

# 中国可再生能源展望

## 2019

国家发展和改革委员会/ 中国宏观经济研究院能源研究所  
国家可再生能源中心

## 执行摘要



**“低碳能源发展关乎人类未来。”**

**“中国高度重视能源低碳发展,积极推进能源消费、供给、技术、体制革命。**

**中国愿同国际社会一道,全方位加强能源合作,维护能源安全,应对气候变化,保护生态环境,促进可持续发展,更好造福世界各国人民。”**

**习近平 主席**

**致太原市能源低碳发展论坛贺信**

**2019 年 10 月 18 日**

## 实施机构 资助机构



## 技术支持



## 国内支持机构

College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University

State Grid Hebei Economic Research Institute

North China Electric Power University

# 目 录

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 前言.....                            | 1  |
| 主要建议.....                          | 2  |
| 能源转型已经开始，但能源革命势在必行 .....           | 2  |
| 全面能源转型建设生态文明 .....                 | 2  |
| “十四五”规划应加快能源转型 .....               | 2  |
| 在下一个五年规划中继续推进能源革命 .....            | 3  |
| 中国能源转型方兴未艾 .....                   | 4  |
| 能源消费发展.....                        | 4  |
| 能源部门投资.....                        | 5  |
| 碳排放以及其他大气污染物排放 .....               | 5  |
| 8 个电力现货市场试点已经启动 .....              | 6  |
| 中国的可再生能源 .....                     | 6  |
| 中国可再生能源面临的主要挑战 .....               | 9  |
| 中国能源转型的能源情景.....                   | 10 |
| 建设以清洁低碳、安全高效能源为动力的生态文明 .....       | 10 |
| 2050 年能源系统概述——“低于 2°C”情景 .....     | 13 |
| 能源转型路线图.....                       | 18 |
| 生态文明建设中的经济可持续增长.....               | 18 |
| 明确的可再生能源发展水平目标 .....               | 20 |
| 发展以电气化为核心的耦合能源系统.....              | 22 |
| 强化实施下一个时代所需的能源效率目标 .....           | 23 |
| 严格控制煤炭消费，实现截至 2035 年将煤炭消费量减半 ..... | 24 |
| 与能源相关的二氧化碳排放折线图.....               | 25 |
| 十四五规划的政策重点 .....                   | 26 |
| 应在这一时期内制定极具挑战但现实的最终目标.....         | 26 |
| 十四五期间，需要对电力行业的发展进行明确指导 .....       | 26 |
| 十四五规划是可再生能源政策改革的关键 .....           | 27 |
| 可再生能源参与电力市场竞争 .....                | 29 |
| 清洁供暖以及区域供暖的主要作用.....               | 31 |
| 可再生能源气体.....                       | 32 |
| 生物液体燃料.....                        | 32 |



# 前言

在“十三五”规划中，中国提出了能源革命的构想，目标是到 2050 年构建清洁低碳、安全高效的能源体系。从那时起，中国已成功在若干领域取得进展。与五年前相比，如今大城市的空气质量显著改善，而煤炭在能源消费中所占的比重也有所降低。国内大规模部署应用可再生能源，政府相继出台电力市场改革、排放权交易制度、可再生能源消纳保障机制目标等新的政策工具。

然而，这一切仅仅是能源革命的开端。要实现在生态边界内建立在生态文明基础上的经济发展这一长远愿景，能源转型的努力和步伐必须达到一个新的水平。绿色能源转型效益巨大，将使中国继续发展经济，以合理的经济增长迈入小康社会，但中国必须认识到，在能源体系从“黑色能源”转向“绿色能源”之时，这种转型方式会在短期内使得有人受益、有人受损。因此，在能源转型进程中必须着眼于长期目标，应对这些挑战。

未来五年对能源转型至关重要。“十四五”规划将确定转型的方向和步伐，而且中国在未来几年对《巴黎协定》的承诺将对解决全球气候危机具有决定性意义。因此，《中国可再生能源展望 2019》（CREO 2019）将明确侧重于中国能源体系长期愿景下的短期行动。太阳能和风能的能源成本迅速降低，为加快这些技术的部署速度奠定了基础，但同时必须消除所面临的各种障碍，以确保将其顺利且经济高效地融入整个能源体系。

《中国可再生能源展望 2019》是由国家发展和改革委员会能源研究所（ERI）和国家发展和改革委员会能源研究所（CNREC）联合国内外合作伙伴共同撰写。本报告以 2018 年的研究为基础，但就最新的发展成果和分析数据进行更新。本摘要报告侧重于研究的主要发现以及主要建议。详细的研究记录载于《中国可再生能源展望 2019》报告全文中，可通过项目网站 [www.boostre.cnrec.org.cn](http://www.boostre.cnrec.org.cn) 上获得。

本报告由儿童投资基金会、丹麦政府以及德国政府共同出资支持。在此，谨向出资各方以及我们的合作伙伴对本报告的支持与辛勤付出致以诚挚谢意。

王仲颖

中国宏观经济研究院、国家发展和改革委员会能源研究所，副所长，主持工作

# 主要建议

在《中国可再生能源展望 2019》（CREO 2019）中，对可再生能源在中国能源体系中可能发挥的作用进行了分析，同时，以下情景为政策制定提供了一致的愿景。

- “既定政策”情景明示了坚定落实既定政策的影响。
- “低于 2°C”情景为中国建设生态文明提供了一条道路，并表明了中国在履行《巴黎协定》承诺方面可发挥的作用。

此摘要报告简要介绍了《中国可再生能源展望 2019》的主要内容。

## 能源转型已经开始，但能源革命势在必行

中国在建设生态文明支撑新体系所必需的核心科技和产业领域方面，已经具备了领先能力以及实践经验，并为下一个时代制定了必要的政策蓝图。

石油等化石能源经济的快速发展推动了中国经济的复苏，而现在，中国必须实施有效的低碳能源体系来取代人们对石油经济的依赖，以适应未来的更高发展要求。正如“十三五”规划所言，能源革命无法避免，势在必行，更确切地说，这将会是一场能源消费革命，一场能源供给革命。

## 全面能源转型建设生态文明

能源消费革命是一场以深度电气化为主要特征的能源效率革命。能源效率是需求侧的重要支柱，确保供应侧的部署速度和规模足以支持所需的经济增长。电气化是一种推动终端消费摆脱对化石燃料的依赖，并结合脱碳电力供应的手段。

能源供给革命是一场可再生能源革命，主要着重于可再生能源发电。凭借能源技术进步以及成本降低，可再生能源能够提供大量的清洁能源，尤其是通过利用可再生能源发电。

## “十四五”规划应加快能源转型

“十四五”规划（2021 年-2025 年）期间将会是中国能源转型史上的一个转折点。各种发展成果的融合既带来了机遇，也带来了风险。许多可再生能源技术在成本方面更具竞争力，而从这些技术中去除补贴成分是能源转型进程中的一个必要环节，以避免在短期内带来不确定性。化石燃料的外部成本基本上免税，排放权交易制度（ETS）仍需改进，以促进可再生能源的消费。宏观经济的微妙调整可能会引发传统的政策反应，扭转能源转型方向。

如果对此种情况处理不当，就有可能逆转可再生能源的发展趋势，化石燃料发电和投资卷土重来，技术锁定情况加剧，资产滞留增加，而中国的温室气体排放量将超过巴黎目标的规定。因此，必须采取有力协调的政策措施，确保这一进程以达到成本效益的方式朝着正确的方向发展。

### **“十四五”规划的主要建议**

- 为这一时期设定宏伟但务实的最终目标：按照物理能量含量法实现 19%的非化石能源比例，将实际国内生产总值的能源密集度降低 21%，将实际国内生产总值的二氧化碳排放量降低 27%。
- 利用风能和太阳能的能源成本降低，加快可再生能源的装机步伐，包括平均每年增加风能 53 千兆瓦和太阳能 58 千兆瓦。
- 确保从补贴价格过渡到市场价格后支持可再生能源发展政策，例如可再生能源消费政策。
- 通过完善的排放交易体系，内部消化化石燃料的损害和/或减排成本。
- 推行电气化，以工业企业为重点，减少煤炭消耗和运输，抑制日益增多的石油产品消费。
- 避免新建燃煤电厂，有序优先关闭生产效率低下的工厂和煤矿。

### **在下一个五年规划中继续推进能源革命**

为实现 2050 年的愿景，能源革命必须在“十五五”和“十六五”规划中继续推进并进一步加快步伐。《中国可再生能源展望 2019》为能源体系发展设定了清晰的路线图。然而，针对这些规划期间提出详细的政策建议尚且为时过早。一方面，规划过程应作为一个迭代过程进行，需要开展研究和分析工作为政策行动提供依据，而另一方面，发展过程以及技术发展和机构设置中的新机遇为新情景和新研究铺平了道路。在这一进程中，当务之急是要坚持中国领导人针对建设生态文明，构建清洁低碳、安全高效的能源体系所提出的长期愿景和要求。

# 中国能源转型方兴未艾

中国正处于能源转型的初期阶段，目标是为未来社会建立能源体系。“十三五”规划明确提出，中国要掀起能源革命，以 2020 年、2035 年和 2050 年为三大重要里程碑，建设“清洁低碳、安全高效的能源体系”。<sup>1</sup>国家主席习近平在中国共产党第十九次代表大会上强调，中国将推进能源生产和消费革命。中国的发展规划着力在经济发展方面从高速度向高质量转变，而这种范式转变同样适用于能源部门。

## 能源消费发展

### 中国能源发展趋势呈现增长放缓，效率提高

2018 年，中国国内生产总值增长 6.6%，创下自 1990 年以来的新低，并且 2018 年的一次能源消费达到 46.4 亿吨（1,360 亿吉焦），同比增长 3%。经济能源密集度继续逐步提高：2018 年单位国内生产总值能耗下降 3.1%，表明能源利用效率有所提高。<sup>2</sup>

### 煤炭：截至 2018 年，连续两年出现绝对消费量增长

发布的政策均旨在控制排放，因此，居民的煤炭消费量有所下降。然而，由于工业消费增长，中国煤炭消费量已达 38.4 亿吨，同比增长 1%。<sup>3</sup>煤炭发电比重较 2017 年提高 8%。<sup>4</sup>

### 2018 年中国原油消费增长 6.5%

中国石油消费量达到 6.39 亿吨，是国内石油产量的 3.4 倍。石油进口依存度达到 72%，比上一年度提高 2.4 个百分点。

### 天然气是 2018 年度中国消费量增长最快的化石能源

2018 年天然气消费量增长 18%，总量达 2820 亿立方米，较天然气产量增速高 10 个百分点。<sup>5</sup>中国天然气产量达 1600 亿立方米，进口依存度升至 45.3%。<sup>6</sup>

### 中国 2020 年非化石能源发展目标将实现

2018 年，非化石能源消费所占比例达 14.3%，这意味着中国 2020 年非化石能源占比 15%的目标将有可能提前实现。<sup>7</sup>

### 电力消耗继续增加

2018 年中国总电力消耗达到 6,846TWh，年均增长 8.5%，为自 2012 年以来的最高年增长。尽管其占总消费增长的 57%，但服务业（同比增长 12.7%）和家庭手工业（同比增长 10.4%）的消费增长率仍高于工业的消费增长率，其中工业的消费增长率同比增长 7.1%。

## 能源部门投资

2018 年，中国能源结构变得更加多元化，整个能源体系利用效率有所提高。虽然煤炭仍然是能源消费的主导能源，但这种情况正在逐步改变，天然气已成为化石燃料新的增长点。

### 整体投资下降，而可再生能源仍具吸引力

2018 年，中国仍然是全球最大的能源投资市场，尽管其整体行业投资较 2017 年下降了 1.5%。<sup>8</sup>近三年来，新增燃煤电厂投资减少 60%以上，能效提高 6%，投资减少。相比之下，在 1200 亿美元的电力部门投资中，约有 70%用于可再生能源。<sup>9</sup>

### 天然气基础设施建设仍在继续

由于 2017 年冬季住宅供气不足，中国推动扩建天然气管道和液化天然气进口码头，以增加天然气供应能力。<sup>10</sup>

### 中国电动汽车和网侧储能市场保持快速增长

2018 年，中国乘用车销量自 1990 年以来首次出现下滑，而新能源电动汽车销量继续保持快速增长。<sup>11</sup> 中国已连续四年保持全球最大的电动汽车市场地位，2018 年中国电动汽车的销量占全球销量的 62%。<sup>11</sup>

2018 年，并网储能行业同样呈现强劲增长。新建的蓄电池储能设施超过 600 兆瓦，其中 36%在电网侧。<sup>12</sup>累计装机容量达到 1,020 兆瓦。<sup>13</sup>

## 碳排放以及其他大气污染物排放

### 碳排放和主要污染物排放强度持续下降

据估计，截至 2018 年，每单位实际国内生产总值对应的二氧化碳排放强度将下降约 2%。2018 年，在全国 338 个地级以上城市中，环境可吸入颗粒物（PM10）浓度较上年下降 5.3%，环境中细颗粒物（PM2.5）浓度同比下降 9.3%，全国平均雾霾天数在 2018 年从 2017 年的 27.6 天减少到 20.5 天。根据酸雨测量结果，2018 年中国大部分地区的平均酸雨频率为自 1992 年有观测记录以来最低。<sup>14</sup>

## 发布新的蓝天行动计划

国务院于 2018 年发布了新的大气污染防治三年行动计划。<sup>15</sup> 该计划旨在减少主要大气污染物的排放总量，同时减少温室气体排放，特别是在京津冀及周边地区、长江三角洲地区以及汾渭平原（陕西和山西）地区，进一步降低细颗粒物浓度，减少重污染天数，改善环境空气质量。这也是国务院首次将陕西和山西纳入目标地区。

## 中国全国排放权交易制度建立一周年

中国全国排放权交易制度于 2017 年底正式启动。当时，建立排放权交易制度的时间表要求分为三个阶段：准备阶段，试运行阶段，正式运行阶段。排放权交易制度目前仍处于准备阶段。

## 8 个电力现货市场试点已经启动

国家发展和改革委员会（NDRC）和国家能源局（NEA）于 2017 年 8 月联合公布了中国第一批电力现货市场建设试点省份。试点省份覆盖 8 个地区，目标是在 2018 年底前完成市场设计。<sup>16</sup> 但是，几乎所有试点省份都面临建设工作延误。

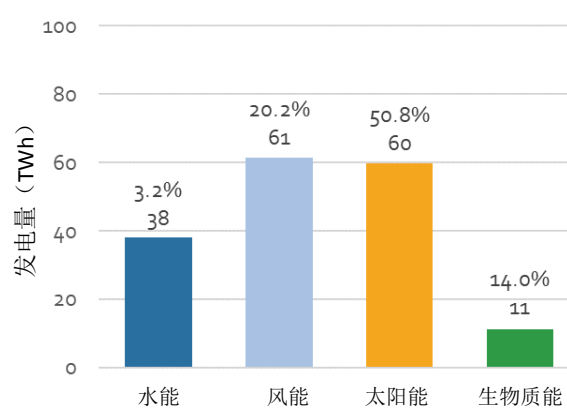
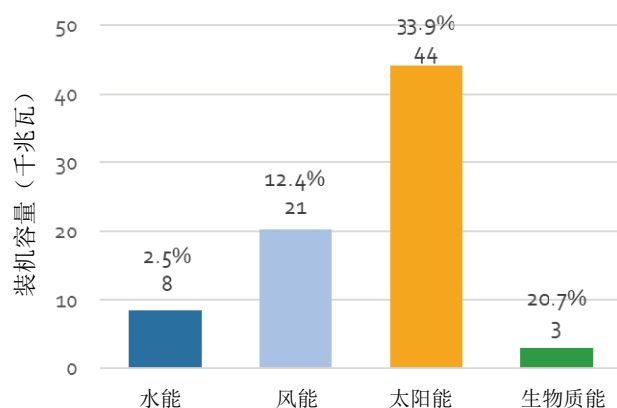
## 中国的可再生能源

### 当前进程

近二十年来，中国在扩大可再生能源发电规模、降低可再生能源成本方面取得了实质性进展，提前完成了“十三五”规划目标。风电和太阳能光伏已逐步进入“后补贴”时代，而全国范围内的无补贴项目和 FIT 招标项目将成为新趋势。

图 1：2018 年新增可再生能源装机容量（左）

2018 年新增可再生能源发电量（右）



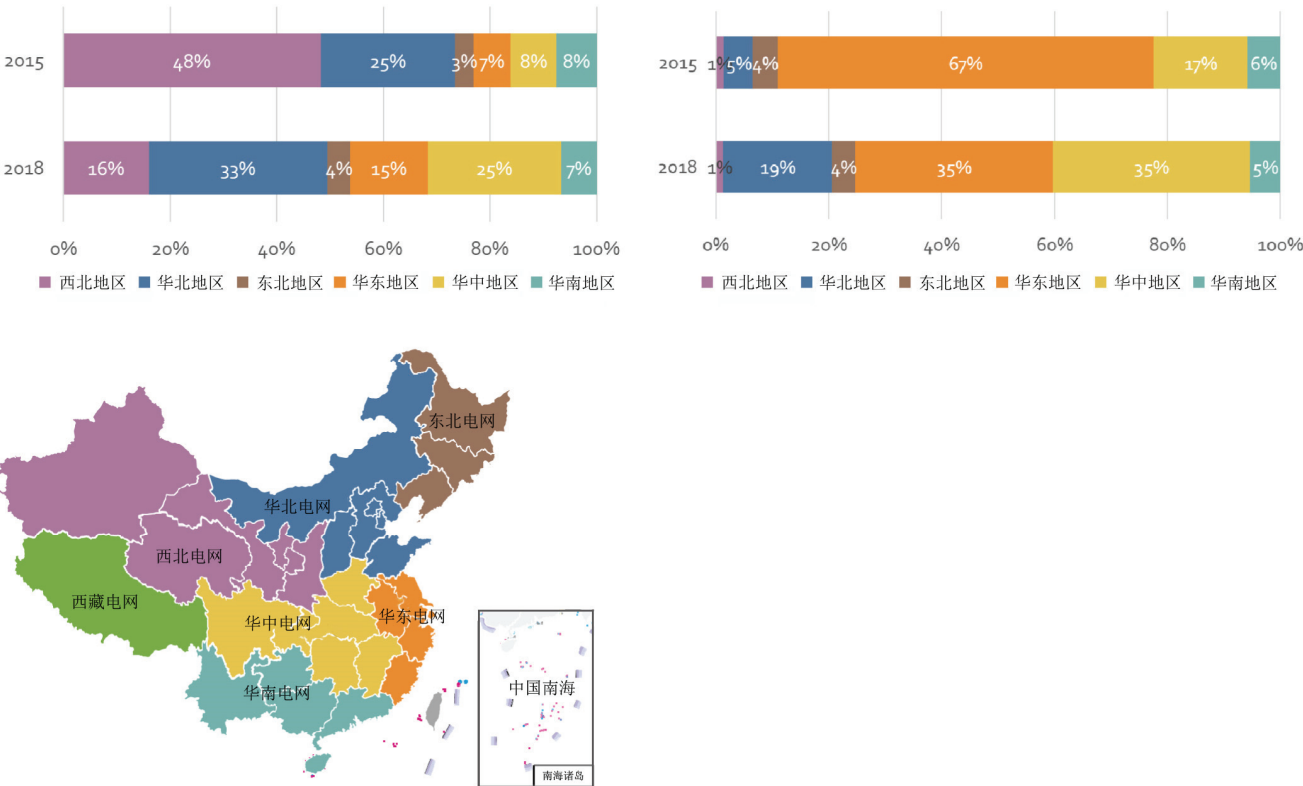
资料来源：中国电力企业联合会（CEC）所提供的水能数据，2019 年 1 月；国家发展和改革委员会能源研究所（NDRC ERI）所提供的其他数据，2019 年 3 月。

2018 年，我国政府通过设定强制性削减上限和最低消费目标，促进可再生能源消费。尽管如此，补贴发放延误以及土地利用政策模糊不清等障碍依然存在。因此需要制定更多的长期目标，以迎接挑战，保持产业健康发展。

### 主要可再生能源开发区由西向东转移

可再生能源的分配已出现实质性的转变。从历史上看，资源质量是项目本地化的主要驱动力。显而易见，消费者需求不受缩减性政策影响，并且，消费者需求是确定资源地理分布的决定性因素。

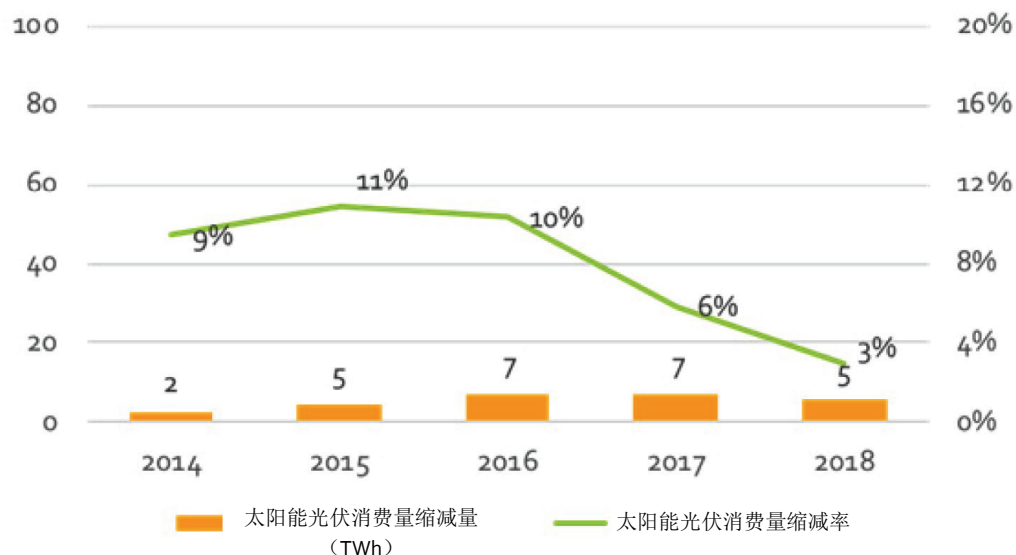
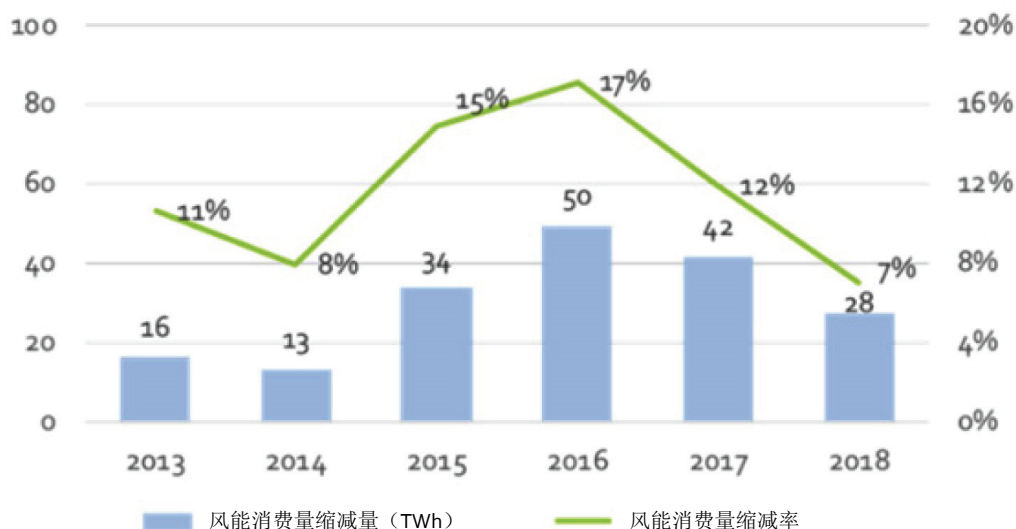
图 2：2015 年和 2018 年区域新型并网风电装机容量（左上）和分布式太阳能光伏装机容量（右上）的区域比例；区域电网分类（下图）



### 可再生能源消费量缩减

2018 年，中国风电消费量削减 7%，较 2017 年提高 5 个百分点。大部地区风电资源稀缺的情况都有所改善：吉林和甘肃风电资源的消费量缩减率至少下降 14 个百分点，而内蒙古、辽宁、黑龙江、新疆等地风电资源的消费量缩减率下降至少 5 个百分点。中国太阳能发电的消费量削减率为 3%，较 2017 年减少 2.8 个百分点。其中，新疆和甘肃的改善最为明显：太阳能消费量削减率分别下降 6 个百分点和 10 个百分点。中国官员认为，可再生能源产能高、火电厂规模大、输电能力不足等均是高消费量缩减率产生的主要原因。

图 3：中国 2018 年风电（上）和太阳能光伏（下）资源的消费量缩减率

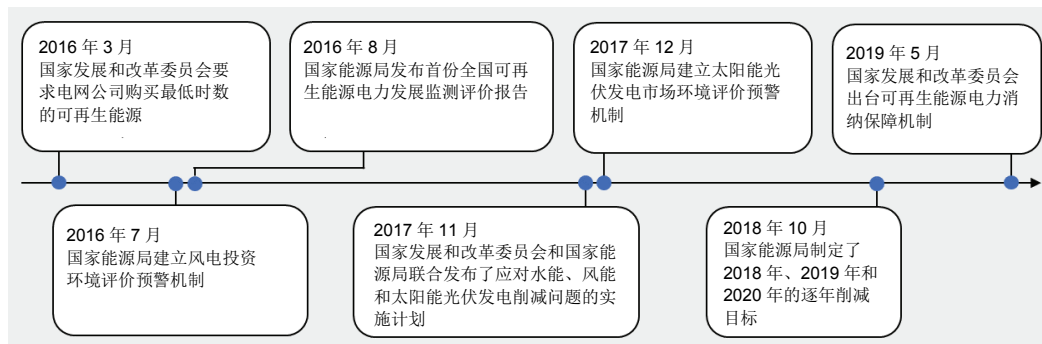


资料来源：国家能源局，2019 年 2 月

2018 年和 2019 年，我国政府出台多项政策措施，以促进可再生能源的发展。此类政策措施是清洁能源消费行动计划的一部分，有效期限为三年，且均旨在通过实施更集中的部署计划和可促进可再生能源发展的省际交流的方式，大幅度降低风能和太阳能的消费削减量。

此外，我国政府还启动强制性可再生能源消费机制，确保所有省份都消纳一定数量的可再生能源，并要求电力零售商和终端用户增加可再生能源消费。

图 4：可再生能源消费政策制定



资料来源：国家能源局和国家发展和改革委员会（NDRC），2019年7月

### 风能和太阳能几乎可同煤炭竞争

风能和太阳能在中国和世界范围内的迅速发展降低了这些技术的成本。在具备典型风力条件的地区，风电成本约为 0.5 元/千瓦时，而在强风地区为 0.35 元/千瓦时。太阳能光伏发电以 2018 的零售电价实现了 2020 的电价竞争力目标，而平准化发电成本已下降至约 0.37-0.51 元/千瓦时。

### 中国已开始从固定上网电价转向招标电价和无补贴可再生能源电价

对于新型风能和太阳能发电项目，招标电价将逐步取代上网电价。目前，太阳能发电的上网电价的上限已设定，且补贴总额同样存在限制。除补贴部署外，国家能源局和国家发改委同样鼓励开展无任何补贴的风能和太阳能项目。此类项目已获高度关注，可帮助消除能源使用障碍，且不受任何产能限制。

除上述直接的支持机制外，我国政府同样鼓励将分布式可再生能源项目投入电力市场，以实现竞争。

### 中国可再生能源面临的主要挑战

尽管已出台上述新政策，可再生能源的发展仍受到国家、地区 and 个人的阻碍。就国家层面而言，强制消费机制的实施情况仍不明朗。由于缺乏弹性资源，且未制定最新的能源和电力系统规划，可再生能源发电消费已成为一个长期的挑战。此外，补贴支付延迟、地方政府对市场交易和定价的干预以及软成本的增加，都给可再生能源项目的实施带来风险。为应对挑战，确保产业健康发展，需要制定更多的长期目标和措施。

# 中国能源转型的能源情景

《中国可再生能源展望 2019》延续了以往展望的惯例，为能源体系开发的两大核心情景进行定义。这两大情景将为长期发展目标提供了明确一致的愿景，并为短期决策奠定下基础。

## 建设以清洁低碳、安全高效能源为动力的生态文明

所述“既定政策”情景明示了坚定落实既定政策的影响，而“低于 2°C”情景为中国实现生态文明建设宏伟愿景提供了一条道路，并表明了中国在履行《巴黎协定》承诺方面可发挥的作用。

### 情景策略

经济增长是中国 2050 年社会经济目标的底线和前提。根据要求，到 2050 年，国内生产总值应比 2018 年实际增长 4.2 倍。不过，经济增长应具有可持续性，并依靠于中国能源转型，而这也是中国建设生态文明工作中的一大重要组成部分。

《2019 中国可再生能源展望》中所探讨的能源转型战略依赖于三大支柱。

- **能源效率**是需求侧的重要支柱，确保供应侧的部署速度和规模足以支持所需的经济增长。
- **电气化**和市场改革将改变市场规则，推动终端消费摆脱对化石燃料的依赖，并结合脱碳电力供应。
- **绿色能源供应**——技术进步和成本降低使人们能够利用可再生能源获取大量的清洁能源，尤其是通过利用可再生能源发电。

该策略由以下主要驱动因素支持：

1. **可再生能源推进**：随着政府逐步取消补贴，支持框架必须确保持续发展。
2. **煤炭控制**：煤炭是使中国面临环境挑战，造成温室气体排放的罪魁祸首，因此需要同时对其生产和消费进行严格控制。

3. **能效措施：**中国能源体系具备巨大的能效潜力，然而必须辅之以强有力的政策支持。这与经济结构调整与能源密集型部门转型齐头并进。
4. **电力市场：**电力市场改革将带来显著的效率收益，使电力成为更具成本竞争力的能源载体，用于更多消费应用。变速发电的增加使得动态短期电力市场对激励全面平衡参与计划非常重要。
5. **灵活的电力系统：**变速发电将成为电力系统的关键所在，而灵活的服务则是前提。经济高效的转型需要使用所有具备成本效益的资源，包括发电、需求、电网和储能。
6. **有效的碳排放控制政策：**在电力部门正在试行的全国排放权交易制度下，碳排放定价和控制将以市场规律为导向，以进一步扩大到所有主要排放部门。

图 5：情景中能源转型的驱动因素



#### “既定政策”情景明确坚定落实既定政策

这一情景假设全面且坚定落实“十三五”规划和党的十九大报告中所述的能源部门职能以及相关政策。重点在于努力建设清洁低碳、安全高效的能源供应体系。该情景还包括 2030 年前达到碳排放峰值的 *NDC* 气候目标、*蓝天保卫计划*的影响、*能源生产和消费革命战略*的方方面面以及*全国排放权交易制度*。

推断政策趋势，设定长期政策的驱动因素。

## 国家发展和改革委员会能源研究所的能源体系建模工具

通过使用国家发展和改革委员会能源研究所的能源体系建模工具来支持《中国可再生能源展望》的情景发展，该工具由互联模型组成，涵盖中国大陆的能源部门。

### 最终能源需求以终端使用模型为导向

基于长期能源替代规划系统（LEAP）（<https://energycommunity.org/>）模型的终端使用模型代表了终端使用需求的自下而上模型以及满足这一需求的方法。终端使用由各部门经济发展中关键活动水平的假定发展以及无其他驱动因素情况下的经济增加值驱动。当结合终端使用行为特征调整等假设时，这些驱动因素将转化为能源消耗。长期能源替代规划系统模型还涵盖了除区域供热和供电以外的所有转换和资源活动，其中包括上游炼油活动。

### 通过电力和区域供热优化进行电力和区域供热行业的建模

电力和区域供热优化（EDO）模型是电力和区域供热系统的基本模型。考虑到省级电网限制和扩建方案，该电力系统在省级具有代表性。该模型包括火电（含 CHP）、风电、太阳能（含 CSP）、水电、储能、热锅炉、蓄热、热泵等，还考虑了来自工业需求方面的灵活性、电动汽车的智能充电以及与区域供热行业的完全集成耦合的选择。

该模型可以表示中国电力系统当前每小时一次的调度，对火电厂和跨省电力交换有一定的限制；也可以表示基于最小成本边际价格优化的电力市场、省、区或国家的调度。关键特性与负荷和供电的可变性（例如来自 VRE 来源）的详细表现，以及灵活性和灵活电位有关，在增加产能模式下进行优化操作和有效部署。

### 综合汇总工具

这两个模型的结果综合在综合工具中，该工具提供了能源系统的整体视图，将通过电力和区域供热优化，从电力和供热系统燃料消耗与 LEAP 中终端使用部分和其他转化部分的直接消费综合起来。

## “低于 2°C”情景表明，中国如何为生态文明建设能源系统

通过以可再生电力、电气化和行业转型为核心的战略为主要动力，实现与能源相关的二氧化碳排放的硬性目标。目标是在 2018 年至 2050 年期间，与能源相关的二氧化碳排放总量为 2 亿吨。

### “低于 2°C”情景的主要设想

- 2050 年人口为 13.8 亿。
- 到 2050 年，国内生产总值实际增长 4.2 倍，达到 380 万亿元人民币。

- 到 2050 年，城市化率达到 78%
- 2030 年后，一次能源消耗稳定在 60 亿 tce 以下。
- 到 2050 年，煤炭消费量控制在 10 亿吨（7140 亿 tce）。
- 2040 年天然气峰值在 580-600 bcm 之间
- 供应多样化，对进口燃料的依赖性大大降低。
- 能源强度比 2018 年降低 85%。
- 非化石能源占一次能源的 2/3。
- 2018-2050 年二氧化碳排放量累计低于 2000 亿吨，2050 年二氧化碳排放量低于 25 亿吨。
- 电气化率高于 60%

所述政策情景采用了类似的途径，但电气化目标较低（50%），且没有严格的二氧化碳排放边界。

## 2050 年能源系统概述——“低于 2° C”情景

对于全球努力遵守的《巴黎协定》的温度目标，中国所做的贡献至关重要。因此，能源转型的重点应放在符合巴黎目标的低碳能源系统“低于 2°C”情景。

表 1：“低于 2°C”情景下关于能源部门发展的关键值

|                        |        | 2018 年 | 2020 年 | 2025 年 | 2030 年 | 2035 年 | 2050 年 |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>能源基础</b>            |        |        |        |        |        |        |        |
| 一次能源供应总量 (TPES)        | 百万吨煤当量 | 4 346  | 4 476  | 4 610  | 4 432  | 4 025  | 3 536  |
| 能源消费总量 (TFEC)          | 百万吨煤当量 | 3 165  | 3 252  | 3 396  | 3 438  | 3 349  | 3046   |
| 二氧化碳排放                 | 百万吨    | 9 525  | 9 337  | 8 804  | 7 184  | 5 079  | 2 532  |
| 非化石能源在一次能源供应量中占比 (NFF) | (%)    | 10%    | 14%    | 19%    | 29%    | 42%    | 65%    |
| 可再生能源在一次能源供应量中占比       | (%)    | 8%     | 11%    | 16%    | 25%    | 37%    | 58%    |
| 煤炭在一次能源供应量中占比          | (%)    | 61%    | 56%    | 47%    | 36%    | 23%    | 11%    |
| 煤炭在能源消费总量中占比           | (%)    | 33%    | 29%    | 20%    | 14%    | 10%    | 4%     |
| 天然气在一次能源供应量中占比         | (%)    | 8%     | 10%    | 13%    | 15%    | 18%    | 16%    |

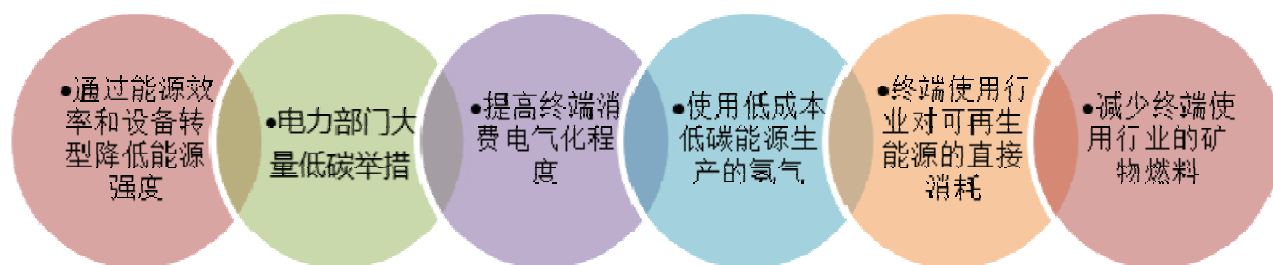
|                        |        |       |       |       |       |       |       |
|------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 石油在一次能源供应量中占比          | (%)    | 20%   | 20%   | 21%   | 19%   | 16%   | 7%    |
| 电气化率                   | (%)    | 26%   | 29%   | 35%   | 41%   | 48%   | 66%   |
| 煤炭替代                   |        |       |       |       |       |       |       |
| 一次能源供应量 (TPES)         | 百万吨煤当量 | 4 684 | 4 891 | 5 253 | 5 549 | 5 603 | 5 766 |
| 非化石能源在一次能源供应量中占比 (NFF) | (%)    | 17%   | 21%   | 29%   | 44%   | 59%   | 79%   |
| 可再生能源在一次能源供应量中占比       | (%)    | 15%   | 18%   | 26%   | 40%   | 55%   | 74%   |

到 2035 年，能源的二氧化碳排放量减少 45%，到 2050 年，和 2018 年相比减少 75%

2018 年 95.5 亿吨的能源相关二氧化碳年排放水平，到 2035 年减少到 51.5 亿吨，2050 年减少到 26 亿吨。对中国来说，在 2018 年至 2050 期间，将二氧化碳累计排放量控制到约 1950 亿吨是必经之路，中国具有责任感，对全球减排工作做出了重大贡献。

通过错误!未找到引用源。所示的多个措施减少二氧化碳排放。

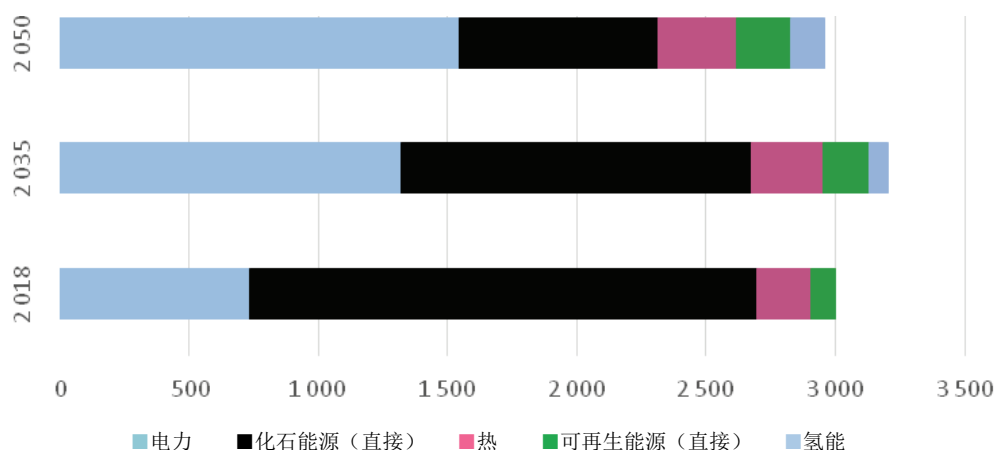
图 6：中国能源系统减少二氧化碳排放的措施



#### 最终能源消耗稳定在当前水平

节能、设备转型和经济结构调整使 2050 年的最终能源消耗总量略低于 2018 年的水平，为 30.5 亿吨标煤/年。到 2035 年，最终能源消耗增加到 33.5 亿吨标煤/年左右。

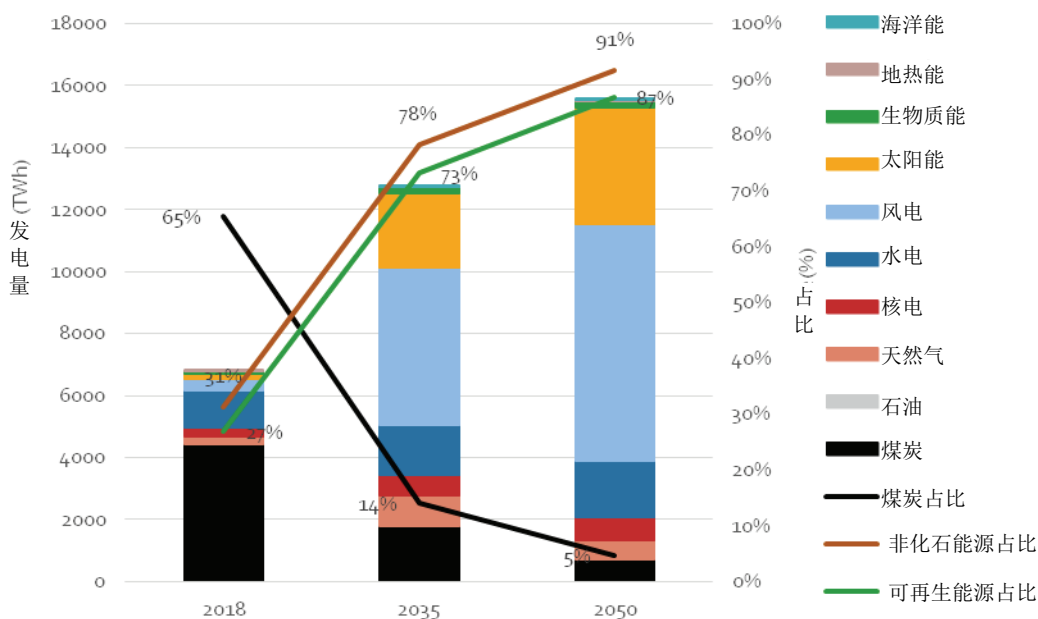
图 7：在“低于 2°C”情景下，能源载体的最终能源消耗（百万吨煤当量）



因此，能源转型能够支持有针对性的经济扩张，而不会导致长期增加最终能源消耗，这在一定程度上是由于经济结构的变化，部分原因是设备和生产措施的能源效率的提高，以及从直接使用化石燃料和燃烧化石燃料转向用电。

**到 2035 年，用 78% 的非化石能源发电，到 2050 年，用 91% 的非化石能源发电，实现低碳发电**

这就要求坚决执行关键政策，包括正在进行的电力市场改革和有效的二氧化碳 ETS 机制，保障可再生电力的公平竞争环境。风能和太阳能在这一转变中所占份额最大，到 2035 年占总发电量的 58%，到 2050 年占总发电量的 73%。



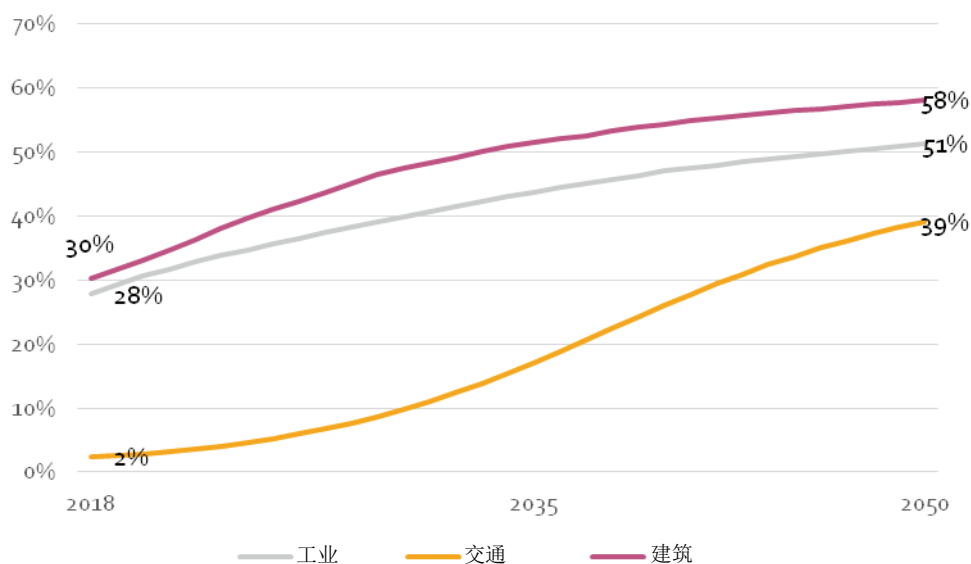
#### 电气化扩大了低碳供电的覆盖范围

国际能源署（2018 年）指出，“发展中经济体的电力需求翻了一番，将更加清

洁、应用普遍和价格实惠的电力作为经济发展和减排战略的中心。”<sup>1</sup>电力成为一种越来越具有成本竞争力的能源载体，从而替代直接消耗化石燃料的方式。

电气化率从 2018 年约 26% 增加到 2035 年<sup>2</sup>的 48%，再增加到 2050 年的 66%。到 2050 年，在“低于 2°C”情景下，交通部门的电气化率从 2018 年的 2% 上升到 39%。工业部门的电气化率从 28% 增加到 51%，建筑部门的电气化率从 30% 增加到 58%。

图 8：交通、工业和建筑的电气化率发展



### 氢为扩大可再生能源的使用提供了可行途径

扩大了电力产生的氢在长途运输（作为燃料）、化学品（作为原料）和钢铁（代替焦炭）中的使用。2035 年和 2050 年，氢在最终能源消耗中的比重分别达到 2.3% 和 4.5%，分别增加了 1047 TWh 和 1536 TWh 的用电量。

### 供热系统与区域供热的核心作用

建筑方面的热量消耗从 2020 年约 4500TWh/年增长到 2050 年约 5900TWh，在 2035 年左右趋于稳定。到 2050 年，区域供热满足了约 50% 的稳定供热需求。大规模部署电锅炉、热泵和储热器，并为电力系统提供了所需的灵活性。集中供热和保温效果较好的建筑是建筑节能的主要来源。

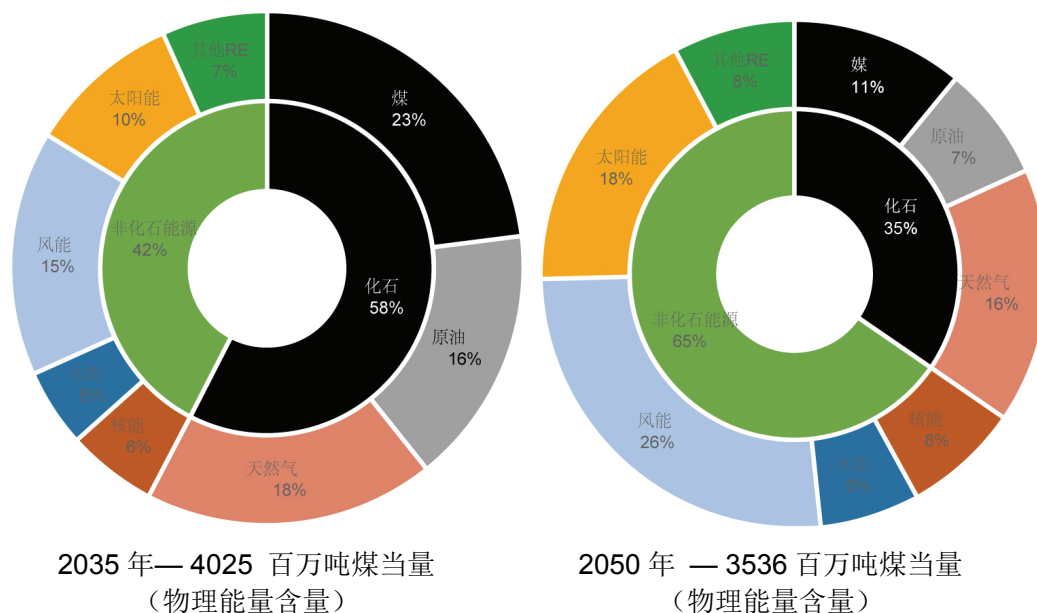
<sup>1</sup>国际能源署《世界能源展望》，巴黎（2018 年）。<https://webstore.iea.org/world-energy-outlook-2018>

<sup>2</sup>电气化率定义为发电量/最终能耗（包括电厂自身能耗）。

### 低碳能源取代煤炭，一次能源消费结构多样化

到 2035 年，煤炭在一次能源消费的占比减少了 62%，到 2050 年进一步减少了 82%。煤炭的份额约从 2018 年的 61%减少到 2050 年的 11%<sup>3</sup>。天然气在一次能源的占比约从 2018 年的 8%大幅增长到 2035 年的 18%，并在 2050 年约为 16%。石油的占比从 2018 年的 20%下降到 2035 年的 16%，并在 2050 年下降至 7%。

图 9：两个转变时期（“低于 2°C”）后的一次能源组合



### 非化石能源 2035 年占 42%，2050 年占 65%

根据核算一次能源的煤炭替代法，两种情景下非化石能源比重分别为 47%和 59%。因此，到 2035 年，非化石能源的比例将远远超过 2030 年 20%的官方政策目标，这仅仅只用 5 年时间。显然，作为我国政府在“十四五”规划中设定的目标的一部分，建议国家 2030 年的目标同样需要提高。

<sup>3</sup>这些份额是根据物理能量含量法（pec）计算的。

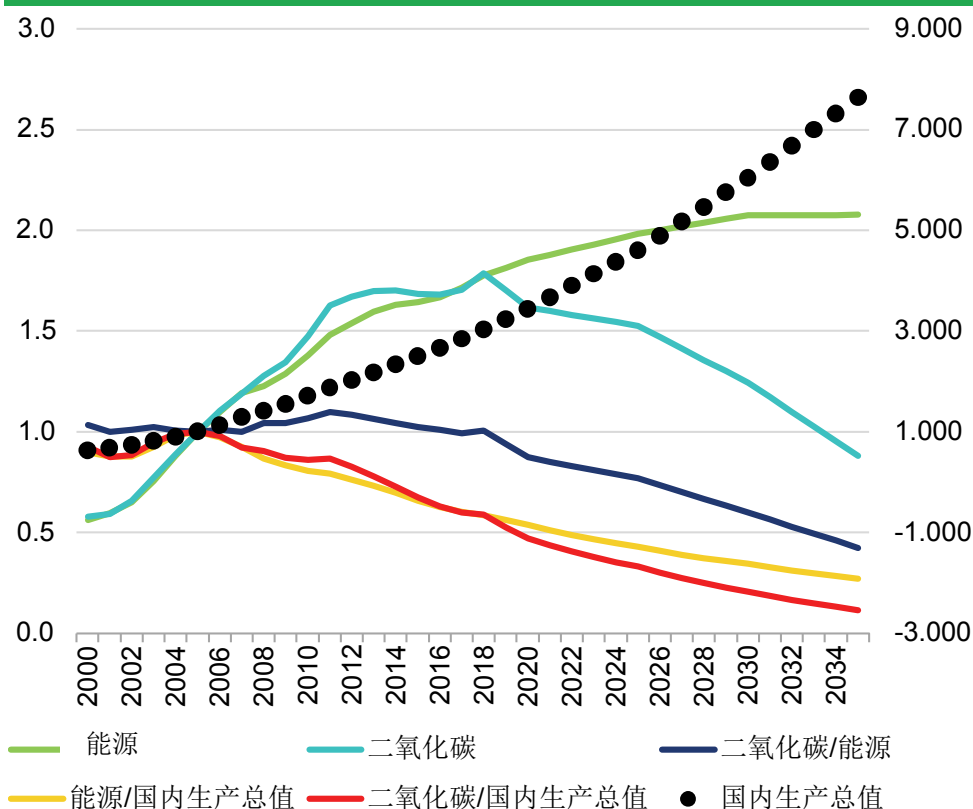
# 能源转型路线图

能源消费革命是一场以深度电气化为主要特征的能源效率革命。能源供给革命是一场可再生能源革命，其重点是可再生电力。可再生电力是最具成本效益的大规模低碳途径。为确保到 2035 年可再生电力成为能源系统的核心步骤，“十四五”规划、“十五五”规划、“十六五”规划至关重要。

## 生态文明建设中的经济可持续增长

预计在“十四五”规划，从 2020 年到 2025 年，经济实际增长率将达到 34%。同时，煤炭消费下降 11%，必会在对抗污染的战争中取得胜利，一次能源消费增长控制在 6% 以内（煤炭替代 8%）。能源消耗强度应降低 19%，能源二氧化碳强度应降低 27%，与 2005 年相比，总二氧化碳强度应降低 66%。

图 10：2005 年“低于 2°C”情景下的 Kaya 特性



随后在“十五五规划”和“十六五规划”中，经济分别增长 31%和 26%。在第 15 个五年规划和第 16 个五年规划期间内，能源消耗强度应分别进一步降低 20%和 21%。同时，在第 15 个五年规划和第 16 个五年规划期间内，实际经济增长对应的二氧化碳强度应分别降低 31%和 36%。

图 3：“十四五”规划期间一次能源消耗结构的变化（“低于 2°C”）

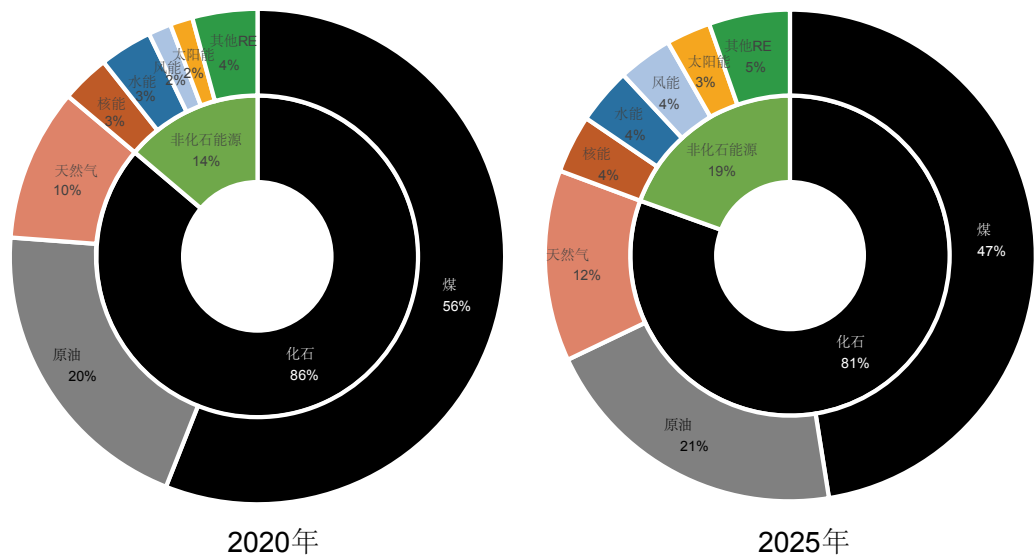
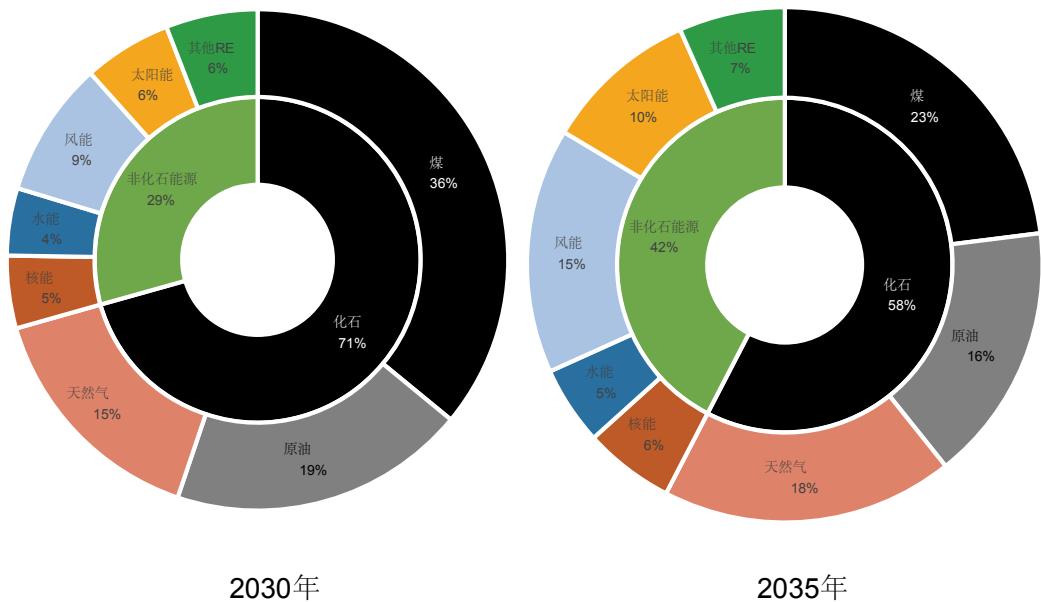


图 12：“十五五规划”和“十六五规划”期间一次能源结构的进一步转换（“低于 2°C”）



注:图为热当量方法确定的一次能源结构

### 明确的可再生能源发展水平目标

虽然风电和光伏发电成本在“十四五”规划期间持续下降，但一些项目仍依赖政府补贴。保持项目年度新增产能目标，保持设备供应商的产业规模和建设能力，同时将补贴总额度控制在可承受的水平。

可再生能源电力部署未来的 3 个五年计划必须采取三步走的模式：

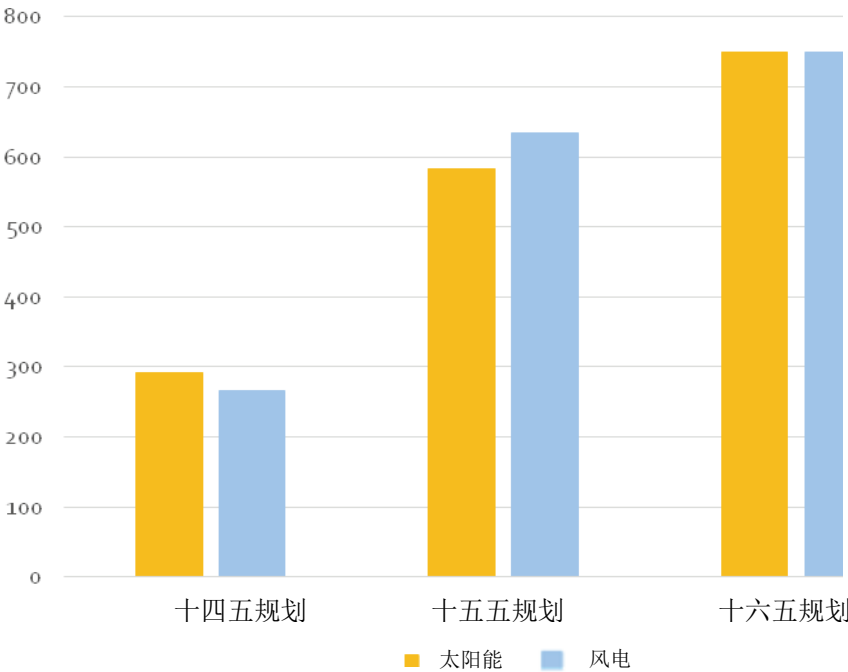
“十四五”规划——行业规模扩大：平均每年新增风电 5300 万千瓦，太阳能发电 5800 万千瓦

“十五五”规划——确定：风电平均每年 12700 万千瓦，太阳能发电平均每年 11600 万千瓦。

“十六五”规划——革命性：每年风能和太阳能发电各约 15000 万千瓦

对于电力部门的低碳发电，2025 年要达到的关键目标是风力发电累计装机容量超过 5 亿千瓦，每年发电量约为 1350TWh。此外，太阳能发电累计装机容量应达到 5.3 亿千瓦，发电量约为 690TWh。

图 13：五年计划中的风能和太阳能装置



“十四五规划”期间将是可再生能源装置的关键阶段，在这一阶段，随着行业和年度部署水平的提高，投资者和资产所有者必须学会应对同步改革的不确定性。

- RE 投资必须摆脱固定价格补贴的舒适型商业模式，并随着现货市场和中长期合约市场的出现而发展。

- 投资者和资产所有者应该有信心能够为支持其发电卖出足够高的价格，并且在接触市场的同时，不会受到削减。必须有证据表明，系统灵活性根据需求发展，或者，他们必须开发更复杂的商业模型绑定 VRE 源与其灵活性和储能方面的投资。
- 市场必须及时响应绿色、清洁或非化石电力需求的发展——需求拉力和监管要求。最后，必须有信心，尽管能源效率和经济结构调整导致能源消费增长放缓，但电气化程度将提高，当局将避免通过支持煤炭和天然气等竞争性电力供应来扭曲市场，并压低价格。

“十四五”应优先发展消费中心附近的容量和平衡能力，包括重点发展海上风力发电，开放更多的风力分布选址，改善 DGPV 的条件。

**表 0-1：在低于 2°C 情景中，“十四五”、“十五五”、“十六五”规划的建议目标**

| 种类                         | 指标         | “十四五”       | “十五五”        | “十六五”        |
|----------------------------|------------|-------------|--------------|--------------|
| <b>1. 可再生能源产能目标 (GW)</b>   | <b>总计</b>  | <b>1481</b> | <b>2.718</b> | <b>4.108</b> |
|                            | 1. 水力发电    | 386         | 438          | 455          |
|                            | 2. 风力发电    | 507         | 1.109        | 1.763        |
|                            | 3. 太阳能光伏发电 | 532         | 1.109        | 1.825        |
|                            | 4. 太阳能热发电  | 4           | 9            | 11           |
|                            | 5. 生物质发电   | 51          | 54           | 54           |
| <b>2. 可再生能源发电量目标 (TWh)</b> | <b>总计</b>  | <b>3662</b> | <b>6.416</b> | <b>9.308</b> |
|                            | 1. 水力发电    | 1397        | 1.576        | 1.625        |
|                            | 2. 风力发电    | 1347        | 3.160        | 5.053        |
|                            | 3. 太阳能光伏发电 | 694         | 1.448        | 2.393        |
|                            | 4. 太阳能热发电  | 11          | 22           | 28           |
|                            | 5. 生物质发电   | 214         | 210          | 210          |

“十五五”期间，可再生能源发电能力的增长速度接近峰值，而电力消耗的增长率平均下降到每年 3.5%。“十五五规划”必须克服困难进行长期可持续的可再生能源产业的能力建设。

“十六五”将是一个颠覆性的转型时期。我们已经过了对资产利用产生重大影响的经济临界点。风能和太阳能年装机容量应达到约 15000 万千瓦/年的峰值，新的电力

存储将以每年 3000 万千瓦的速度并网。火力发电厂的利用率将显著下降，因此，应考虑将重点放在战略工厂关闭上。

## 发展以电气化为核心的耦合能源系统

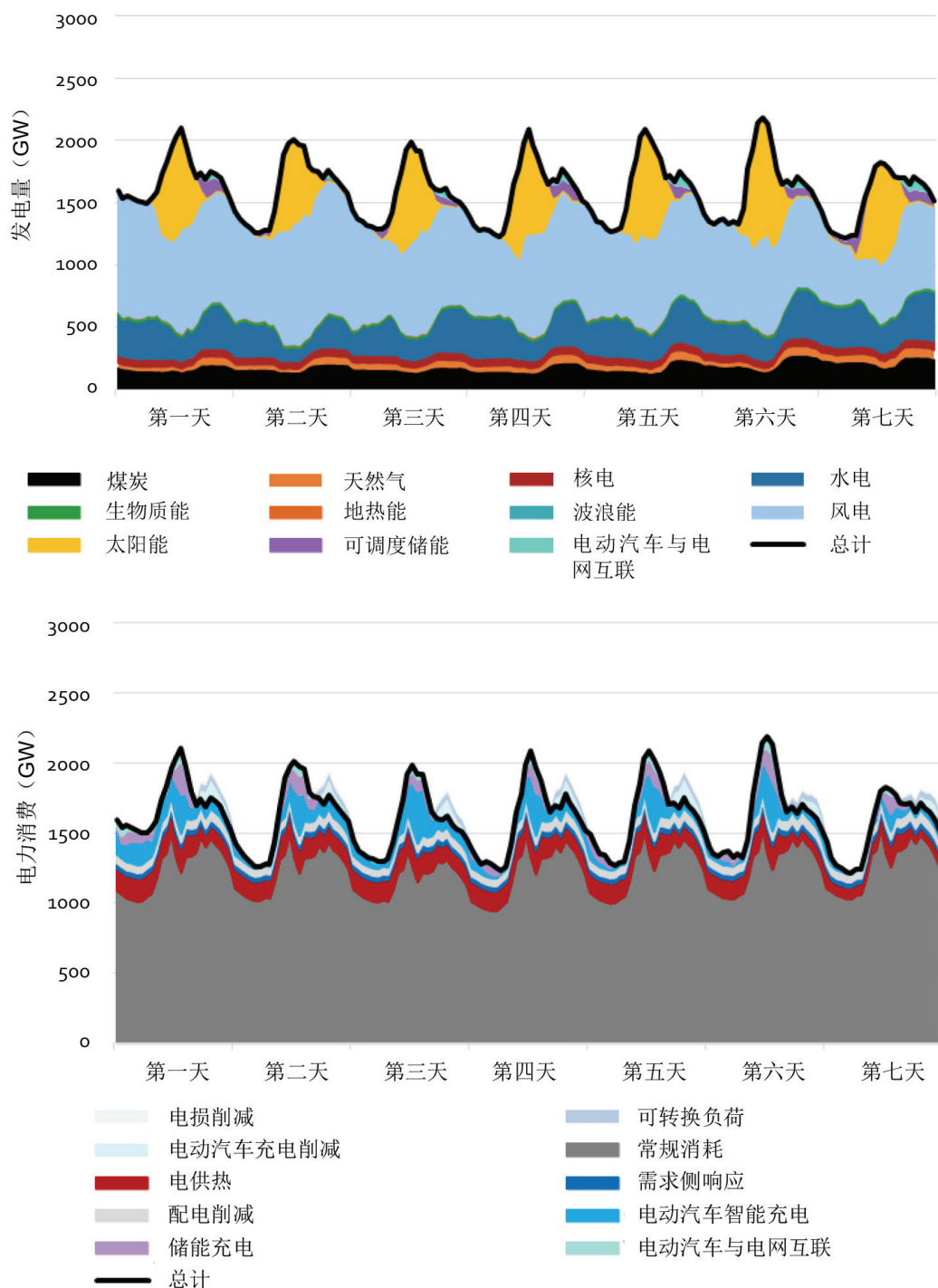
可再生能源电气化所产生的经济价值可取代其他行业内化石燃料消耗所产生的经济价值。同时，应发展电力部门，进一步支持电力部门以灵活的方式对系统平衡成本进行有效维护。

第 14 个五年规划的内容应包括支持技术发展的目标和措施，以获取高效电力和区域供热耦合所产生的效益。应增加单组热泵的库存数量，并应用其取代单组燃煤锅炉和炉灶。截至 2025 年，电动汽车的数量将增至约 3300 万辆，并且其中约 14% 的汽车将是新能源汽车（NEVS），包括电动汽车、氢能汽车和插电式混合动力汽车。应为电动汽车修建基础充电设施，以确保每 10 辆电动汽车可共享 1 个普通充电站，并且每 100 辆电动汽车可共享约 1 个快速充电站。应对电动汽车充电项目和/或零售电价进行变更，从而激发人们开发智能充电系统的积极性。

电气化能源应超过工业最终能源消耗的 42%，工业发展应受到市场价格波动的影响，并且，各方应积极提供具有高成本效益的需求。应首先发展重点能源密集型产业。截至 2025 年，以废钢为原料的电弧炉钢比例将达到 30-32%。

截至第 16 个五年规划末，可变可再生能源的利用率将实现极大突破，并且用于维持系统平衡（包括辅助服务）的传统热能的可用性将减少。智能能源服务、工业和住宅负荷的需求响应以及电动汽车均必须大规模部署。区域供热部门的发展已经达到临界点，大规模热能及供热能力均获替换，其中包括 CHPs 正被热电联产技术代替/补充。现已建成能源互联网，其中，该互联网中的数据和数字化程序均可用于支持负荷、价格、资产位置等综合数据系统的时间确定、调度、调整和供电。随着智能电表以及家庭能源管理系统的引入，上述目标的实现已成为可能。

图 14：2035 年供应（上部）和需求（下部）侧调度和灵活性示例。



### 强化实施下一个时代所需的能源效率目标

能源使用效率对能源转型至关重要。鉴于能源消费与经济增长目标明显脱钩，应扩大清洁能源投资的供应及对其的投资。

应必须在第 14 个五年规划期间确定节能措施，以确保单位国内生产总值的一次能源消耗至少下降 19%。此类措施应支持将能源消费从现有的能源载体向电力过

渡。最终能耗应不得超过 34 亿吨标煤/年，且一次能耗增长不得超过 46.1 亿吨标煤。

能源效率应依照能源使用和供应链两方面来确定。这一目标可以通过改善建筑物的隔热性能和建造技术（例如，截至第 16 个五年规划，电加热器的发热效率将达到 98.1%）以及促进工业使用高效工艺（例如，截至第 16 个五年规划，实现炼钢过程中电弧炉工艺对炼钢生产贡献达 29%）等方式来实现。此外，在制定一次能源消费目标时，应将可再生能源的能效效益纳入考虑范围。截至 2035 年，最终能源消耗应增加至 33.5 亿吨/年左右，而一次能源消耗量应控制在 40.25 亿吨/年以下。

### 严格控制煤炭消费，实现截至 2035 年将煤炭消费量减半

尽管从长远来看，扩大后的国家碳排放交易体系应作为遏制煤炭和碳排放的首选方式实施，但短期内仍需要采取行政措施。

十四五计划煤炭消费量应减少 10%，十五五计划应进一步减少 24%，到十六五计划应减少 37%。通过十四五、十五五和十六五计划，煤炭在一次能源消费量中的占比分别下降至 47%、36%和 23%。通过能源过度来维护能源安全。

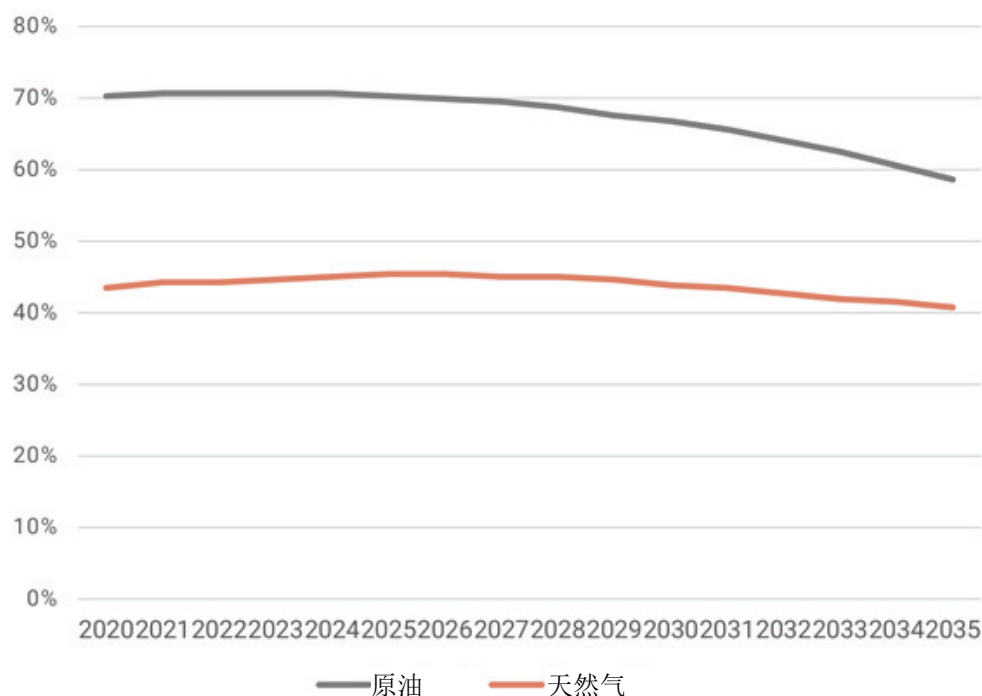
能源转型必须确保下一个经济发展时期安全和稳定的能源燃料。快速增长的石油消费量将会打破稳定，因为石油进口在中国供应中所占的比例越来越大。尽管在“十三五”期间，石油和天然气的绝对进口量将至少增加 8%，但石油的进口比例可以保持稳定。

在能源转型的过程中，必须确保以安全和稳定的能源为燃料，从而推进经济发展。石油消费的快速增长可能会对能源结构的稳定造成破坏，原因在于石油进口在中国石油供应中所占的比例越来越大。“十四五”期间石油和天然气进口绝对值将至少增长 8%，并且石油进口可保持稳定。

如可对环境进行保护，则应且有必要进一步扩大本地天然气的供应。我国政府必须避免经济发展严重依赖进口外国燃料。天然气进口增长近 70%，经预计，“十四五”期间，天然气进口份额将至少增长 6%。此后，随着国内天然气产量的增加和天然气消费增长速度的放缓，消费者转向使用其他清洁能源，因此，天然气的进口份额可能在第 15 个五年规划期间下降。

截至 2035 年，受能源转型影响，石油和天然气的进口份额可能会低于当前值。

图 15：低于 2°C 情景中化石燃料进口份额



### 与能源相关的二氧化碳排放曲线图

尽管地缘政治环境不稳定，且部分时期，政治环境紧张，然而，各方均就能源和气候问题展开积极合作，从而确保各方均可受益。

在第十四个五年计划期间，碳强度水平应下降 27%，最终降至 67 克/元，相较于 2005 年的水平，共累计降低 66%（按实际价值计算）。

在第十四个五年计划期间，应对碳市场进行改革，包括自我调节机制，例如：设置灵活的上限、底价和稳定储备，以防止碳价格崩溃，从而形成非预期的高碳投资信号。应必须对碳配额分配方案进行调整，以避免为（高效）燃煤发电提供间接补贴，从而导致清洁能源被取代。

# 十四五规划的政策重点

第十四个五年规划将于 2021 年至 2025 年实施，该计划将是中国能源转型史上的一个重要分水岭。能源转型及发展为人们带来风险，同样也带来机遇。应特别注意，政策指导必须前后一致，且在政局动荡和政策驱动的能源革命时期，各项政策及措施的实施均应具有连续性。

## 应在这一时期内制定极具挑战但现实的最终目标

实现非化石能源（按实物能源含量）占比达 19%，实际国内生产总值能耗降低 21%，实际国内生产总值二氧化碳排放降低 27%和煤炭消耗降低 11%的目标。

## 十四五期间，需要对电力行业的发展进行明确指导

### 执行综合长期规划

受边界条件影响，例如非化石燃料能源和电力消费增长预测的国家目标，适当的规划模型和标准的规划程序的制定应该有助于帮助评估和协调基础设施、电源和灵活性投资的发展。如果已经确定明确的长期愿景，可以通过建立模型的方式来考察潜在的风险和不确定性，并可通过完善政策框架的方式来降低风险和不确定性。如果将短期目标和综合长期战略结合，可以更好地实现年度行动计划的长期愿景，并可确保该长期愿景不会受到短期事件的不利影响。如果行政审批程序已被电力市场驱动的激励机制所取代，则综合性长期规划过程将更具重要性。欧洲一体化规划过程的经验可以作为中国能源规划过程的灵感来源。

### 优先考虑电力系统的灵活性

灵活性是促进可再生电力在电力系统中成功集成的一个重要因素。政策设计对系统的灵活性而言至关重要。电力市场的发展旨在为发现和更好地利用现有资源提供灵活服务。可通过提供补偿的方式，吸引灵活性投资，并确保投资的灵活及稳定。

随着化石燃料工厂运营时间不足等问题的愈发严重，应确保此类工厂应集中精力实现灵活生产，而低效和不清洁的工厂应该以有序的方式逐步淘汰。

### 继续为可再生能源整合及创造良好的市场环境

必须继续完善和巩固现有的现货市场，重点综合利用现有电力系统中的灵活资源，更好地整合可再生能源，其中包括输电、热电厂和水电站、工业需求响应和储能等。更好地利用强制性可再生能源消费机制<sup>17</sup>，是保证可再生能源在电力消费中占有一定份额并激励可再生能源消费的关键。必须加强和扩大国家碳市场，以更好地反映碳排放的外部成本。此外，在电力体制改革的过程中，应建立有效的行政监察制度，并应维护市场规则。

### 改善电网整合并利用可再生能源，以促进风能和太阳能的发展

为促进风能和太阳能的稳定发展，电网公司和第三方机构应每年发表一次五年电力需求预测，预测内容包括新吸收风能和太阳能输出的预测值，此外，电网公司和第三方机构应建立相关机制，定期发布预测结果，并应以该结果为基础编制风力和光伏电能发展的政策。应通过市场竞争性的建设配额分配，指导新型风能和太阳能项目的开展时间和地点。当中国电力市场的发展走向成熟时，风电和光伏发电项目的执行将更多地依赖于市场力量。

随着风能和太阳能与煤炭的竞争日益激烈，政策制定者可能暂时需要限制特定地区使用新型风能和光伏发电，以防止出现新的电网瓶颈。政策制定者必须对可再生能源投资市场和行业中出现的停摆局面的风险进行管理。应制定相关政策，防止电网和市场制约可再生能源的发展，从而确保电网瓶颈不会导致可再生能源产业崩溃。此外，还应制定相关政策，支持中国能源向清洁能源转型，确保制造业健康发展，同时保证电力需求的整合和可再生能源产出的吸收。

### 避免新增煤电产能

新增煤电产能（使用寿命至少为 40 年）将不利于能源转型，并将为竞争激烈的电力市场带来投资风险。应尽量避免或限制对新煤炭产能投资。应加快淘汰老旧低效燃煤电厂的制度机制的建设。限制煤炭在能源发电结构中的比重，对于减少二氧化碳排放和加强电力供应结构而言至关重要，特别是在“第 14 个五年规划”期间，可再生能源的成本竞争力刚刚开始显现，碳价格的吸引力较弱。

## 十四五规划是可再生能源政策改革的关键

“十四五规划”初期，陆上风电和光伏发电产业相对成熟，市场扩展迅速，生产规模较大，因此，网上电价模式将撤销。

### 业内预计，“十四五规划”初期光伏发电成本将与煤电发电成本持平

2019 年，燃煤发电电价与陆上风电电价加权平均差价分别为 0.1 元/千瓦时和 0.14 元/千瓦时，截至 2021 年，陆上风电新增项目的网上电价将全部撤销。2019 年，光伏能源竞卖项目的平均补贴仅为 0.065 元/千瓦时。

### 制定新政策，支持利用可再生能源，引导可再生能源产业发展。

予以十年的上网电价和补贴补偿，支持可再生能源的部署，制定相关政策，支持“十四五规划”期间实现能源利用模式转变。尽管陆上风电和光伏发电的补贴将在十四五规划期间逐步取消，但仍有必要通过改善投资和利用环境以及加强监管和监测系统等方式，制定新的机制和条例，继续降低能源利用成本。

需要制定新的支持政策，继续支持现有可再生能源的部署和运行，并指导可再生能源产业的发展。这些变化与大规模电力市场改革内容相一致，而“十四五规划”期间正是改革的关键时期。监管转型的挑战具有多面性，并且在设计和支持可再生能源发展等方面的重要性均不确定。

### 补贴的取消并不意味着经济政策的失效

非技术成本的降低和免除仍然至关重要。根据相关国际经验，由于可再生能源的成本较低，且可再生能源可参与市场竞争，所有与非技术性成本有关的经济政策，如监管费用、营销费用、土地使用费和融资费用等的重要性更加凸显。例如，2016 年，在一次电力拍卖中，阿联酋国某一光伏发电项目的投标价格达每千瓦时 0.0242 美元，而这一价格仅可在国家的土地税减免政策、消费税减免政策、长期低息贷款、夏季关税政策的支持下才可实现。

国家能源局于 2018 年提出 12 项旨在减轻可再生能源企业监管成本负担的措施，此类措施应持续并加强执行，以降低非技术成本，其中特别是不合理的非技术成本。就土地政策而言，部分地区仍存在违反国家规定或收取不合理的可再生能源资源费和城市土地使用税的现象。因此，应明确有关可再生能源开发的土地利用和土地成本基本原则，全面落实国家政策。

### 从长期来看，对可再生能源作出消费保证仍然至关重要

我国政府已于 2019 年 5 月发布最新的可再生能源电力消费保障政策。该政策已对强制性消费目标 and 责任，以及指导可再生能源电力消费的指标等进行明确规定。该政策包括短期和长期促进可再生能源供需等相关内容。如果风力发电和光伏发电的价格已跌破目前的煤炭上网电价或补贴价款，可再生能源的利用将成为影响风力发电和太阳能发电的最重要因素。为满足中国继续建设风能和太阳能设施，从而实现国家清

清洁能源发展的长期目标，应确保可再生能源需求责任稳定或随时间的推移而增长，以便为可再生能源的可持续增长创造空间。

### 部分可再生能源的发展仍需政策扶持

由于可再生能源产业不断发展且具有多样性，应继续支持除风能和光伏能外的其他可再生能源的发展，如生物质、CSP、地热能、海洋能、电池储能以及氢能等。对于农林废弃物的生物质发电，原材料费用应至少占发电成本的三分之二。应通过教育，实行农业转移支付和发放生物质能采购补贴等方式来禁止秸秆燃烧，并且，应对生物质能发电的发展予以支持。对于大型太阳能热电厂，如公用设施中的聚光太阳能，尽管其仍处于工业发展的初级阶段，但其仍可用于能量存储且极具灵活性，此现象表明，此类大型太阳能热电厂将在未来可再生能源系统的发展过程中发挥较大作用。针对 CSP 技术，应对新项目制定有竞争力的定价和年度安装目标，以确保其持续发展。应要求电网公司签订购电协议，确保最终用户可通过零售电价支付成本溢价，或可通过可再生能源发展基金提供差价等信息。如果此类技术已参与电力市场竞争，则相关方可根据合同利差对此进行安排。

## 可再生能源参与电力市场竞争

### 为实现成本效益高的 VRE 集成，需要建立动态电力系统

中国的电力市场应该能够通过有效的价格信号和市场服务来调动现有的灵活性，并通过市场设计引导投资带来弹性资源。

电力系统的结构应能有效地进行调度，以便在不影响系统安全的情况下处理波动和不确定性。这就需要整合市场运作，深入参与现货、平衡和辅助服务市场；以及一个无缝连接省、区和国家资源的过程。

一个明确的市场设计目标模型将会使未来电力系统的运行成为可能。

图 16：区域现货电力市场建立时间表



### 市场设计 应包括可再生能源逐步和参与市场

根据国际经验和我国电力体制改革的方向，可再生能源参与电力市场化将会是一个渐进的过程。在早期，可再生能源可以通过不报价的方式参与电力市场的生产曲线竞争，并且作为价格接受者在市场清算中处于优先地位，实现可再生能源消费的优先性。在现货市场成熟稳定的情况下，新增可再生能源项目将可能通过量价并举的方式参与电力市场。

### 可再生能源市场的参与形式应多种多样

对于新建项目，可参照国际经验和国内需求，通过与用电单位或贸易公司签订购电协议、中长期合同、政府或贸易公司竞价、直接投资等方式，多元化参与电力市场参与现货市场，并结合上述模式。

对以往以上网电价为基准电价、竞价电价或含补贴电价并受益于全面购电保障政策的现有项目，中国应鼓励其参与电力市场。在将上网电价模型转换为市场溢价模型或差价合约（CFD）模型之前，应首先确立先决条件。此类先决条件应包括确定现货市场为一个运作良好的市场，并为此类合约的结算设立一个稳健的参考价格。

### 可再生能源不必要参与不完善的电力市场上的非理性竞争

在市场运行良好且有效竞争已实现之前，风电和光伏等可再生能源均无需参与电力市场竞争，此类参与无任何益处。在这种情况下，建议一段时间内对风电和光伏继续执行基准电价平价定价或基于拍卖的定价政策。在 2019 年，中国实施了新的光伏发电竞价体系。我们的分析表明，该体系的主要元素，如竞争性配置、国内排名、修

正收费和预警管理等，在完全取消风电和光伏补贴后也同样适用。通过拍卖或招标的方式获得的上网电价将低于煤电价格（2019 年 8 月，招标项目光伏发电最终投标价格低于当地相应煤炭基准价格）。

## 清洁供暖以及区域供暖的主要作用

到 2020 年，区域供暖将占全部供暖需求的 50%左右，达到约 2300TWh。由于能源消耗巨大、包括减少污染在内的脱碳方案成本较低以及在可再生电力整合方面提供灵活性的潜力较高，中国供暖行业的改革备受关注。

### 优先发展和规划可再生能源供暖

在连接以及利用城市供暖网络时，可再生能源的使用应先于其他能源的使用。区域能源转型示范工程应包括可再生能源供暖目标，将可再生能源供暖纳入区域统一规划，并且将可再生能源供暖作为一个指标，纳入区域生态文明建设评估系统中。太阳能、生物质能和地热能技术应列入空气污染、节能减排的首选技术目录中。

提出国家和重点省份的可再生能源发展的总体目标。在城市新区施工、旧城重建、工业园(区)施工的规划和建设过程中，我国应将区域能源规划与城市发展规划相结合，租金可再生能源和供暖的同步发展并将其摆在优先发展的位置。

### 提高可再生能源供暖的市场竞争力

应取消使用供暖的限制并且鼓励民营企业进入清洁采暖领域，此外，该部门应同时引进竞争性招标等市场导向方式。对于无法享受区域供暖的用户，中国应通过用户投资和政府补贴相结合的方式，促进分散式可再生能源供暖的发展。

### 支持技术开发和示范

应大力支持新系统的研究和设计优化，包括可再生能源互补系统，该系统将整合可再生能源与常规能源系统，并且将可再生能源供暖与其他能源和贮备相结合。

中国应结合电力体制改革和电力市场建设建立一个信息平台，以协调能量流以及其他电力系统网络和热量网络上的数据。

### 加强可再生能源供暖工程的环境监管

对于可能影响地表水、地下水、土壤或空气质量的工程，中国应在可再生能源供暖工程启动前、中、后完善整体监管制度。其中包括地热能开发利用监测，包括地热能资源勘查、开发、利用和环境状况的实时监测和动态评价。监管机构应全面落实地热尾水回注要求，并且保证抽注平衡。制定生物质供暖技术标准，减少大型生物质锅炉氮氧化物排放。我国应改善标准化、系列化、成套设备制造，并且制定生物质供暖工程设计、煤质产品、成型设备、生物质锅炉及排放标准。

### 完善可再生供热标准体系

加强可再生能源供暖产品检测认证体系建设，建立第三方检测认证机构，并且建立健全可再生能源供暖设备和工程服务质量认证体系。

## 可再生能源气体

### 可再生能源气体可以取代化石气体，同时又能减少甲烷的排放

该行业的发展需要跨部门、跨领域的协调管理，特别是上游原材料的整理整合以及可再生能源气体的推广和消费。

### 建立沼气产业协同管理体系

明确和协调沼气行业的领导当局和部门对于财政、发展和改革委员会、农业、环保、能源、住房建设、税务、质检等多个部门的职责。共同制定行业目标、规划、政策和标准。

### 加强监督和管理

在工程竣工后，专业的第三方评估机构应根据工程可行性报告、实施计划和工程运营影响进行工程评估。建立综合考虑环境影响、技术进步、可持续经营能力和创新的项目分级评估机制，并且实行补贴和税收政策相结合的分级，确保工程建设质量以及实际生产的影响。对于此类工程也应适用黑名单或信用制度，以对有多个无效工程记录的公司进行公布和处罚。

### 应利用民间资本，参与建立农业有机废弃物的收集、贮存和运输体系

政策制定者可以建立投资补贴、共同股权投资、长期承购合同和公私合作关系。应鼓励创新实施新型生物制品相关政策，创新社会私人投资与政府投资在废物监管、禁止秸秆焚烧、污水和废物处理收费以及畜禽养殖场环境税等方面的整合方式。

应完善税收优惠政策，将农业有机废物收集处理服务纳入增值税退税和边际宽免范围中。

### 燃气网络企业应当按照可再生能源规定全面收购沼气

完善农村供气网络建设扶持政策，确保生物气和沼气发电以及中央供气在市场上能够公平竞争。

## 生物液体燃料

### 生物燃料-乙醇的生产应与合理的消费率相匹配

相关官员指出，截至 2020 年，我国政府需要在全国范围内推广使用生物燃料-乙醇。<sup>18</sup>为确保生物燃料-乙醇的原材料的稳定供应，决策者应根据避免生物燃料-乙醇

生产商无法满足需求的情况制定相关生产和消费政策。

### 应加大非粮食原料生物燃料-乙醇的研发力度

由于原料的有限性，应重点研究并开发利用非粮食原料生产生物燃料-乙醇，并应在全国范围内推广及使用生物燃料-乙醇。

应加强原材料管理，并规范生物柴油上游产业体系。我国政府迫切需要规范地沟油等生物柴油上游原料的收集、转运、处置和监管程序。我国政府应建立长效管理机制，并应制定地方立法并加强行业管理体制的规范，以确保地沟油等原材料的供应安全，从而为生物柴油的生产提供原料保障。

- 
- <sup>1</sup> “习近平：决胜全面建成小康社会 夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利——在中国共产党第十九次全国代表大会上的报告,” 国务院, 2017 年 10 月 27 日, 网址: [http://www.gov.cn/zhuanli/2017-10/27/content\\_5234876.htm](http://www.gov.cn/zhuanli/2017-10/27/content_5234876.htm)。
- <sup>2</sup> Si Jiming, Qiu Bo, Zhang Xiaofeng, “能源环境政策: 2018 全回顾 2019 抢“鲜”看!”, 华能技术经济研究院, 2019 年 4 月 12 日, 网址: <http://news.bjx.com.cn/html/20190412/974542.shtml>。
- <sup>3</sup> “2018 国民经济和社会发展统计公报,” 国家统计局, 2019 年 2 月 28 日, 网址: [http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201902/t20190228\\_1651265.html](http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201902/t20190228_1651265.html)。
- <sup>4</sup> 2018 年煤炭消费: “《2018 煤炭行业发展年度报告》发布: 电力行业全年耗煤 21 亿吨左右,” 中国煤炭协会, 2019 年 3 月 15 日, 网址: <http://news.bjx.com.cn/html/20190315/969088.shtml>; 2017 年煤炭消费: “中国能源统计年鉴-2017,” 中国国家统计局, 2018 年 6 月 13 日, 第 74 页。
- <sup>5</sup> “2018 国民经济和社会发展统计公报,” 国家统计局, 2019 年 2 月 28 日, 网址: [http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201902/t20190228\\_1651265.html](http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201902/t20190228_1651265.html)。
- <sup>6</sup> “2018 国民经济和社会发展统计公报,” 国家统计局, 2019 年 2 月 28 日, 网址: [http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201902/t20190228\\_1651265.html](http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201902/t20190228_1651265.html)。
- <sup>7</sup> “中国能源发展报告 2018,” 中国电力规划工程研究院, 2019 年 4 月 23 日, 第 6 页。
- <sup>8</sup> “2018 年世界能源投资”, 国际能源署, 2018 年 7 月, 网址: [iea.org/wei2018](http://iea.org/wei2018)。
- <sup>9</sup> “2019 年世界能源投资”, 国际能源署, 2019 年 5 月, 网址: [iea.org/wei2019](http://iea.org/wei2019)。
- <sup>10</sup> 《国家发展和改革委员会关于加快 2018 年天然气基础设施互联互通重点项目有关事项的通知》, 华尔街故事报, 2018 年 6 月 19 日, 网址: <https://wallstreetcn.com/articles/3340448>。
- <sup>11</sup> “中汽协: 2018 全年汽车销量自 1990 年来首次年度下滑,” sina.com, 2019 年 1 月 14 日, 网址: <http://finance.sina.com.cn/chanjing/cywx/2019-01-14/doc-ihqfskcn6997845.shtml>。
- <sup>12</sup> “董扬: 去年中国电动车销量占全球 62.5%你还认为电动车不行么?” sohu.com, 2019 年 4 月 1 日, 网址: [https://www.sohu.com/a/305260389\\_680702](https://www.sohu.com/a/305260389_680702)。
- <sup>13</sup> “2018 年中国储能行业细分市场现状及发展前景分析 抽水储能仍将是未来发展重点,” 未来产业研究所, 2019 年 7 月 23 日, 网址: <https://www.qianzhan.com/analyst/detail/220/190404-54463c2a.html>。
- <sup>14</sup> Zhang Yousheng, Ga Hu, Liu Jian, “我国新能源技术进步超过预期 推动新能源发展步入新阶段,” 国家发改委能源研究所, 2019 年 7 月。
- <sup>15</sup> “中国气象爱好者, 2019 年 5 月 12 日, 网址: <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1632953003474884541&wfr=spider&for=pc>。
- <sup>16</sup> “国务院关于印发打赢蓝天保卫战三年行动计划的通知, 国发〔2018〕22 号,” 国务院, 2018 年 6 月 27 日, 网址: [http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-07/03/content\\_5303158.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-07/03/content_5303158.htm)。
- <sup>17</sup> “国家发展改革委办公厅国家能源局综合司关于开展电力现货市场建设试点工作的通知, 发改办能源〔2017〕1453 号,” 国家发改委、国家能源局, 2017 年 8 月 28 日, 网址: [http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201709/t20170905\\_860117.html](http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201709/t20170905_860117.html)。
- <sup>18</sup> “关于建立健全可再生能源电力消纳保障机制的通知, 发改能源〔2019〕807 号,” 国家发改委、国家能源局, 2019 年 5 月 10 日, 网址: [http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201905/t20190515\\_936170.html](http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201905/t20190515_936170.html)。
- <sup>19</sup> 《关于扩大生物燃料乙醇生产和推广车用乙醇汽油的实施方案》(发改能源〔2017〕1508 号)和《全国生物燃料乙醇产业总体布局规划》(发改能源〔2018〕1271 号)