曲线中，成本不包括能源税和补贴，采用 10% 的折扣率标准，从而实现国家间可比较。通过估算政府视角成本曲线，可以对 26 个 REmap 国家进行相互比较，也可以进行单一国家的成本效益分析；政府角度曲线得出的数据为：为实现全球可再生能源份额翻番的目标，各国政府将会计算出的成本数值。

从企业角度分析重复了上述程序，但在生成国家成本曲线时，采用的是国家价格（包括能源税、补贴和中国 8% 的国家资本成本等）。这种方法得出的数据为：企业和投资者计算出的转型成本。本研究中，不包括补充性基础设施相关的所有额外成本，比如输电线、储备电力需求、储能或加油站。但在必要的情况下，我们通过查看相关文献，探讨了基础设施需求对系统总成本的意义。

在本研究的各个章节中，都会根据 TFEC 对可再生能源份额进行估算。⁶ 根据 TFEC，估算的可再生能源份额可针对中国所有终端使用部门的总量，也可以估算每个终端使用部门的可再生能源比例数值（可包括也可以不包括可再生发电和集中供热的用量）。我们还计算了可再生能源发电量和集中供热发热量的份额。关于 REmap 2030 研究方法的更多详情，请查询 IRENA 的 REmap 网站：www.irena.org/remap。

本报告还讨论了资金需求，以及由利用可再生能源所避免的外部成本。共提出了三项财务指标：系统成本净增量，投资需求净增量和补贴需求。这些指标简述如下：

- 1) 系统成本净增量：根据所有能源技术在 REmap 2030 及 2010-2030 各年参考情景中的利用总量，得出所有能源技术资本总额（美元/年）与运营开支（美元/年）之间差值的总和。
- 2) 投资需求净增量：该指标为下列两个数值的差值：所有 REmap 方案年投资需求，被替代的传统能源技术在未被替代情况下的投资需求。我们还估算了每种技术的可再生能源容量投资需求，方法是将下列两个数值相乘：提供与传统容量相同能源服务所需的各技术所需求量（吉瓦，GW），2010-2030 年间的投资需求（美元/千瓦 (kW)）。然后将这一总数进行年化，方法是将所得数值除以年数（即，2010 年至 2030 年间为 20 年）。
- 3) 所需的补贴：可再生能源总补贴需求的估值为：REmap 方案所提供的能源服务成本（美元/GJ 终端能耗），减去所替代的传统能源成本乘以其在指定年份的使用量（拍焦 (PJ)/年）。

⁵ 2010 年，美元与人民币的汇率率为 6.8:1。

⁶ 可再生能源份额比例的估算方法为：终端可再生能源总用量除以 TFEC。终端可再生能源总用量包括：(i) 终端使用部门为产生热能所使用的燃料总量（工业用热、采暖/热水、烹饪等）；(ii) 交通运输部门使用的发动机燃料；和 (iii) 可再生资源发电量 and 集中供热总消费量。

除了投资和补贴需求，还估算了减少化石燃料使用后，与温室气体 (GHG) 减排和室内外空气改善相关的外部效益。第一步，首先估算各部门和各能源载体的化石燃料燃烧 GHG 排放量。这一数值的计算方法是：每一种化石燃料的能源含量，乘以其默认排放系数（根据低发热值 (LHV) 计算），该系数由联合国政府间气候变化专门委员会提供 (Eggleston 等人, 2006)。分别计算参考情景和 REmap 2030 的排放估值。这两个估值之间的差值，即为增加可再生能源使用后，可以减少的由化石燃料燃烧所产生的总 GHG 净排放。在评估碳排放相关的外部成本时，假设碳价范围为每公吨 CO₂ 20 至 80 美元 (IPCC, 2007)。这个范围仅适用于 CO₂ 排放，不适用于其他温室气体。IPCC (2007) 对碳价的规定为：能够反映减少一公吨 CO₂ 等量 GHG 排放所产生的社会成本。

按照另外一套方法，对除了与 GHG 排放相关效果以外的，影响人类健康的外部成本进行了估算。通过以下数据评估室外空气污染：1) 燃烧化石燃料的电厂所排放的二氧化硫 (SO₂)、氮氧化物 (NO_x) 和小于 2.5 微米的细颗粒物 (PM_{2.5})，以及 2) 道路车辆的 NO_x 和 PM_{2.5} 排放。为了评估化石燃料电厂的 SO₂、NO_x 和 PM_{2.5} 室外排放的外部成本，使用了各污染物的以下参数：(a) 排放系数（即，2010 和 2030 年的公吨/kWh 数值，数据来自 IIASA GAINS 数据库 ECRIPSE 情景 (IIASA, 2014))，和 (b) 单位外部成本（即欧盟 (EU) 的欧元/公吨平均值，资料来自 EU CAFE 项目 (AEA, 2005)) 并根据中国情况进行调整。根据国内生产总值 (GDP) 的差异，计算欧盟和中国外部成本可能的差值。

请在官网查看 REmap 分析方法的详细版本。⁷

⁷ www.irena.org/remap

3 可再生能源的近期趋势和能源现状

要点

- 2010 年作为 REmap 2030 分析的基准年。在这一年，可再生能源在中国终端能源消费总量中所占的比例为 13%。
- 2013 年中国的可再生能源发电量中，有 85% 为水力发电，随着其他发电形式的不断涌现，水力发电的份额开始下降。风力发电量大幅增加。2013 年，中国的风电装机容量为 77 吉瓦 (GW_e)。因此，在 2013 年可再生能源发电总量中，风力发电占比近四分之一。
- 在中国目前的可再生能源应用中，现代和传统生物质的利用比例超过 50%。但是，传统形式生物质的实际消费情况具有很大的不确定性。本研究参考了现有的文献，并进行了自下而上的分析，最终采用了估算范围 1 EJ-8 EJ 的中间值，即 4 EJ (136 Mtce)。
- 中国很早就开始发展家用沼气，可以追溯到 20 世纪 60 年代。2003 年至 2012 年的总投资量接近 150 亿美元。如今，中国每年约有 5000 万家庭使用沼气，总用量达到 160 亿立方米。
- 中国拥有世界上最大的太阳热利用装机容量。2012 年在全球 270 吉瓦热 (GW_{th}) 的总量中占三分之二。这些容量全部来自建筑部门。
- 但中国的可再生能源分布存在较大的区域差异。风电主要集中在西北和东北部。并网太阳能光伏 (PV) 发电主要集中在中国北部和西部。2013 年，分布式太阳能光伏 PV 发

电被重新提上日程，预计将持续发展。主要集中在东部。在生物质方面，根据原料、农业废弃物和垃圾的不同类型，主要集中在中部和北部农村地区，以及中国各地的林业废弃物地区。

本章从部门和能源载体的层面阐述中国的能源现状，同时还对最新的可再生能源发展和新增装机容量进行简要概述。

3.1 可再生能源发展现状

电力部门

2013 年，中国的总发电装机容量超过了美国。仅在 2013 年一年，总容量就同比增加了 8%，达到 1,234 吉瓦电力 (GW_e)。预计到 2030 年甚至以前，中国的发电装机容量将会增长超过一倍。

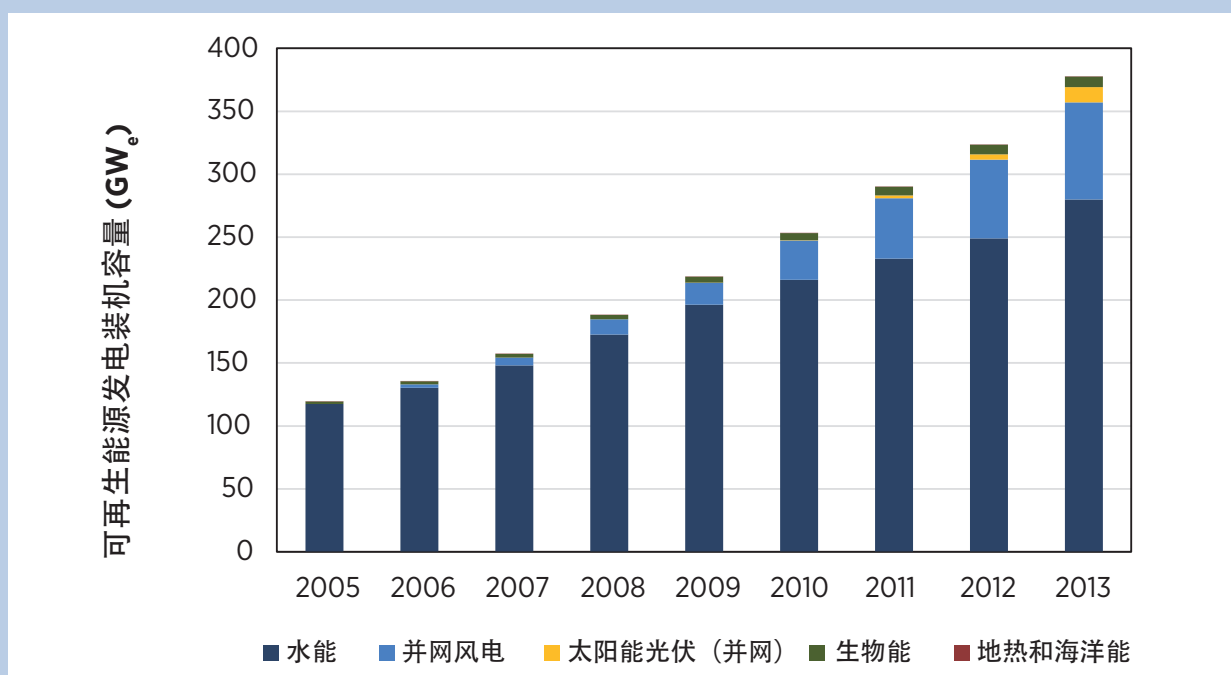
可再生能源项目在总发电装机容量中所占比例将会越来越高。图 2 显示了 2005 至 2013 年间，可再生能源电厂总装机容量的增长情况。可再生能源总装机容量在 2013 年达到了 380 GW_e⁸。装机容量自 2005 年以来已经增长了三倍。

截至 2013 年末，中国水力发电的装机容量为 280 GW_e⁹，水力发电领域的投资量居世界首位 (CNREC, 2014)。因此，在中国的可再生能源发电总装机容量中，水力发电占比近四分之三。

8 不包括 20 GW_e 抽水蓄能电站。

9 这其中包括 50,000 多个小型水力发电设施，总装机容量约为 67 吉瓦。

图 2：中国可再生能源电厂累计装机容量



来源：IRENA 根据 CNREC (2013a,b; 2014) 数据所做分析

注：不含分布式光伏发电容量（2013 年为 5 吉瓦 (CNREC, 2014)）。

2013 年以来，中国的总发电容量始终位居世界首位，预计在 2030 年将增长超过一倍以上

其中 10 个省的水力发电量占总水电量的 70% 以上 (CNREC, 2013a)。中国三分之一的省和四分之一的人口使用小型水电厂的电力。中国小型水电厂的发电能力也居世界首位。2012 年，中国的分布式能源容量为 34.3 GW_e，其中小型水电厂的贡献为 26.7 GW_e（不是所有小型水电厂都属于分布式能源范畴）。分布式能源也被视为改善农村收入和辅助灌溉的一种方法。

中国的大型水电站开发商大多为国有企业。中国 65% 的水电项目由中国水利水电建设集团开发。私营企业目前很难进入这一市场。但是，金安桥水电站、木京水电站、五郎河水电站和昆龙水电站的建设方汉能控股集团，却是一家致力于开发水电、风电和太阳能发电项目的私营企业。

但是，中国目前的装机容量仅占其技术可开发潜力的 40%，大大低于发达国家的平均水平。对水力发电领域的规划为：到 2020 年实现发电装机

容量 420 GW_e 的目标，包括 70 GW_e 抽水蓄能电站 (WRI, 2014)。要实现这一目标，就需要在金沙江、雅砻江、大渡河、澜沧江和雅鲁藏布江上修建 50 多个大型水坝。

风力发电容量仅次于水电装机容量。如图 2 所示，风电投资近年来迅猛增长。截至 2013 年末，风电总装机容量达到了 91.4 GW_e；中国已成为全球最大的风能利用国 (GWEC, 2014a)。在过去 3 年中，新增装机容量与新入网发电能力之间的差距也在减小。如今，已有 77.1 GW_e 总装机容量并入供电网。

中国风力发电装机容量在 2008 年至 2013 年间增长了六倍。尽管只占总发电量的 2.5%，风电已成为火电和水电之后中国电力生产的第三大来源。这意味着风电产业的发展空间巨大。2010 至 2012 年间，年均新增风电装机容量为 15 GW_e。风电场的规模也在不断加大。2012 年，平均单台机组容

量达到 1.4 兆瓦 (MW_e)，是 2005 年单机容量数据的一倍 (CNREC, 2013a)。

2013 年，筹备中的风电项目发电能力达到 60.2 GW_e。如果这些项目在未来 2-3 年内竣工并实现并网，预计中国并网风电总装机容量将会翻一番 (CREIA, 2014a)。

风电领域中私企和外企的参与度仍然有限，分别仅占总风能发电装机容量的 5% 和 1%。风电总装机容量中约 80% 来自国企风电场，14% 来自中外合资风电场 (CNREC, 2013a)。

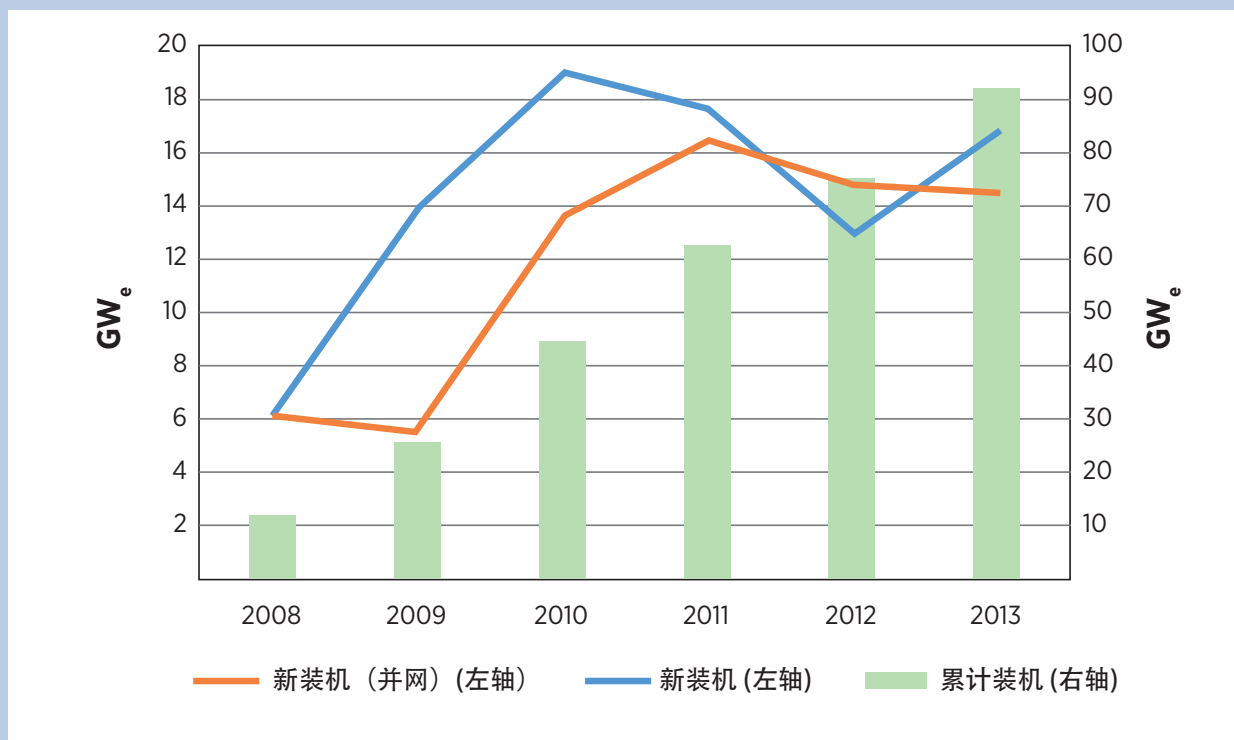
在风电总装机容量中，中国北方占比约 70%。河北和甘肃省也开发了很大规模的风电装机容量：分别达到 7.1 GW_e 和 6.3 GW_e，(CNREC, 2013a; Perera, 2014)。

风力发电是中国第三大电力来源，但目前仅占总电力的 2.5%。

2012 年末，中国海上风电的装机容量已经达到 390 MW_e，主要集中在江苏省和上海市，所有电厂均已并网。总容量中有三分之二位于潮间带区。在这片区域中，东海大桥（靠近上海）风电场的容量为 102 MW_e，是拥有最大容量的单一海上风电场。至于其他项目，大部分都是用于演示和测试的小型示范项目 (Carbontrust, 2014)。中国最大的海上风电示范项目位于江苏如东，装机总容量为 150 MW_e。其他海上风电项目还包括：东海大桥项目 65.6 MW_e 二期，2011 年已安装 8.6 MW_e (GWEC, 2014b; WP, 2013)。

此外，中国的光伏项目数量也在不断增加。近几年来，太阳能 PV 的发电装机容量出现了大幅增长。2010 至 2012 年间的增速接近十倍，从 0.8 GW_e 增加至 7 GW_e。仅 2012 一年，就增加了约 4 GW_e，超过了之前五年的总装机容量。

图 3：中国风电容量增长，2008-2013



来源：CWEA (2014); CHPDI (2014)

2013年初，中国制定了到2015年实现35 GW_e装机容量的新目标，比之前21 GW_e的目标提高了40%。提高目标的部分原因是，向大型并网PV项目提供的16美分/kWh电价补贴(FIT)政策已到期，到2013年的年新增装机容量记录重设为近13 GW_e。这使得总装机容量达到19.6 GW_e，包括16.3 GW_e地面太阳能光伏电站和3.1 GW_e分布式太阳能发电系统。

在2013的强劲增长势头之后，2014年5月中国颁布了《大气污染防治行动计划》，随后提出了到2017年实现70 GW_e的新目标。要实现这一目标，未来四年中就必须持续每年13 GW_e的增幅(SolarServer, 2014)。尽管2013年的新增分布式太阳能PV发电容量约为800 MW_e，但2014年设置的新目标为：分布式太阳能PV发电装机容量要达到8 GW_e，6 GW_e为地面并网光伏电站(CREIA, 2014b)。由于分布式太阳能PV发电在总装机容量中占38%，因此新目标强调了分布式太阳能PV发电的重要性，将电站级太阳能PV发电建设集中在西部地区(Haugwitz, 2014)。但在2014年上半年，建成的地面电站级光伏发电装机容量只有2.3 GW_e，分布式光伏发电的装机容量则为1 GW_e，但同期还有另外3 GW_e至少已经进入试运行阶段。若要完成2014年设置的目标，近期还需做出巨大的努力。

在光伏发电装机总容量中，青海、新疆、西藏、内蒙古、四川和甘肃几省占去了大部分份额，因为中国超过三分之二的太阳能资源潜力均位于这些省份(CNREC, 2013a)。

聚光太阳能热发电(CSP)是近几年才引进中国的技术。2011年，共有5个获批在建项目，总容量为342.5 MW_e，全部使用抛物线型槽式技术。这几个发电场分别位于甘肃、内蒙、宁夏和青海(Eurobserv'er, 2014; ESTELA, 2012)。预计到2018年的装机容量将达到1.4 GW_e。十二五规划(FYP)(2011-2015)制定的目标(1 GW_e)是这一增长的重要推动力。此外，充足的低成本融资机会、与煤电或储电相结合混合发电技术的灵活性，也会推动其增长(IEA, 2013c)。中国提出的2020年目标为3 GW_e CSP装机容量。

两个装机容量均为50 MW_e的CSP项目，已获得亚洲发展银行总计2.5亿美元(17亿人民币)的贷款。其中一个位于青海，所获贷款金额为1.5亿美元(预计年发电量为197 GWh)，另一个位于甘肃，获得贷款1亿美元(抛物线槽式集热器)。这两笔贷款分别于2013年和2014年到位(Lee, 2014)。

2014年8月，国家发改委向德令哈PV电场提供了19.2美分/kWh的电价补贴优惠。该电站是中国第一个CSP项目，由中控集团运营，其设计装机容量为50 MW_e。一期工程的装机容量为10 MW_e，2013年初已进入商业运营。经过近两年的运营，为决策者提供了未来制定电价补贴政策的参考数据。目前的补贴水平低于CSP行业的预期，建议未来CSP的FIT能够与PV项目实现差异化。如果能实现这一点，对CSP行业而言将具有重要意义，因为之前的主流观点是，这两种类型的太阳能电厂可以享受相同的电价补贴政策，当一批CSP项目建成并实现运转和发电，提供足够的运营数据作为决策基础之后，才能出台一个广泛使用的CSP电价补贴政策。

CSP试点项目的电价相对较低，可能还反映出政府的另外一个意图：鼓励使用国产设备。目前，中国CSP行业面临的两大挑战是：资源评估和系统优化。众所周知的是，随着中国CSP制造产能的增加，将使能源平准化成本(LCOE)大幅下降。这可能会让这项技术重新成为讨论的焦点。

首个 CSP 试点项目实行相对较低的上网电价，这表明决策部门鼓励对该行业的投资。

生物质发电装机容量从2006年的1.4 GW_e增加到2013年的8.5 GW_e。在很长一段时间内，生物质发电的装机容量在可再生能源中一直排名第二，仅次于水电，直到2007年被风电取而代之。绝大部分生物质发电厂都位于中国东部，仅山东一地就占去了总量的14%。河南、江苏、黑龙江和湖北分别拥有约500 MW_e的装机容量(CNREC, 2013a)。

采用不同技术的生物质发电装机容量差别很大。目前，总装机容量的一半（4.1 GW_e）来自直接燃烧农业和林业生物质的发电厂。2012年末，在运行的蒸汽循环发电厂共有100家，大部分的平均机组容量为12 MW_e，但有些高达50 MW_e。这些容量中有四分之一（2.3 GW_e）来自垃圾焚烧，约0.3 GW_e来自沼气，1.2 GW_e来自污泥和生物质气化发电，1.7 GW_e来自甘蔗渣发电厂¹⁰（CNREC, 2014）。生物质混燃发电受到限制。政府已经制定了2020年30 GW_e的生物质发电目标。

2012年，现代生物质发电量约为34 TWh（生物质用量约为0.5 EJ）。预计在2015年，用于发电的固体生物质将增加到0.7 EJ，沼气将增加到0.5 EJ，用于供热的固体生物质增加至0.18 EJ，生物燃料增加至0.18 EJ（总计1.6 EJ）。

2015年的生物质发电目标为13 GW_e。包括8 GW_e农林废弃物发电，3 GW_e城市固体垃圾发电和2 GW_e沼气发电。据此，总发电量将从2012年的34 TWh/年数值增加一倍。

欧洲的高压高温技术已被中国市场应用。使用这种技术的锅炉效率最多可提高32%。中国拥有成熟的燃烧技术，目前有多个装机容量高达50 MW_e的电厂。2012年以来，共有三个在运营的高温 and 超高压循环流化床锅炉（Van Sambeek等人，2013）。对于相同的基础技术，欧洲的工程、采购和施工（EPC）成本为2500美元/kW，而中国利用国产设备则仅为1000-1200美元/kW。需要特别注意的方面有：燃料处理和供给、燃烧、锅炉和废气清洁（Brendstrup, 2012）。

¹⁰ 甘蔗渣是甘蔗行业的副产品。2010年中国的甘蔗产量约为110 Mt/年，产生约36 Mt/年的甘蔗渣（包括40-50%的水分）。相当于甘蔗渣每年的总发电量可以达到300 PJ。目前中国的甘蔗渣产地发电总装机容量为800-1,700 MW_e，相当于50-100 PJ/年，这就意味着实际产生的甘蔗渣中，用于发电的只有15-35%。

在欧洲技术和工程、采购和施工成本下降的推动下，生物质投资实现了稳步增长。

中国的地热资源虽然面积广大，但是温度偏低（大部分地点温度为30-90 °C）。自1999年以来，在非电力地热应用领域，比如空间加热和休闲娱乐，中国一直位于世界首位。中国的高温地热应用潜力主要集中在西藏南部、云南西部、四川西部，均属于喜马拉雅地热带范围。但是，能否在不破坏环境的前提下，以具有经济可行性的方法开采这些资源，目前还并不确定。因此，多年来，中国的地热发电量一直停留在每年约27 MW_e的水平（CNREC, 2014）。羊八井地热电厂是中国最大的地热发电项目，总容量为25.2 MW_e，1977年开始运行（建设时间为1977年至1991年，运行之初的容量为1 MW_e）。西藏、广东和湖南还曾有过很多发电量非常小的电厂，但在羊八井建成发电后均已停止运行。

自1992年以来，中国在这一领域并未出现较大的发展（Worldview, 2012）。但是，羊八井拥有50 MW_e至90 MW_e的地热发电潜力（Bertani, 2010）。中国的目标是在2015年实现60 MW_e的总装机容量（GEA, 2012）。

交通运输部门

交通运输部门的两个重点技术是：液体生物燃料和电动汽车。从2005年至2012年，中国的燃料乙醇产量翻了一倍，总量达到25亿升（CNREC, 2013a）。中国的生物柴油产量较小，2009年的总产能为300万吨，但实际产量只有50万吨。目前的产量仍未增长（Qiu等人，2012；USDA, 2012；CNREC, 2013a）。

甘蔗、甜高粱和木薯均可用于生产乙醇。但是，政府比较担心生物燃料与食品竞争原料的问题。因此，政府放弃了以食用作物生产交通生物燃料的宏大计划，而将注意力放在高级生物燃料领域。目前全世界有100个此类项目，其中18个位于中国，产量占总量的40%（年生产能力为25亿升每年）（IFPEN, 2013）。

2007年，中国在广西建设了第一家木薯乙醇工厂。产能为每年2.5亿升。2012年，以甜高粱为原料的生物乙醇厂在内蒙古落成，年生产能力为6400万升(USDA, 2013)。中国粮油食品进出口公司/中国石化和诺维信合资，在肇东投资了一家以农业废弃物为原料的生物乙醇厂，年产能6400万升。还有另外两个同类项目，一个在上海，一个在曹妃甸，以钢铁厂排出的一氧化碳废气为原料生产乙醇，年生产能力均为40万升，上海工厂预计扩大产量至每年1.2亿升(AEC, 2013; E2, 2013)。圣泉集团有一家以当地玉米芯残渣为原料的生物乙醇厂(原来是一家玉米糠醛工厂)，年产量为2200万升。龙力公司(最初是一家传统生物燃料公司)也使用玉米芯为原料生产生物乙醇，产量为每年5600万升。在河南圣泉还有一个较小规模的工厂，产量为1100万升/年。最后，安徽省计划投资兴建一个生物炼制工厂，以麦秆、玉米秸和木质素副产品为原料，生产乙醇和生物乙二醇并进行发电(Biomass Magazine, 2013)。

此外，改变交通模式也将作为交通运输部门的可再生能源发展选项，比如采用以可再生电力驱动的高速火车，以替代柴油驱动的卡车或城市轨道交通交通工具。

其他终端使用部门

在建筑和制造业，可用多种技术代替传统燃料生产热能，用于取暖、热水、烹饪和加工用热。这些技术包括太阳热能、地热、热泵和生物质供热。中国目前已采用了上述所有技术，并具有极大的发展潜力。主要挑战在于：如何利用现代形式的生物质能源和其他可再生能源，替代中国传统的生物质应用方法。

3.2 基准年可再生能源情况

各产业部门情况介绍

2010年，中国消费的一次能源总计100 EJ (3,410 Mtce) (不包括5 EJ的非能源使用) (IEA, 2013a)^{11,12}。在终端能源消费方面，中国2010年的能源总需求是57 EJ (1,950 Mtce)，其中工业部门消费量占59%，建筑部门消费21%，交通运输部门消费13% (图4)。电力在TFEC中占比20%，其中75%用于工业部门，剩余的25%主要用于建筑部门。集中供热在中国是一种重要的供热形式。2010年的产热量为3 EJ。工业和建筑部门的热能消费在TFEC中分别占比约4%。集中供热总需求中，约有70%用于工业部门。

在过去的30年中，TFEC中各部门的能源使用情况已经发生了改变(IEA, 2013a)。20世纪80年代，建筑能源需求在TFEC中的比例超过一半，交通运输部门占比仅为5-6%。工业部门占比约为40%。相比之下，如今工业能源用量在中国总能源需求中的份额超过一半，交通运输部门占比增值三倍，达到15%，建筑部门目前占比下降到30%。

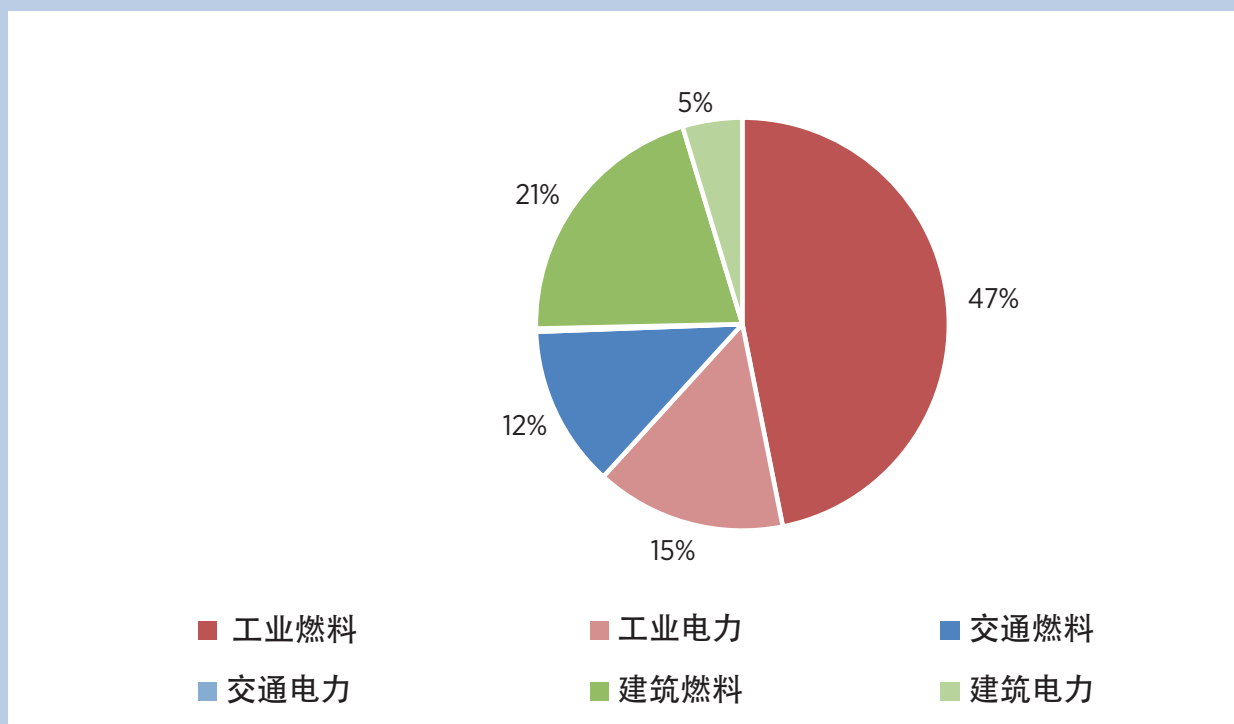
2010年的TFEC中，现代和传统形式可再生能源占比为13%。但很难区分所使用生物质是传统形式还是现代形式。根据来源判断。中国传统生物质形式所产生的能源约为1 EJ至8 EJ (见附件1了解更多详情)。如果去除传统生物质利用量，现代可再生能源在TFEC中占比7% (IEA, 2013a)

可再生能源的使用主要集中在终端使用部门。在建筑部门，如果去除电力和集中供热消费，可再

¹¹ CNREC (2013a) 的数据显示，中国在2012年消费的一次能源总量为3620 Mtce，大约为106 EJ。

¹² 一次能源消费，即直接使用所有的能源载体(比如原油)，而不将其转化或转型为其他能源形式(比如热能)。因此，这个数量要比TFEC高，因为TFEC的统计范围仅限比如交通运输部门所用燃料或电器用电等能源载体的消费(见脚注1)。

图 4：中国 TFEC 细分数据，2010



来源：根据 IEA 研究 (2013a) 获得的 IRENA 估值

再生能源使用占比 16%。相比之下，工业和交通运输部门的再生能源使用量太少，几乎可以忽略不计。¹³在 2010 年，电力部门有 19% 的电力来自可再生能源，而在集中供热领域，可再生能源仅占 1%。

中国的工业占终端能源消费总量的 62%，在所有大经济体中排名最高；但在工业部门的燃料结构中，可再生能源的比例却是最低。

工业部门目前是中国最大的能源用户，占总 TFEC 的 62%。预计到 2030 年，这个份额将稍许下降至 50% 至 55%。

如今，在几乎所有大宗物资领域，比如水泥、钢铁和纺织纤维，中国的产量都位居世界首位。与其他部门相比，工业的地位非常重要，这也是中国能源系统的一个主要特色。钢铁产业是最大的

工业能源用户，在中国的 TFEC 中占比 40%。其他工业能源使用大户还包括：非金属矿物 (18%)、化学品和石化产品 (12%) 以及机械 (6%) (IEA, 2013a)。

工业的不同加工工艺中，需要使用大量的蒸汽。但是，工业热电联产 (CHP) 所占份额却比较低，大部分加工用热来自锅炉 (IEA, 2009)。

目前，煤炭是大部分 CHP 燃料的主要来源。CHP 通常与城市或工业的集中供热系统整合在一起，或与发电厂相结合，向附近的工厂或集中供热管道出售蒸汽。对新技术的投资改善了这些系统的总体效率，但目前还有很多效率低的老式煤燃料锅炉和供热管道（中国集中供热锅炉的平均效率为 60%-65%，集中供热管道的热损耗预计为 20%，最高可达 50%）(IEA, 2009)。

这些老式 CHP 不仅在能源效率方面比较落后，也给污染治理和 GHG 排放治理带来了困难。有

¹³ 假定可再生能源份额中去除了电力和区域供暖，则需求只计算部门总燃料使用中可再生技术做出的贡献。需要了解的重要一点是，这是去除了可再生电力和区域加热的结果，这两者通常都不属于终端使用部门的范畴。

一种方法可以实现大幅度 GHG 减排，那就是在单独的工厂以及新建商业和住宅项目中，使用本地化的定制 CHP 系统，采用更高效的清洁发电系统，原料来自天然气、可再生能源以及废弃燃料。

使用更清洁的本地化 CHP 系统，可以提高能效，有利于减少空气污染

交通运输部门中，公路运输使用的能源在行业总量中占四分之三以上。国内航运占比 8%。在交通部门的 TFEC 中，公路运输、管道运输和国内航空三方面总计占比为 13% (IEA, 2013a) 高速公路承担了一半以上的运输量 (2011 年，总计 30,980 亿乘客-公里中，高速公路占比 16,760 亿) 航空业在总旅客运输中占比 15%。铁路的重要性不断提高，2011 年铁路旅客运输量在总运输量中占比 30%。2011 年，货物运输中几乎有一半通过水运完成，而公路运输占三分之一，铁路占 20% (LBNL, 2013)。

2011 年，公路车辆（不包括摩托车和拖拉机）保有量达到了 9360 万辆，其中乘用车为 7480 万辆。民用机动车辆保有量中，卡车数量为 1790 万辆 (LBNL, 2013)，交通运输的需求增长迅猛。2011 年共销售了 1850 万辆汽车。未来预期还将进一步增长，但数量不明，长期而言，约在 2500 万至 7500 万辆之间。(Economist, 2012) 据业内人士估计，到 2030 年，车辆的保有量将达到 5-6 亿辆。(Wang 等人, 2013)。Ma 等人 (2012) 预计，到 2030 年，中国的车辆总数将增至 2.94 亿辆，年均涨幅为 11%。

城市间的客运交通方面，2030 年预计运输总量将达到 7.6 万亿乘客-公里，约为 2010 年数量的 3 倍。空运在总客运量中的比例预计翻倍。2030 年的货运数量可能比 2010 年增加一倍。铁路运输量占比可能从 30% 下降到 19%，水运从 23% 上涨到 33%，高速公路则可能增加到 48% (Ma 等人, 2012)。

建筑行业是排在工业和交通运输业之后的第三大能源用户。在建筑行业的能源消费总量中，民用住宅能源使用量占 86%，剩余的 16% 为商业建筑。建筑能源消费可分为三个部分：城市住宅、农村住宅和商业建筑。

相关文献显示，空间供热（包括电暖器）在民用住宅能源需求中占比 30%，但在商业建筑中占比至少为 50%。在农村地区，超过一半的能源需求来自烹饪 (Zhou 等人, 2007; PNNL, 2012; Xia, 2013; CPI, 2013)。但这个数据的细分情况，要根据生物质的描述方法而定。

中国农村住宅建筑总面积超过 200 亿平方米 (m²)。城市住宅建筑面积大约为 150 亿 m²，商业建筑的总面积大约为 80 亿 m² (CPI, 2013)。除了这些总量数据，还应关注中国人口统计学数据的变化和建筑使用情况的变化。一方面，中国的家庭规模在逐渐变小。1980 年中国家庭的平均人数为 5 人，到 2004 年，这个数字减少到 4 人。另一方面，住宅面积不断增加。比如，从 1980 至 2004 年，家庭平均住宅面积增长了三倍，从 35 m² 增加到 100 m² (Zhou et al., 2007)。

农村地区超过一半的能源用于烹饪，而商业建筑近一半的能源用于供热取暖。

中国是一个多气候带国家，寒冷地区的供热期可达到 200 天，比如在东北和西部。而其他地区的供热期可能只有 90 天 (IEA, 2009)。供热的能源消费总量，约为建筑部门能源需求的近四分之一。2008 年，中国建筑供热总面积约为 88 亿 m²。其中 38% 为 CHP 集中供热 (33 亿 m²)，36% 为燃气/燃煤锅炉集中供热 (32 亿 m²)。剩余的 26% 为分布式供热系统，包括热泵和电热 (23 亿 m²) (Xia, 2013)。

区域水暖供热是中国供热的重要方式。在中国所有主要城市中，有一半都采用集中供热系统。DEA (未注明日期) 的数据显示，集中供热的建筑面积近 48 亿 m²。这个数据是 2001 年总面积的三倍。这种增长的原因之一是国家政策和法规，另一个原因则是工业部门对余热的利用。CHP 在

集中供热系统中的市场份额越来越大，目前在集中供热总量中的比例超过了一半（DEA，未注明日期；Euroheat & Power, 2013）。

近年来，集中供热能力增长了近一半，从 2007 年的 224 GW_{th} 增加到 2011 年的 339 GW_{th}。供热管道长度同期也增加了近一半，从 102,000 km 增加到 147,400 km。在所有这些管道中，大部分都用于输送热水。2011 年供应的总热量约为 2.8 EJ，其中 2.3 EJ 为热水，0.5 EJ 为蒸汽。对热水的需求不断上涨，但对蒸汽的需求缓慢下降（Euroheat & Power, 2013）。

截至 2010 年末，中国约有 3850 万户用沼气池，约有 27,500 个利用农业废弃物的大中型沼气厂（Chen 等人，2012）。设备安装增幅很快。截止 2012 年末，中国农村地区使用的沼气厨灶约有 5000 万台。

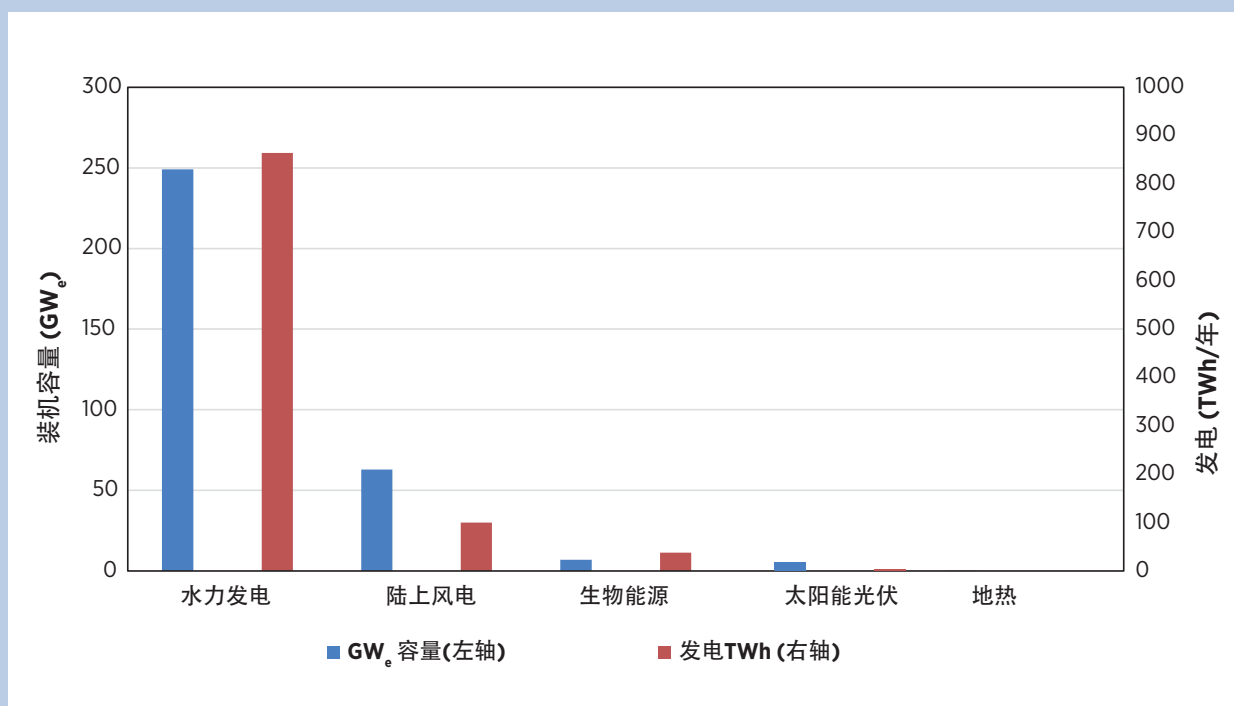
中国所有主要城市中，近一半采用集中供热系统，其中很多使用的是工业余热

煤炭仍然是中国能源行业的主要来源。2012 年，有近一半的煤炭用于发电，在 4,980 TWh/年的发电量中，煤炭发电约占 80%。天然气和石油产品总发电量少于 2%，核能发电占 1.2%。总体而言，2012 年化石燃料和核能发电的装机容量为 840 GW_e，在 1,144 GW_e 的总发电能力中占比 71%（CNREC, 2013a）。如前所述，在发电领域中，可再生能源发电量约为 20%，其中水力是最大的可再生能源发电来源，其次是风能和生物质。

如今，水力发电在可再生能源发电总量中占 85%

2010 年，居民生活用能中的可再生能源应用，几乎全部为使用传统或现代生物质进行加热和烹饪。2010 年，建筑部门供热所使用的太阳热能总装机容量为 130 GW_{th}，排在生物质之后（CNREC, 2013a）。在该部门的能源总需求中，现代可再生

图 5:可再生能源容量和发电量, 2012



来源：根据 CNREC 研究 (2013a) 进行的 IRENA 分析

能源约占 16%（不包括传统的生物质应用）。在化石燃料产品方面，建筑部门的总能量需求中，有 32% 来自煤炭和石油产品，各占一半。天然气在需求中占比 7% (IEA, 2013b)。

石油产品是交通运输部门主要的能源，占总需求的比例超过 90%，其他则为少量的天然气和煤炭。交通运输部门所消费的生物燃料大约为 20 亿升，在该部门总能源需求中占不到 1%。

工业部门中的生物质能应用仅限于黑液燃烧，大约为 100PJ/年。这个数值的估算基础为每年 5 Mt 的化工纸浆产量。IEA 能源统计中不包括这个数值。工业部门主要依赖煤炭来满足能源密集型行业的需求，比如钢铁和水泥生产。

生物质传统应用

在分析中国生物质的传统应用时，需要特别注意一点：由于资料来源不同，估算方式不同，因此数据量过大，难以生成比较可靠的数据。在世界范围内，过去十年中使用固体燃料进行烹饪和供热的人数达到 32 亿，其中大约 24 亿人使用传统生物质。如今，大约 8 亿人采用改良厨灶。中国在过去二十年中所做的努力功不可没（Pachauri 等人，2012）。

在中国大部分的农业省中，生物质是取暖、烹饪和热水用能的主要来源（An 等人，2014）。相比之下，中国城市人口的生物质用量几乎可以忽略不计。IEA 的数据显示（根据世界卫生组织的估算），中国约有 4.45 亿人仍依靠生物质传统应用，占总人口的四分之三（IEA, 2013a）。通过其他的资料来源（比如 Zhang, Watanabe 和 Lin, 2010）可知，2008-2009 年，农村人口中使用传统生物质的比例为 50-60%。

1983 年至 1996 年，中国使用改良厨灶的家庭为 1.77 亿户。以木材为燃料的改良式厨灶，其能源效率大约为 20%-30%。尽管有些研究认为，这些厨灶目前大部分处于使用状态，但其具体情况和接受度不明（Pachauri 等人，2012）。

通过文献比较我们发现，关于中国家庭在烹饪和取暖方面的传统固体生物质用量，并无一个具体数值。这方面的数据差别非常大，范围为 2 EJ 到 8 EJ（见表 1 和附件 1）。

在中国的能源使用结构中，生物质传统应用是一个重要组成部分，但这方面缺乏统一可靠的数据。

除了上述统计数据，还有一些文献提供了中国能源人均消费的估值。根据这方面的数据，结合农村人口依靠生物质传统应用的比例，我们可以得出总需求约为 0.8 EJ 至 4.2 EJ 之间（见附件 I）。

比较上述不同来源的数据，可以假定，如今农村居民用于烹饪和取暖的木材燃料用量约为 1.9 EJ (65 Mtce)，秸秆为 2 EJ¹⁴。在约 4 EJ (135 Mtce) 的总量中，可以假定用于改良厨灶的现代生物质约为 0.5 EJ (17 Mtce)¹⁵。但这方面还需要更深入地研究，加强数据收集。

传统燃料市场

中国经济发展迅速，近年来的城市化速度大幅加快，预计未来还将继续加速。化石燃料是满足能源需求的重要来源，尤其是煤炭。

2012 年，煤的总产量达到 35 亿吨标煤（近 80 EJ），可以充分满足国内的需求（CNREC, 2013a）。中国也生产石油和天然气。2010 年的原油产量超过 400 万桶/天，大约为 8 EJ。天然气产量在 2010 年达到 968 亿立方米 (4.2 EJ)（见图 6）。

1990 至 2012 年间，原油产量一直稳步增加，年涨幅约为 1.8%。中国北部和西部是主要产地，黑龙江、天津和陕西的产量在总产量中占 50% (LBNL, 2012)。石油市场主要由四家国企把控，包括中国石油天然气集团公司 (CNPC)、中国石

¹⁴ Xiajiao (2012) 的数据显示，在总计 700 Mt 的秸秆产量中，有 18% 被用做能源 (1.6 EJ)。Yishui 和 Liying (2011) 则认为，用于能源的秸秆共有 215 Mt (2.7 EJ)。而 Zhang (2014) 在这方面给出的数据为 350 Mt。

¹⁵ 1.8 亿台现代厨灶目前的现状并不清楚。假设仍在使用的厨灶为 2500-7500 万台，平均耗能 1-3 kW_{th}，那么 2010 年的现代生物质总需求应该大约为 500 PJ/年。

表 1: 中国生物质应用总结 (根据不同来源数据分析)

	IEA (2013b)	FAOSTAT (2014) ¹	LBNL (2013)	Xia (2013)	CNREC	Chen, Yao 和 Li (2010)
参考年份	2011 (EJ/年)	2011 (EJ/年)	2007 (EJ/年)	2011 (EJ/年)	2012 (EJ/年)	2008 (EJ/年)
固体生物质	8.5	1.9	7.4	3.7	0.6	5.1
住宅	8.0		7.4	3.7		5.1
薪柴			2.7			
秸秆			4.7			
成型燃料					0.1	
电力和 DH 发电	0.5				0.5	
液体生物燃料	0.05				0.1	
沼气	0.3		0.2		0.3	
总计	8.9	1.9	7.6	3.7	1.0	5.1

¹ 数据从 m³ 转换为 EJ, 假设密度为松木 450 kg/m³, 非松木 700 kg/m³, LHV 17.5 GJ/t

油化工集团公司 (Sinopec)、中国海洋石油总公司 (CNOOC) 和中国化工进出口公司。为了满足激增的石油产品需求, 中国还加大了对炼油、输油管道和港口基础设施的投资。中国的石油总储备为 1.03 亿桶 (战略石油储备 (SPR) 一期)。2020 年将实现 SPR 新一期储备目标, 储备能力届时将增长八倍 (IEA, 2012b)。

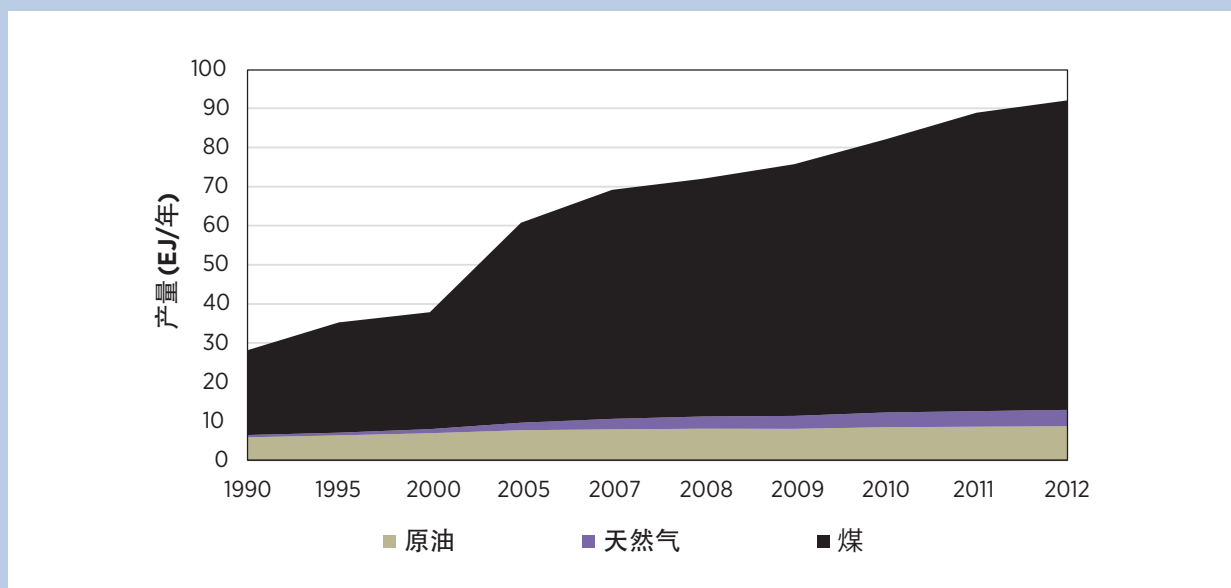
同期的天然气产量也将每年平均增加 9.3%。20 年前, 中国的天然气主要用于工业和建筑行业, 如今, 家庭住宅、商业和交通运输行业的需求也非常高 (IEA, 2012b)。为了确保天然气供应, 中国的目标是增加传统和非传统来源的天然气生产。天然气产量大部分来自西部省份, 包括新疆和四川 (LBNL, 2012)。前文所述的几家石油行业垄断国企, 也控制着天然气产品的上游市场。

1990 年至 2012 年, 中国煤炭产量的平均年增幅为大约 6%。2000 年至 2006 年之间, 中国加快了煤炭生产的速度, 增幅达到年均 10%。内蒙、山西和陕西省的产量占总产量的一半以上 (LBNL, 2012)。

在过去的二十年中, 除了化石燃料, 中国对石油产品、天然气和电力的需求增幅也非常惊人。自 20 世纪 90 年代末以来, 煤炭用量以超过 6% 的年均涨幅稳步增长。发电和制造业不断加大的需求是其主要推动力。虽然煤炭在中国的能源使用中仍然占据主导地位, 但中国对石油和天然气的需求也快速增长。尽管总量仍然较小, 但由于交通运输部门的需求不断加大, 石油产品每年的涨幅达到 7-8%, 超过了煤炭的增长速度。最后, 对天然气的需求增长也特别快, 特别是在过去十年中, 涨幅超过了年均 20%。经国务院批准, 中国制定了 2015 年煤炭用量目标, 将其控制在 40 亿吨标准煤以下。

随着中国对石油产品需求的增加, 其在全球石油产品需求量中的比例也在提高。从短期来看, 由于购车人数不断增多, 这个份额还将不断加大。IEA 预计 2010 年至 2030 年间, 中国石油用量总增长幅度将达到 70%。虽然略低于当前的趋势, 但幅度仍然相当惊人 (IEA, 2012a)。同期对煤炭的需求预计增加 25%。相比之下, 天然气供应预计至少增长四倍, 虽然高于煤炭和石油的涨幅, 但在总量中的占比仍然较低。

图 6：中国煤炭、原油和天然气产量，1990-2012



来源：根据 IEA(2012a; 2013a) 和 CNREC (2013a) 进行的 IRENA 分析

在过去十年中，由于购车人数激增，快速推高了对于石油产品的需求

中国未来对天然气的需求一部分通过页岩气生产来满足，一部分以液化天然气 (LNG) 形式通过管道进口，一部分则来自国内资源，比如致密地层天然气、煤层气和其他形式。中国拥有世界最大的技术可开采页岩气资源，约为 25.1 万亿立方米 (IEA, 2012b)。中国制定的 2015 年页岩气产量目标为 65 亿立方米/年，水平井钻井数量 990 个。2020 年的目标则是年产 800 亿立方米。但由于技术方面的问题，中国最近将这个目标降至原来的一半 (Reuters, 2014a)，缺水是实现这些目标的主要障碍。该行业 2014 年的年用水量为 1380 万立方米，占工业用水总量的 1%。但在某些缺水省份，大部分的水力压裂供水都无法得到解决 (Forbes, 2013)。

贸易是中国传统能源市场的重要组成部分。中国是原油净进口国。2010 年原油进口超过 10 EJ。石油消费中 55% 依靠进口，未来还将继续增加。在进口原油中，有一半来自沙特阿拉伯 (19%)、安哥拉 (17%)、伊朗 (9%) 和安曼 (7%) (LBNL, 2012)。

随着对天然气的需求不断增加，中国自 2006 年开始进口 LNG。截至 2010 年，总进口量达到 93 亿立方米 (相当于 355 PJ)。LNG 进口主要来自澳大利亚 (48%) 和印度尼西亚 (18%)。管道运输也是中国天然气贸易的重要方式。土库曼斯坦是中国天然气的最大供应国，占总进口量的一半以上。中国在这方面的最新动向是：2014 年 5 月与俄罗斯签署了新协议，在 30 年内进口价值 4000 亿美元的天然气 (从 2018 年起年供应量为 400 亿立方米)。2014 年 11 月 9 日与俄罗斯签署了谅解备忘录，将在中国和俄罗斯之间修建第二条天然气输送管道 (Al-Jazeera, 2014)。作为确保天然气供应安全的战略举措，中国还将继续投资天然气存储设施、区域间天然气输送管道和 LNG 终端。

尽管中国是主要的煤炭生产国，但出口量微乎其微。另一方面，煤炭进口量却增长迅速，2010 年达到 165 Mt。在进口总量中，有三分之一来自印度尼西亚，四分之一来自澳大利亚 (LBNL, 2012)。自 2011 年起，中国已经成为全世界最大的煤炭进口国，日本第二。尽管国内产量很高，但有几个因素导致进口量的快速上涨，比如交通运输瓶颈、环境和安全考虑 (与开采相关)、经济因素或焦煤储备耗尽等 (Tu 和 Johnson-Reiser, 2012)。

供热和交通运输应用中的可再生能源市场

如今，可再生能源在供热/制冷和汽车燃料两大领域中扮演着重要的角色。成型燃料市场正在中国兴起。产量已经达到 0.8 Mt/年。中国大约有 260 家企业生产秸秆成型燃料 (Xiajiao, 2012)。从世界范围来看，很多最大规模的颗粒燃料工厂均位于中国，年产能约为 100 至 200 千吨 (kt) (见表 2)。中国各地还有很多产量为 10-40 kt/年的小型工厂。产量预计将会增加 (Vakkilainen, Kuparinen 和 Heinimoe, 2013; Goh 等人, 2013)。中国在成型燃料方面的目标为：2020 年达到年产量 50 Mt。

中国还是木炭生产大国。木炭年产量为 1.7 Mt，全世界排名第六，位于巴西、几个非洲国家和印度之后 (Vakkilainen, Kuparinen 和 Heinimoe, 2013)。

2010 年，中国的纸浆生产为 20 Mt/年，在全球总产量中占比 10%，(包括机械纸浆制造) (FAOSTAT, 2014)。化学木浆制造过程中会产生一种名为黑液的有机废物。在回收锅炉中燃烧后可以产生能量。化学纸浆的年产量约为 5 Mt，这将产生约 100PJ 的黑液 (按照每吨纸浆产生 22 GJ 黑液计算)。目前，中国拥有很多全球最大的黑液回收锅炉，其中两个锅炉每天分别能燃烧 7000 和 5000 吨干燥固体黑液 (BLDS)，相当于每年分别为 29PJ 和 21PJ。目前在北海正在建设另外一个大型回收锅炉，其日处理量为 4000 吨 BLDS。

半个世纪以来，中国大力推广沼气应用，目前拥有全世界 90% 的沼气设施，2010 年处于使用状态的沼气设备共有 3500 万个，每年增加 500 万个，其中大部分都是农村的小型沼气池，与牲畜饲养相结合。但沼气生产已出现向集中工业化发展的趋势，因为在 2007 年，中国一半以上的商业猪肉都来自工业化规模的农场 (Hallding 等人, 2012)。

表 2：中国最大的生物质成型燃料厂

位置	产量 (kt/年)
山东临沂	200
广东广州	150
江苏扬州	120
江苏太仓	120
辽宁沈阳	100
山东肥城	100
河南南阳	100
江苏徐州	100
广东佛山	100

来源：Vakkilainen, Kuparinen 和 Heinimoe (2013)

2010 年，中国近 90% 的沼气产自小型户用沼气池。而大中型养猪场的沼气产量只占其潜力的 5% (Hallding 等人, 2012)。2012 年的沼气产量为 160 亿 m³，约为 0.25 EJ。家庭沼气设备的扩张速度开始放缓，全国目前有大约 5000 万个这样的小型设备。

为了配合这样的趋势，目前的政策开始着重于大规模应用领域。在中国的沼气生产中，农村地区的分布式沼气池占比超过 85%。沼气池获得的国家财政补贴约为 1300-3500 元人民币。大型沼气项目可获得 25-45% 的中央政府财政补贴和 5-25% 的地方政府财政补贴 (Van Sambeek 等人, 2013)。为了满足不同的需求，中国提供了多种类型的沼气生产设备 (IISD, 2014)：

- “三结合”式：在中国农村地区，传统的家庭沼气池与厕所和畜栏连在一起，可以更便利地向沼气池中补充牲畜和人类的排泄物。
- “一池三改”：这种沼气池又称为“农村沼气池三改”，因为农村家庭在建设沼气池的时候，通常会改造其畜栏、厕所和厨房。

- 中国南方的三合一式。这种方式着重于高效利用沼液。三合一这个名称最初指的是“猪-沼气池-水果”，即使用猪粪生产沼气，然后以沼液为肥料对桔树施肥。这种方式可以提高水果的产量和品质。
- 中国北部的四合一式。沼气池、牛棚和厕所全部安装在蔬菜和水果大棚中。由于这些地区较寒冷，因此温度较高的大棚将有助于沼气生产以及动物和蔬菜的生长。
- 中国西北部的五合一式。专为该地区气候干旱、冬季漫长寒冷的特点设计。与四合一式类似，但大棚的作用是牲畜保暖，整个系统中还包括一个雨水收集桶，可以满足家庭用水需求，也有助于沼气生产。

中国共有 1000 多个气化设备，主要为下吸式气化炉，为村民提供烹饪用燃气 (Chen, 2011)。目前的发展重点，集中在容量为 10-15 MW_e 之间的更大型设备，大部分为流化床和循环流化床。

投资沼气作为能源来源还具备其他优势，比如提高农业产量

与其他生物质形式相比，中国的液体生物燃料应用比例非常小。中国的液体生物燃料发展目标是，到 2015 年产 50 亿升乙醇和 12 亿升生物柴油。

乙醇的原料来自玉米、小麦和非谷物饲料。生物柴油的原料则主要是餐饮垃圾油、动物脂肪肥料和野生油料植物 (Qiu 等人, 2012)。中国在原

料方面着重于木质纤维素作物，避免与食品生产竞争。2012 年，中国共有 159 家乙醇工厂，其中 5 家已获得生产燃料乙醇的执照 (见表 3) (Qiu 等人, 2012; USDA, 2013)。2007 年，广西建成了世界第一家木薯生物乙醇工厂 (USDA, 2013)。山东有一家唯一获政府批准的纤维素乙醇厂。这家工厂于 2012 年 10 月开始运营，以玉米芯为原料生产乙醇，总产量为 50 kt/年。2012 年，内蒙古建成了一家以甜高粱为原料的乙醇厂，总产量为 50 kt/年。预计 2015 年产量将达到 100kt/年 (USDA, 2012; 2013)。

生物柴油行业正在对政府进行游说，希望对餐饮垃圾油生产的生物柴油实行免税 (5%) (USDA, 2012)。

中国的生物燃料政策，倾向于不与粮食生产竞争原料

为了满足供热和制冷的需求，太阳能和地热也是中国的两大主要能源。中国计划开发 1,000 个地热项目，满足 5000 万 m² 面积的供热/制冷需要，还要开发 100 个太阳能供热项目，覆盖 100 万 m² 的面积。

2010 年，中国在运行的太阳热利用装机容量为 130 GW_{th}，2011 年达到了 152 GW_{th}。到 2012 年，装机容量已经达到了 180 GW_{th}，等于全球总量的 67%。2012 年，大部分装机容量采用的是真空管集热器 (ETC) (168 GW_{th})。其余的 12 GW_{th} 为平板集热器 (FPC) (CNREC, 2013a; AEE-INTEC, 2014)。

表3：中国五大乙醇生产厂省份

位置	产量 (kt/年)	产量 (2008) (kt/年)	原料
吉林	500	450	玉米
黑龙江	400	140	玉米
河南	450	440	小麦/玉米
安徽	320	320	玉米
广西	200	150	木薯

来源：根据 Qiu 等人 (2012) 数据

根据中国国土资源部发布的《2005 年中国地热环境状况公报》，非发电目的的地热直接能利用量已经达到 10.5 GWh/年。2005 年，地热装机容量为 10,779 MW_e (Delman 和 Chen, 2008)。2011 年末，直接使用地热的装机容量为 8.9 GW_{th}，产生约 75 PJ 的地热能。地源热泵 (GHP) 的利用规模大幅增加，2009 年末的装机容量达到 5.2 GW_{th} (IEA-GIA, 2013)。IEA 的能源统计数据 (IEA, 2013) 显示，2010 年的地热供热消费量为 150PJ/年。其中 80 PJ 用于家庭住宅，44PJ 用于商业建筑，6PJ 用于工业部门。

在集中供热总量中，来自可再生能源的供热量占比非常微小（少于 1%）。满足这部分需求的主要资源为煤炭。由于中国在供热方面的需求不断增加，加上技术的发展，不同类型可再生能源将有很大潜力发挥更重要的作用。

电动汽车

科学技术部的电动汽车十二五规划和国务院 2012 年发布的《节能与新能源汽车产业发展规划》(2012-2020) 预计，截止 2015 年，中国道路上将有 50 万辆电动和插电式混合动力汽车。这就需要 40 万个充电桩和 2000 个充电或电池更换站。中国制定的目标是：2020 年路上的电动车和混合动力车达到 500 万辆，至少占汽车保有量的 3%。在全球每年销售的 2000 万至 3000 万辆电动交通工具中，有 90% 来自中国。2010 年，电动两轮车的总量已经超过 2 亿台 (IEA-ETSAP, 2013)。

2013 年 9 月，经由国务院批准，财政部、科学技术部、工业和信息化部和国家发展改革委员会 (NDRC) 联合发布了一项通知，将延长对新能源汽车的补贴，延长时间为 3 年，从 2013 年至 2015 年。

新补贴政策有三大重要内容：1) 将试点城市范围扩大到 88 个，特别是细颗粒物污染严重威胁公共健康的城市；2) 为不同类型的新能源车辆提供差异化补贴；3) 2014 年和 2015 年，所有电动

车和插电式混合动力汽车（除公共汽车以外）补贴，会在 2013 年的水平上分别递减 10% 和 20%。此外，新的补贴政策还统一了所有地区的补贴标准，改变了之前各地补贴各不相同的局面。

2014 年 7 月，国务院颁布了《加快新能源汽车推广应用的指导意见》。文件建议从 2014 年 9 月 1 日至 2017 年 12 月 31 日，对符合条件的车辆免除 10% 的购置税，包括电动汽车、插电式混合动力汽车和燃料电池汽车。政府希望通过这种方式降低购车成本，让新能源汽车在价格上更具吸引力。文件特别强调，应该加快充电基础设施的发展，打造全新的商业模式。国务院还要求相关政府部门，在 2014 年末前，提交 2016-2020 年的财政刺激政策方案。

2012 年，工业和信息化部的建议节能和新能源汽车目录，已经从原来的 628 种型号增至 248,000 种。这种增长幅度相当于每年增加 94%。2012 年的目录中包括 13,300 种电动汽车，10,400 种传统混合动力汽车和 1000 多种插电式混合动力汽车。要实现政府的目标，还需大幅加大工作力度。

25 个试点城市每年投放的新能源汽车总数保持在 1 万辆（十城千车工程）。很多城市最初制定的目标是：新能源汽车数量在 3 年内达到达到 3 万辆。因此，该工程的投放数量远低于地方的目标。补贴政策实施 2 年后的 2012 年末，25 个城市销售的新能源汽车数量超过了 27,000 辆。其中大部分为公共交通工具。这个数字为目标的一半以上。推进目标的进度之所以缓慢，原因主要有两个：

- 首先，就像世界其他地方一样，电动汽车在中国的价格相对较高。即使提供了 120 000 元（约合 17 650 美金）的补贴，地方和中央政府各负担 60 000 元（约合 8 800 美金）（目前深圳的补贴水平最高），一辆比亚迪 E6（最热销的中国制造电动车）的全价仍高达 17 万至 18 万元（25 000-26 500 美元）。与相似配置和性能的传统内燃发动机汽车相比，这个价

格要高出一倍。因此，个人消费者对电动车的需求仍然比较低迷。

- 目前的充电基础设施配置也无法满足近几年的趋势，想要实现目标，还需要加大投资力度。截至 2012 年末，25 个试点城市中只建成了 8107 个充电桩，174 个充电站或电池更换站。比如，2013 年 4 月，深圳路边充电桩的数量为 1000 个。这远低于 2012 年超过 40000 个充电桩的目标。截至 2012 年末，共修建了 60 个充电或电池更换站，1080 个充电桩。同样，这个数字也远低于 2015 年达到 256 个充电站和 42000 个充电桩的目标。来自国家电网公司和南方电网的数据显示，截止 2011 年，2015 年的充电桩和电池充电或更换站目标，只相应实现了 4% 和 13%。由于缺乏充电设施且分布不均，加上国家电网（倾向于电池更换方式）和大部分汽车公司（倾向于充电方式）的技术倾向和利益点不同，导致驾驶电动车出行并不便利。

近几年来，由于政府制定了雄心勃勃的目标并提供支持，推动了电动车行业的发展。但是，如果市场无法提供更多配套，缺乏来自政府的政策刺激，那么行业的未来发展并不确定。(WRI, 2013a)。

尽管政府作出很多尝试鼓励民众购买电动车，但高昂的价格和不完善的基础设施，却阻碍了推广电动车的努力

中国还设定了一个目标：截至 2016 年，新增政府公车中将有 30% 为替代能源型汽车。2014 年，在北京和珠三角等地区，至少 15% 的新增公车将使用新能源。政府宣布了一项针对电池电动车和混合动力汽车的新免税政策，从 2014 年 9 月 1 日起执行，2017 年末结束。中国将向价格低于 29 000 美元的新能源汽车提供补贴，还要求地方政府建设更多的基础设施 (Spiegel, 2014; BNEF, 2014a)。

在中国，除了乘用车，还有其他使用电动技术的交通工具。K9 是比亚迪公司生产的一款电动巴士，由公司自行研发的磷酸铁电池驱动。在城市路况中，K9 一次充电可行驶 250 公里。2010 年 9 月，第一辆比亚迪电动巴士出现在湖南省长沙市的道路上。截止 2012 年末，比亚迪从世界各国获得了超过 1200 辆电动巴士的订单（比亚迪，2013）。随着公司产量不断增加，生产成本预计将会下降。

安徽安凯汽车股份有限公司也是一家巴士制造商。目前，政府公布的《节能与新能源汽车目录》中，共有 44 种混合动力和电动车。这家公司是国内新能源巴士部门中的领军企业之一。截止 2012 年末，包括北京、上海、大连和合肥在内的 27 个城市中，共有 1000 辆安凯客车生产的新能源巴士。(Reports, 2013)。

尽管电动汽车的推广比较困难，但是电动两轮车（电动自行车、电动小摩托车和电动摩托）却得到了迅速普及。全球每年销售 2000 万至 3000 万辆两轮和三轮车，超过 90% 来自中国。2010 年，电动两轮车的总量已经超过 2 亿台 (IEA-ETSAP, 2013)。电动自行车在市场上占比超过四分之三。截至 2018 年，中国的电动自行车累计销售将达到 3.55 亿辆。这就意味着每四人就有一辆。从某种程度来讲，这些车是汽车的替代品 (GCC, 2012)。

城市轨道交通也在不断发展。截止 2011 年末，中国 14 个城市运营中的城市轨道总长度为 1,688 公里 (km)。计划到 2015 年，城市轨道长度将达到 3000 km，2020 年达到 6200 km。截至 2050 年，中国大陆所有城市的城市轨道将达到 11700 公里，至少占全世界城市轨道总长度的一半 (SCMP, 2013)。

北京的轨道交通在城市公交系统中占比 40%，上海和昆明则为 25%。北京和昆明的数字还在提高 (Yang, 2013)。

政府的目的是，截至2030年，城市交通方式将包括：39%的汽车，29%的公交车和其他形式交通工具（包括2轮车（15%）、地铁（4%）和步行（13%）（Yang, 2013）。在城市汽车中，内燃发动机和混合动力汽车的占比将下滑至85%，剩下的比例中包括7%的电动车和其他技术汽车（Yang, 2013）。

输配电网。

中国有五家国有电力公司，CDC：中国大唐集团公司；CGC：中国国电集团公司；CHDC：中国华电集团公司；CHNG：中国华能集团公司和CPIC：中国电力投资集团。

中国还有两家国有电网公司：国家电网（SGCC）和中国南方电网（CSG）。SGCC在电网总量中占比约80%。剩余的20%为CSG所有。这两家公司担负着中国几乎全部的输电、配电和电能计量工作。SGCC是中国最大的电网公司，覆盖26个省，CSG的覆盖范围为南方五省。

SGCC也是世界范围内最大的电网公司。其核心业务是建设和运营电网。服务覆盖中国31个省中的26个，占中国国土面积的88%。截至2013年末，SGCC的装机容量超过900 GW_e（发电量4,448 TWh），最大峰值负荷为654 GW_e。在其装机容量中，煤电占比73.6%，水电18%，风电7%（70.2 GW_e）。

中国的电力系统包括六大区域（北方、东北、西北、华中、华东和华南），彼此之间的联网程度较弱。每个区域中都有几个作为平衡区的省份。区域之间架设着互联线路，便于区域之间的电力交易。

在调度和规划方面，六大区域电网和各区域中的省份，拥有较大的自主权。在这样的系统中，虽然地方可以影响电网运营，但输电线路可能无法得到充分利用。

各电网每年都会给热电厂分配固定数量的全负载小时数，并提前一年决定省间的电交易量。日前调度也会考虑到上述两点。为了鼓励各地的电力生产，中国还出台了多项财政刺激政策。风电的稳定性特性会影响到全负载小时数的分配和电交易。

由于存在峰值负载和输电方面的限制，往往很难将风电输送到高耗电地区。现有的输电系统，是以煤电的固定负载和缓变功率输出为基础设计的。中国输电线路目前的平均年度峰时负载，达到了其容量的50%。但是，这个平均值有可能会产生误导，因为实际情况是，有些线路处于全负载状态，另外一些则经常处于闲置的状态（DB, 2012）。

表4：国家电网公司的区域发电容量和峰值需求

	装机容量 (GW _e)	峰值需求 (GW _e)
北方	201	188
东北	112	52
西北	123	66
华中	248	149
华东	243	215
总计	927	654

数据来自 SGCC (2013)

注：为 2013 年 8 月末数据。

图 7：国家电网公司装机容量和峰值负荷



注：为 2013 年 8 月末数据。
来源：SGCC (2013)

若想实现可持续的电力发展，需要长距离和高容量的输电系统。这一点对于中国尤为重要，因为中国的资源潜力分布范围非常广，而且远离电力需求的中心地区。出于空气污染方面的考虑，加上铁路运输紧张，为了满足不断上涨的电力需求，北方和西部正在成为中国的发电中心。

中国电力企业联合会在对 2014 年进行预测和提供建议时，着重提到了东北地区电力过剩的问题，建议中央政府“严格控制”该地区建设新的煤电和风电设施。联合会预计，全国煤电容量将会小幅增长 30 GW_e。（尽管这个数字仍然很庞大）。CEC 对 2014 年其他技术的新增发电情况预测为：水电 23 GW_e，风电 17 GW_e，太阳能发电 14 GW_e，核能 6 GW_e，天然气 5 GW_e。

中国要实现可持续电力发展，就需要投资兴建长距离和更高容量的输电网络

根据空气污染治理行动规划，中国正在筹建 12 条东西向的“大气污染防治输电通道”。通过这一举措，人口密集的中国东部地区将减少煤电发电量。南方以水力发电为主，北方则将把风电和煤电相结合。因为这两种资源均是当地发展的重点。

如果使用同步特高压交流 (UHV-AC) 电网，可以更集中化控制国家电力系统。相比之下，如果使用异步特高压直流 (UHV-DC) 电网，将不会破坏现有的设置，而且被认为可以防止出现更严重的垄断现象 (Davidson, 2014)。

文本框 1: 农村电网和微型电网

中国自 20 世纪 50 年代以来一直致力于发展小型水电站,最初发展的是独立的小型项目,随着国家电网的范围不断拓展,这些项目也开始并网。2002 年,中国共有 42,000 个小型水电站,总容量为 28 GWe, 提供分布式能源。如今, 中国大约有 6 万个柴油和水力微型电网系统, 其中大部分都与国家电网相连。2003 至 2005 年, 中国的“送电到乡”工程修建了 721 个 PV 和 PV/风电混合项目 (20 MW_e), 同时还修建了 146 个小型水电站 (264 MW_e), 供电范围覆盖了 130 万人 (LBNL, 2013)。2005 年至 2010 年开展的送电到村工程, 则将可再生能源电力的覆盖范围增加了 350 万人。截止 2015 年末, 中国预计将完成另外一个挑战: 向另外 273 万人提供电力供应, 其中 154 万由电网覆盖, 另外 119 万人则由独立光伏发电发电设施供电。截止 2008 年末, 中国大约有 400,000 多万未联网家庭太阳能设施 (IRENA, forthcoming)。

中国计划以 UHV-AC 连接华北和华中电网 (淮南-上海), 以 UHV-DC 连接西部电网和华东用电核心地区。截止 2020 年, UHV 输电网总容量预计达到 200 GW_e (占总输电容量的 10-15%)。与此同时, 中国还计划修建一条连接华北、华中和华南地区的 UHV-AC 同步电网。中国 UHV 电网线路的电压为 900 kV, 也是世界电压最高的输电线路。中国将构架出一个三纵三横的电网格局。南北纵线将把内蒙古、山西和陕西最大的煤电和风电发电区, 与北部中心地区和华东部分地区连接起来。

在中国的十二五规划中, 已经规划了一个特高压输电通道, 加强其与可再生能源资源的整合。SGCC 网络内的锦屏-苏南 UHV-DC 输电线路, 长 2090 公里, 电压 800 kV, 是世界上第二大输电线路, 传输能力可达到 7.2 GW_e。该项目耗资 35 亿美元, 将四川省雅砻江沿线的水力发电站电力, 输送到江苏的沿海工业化地区。输电线路的施工由 ABB、中国电力科学研究院 (CEPRI) 和其他中国企业合作完成。此外, 中国还在开发更高容量的输电线路。世界上第三大 UHVDC 输电网络也位于中国, 线路长 1980 公里, 连接着向家坝水电站和上海周边的工业化地区, 额定容量为 6.4 GW_e。这也是世界首例 UHVDC 电网的商业化运营。该项目提前 30 个月竣工。这些 HVDC 线路和 HVAC 线路通过另外几个项目连接起来, 这些项目的技术都来自 CEPRI。

该领域的最新进展是: 在 2021 年前, SGCC 预计再投资 1628 亿美元, 修建八条 UHV 输电线路, 将更远地区的可再生能源电力和煤电输送到大城市。另外一个估算数字是: 截止 2020 年, 中国将耗资 1070 亿美元, 用于兴建 UHV 输电线路和相关设施。对 AC 和 DC 输电线路端点的投资占总金额的近一半, 包括变压器、无功功率控制装置、断路器、隔离开关、突波放电器和其他相关子系统。另外一半投资将用于缆线、绝缘体和输电塔 (DB, 2012)。

某些可再生能源, 比如抽水蓄能, 可以在能源输出平衡方面起到重要作用。但是目前尚无获利空间, 除非引进浮动价格机制。

除了电网扩建方面的重大举措, 还须要消纳越来越多的波动性可再生能源电力, 此类技术的重要性也日益凸显。对于波动性可再生能源电力而言, 抽水蓄能是对其加以平衡的重要方法。但目前的抽水蓄能电站无法实现利润, 因为电价由国家制定, 抽水蓄能电力不享受优惠价格。

表 5：抽水蓄能发电装机容量和在建容量

	装机 (MW _e)	在建 (MW _e)
北方	4 300	1 200
华东	5 860	4 360
华中	3 790	1 200
东北	1 500	-
西北	90	-
华南	4 800	2 480
总计	20 340	9 240

来源：数据来自 Perera (2014)

注：为 2013 年 8 月末数据。

中国的抽水蓄能装机容量达到了 20 GW_e 以上，还有超过 9 GW_e 的在建容量（见表 5）。目前正在规划阶段的抽水蓄能项目容量为 120-130 GW_e，2030 年的目标是超过 100 GW_e 的装机容量 (Perera, 2014)。抽水蓄能有助于稳定波动性的可再生能源电力。中国的总体抽水蓄能容量基本平均分布在中国的东部、南部、北部和中部省份 (Perera, 2014)。

为了实现这样的目标，中国已经制定了一个智能电网发展规划，分三个阶段逐步实施。2012 年已经进入大规模施工投资的阶段。自 2009 年以来，中国全国已经建设了 298 多个示范项目 (SGCC, 2014)。截止 2011 年，共有 8 个变电站采用了智能电网技术，覆盖区域包括北京、上海和重庆。同样在 2011 年，国家电网共安装了 5000 万个智能电表 (ESTELA, 2011)。

十二五规划中要求，为了减少碳排放，中国的一次能耗中必须有 15% 来自非化石燃料。为了完成这个目标，发展智能电网也是重要一环。有了智能电网，就可以通过国家配电网，更高效地管理电力供求关系。智能电网达到这一目标的方法，就是在系统中纳入高科技通信技术。此外，智能电网还可以更有效地与可再生能源电力整合，比如太阳能发电和风力发电。

值得注意的是，中国智能电网的发展与西方国家不同。在美国和欧盟，由于这些国家的电力系统比较完善，未来的电力需求不会变化或只会稍许变化，因此智能电网的发展注重的是配电网。相比之下，由于中国电力需求持续增加，发电设备和负载中心不匹配，因此中国的关注点是主输电网络。

表 6：抽水蓄能电站的运营性能, 2008 和 2012

	2008	2012
平均容量因数 (小时/年)	2 649	1 450
容量系数 (%)	30.2	16.5
平均待机时间 (小时/年)	5 350	6 266
规划停机	689	849

来源：数据来自 Perera (2014)

表 7：中国三阶段智能电网规划

阶段	名称	目标
第一阶段 (2009-2012)	规划试点	制定总体规划，进行重点技术的研究，发展关键设备，开始示范项目。
第二阶段 (2011-2015)	全面建设	制定坚强智能电的标准和要求，根据智能电网的需求和技术发展，评估施工进度，建设全面的智能电网系统。
第三阶段 (2016-2020)	引领提升	全面评估智能电网

来源：数据来自 ESTELA (2011)

为了给可再生能源电力提供智能电网，中国积极推进了很多相关工作。投资的主要用途之一，就是部署智能电表。中国目前只安装了 2.5 亿个智能电表 (Worldwatch, 2014)。风电预测也是中国积极推动的一个领域，以此支持可再生能源电网的整合。中国还制定了多项计划，为行业提供具有高度时间和空间分辨率的风力预测数据 (9 km 电网，时间间隔 5 分钟)。

中国共安装了 2.5 亿个智能电表，是美国家庭总数的两倍。

此外，中国还开展了大量整合可再生能源的智能电网示范项目。比如，张北示范项目中就包括 100 MW_e 风电，40 MW_e 光伏发电和 14 MW_e 蓄电能力，与智能变电站、智能控制系统和预报方法相结合。

表 8：中国坚强智能电网预计可实现的 CO₂ 年减排量

机制	2005 数据	2020 数据	2020 和 2005 数据差值	2020 年可实现的 CO ₂ 减排 (Mt CO ₂)
提高“清洁能源”消费	39 GW _e	411 GW _e	320 GW _e	1,018
降低输电损失	6.59%	5.7%	节省 1417 万 TCE	39
提高发电燃煤效率	343 克/kWh	305 克/kWh	38 克/kWh; 节省 189 Mtce	524
增加电力部门和用户的能源效率。	电力在用户能源消费中占比 18%	电力在用户能源消费中得占比将达到 26%	无	尚未计算
推广电动汽车		30 000 000 EV	将减少 3550 万吨汽油使用	68.7
			总计	1,649

来源：数据来自 Lu (2010)

4 至 2030 年的参考情景发展情况

本章将介绍中国可再生能源参考情景从 2010 年至 2030 年的发展情况。

REmap 分析首先评估的内容是：根据目前的政策，可再生能源技术方案从 2010 年至 2030 年间的发展情况。中国 REmap 分析的参考情景中，使用了 IEA (2012a) 和 CNREC 的估值数据。为了正确估计参考情景的未来发展，本章首先概述中国自 1990 年以来在一次能源需求方面的发展轨迹（见图 8）。

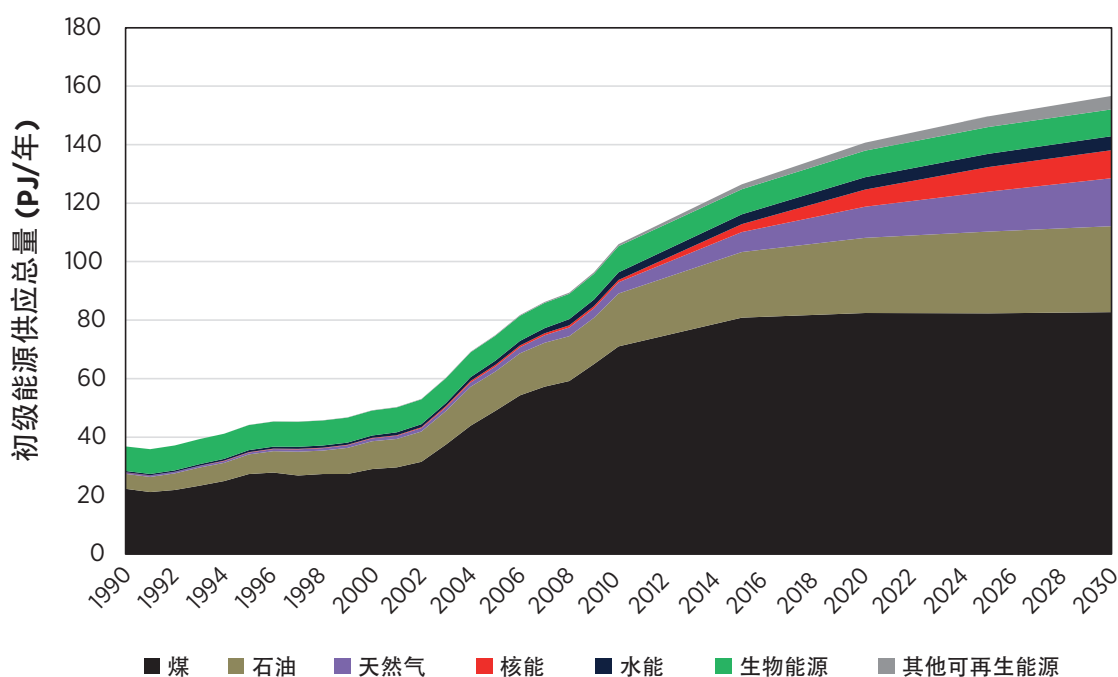
1990 年至 2010 年间，一次能源供应呈指数增长，但这一趋势将在未来 20 年中（截止 2030 年）放缓。煤炭消费将保持现状或稍许增加，天然气将成为消费量最大的能源，随后是石油和核能。可再生能源（太阳能，风能）、生物质和水能的增长速度将紧随其后。

中国 2010 年的 TFEC 为 57 EJ，预计在 2030 年将增至 92 EJ (3,130 Mtce)，即 20 年增加 60%。化石燃料总需求的增长幅度略低，为 40%。天然气的同期需求将增长四倍，以补充化石燃料增速减缓的能源缺口。煤炭需求的上涨幅度将只有 13%。

参考情景显示，总发电量同期预计增长超过一倍，从 2010 年的 4200 TWh/年增加到 2030 年大约 9300 TWh/年，至少增加 5000 TWh。

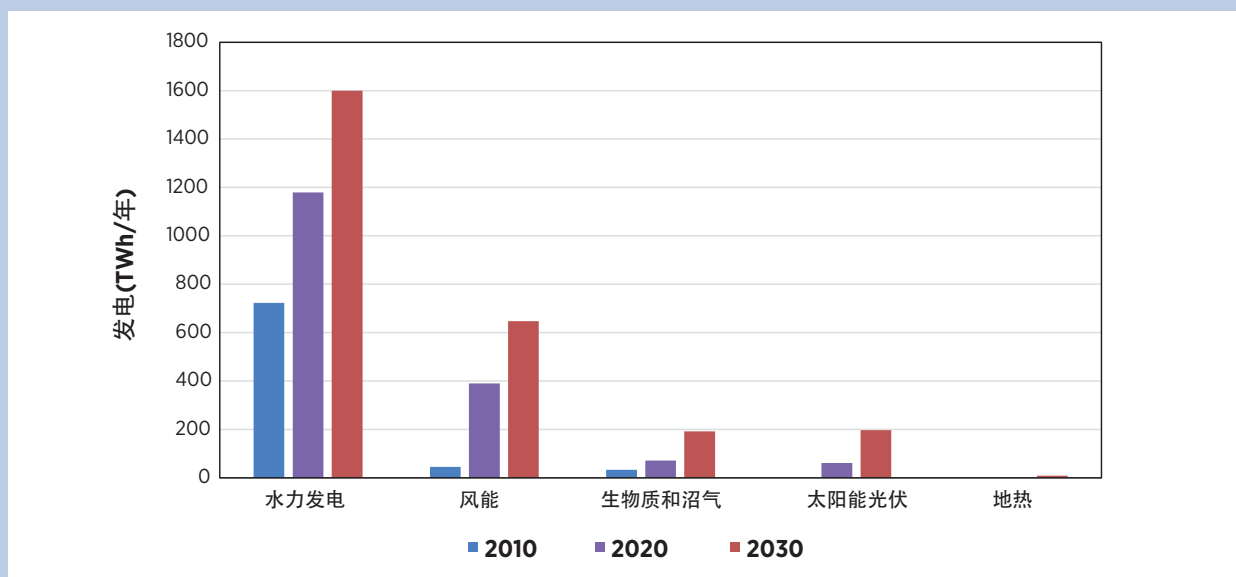
（图 9）可再生能源发电预计从大约 800 TWh 增加到 2600 TWh。截至 2030 年，水力发电总量将达到 1600 TWh，随后是风电 650 TWh，PV 和 CSP 均为 200 TWh，最后是生物质 190 TWh。参考情景还显示出：由于终端使用部门更多地使用以电为基础的技术，需要可再生能源电力满足需求，比如热泵和电动交通方式。因此水力发电中还有另外 200 TWh 电力应用于这一领域。

图 8：中国一次能源供应总量增长情况 1990-2030



来源：根据 IEA 研究 (2012a; 2013b) 进行的 IRENA 分析

图 9：参考情景发电增长

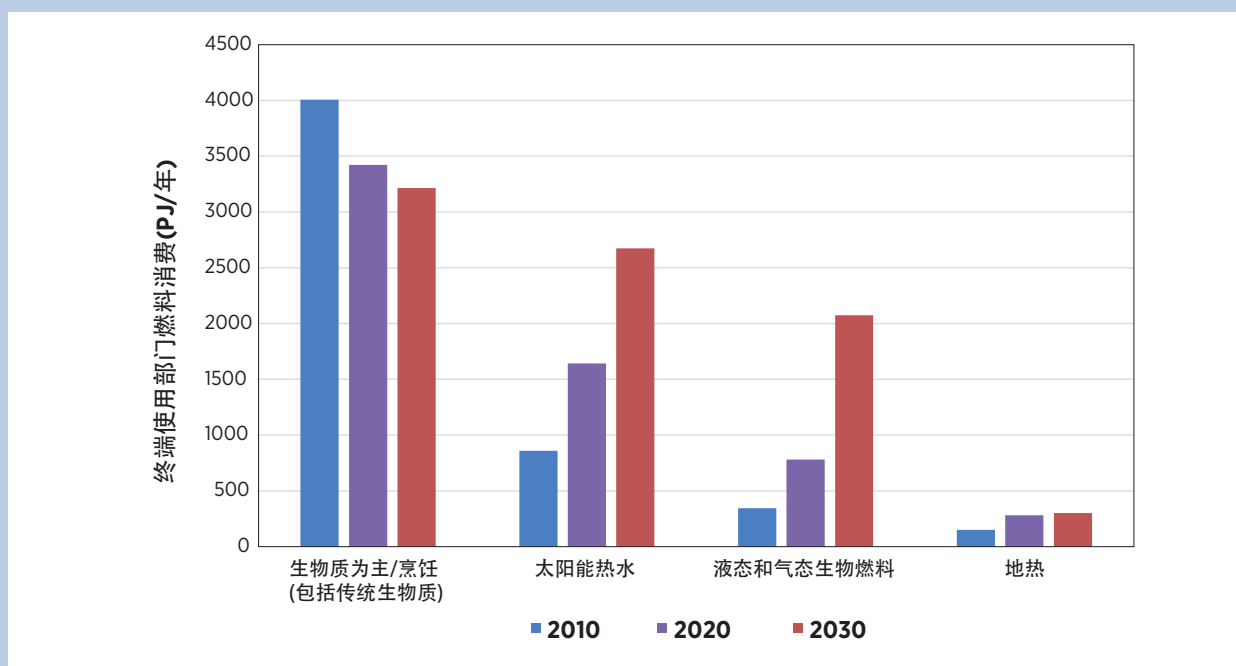


来源：根据 IEA 研究 (2012a) 和 CNREC 进行的 IRENA 分析

终端使用部门的可再生能源需求总量（不包括可再生电力和集中供热），将从 5EJ/年增加到 7EJ/年（图 10）。这个数值中包括传统生物质应用，但对这种可再生能源的需求，将从 2010 年的 3400 PJ/年减少到 1000 PJ/年。鉴于这种下降趋势，供热所需要的生物质能总量将从 4000 PJ/年

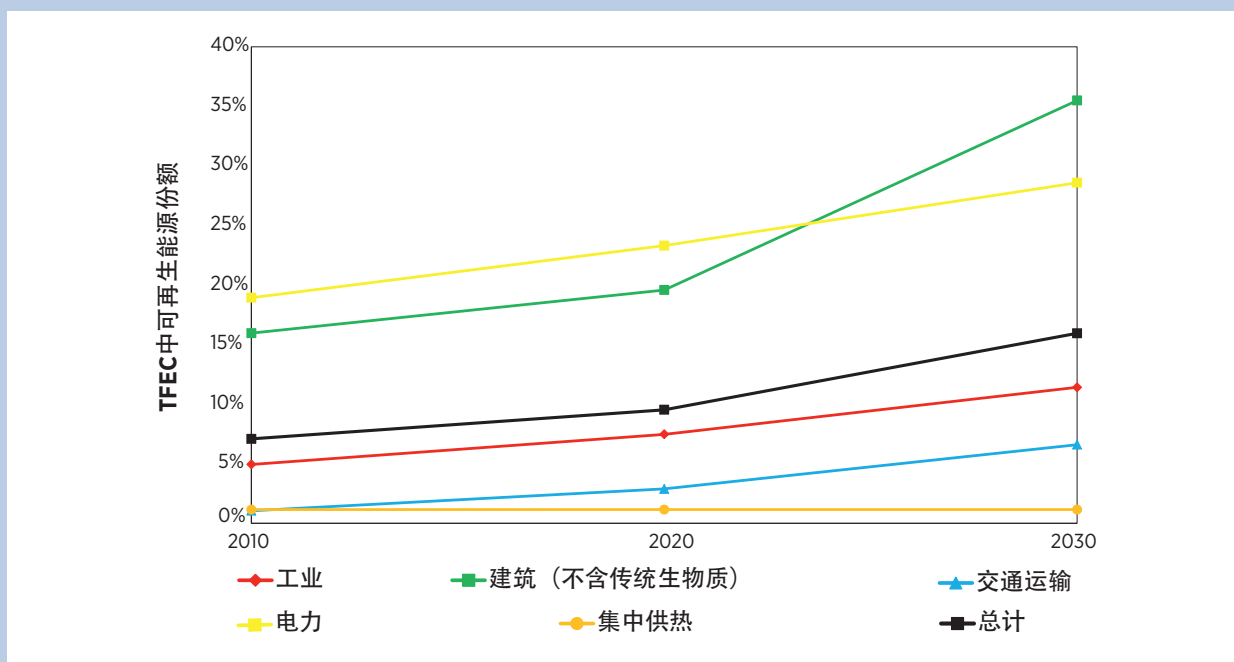
下降到约 3200 PJ/年。所有其他可再生能源的需求则全部呈上涨趋势。太阳热能在这 20 年的增长幅度将超过 3 倍，从每年 860 PJ 增至 2700 PJ。这些增长的需求全部来自建筑部门。地热需求将增加一倍，从 150 PJ 增至 300 PJ。但在可再生能源消费总量中，地热占比仍然很小。

图 10：参考情景中，可再生能源在终端使用部门中的增长



来源：根据 IEA 研究 (2012a) 和 CNREC 进行的 IRENA 估值

图 11: 中国参考情景 - TFEC 中的可再生能源



来源: 根据 IEA 研究 (2012a) 和 CNREC 进行的 IRENA 分析

固体生物质的现代应用将增长四倍, 从每年 500 PJ 增加到 2,200 PJ。对其需求增幅最大的部门预计为制造业。仅就纸浆和造纸部门及其所有子部门而言, 其总用量就将从 100 PJ/年增加到 700 PJ/年。在 2030 年, 以块状和颗粒状供应的固体生物质燃料将达到 1,500PJ/年, 是 2010 年水平的两倍。液体生物燃料和沼气的使用也将在 2030 年增加到 2 EJ。

交通运输领域进一步实行电气化, 将推高该部门的可再生能源使用量

液态生物燃料的总使用量将从每年 2.5 Mt 增加到 2030 年的 30 Mt, 即从 20 亿升增加到 2030 年的 230 亿升。而 2020 年的增长目标预计为 12 Mt/年 (包括 10 Mt 生物乙醇和 2 Mt 生物柴油)。电动汽车的数量 (电池和插电式混合动力) 预计从现在的 30,000 辆增加到近 1700 万辆。届时将在车辆保有总量中占比 3%。电动两轮和三轮车的数量预计翻番, 将达到 4000 万辆。

深入发展电气化是中国交通运输行业发展的关键。在 2030 年参考情景中, 液体生物燃料在可再生能源中占 3.5%, 如果将交通部门的电力使用和相关的可再生电力份额计算在内, 这个数值将提高到 5.2%。

现代可再生能源在 TFEC 中的比例将从 2010 年的 7.1% 增加到 2030 年的 15.8% (不包括生物质的传统应用) (图 11)。可再生能源比例在参考情景中的增加幅度, 主要推动力来自可再生能源发电量的增长, 这个数据将从 2010 年的 19% 增至 2030 年的 29%。交通部门中, 可再生能源的占比将从 2010 年的 1% 增加到 2030 年的 4%, 主要推动力为生物燃料, 但也部分源自电气化应用。在工业部门中, 现代可再生能源的增长幅度将从 4.9% 增加到 11.4%, 其中建筑行业的增长情况为 15.5% 至 35%, 大部分来自生物质。电力部门可再生能源发电量的快速增长, 将由终端使用部门的用电趋势消化。在未来 20 年中, 集中供热所需要的可再生能源比例, 将保持不变。

5 当前政策框架

要点

- 中国的能源需求增长快速，也在推动中国可再生能源政策的发展。这些政策既是经济发展的体现，也表明了政府对整个国家有关能源供应安全性的重视。
- 通过《大气污染防治行动计划》可以看出，为了提高非煤炭和非化石燃料资源在总能源需求中的比例，可再生能源将起到非常重要的作用。
- 电价补贴和强制并网已纳入省级可再生能源目标和相关的《可再生能源法》中，这是提高电力部门可再生能源用量的两个重要政策手段。
- 在中国的可再生能源产业专项扶持项目中，特别是针对风电和光伏行业，不仅关注研发，也着重于提高产能。
- 目前，政府正在探讨出台针对公共事业和电网运营商的强制性市场份额，又称为“可再生能源配额制”。估计在 2015 年将出台相关的政策。
- 政府未来将针对全中国和具体省份，制定煤炭消费上限，这也将有助于推动可再生能源技术的发展。
- 中国正在实施电网扩建计划，智能电网也正在发展进程中。但是，目前尚无针对可再生能源的电网协调政策。
- 在可再生供热政策中，特别关注了太阳能热水器，而交通部门的政策更着重于对电动汽车提供直接补贴。

在过去的十年中，由于经济的飞速增长，中国的能源需求也迅猛上扬。解决空气污染问题是中国可再生能源政策的主要推动力之一。本章将首先对这一点进行概述。随后对各部门的政策进行深

入分析，包括能源、建筑和交通运输。讨论的重点为可再生能源部门。中国目前面临着一个巨大挑战：既要平衡供应和快速增长的需求，又要加强供应的安全性。战胜这一挑战的唯一方法，就是制定出一整套不同以往的政策。第 8 章和第 9 章将对这方面的内容进行探讨。

5.1 大气污染防治行动计划

空气污染及其对健康和经济的影响，是中国面临的一个严重问题。一些估量数据显示，在 2010 年，因环境空气污染（特别是颗粒物污染和臭氧层污染）而导致的死亡人数约为 120 万人。中国已成功地大幅降低了 PM 污染物的浓度水平，减缓死亡人数的增长速度，但如何进一步降低污染水平，仍然是一个难题 (OECD, 2014)。中国各地的 PM 浓度各不相同。2005 年的统计显示，北方城市的 PM 浓度更高 (85-160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)，相比之下，南方城市为 (47-125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)。Matus 等人 (2012) 对 1975-2006 年趋势的分析显示出，臭氧层和 PM 密度为中国经济带来 160-690 亿美元的消费损失和 220-1120 亿美元的福利损失。研究还显示，除了威胁人类健康，空气污染还会对农业生产带来极大的影响。全球风险评估显示，因二氧化硫排放导致的地方粮食损失，是很多国家面临的严重问题，比如中国和印度 (Marshall, Ashmore 和 Hinchcliffe, 1997)。

为了应对这些难题，国务院在 2013 年 9 月 12 日出台了《大气污染防治行动计划》。计划主要关注三个地区，分别为京津冀，长三角和珠三角，并对未来五年制定了目标。

中国政府意识到，想要应对污染危机，就需要大幅减少煤炭消费。该计划首次为各省制定了煤炭消费上限。此外，自 2013 年起，很多省份还要在四年内转变煤炭消费快速增加的局面，减少煤炭

消费总量。目前，尚无其他煤炭消费大国实施过如此艰巨的目标。如果这些目标能够如期实现，不仅会从根本上改变中国这个世界最大煤炭消费国的煤炭消费趋势，还会彻底重构全球的 CO₂ 排放版图。

解决中国的空气污染危机，需要大幅减少煤炭消费量。仅山东一省的煤炭用量就超过了德国和日本的用量总和

与目前的煤炭消费总量相比，中国制定的目标进行了大幅削减。山东省的煤炭消费在中国各省排名第一，河北排名第四。山西是全国十大煤炭消费省份之一。长三角和珠三角是中国的两大经济区，其中长三角（包括上海、江苏和浙江）的煤炭消费量在全国总量中占比 11%。这两个经济区的目标是，到 2017 年末实现煤炭用量绝对值减少。

截至 2017 年，辽宁和吉林的煤炭消费增幅也要限制在低于每年 2% 的水平。除北京以外，文件

所涵盖的所有省份，近年来均出现了煤炭消费快速上涨的现象。

该计划的目标是，截至 2017 年，将煤炭在总能源消费中的比例减少到 65%，将非化石能源的比例提高到 13%。天然气将成为发电和供热部门替代煤炭的主要燃料。煤炭用量占中国总量 44% 的 12 个省，均承诺采取措施控制煤炭消费。有六个省制定了截止 2017 年末绝对减量的目标，其中北京的减量目标为 50%，河北 13%，天津 19%，山东 5%，重庆 21%，山西 13%。北京还计划 2020 年全面禁止使用煤炭 (Huffington Post, 2014)。

目前的空气污染治理计划将于 2017 年到期。2015 年中国将进行相关工作总结，同时在即将出台的下一个五年计划 (2016-2020) 中，将制定下一步计划。其他很多主要省份可能也会实施煤炭限制措施，防止污染企业通过迁址规避煤炭减量政策。除了这 12 个省份以外，还有 17 个省也宣布可能会限制或减少煤炭使用。

文本框 2: 煤电转型对水资源需求的意义

改变对煤炭的依赖，对中国的水资源意义重大。目前，中国总发电容量中有 85% 位于水资源缺乏的地区，而在这 85% 的比例中，还有 15% 依靠水密集型技术。煤炭供应部门对水资源的高需求，对中国北方地区的影响尤其严重。目前，中国煤炭相关部门使用了工业用水的一半以上，这些部门包括采矿、洗选、发电、焦炭生产和煤化工。2010 年，北方地区的煤矿和煤电部门，用掉了中国淡水总供水量的 15% (980 亿 m³) (SA, 2013)。截止 2020 年，国家水消费预计从 5990 亿 m³ 增加到 6300 亿 m³。届时，煤炭部门将用掉总淡水供水量的 27%，仅煤电厂预计就会使用每年 340 亿 m³ 淡水。

此外，几乎所有煤矿都位于中国西北部，那里也是中国最干旱的地区之一，这也让煤炭行业的问题雪上加霜。中国的煤炭发展计划，大概需要黄河水量的四分之一（大约为 100 亿 m³/年），而这些水无法供应。在规划的煤电发展计划中，一半都位于中国高度缺水或极度缺水的区域 (WRI, 2013b)。

目前，中国正在考虑多种类型的计划来应对这一问题，比如南水北调、海水淡化、东西大动脉、煤电厂干式熄焦（替代水冷）。中国的南水北调项目预计在 2050 年完工，最终将实现每年向北方输送 448 亿 m³ 水。在 2014 年末，哈密和天山的煤电厂将使用空气冷却系统，明年，乌海市君正煤电厂也将上马这套设备 (PE, 2013)。但是，干式熄焦方法会降低煤电厂的效率，加大发电成本。此外，这些举措的范围太小，很难对中国全面的水消费带来重大影响。

政策取向的改变开始显示出效果。在新政策出台后，发电行业逐渐显示出新态势。截止 2012 年，煤炭在新投资中的占比仅为 26%，而非化石资源，比如水、风和核能的占比高达 72%。2012 年，煤炭为中国发电总量贡献了 12 TWh，风能 26 TWh，水电 196 TWh。

这是一个振奋人心的趋势，但是否会对空气污染产生重大影响，还有待观察。在 2014 年上半年监控的 161 个城市中，只有 9 个城市达到了中国新出台的空气质量标准。北京属于未达标城市之一，主要原因是其 PM2.5 和其他污染物浓度水平较高 (NY, 2014)。2014 年 2 月，北京的 PM2.5 浓度达到了 505 微克/立方米，足以渗透到肺部和血液循环之中 (Guardian, 2014)。

5.2 中国的可再生能源政策

中国的可再生能源政策发展，可以追溯到 2004 年。中国在这一年宣布，计划制定一部可再生能源法律，并成立一个可再生能源发展基金¹⁶。政策发展之初的重点领域，集中在小型水电站和小型光伏电站，鼓励发展相关的分布式项目。

国家可再生能源中心 (CNREC) 的成立，是中国可再生能源领域的另一个重要里程碑。这个中心与丹麦保持着密切合作。该机构负责协助中国能源部门，进行可再生能源政策研究/行业管理和协调工作。2010 年，中国出台了十二五规划，首次将可再生能源列为新兴战略产业。

中国可再生能源政策的主要组成部分包括 (Zhang 等人, 2013):

- 按部门和技术制定的可再生能源强制性市场份额制度
- 补贴扶持机制
- 政府对可再生能源项目的财政扶持

下面将对每一部分政策进行详细介绍。

强制性市场份额 (MMS)

2007 年，国家发改委 (NDRC) 推出了强制性市场份额政策 (MMS，在美国被称为可再生能源份额制 RPS)，将其与中国可再生能源发展的中期 (2007-2010) 和长期 (到 2020 年) 规划结合在一起。作为中央政府的一个部委，NDRC 负责制定整个国家的经济发展规划，并负责能源和气候变化方面的工作 (Lo 等人, 2014)。

政府计划到 2010 年，在集中式电网所服务的地区中，非水力可再生资源的发电量占比应达到总量的 1%，2020 年达到 3%。政府的目标还包括：到 2010 年，对于 5 GW_e 以上容量的电厂，其发电总量中应有 3% 以上的比例为非水力可再生资源发电。这个比例在 2020 年需要达到 8%，(NPC, 2013; Zhang 等人, 2013)。

Lo 等人 (2014) 的研究显示，这一政策中的很多规定尚未进入实施阶段。截止 2010 年，六大发电厂均未实现 3% 的可再生能源占比目标，部分原因是由于缺乏监督机制和合规要求。此外，MMS 的着重点为装机容量，而非发电量。因此，电力企业缺乏实施政策的动力。

¹⁶ 参加 2004 年 6 月在德国波恩召开的“可再生能源国际大会”，该会议是 2002 年可持续发展世界峰会 (WSSD) 的后续会议。

为了解决这些问题，NDRC 在 2011 年开始制定一项改进计划。新制定的计划包括四个步骤，包括为改善可再生能源配额标准而进行的修订和新增细则 (Lo 等人，2014)。其中包括下列内容：

为了让 RPS 更实际，同时明确各大公司的义务，将根据各发电厂和电网公司的具体条件和能力，分别制定单独的目标。

- 大幅提高为电网公司制定的可再生能源目标，进一步激励其购买可再生能源电力。比如，国家电网是中国最大的电网公司。政府对其制定的目标是：在 2015 年实现 4.8% 的非水电可再生能源电力份额（之前的目标为 2020 年达到 3%）。

- 国家能源局 (NEA) 负责每月监督各企业的指标完成情况。将利用可再生能源证书跟踪目标履行情况，但是这些证书不可交易。

- 如果未能履行目标，将会影响到企业领导的绩效表现评估。RPS 管理范围内的所有发电厂和电网公司均为国有企业。每年，国务院国有资产监督管理委员会 (SASAC) 将会对国有企业的负责人进行评估。

2012 年 5 月，这份草案进入了公开征求意见阶段 (Lo 等人，2014)。但国有企业目前并不接受这些新要求。2014 年中期，该草案仍在进行辩论。MMS 预计在 2014 年末或 2015 年实施。

文本框 3：中国可再生能源目标

在中国的十二五规划中，将可再生能源列为新兴战略产业，并对可再生能源制定了全面的目标。表 9 中列出了 2015 年和 2020 年不同部门和/或技术的发展目标。

中国政府还公布了在十二五规划中的可再生能源应用目标。总体目标是：现代可再生能源消费总量达到 14 EJ (478 Mtce)，在 2015 年末达到总能源消耗中占比 9.5% 或更高比例的目标（不包括生物质传统应用）(CNREC, 2012)。2012 年 1 月，作为十二五规划的一部分，中国发表了一份关于控制温室气体排放的报告，为 2015 年制定的减排目标是：碳强度较 2010 年水平减少 17%，将单位 GDP 能源应用强度提高 16%。

根据这份计划制定的目标，2015 年，中国一次能源需求中非化石能源的比例需要达到 11.4%。与此同时，煤炭使用将会下降，从 67% 下降到 2020 年的 60%。

中国的发电总装机容量预计增加一倍，从 2010 年的 968 GW_e 增加到 2020 年的 1,786 GW_e。2020 年，可再生能源的装机容量将达到至少 600 GW_e 的水平，而这个数值在 2010 年为 250 GW_e。

中国的十二五规划于 2012 年 8 月结束。中国承诺将投资 2900 亿美元用于清洁能源。投资目标是：在 2015 年，全国发电量中有 20% 来自可再生能源。水力发电总装机容量预计达到 290 GW_e，风电总计 100 GW_e。2015 年，太阳能容量总计将达到 21 GW_e。

2012 年 10 月，国务院发表了能源政策白皮书，对上述五年计划中所提出的目标进行了修订。新文件将这些目标大幅提高。中国目前的目标是，截止 2015 年，非化石原料发电在电力容量中占比不少于 30%，主要为水电、风电和部分太阳能发电以及核电。2013 年末，风电总装机容量已经达到 100 GW_e，而光伏发电则达到 35 GW_e。

表 9：可再生能源目标概述

	状态	目标	
	2012	2015	2020
电力部门			
生物质发电	8 GW _e	13 GW _e ，包括 8 GW _e 农业和 林业残渣 2 GW _e 沼气和 3 GW _e 城市垃圾	30 GW _e
水力发电	249 GW _e	260 GW _e	350 GW _e
抽水蓄能	20 GW _e	30 GW _e	70 GW _e
太阳能光伏	5.4 GW _e	50 GW _e	100 GW _e (2017 年 70 GW _e)
聚光太阳能	0.014 GW _e	1 GW _e	3 GW _e
并网风电		100 GW _e 陆上 5 GW _e 海上	200 GW _e 陆上 30 GW _e 海上
热能应用			
沼气	4700 万家庭	5000 万家庭	
太阳热能	2.58 亿 m ²	4 亿 m ²	
太阳能炊具		200 万套	
地热	4.6 Mtce	15 Mtce 5.8 亿 m ² 建筑空间 (供热)， 120 万家庭 (热水)	
生物乙醇	2 Mt	4 Mt	10 Mt
生物柴油	0.5 Mt	1 Mt	2 Mt

来源：根据 CNREC (2012); Campbell (2014) 数据

可再生能源电价补贴扶持机制

自 2006 年 1 月实施《可再生能源法》以来，中国的可再生能源电力并网已经得到了政策保证。这项法律在 2009 年进行了修订 (IRENA, 2013; NPC, 2013)。

法律规定，以可再生能源进行的发电，将由 NDRC 决定电力采购价格。有了这项法律，就为扶持可再生能源发电、管理的具体实施和电力定价管理实践提供了法律依据。根据法律的规定，在与某些可再生能源发电项目签署并网协议时，电网公司需要承担很多的义务，包括提供并网服务和相关的技术支持。此外，电网公司还必须购

买可再生能源项目所产生的所有电量，并对其进行调度 (IRENA, 2013; Zhang 等人, 2013)。

自 2012 年 11 月 1 日起实施了一项政策：分布式光伏发电设备如果位于用户附近，或装机容量小于 6 MW_e，SGCC 将为其提供免费并网服务。2013 年 2 月，SGCC 扩大了其免费并网服务范围，将其延伸到了所有类型的分布式电力来源 (Zhang 等人, 2013)。

针对可再生能源电力价格，中国采用了两个定价机制 — 公开投标 (政府指导价格；招标机制)

和 FiTs (政府制定固定价格) (NDRC, 2006; NPC, 2013; 世界银行, 2014)。从 2006 年至 2009 年 7 月, 政府通过公开招标选择一个价格, 将其作为指导价格, 风电项目的并网电价就按这个政府指导价格来执行。

在这种特许形式 (即招标) 下, 将通过竞争招标的方式, 选择出可再生能源项目的投资者和开发方, 比如大型风电厂或太阳能发电厂; 政府承诺协调并网工作, 并购买特许项目产生的所有电力。2003 年至 2007 年, NDRC 启动了五轮风电项目的特许权投标 (Cozzi, 2012)。此外, 光伏发电、海上风电和 CSP 也采取了招标形式。价格是中标的决定因素 (IRENA, 2013; Zhang 等人, 2013)。

这些招标是制定 FiT 的基础, 因为政府能从不同可再生能源项目中收集到成本信息。(Wang, Barosso 和 Elizondo, 2014)。自 2005 年来, 为了决定 FiT 价格, 政府还为不同可再生能源电力分别制定了并网电价。制定价格的过程中, 考虑到了以下因素 (Zhang 等人, 2013):

- 不同可再生能源技术的技术经济性
- 地理位置
- 可再生能源资源的可用性
- FiT 价格会随着时间而变化, 随着发电成本的减少, 这个价格也在持续降低 (见表 10, 价格截止 2014 年 7 月)。

政府对可再生能源项目的财政支持

中国政府还通过提供财政补贴来支持可再生能源项目。2009 年, 为了支持和发展中国的太阳能产业, 财政部 (MOF) 颁布了两项全国性的光伏补贴政策:

- 最先享受补贴的领域是 PV 建筑一体化 (BIPV) 系统, 补贴金额为重要部件投标价格的 50% (Zhang 等人, 2013)。自该政策启动以来, 财政扶持的数量大幅减少, 反映出 PV 能源成本也在逐步走低。截止 2012 年, 补贴水平已经下降到 BIPV 项目

表 10: 中国不同技术和资源现行电价补贴

	I 区1	II 区2	III 区3	其他
陆上风电	0.082	0.087	0.093	0.098
太阳能光伏	I 区4	II 区5	其他地区6	
	0.145	0.153	0.161	
生物能	农业和林业生物质	垃圾		
	0.121	0.105		
海上风电	近岸	潮间带		
	0.137	0.121		

注: 参考信息日期为 2014 年 7 月, 所有值单位均为美元/kWh, 含税。货币兑换率为 1 USD = 6.21 RMB, 参考日期 2014 年 7 月 18 日。

1 以下城市除外: 内蒙古其他地区、通辽市、兴安门呼伦贝尔、乌鲁木齐、伊犁哈萨克自治州、昌吉回族自治州、克拉玛依和石河子。

2 河北张家口、承德、赤峰、通辽、兴安、呼伦贝尔、甘肃张掖、嘉峪关、酒泉。

3 吉林白城、松原、黑龙江鸡西、双鸭山、七台河、绥化、伊春、兴安岭地区、甘肃张掖, 此外, 嘉峪关、酒泉比其他地区; 新疆新增乌鲁木齐、伊犁哈萨克自治州、昌吉回族自治州、克拉玛依、石河子比其他地区; 宁夏。

4 宁夏、青海海西、甘肃嘉峪关、武威、张掖、酒泉和敦煌、金昌、新疆哈密、塔城、阿尔泰、克拉玛依。以下城市除外: 内蒙古赤峰、通辽、兴安门呼伦贝尔地区。

5 北京、天津、黑龙江、吉林、辽宁、四川、云南、内蒙古赤峰、通辽、呼伦贝尔、黑背承德、张家口、唐山、秦皇岛、山西大同、朔州、信州、陕西榆林、延安、青海、甘肃、新疆和地区以外的其他地区。

6 即将出台西藏的基准价格。

9 元/W (2009 年为 20 元/W)，屋顶式太阳能系统 7.5 元/W (2009 年为 15 元/W) (Lo 等人, 2014)。

- 金太阳示范工程为并网和离网 PV 系统提供直接补贴，补贴标准为并网系统总成本的 50%，偏远地区离网系统总成本系统的 70%。2012 年，并网系统获得的补贴为 5.5 元/W，离网获得的补贴为 7.0 元/W (Lo 等人, 2014)。

5.3 交通运输部门相关政策

为了降低能源需求，提高可再生能源利用的比例，中国共出台了四项与乘用车相关的重大政策：

- 燃油经济性标准和贴标
- 汽车和燃油税
- 节能型汽车和电动汽车补贴
- 鼓励生物柴油使用

国务院将电动车视为交通运输行业转型的重点。目前针对节能和电动汽车共出台了三种补贴 (Lo 等人, 2014)：

- 节能型汽车（即根据其重量不同，百公里油耗为 4.8 升至 6.9 升）将获得 3000 元补贴。
- 电动汽车：
 - 根据电池容量和车型的不同，补贴范围从 3000 元至最高 50000 元。
 - 插电式混合动力汽车（50,000 元），
 - 纯电动汽车（60,000 元），
- 混合动力和电动性质的公共服务车辆，包括巴士、出租车、政府公车和城市服务用车（比如，垃圾车和邮车），将根据车辆的长度和类型、节油潜力、电动马达比例和电池类型，决定补贴的数量。

文本框 4：中国的分布式光伏和新政策发展

中国的分布式光伏需要予以特别关注。这个行业对中国而言非常重要，因为这是一个新兴产业，不仅为地方提供新的就业机遇，也是将使用者变成发电者的契机。此外，与需要联网的电站级发电设施相比，分布式太阳能 PV 还具有成本效益。正是由于这些优势，政府自 2013 年末以来，一直鼓励该领域的投资。

由于技术推广速度较慢，该部门未能如期完成政府制定的 8 GW_e 目标。但是在 2013 年末，分布式光伏总装机容量达到了 4 GW_e，在 2014 年 1 季度，超过 3 GW_e 容量已经进入试运行阶段。在这样的发展趋势下，2014 年有望实现 8 GW_e 的目标。

2014 年 9 月初，NEA 颁布了包括若干意见的最新政策 (BNEF, 2014b, EnergyTrend, 2014)。新政策中，对并入电网的光伏电力补贴提出两个选项：政府补贴和地方 FiT。此外，政策中也对电网连接和支付问题提出了解决意见。

最新政策中还针对一些更具体的领域提出了解决办法。比如，鼓励地方政府将分布式光伏纳入其规划之中，对投资者和所有者同时提供引导和扶持，尤其是在开发区、大型企业屋顶、公共基础设施和之前未曾考虑配置分布式光伏的地方。投资现有体制范围外的分布式光伏项目，也被纳入了政策考量范围之内，比如废气土地上的工厂、温室、湖泊或池塘。

这些最新政策非常令人振奋，但目前中国的分布式光伏市场仍然面临着很多发展障碍。比如：需要改善设备品质，市场中缺乏标准，缺少融资渠道，屋顶所有权问题存在风险，还有一些与基础设施相关的技术问题。

中国在这方面制定的另外一个目标是：截止 2016 年，新增政府公车中将有 30% 由替代能源驱动。除了补贴以外，为了减少道路车辆，北京还采取了多项与车牌号相关的规定（比如单双尾号出行等）。北京鼓励消费者购买五座以下的小型乘用车。此外，北京还执行了一项政策，让每辆车每星期上路的时间减少一天，此举可以在工作日减少 20% 的道路车辆。（Wang 等人，2013）。

尽管政府原则上鼓励使用生物燃料，但在实施过程中还存在很多限制。生产乙醇可以使用多种农业原料，包括木薯、甘蔗或甜高粱。但是从食品需求的角度来讲，保护耕地问题非常重要。由于中国的粮食价格不断走高，因此，政府已经放弃了一些以粮食作物为原料的大型生物燃料生产项目。

中国政府将目光转向了高级生物燃料。中国在制定生物燃料生产的主要政策时，需要避免与人类粮食消费出现竞争。自 2008 年起，政府开始严格控制粮食加工行业，减少对粮食乙醇生产企业的财政扶持。2015 年，政府将停止一项针对该领域的税收优惠政策，恢复对粮食乙醇企业收取 5% 的增值税。同时在全国范围内制定目标，增加生物乙醇和生物柴油的消费量。每个省或市都会有一个部门专门负责实施当地的政策。在生物乙醇行业，政府对粮食乙醇制造企业仅出台了有限的优惠政策，而补贴政策已被叫停。在生物柴油方面，尚无针对小规模生产企业的国家级或省级规定（USDA, 2013）。需要注意的是，中国与欧洲汽车市场存在着一个不同点：中国只有卡车才会使用柴油发动机。因此，中国供本土使用的生物燃料原料，也会与其他国家有所不同。

生物燃油部门的未来仍然有待探讨，行业发展尚不明朗

5.4 建筑一体化太阳能热水器政策

中国安装的太阳能热水器数量世界第一，占全球总容量的近三分之二。中国太阳能热水器的普及并非政府支持的结果。2000 年至 2012 年，太阳能热水器安装量增长近十倍，从 2600 万 m² 增加到超过 2.5 亿 m²。2009 年，MOF 开始实行一项扶持项目，补贴中国农村用户使用太阳热能。该项目提供的补贴为产品价格的 13%，封顶金额为每台太阳能热水器最高 5,000 元。2012 年 6 月，MOF 开始实施一项新的补贴政策，向城市用户提供每台最高 550 元的安装补贴（Lo 等人，2014）。

5.5 可再生能源产业政策

发展可再生能源将会产生重要的社会经济效益，比如提高收入、促进产业发展和增加就业（IRENA, 2014e）。因此，除了着重于出台可再生能源应用的政策，中国还采用了多个针对供应端的举措，支持国家可再生能源产业的发展。以财政手段支持研发工作，就是此类举措之一。在十一五规划中，将能源技术的发展列为当务之急，为中国的研发和创新工作制定了短期目标，还将能源技术列为重要领域之一（Zhang 等人，2013）。受到重点关注的三个重要清洁能源为：

2-3 MW_e 风电机组的商业化开发：在众多国家级资助项目中，863 和 973 是最重要的两个，获得了政府的大幅度直接资助。

- 涵盖整个价值链的国产风电产业：财政部还成立了专项基金，扶持企业的研发工作。这些企业均为风电机组设备制造企业，或为中国控股，或为中国全资所有。
- 太阳能光伏：政府资助了若干研发类项目，比如多晶硅制造。通过这种方式，可以让半导体研究所等国有单位，向中国制造企业转让研发成果。

财政扶持的另外一个重要领域，就是可再生能源设备的生产。为了实现此类设备供应的自给自足，中国实行了相关进口产品免税政策，范围包括：外国制造的整套设备、国内企业开发重要设备必需的外国制造零部件 (Zhang 等人，2013)。

科技产品出口目录中，光伏制造业被列为重要产业之一。光伏生产商有资格获得额外的研发财政扶持，还可以获得中国进出口银行的优惠利率出口信贷。此外，这些企业还可以获得中国出口信用保险公司的出口担保和保险 (Zhang 等人，2013)。

中国正通过一系列的免税和直接财政补贴方式，支持地方可再生能源设备制造商的发展

国有银行和地方政府也对“新兴战略产业”提供了强大的财政支持。可再生能源制造业也是相关产业之一。国家开发银行 (CDB) 为中国五大 PV 制造商提供低利息贷款 (2010 年一年贷款金额即为 300 亿美元)。在 2006 年更新的中国高

5.6 碳政策

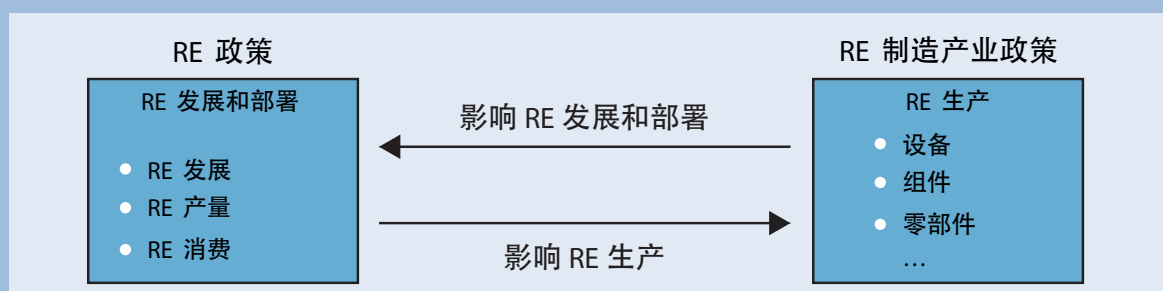
2011 年 3 月，中国宣布，为支持十二五规划中的碳排放强度目标，将进行碳排放交易试点项目。这表明中国越来越关注市场机制的应用 (IEPD, 2014; Baron 等人，2012)。

文本框 5: 中国发展可再生能源产业的“推拉式”战略

在过去的十年中，中国采用了一种独特的“推拉式”战略发展可再生能源。2006 年启动了第一步，通过一个 FiT 计划为可再生能源发电打造市场，大力吸取其他地区相似项目的经验，特别是德国经验。此举打造了一个可再生能源电力市场，从而带动了银行可担保的新风电项目发展。

与此同时，中国积极鼓励地方发展风电和光伏发电产业。这些“推动”机制中，还包括支持研发项目、对可再生能源技术的财政扶持、地方具体要求等，推动本土的制造业基础实现了长足发展。

图 12: 可再生能源政策和可再生能源产业政策的相互关系



来源: 根据 Zhang 等人(2013)

此外，中国还制定了强大的出口战略，特别是在太阳能光伏技术方面，加大对中国生产可再生能源产品的需求。这一举措的结果是：光伏设备的成本大幅降低，2013 年，中国市场的新光伏安装量达到了 13 GW_e。

通过提高可再生能源制造业年产量，实现了规模化经济，降低发电成本，使得太阳能发电具备了成本优势，可以与传统发电形式一争高低。提高了市场竞争力，也让所需要的 FiT 补贴数量不断走低。更低的设备成本也就降低了发电成本，从而让所有相关方都能从中受益。这种积极的联动反应在较大经济体中尤其具有发展潜力。

中国自 2008 年起开始发展碳交易。在这一年，除了制定气候变化和清洁能源方面的政策，也开始建设专门的碳交易平台。首批平台机构包括：北京环境交易所 (CBEEEX)、天津排放权交易所 (TCX) 和上海环境能源交易所 (SEEE)。这些机构最初的着重点是清洁发展机制 (CDM) 和自愿碳信用额市场 (IEPD, 2014)。

2012 年 1 月，NDRC 发出通知，规定七个碳市场试点区域在制定交易方案时，需制定碳排放上限。这份通知还要求各区域成立一项支持交易方案的基金，并对方案实施进行准备。广东的方案已获得 NDRC 的批准。该省的目标是在 2015 年，碳排放强度将比 2010 年的水平减少 19.5%。在 2015 前，将非化石燃料能源在总能源消费中的占比提高到 20%。该省的 CO₂ 排放上限定为 660 Mt CO₂。与 2007 年 508 Mt CO₂ 的排放数量相比，该省的碳排放还有继续增加的空间 (IEPD, 2014)。

2014 年 6 月，中国宣布将自 2016 年起，即十三五规划开始实施之年，推出绝对排放上限政策 (Reuters, 2014b)。与此同时，政府还成立了第七个试点碳交易市场。由于 2018 年中国预计将推出一项全国性方案，该市场也将成为该方案出台前的最后一个交易市场。

中国鼓励碳排放交易，将其视为提高整个重工业部门效率、减少碳排放的一种手段，从而改善空气质量，降低中国对全球气候变化的影响。政府正在讨论的问题是：全国性上限、交易方案、碳排放税或污染限制等措施是否可行，如果可行，应该如何出台相关政策。如今，七省市中已有五个已经制定了排放绝对上限，可能也会纳入一个国家计划。北京已经制定了一个以碳排放强度为基础的目标（排放量/单位 GDP）(RTCC, 2014)。

为了进一步发展中国的碳交易体系，政府将对所有试点项目进行评估。为了建设一个核证减排量交易系统，NDRC 还提出了以下思路 (Feng, 2014)：

- 强化宏观政策：
 - 将建立碳排放交易系统 (ETS) 作为一个核心任务，推动经济改革，建设一个全新的生态文化系统。
 - 社会和经济发展十二五规划。
 - 在十二五规划中，包括一个 GHG 排放控制的工作方案。
 - 十八届三中全会决议
- 相关筹备工作：
 - CDM 合作
 - 发展核证减排量 (CCER) 交易系统

自 2011 年起，中国已经启动了七个排放交易试点项目，为发展一个全国性 ETS 探索最佳方法，获得必要的经验。Feng (2014) 的资料显示，在七个省/地区中实行的交易方式如下：

- 深圳、天津和湖北：企业需强制性进行交易，其他获批组织和个人均可进行交易
- 北京：企业需强制性进行交易，其他获批组织均可进行交易。
- 广东和上海目前，只有需强制性交易的企业可以进行交易，但正在考虑纳入其他组织和个人。
- 北京和天津：允许进行场外交易

Jotzo、de Boer 和 Kater (2013) 从 2013 年 7 月末至 9 月初曾进行一项调查，采访了 86 名中国的碳价格和碳市场专家，希望了解对中国碳价格未来发展的预期。结果显示，业内对中国七个 ETS 试点项目比较有信心，预计价格会随着时间上涨，并会对投资决策产生影响。但是，具体的价格水平还有着很大的不确定性。

表 11: 中国四省市碳交易系统

省/区	启动时间	碳排放量交易量 (Mt)
北京 (BJ)	2013 年 11 月	60
上海 (SH)	2013 年 11 月	136
重庆 (CQ)	2014 年 6 月	125
广东 (GD)	2013 年 12 月	388
天津 (TJ)	2013 年 12 月	108
深圳 (SZ)	2013 年 6 月	33
湖北 (HB)	2013 年 12 月	324

中国很有可能推出与碳价相结合的全国性排放交易。有很大一部分受访者预期，中国将会实现 2020 年的排放强度目标，甚至会超额完成这个目标。几乎所有专家都预计，2025 年和 2030 年将会出台下一步的目标，可能会采取绝对排放限制的形式。

根据 Jotzo、de Boer 和 Kater (2013) 的调查，所有现行 ETS 试点项目的平均碳价预计为：2014

年 32 元/t，2016 年 41 元/t，2018 年 53 元/t。但是，具体的价格水平还有着很大的不确定性。对于全国性 ETS 系统，对平均价格的预期（已考虑到某些受访者认为不会推出该系统并给出零价格预期）稳步增长：2018 年 29 元/t，2020 年 51 元/t，2025 年 68 元/t。2014 年 9 月初，NDRC 提出了该部门在 2020 年前将要监管的总排放量。这个数值范围从 30 亿至 40 亿吨 CO₂ 排放，按照 NDRC 建议的碳价格，市值将为 600 亿美元 (RE New Economy, 2014)，这是欧洲市场的两

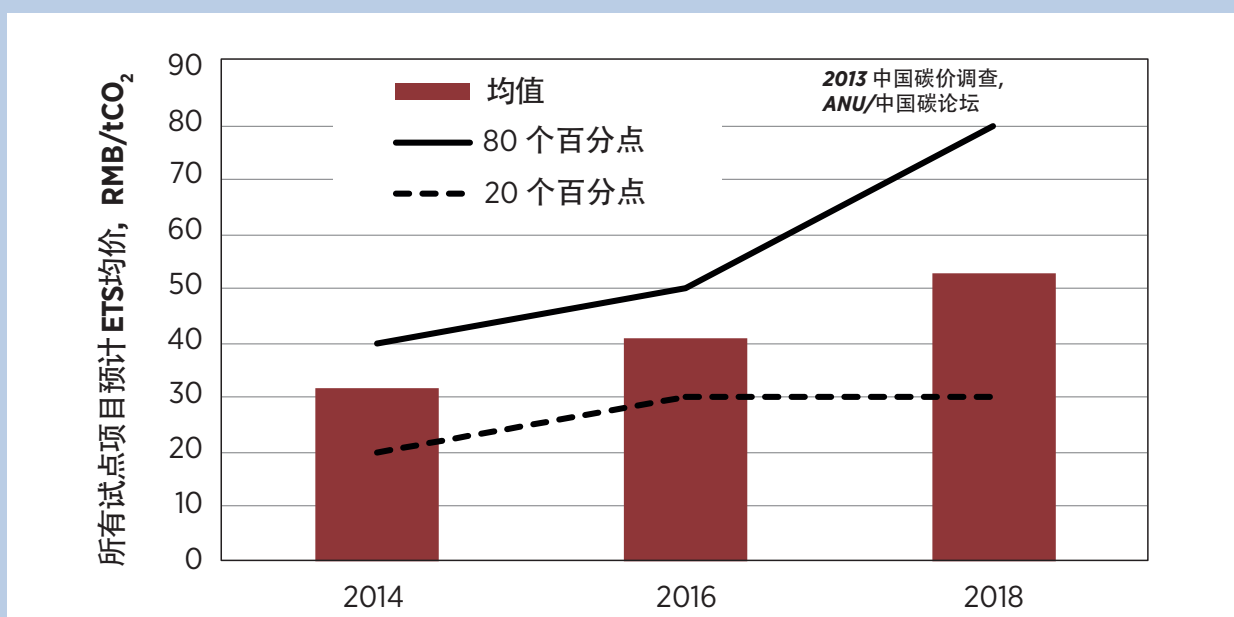
表 12: 中国的 ETS 及其特征

省/区	立法		MRV 指导方针	GHG 排放核证	范围和覆盖	上限	限额分配	开始交易	CO ₂ 累积交易量 (吨)	累积交易量 (人民币)	总体均价 (人民币/t)
	立法层面	管理层面									
SZ	是	是	是	是	是	是	是	2013-6	328 559	23 240 598	71
SH		是	是	是	是	是	是	11-13	342 955	13 097 987	38
BJ		是	是	是	是	是	是	11-13	86 983	4 660 401	54
GD		是	是	是	是	是	是	12-13	126 181	7 594 028	60
TJ		是	是	是	是	是	是	12-13	109 060	3 221 618	30
HB		是		是	是	是	是	4-14	2 819 876	68 005 497	24
CQ		是		是				2014 (预计)			

来源: Feng (2014)

注: 交易量截止 2014 年 5 月 21 日

图 13: 碳价均价预期 - 中国碳交易



来源: Jotzo、de Boer 和 Kater (2013)

倍, 也成为目前全球最大的碳交易市场。中国计划在 2016 年启动一个全国性碳交易市场。

5.7 电价

电价通常由国家制定, 包括发电价格和配电价格。2002 年成立的国家电力监管委员会 (SERC), 是一个独立于电价制定部门 NDRC 的国家机构。SERC 的主要任务是, 制定和监督发电厂和买方之间的电交易机制。在新的架构中, 电价的制定将以市场机制为基础。

在定价方面, 热电厂需支付固定的统一费用, 不根据一天的时段而变化。价格提前一年制定。与其他市场不同的是, 中国缺乏短期实时电力交易机制。中国的电价定价系统由 NDRC 负责。

中国已经设立了一个国家性的可再生能源基金。基金的资金来源主要为所有购电交易中的固定附加费。随着近年来可再生能源发展加速, 该基金也面临着资金短缺的问题。发电厂付费延迟或不

支付费用, 可能也是造成短缺的原因之一。为确保基金能够支持更昂贵的太阳能发电并网, 就需要转换资金来源, 改变向发电厂提供的补贴经费。一直以来, 可再生能源部门中国有能源企业比例很大, 因此一直都对投资决策产生影响。传统上, 这些国有企业除了需要实现盈利, 还肩负着对国家的责任。

居民电价和工业电价之间有着明显的差异。NDRC 和电网公司会对省级居民用电成本达成共识, 有意使电价保持在低水平。尽管中国居民电价和国际平均水平之间差异较大, 但工业电价远高于民用电价, 比较接近世界平均值。

阶梯式定价 (IBT) 是一种常见的定价机制, 用于鼓励家庭节电。这种机制将电力消费分成几个档位, 分别计算电价 (Lo 等人, 2014)。在中国, IBT 通常与节能电器的补贴项目共同实施, 通过奖励低耗电行为和惩罚高耗电行为, 推动节省能源使用。IBT 电价制定了一个用电限额, 超过限额就会按照更高的标准计算电价。

2010年，NDRC 批准改变单一电费系统。但是，由于存在一些潜在的影响，比如居民支付能力，加之部分考虑到对社会稳定性的影响，因此，阶梯电价直到 2012 年 7 月才正式开始实施。(Lo 等人，2014)。

中国的 IBT 为三阶梯结构：

- 第一档电价 (0-240 kWh/月) 为补贴电价。保证居民能够负担基本的电力需要，预计这个档位范围将覆盖约 80% 的居民电力消费。
- 第二档电价 (241-4,400 kWh) 将以电力成本价收取。
- 最后的第三档电价 (4,400 kWh) 为惩罚性电价，将资源稀缺和污染外因纳入考虑范围。低收入群体可以免费消费一定数量的电力 (Lo 等人，2014)。

向风电场和太阳能发电场支付的电费，提前通过竞拍的形式决定。竞拍结果将用作制定 FIT 价格的数据基础。近年来，中国风电和太阳能发电能力发展快速。2013 年 8 月，为了解决资金缺口问题，NDRC 将工业用户的电力附加费提高了一倍。由于在中国总体的电力需求中，工业用户消费占去了很大的比例，因此，此举将大幅增加基金的资金额。与此同时，由于建立了一个与风电系统相似的区域体制，太阳能发电的 FIT 价格也在不断下降 (Davidson, 2013a)。

此外，在当地消化的太阳能电力将获得 0.42 元/kWh 的补贴。如有剩余电力出售给电网，且并网和政策均已到位，则采用现行的煤电标杆价格，价格范围为 0.3 元至 0.5 元/kWh (5-8 美分/kWh)。但是，这些政策调整是否会缓解扶持太阳能技术的庞大财政需求预期 (太阳能电力的 FIT 价格/kWh 仍然是风电价格的一倍以上)，这一点尚不确定 (Davidson, 2013a)。

中国目前有很多的电力定价机制，有的针对供应端，有的针对需求端。要实现电力市场化，就需大幅调整目前的电力部门整体结构

6 可再生能源潜力

中国的传统能源资源储量很大。中国的可再生能源资源潜力也很大，但大部分尚未被利用。比如，中国海上风电和太阳能发电容量的技术可开发潜力接近 3,000 GW_e，但目前的装机容量与之相比微乎其微（表 13）。各地区的资源也各不相同。中国北方拥有最丰富的风能资源，南部和中部则有着很高的太阳辐射能潜力。水力发电潜力为 400-700 GW_e。相比之下，2012 年的水电装机容量约为 250 GW_e，约为总潜力的三分之二。

中国拥有丰富的可再生能源资源，涵盖所有类型，现今的使用量只占其中的一小部分

中国还拥有丰富的生物质资源，但目前得到有效利用的比例微乎其微。生物质资源绝大部分来自农业秸秆和林业伐木残料、畜禽粪便、工业和城市生物降解垃圾等。秸秆资源集中在东北部和长江下游地区。在东北和东南部（四川、山东、吉林、河南）还有丰富的林业资源。

中国每年出产约 700 Mt 的秸秆。其中 37% 以上为玉米秸秆、28% 为水稻秸秆、20% 为小麦秸秆。剩余的 15% 为其他作物秸秆。这些秸秆中约一半被用作饲料和肥料。还有一半可用作能源（350Mt/年）。目前，这些潜力中的利用比例仅为 40% (Zhang, 2014)。畜牧业可提供 135-170 Mt 畜禽粪便用于沼气生产 (Delman 和 Chen, 2008)。

甜高粱是一种可在中国不同地区生长的作物。中国北方和南方还出产红薯。木薯则适合生长在华中、长江下游地区和西南部地区 (Qiu 等人, 2012)。

中国的森林资源有限，而且分布不均匀。因此，固体林产品需要进口，硬木材来自热带地区，软木材则从环太平洋国家和西伯利亚地区进口 (Bioenergy Crops, 2013b)。

表 15 列出了 2030 年生物质供应总潜力的细分数据。除了 Batidzirai、Smeets 和 Faaij (2012) 的研究以外，其他研究均未提供能源作物的潜力数据。根据这四项研究的数据，中国在 2030 年的林产品、林产品残料、农业废弃物的供应总潜力为 8 EJ 至 19 EJ (273 Mtce 至 648 Mtce) (不包括能源作物)。

中国在 2030 年的生物质供应潜力为 8 EJ 至 19 EJ，但目前得到有效利用的部分非常有限

IRENA 估计，生物质在 2030 年的供应成本将为 3 至 12 美元/GJ。这个成本范围中，较低数值为农业废弃物（收获和加工）以及沼气；较高数值为林产品和加工废料，包括薪柴。

表 13：中国的可再生能源潜力

	2012 容量 (GW _e)	技术潜力 (GW _e)
水能	250	400 -700
陆上风电 (>50m)	63	1300-2600
海上风电 (深度 5-25m)	0.3	200
光伏 (电站级)	4	2 200
光伏 (屋顶)	1.4	500

来源：CNREC (2012)

表 14：2030 年生物质总供应量细分表

	Batidziari, Smeets 和 Faaij (2012) (EJ/年)	Van Sambeek 等人 (2013) (EJ/年)	IRENA (2014c) (EJ/年)	CNREC 估值 (EJ/年)
林业产品包括残渣	0.9 -7.8	5.6	2.1 -2.4	6.8
农业残渣包括畜禽废物	0.4 -7.9	13.5	6.9 -13.5	7.6
稻草		4.1		4.9
粮食作物加工后残渣		0.9		0.9
牲畜粪便		5.9		0.8
城市固体垃圾		0.38		0.4
城市污泥		0.05		
工业有机废水和污泥		2.2		0.6
能源作物	3.8 -11.5			
总供应潜力	5.1 -27.3	19.1	8 -15.9	14.4

7 REmap 方案

要点

- 通过这些技术方案，可提高中国可再生能源在 TFEC 中的应用比例，在 2030 年实现可再生能源用量约 23 EJ (770 Mtce) 的目标（相当于在 TFEC 中占比 26%）。这些方案中，包括用现代可再生能源完全替代生物质传统应用。
- REmap 2030 的可再生能源总用量中，约有 49% 与可再生能源方案相关。
- 在 REmap 2030 中，不同形式的生物质（比如电力、热能、发动机燃料）和太阳能（PV, CSP, 热能）在可再生能源总用量中占 60%。
- 在为电力部门提出的 REmap 技术方案中，40% 为太阳能利用技术，三分之一为生物质，20% 为风能，其余为地热。REmap 方案中，可再生能源供热和交通运输部门的利用量，占总量的三分之二。
- 与 2012 年的比例相比，风电总装机容量届时将增长 13 倍。太阳能和地热能将会增长 6 或 7 倍。
- 生物质总用量将比 2012 年增长一倍。2010 年至 2030 年间，生物质传统应用将完全被其现代应用所替代。在这段时间中，生物质的现代应用量将增长五倍。
- 其他生物质应用潜力集中在供热市场（建筑和工业），包括集中供热部门。
- REmap 提出的所有方案，需由消费者支付额外成本 5.6 美元/GJ (1230 元/tce)，社会支付 6.9 美元/GJ (1480 元/tce)（额外成本总计 550-600 亿美元/年；相当于 3750-4100 亿元/年）。在这些额外成本中，未

考虑可再生能源改善人类健康和减少 CO₂ 排放所节省的费用。

- 考虑到 2030 年在空气污染方面的外部效益，包括每年减少 1,690 Mt 的 CO₂，预计资金节约量要高于额外成本。
- 在风能和生物质应用方面的难题，主要与供求关系以及这些可再生能源的成本相关。此外，要建设必要的输电线路，还需要解决许可、批准等管理方面的阻碍。终端使用部门的部分生物质能源需求，可以通过当地可用原料得以解决。但为了满足整个国家的需求，就必须发展针对生物质能源交易的国内物流系统。

中国的参考情景（即在现状基础上发展）分析中，采用了内部开发的 REmap 工具，其中包括 IEA WEO、新政策情景和 CNREC 对 2030 年的预测。第 4 章概述了所使用的数据、假设和方法。通过这个工具，IRENA 可以为各终端使用部门提出额外的可再生能源方案，这些部门包括工业、建筑、交通运输、发电和集中供热。REmap 方案的选择程序如下：

- 1) 编制 2010-2030 年的参考情景。第四章解释了相关的预期数据结果
- 2) 提供反映国家状况的商品和燃料价格
- 3) 以及技术成本和绩效数据(比如容量系数)。
- 4) 根据不同的研究和评估，分析为终端使用部门和电力部门提出的额外可再生能源方案。

为了提出参考情景之外的额外可再生能源技术方案，我们采用了以下研究相关数据：

- a. 电力部门：CNREC 测算，历史趋势，IEA 估值，IRENA 可再生能源行业路线图及其相关数据（生物质发电数据来自 CHP）(IRENA, 2014b)。
- b. 交通运输部门：使用 IRENA 估算数据。
- c. 工业部门：使用工业路线图中近期的 IRENA 可再生能源 (IRENA, 2014b) 及其相关数据。只考虑新配置的可再生能源方案。
- d. 建筑行业：使用了对参考情景发展和 REmap 方案进行的一份内部分析，以及正在草拟的《中国太阳能发展路线图研究》(Ruicheng, Tao 和 Xuan, 2014)。

本章包括五小节。7.1 节重点讨论了中国不同可再生能源技术的潜力，还介绍了资源可用性高的主要地区。7.2 节给出了 REmap 方案。在 7.3 节，估算了 REmap 方案的成本，7.4 节则提供了 REmap 方案的成本供应曲线。7.5 节对这些结果进行了讨论。

7.1 可再生能源技术

风能

风能潜力主要集中在中国西北和东北地区，还有一部分位于东部地区。这些地区的风速经常会超过 8-9 m/s，容量系数在 20% 至 40% 之间 (IEA, 2011a; He 和 Kammen, 2014)。但是，由于目前电网基础设施条件所限，将风电输送给华南和华东地区用户存在着很大的困难。

因此，在确定中国风电潜力时，我们采取了区域性方法，区分高容量和低容量系数地区。一般认为风力资源较大的地区拥有总潜力的三分之二，主要位于内蒙古东部和西部、新疆、甘肃和江苏（这些地区的容量系数最高可达 35%）。假设剩余的潜力位于风力资源可用性一般的地区（这些地区的容量系数大约为 20%）。

假设 REmap 方案建议的开发装机容量比参考情景中判断的容量高出 246 GW_e。因此，REmap 2030 中的总装机容量为 561 GW_e，远低于 2,500 GW_e 的技术可开发潜力。要实现这一潜力，就意味着应该在内蒙、新疆、甘肃、河北、吉林和江苏调动所有的装机容量 (IEA, 2011a)。若实现这一高风能潜力，还要假设 2010 年至 2030 年间建设的一些煤电厂提前停止运营，特别是在西部地区。由于总容量的增长幅度较大，陆地风电装机容量的开发需达到 24 GW_e/年，是目前水平的一倍。海上风电的增长幅度大约为 3 GW_e/年。

光伏和 CSP

在中国西南部和北部，太阳辐射能量为 1,500 至 2,000 kWh/m²/年。目前大部分的太阳能设施都安装在这个条状带中，尤其是青海。假设该地区大部分的剩余容量都得到了利用。同时假设分散在中国其他地区的屋顶光伏容量也得到利用。太阳能的平均容量系数约为：大型项目 17%，屋顶光伏系统 15%。REmap 2030 假设在 2010 - 2030 年间，还会提供 169 GW_e PV 发电能力（在参考情景 2030 年 139 GW_e 的基础上新增）。从总量来看，截止 2030 年，将安装 309 GW_e 的太阳能光伏发电系统（其中 118 GW_e 为屋顶式系统），这就表示装机率将达到每年约 16 GW_e。电站级光伏发电场将集中在西部地区，而分布式太阳能光伏系统则主要集中在东部地区。

太阳能 CSP 在中国的地位也会得到提高，主要集中在具有光伏潜力的地区，比如新疆和青海。没有蓄能的情况下，容量系数将为 17% 左右。在参考情景 12 GW_e 的基础上，REmap 2030 规划新增 20 GW_e 的太阳能发电装机容量。

地热

地热资源分布范围很广，但是大部分地区的地热温度都较低，大约为 30-90 °C。自 1990 年以来，中国在使用地热能源进行空间加热、疗养沐浴和灌溉方面，发展非常迅速。

中国也蕴藏着高温地热资源，但仅限于西藏南部、云南西部、四川西部和喜马拉雅地热带中。目前的总装机容量为 27 MW_e。截至 2006 年，中国大陆共修建了 181 个地热设施，估计发电潜力 1.74 GW_e。这个数字在总电力需求中所占的比例很小。在参考情景中已经假设这些容量大部分都已被利用。REmap 方案未建议增加其容量。

生物质/沼气

如第五章所述，中国拥有巨大的生物质潜力，但目前尚未充分应用。生物质类别包括农业废弃物、垃圾和林业产品。秸秆生产和传统形式薪柴从某种程度而言已得到了应用。但是，在供热部门和部分发电部门，还有很大的潜力可以发展生物质的现代应用，尤其是热电联产电厂 (CHP)。

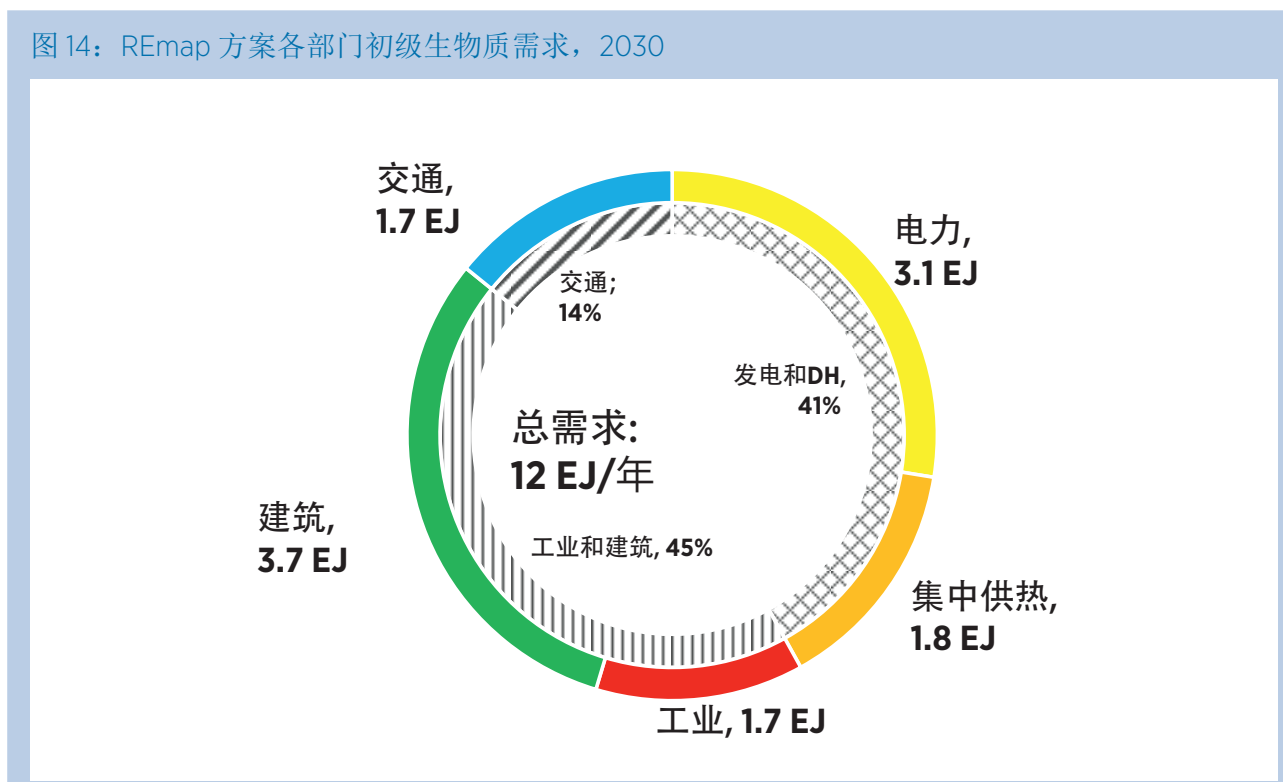
中国华中和东北地区拥有大量的植物茎秆和秸秆潜力，在中国总供应量中占据了绝大部分。西南地区的农业残渣潜力有限。薪柴潜力分布在中国南部和中部地区。牲畜粪便的潜力主要集中在南部、中部和东北部地区 (Jingying 等

人, 2001)。林业生物能量使用在中国还处于初级阶段，但目前已经对之制定了一个中期目标，在中国南部和东部地区的乙醇和生物柴油厂周边开发林业生物能源 (Bioenergy Crops, 2013a)。

在参考情景的 38 GW_e 之外，REmap 又增加了 27 GW_e 的生物质发电潜力（包括工业使用的 6 GW_e CHP）。此外，REmap 还为工业和建筑部门供热假设了额外 2.2 EJ 现代生物质（在参考情景 3.1 EJ 的基础上）。假设 2030 参考情景中 2.9 EJ 传统生物质应用全部进行了替代。

图 14 中显示出，REmap 2030 中的初级生物能源总需求为 12 EJ/年 (410 Mtce)。根据生物质供应方面的文献，这个数字为供应潜力范围最大值的 (8-19 EJ) 三分之二。但这个需求量要高于总供应潜力范围的低值。这显示出，中国还需要进一步加大开发生物能源资源潜力。这个总量中，建筑部门消费量将达到 30%，其次是发电部门，大约 25%。在总需求中，生物燃料生产、工业用热和集中供热需求将占比 45%。

图 14: REmap 方案各部门初级生物质需求, 2030



水能

在水电总潜力中，假设参考情景中 400 GW_e 的总经济潜力均已被利用。REmap 2030 中没有假定更多的潜力。

终端使用部门的额外可再生能源潜力

分析的范围还可以进行扩大，涵盖更多的可再生能源方案，特别是一些尚未全面加速发展可再生能源的终端使用部门。在工业领域，可以考虑改进生物质中/高温加工用热（大幅度提高水泥窑燃料混合物中的生物质和废物比例），以及用太阳热利用进行中/低温供热。假设在 2030 年，水泥行业 20% 的总能源需求由生物质和垃圾燃烧提供，需要总计 0.6 EJ 的燃料。另外，还假设在工业 CHP 厂中，还需要 0.5 EJ 的生物质用于供热，0.3 EJ 生物质用于蒸汽锅炉，占该部门工业用热总能源需求的 2% (WBCSD, 2009; IRENA, 2014b)。

在 REmap 2030 中，估计太阳热能利用总容量将达到 15 亿 m²。因此，在参考情景 8 亿 m² 的潜力之上，REmap 方案又提供了额外的 7 亿 m² 潜力。在 2030 年，建筑部门在这部分装机容量中将占比 70%（60% 住宅，10% 商业建筑）。剩余

30% 则为工业部门。中国在这一领域面临的主要任务是，以现代厨灶取代传统生物质应用，加大用太阳热能进行热水/空间供热的应用范围。

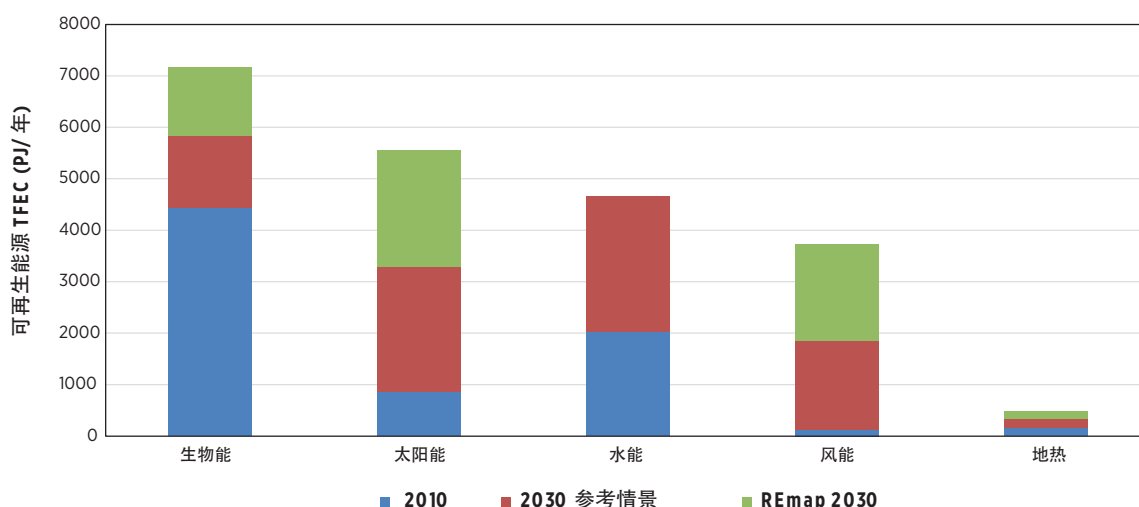
REmap 分析假设在 2030 年，增加电动两轮车、地铁线路延长和电动公交车更广泛应用这三种方式，总体可以替代汽车预计需求的 20%。在公路交通运输方面，需要很大的运力将煤炭从矿山运输到需求中心地区。REmap 方案可以减少 5% 左右的煤炭需求。预计在 2030 年，可以减少约 1% 的公路交通需求。

7.2 路线图表格及分析

REmap 将大幅度增加可再生能源消费在总能源消费中的比例。2010 年，中国消费的可再生能源约为 7.4 EJ/年。其中 60% 为不同形式的生物质能。水电和建筑部门中的太阳热能供热，是另外两个占比较大的可再生能源形式。

2030 参考情景认为，中国还将再消费 7.2 EJ 的可再生能源，因此，2030 的可再生能源消费总量将达到 14.6 EJ。REmap 方案显示出，额外还需要 8.4 EJ 的可再生能源。因此在 REmap 2030 中，TFEC 中可再生能源的总用量将达到 23 EJ。

图 15：可再生能源消费在 TFEC 中占比的增加（按资源划分）



这个数值比 2010 年的水平提高了 15.6 EJ。图 15 中列出了每一种可再生能源的预计增长情况。太阳能应用（包括 PV 和热应用）的绝对值增长幅度最大，2010 年到 2030 年间总计大约 6 EJ。生物质、风能和水电的同期增加量均为 3 EJ。

在 REmap 2030 中，生物质可能仍是最大的可再生能源来源，但太阳能、水能和风能的增长幅度最快。

2030 年可再生能源消费水平将有可能增长三倍以上，达到 23 EJ。其中光伏和太阳热能在总潜力中占比达到 40%，高于参考情景

图 16 为 2010 和 REmap 2030 之间各消费部门可再生能源应用的细分图。请注意，生物质作为一种能源资源，随着其在建筑部门中的传统应用被现代应用所取代，它的变化幅度非常大。此外，电力部门的生物质应用未出现增长趋势，但使用生物燃油和废弃物燃烧为工业供热的比例却有所增加。

其他变化还包括：建筑和工业部门中的太阳热能应用大幅增加。在电力部门中，水电仍是可再生

能源中最大的电力来源，但风电所占比例将达到 2010 年水平的十倍。光伏在 2010 年几乎是一片空白，到了 2030 年将在所有可再生能源应用中占比 6%，成为 2030 年可再生电力中第三大重要来源。到 2030 年，电力部门在整个可再生能源市场中占比近 50%，相比之下，2010 年仅为 29%。

到 2030 年，如果实施全部 REmap 方案，可再生能源发电和供热应用将在可再生能源总用量中各占近一半。

下面的表 15 显示可再生能源份额的增长情况。如果不包括生物质的传统应用，现代可再生能源应用从 2010 年占总量的 7%（如果包括传统应用则为 13%），增长到参考情景的 16% 以上。如果将 REmap 方案纳入考虑范围，那么在可再生能源的总体应用中，现代可再生能源所占的比例将达到 26%。

建筑行业的可再生能源应用量最大，主要源自太阳热能应用和大量的生物质应用。排在其后的是工业和交通运输部门。电力部门中使用的可再生能源比例将增长近 40%，其中一半（20%）的可再生能源发电，来自光伏、CSP 和风能。

图 16：2010 和 REmap 2030 按应用和部门划分的可再生能源应用情况

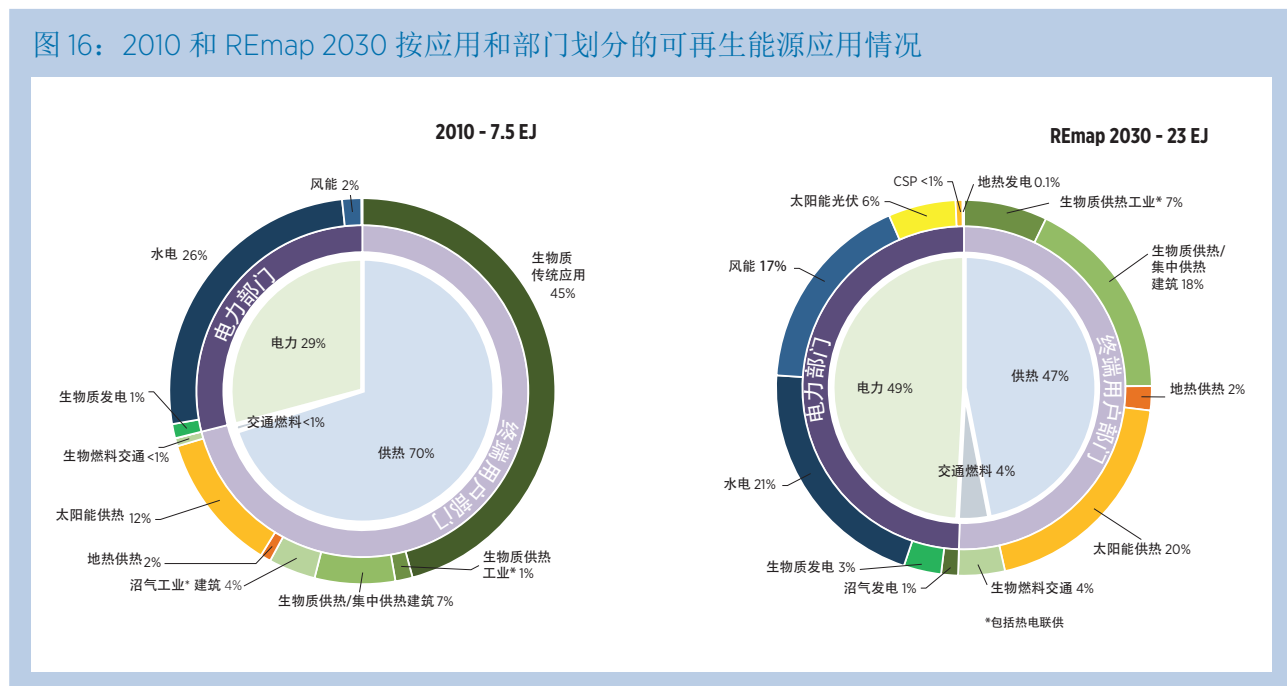


表 15：各部门可再生能源占比

	可再生能源用途：	占比 %：	2010	2030 参考情景	REmap 2030	RE 应用 REmap 2030 (EJ/年)
工业	供热	热消费	1%	2%	10%	2.6
	热、电和 DH	部门 TFEC	5%	11%	21%	10.5
建筑	供热	热消费	16%	39%	64%	7.3
	热、电和 DH	部门 TFEC	16%	36%	54%	10.5
交通运输	燃料	燃料消费	1%	5%	5%	0.9
	燃料和电力	燃料 TFEC	1%	7%	8%	1.5
电力		发电	19%	29%	40%	13.2
集中供热		产热	1%	1%	36%	1.4
总计	不含传统生物质	TFEC	7%	16%	26%	22.5
总计	包括传统生物能	TFEC	13%	17%	26%	22.5

在 REmap 2030 中，制造业和建筑行业利用的可再生能源（包括这些部门中消费的可再生能源电力）将占可再生能源总用量的 90%。

图 17 显示出在 2030 年，REmap 方案如何改变一次能源结构的情况。我们采用了两种方法进行可再生能源和一次能源转换。两种方法均显示出，在一次能源总需求 (TPED) 中，可再生能源是第二大能源服务提供方式。¹⁷ “高 RE” 计算，采用的是美国能源信息署的部分替代方法，而 “低 RE” 计算，则使用了 IEA 物理能含量方法。这两者计算的对象一致，代表着同样的可再生能源的消费水平。它们只是将可再生电力和热能转化成一次能源当量的两种不同方法。

从一次能源的角度来看，与 2030 参考情景相比，可再生能源将增加 42% 至 48%。煤炭用量将减少 18%，也是整体而言最大的降幅，从而将煤炭用量拉低至 65 EJ (2220 Mtce)。但煤炭仍是最大的初级能源来源。天然气用量减少 9%，降幅排名第二，成为第四大能源载体，排在煤炭、石油和可再生能源之后。石油是第三大一次能源来

源，降幅只有 7%。核能的情况保持不变，它也是一次能源中占比最少的一项（使用 IEA 方法）。

表 16 对能源系统进行了更详细的解读，包括 2010 年的数据（分析基准年）、2030 参考情景数据和 REmap 2030 数据，包括 REmap 方案。根据参考情景的数据，如果不包括传统生物质应用，可再生能源在 TFEC 中的份额，将从 2010 年的 7% 增加到 2030 年的 16%（如果包含生物质传统应用，则从 14% 增加到 17%）。

如果全部 REmap 方案部署到位，REmap 2030 中的可再生能源比例将会提高至 26%，总用量达到 23 EJ/年 (770 Mtce)。这其中包括 0.9 EJ 的液体生物燃油，11.5 EJ 终端使用部门的可再生能源供热，以及 10.1 EJ 可再生能源电力。与参考情景相比，终端使用部门发展电气化，将导致 REmap 需要大约 280 TWh/年的额外发电量，即增加了 3% 的电力需求。用于交通运输部门的生物燃料总计为 0.9 EJ，其中 18% 来自高级生物燃料。

¹⁷ 估算一次能源总需求可使用不同的方法。本研究中采用的两种方法分别为：物理能含量和替代方法。物理能含量方法是 IEA 和 Eurostat 使用的方法，将可再生电力和生物燃料计入一次能源，因为它们的存在形式为二次能源。在计算地热、CSP 和核能的过程中，则使用了平均流程效率，将其转化成一次能源等值。替代方法是 US EIA 和 BP 的使用方法，使用化石燃料电厂和热电厂的平均效率，将可再生能源电力和热供热转化为一次能源。但这种方法需要获得相关的数值。

图 17: REmap 2030 中一次能源供应总量变化

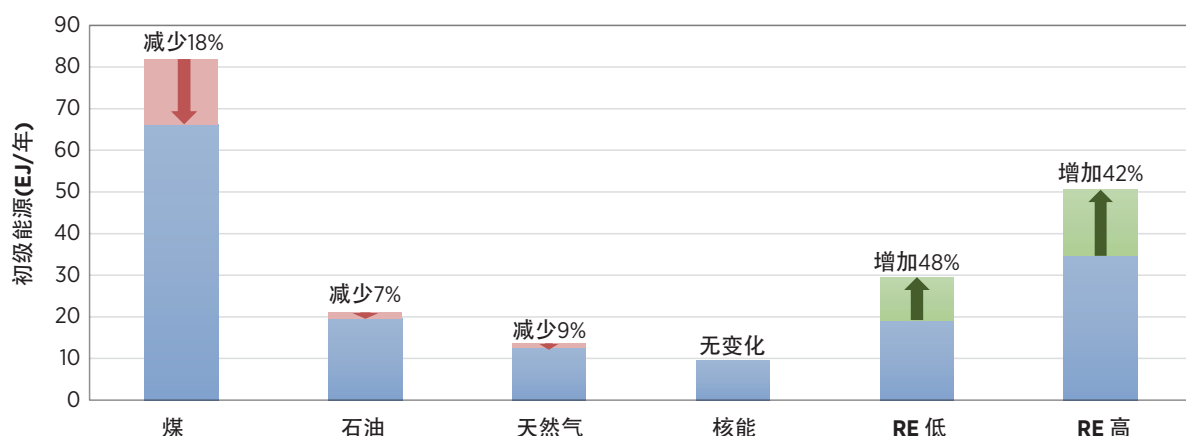


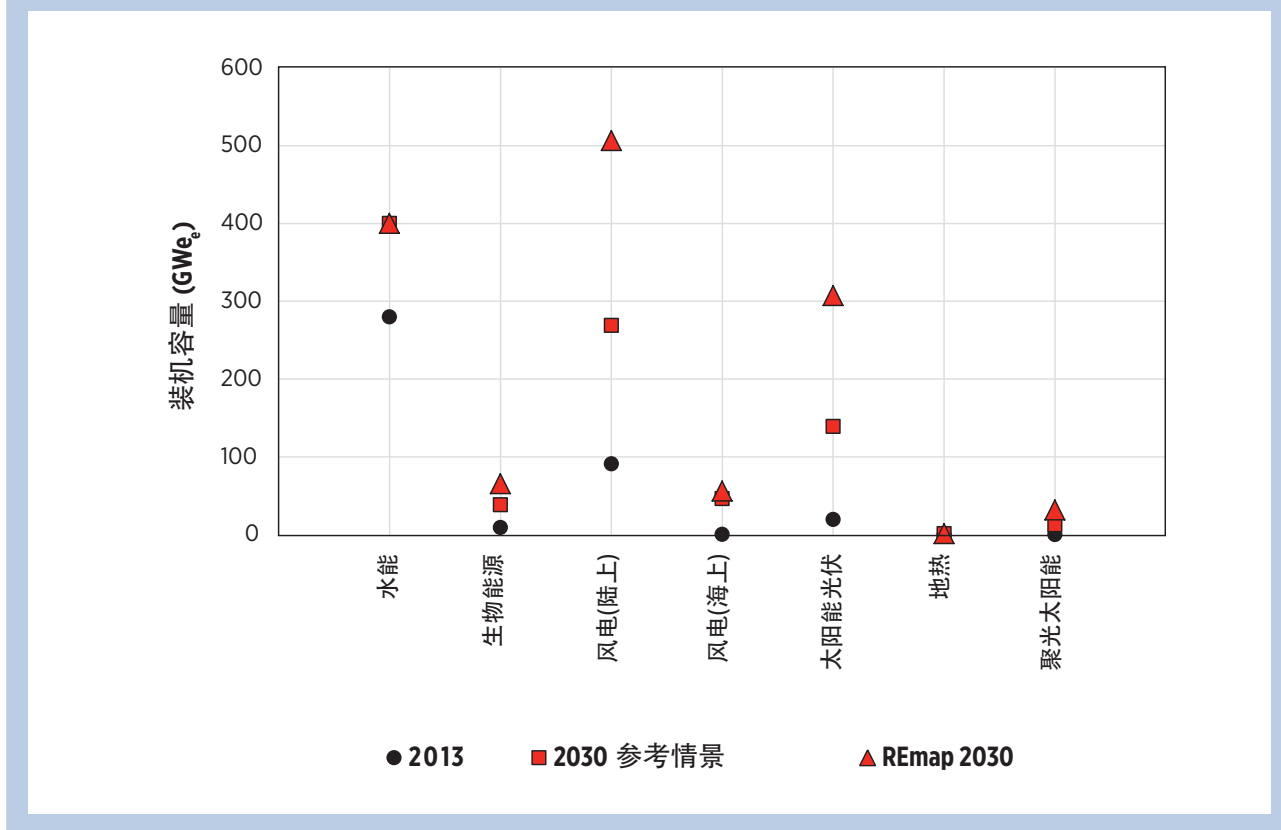
表 16: 中国 REmap 2030 概述

1. 发电		单位	2012	参考情景 2030	REmap 2030	REmap 2030 和参 考情景差异
装机容量	可再生能源	GW _e	345	1 005	1 467	462
	水电 (不含抽水蓄能)	GW _e	249	400	400	0
	水电抽水蓄能	GW _e	20	100	100	0
	陆上风电	GW _e	63	269	501	232
	海上风电	GW _e	0.3	46	60	14
	生物质 (包括沼气、 工业 CHP)	GW _e	7.7	38	65	27
	光伏电站级	GW _e	4	98	190	92
	光伏屋顶	GW _e	1.4	41	118	77
	太阳能 CSP	GW _e	0.014	12	32	20
	地热和海洋能	GW _e	0.03	1	1	0
发电量	可再生能源	TWh	1 006	2 643	3 660	1 109
	水能	TWh	864	1,600	1,600	0
	风能	TWh	100	647	1,263	692
	生物能	TWh	38	190	358	168
	太阳能	TWh	4	197	446	249
	地热和海洋能	TWh	0	9	9	0
2. 生物质供应	10 亿 m ³	16	60	83	23	
沼气用户	百万家 庭	47	175	240	65	
大中型沼气厂	10 亿 m ³	0	40	80	40	
沼气 tce	Mtce	11.0	41.5	57 1.7 EJ	0.5 EJ	
	单位	2012	参考情景 2030	REmap 2030	REmap 2030 和参 考情景差异	

3. 供热						
太阳能热水	Mm ²	258	865	1500	-	635
太阳能热水 tce	Mtce	29.6	91	149	4.4 EJ	2.0 EJ
供热地热能 tce	Mtce	5	10	15	0.5 EJ	0.2 EJ
供热 tce	Mtce	34	101	164	4.9 EJ	2.2 EJ
4. 生物燃料						
固体生物质	Mt	28	85	133	2.3 EJ	0.8 EJ
传统生物质	Mt	225	66	-	-	-
现代生物质工业	Mt	6	40	88	1.5 EJ	0.8 EJ
生物乙醇	Mt	2	25	25	310 亿升	-
生物柴油	Mt	0.5	5	5	60 亿升	-
总计	Mtce	148	140	225	4.8 EJ	1.6 EJ
5. 集中供热						
生物能	Mt	2	2	78	1.4 EJ	0.3 EJ
6. 电动汽车						
电动车和插电式混合动力汽车	(百万)	.03	17	35		18
电动两轮车	(百万)	200	400	500		100
7. 发电比例						
总装机容量	GW _e	1 203	2 306	2 602		330
总发电量	TWh	4 980	9 315	9 543		205
可再生能源容量比例	%	28%	39%	53%		15 p.p.
可再生能源发电比例	%	20%	29%	39%		10 p.p.
8. 能源消费比例						
TFEC	Mtce	2 150	3 123	3 055		-68
TFEC	EJ	66	91.5	89.5		-2
可再生能源电力 (已消费)	EJ	3.3	7.6	10.7		3.1
可再生能源气体、热能和燃料	EJ	5.2	7.0	12.3		5.3
全部可再生能源	EJ	8.5	14.6	22.5		8.4
在 TFEC 中的可再生能源 (括号内, 不含生物质传统应用)	%	14% (7%)	17% (16%)	26%		10 p.p.

注: p.p. (百分比)

图 18：可再生能源技术的发电装机容量



在 REmap 2030 中，可再生能源发电所占的比例为 39%。这个发电量的一半、即 18%，为波动性电力，包括光伏、CSP 和电。与参考情景相比，电力部门中可再生能源比例的增长幅度较大。这是由于风电（超过 617 TWh/年）、光伏发电（233 TWh/年）和包括工业 CHP 在内的生物质发电均出现增长（168 TWh/年）。与参考情景相比，水能和地热的数据未出现增长。

以可再生能源电力增加量替代煤电装机容量。因此，REmap 2030 中的煤电容量减少了 180 GW_e，其中有 45 GW_e 来自提前关闭现有煤电厂并用风电取而代之。即使是在替代之后，系统中仍保有超过 850 GW_e 的煤炭发电容量。但这个数值要小于目前的总装机容量（750 GW_e）与 2011 年规划煤电装机容量（350 GW_e）(Platts, 2013) 的总和。

图 18 为发电装机容量的发展情况假设为实现 2020 年目标而实现了指数式增长，那么可再生能源电力容量将在 2030 年增加到 1200-1600 GW_e。在 REmap 2030 中的数值则为 1467 GW_e。REmap 2030 中，风电容量几乎翻倍至 561 GW_e（包括 60 GW_e 海上风电），而参考情景为 315 GW_e。光伏增长至 308 GW_e，高于参考情景的 109 GW_e。太阳能 CSP 增长至 32 GW_e，是参考情景 12 GW_e 装机容量的三倍。而 2010 到 REmap 2030 之间，总水电容量增加了近 150 GW_e，从 215 GW_e 增加到 400 GW_e。

在终端使用部门中，可再生能源份额为 10% 至 64%。增长主要来自生物质，在可再生能源燃料总用量中占比近半（不包括电力）。如果全部 REmap 方案部署到位，中国现代和传统生物质应用将会增长一倍，从 2010 年的 6.1 EJ 增加到 REmap 的近 12 EJ（所有部门需求之和）。由于现代生物质应用方式的效率是传统方式的 2-3 倍，因此，以现代方式替代传统方式，将会降低总量的增长幅度。

在 REmap 2030 提出可再生能源应用总量中，有三分之一来自生物质，其中终端用户部门的用量占比最高，达到 60%。在建筑和工业部门供热中，对非生物质可再生能源技术的使用比例很大，太阳能为 5 EJ，地热为 0.3 EJ。2030 年的太阳能热利用容量将达到 1,050 GW_{th} (或 1.5 亿 m²)，在 2030 总装机容量中，工业应用将占 30%，商业应用占 10%。REmap 2030 中的电动汽车数量将增加到 3500 万辆。这个数字在 2030 年汽车保有总量中占 10% 以上。2030 年两轮车的数量将为 5 亿辆。

7.3 可再生能源技术成本预测

表 17 中给出了新建发电装机容量 LCOE 的当前数值和预测值。在 REmap 中，只用可再生能源技术替代煤炭发电。由于缺少碳价数据，新增煤电的成本预计增长到 50 美元/兆瓦小时 (MWh)。在所替代的煤电容量中，既包括新增容量，也包括现有容量，发电成本接近 20 美元/MWh。由于中国煤炭储量丰富，可再生能源技术无法简单

从成本上与之竞争。从表格中可以看到，在电力部门中采用 REmap 方案进行替代，需要 16 美元/GJ 的替代成本。

REmap 预计风电成本将稳定在 78-95 美元/MWh。此外，还提出了另外一个“偏远”陆上风电的技术方案。这是指将风电场建设在容量系数较高的地区，但这些地区距离现有电网更远，建设成本和设备运输成本都可能更高。

与风电不同的是，到了 2030 年，光伏的成本将大幅度减少到 60-120 美元/MWh。电站级太阳能发电的 LCOE 为 60-75 美元/kWh，而分布式光伏发电的 LCOE 为 90-120 美元/kWh。但需要注意的是，本研究未讨论不同可再生能源整合的成本。IEA 的数据显示，这方面的成本将为 5 至 25 美元/MWh。这些额外的成本将会对电价档位产生影响。垃圾填埋气仍然会是新煤电厂的竞争对手。

表 17: 电力部门技术的 LCOE 比较

	BNEF 2012 (美元/ MWh)	IRENA 2013 (美元/ MWh)	IEA/NEA 2010 (美元/MWh)	GlobalData 2013 (美元/MWh)	REmap 2030 (美元/ MWh)
折扣率 (%):	无	10	10	5 -8	8
可再生能源					
陆上风电	46 -124	79	72 -125	53 -67	78 -95
陆上风电 (偏远)					70 -88
海上风电	91 -240			95 -120	125 -160
光伏 (电站级)	99 -257	191	186 -282	70 -86	60 -75
光伏 (屋顶)					90 -120
太阳能 CSP					145 -200
填埋气 ICE					42 -57
生物能	28 -132	53 -67		27 -31	
传统:					
煤炭 (新)					43 -57
煤炭 (现有)					15 -21

来源: 资料来源: Asia-Pacific Renewable Energy Assessment, BREE 2014 以及 BNEF, IRENA, IEA/NEA, GlobalData 的数据摘要。

IEA 的估算数据显示 (IEA, 2011a; 未显示在下表中), 根据地区的不同, 加上装机容量不断增加, 风电的成本也有着迥异的差别。比如, 内蒙古西部的装机容量从 45 GW 增加到大约 200 GW 后, LCOE 就会从 54 美元/MWh 增加到大约 70 美元/MWh。同样的装机容量 (45 GW_e), 甘肃风电的 LCOE 为 50 美元/MWh, 河北为 74 美元/MWh。为了实现 2030 年 400 GW_e 的装机容量, IEA 预计七大风能资源地区的 LCOE 范围为 64-84 美元/MWh¹⁸。这接近 REmap 2030 估算的 467 GW_e 陆上风电装机容量。

截至 2030 年, 陆上风电、电站级光伏和填埋气/沼气将成为可再生能源发电最廉价的资源。

输电等系统成本会对总体估值产生重要的影响。IEA (2011a) 的数据显示, 截至 2020 年, 风电 LCOE 的平均值约为 56 美元/MWh, 其中不包括输电成本。如果将这些成本也计算在内, LCOE 估值将增加到 79 美元/MWh (增幅为 36%)。

将这些成本计算在内, 到 2020 年, 资源潜力丰富的地区如果想要实现 200 GW_e 的风电容量, 就需要始终保持现有的容量年增长水平。截止 2030 年, LCOE (不包括输电成本) 可能会增加到 60 美元/MWh, 而包括输电成本的电价补贴为 80 美元/MWh。在这样的情况下, 2030 年的总装机容量将超过 400 GW_e。输电成本将推高总成本 30-40%。

按照 WWF 的“可再生能源高情景” (2014) 来计算, 即 2030 年, 可再生能源在发电部门中的比例预计将达到 56% (22% 来自风电, 18% 来自水电, 16% 为光伏和生物质混合), 那么 LCOE 加权数值将为 85 美元/MWh (包括传统方式在内的所有技术)。算上输电成本、需求成本/峰值削减和储存, 成本还要再增加 46 美元/MWh。因此到了 2030 年, 总发电和系统成本将达到 131 美元/MWh。

BNEF (2013) 估计, 从 2013 年到 2030 年, 如需将装机容量从 1124 GW_e 增加到 2867 GW_e, 则总投资金额需要达到 32560 亿美元。在这一总装机容量中, 将有一半为可再生能源。在 2013 至 2030 年估算的总增加净容量中 (1743 GW_e), 约有三分之二为可再生能源 (1110 GW_e), 其中 900 GW_e 为风电和光伏发电。想要实现这一增加量, 就需要在此期间增加基础设施投资, 这笔费用约为 11230 亿美元, 将总投资金额提高了大约三分之一在这个估算的基础设施投资中, 大约 45% 涉及到输电线, 三分之一为智能电网, 17% 为储存, 剩余的 5% 为需求响应。

在建筑和工业部门, 由于煤炭价格低廉且储量丰富, 因此可再生能源技术未来的发展也充满挑战 (见附件 E 对这些部门终端使用成本的综述)。由于煤炭供应价格低廉, 因此仅从价格角度而言, 很多用于取暖或工业供热的可再生能源技术, 很难与煤炭竞争, 也就是说, 如果用这些技术替代煤炭, 将会增加成本。

交通运输部门的可再生能源前景更为乐观。由于石油为全球性商品, 中国为净进口国, 因此中国的每桶油价与世界各地相差并不悬殊。REmap 预计油价适度上涨, 在 2030 年达到每桶约 120 美元 (根据低发热值 5.4 GJ/桶油当量)。换算成汽油价格, 结果是在 2030 年, 汽油价格从 2010 年的 23 美元/GJ 上涨到 2030 年的 32 美元/GJ。增幅大约为 50% (假设汽油税不变)。

此外, 由于中国处于快速城市化的阶段, 收入水平不断增加。中国汽车保有量预计将从 2012 年的 1 亿辆增加到 2030 年的 5 亿辆。在这种假设下, 汽油需求量的增加会对汽油价格带来上涨压力。这就给很多类型的交通或燃料替代技术带来了机遇, 可以与石油在价格方面展开竞争。但是, 由于替代技术形式多样, 从生物燃料到电动汽车, 加之发展替代技术会加大基础设施成本, 因此, 这些技术的成本结构目前还很难预测。

18 IEA (2011a) 分析的七个地区分别为: 甘肃、河北、江苏、吉林、内蒙古东部和西部。

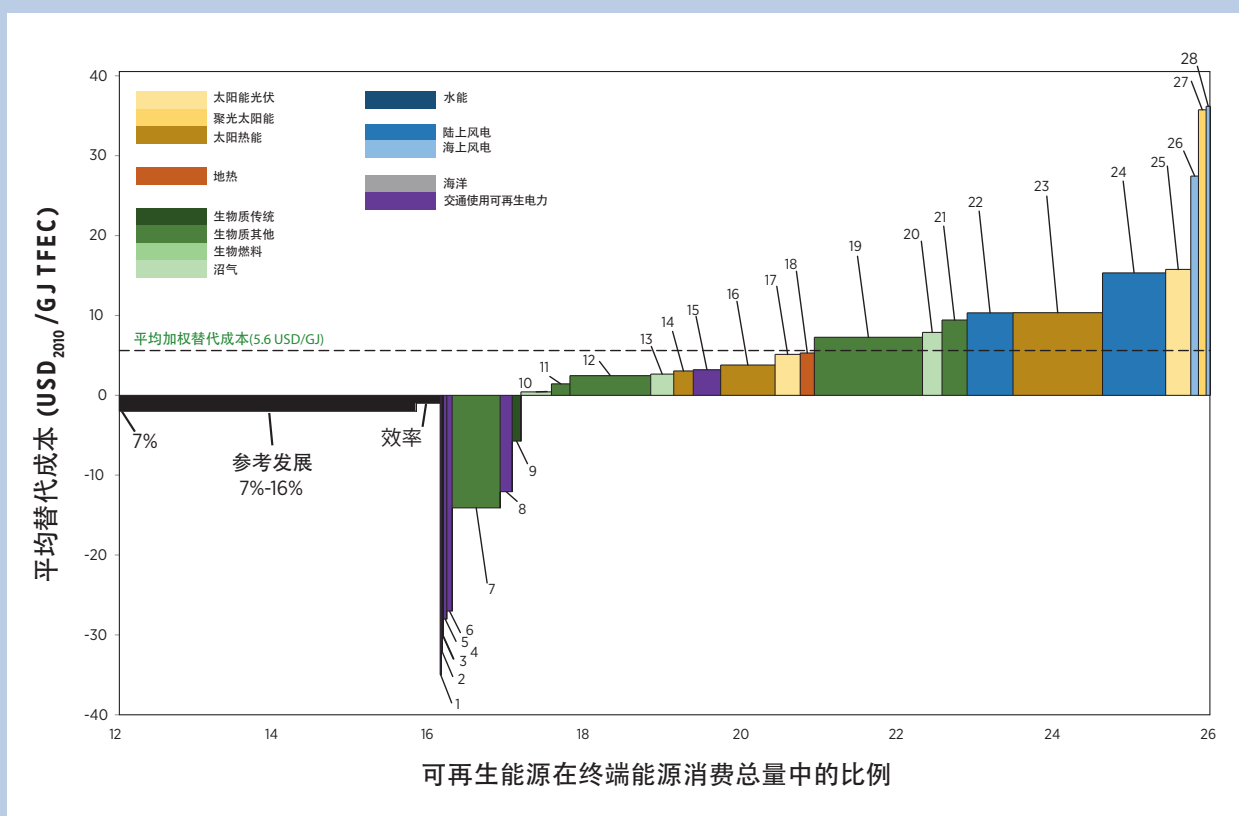
但可以明确的是，本研究中所使用的方法和成本数据显示（包括资本、运营和维护 (O&M) 成本、能源价格和折扣率），这些技术中大部分都具备实际应用潜力，可以在交通部门与汽油进行价格竞争。这种增长还为中国带来了一个机遇，使用更多电力驱动的交通模式替换液态燃料形式，即“形式转换”。包括支持和发展地方电动巴士和地铁系统，采用电动长途客运和货运。中国正在积极推动这方面的发展。但 REmap 建议中国将加大发展力度，同时实现更大的成本节约。

7.4 REmap 方案总结：成本供应曲线

前面几个章节讨论了技术方案及其成本。本节将把这些方案集成在一个整体潜力曲线中，根据其成本效率进行排列。

成本供应曲线列出了 REmap 方案中各可再生能源技术大致的实际潜力，是除了参考情景以外，中国在 2030 年前可以部署的新技术。REmap 2030 的编制过程中并未使用成本供应曲线。该曲线的目的是演示所选择的 REmap 方案。

图 19：REmap 方案成本供应曲线，企业角度，按资源排列



注 1：见附件 E 查看编号技术的具体信息

注 2：紫色柱代表电气化技术。这些技术的替代成本，包括与其传统替代对象相比的年化资本（比如电动车辆所有权成本）、O&M 和能源成本（即燃油 ICE 乘用车）。还假设每一种新增的电气化技术，就会产生一可再生能源发电容量投资。因此，假设这些技术只使用可再生能源电力。这些成本都涵盖在电价之中，电价也反映出了中国发电结构的变化。与描述能源需求技术（比如电动车和热泵）相反的是，代表电力技术的柱状图也可以由可再生能源电力供应技术来表现，在中国，这种技术中包括 70% 风电，30% 光伏。

REmap 方案是一个技术组合。在发电、集中供热、建筑、工业和交通运输终端使用部门中，可以使用这些技术加快可再生能源的发展。但这个组合并非根据中国及其他 25 个 REmap 国家的 GDP 做出的对全球新增可再生能源潜力进行的分配，也不是一种外推预测。对 REmap 方案参数或其他中国研究的不同理解，可能会得出不同的技术组合。

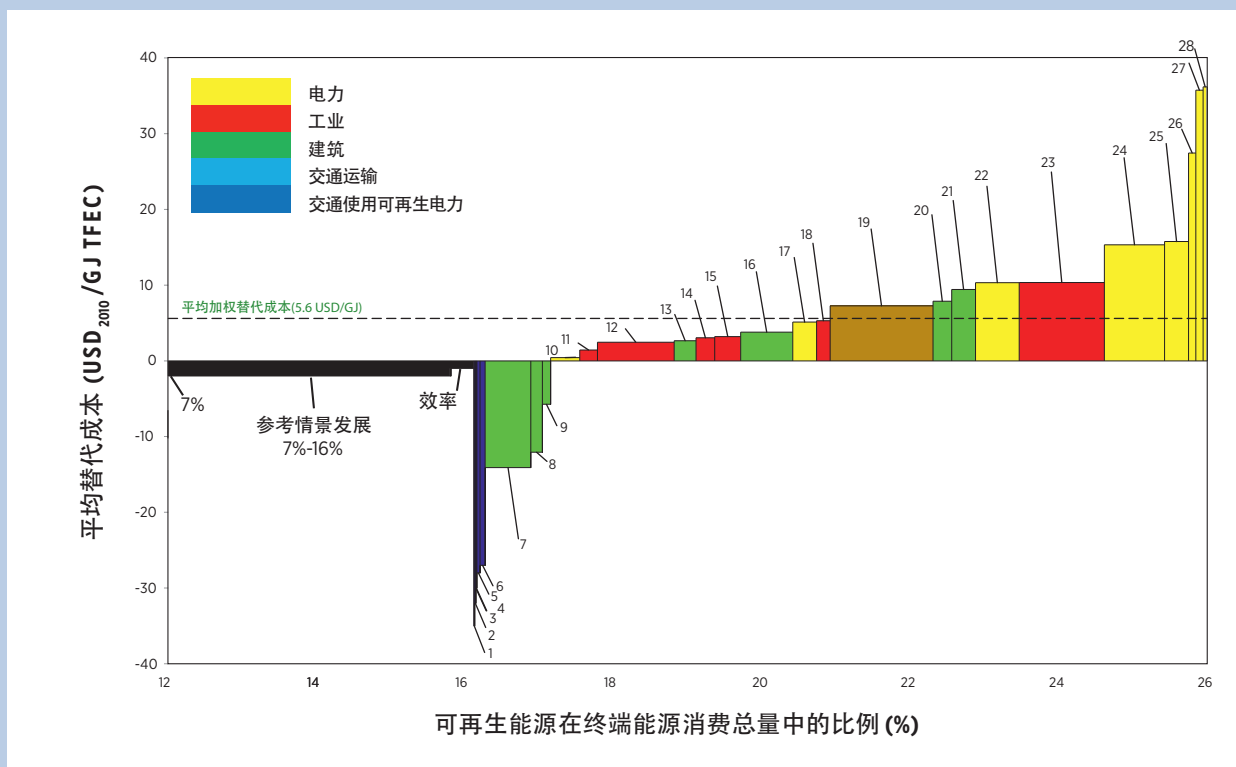
分析结果显示在图 19-22 的成本供应曲线之中。共有两组曲线：一种根据国内价格绘制（企业角度），其中结合了国内资本成本（8% 折扣率）、含国内税收或补贴的商品价格、技术成本和性能特征。另一种（政府角度）则是根据国际标准商品成本绘制（在煤炭和天然气的进口和出口国之间存在成本差异，折扣率为固定的 10%。

前一种曲线反映出可能影响私人投资决策的因素，后一种则与政府的政策和财政支出决策关

系更大。每一种曲线都分别呈现了两次，第一次为资源角度，第二次为部门角度。通过国内成本供应曲线，可以了解增加可再生能源部署的经济成本和财政节约潜力。在考虑研发需求时，采用了标准国际曲线，对各地区或全球的可再生能源潜力和成本进行了对照，还显示出因政治决策（比如能源税）而产生的中国和全球市场间成本差异。

决策者可能倾向于选择位于曲线左端的低成本方案，放弃位于右端的高成本方案；但是这个图表提供的是整个国家的角度。曲线图每一个柱即代表一种方案，决策者可能会假设这些方案有着同样的替代成本。但这些柱代表的只是 REmap 2030 中假设部署情况的平均值。只关注成本最低的单个方案，并不会实现总体转换成本最低的目标；要实现这一点，必须采用一个整体化方案。只有同时部署所有方案，才能实现本研究的目标：2030 年，将可再生能源在中国 TFEC 中的占比增加到 26%。

图 20：REmap 方案成本曲线，企业角度，按部门排列



注：见附件 E 查看编号技术的具体信息

色柱：黑色：交通部门电气化技术；绿色：建筑部门；红色：工业部门；黄色：电力部门。深黄色：集中供热部门

图 21: REmap 方案成本供应曲线，政府角度，按资源排列

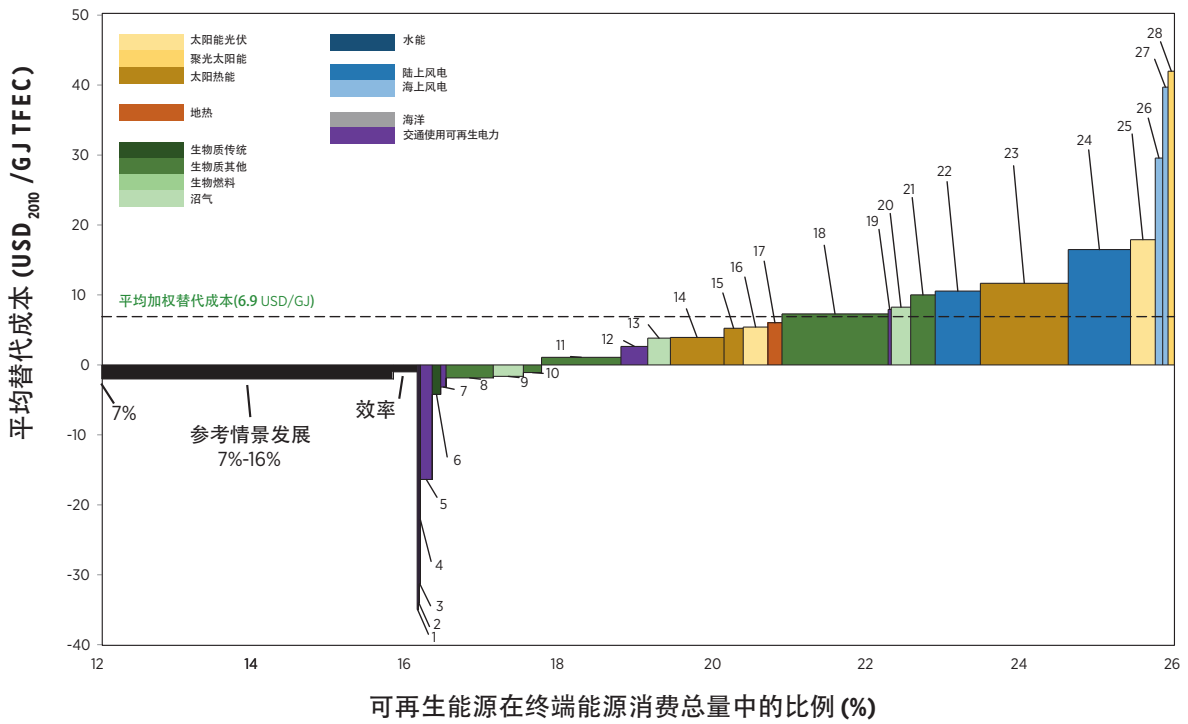


图 22: REmap Options 成本供应曲线，政府角度，按部门排列

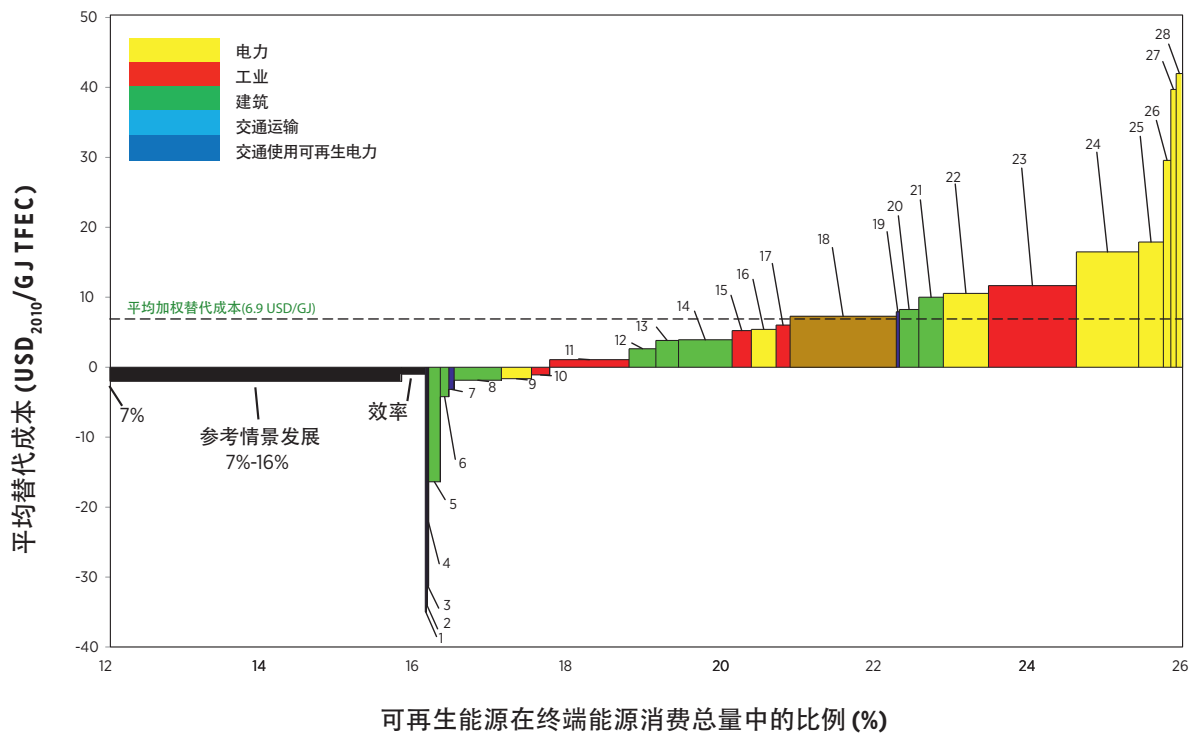


图 20（下图）中显示的是同一曲线，但各部门的技术用不同颜色标出。这个曲线显示出，新增潜力大部分都集中在建筑、工业和电力部门。

着重于成本最低的统一方案，并不会实现总转换成本最低的效果；需要一个总体方案

图 21 和图 22 是根据国际标准化商品价格预测得出的中国 REmap 成本供应曲线（未考虑税收或补贴影响），折扣率为 10%。这个曲线与国内曲线有着明显不同，主要是因为折扣率（10% vs 8%）和能源价格不同。在这个国际曲线中，既显示出仅限本地市场的商品价格（比如天然气）所带来的成本差异，还显示出能源补贴和税收对价格差异的影响，以及其对技术部署的影响。这个曲线还将中国和区域以及国际数据进行比较，提供区域和国际范围的背景。

部门曲线显示出，额外潜力大部分都集中在住房、工业和电力部门。

在 REmap 的成本供应曲线中，同颜色的第一个水平柱代表了从 2010-2030 年，参考情景中的可再生能源增长情况，以不同颜色表示资源。资源的颜色与参考情景中的可再生能源部署相一致。在曲线中，还显示出了 REmap 分析结果和可再生能源的加速应用（REmap 方案）。彩色柱表示每一种技术的额外潜力（x 轴），还表示采用该技术替换对应传统技术时，所得到的替代平均增量成本（y 轴）。参考情景已考虑到了可再生能源的一些重要发展。风能和太阳能在参考情景中均已出现增长，因此，它们在 REmap 方案中的增量潜力就会较低。参考情景的数据显示，中

国 TFEC 中现代可再生能源的比例预计从 2010 年的 7% 增加到 2030 年的 16%。

按部门和技术得出的成本曲线结果

这些成本供应曲线中的结果，是根据技术成本和燃料价格预测而制定的。在附件中提供了预测依据假设的概述。不同部门的技术方案组合和成本也不相同参考情景相关的成本并未进行量化，因为它们属于预期能源系统发展的领域，不属于本 REmap 分析的范围。

REmap 成本供应曲线的结果显示：从企业角度（国家价格）来观察，与对应的化石燃料方法相比较，分析中所判断的部分 REmap 方案可以在应用过程中节约成本。表 15 列出了各部门的平均替代成本。如果从企业角度来看，REmap 方案需要 5.6 美元/GJ 的额外成本。从政府角度来看（国际价格），替代成本将增加到 6.9 美元/GJ。这个数据的假设前提是：去掉对化石能源的税收（因为生物质的税率相对较低，而其他不需要燃料的可再生能源技术，不会受到燃料税收的影响），以及 10% 的高折扣率（大部分可再生能源技术的资本成本都更高）。这个成本要高于 2.5 美元/GJ 的全球平均值。全球平均值根据 26 个 REmap 国家的分析估算而得。

从企业角度得出的成本供应曲线显示出，在与对应的传统方案相比时，大部分技术都会得出增量成本。但是，如果考虑到这些增量成本，就得出了 5.6 美元/GJ 的最终能源增量成本均值，实际上就等于成本增加了 20 美元/MWh 或

表 18：中国 REmap 方案平均替代成本概述

	企业角度 (国家价格) (美元/GJ)	政府角度 (国际价格) (美元/GJ)
工业	5.7	5.7
建筑	0.5	2.7
交通运输	-11.0	-3.7
电力	13.2	14.0
所有部门平均值	5.6	6.9

2美分/kWh。但这个数据中并未考虑一点：中国拥有世界价格最低廉的化石燃料，特别是工业和能源部门使用的超廉价煤炭。这也解释了一点：为什么大部分具有成本效益的可再生能源方案，都用于替代石油产品（大部分在交通行业）或建筑部门所用燃料（包括传统生物质）。但是，如表 21 所示，如果将外部效益纳入替代成本的考虑范围，REmap 整体结果就会比传统对应项更节约成本。成本-供应曲线不能显示这些外部成本，因为健康和环境成本无法内化到替代过程中，我们将在随后的一个步骤中将其纳入分析范围。

在中国，大部分具有成本效益的可再生能源方案，均用于替代石油产品（主要为交通部门）或建筑部门使用的燃油。

在电力部门，所有技术在与传统方案比较时都会产生累计成本除了低煤价的原因，还因为分析假设用某些可再生能源替换现有的煤电厂。填埋气和生物质发电，比如使用农业秸秆的 CHP 厂，是最具竞争力的可再生能源技术。电站级光伏、陆上风电和地热位居第二，其累计成本接近 6 美元/PJ 的总平均替代成本。屋顶式光伏发电的累计替代成本约为 17 美元/GJ。但需要注意的是，对比的对象是所有发电技术的电价批发成本，而不是零售价格。替代所有技术成本最高的方案，是海上风电以及可以替代现有煤电厂的风电场。

工业部门的结果类似，也是由于煤炭储量丰富、价格低廉，且无法内化健康或环境成本。最具成本竞争性的方案，是通过使用农业秸秆的生物质燃烧 CHP 工厂，提供工业过程用热。竞争力排在其后的是两项新技术，目前尚未得到广泛应用：替代电子制冷的太阳能制冷，以及最高温度可达 150 °C 的热泵工业过程供热。这两种技术的竞争力都很高，累计成本只有 3 美元/GJ。太阳能低温供热是潜力最大的应用，但对于工业部门而言，这项应用的替代成本也是最高（11 美元/GJ）。

在建筑部门中，可再生能源技术可以用来替代化学燃料和生物质传统应用。由于石油产品价格较高，因此以现代生物质空间供热方式替代燃料油加热，是最具有竞争力的应用。如果用热泵替代天然气，也同样可以节约成本，但是其潜力要比生物质低。如果使用的是现代固体生物质燃料，那么与传统生物质应用相比，现代可再生能源烹饪方式可以节约成本。以沼气加热或烹饪替代传统生物质方式，累计成本很小。太阳能供热在工业部门中的潜力最大，目前这项应用在中国已经非常普及。REmap 的分析显示，在这方面还可以有更多的应用潜力，而且累计成本较低。需要注意的是，中国的很多城市都有大面积的集中供热网络。REmap 显示出，废物转换成能源的系统可以提供大量的额外潜力，但累计成本要高于平均值。

交通部门有多项最具竞争力的技术方案。这是因为交通部门所使用的石油成本比较高，随全球价格波动，而相比之下，其他部门使用的煤炭成本偏低。用电的技术会最节省成本，因为中国电价较低。发展客运轨道交通替代空运，或以城市轻轨或地铁替代乘用车，会实现大幅度成本节约。但是，由于中国目前正在为这些技术建设大量的基础设施，因此，参考情景之上的额外潜力比较有限。个人电动车，包括不同形式的电动汽车和电动 2-3 轮车，也具有成本竞争力。但是，在参考情景中已经假设这些技术获得极大发展，因此 REmap 2030 中可以判断的额外潜力也比较有限。与化石燃料相比，电动车技术具有很高的效率，因此，尽管消费掉的能源比较小，但性能却比比单位里程的汽油或柴油更好（比如在载客里程方面）。在 REmap 2030 的假设中，液体生物燃料没有高于参考情景的数值。

REmap 方案优势

增加可再生能源的利用不仅具有经济优势，也具有很高的环境效益。到 2030 年，REmap 方案预计会减少 17 亿吨 (Gt) CO₂（表 19）。减少幅度最大的部门将是建筑部门，随后是电力部门。如果

所有 REmap 方案全面部署，那么与 2030 参考情景相比，中国能源燃烧环节可以再减少 17% 的 CO₂ 排放。

如果截止 2030 年，中国实施了为实现全球可再生能源份额翻倍的所有 REmap 方案，那么中国的减排结果将会对全球带来 21% 的 CO₂ 减排成效（截止 2030 年，总计减排 1.7 Gt CO₂）。在 26 个 REmap 国家中，中国在绝对减排量方面具有最大的潜力。如果所有 REmap 方案都得以实施，那么在减排潜力方面排在中国其后的，是美国和印度。根据 REmap 2030 的分析，这三个国家的减排潜力之和，在全球总减排潜力中占比一半。要实现全球能源系统转型，减缓气候变化影响，这些国家的可再生能源利用和减排行动至关重要。

截止 2030 年，如果所有 REmap 方案均得以实施，那么中国、美国和印度的减排量将占全球减排量的一半

这些减排估算假设的基础是：所有可再生能源均为碳中和资源。尽管这个假设适用于大部分可再生能源，但生物质除外。因为在生物质能源获取、加工和燃烧的过程中会存在 GHG 排放，尤其是在考虑到土地利用变化方面的排放时，更是如此。此外，排放估值还存在另外一个不确定性：中国能源统计的差异性，主要集中在于洗煤过程中、制造部门和工业部门的煤炭应用。2010 年，中国 CO₂ 总排放的误差范围大约为 1.4 Gt，几乎相当于 REmap 2030 中的总减排量（Guan 等人，2014）。如果能有更精确的数据，总能源用量估算和 CO₂ 减排的数值也会更准确。

如果在 2030 年，所有 REmap 方案都能得以实施，中国建筑和电力部门的总排放可以分别减少 37% 和 20%

增加可再生能源的利用，还具有多种社会经济效益。IRENA 的估算显示，2013 年，全世界可再生能源行业的就业人数达到了 650 万人，其中 260 万在中国 (IRENA, 2014d)。截至 2010 年，中国在光伏部门中的就业人数为 12 万人，为全世界最多。2006-2010 年，太阳热能利用部门的就业人数约为 250 000 至 600 000 人。生物质部门也提供了 266 000 个直接岗位。

REmap 2030 预计截至 2030 年，可再生能源行业全世界就业人数将达到 1600 万人（累计工作年）。这就意味着全球可再生能源部门可以再提供 90 万个工作岗位。(IRENA, 2014a)。由于在 2030 年的全球可再生能源估值中，中国将占有很大的比例，因此，也会在很大程度上受益于这些新增职位。

从政府的角度来看，所提出的中国 REmap 方案将会实现 550-600 亿美元的新增系统成本（表 20）。从政府角度计算的系统成本，不包括能源税和补贴，使用了 10% 的资本投资标准折扣率。系统边际成本不包括减少空气污染（健康）和 CO₂ 排放的相关利益。如果这些外因包含在内，根据这些因素的估价方式，那么截止 2030 年，全部采用 REmap 方案估计将会每年减少 780-1620 亿健康成本。这些未涵盖在内的外部成本，来自减少了因空气污染而产生的疾病，源头包括化石燃料电厂空气污染，生物质传统应

表 19：中国 CO₂ 减排发展，2010-2030

	2010 (Mt/年)	参考情景 2030 (Mt/年)	REmap 2030 (Mt/年)	总减排 (Mt/年)
电力和集中供热	3 595	5 762	4 544	1 218
工业	2 327	2 746	2 528	217
交通运输	529	1 199	1 123	76
建筑	467	478	298	181
能源服务化石燃料燃烧总排放	6 917	10 185	8 493	1 692

用、其他固态燃料和交通部门使用燃料所导致的室内外空气污染。

如果考虑到 1.7 Gt 的 CO₂ 减排所带来的益处，那么截止 2030 年，每年还会节省额外的 320-1260 亿美元（所计算的碳价为 20-80 美元/吨 CO₂）。这些外因可能会将能源系统的成本减少 550 亿至 2280 亿美元。因此，考虑到这些外因后所实现的大幅度成本节约，可能就会提高可再生能源的比例（根据外因估值而定）。

比如，如今在中国，急性死亡率（PM 和二氧化硫）对中国 GDP 的影响大约为总 GDP 的 0.65% 至 3.81% 之间，每年提前死亡人数为 62 000-125 000 人。仅就细颗粒物相关的慢性病死亡人数来看，每年导致提前死亡的人数就达到了 561 000 人，对 GDP 带来的健康损失达到了 4.36% (Ho 和 Nielsen, 2007)。如果煤炭应用量减少总计 16 EJ (或减少 18%)，则节约的总量就等于 GDP 的 0.78%。假设中国的总 GDP 在 2030 年翻番到 25 万亿美元，这就意味着将每年总节约金额最高为 2000 亿美元。

表 20 显示，REmap 方案的总投资需求约为每年 540 亿美元。这个表格也显示出，若实现 REmap

方案技术以正替代成本与化石燃料技术竞争，除了投资以外，每年还需要 600 亿美元的补贴。需要补贴的技术应用主要集中在终端使用部门，而非发电部门。这些终端使用部门包括建筑和工业加热（太阳能热）和电动汽车等。

这一成本很可能会以增加能源成本或税收的形式，转嫁给消费者。需要注意的是，到了 2030 年，很多可再生能源技术可能会因能源成本下降，而不再需要补贴。因此，更具优势的能源价格可能会成为系统边际成本，最终让能源价格只是小幅上涨。

7.5 REmap 2030 方案讨论

技术发展挑战

如果来实现 REmap 2030 中预计的可再生能源的潜力，就需要大力发展 REmap 方案中提出的四种技术。陆上风电需要增加 24 GW_e/年的发电量，光伏 17 GW_e/年 (40% 为屋顶太阳能设备)，太阳热 48 GW_{th}/年 (40% 为工业过程加热和其他商业应用)。由于目前海上风电的实施范围有限，因此，这项技术也要大幅增加到 3 GW_e/年的水平。作为发电和终端使用部门能源的来源之一，生物质也需要获得长足发展，应该根据 REmap 2030 完全替换其传统应用方式。

表 20: REmap 选项财务指标，政府角度

	(10 亿美元/年)
能源系统成本变化 (2030)	
累计系统成本	55 -60
人口健康外因降低	从 -78 至 -162
CO ₂ 外因降低	从 -32 至 -126
净成本效益	从 -55 至 -228
2030 年累计补贴需求	60
投资 (当前至 2030 均值)	
累计投资需求	40
总投资需求 (REmap 方案)	54
可再生能源投资总需求 (REmap 方案和参考情景)	145

另外一个重要问题是提高电网输电能力，但我们预测的发展速度，要略高于当前的趋势。这方面需要大量的投资。其他一些研究的测算显示，电力系统为了建设新增基础设施（输电、波动性可再生能源电力解决措施），在电厂投资总成本上还需要额外的 30% 到 50% 的投入。电网的其他限制（比如制度障碍，见第八章）也需要在短期内得到解决，此外，还需要避免目前另外一个困境：已建成的装机容量无法入网地问题。

此外，需要建设省间输电基础设施，实现电力从北方、东北、西北地区输送到中部和沿海需求地区。需要强化区域内联网，发展电力交易市场。某些光伏和风电项目，可以将地点选在资源量较低的地区，以缓解建设长距离输电线的挑战。鉴于西南部地区的水资源分布和目前的发展状况，这里也会成为未来的发展重点。但长距离输电线同样是这里的规划难点。在光伏方面，需要改善设备质量，确保项目可以长期持续。

海上风电的主要挑战，是增加与大陆的电网连接。中国目前在这一领域的经验有限，其中最主要的一个问题就是：如何将距离海岸线较远的风电场与电网连接。因此，这一领域的挑战就是，在 2020 年开发出解决方案，推动海上风电的发展，比如发展离岸变电站、海底电缆和改善齿轮箱可靠性等。与此同时，还需发展海上风电相关的设备产量，以满足不断增加的需求 (Carbontrust, 2014)。此外，中国还需要重点开发出相应的技术，提高设备对海水腐蚀作用以及台风的抵御能力。

除了这些技术挑战，成本高可能也会成为太阳能和风能发电的一大问题，因为随着容量增加，某些地区的空间限制可能会带来障碍。因此，有些地区虽然现在具有经济竞争力，但是随着潜力逐渐实现，这些地区的长期成本效益可能会下降。

随着太阳能和风力发电容量不断增加，一些最具优势的地区可能会因空间限制，而出现成本效益下降的现象

太阳能热利用在中国的建筑部门应用已经非常普遍，预计在 2030 年前，应用范围将增长四倍，从 2.58 亿 m² 增加到 9 亿 m²。这个目标之大，本身就是一个很大的挑战。中国在这方面的工作主要将是：在工业部门部和商业部门部署 6 亿 m² 太阳热能设备（4.50 亿 m² 工业和 1.5 亿 m² 商业），但这两个部门目前的装机容量几乎为零。假设每个太阳热能设施的装机容量为 10 兆瓦热能 (MW_{th})，这就意味着中国必须在 30,000 个制造业工厂中采用这项技术。

在能源需求和加工供热温度水平方面，中国的制造业有着多样化的需求。尽管工业部门中大多行业都需要中高温供热，比如水泥、化工和钢铁，但目前很多食品加工企业和纺织厂仍然需要低温供热。由于中国拥有高成本竞争力的太阳能热利用设备，辅以恰当的政策，为 2020 年和 2030 年制定出目标，那么上述部门将会从太阳热能中受益。

预计生物质能源在所有部门中都具有潜力。但在建筑和工业部门会出现特殊的挑战。在建筑部门，生物质传统应用数量减少，被现代化石能源所取代，比如液化石油气 (LPG)。对于这种燃料来源的变化，政府需要进行引导，将其引向现代可再生能源，包括现代形式的生物质。这就需要提供物美价廉、性能可靠的现代厨灶。历史经验显示，这种设备不见得会被广泛接收和使用。因此，这方面的挑战更多来自政策和公众意识方面，而不是技术障碍。

由于中国着重于非食品类原料的液体生物燃料，就需要先进的生物燃料生产厂。目前的产能很有限，这就意味着需要大幅度投资，来满足潜在的需求。这些工厂当前的资本成本，要高于传统液体生物燃料工厂。为了满足参考情景中极高的目标需求，必须在 2020 年完成这方面的部署。满足国内的所有需求，需要大约 200 家先进生物燃料工厂，每家工厂产能为 2.3 亿升乙醇/年。

中国的生物柴油行业需要从地沟油中获得原料供应。Van Sambeek 等人 (2013) 的研究显示, 每年, 中国有 2-3 亿吨地沟油会以食用油的形式流回市场。

正如太阳热能一样, 生物质也不是工业加工供热的理想燃料选择。但是, 由于水泥在中国是最大的制造行业之一, 水泥窑在总需求中占比最高可达 20%, 这一行业的供热可以来自生物质、废物和其他不需要任何工艺改进的燃料。此外, 以生物质为燃料的 CHP, 可以替代任何一种化石燃料供热系统, 可以考虑在新的生产工厂中, 进行相关的投资。

对于很多可再生至能源技术而言, 水供应会是一个主要的问题。尤其是生物质能源和 CSP。这个问题如今也存在于煤炭供应链之中。在不同的可再生电力方案中, CSP 是需水量最大的方案之一。而那些可以开发 CSP 项目的地区 (青海和甘肃), 同时也是气候干旱的地带。发展生物质能时, 水也是一个重要考量。尽管中国的液体生物燃料市场, 发展程度不及美国或印度, 但总量中有近四分之三来自依赖水的传统原料。比如, 以高粱生产乙醇就是一种水密集工艺, 随后是玉米乙醇和木薯乙醇。

要发挥出生物质的所有潜力, 就需要能够提供足够的生物能源。在一些生物质供应量大的地区, 需求可以消化总量中最多三分之二的生物质。但是如果供应不足, 需求可能就会超过中国当地可供应的生物质。可以通过人工种植的能源作物来满足一部分需求, 因此提高产量和使用边际土地就成为重要工作。

如果中国希望实现其生物质能源潜力, 就必须关注能源-土地-水之间的关系, 对重要的方法进行优化。中国还需要从现在开始, 发展生物质收集和物流体系, 提高能力, 将分散状态的农业和林业生物质能提供给终端用户。此外, 将原料转化成更高能量密度的生物质及其相关技术 (比如干燥), 重要性也会日益显著。还有一种方法, 可

以减少对生物能源越来越高的依赖性, 那就是通过提高能源效率, 减少总需求量。

克服这些发展难题, 就需要制定相关目标, 制定财政机制, 尤其是要努力解决输电方面的问题。中国目前正全力以赴应对这些问题。但是这种努力需要长期保持下去, 一直到 2030 年乃至更长远。

关于电气化

中国 REmap 2030 所提出的方案中, 生物质资源占比接近 30%。但是, 如何实现经济而持续的生物质供应, 仍然是一个重要的问题。同时采用备选或补充性质的可再生能源资源, 有助于降低对生物质的潜在依赖性。

电气化为供热和交通部门提供了减少燃料用量的可能性。为了进一步探讨和理清可再生能源发电潜力, 我们特别为电气化一项提出了另外一组 REmap 方案: REmap-E, 制定了一个比 REmap 2030 更加的电气化方案。其本质上是使用可再生能源电力, 替换大部分生物质和部分化石燃料。在 REmap-E 中, 我们提出采取了三种技术战略, 来减少对生物质的依赖, 提高电力在终端使用部门能源使用中的比例。在建筑部门, 热泵为建筑提供了所需要的热能, 同时也为工业部门供热。以此替代生物质 (但仅限于低温供热)。在交通部门, 可以通过形式转换 (公共轨道电车、电动公交车和火车), 来替换液体生物燃料使用。终端使用部门所增加的那部分电力需求, 可以由额外光伏和风能予以补充。

通过一个更积极的电气化方案 (REmap-E), 可以提高可再生能源在发电部门和终端消费总量中的比例。

工业部门供热方面的可选方案有限, 特别是制造部门中的高温工艺供热, 这种供热只能由

生物质（或化石燃料）提供。但中低温的应用可以采用热泵形式。如果制造业的发热形式从生物质燃料转向热泵，其电力需求将增加大约 470 TWh/年。

REmap 2030 为交通部门所判断的额外生物燃料消费，源自以电动公共交通替代乘用车的形式转换。更好地利用现在的公共交通线路，可以解决 20% 的客流，剩余的 80% 可以通过新电动交通基础设施得以实现。这些电动交通系统中，还需要总计 38 TWh 的电力。

在电力部门，有很多其他方式来替代发电过程中使用的生物质。REmap-E 与 REmap 2030 相比，减少了 230 TWh 的生物质发电，与 2030 参考情景相比，减少量为 66 TWh。这一估值的假设为：所减少的发电量，可以通过增加光伏发电得以补充。终端使用部门因电气化增加的电力需求为 415 TWh，光伏满足其中的 50%，陆上风电满足 25%，海上风电满足 25%。

图 23 中，对各种 REmap 能源形式的额外用量进行了细分比较，还显示出可再生能源在不同能源方案中的占比，这些方案包括：REmap 2030、REmap-E 和 REmap-U，显示出如何在全球实现 30% 甚至是更高的可再生能源份额。请注意，如果用电气化技术替代生物质，那么可再生能源在 TFEC 中的比例，就会从 REmap 2030 中的 26%，增加到 REmap-E 中的 29%。

如果采用 REmap-E，那么从一次能源的角度来讲，中国 2030 年的生物质需求将为 6.8 EJ，而这个数值在 REmap 2030 中为 11.9 EJ。REmap-E 中的 2030 生物质需求，与现在的水平相差无几。如果与 REmap 2030 比较，那么当前水平仅占 2030 总生物质需求的一半。

从装机容量的角度来看，电气化对电力部门的影响巨大。光伏的总装机容量从 REmap 2030

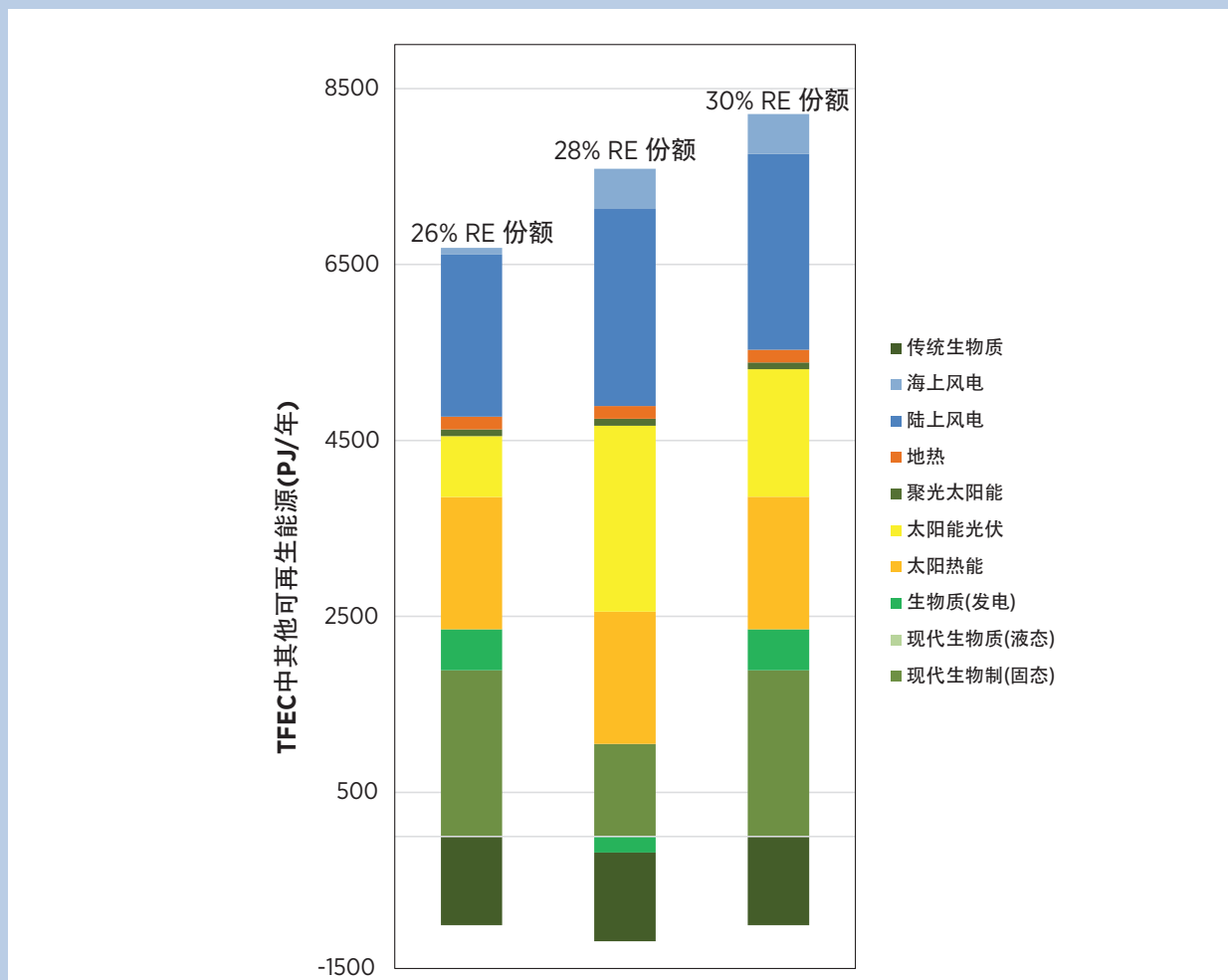
中仅有的 300 GW_e，增加到 REmap-E 中的 600 GW_e。对于风电而言（包括海上和陆地），需要增加的容量大约为 100 GW_e，REmap-E 中的数值约为 630 GW_e。生物质发电容量减少到 25 GW_e 或达到了 2010 水平的三分之二。在电力部门，可再生能源份额从 REmap 2030 中的 39% 增加到 REmap-E 的 43%，从而使得波动性可再生能源电力份额从 REmap 2030 中的 19%，增加到 REmap-E 中的 26%。表明如果采用 REmap-E，就需要采用比 REmap 2030 更大的努力，才能确保电力稳定。

另外一个重要发现就是，REmap-E 方案中的 2030 年 TFEC 数值为 83 EJ，而 REmap 2030 为 90 EJ。因此前者要比后者节省 8%。出现这一结果的主要原因是：从最终能量的角度来看，电力技术比燃烧能源系统的能源效率更高。因此，尽管 REmap-E 中的 REmap 方案 EJ 数量有小幅增加，但可再生能源在总量中的占比，却与 REmap 2030 相似。

为了实现 2030 全球可再生能源份额翻倍的目标，我们还通过 REmap-U 提供了另外一个战略（同样显示在图 23 中）。在这个方案中，采用了不同可再生能源技术的类别混合，假设所有国家无论现在的水平如何，在 2030 年均达到了可再生能源份额至少 36% 的目标。根据各国的参考情景发展状况，某些国家现在的份额比例可能非常低，需要大幅增加才能达到 30%，另外一些国家现在可能已经达到、甚至是超过了这个比例。

很多技术方案和战略若想实施，都必须确保所有国家在 2030 年至少实现了 30% 的份额标准。在 REmap-U 中，为所有国家提供的第一个战略，就是通过实施能源效率措施减少能源需求。由于各国的能源消费发展情况不同，当前的能源密集性水平分布也各有不同，因此减少能源需求的潜力也不同。我们假设中国可以实现 5% 的能源效率改善。

图 23: REmap 2030、REmap-E 和 REmap-U 的可再生能源技术方案, 2030



注: 所有方案均可减少生物质传统应用, REmap-E 可减少发电部门的生物质应用, 相关数据见图表中的负值数据。

第二项战略是: 如果各国在使用 REmap 方案和能源效率改进方法后, 可再生能源占比仍未达到 30%, 则需考虑提高电气化技术利用水平。中国就在此类国家之列, 如果只考虑提高能源效率, 那么其 REmap-U 方案只能达到略高于 28% 的比例。为中国选择的电气化技术即 REmap-E 中所示方案, 但不包括产业迁址, 这种方式将不予考虑。如图 23 所示, REmap-U 方案可以将中国可再生能源比例提高到 32%。

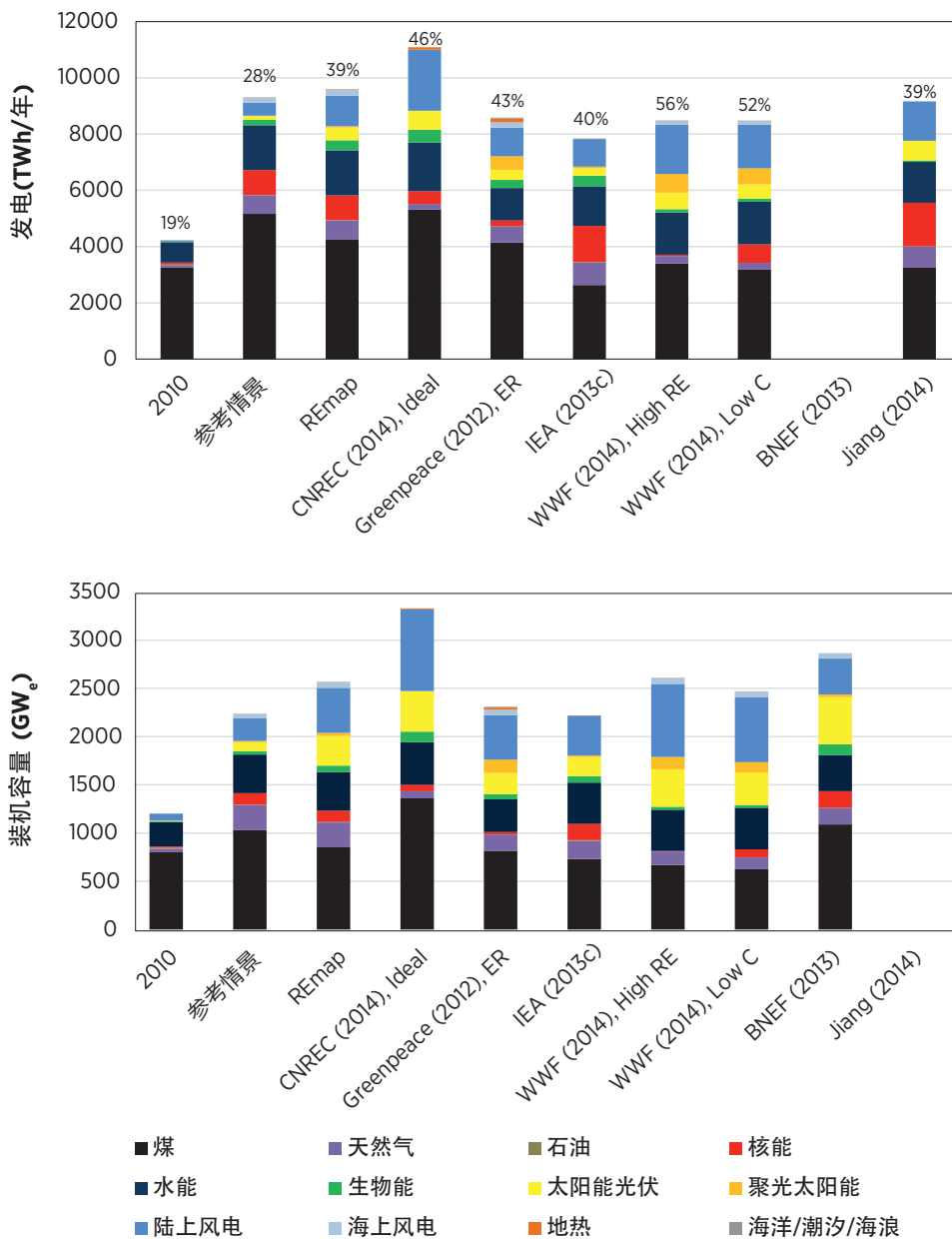
这两种方案都会出现成本增加的情况。这是部署生物质技术所产生替代成本之外的额外成本。在 REmap-E 中, 建筑部门除了替代成本之外增加的成本, 只有大约 1 美元/GJ。对于交通部门而言, 相关技术所产生的成本将增加到 10 美元/GJ。在工业行业, 使用热泵将会在替代成本上再增加大约 2 美元/GJ。对于 REmap-U 方案而言, 增加电气化力度也会带来相似的成本, 但通过假设的能源效率改进, 需要的可再生能源容量减少, 从而会实现成本节约。结论就是, REmap-U 对成本产生的影响要小于 REmap-E。

与其他研究的比较

图 24 中，将 REmap 2030 在电力部门的数据与众多其他情景研究相比较。我们从这些研究中选择了目标最高的可再生能源情景，然后与 REmap 2030 相比较。

IRENA 对 2030 总发电量的估值为 9 595 TWh/年，位于所有其他研究的估值范围（8 000 TWh/年至 11 000 TWh/年）的中间水平。REmap 估算可再生能源在发电部门中的比例为 5-15%，低于所有其他研究。部分原因是 REmap 2030 对煤炭发电量的估值较高，大约为 4 300 TWh/年。其他研究则为 2 600 TWh 至 3 400 TWh/年。

图 24：REmap 2030 与电力部门其他研究结论的比较，2030



REmap 2030 对水力发电的估值最高，大约为 1 600 TWh/年，而其他大部分研究的总装机容量估值只约为 400 GW_e。之所以出现这种较大的差异，是因为 REmap 2030 假设了 4000 小时的较高容量系数。

REmap 估计总风电发电量为 1 300 TWh/年，低于其他研究。在生物质和地热发电方面，REmap 2030 与其他研究的预测值相差并不悬殊。与其他研究相比，Greenpeace (2012) 预测的海上风电、地热和海洋技术发电量更高。

为了更好地预测中国能源未来发展，Mischke 和 Karlsson (2014) 对不同模式的工具进行了全面分析。这份研究分析了 10 个能源模型，最后得出的结论是，与 2010 年的水平相比，中国 2030 年的总能源需求增长幅度将为 50% 至 125% 之间。在本研究的参考情景中，终端能源消费总量增长幅度为 60%，介于这个范围的中间位置。

对中国 2030 年能源需求增长的预测结果有大幅度的差别，本研究参考情景中的预测值位于这个幅度的中间。

8 可再生能源转型的障碍和机遇

8.1 电力系统的障碍和机遇

传统燃料

鉴于中国对煤炭的依赖及其经济规模，中国的CO₂排放量位居所有国家的首位。中国每年新排放的CO₂，占全世界新排放量的70%。煤炭燃烧也在地方和区域范围内造成严重空气污染。2013年1月，中国出现了创纪录的污染问题，最终促使政府决定加大煤炭使用限制力度，特别是在东部人口密集区和工业区。中国政府已经意识到了这些环境问题，开始尝试多样化能源使用。

中国发电总装机容量的95%都建设于1990年之后，且会在2030年仍然保持运行。因此，在可再生能源转型的问题上，能源替换的投资并非首要问题，除非政府考虑采用一种成本很高的方式：提前关闭部分煤电厂。本研究在陆上风电环节曾经讨论过这个问题，但是在2010年至2030年，预计需求将持续上涨并翻番。这就等于未来仍需要1000GW_e的煤电容量。总体而言，中国计划发电容量已经超过500GW，其中70%为煤电(Platts, 2013)。

输电和电网基础设施

中国的能源资源分布严重不均。超过80%的能源资源潜力位于北部和西部，比如煤炭、石油、天然气、水能、风能和太阳能。陆上风能容量约80%集中在三北地区（华北、西北和东北）。三分之二的水电资源位于东南部。供求之间的空间距离带来了许多挑战。目前已规划了强大的输送能力，但尚未到位。此外，可再生能源和煤电使用的是同样的输电设施。

与能源分布格局形成对比的是，能源总需求中有70%位于中国中部和东部(Hammons, 2011)。可再生能源的最佳发电地区与主要需求地区之间，距离遥远，构成了一个主要的障碍，因为建设新的输电和配电设施需要大幅投资。

这种现象已经限制了可再生能源快速发展的步伐。风电的发电容量远远大于其并网的电力容量(DB, 2012; Zhang等人, 2014)。2012年，装机容量中有22%处于空转的状态，主要是因为在实际运行中，煤电拥有并网的优先权，而且输电网的容量有限。也是在这一年，中国有20%的风电场未能并网发电。这一现象由多方面因素造成的，包括：增容速度快，项目开发方和电网规划方之间缺乏协调，输电能力低。此外，区域配电网还存在着技术问题，不稳定的风电供应，可能会扰乱供电部门的正常运营¹⁹(Zhang等人, 2014)。

由于中国在各大区域间联网方面有诸多限制，因此在2009年，跨区电力交易的电量只占总发电量的4%。这一现象的大部分原因，是因为煤电厂仍然具有优先调度权(IEA, 2011b; Davidson, 2013b)。该问题在辽宁、宁夏、云南和新疆产生的影响可能较小，但在吉林、内蒙古、甘肃、黑龙江和河北，容量系数因此而减少了1-3个百分点。中国风电的有效容量系数为22-23%，而美国为31-32%（2013年数据）。尽管这些限制因素开始有所改善，但中国在2012年的弃风率为13%-25%。2014年1月至2014年6月，全国弃风率为8.5%。根据中国的可再生能源政策，如果出现弃风，风电厂所有方应该得到补偿，但在实际运营过程中，相关方并未提供经济补偿。

¹⁹ 在每年的风电市场统计中采用了各种不同的会计系统，对风电厂联网状态得出了不同的结论。因此会在文献中看到千差万别的统计数值。

电网是风电发展的重要基础，这个行业的走向与电网政策的未来发展密切相关。目前，由于联网问题、缺乏分配优先性、电网容量低等原因导致的高弃风率，给行业发展带来了不确定性和经济损失。2013年，风电发电量有所增加，可能与国家采取措施降低弃风率有关。除了弃风率，中国风电系统目前面临的第二大挑战，就是电网连接的问题。但是中国在这方面已经取得了长足的进步，随着风电厂和电网的不断发展，未上网电力的比例有所下降。

在光伏发电方面，很多发电厂在2014年负荷缩减率最高达30%，这种现象在光伏发电容量高的省份尤其突出。在电站级太阳能电厂中，其总容量的70-80%左右都面临着一个严重的问题：电网负荷缩减限制（尤其是在北部和西北部地区）。

尽管风电产业情况有所改善，但输电问题仍然受到众多政策障碍的限制。其中包括对AC或是DC线路工程和经济效益的争论，问题包括各自为政的输电管理（需要集中化分配和输电），输电价格非市场化，且处于半透明状态（Davidson, 2013b）。

中国有三大电网公司，分别为南方电网SGCC，国家电网公司（CSGC）和蒙西电网。这三家公司彼此独立，自负盈亏。这种状态无法激励公司间进行合作。此外，目前的电力交易架构也很落后。如果不改变当前的系统状况，仅凭借扩大电网输电能力，可能并不会真正解决问题。现货市场电力交易量很小（2009年仅为总发电量的14%）；此外，区域间和省际电力交易均为电量和电价的多年份合约（IEA, 2011b）。

太阳能光伏

截止2013年末，中国的太阳能发电装机容量为21 GW_e，同年出台了分布式光伏发电FIT价格政策。中国近几年对光伏发电行业的部署有所变化。2013年前，重点发展大型光伏设施，而目前关注点转移到了分布式光伏应用方面。NEA最近批准了几个分布式工业/商业光伏示范项目，总容量为1.8 GW_e，其中在2014年上半年上马的项目超过3 GW_e。2014年6月末的累计分布式PV发电装机容量达到了4 GW_e（CREIA, 2014b）。与2013年末的800 MW_e装机容量相比，这一增幅巨大。但是，目前所采用的光伏租赁模式存在着很多问题，主要由于合同期内的资产所有权不明确。这种不明确可能会让开发商面临这样的可能性：如果企业所有者更换，可能就会存在合同不履行的情况。此外，尽管优惠电价和补贴应该由开发商和屋顶设施所有方共享，但是开发商可能很难如合同规定的那样，及时获得其应得的部分，甚至可能难获分文。

还有很多其他的因素也在拖项目执行的后腿。比如，在目前的政策下，FIT价格带来的经济效益并不具有吸引力。现行政策倾向于100%自发自用模式，而不是将自产电力出售给电网。此外，目前的政策也不允许多点电网连接，居民电价远低于工业和商业电价。电力负荷稳定性较差，而且如上所说，没有一个标准化的屋顶设备租赁协议，所有权不明确，屋顶结构的稳定性较差，这些问题让围绕居民开展的项目吸引力较低。由于存在这些风险，分布式光伏投资者在向银行申请贷款时，银行的态度也不够积极。设备质量（影响使用寿命、投资回报等因素）和质量标准也是主要问题。

文本框 6：内蒙古案例研究：联网需求

2010年，内蒙古的发电装机容量为34 GW_e。相比之下，当地需求仅为18 GW_e。在剩余的16 GW_e电力中只有4 GW_e可以并入北方的国有电网中。这就意味着过剩容量达到了12 GW_e。随着更多的风电场罗成，这个问题也会日益凸显。在十二五规划中，内蒙古希望电网实现以下扩容：七根600 kV AC线路，一根660 kV DC线路，一根800 kV 特高压直流电（UHVDC）线路，可以与水电、热电和风电并网，向其他省市传输30 GW_e容量（Lu, 2010）。

为了解决这些问题，中国有关部门在 2014 年 9 月出台了大量政策修订，确保实现 8 GW_e 的分布式太阳能发电的装机容量目标。

推出针对小于 2.5 MW_e 装机容量光伏发电用户的标准化电网接入管理方法，可以确保私人投资者在设备竣工一个月后，接入配电网并获得优先调度权。与标准化建筑管理制度相结合，可以帮助实现 2020 分布式光伏发电目标。公共建筑可能会获得许可，向投资者出租屋顶，令双方受益。

海上风电

尽管目前中国的海上风电成本高于陆上风电，但这项技术具有极高的战略意义。海上风电设施具有很大的成本降低空间。中国拥有较长的海岸线，大部分超大城市的位置都更接近海岸线，海上风电设备与城市和工业区之间的距离较短，无需修建过长的输电线路。但是，目前的海上风电目标较低，如果能制定一个刺激建设速度的中期计划，将有助于促进该行业的发展。

生物能源

生物能发电是一个成熟的市场，但目前的原料收集技术和不稳定的原料价格，是其发展所面临的主要问题。农业废弃物具有很大的潜力，但中国的农业生产以小规模为主，位置也比较分散。目前尚未建立一个收集原料、向终端用户提供所需数量原料的供应链。比如，尽管秸秆的数量很大，但收获期短（6 个星期），意味着需要大规模的储存设施，同样还需要建立分配网络，消化大部分资源。

因此，生物质发电的发展潜力一般。中国目前具备垃圾发电的技术，但面临着垃圾处理服务价格、能源回收利益分配方面的问题。环境影响也是限制垃圾发电未来应用的一个问题。

上网电价补贴

中国采用 FiT 电价政策支持可再生能源的发展。总体来看，这方面的发展一直都比较顺利，但向发电厂提供的补贴却一直在拖延。FiT 定价系统的总成本却在快速上涨，中国政府的目标是，逐渐减少补贴的数量，最终在 2020 年，对新增发电项目全面停止 FiT 政策。为了达到这个目标，就需要一个比较和缓的转变过程，充分确保可再生能源行业未来的发展。在 FiT 政策逐渐淡出的同时，目前由 NDRC 为热电厂设定保证价格的实践也应该同时逐步取消，确保建立一个平等的竞争平台。

需要改变的不只是 FiT 制度，电网管理措施也应该改变，因为电网是可再生能源未来发展的重要基础。如果顺利，中国可再生能源行业在 2025 年后将更多地需要政策支持，而非经济支持。优先调度和强制电网连接将是两个重要的政策工具，因为预计在 2020 至 2025 年，可再生能源发电将会与传统发电进行真正的竞争。为了降低投资者的风险，应该继续向可再生能源发电相关方提供最低程度的补贴，具体金额根据上一年的年均发电成本而定。

可再生能源设备制造

中国拥有很大的风电机组和光伏设备产能。中国不断加大的光伏产能，大幅降低了光伏投资成本。全世界三分之二的太阳能热水器和 90% 的沼气设备也产于中国。多因素相结合推动了该行业的发展，包括市场规模、工业产能、通过政策手段划定可再生能源应用区域。

但在未来的几十年中，中国在深入发展可再生能源行业时可能会面临着几个问题，尽管这些问题目前尚未出现。问题包括：风电行业出口量增加，而本土光伏市场进口量增加。在制定光伏和风电设备的产能（GW/年）目标时，需要考虑到国内市场的中期和长期目标。因此，这就需要对需求进行重新计算。在这方面，对全球市场规模总体发展的假设就会有所帮助。明确的长期发展，也有助于可再生能源政策实现成本稳定性。

改善产品质量也是至关重要的一环，其诸多好处自然显而易见。更好的产品会延长电厂的使用寿命，从而确保实现更高的投资回报。在这样的前提下，投资方就会对项目建立更大的信心。此外，还需要进行持久的创新和研发工作，提高发电厂生产效率。

8.2 电力市场改革

自 2002 年起，电力市场改革就被提上了中国政府的议事日程，目前已经开展了几个地方试点工作。但从全国的范围来看，进展速度有限。对电力市场的批发和零售环节进行改革，很大程度上是对电力部门的结构调整，实现电网服务价格更透明，电网建设和系统运营的角色分工更明晰。

从本质而言，电力部门可以分成三个独立的分支：发电、输电和配电。如果电网接入、电网服务和调度、过网费/管理均实现透明，就会有私立和公立投资者进入电力市场。无论是私有性质或国有性质的电力部门，都可能将其分成两类：输电网运营商 (TSO) 和配电网运营商 (DSO)。在过去的 20 多年中，欧洲开放的电力部门已经证明，私人投资者也可以参与国有电网领域。

每个实体必须保持独立，通过法律框架保障公平竞争，不歧视第三方。对于可再生能源部门而言，在这方面如果没有得到发展，就会带来问题。

首先，电力部门改革迟迟未能进行，会对可再生能源的整合带来严重的影响。国有发电企业的电价由国家制定，运营时间根据煤电厂的情况来制定。煤电厂决定了大部分的发电容量。这样的方式难以保证电力系统的效率。而可再生能源电力的管理途径包括：国有水电项目扩容，太阳能、风能和生物能发电与 Fit 相结合的标准组合。因此，这些技术的发展很难与地方电网发展规划相协调。

8.3 终端使用部门的障碍和机遇

2030 年，电力消费将在中国最终能源消费总量中仅占 30%。而 70% 将为燃料使用，主要用于终端部门供热和交通运输。要实现这个目标，终端使用部门就必须努力克服相关的障碍，从而加快可再生能源的使用步伐。

供热需求可以分成四个部分。建筑供热主要涉及烹饪、空间供热和热水。制造业在生产过程中需要加工供热，形式包括蒸汽、热水或直接使用。

目前，大部分政策关注的都是如何提高能效，但是一些可再生能源技术已经取得了很大的成功。目前中国正在实施一个覆盖农村和城市消费者的扶持项目，旨在鼓励使用太阳能热水器。但是，这部分的容量在产业部门中占比微乎其微。生物质在工业中的占比也非常微弱，但在非金属矿物生产过程中会用到木炭或是生物质固体燃料，在纸浆和造纸业中会使用黑液。目前还没有发展该领域可再生能源的政策。

集中供热在中国北方地区是一种重要的供热形式。但是热量大部分都来自燃煤的 CHP。在这些地区可以选择以生物质或其他非生物质可再生能源供热。十二五规划中制定的太阳能供热和地热相关的目标，可能会推动集中供热部门的发展。截止目前为止，中国推出了大量太阳能集中供热试点项目。

中国的生物质项目加快了沼气池的快速推广，目前已经有近 1 亿人受益于这样的设备。从不断改变的社会经济环境来看（比如农村人口不断减少），中国的政策需要调整，保证沼气应用的持久发展。

生物质传统应用是住宅部门所面临的众多挑战之一。最重要的任务，就是获得生物质传统应用更准确的信息，从而衡量目前的需求情况。关于农村地区到底有多少人采用生物质作为烹饪燃料，目前的统计数据差别很大。中国政府在中国各地

投放了 1.8 亿个使用生物质的改良厨灶，但这些厨灶目前的使用状态不明。没有更准确地数据，就难以制定目标和政策。第二项重要工作，就是为物美价廉的高效率厨灶铺开市场，确保方便用户购买。

为传统生物质应用制定恰当的政策，首要任务就是获得该部门的更准确数据，对目前的需求情况进行衡量。

交通部门的政策重点是：制定燃油经济性标准、贴标、改善燃油质量、汽车和燃油补贴和税收，改善效率。目前有专门针对电动汽车的补贴，金额根据汽车类型和电池容量而定。在生物燃料方面，中国已经制定了 2020 年的目标。政府鼓励利用荒地和非食品原料生产生物燃料。但是，目前生物乙醇的强制性政策和市场扶持只覆盖了九个省，政府未对具体的某个生物柴油项目予以支持和/或激励。

9 推动可再生能源发展的建议

为了应对不断加剧的环境挑战，同时也为了强化能源供应安全，中国的可再生能源的发展和利用具有重要的地位。此外，中国若想实现在就业、新经济和贸易平衡方面的政策目标，提高可再生能源在总能源应用中的比例也起到了至关重要的作用。21 世纪初，中国决定通过能源政策和产业政策措施，推动可再生能源的发展。通过这些努力，中国如今已成为可再生能源领域的全球领导者。

本研究显示，在这样的发展态势下，中国还有更大的发展潜力，将可再生能源在中国总能源需求中的比例提高到 26%。与此同时，为了实现这样的潜力，中国还要解决很多的问题和障碍。通过本研究所进行的讨论，我们为中国提供了以下高层政策建议，以帮助中国在 2010 年至 2030 年间加快现代可再生能源的发展。我们还对转型时期的要求加以说明。

可再生能源政策：

- 制定一个综合性的国家能源计划，包括电力、热能和燃气输送和分配所必要的基础设施。
- 运用税收、限额和/或 CO₂ 交易系统的手段，改善 CO₂ 排放和燃煤导致的其他空气污染。
- 评估不同技术对社会经济、能源安全、卫生、土地和水资源所带来的影响。
- 为制造、建筑和交通部门制定可再生能源目标。

电力市场构建：

- 建立国家电力市场，鼓励运营灵活性，引进新投资者。
- 发展电网，更好地整合可再生能源，加强电力交易，解决电力不稳定问题。

技术相关政策：

- 加强政府对创新和支持，降低可再生能源的成本。
- 支持下一代可再生能源技术的发展。
- 改善对生物质技术的了解和信息收集，建设一个运转良好的生物质原料市场。

除了这些高层政策建议，本章其他内容将针对以下五个领域的政策行动提供更详细的建议。这些建议以中国 REmap 2030 的分析结果为基础。在编制政策行动建议时，其编制基础为 IRENA 的中国分析以及征求中国专家的建议。

规划转型技术路线：

- 技术方案多样化，将目前正在缓慢发展的技术方案纳入其中，包括海上风电、CSP、大型沼气应用和垃圾发电。
- 短期目标为降低成本，改革电力系统市场；长期目标则是将高比例的可再生能源电力整合到电力系统之中。
- 将发展电网列为可再生能源发展战略的内容之一。

- 与邻国合作，通过电网整合进行可再生电力交易（比如，与蒙古国进行风电和太阳能电力交易，与西伯利亚和东南亚进行水电交易）。
- 继续重视终端使用部门的可再生能源利用，扩大目标制定的范围。

建设并发展商业环境：

- 允许通过价格反映出实际的边际成本（即现货市场，日前/时前市场）
- 在技术达到成熟水平前，坚持以补贴手段予以扶持，扶持目标是降低成本和可再生能源的高效使用。
- 修订可再生电力补贴政策，通过补贴施工方和运营方提高效率。确保发电厂及时获得补贴，避免金额发放拖延问题。

确保可再生能源电力顺畅上网：

- 以经济刺激鼓励热电厂和电网的灵活运营
- 为抽水蓄能交易制定解决方案，是电力部门市场改革的一部分。
- 强化权力下放，特别是屋顶式光伏发电领域，包括租赁模式和净电量计量及智能电网政策。
- 加强规划和组织方式，稳定生物质原料供应，改善原料物流状况。
- 改进规划方式，有效利用秸秆废弃物作为一种能源来源。

数据创建和管理：

- 在可再生能源和相关基础设施部署方面，支持人才和机构能力构建。
- 改善数据收集能力，提高生物质（现代和传统）统计数据质量。
- 强化省级数据的获取能力，提高网络获取电力和热力负荷及产量数据的能力。

释放创新力：

- 评估国外的最佳实践技术和政策，判断是否适合中国国情。
- 考虑生物质混燃、煤电厂中使用垃圾燃料以及水泥窑内混燃。
- 技术改造小型水电站大坝，提高发电效率
- 探索以木质纤维素为原料生产高级生物燃料的方法，为能源密集型行业提供创新解决方案，提高可再生能源在工业能源应用中的比例。
- 利用太阳能为工业加工供热，在商业建筑中推广太阳能吸收式冷却技术。
- 强化电动车和模式转换工作，同时不断提高可再生能源在发电领域中的比例。
- 加强城市新建筑中的可再生能源使用情况。

参考资料

3TIER (2009), “Inc. Global Wind Dataset: Annual Mean Validation”, 2009 年 10 月, 在 IRENA 的 Global Atlas 平台中提交。

AEA Technology Environment (2005), Damages per Tonne Emissions of PM_{2.5}, NH₃, SO₂, NO_x and VOCs from Each EU25 Member State (Excluding Cyprus) and Surrounding Seas, AEA Technology Environment, Didcot, www.doc88.com/p-476118345143.html.

AEC (Advanced Ethanol Council) (2013), Cellulosic Biofuels, Industry Progress Report 2012-2013, AEC, http://ethanolrfa.3cdn.net/d9d44cd750f32071c6_h2m6vaik3.pdf.

AEE-Intec (Institute for Sustainable Technologies) (2007-2014), “Solar Heat Worldwide 2007-2014”, Annual Reports, AEE-Intec, Gleisdorf, www.aee-intec.at/index.php?seitenId=40&lang=en.

Al-Jazeera (2014), “Chinese, Russian Presidents vow to enhance energy cooperation, sign agreement about gas supplies, ahead of APEC summit”, 2014 年 11 月 9 日, Al-Jazeera, <http://www.aljazeera.info/News/2014/November/9%20n/Chinese,%20Russian%20presidents%20Vow%20to%20Enhance%20Energy%20Cooperation,%20Sign%20Agreement%20About%20Gas%20Supplies,%20Ahead%20of%20APEC%20Summit,%20November%209,%202014.htm>

Baron, R. 等人 (2012), Policy Options for Low-Carbon Power Generation in China: Designing an emissions trading system for China's electricity sector, OECD/IEA, Paris, http://www.iea.org/publications/insights/Insight_PolicyOptions_LowCarbon_China.pdf.

Batidzirai, B., Smeets, E.W.M. 和 Faaij, A.P.C. (2012), “Harmonising bioenergy resource potentials—Methodological lessons from review of state of the art bioenergy potential assessments”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 2012 年 10 月 16 日, pp. 6589-6630.

Bertani, R. (2010), “Geothermal power update in the world: 2005-2010 Update Report”, Proceedings World Geothermal Congress 2010, 2010 年 4 月 25-29 日, Bali, <http://geotermia.org.mx/geotermia/pdf/WorldUpdate2010-Ruggero.pdf>.

Bioenergy Crops (2013a), Most relevant limiting factors for huge expected bioenergy growth in China for the next years, 2013 年 2 月 2 日, <http://bioenergycrops.com/blog/2013/02/02/some-limiting-factors-for-bioenergy-growth-in-china/>.

Bioenergy Crops (2013b), Asian biomass co-firing grows: China, Japan and South Korea are the main consumers, 2013 年 5 月 13 日, <http://bioenergycrops.com/blog/2013/05/13/asian-biomass-co-firing-grows-china-japan-and-south-korea-are-the-main-consumers/>.

Biomass Magazine (2013), Beta renewable technology to make ethanol, bioglycols in China, 2013 年 11 月 18 日, <http://biomassmagazine.com/articles/9683/beta-renewables-technology-to-make-ethanol-bioglycols-in-china>.

BNEF (Bloomberg New Energy Finance) (2013), The future of China's power sector: From centralised and coal powered to distributed and renewable?, Executive Summary, 2013 年 8 月 27 日, http://news.nost.org.cn/wp-content/uploads/2013/10/BNEF_the_future_of_chinas_power_sector.pdf.

BNEF (2014), China Requires 30% of State Cars Use Alternative Energy, Bloomberg News, 2014 年 7 月 14 日, <http://www.bloomberg.com/news/2014-07-13/china-targets-30-new-government-vehicles-use-alternative-energy.html>

BREE (Bureau of Resources and Energy Economics) (2014), Asia-Pacific Renewable Energy Assessment, 2014 年 7 月, BREE and Clean Energy Solutions Center.

- Brendstrup, A. (2012), Lessons learned from high efficiency biomass power plants in China, Clean Tech, http://www.npti.in/Download/Renewable/POWERGEN%20PRSTN_Renewable%20April2012/High%20Efficiency%20Biomass%20Power%20Plants%20in%20China.pdf.
- Campbell, R. J. (2014), China and the United States - A comparison of Green Energy Programmes and Policies, 2014 年 4 月 30 日, Congressional Research Service, <http://fas.org/sgp/crs/row/R41748.pdf>.
- Carbontrust (2014), Detailed appraisal of the offshore wind industry in China, 2014 年 7 月, Carbontrust, <http://www.carbontrust.com/media/510530/detailed-appraisal-of-the-offshore-wind-industry-in-china.pdf>.
- Chen, C-Y., Yao C-S., 和 Li, M. (2010), Analysis of rural residential energy consumption and its carbon emissions in China, 2001-2010, Energy Policy, Vol.2012 年 2 月, 445-450.
- Chen, L. (2011), "Insight: State-of-the-art biomass gasification in China", 5th International Conference on Application of Biomass Gasification, 2011 年 2 月 11 日。 <http://gasifiers.bioenergylists.org/sites/all/files/IKAB-LiChen-GasificationstatusinChina.pdf>
- Chen, L., Zhao, L. and Wang, F. (2012), The progress and prospects of rural biogas production in China, Energy Policy, Vol. 2012 年 12 月, pp. 58-63.
- Cho, R. (2011), "How China is dealing with its water crisis", State of the planet - Blogs from the Earth Institute, 2011 年 5 月 5 日, <http://blogs.ei.columbia.edu/2011/05/05/how-china-is-dealing-with-its-water-crisis/>.
- CHPDI (中国水利水电规划设计院) (2014), "Status and Outlook of China Renewable Energy Development and Application", 王明浩先生 (副总经理), 2014 世界未来能源展览会, 阿布扎比
- CNREC (国家可再生能源中心) (2012), 重要信息概览中国可再生能源发展十二五规划 (2011-2015), 2012 年 9 月, 国家能源局 CNREC, 北京。
- CNREC (2013a), 2012 可再生能源发展纲要, 2013 年 12 月, CNREC, 北京, 中国
- CNREC (2013b) 与 Wang Wei 先生的私下沟通, 2013 年 2 月, CNREC, 中国北京。
- CNREC (2014), "CNREC 2013 - Activities within the China National Renewable Energy Centre", 2014 年 3 月, CNREC, 中国北京。
- Cozzi, P. (2012), "Assessing reverse auctions as a policy tool for Renewable Energy Development", Energy, Climate, and Innovation Program (ECI), Number 7, 塔夫茨大学, 国际环境和资源政策中心 <http://fletcher.tufts.edu/CIERP/Publications/more/~//media/Fletcher/Microsites/CIERP/Publications/2012/May12CozziReverseAuctions.pdf>
- CPI (Climate Policy Initiative) (2013), Buildings Energy Efficiency in China, Germany and the United States, 2013 年 4 月, CPI, 加州旧金山 <http://climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2013/04/Buildings-Energy-Efficiency-in-China-Germany-and-the-United-States.pdf>.
- CREIA (中国循环经济协会可再生能源专业委员会) (2014a), 《中国风能发展报告》2014, 中国循环经济协会可再生能源专业委员会, 2014.
- CREIA (2014b), "Innovation of Distribution Generation with Solar PV Systems", 中国太阳能光伏峰会, 2014 年 9 月 11-12 日, 北京
- CWEA (2014), 中国风能协会 <http://www.cwea.org.cn/upload/2013年中国风电装机容量统计.pdf>
- Daioglou, V., van Ruijven, B. 和 van Vuuren, D.P.(2012), "Model projections for household energy use in developing countries", Energy, Vol. 37, 2012 年 1 月, pp. 601-615.
- Davidson, M. (2013a), "Transforming China's Grid: Sustaining the Renewable Energy Push" 2013 年 9 月 24 日。The Energy Collective, <http://theenergycollective.com/michael-davidson/279091/transforming-china-s-grid-sustaining-renewable-energy-push>.
- Davidson, M. (2013b), "Politics of power in China: Institutional Bottlenecks to Reducing Wind Curtailment Through Improved Transmission", 2013 年四季度, pp. 40-42, 国际能源经济协会 <http://www.iaee.org/en/publications/newsletterdl.aspx?id=216>.

Davidson, M. (2014), "Primetime Debate: Will an Ultra-High Voltage Transmission Supergrid Solve China's Air Pollution Crisis?" 2014年4月24日 The Energy Collective, <http://theenergycollective.com/michael-davidson/371396/primetime-debate-will-ultra-high-voltage-transmission-supergrid-solve-china->.

DB (德意志银行) (2012), Scaling wind and solar power in China: Building the grid to meet targets, 2012年2月, https://www.db.com/cr/en/docs/China_Wind_and_Solar-Feb2012.pdf

DEA (丹麦能源署) (n.d.), District heating - Danish and Chinese experience, Danish Energy Agency, http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/energistyrelsen/Nyheder/district_heating_danish-chinese_experiences.pdf.

Delman, J. 和 Chen, Y. (2008), Nordic Collaboration with China in Energy Research and Development, 北欧亚洲研究所, 哥本哈根

E2 (Environmental Entrepreneurs) (2013), Advanced biofuel market report 2013: Capacity through 2016, Environmental Entrepreneurs, 旧金山, 加州 <http://www.e2.org/ext/doc/E2AdvanceBiofuelMarketReport2013.pdf>.

《经济学者》 (2012), "Chinese carmakers still in second gear", 2012年5月5日, pp. 61-62, 《经济学者》

Eggleston H.S. 等人. (2006), "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories", National Greenhouse Gas Inventories Programmes, IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), IGES, 神奈川, www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html.

EnergyTrend (2014), "China issues new policy to boost distributed PV market", 2014年9月12日 <http://pv.energytrend.com/price/20140912-7407.html>.

ESTELA (欧洲太阳能电力协会) (2011), Solar Thermal Electricity in China in 2011 and Future Outlook, Cayetano Hernández Lluna, 欧洲太阳能电力协会 (ESTELA), Renewable Energy House, 布鲁塞尔

ESTELA (2012), Solar thermal electricity in China in 2011 and future outlook, 2012年7月, ESTELA, 布鲁塞尔 http://www.estelasolar.eu/fileadmin/ESTELAdocs/documents/Publications/STE_in_China_By_C.Hernandez_ESTELA_July2012_WEB.pdf.

EurObserv'ER (2014), Solar thermal and concentrated solar power barometer, 2014年5月, EurObserv'ER, http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ_baro221_en.pdf.

Euroheat & Power (2013), "District heating and cooling: Country by Country 2013 Survey", 2013年5月21日, Euroheat & Power, 布鲁塞尔。

FAOSTAT (2014), "ForesSTAT", 联合国粮食及农业组织, 罗马。

Feng, L., (2014), Update on China's Carbon Market, 2014年5月25日, 应对气候变化司, NDRC, 科隆。 <https://www.thepmr.org/system/files/documents/CHINA%20Update%20on%20China%E2%80%99s%20ETS%20Pilots%2020140521.pdf>.

Forbes, S.M. (2013), The United States and China: Moving toward Responsible Shale Gas Development, 2013年9月, 世界资源研究所, http://www.brookings.edu/~media/events/2014/2/06%20china%20clean%20energy/uschina%20moving%20toward%20responsible%20shale%20gas%20development_sforbes.

GEA (Geothermal Energy Association) (2012), "Geothermal: International Market Overview Report", 2012年5月, GEA, 华盛顿, http://geo-energy.org/pdf/reports/2012-GEA_International_Overview.pdf.

GCC (Green Car Congress) (2012), "BYD bringing electric buses to Uruguay; targeting more than 500 by 2015", 2012年7月19日, Green Car Congress, <http://www.greencarcongress.com/2012/07/byd-20120719.html>.

Guan, D. 等人 (2014), "The gigatonne gap in China's carbon dioxide inventories", Natura Climate Change, Vol. 2, pp. 672-675.

卫报 (2014), "China's toxic air pollution resembles nuclear winter, say scientists", 2014年2月25日, 卫报, <http://www.theguardian.com/world/2014/>

feb/25/china-toxic-air-pollution-nuclear-winter-scientists.

GWEC (Global Wind Energy Council) (2014a), Global offshore current status future prospects, <http://www.gwec.net/global-offshore-current-status-future-prospects/>, 最新访问日期: 2014年6月20日

GWEC (2014b), "Global Wind Statistics 2013", Global Wind Statistics, annual, Global Wind Energy Council, http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/02/GWEC-PRstats-2013_EN.pdf.

Hallding, K. 等人 (2012), Learning from previous failures: scaling up biogas production in the Chinese countryside, Climate and Development, Vol. 4, Issue 3, 199-209.

Hammons, T.J.(2011), Developments in power generation and transmission infrastructures in China, Electricity Infrastructures in the Global Marketplace, Ed: T.J.Hammons, <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/16034.pdf>.

Haugwitz, F. (2014), "China's domestic solar PV market dynamics during the 12th Five-Year-Plan (2011-2015) Period", 2014 年第七届亚洲太阳能峰会, 2014年10月16日, 首尔

He, G., 和 Kammen, D.M.(2014), "Where, when and how much wind is available? A provincial-scale wind resource assessment for China", Energy Policy, Vol. 74, 2014年11月, pp. 116-122.

Ho, M.S. 和 Nielsen, C.P.(2007), Clearing the Air.The Health and Economic Damages of Air Pollution in China, MIT Press, <http://chinaproject.harvard.edu/clearing-the-air>.

Huffington Post (2014), "In effort to fight pollution, Beijing plans to ban all coal use by 2020", 2014年8月5日 http://www.huffingtonpost.com/2014/08/05/beijing-coal-ban_n_5650244.html.

IEA (国际能源署) (2009), CHP and DHC in China: An assessment of market and policy potential, OECD/IEA, 巴黎 <http://www.iea.org/media/files/chp/profiles/China.pdf>.

IEA (2011a), "China Wind Energy Development Roadmap 2050.Technology Roadmap".OECD/IEA, 巴黎

IEA (2011b), Integration of Renewables: Status and challenges in China, Working Paper, OECD/IEA, 巴黎, http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Integration_of_Renewables.pdf.

IEA (2012a), "World Energy Outlook 2012", World Energy Outlook, annual, OECD/IEA, 巴黎

IEA (2012b), People's Republic of China: Oil & Gas Security Emergency Response of IEA Countries, OECD/IEA, 巴黎 http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/China_2012.pdf.

IEA (2013a), "World Energy Outlook 2013", World Energy Outlook, annual, OECD/IEA, 巴黎

IEA (2013b), Medium-Term Renewable Energy Market Report 2013: Market Trends and Projections to 2018, OECD/IEA, 巴黎 <http://www.iea.org/textbase/npsum/mtrenew2013sum.pdf>.

IEA (2013c), "World Energy Balances", IEA Statistics, OECD/IEA, 巴黎 <http://www.iea.org/statistics/topics/energybalances/>.

IEA-ETSAP (IEA Energy Transition System Analysis Program) (2013), "Two- and three-wheeled electric vehicles and quadricycles", IEA ETSAP Technology Brief T19, 2013年1月, IEA ETSAP, http://iea-etsap.org/web/HIGHLIGHTS%20PDF/T19_2-3W_GG_Jan2013_final_GSOK%201.pdf.

IEA-GIA (IEA Geothermal Implementing Agreement) (2013), "Annual Report 2011", 2013年10月4日, IEA-GIA, <http://iea-gia.org/wp-content/uploads/2013/10/2011-GIA-Annual-Report-Final-4Oct13.pdf>.

IEPD (Industrial Efficiency Policy Database) (2014), Carbon Emission Trading Pilots, CN-9, 2014年7月, <http://iepd.iipnetwork.org/policy/carbon-emissions-trading-pilots>.

IFPEN (IFP Energies Nouvelles) (2013), Overview of second-generation biofuel projects, Panorama 2014, 2013年12月, IFPEN, Rueil-Malmaison.

IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) (2014), "GAINS GLOBAL (Greenhouse Gas - Air Pollution Interactions and Synergies)", IIASA, Laxenburg, <http://gains.iiasa.ac.at/gains/GOD/index.login?logout=1>.

- IISD (International Institute for Sustainable Development) (2014), "China's domestic biogas sector must adjust to changing conditions", IISD, <http://pubs.iied.org/17185IIED>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007), "Summary for Policymakers", in: B. Metz, 等人 (eds.), *Climate Change 2007: Mitigation, Fourth Assessment Report*, IPCC, Cambridge University Press, Cambridge and New York, www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-spm.pdf.
- IRENA (International Renewable Energy Agency) (2013), *Renewable Energy Auctions in Developing Countries*, IRENA, Abu Dhabi.
- IRENA (2014a), *REmap 2030: A Renewable Energy Roadmap*, IRENA, Abu Dhabi, http://www.irena.org/remap/REmap_Report_June_2014.pdf.
- IRENA (2014b), *Renewable Energy in Manufacturing: A technology roadmap to REmap 2030*. IRENA, 阿布扎比, <http://www.irena.org/remap/REmap%202030%20Renewable-Energy-in-Manufacturing.pdf>.
- IRENA (2014c), *Global bioenergy supply and demand projections: A working paper for REmap 2030*, IRENA, 阿布扎比, http://www.irena.org/remap/IRENA_REmap_2030_Biomass_paper_2014.pdf.
- IRENA (2014d), *Renewable Energy and Jobs 2013*, IRENA, 阿布扎比, <http://www.irena.org/rejobs.pdf>.
- IRENA (2014e), "Economic Value Creation of Renewable Energy Deployment", Rabia Ferroukhi 于德里所做报告, 2013 年 4 月, IRENA, <http://www.irena.org/menu/..%5CDocumentDownloads%5Cevents%5C DelhiEvent%5C2.1%20IRENA%20Econ%20Value%20Creation.pdf>.
- IRENA (即将发布), *Renewable off-grid systems: Status report 2014 and methodological issues*, IRENA, 阿布扎比。
- Jiang, K. (2014), *Recent global and China's modelling for low carbon scenario*, 能源研究所, 北京。
- Jingying, L. 等人 (2001), "Biomass energy in China and its potential", *Energy for Sustainable Development*, Vol. 5, Issue 4, pp. 66-80.
- LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory) (2012), *Key China Energy Statistics, 2012 年 6 月*, LBNL, 加州伯克利 <http://china.lbl.gov/sites/all/files/key-china-energy-statistics-2012-june-2012.pdf>.
- LBNL (2013), *China Energy Databook Version 8.0*, 2013 年 9 月, 加州伯克利。
- Lee, W.Y.(2014), "Financing CSP in People's Republic of China", 太阳热发电中国聚焦, 演讲, 2014 年 3 月 24 日, 中国北京, 亚洲发展银行。
- Lixin, Z. (2012), "Overview and outlook of agricultural bio-energy development in China", *Energy Technology R &D Needs of Emerging Economies Workshop 演讲*, Center for Energy and Environmental Protection, <http://www.iea.org/media/workshops/2012/egrdbeijing/IEAZhaoLixin.pdf>.
- Lo, K. 等人 (2014), "A critical review of China's rapidly developing renewable energy and energy efficiency policies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 29, pp. 508-516.
- Lu, A. (2010), *A Primer on the (Strong) Smart Grid and its Potential for Reducing GHG Emissions in China and the United States*, NRDC Working Paper, Natural Resources Defense Council, 2010 年 10 月
- Ma, L. 等人 (2012), *The future demand of transportation in China: 2030 scenario based on a hybrid model*, *Procedia - Social and Behavioural Sciences*, Vol. 54, pp. 428-437.
- Mainali, B., Pachauri, S., and Nagai, Y. (2012), "Analysing cooking fuel and stove choices in China till 2030", *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, Vol. 4, pp. 031805-1-15.
- Marshall, F., Ashmore, M., and Hinchcliffe, F. (1997), "A hidden threat to food production: air pollution and agriculture in the developing world", *Gatekeeper Series No. 73*, International Institute for Environment and Development, 伦敦 <http://pubs.iied.org/pdfs/6132IIED.pdf>.
- Matus, K. 等人 (2012), "Health damages from air pollution in China", *Global Environmental Change*, Vol. 22, pp. 55-66.

Mischke, P. 和 Karlsson, K.B.(2014), “Modelling tools to evaluate China’s future energy system – A review of the Chinese perspective”, Energy, Vol. 69, pp. 132-143.

NDRC (National Development & Reform Commission) (2006), Trial Measures for Pricing and Cost Sharing Management for Renewable Energy Power, National Development & Reform Commission.

NPC (National People’s Congress) (2010), Renewable Energy Law of the People’s Republic of China, Ministry of Commerce, 2013 年 12 月 20 日, <http://english.mofcom.gov.cn/article/policyrelease/questions/201312/20131200432160.shtml>

NREL (U.S. National Renewable Energy Laboratory) (2006), “Layer Multiple Countries 40km: Selected Asian Countries – Annual Global Horizontal Solar Radiation”, 通过 IRENA 的 Global Atlas 平台提交 <http://en.openei.org/w/index.php?title=File:NREL-asia-glo.pdf>

NY (New York Times) (2014), “Only Nine Chinese Cities Pass Clean Air Test”, 2014 年 8 月 7 日, <http://mobile.nytimes.com/blogs/sinosphere/2014/08/07/only-9-chinese-cities-pass-clean-air-test/?smid=tw-share>.

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (2014), The cost of air pollution: Health impacts of road transport, OECD, 巴黎。

Pachauri, S. 等人 (2012), Access to modern energy: Assessment and Outlook for Developing and Emerging Regions, IIASA, 拉克森堡。

PE (Power Engineering) (2013), “Dry cooling system headed to coal-fired power plants in China”, 2013 年 4 月 11 日, <http://www.power-eng.com/articles/2013/04/dry-cooling-system-headed-to-coal-fired-power-plants-in-china.html>.

Perera, P. (2014), Pump storage hydropower a solution to challenges of wind power integration: Regulatory policies and incentive structures in Chinese context, 2014 年 6 月 20 日, 亚洲发展银行。

Platts (2013), “World Electric Power Plants Database, December 2013”, McGraw Hill Financial, 纽约, 2013 年 6 月, www.platts.com/products/world-electric-power-plants-database.

PNNL (Pacific Northwest National Laboratory) (2012), China’s building energy use: A long-term perspective based on a detailed assessment, 2012 年 1 月, PNNL, Richland, WA., http://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-21073.pdf.

PV Magazine (2014), China erweitert Liste förderfähiger Photovoltaik-Unternehmen, 2014 年 7 月 18 日, PV Magazine, http://www.pv-magazine.de/index.php?id=9&tx_ttnews%5Btt_news%5D=16026&noMobile=1&cHash=1923ee54fd2893ae595401eb736cc1df.

Qiu, H. 等人 (2012), “Liquid biofuels in China: Current status, government policies, and future opportunities and challenges”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 16, pp. 3095-3104.

RE New Economy (2014), “China plans \$65 billion carbon market – at around \$18/tonne”, 2014 年 9 月 12 日, RE New Economy, <http://reneweconomy.com.au/2014/china-plans-65bn-carbon-market-at-around-18tonne-48911>.

Reports (2013), “China Electric Vehicle Industry Report, 2013”, PRWEb, <http://www.prweb.com/releases/china-electric-vehicle/industry-ankai-leads-2013/prweb10712484.htm>

Reuters (2014a), “China finds shale gas challenging, halves 2020 output target”, 2014 年 8 月 7 日, Reuters, <http://www.reuters.com/article/2014/08/07/us-china-shale-target-idUSKBN0G70GS20140807>.

Reuters (2014b), “China plan to cap CO2 emissions seen turning point in climate talks”, 2014 年 6 月 3 日, Reuters, <http://www.reuters.com/article/2014/06/03/china-climatechange-idUSL3N0OK1VH20140603>.

RTCC (Responding to Climate Change) (2014), "China completes rollout of pilot carbon markets", 2014年6月20日, RTCC, <http://www.rtcc.org/2014/06/19/china-completes-rollout-of-pilot-carbon-markets/>.

Ruicheng, Z., Tao, H. and Xuan, W. (2014), The Roadmap research of China solar thermal development, Energy Procedia 48, pp. 1642-1649.

SA (Scientific American) (2013), "Water demands of coal-fired power drying up northern China", 2013年3月25日, <http://www.scientificamerican.com/article/water-demands-of-coal-fired-power-drying-up-northern-china/>

SCMP (2013), "Beijing and other key cities plan for 10-fold expansion of metro railways", 8月26日, 《南华早报》 <http://www.scmp.com/business/economy/article/1148177/beijing-and-other-key-cities-plan-10-fold-expansion-metro-railways>

SGCC (国家电网公司) (2012), Developing the Smart Grid for Efficient Utilisation of Renewable Energy in the PRC, 2012年9月, 中国电力科学研究中心, SGCC.

SGCC (2013), "Overview of SGCC and the Integration of Large Wind Power", 2013年9月, SGCC.

SGCC (2014), "Developments, challenges, opportunities & prospects of Smart Grid in China", 2014年5月15日, SGCC, <http://www.africasmartgridforum2014.org/en/expert/presentationliminaire/chen-yueming-developments-challenges-opportunities-and-prospects-en.pdf>.

Sinton, J.E.(2001), Accuracy and reliability of China's Energy Statistics, LBNL-48919, 2001年9月。

SolarServer (2014), "Official figures published: China installed 12.92 GW of solar PV capacity in 2013; Shift to distributed generation in 2014", SolarServer - Global Solar Industry Website, <http://www.solarserver.com/solar-magazine/solar-report/solar-report/official-figures-published-china-installed-1292-gw-of-solar-pv-capacity-in-2013-shift-to-distributed-generation-in-2014.html>.

Spiegel (2014), "Kampf gegen Smog: China verzichtet bei Elektroautos auf die Mehrwertsteuer", 2014年7月9日, <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/china-regierung-in-pekings-setzt-mehrwertsteuer-fuer-e-autos-aus-a-980123.html>.

The World Bank (2013), SE4All Global Tracking Framework, 2013年5月, 世界银行, 华盛顿特区, www.worldbank.org/en/topic/energy/publication/Global-Tracking-Framework-Report.

世界银行 (2014), Performance of Renewable Energy Auctions: Experience in Brazil, China and India, Policy Research Working Paper, The World Bank Group, Energy and Extractives Global Practice Group, 华盛顿特区

Tu, K.J. and S. Johnson-Reiser (2012), Understanding China's Rising Coal Imports, 2012年2月16日, Carnegie Endowment for International Peace, 华盛顿特区 http://carnegieendowment.org/files/china_coal.pdf.

USDA (US Department of Agriculture) (2012), "China - People's Republic of Biofuels", Annual Gain Report Number 12044, 2012年7月9日, USDA Foreign Agricultural Service, Global Agricultural Information Network, 华盛顿特区, http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_Beijing_China%20-%20Peoples%20Republic%20of_7-9-2012.pdf.

USDA (2013), China - "People's Republic of Biofuels", Annual Gain Report Number 12044, 2013年9月9日, USDA Foreign Agricultural Service, Global Agricultural Information Network, 华盛顿特区 http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_Beijing_China%20-%20Peoples%20Republic%20of_9-9-2013.pdf.

Vakkilainen, E., Kuparinen, J., Heinimoe, J. (2013), Large Industrial Users of Energy Biomass, Lappeenranta University of Technology, Lappeenranta, www.bioenergytrade.org/downloads/t40-large-industrial-biomass-users.pdf.

Van Sambeek, E. 等人 (2013), Bio-energy Co-operation between China and the Netherlands. 2013年4月26日, 安元易如, 北京 <http://www.rvo.nl/sites/default/files/2014/03/Bioenergy%20China%20Netherlands%20Final%20Azure%20NL%20Agency%2026042013.pdf>.

Wang, L. 等人 (2013), "Will a driving restriction policy reduce car trips? A case study of Beijing, China", Environment for Development Discussion Paper Series, 2013年9月。 <http://www.rff.org/RFF/Documents/EfD-DP-13-11.pdf>.

Wang, X., Barroso, L. and Elizondo, G. (2014), "Promoting Renewable Energy through Auctions: The Case of China", Live Wire 2014/14, 世界银行 http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2014/06/13/000456286_20140613154552/Rendered/PDF/886970REPLACEMENTBox385194B00PUBLIC0.pdf

WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) (2009), "Global Cement Technology Roadmap", Developing technologies for a lower carbon cement industry, WBCSD Cement Sustainability Initiative, 日内瓦 <http://www.wbcscement.org/index.php/key-issues/climate-protection/technology-roadmap>.

Worldview (2012), "Geothermal potential of China. Worldview Report", 2012 年 6 月, New Zealand Geothermal Association, 惠灵顿。 http://www.nzgeothermal.org.nz/Publications/Industry_papers/Worldview-Report-Geothermal-Potential-of-China.pdf.

Worldwatch (2014), Smart Grid Investment Grows with Widespread Smart Meter Installations, 2014 年 5 月 22 日, WorldWatch Institute, http://vitalsigns.worldwatch.org/sites/default/files/vital_signs_smart_grid_final_pdf.pdf.

WP (2013), "Analysis - China unable to achieve 5 GW offshore wind goal by 2015", 2013 年 6 月 21 日, WindPower Monthly, <http://www.windpowermonthly.com/article/1187293/analysis--china-unable-achieve-5gw-offshore-wind-goal-2015>.

WRI (World Resources Institute) (2013a), "China's electric vehicle development failing to meet ambitious targets", WRI, 华盛顿特区, <http://blogs.worldwatch.org/revolt/chinas-electric-vehicle-development-failing-to-meet-ambitious-targets/#more-6254>.

WRI (2013b), "Majority of China's Proposed Coal-Fired Power Plants Located in Water-Stressed Regions", 2013 年 8 月 26 日, WRI, 华盛顿特区, <http://www.wri.org/blog/2013/08/majority-china%E2%80%99s-proposed-coal-fired-power-plants-located-water-stressed-regions>.

WRI (2014), "What are China's national climate and energy targets?" 2014 年 5 月 22 日, WRI, 华盛顿特区, http://www.chinafaqs.org/files/chinainfo/ChinaFAQs_table_China_climate_energy_targets_0.pdf.

WWF (World Wide Fund for Nature) (2014), China's Future Generation: Assessing the Maximum Potential for Renewable Power Sources in China to 2050, February 2014, WWF.

Xia, J. (2013), CHP/DHC role in Chinese energy future, 2013 年 11 月 28 日, Building Energy Research Centre, Tsinghua University, http://www.cleanenergyministerial.org/Portals/2/pdfs/CHP%20Workshop/Xia%20Jianjun_CHP-DHC%20role%20in%20Chinese%20energy%20future.pdf.

Yang, Y. (2013), China 2050 Pathway, Energy Research Institute, <https://workspace.imperial.ac.uk/climatechange/Public/pdfs/Events/20.03.12%20China%202050%20ERI%20lecture/China%202050%20-%20Yang%20Yufeng.pdf>

Yishui, T. 和 Liying, S. (2011), "Resource, Policy and Status and Prospect on Agricultural Bio-energy in China", 第二届区域生物能源政策对话, 演讲, 2011 年 6 月 3 日, Chinese Academy of Agricultural Engineering, http://www.fao.org/fileadmin/templates/rap/files/meetings/2011/110603_china.pdf

Zhang, Q., Watanabe, M. 和 Lin, T. (2010), Rural Biomass Energy 2020: People's Republic of China, 亚洲发展银行, 曼德勒市 http://mpr.ub.uni-muenchen.de/24987/1/MPRA_paper_24987.pdf

Zhang, S. 等人 (2013), "Interactions between renewable energy policy and renewable energy industrial policy: A critical analysis of China's policy approach to renewable energies", 2013 年 8 月, Energy Policy 2013, Vol. 62, pp. 342-353.

Zhang, D. 等人 (2014), "An integrated assessment of China's wind energy potential", Report No. 261, 2014 年 4 月, MIT Joint Programme on the Science and Policy of Global Change, Cambridge, MA., http://globalchange.mit.edu/CECP/files/document/MITJPSPGC_Rpt261.pdf.

Zhang, X. (2014), "Introduction of utilization of straw energy in china", Beijing Shengcheng Bioenergy S&T Co. Ltd., 北京, http://veranstaltungen.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/Strohenergie2012/10_Zhang-freigegeben.pdf.

Zhou, N. 等人 (2007), Energy use in China: Sectoral trends and Future Outlook, 2007 年 1 月, LBNL, Berkeley, CA., <http://china.lbl.gov/sites/all/files/lbl-61904-sectoral-energy-trendian-2007.pdf>.

Zhou, N., McNeil, M.A., Levine, M. (2009), Energy for 500 million homes: drivers and outlook for residential energy consumption in China, ECEE, http://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Summer_Studies/2009/Panel_4/4.359/paper.

缩写列表

AC	交流	CSGC	国家电网公司
BEV	电动车	CSP	太阳热发电
BIPV	PV 建筑一体化太阳能光伏	DC	直流
CBEEEX	北京环境交易所	EJ	艾焦
CC	联合循环	ETS	碳排放交易系统
CCS	碳捕集及存储	EU	欧盟
CCER	中国核证减排量	FiT	电价补贴
CDB	国家开发银行	FYP	五年计划
CDC	中国大唐集团公司	Gcal	百万大卡
CDM	清洁发展机制	GDP	国民生产总值
CEC	中国电力企业联合会	GHG	温室气体
CGC	中国国电集团公司	GJ	吉焦
CHDC	中国华电集团公司	Gt	吉吨
CHNG	中国华能集团公司	GW	吉瓦
CHP	热电联供	GW _e	吉瓦电
CNREC	国家可再生能源中心	GW _{th}	吉瓦热
CNPC	中国石油天然气集团公司	HHV	高发热值
CNOOC	中国海洋石油总公司	IBT	阶梯电价
CO ₂	二氧化碳	IEA	国际能源署
CPIC	中国电力投资集团公司	IPCC	联合国政府间气候变化专门委员会
CSG	中国南方电网	IPP	独立发电方

IRENA	国际可再生能源机构	PM	细颗粒物
km	公里	PV	光伏
kt	千吨	R&D	研发
kV	千伏	RD&D	研发和部署
kW	千瓦	RMB	人民币
kWh	千瓦小时	SASAC	国有资产监督管理委员会
kW _e	千瓦-电	SE4All	人人享有可持续能源
LCOE	平准化电力成本	SEEE	上海环境能源交易所
LHV	低发热值	SERC	国家电力监管委员会
LNG	液化天然气	SGCC	国家电网公司
LPG	液化石油气	SO ₂	二氧化硫
MMS	强制性市场份额	tcf	万亿立方英尺
MOF	财政部	TCX	天津排放权交易所
Mt	兆吨	TFC	终端消耗总量
Mtce	百万吨煤当量	TFEC	终端能源消耗总量
MW	兆瓦	tce	吨标准煤
MWh	兆瓦-小时	TPED	一次能源总需求
MW _e	兆瓦-电	TWh	太瓦-小时
MW _{th}	兆瓦-热	UHV	特高压
NDRC	国家发改委	UN	联合国
NEA	国家能源局	USA	美国
NO _x	单氮氧化物	USD	美元
O&M	运营和维护	WEO	世界能源展望
OECD	经合组织	WHO	世界卫生组织
PJ	拍焦		

附件 A:

技术成本和性能数据假设

	资本成本 (美元/kW)	运行维护成本 (美元/ kW/年)	转换效率 (%)	容量 系数 (%)
电力				
可再生能源				
陆上风电	1 300	52	100	22
陆上风电 (偏远)	1 500	80	100	30
海上风电	3 000	150	100	32
光伏 (屋顶)	1 400	14	100	15
光伏 (电站级)	1 000	10	100	16.5
太阳能 CSP (无储能)	2 700	27	100	16.5
填埋气	2 250	57	100	80
陆上风电 (偏远)	2 000	80	100	25
海上风电 (偏远)	4 050	200	100	32
传统:				
煤	1 300	52	30	57
建筑				
可再生能源				
空气热泵	500	13	350	50
太阳能热水	220	6	100	14
沼气锅炉	1 000	25	80	50
成型燃料炉灶	300	8	85	30
烹饪 (固体生物质)	15	1	30	10
传统:				
燃煤锅炉	175	6	90	85
燃油锅炉	175	6	85	85
传统生物质烹饪	30	0	10	10
工业				
可再生能源				
太阳热能	400	6	100	10
地热	1 400	35	100	55
空气热泵	400	10	350	50
生物质 CHP	1 000	24	80	50
传统:				
燃煤锅炉	400	10	90	85

	资本成本	运行维护成本	转换效率	活动/年
	(美元/车)	(美元/车/年)	(MJ/p 或 tkm)	(p 或 tkm/年/车)
交通运输				
可再生能源				
液体生物燃油乘用车	28000	2800	1.64	15000
生物柴油卡车	120000	12000	1.15	110000
插电式混合动力（公路乘用车）	30000	3000	0.98	15000
电池动力（公路乘用车）	32000	2880	0.69	15000
电池动力两轮车（乘用车）	4000	10000	0.07	5000
传统燃料：				
汽油乘用车	28000	2800	1.6	15000
汽油卡车	120000	12000	1.16	110000
汽油两轮车	3750	375	0.6	5000

附件 B:

能源价格假设

	2030 年国内能源价格 (USD/GJ)
原油	21.9
动力煤	1.5
居民用电 (USD/kWh)	0.055
工业用电 (USD/kWh)	0.039
民用天然气	18.2
工业用天然气	16.8
汽油产品	29.0
柴油	43.5
汽油	50.9
生物柴油	43.9
传统乙醇	53.9
高级乙醇	46.8
初级生物质 1 - 薪柴	11.9
初级生物质 2 - 沼气	2.8
生物质废弃物 1 - 农业废弃物	3.9
生物质残渣 2 - 林业残渣	12.2
传统生物质	3.5
城市垃圾	1.2

附件 C:

REmap 成本方法详解

为了解释替代成本的估算过程，下面提供了两个例子：

- 生物质锅炉替代 LPG 技术锅炉分别估算了在提供相同热能的情况下，两种锅炉系统的资本、运营、维护和能源年化成本差值，估算过程中考虑了转换效率、容量大小、使用寿命、容量因数等数据。然后，将这个差值除以锅炉提供相同热量所需的终端生物质总用量。
- 风电替代现有煤电：分别估算了在提供相同电力的情况下，两种发电系统的资本、运营、维护和能源年化成本差值，估算过程中考虑了转换效率、容量大小、使用寿命、容量因数等数据。在计算现有煤电数值时，没有资本成本数据，因为假设容量已进行折旧。然后，将这个差值除以风电容量产生的可再生能源总电力。

在进行商业角度计算过程中，采用了多种方式估算能源价格在决定一些乘数的时候，根据 IEA

预估值和国家 2010 价格所示，决定 2010 至 2030 年间的能源价格预期发展 (IEA, 2012a)。对煤炭采用的是进口价格；天然气采用的是亚洲区域进口价格；石油产品则采用了 IEA 原油进口价格预期值。对于传统液体燃料价格，价格走势与石油价格预期发展相一致；高级生物燃料的预测值，采用的是 IRENA 内部预测数据。生物质原料价格全部以 IRENA 的从下至上分析为估算基础 (IRENA, 2014c)。电价假设比 2010 年增加 30%。这个比例的估算基础，来自传统能源载体的平均价格涨幅，但也考虑到了发电部门在采用可再生能源后的燃料构成变化。

在政府角度计算的过程中，由于假设中国将一直保持本土自产，因此采用了最低价格选项。电价计算以企业角度的国家电价为基础，但去除了税收影响。在天然气方面，认为中国是天然气进口国，因此选择了较高价格。天然气和煤炭价格则采用了 IEA 的进口/出口估值 IEA (2012a)。石油价格为世界标准化价格，根据 IEA (2012a) 的预期原油价格走势进行调整。液体生物燃料价格为 IRENA 估值，去除了税收或补贴的影响。生物质燃油价格为亚洲区域化价格（非 OECD）。

附件 D:

参考情景

部门	2030 年参考情景可再生能源部署	
电力部门 (包括 CHP) (TWh/年)	总发电量	9312
	水能	1600
	地热	9
	太阳能光伏	197
	聚光太阳能	18
	风能	648
	固体生物质	192
	液态和气态生物燃料	0
	太阳热能	
集中供热部门 (包括 CHP) (PJ/年)	总发热量	5884
	地热	
	固体生物质	805
	液态和气态生物燃料	
	太阳热能	
工业 (PJ/年)	总消费量	46027
	电力消费	18255
	固体生物质	875
	液态和气态生物燃料	
	太阳热能	
交通 (PJ/年)	总消费量	18171
	电力消费	1256
	液态和气态生物燃料	600
建筑 (PJ/年)	总消费量	20996
	电力消费	7052
	固体生物质	2516
	液态和气态生物燃料	1130
	太阳热能	2675

附件 E:

成本供应曲线数据，企业角度和政府角度

企业角度

	技术	GJ TFEC	替代成本 (美元2010/GJ TFEC)
1	高铁替代民航	8	-35
2	有轨电车替代乘用车	8	-32
3	电池动力（公共公路用车）	4	-30
4	电池动力两轮车（乘用车）	6	-30
5	电池动力（公路乘用车）	34	-28
6	插电式混合动力（公路乘用车）	54	-27
7	空间供热：成型燃料炉灶	500	-14
8	空间供热：空气热泵	127	-12
9	烹饪生物质（固体）	92	-6
10	填埋气 ICE	316	0
11	汽车生产商，CHP 电力部分（固体生物质）	196	1
12	汽车生产商，CHP 热力部分（固体生物质）	838	2
13	空间供热：沼气（替代传统生物质）	244	3
14	太阳能制冷	200	3
15	空间供热：空气热泵（LT 工业）	290	3
16	热水：太阳能（温差环流）	570	4
17	光伏（电站级）	268	5
18	地热	145	5
19	生物质垃圾-能源	1124	7
20	空间供热：沼气（煤炭农村）	200	8
21	空间供热：成型燃料炉灶	258	9
22	陆上风电	482	10
23	太阳热能	935	10
24	陆上风电（偏远，现有）	656	15
25	光伏（住宅/商业）	268	16
26	海上风电	77	27
27	太阳能 CSP 无储能	79	36
28	海上风电（偏远，现有）	59	36

政府角度

	技术	GJ TFEC	替代成本 (美元2010/GJ TFEC)
1	高铁替代民航	8	-35
2	有轨电车替代乘用车	8	-34
3	电池动力两轮车（乘用车）	6	-31
4	电池动力（公共公路用车）	4	-22
5	空间供热：空气热泵	127	-16
6	烹饪生物质（固体）	92	-4
7	插电式混合动力（公路乘用车）	54	-3
8	空间供热：成型燃料炉灶	500	-2
9	填埋气 ICE	316	-2
10	汽车生产商，CHP 电力部分（固体生物质）	196	-1
11	汽车生产商，CHP 热力部分（固体生物质）	838	1
12	空间供热：空气热泵（LT 工业）	290	3
13	空间供热：沼气（替代传统生物质）	244	4
14	热水：太阳能（温差环流）	570	4
15	太阳能制冷	200	5
16	光伏（电站级）	268	5
17	地热	145	6
18	生物质垃圾-能源	1124	7
19	电池动力（公路乘用车）	34	8
20	空间供热：沼气（煤炭农村）	200	8
21	空间供热：成型燃料炉灶	258	10
22	陆上风电	482	11
23	太阳热能	935	12
24	陆上风电（偏远，现有）	656	16
25	光伏（住宅/商业）	268	18
26	海上风电	77	30
27	海上风电（偏远，现有）	59	40
28	太阳能 CSP 无储能	79	42

附件 F:

2030 年终端使用部门中可再生和传统技术的平准化成本

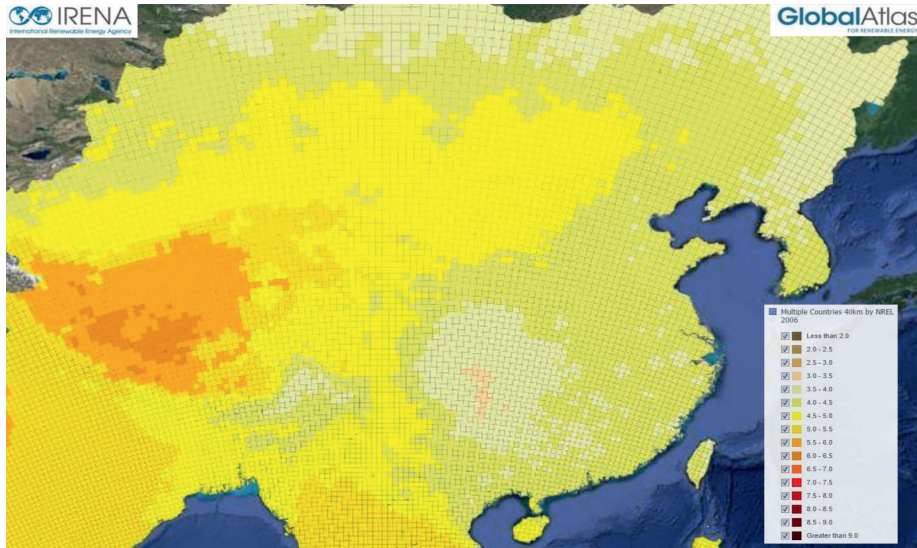
		美元/GJ		美元/GJ
工业	汽车生产商, CHP 电力部分 (固体生物质)	17		
	汽车生产商, CHP 热力部分 (固体生物质)	17	煤炭 (蒸汽锅炉)	5
	太阳热能	14	煤炭 (现有蒸汽锅炉)	3
	地热	9		
	热泵 (LT 工业)	8		
建筑	热水: 太阳能	6	空间供热: 煤炭 (锅炉)	3
			空间供热: 汽油产品 (锅炉)	35
	空间供热: 成型燃料炉灶	9	供热/烹饪传统生物质	24
	空间供热: 沼气	14		
	空间供热: 空气热泵	9	空间供热: 天然气 (锅炉)	21
	烹饪生物质/气体	41		

		美元/p 或 t-km		美元/p 或 t-km
交通运输	第一代生物乙醇 (公路乘用车)	0.52	汽油产品 (公路乘用车)	0.52
	第二代生物乙醇 (公路乘用车)	0.52	汽油产品 (公路货运车)	0.31
	生物柴油 (公路货运)	0.25	汽油产品 (两轮)	0.23
	高铁替代民航	0.01	汽油产品 (民航)	0.29
	有轨电车	0.4		
	插电式混合动力 (公路乘用车)	0.5		
	电池动力 (公共公路用车)	0.48		
	电池动力 (公路乘用车)	0.51		
	电池动力 (两轮)	0.23		

附件 G:

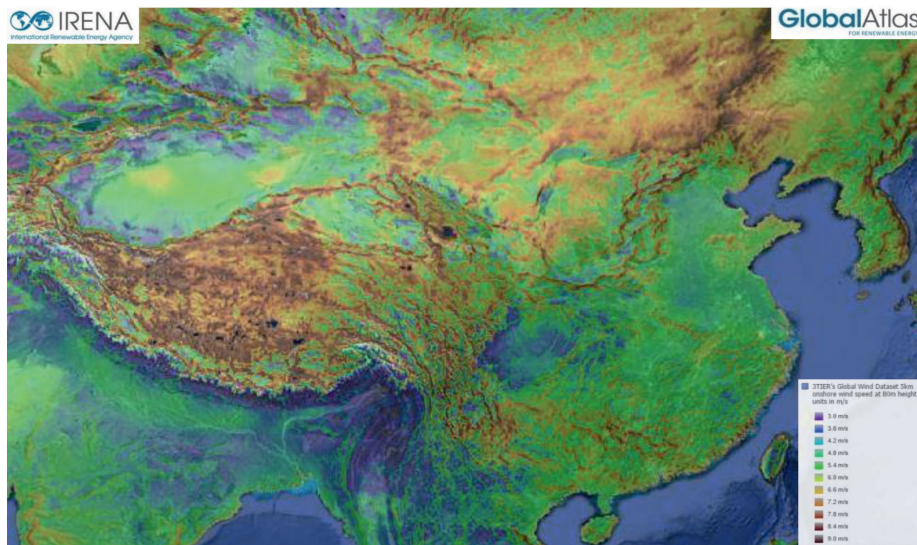
资源地图

太阳能



来源: NREL (2006)

风能



来源: 3TIER (2009)

附件 H:

路线图详表

一次能源供应总量 (PJ/年)	2010	2030 参考情景	REmap 2030
煤	61 561	81 944	67 400
石油	11 460	21 083	19 552
天然气	2 863	13 633	12 454
核能	806	9 575	9 575
水能	2 600	5 760	5 760
传统生物质	3 400	1 008	0
现代生物质 (包括沼气、生物燃料)	1 357	6 429	11 246
太阳热能	860	2 674	4 482
太阳能光伏	3	709	1 602
风能	161	2 332	4 804
地热	156	353	643
海洋/潮汐/海浪/其他	0	0	0
总计	85 229	145 500	137 519
终端能源消费总量 (PJ/年)			
煤	24 945	25 874	22 800
石油	11 082	20 676	19 145
天然气	2 006	7 501	6 322
传统生物质	3 400	1 008	0
现代生物质 (包括沼气)	607	3 424	5 312
现代生物质 (液态)	343	858	858
太阳热能	500	2 667	4 365
地热	140	293	439
其他可再生能源	0	0	0
电力	11 338	26 563	27 099
集中供热	2 424	2 918	2 918
总计	56 785	91 780	89 257
发电总量 (TWh/年)			
煤	3 262	5 099	4 269
天然气	83	663	663
石油	13	12	12
核能	74	878	878
水能	722	1 600	1 600
生物能	33	192	358
太阳能光伏	1	197	445
聚光太阳能	0	18	46
陆上风电	43	465	1 105
海上风电	0	182	158
地热	1	9	9
海洋/潮汐/海浪	0	0	0
总计	4 233	9 315	9 543

电力容量 (GW)			
煤	671	1 020	854
天然气	35	257	257
石油	15	5	5
核能	11	119	119
水能 (不含抽水蓄能)	213	400	400
生物能	6	38	65
光伏 (电站级)	1	98	190
光伏 (屋顶)	1	41	118
聚光太阳能	0	12	32
陆上风电	45	269	501
海上风电	0	46	60
地热	0	1	1
海洋/潮汐/海浪	0	0	0
总计	999	2 306	2 602
CO ₂ 排放 (Mt CO ₂)			
化石燃料燃烧总排放	6 917	10 185	8 493
可再生能源指标 (%):			
可再生能源份额发电	19%	29%	40%
VRE 份额发电	1%	9%	18%
可再生能源份额电力容量	28%	39%	53%
VRE 份额电力容量	5%	20%	35%
集中供热	1%	1%	36%
工业	0.5%	2%	10%
包括可再生电力和 DH	5%	11%	21%
交通运输	1%	5%	5%
包括可再生电力和 DH	1%	7%	8%
建筑 (不含传统生物质)	16%	39%	64%
包括可再生电力和 DH	16%	36%	54%
TFEC (不含传统生物质)	7%	16%	26%
TPES (不含传统生物质)	6%	13%	21%
财务指标 (美元 ₂₀₁₀)			
替代成本 - 企业角度 (美元/GJ)			5.6
替代成本 - 政府角度 (美元/GJ)			6.9
累计系统成本 (10 亿美元/年)			55 - 60
减少的人类健康外部因素 (10 亿美元/年)			-78 至 -162
减少的 CO ₂ 外部因素 (10 亿美元/年)			-32 至 -126
2030 累计补贴需求 (10 亿美元/年)			60
累计投资需求 (10 亿美元/年)			40
参考情景投资需求 (10 亿美元/年)			91
REmap 方案投资需求 (10 亿美元/年)			54
总投资需求 (10 亿美元/年)			145
生物质供应 (PJ/年)			
总供应潜力			8000 - 19000
总需求			12004

附件 1:

中国生物质传统应用

尽管有些研究提供了中国依赖生物质的人口总数，但根据目前可以获得的能源统计数据，仍然很难了解中国生物质传统应用的具体数量。

目前有很多组织都在研究各部门的生物质总需求。图 29 中按年度从 1990 至 2013 年列出生物质使用情况。数据来源为 IEA (2013a)、LBNL (2013) 和 FAOSTAT (2014)。根据这三个数据源，我们得到了以下主要结论：

- (i) IEA (2013a) 数据显示，2011 年，住宅部门使用了 8 EJ 固体生物质，随后就是发电部门，用量为 0.45 EJ。住宅部门使用了总计 0.3 EJ 的沼气。住宅部门使用的固体生物质数量正在下降，对其他应用的需求则在增加。但在这些统计数据中，并不清楚住宅部门中使用的总固体生物量中，传统应用部分到底占比多少。根据 IEA 的定义，非 OECD 国家住宅部门所使用的所有生物质，除非另有说明，都应该被视为传统应用。如果采用这个定义，那么中国在 2011 年的生物质传统应用总量就是 8 EJ。IEA 在其研究方法中表示，在对所收集到的生物燃料和垃圾数据进行估算时，采用了不同调查和研究中的人均消费数值。
- (ii) FAO 提供了不同国家的薪柴产量和交易数据。该组织的数据显示，中国的薪柴消耗量（等于产量）从 1990 年的 3 EJ 下降到 2010 年的 1.9 EJ (FAOSTAT, 2014)²⁰。这种下降也明确地显示出，这种需求中大部

分与农村地区的生物质传统应用有关，因为中国越来越多的人口开始向城市地区迁移。此外，随着住宅部门的燃料结构不断变化，农村地区越来越多地可以从城市获得 LPG。FAO 的数据中，包括了发电、供热和烹饪所需要的所有薪柴。如果不考虑发电相关的生物质需求，我们估计住宅部门在 2011 年用于供热和烹饪的薪柴总数为 1.6EJ。但无法得出传统方式和现代方式在总量中的具体比例。

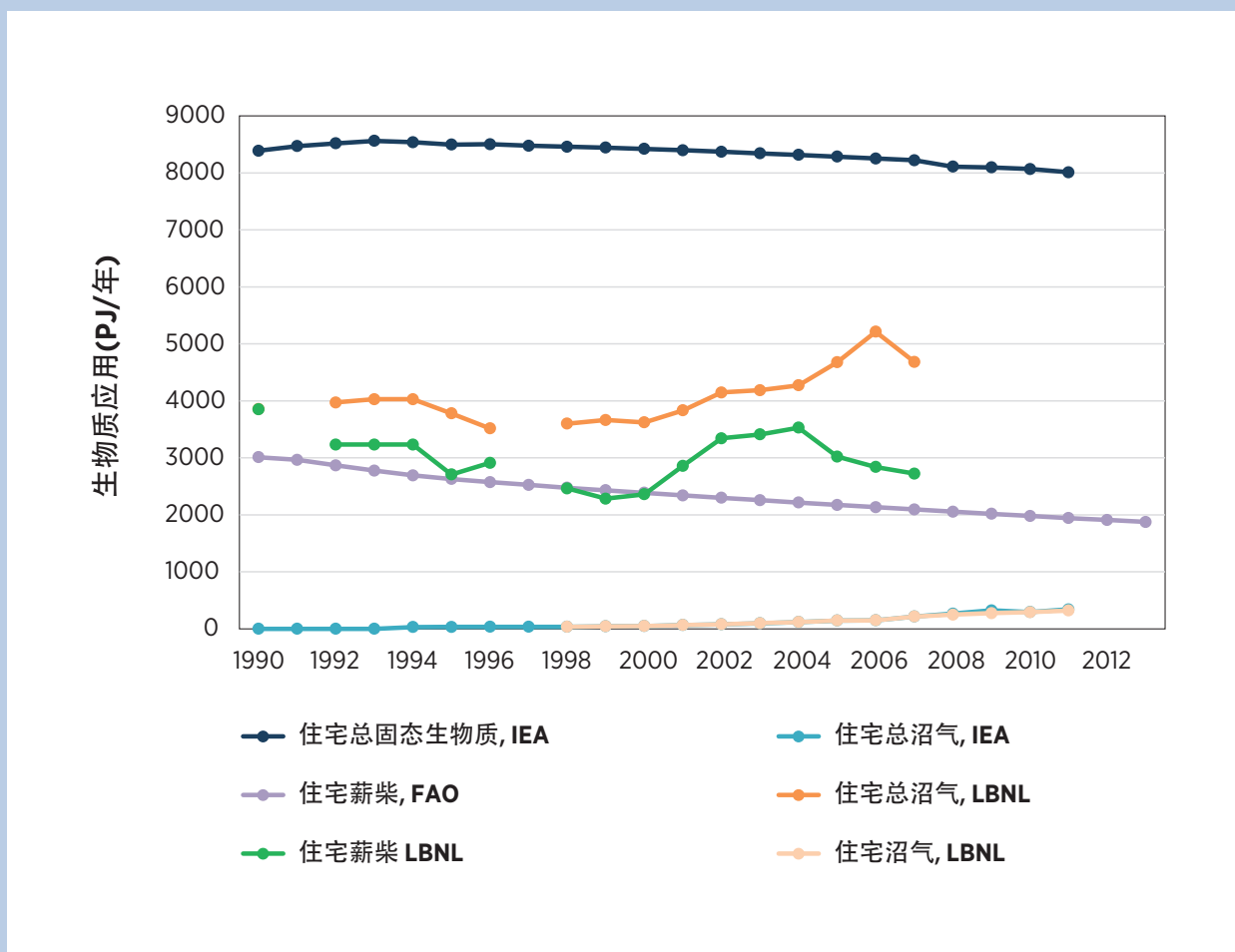
- (iii) 在《LBNL 中国能源数据手册》(LBNL, 2013) 中，也提供了生物能量的使用数据。该资料中，对三种类型的生物质应用进行了细分。分别为秸秆、薪柴和沼气。这份资料认为，应该谨慎使用农村家庭的生物质应用数据。文中说：“...由于数据来源各异，很难用各年度的官方生物质应用估值作为参考。”²¹LBNL 的数据显示，2007 年的固体生物质总需求为 7.4 EJ，接近 IEA (2013a) 同年的住宅部门报告数据。沼气数据接近 IEA 的统计数据。2007 年，在农村家庭生物质消费总量中，秸秆 (5.2 EJ) 占比三分之二，剩余的三分之一为薪柴 (2.8 EJ)。LBNL 数据手册中提供的薪柴数据，与 FAO 的薪柴数据非常接近。

除了这些能源统计数据，还有很多其他研究也提供了农村居民传统生物质应用总量的估算数据。Chen、Yao 和 Li (2010) 的研究显示，中国居民能源消费已经出现了很大的转变，从传统生物质应用向现代应用改变。传统生物质在非商业能源应用总量中的份额，从 2001 年的 82% 下降到 2008 年的 71%。表 18 显示了生物质传统应用

²⁰ 如果国家报告中包含相关的数量值，FAO 中还单独提供了薪柴传统应用量。但未列出中国的数值。

²¹ 在统计中所使用的能源数据来自以下文献：EB，农村能源发展规划 1990；SPC，Energy Conservation in China, 1997；NBS，《中国能源统计年鉴》，多年分；NBS，《中国统计年鉴》，多年份；EB，《中国农村能源统计年鉴》，1998-1999。

图 28：根据不同资料来源进行的中国生物质总用量比较，1990-2013



来源：IEA (2013a); LBNL (2013); FAOSTAT (2014)

的绝对量。该研究提供的数据是：2008 年，中国的传统生物质用量大约为 5.1EJ。这个数值远低于 IEA 统计和 LBNL 的数据手册，但是高于 FAO 的数值。

Xia (2013) 在研究中给出了 2011 年中国农村住宅部门使用的生物质能量数值，为 1.27 亿吨煤当量，相当于 3.7/年。

CNREC 也是我们使用的另外一个数据源，提供了发电部门的生物质总用量，分别为煤砖供热、沼气和液体燃料。CNREC 的数据中，2010 年和 2012 年的生物质总需求量分别为每年 0.7 EJ 和 1EJ。CNREC 的发电、液体生物燃料和沼气数据，与 IEA 统计和 LBNL 数据手册的数值非常接近。但其固体生物质的数据 (88 PJ) 却大幅低于其他文献。

而 Mainali、Pachauri 和 Nagai (2012) 的研究则显示，2005 年，中国家庭能源消费数量为人均每年 3.1 GJ 至 10 GJ (GJ/人/年)。用于烹饪和供热的生物质质量大约为 2-4 GJ/人/年。按照中国农村总人口 6.7 亿人计算，该研究估计在 2005 年，用于烹饪的生物质总需求为 2.1 EJ/年。

根据 Zhou、McNeil 和 Levine (2009) 提供的数据，我们估计在 2010 年，中国用于烹饪和空间加热/热水的人均能源总需求为 2.2 GJ/人/年。其中一半用于热水，另一半则包括 80% 的空间供热和 20% 的烹饪。

还有一些研究为类似的指标提供了估算数值。Daioglou、van Ruijven 和 van Vuuren (2012) 的研究认为，2007 年的农村能源年人均总用量为 12 GJ。在这个总值中，烹饪占大约 8.5 GJ/人/年，空间供热和热水占 3 GJ/人/年，其中空间供热的比例很高。

根据这些人均需求估值，以及依靠生物质传统应用的农村总人口比例，我们可以得出 2010 年中国在这方面的总需求应该为 0.8-4.2 EJ 之间。



IRENA Headquarters

P.O. Box 236, Abu Dhabi
United Arab Emirates

**IRENA Innovation and
Technology Centre**

Robert-Schuman-Platz 3
53175 Bonn
Germany

www.irena.org

