



中国电力圆桌  
POWER SECTOR ROUNDTABLE



专题报告

# 构建新型电力系统研究 报告摘要

---

中国电力圆桌项目课题组

2022年8月

## 电力圆桌介绍

本课题为中国能源研究会“中国电力圆桌”项目下 2021-2022 年重点研究课题，由自然资源保护协会 (NRDC) 资助。本课题于 2021 年 10 月正式开题，共计历时 10 个月，课题研究开展以来，在“中国电力圆桌”项目下举办月度“新型电力系统沙龙”，建立了长效研究机制。本课题的总体目标是通过梳理现阶段电力行业的发展现状，构建以新能源为主体，协调部署需求侧电力资源的新型电力系统，以支撑电力行业政策建议和体制改革。



## 项目课题组



中国能源研究会于 1981 年 1 月成立，是由从事能源科学技术的相关企事业单位、社会团体和科技工作者自愿结成的全国性、学术性、非营利性社会组织。接受业务主管单位中国科学技术协会、社团登记管理机关民政部的业务指导和监督管理。

中国能源研究会坚持“研究、咨询、交流、服务”的宗旨，团结能源领域的科技工作者，发挥能源科技高端智库的作用，服务能源科技进步和体制机制创新，积极开展能源领域的决策咨询服务和重大政策与课题研究，以及能源科技评估、团体标准制定、科学普及等工作，推动国内外的学术交流与合作，成为国家能源管理部门与企业联系的桥梁和纽带，是中国能源领域最具影响力的学术团体之一。中国能源研究会是国家能源局首批 16 家研究咨询基地之一，为政府决策、部署能源工作发挥了积极作用。



自然资源保护协会 (NRDC) 是一家国际公益环保组织，成立于 1970 年。NRDC 拥有 700 多名员工，以科学、法律、政策方面的专家为主力。NRDC 自上个世纪九十年代起在中国开展环保工作，中国项目现有成员 40 多名。NRDC 主要通过开展政策研究，介绍和展示最佳实践，以及提供专业支持等方式，促进中国的绿色发展、循环发展和低碳发展。NRDC 在北京市民政局注册并设立北京代表处，业务主管部门为国家林业和草原局。更多信息，请访问：[www.nrdc.cn](http://www.nrdc.cn)。

# 构建新型电力系统研究 报告摘要

Research on the Construction of a New  
Power System  
Executive Summary

报告撰写单位

中国能源研究会能源政策研究中心

2022年8月

# 目 录

执行摘要 .....	01
1. 实现“双碳”目标要求重构能源体系 .....	03
2. 能源体系重构：能源系统电气化 + 电力系统低碳化.....	06
3. 新型电力系统的五大特征.....	08
3.1 以新能源为主体 .....	08
3.2 具有高度灵活性以适应风光电的间歇性和波动性 .....	09
3.3 电力电子化大大降低系统的转动惯量 .....	09
3.4 集中式与分布式相结合 .....	10
3.5 高度数字化、智能化、互联化 .....	10
4. 合理把握能源转型的节奏：“五四三 45678” .....	11
5. 构建新型电力系统分“三步走” .....	13
6. 新型电力系统的战略重点.....	15
6.1 大力发展风电、太阳能发电 .....	15
6.2 积极稳妥发展水电、生物质发电.....	16
6.3 安全高效发展核电.....	16
6.4 适应性发展煤电、气电 .....	16
6.5 多措并举提升系统调节能力 .....	17
6.6 加快培育分布式源网荷储一体化发展新业态新模式 .....	17
6.7 加快推进数字化转型和构建能源互联网.....	17

# 执行摘要

自习近平主席宣布中国碳排放将在 2030 年之前达到峰值，并努力在 2060 年之前实现碳中和目标后，电力行业的发展路径受到广泛的关注和讨论。2021 年 3 月，中共中央财经委员会进一步提出要深化电力体制改革，建立以可再生能源为核心的新型电力系统。新型电力系统的构建将改变我国以化石能源为主的能源结构，是“双碳”目标实现的重要路径；是推动电力行业的高质量发展的迫切需要；是贯彻新发展理念、构建新发展格局、推动高质量发展的要求。本报告系统探究了双碳目标下新型电力系统构建的本质，梳理了新型电力系统的关键特征，并提出未来构建新型电力系统分“三步走”的路径以及战略重点。

本报告首先探讨了能源结构重构的两种主要方式：减少能源消费总量和调整能源消费结构。并运用情景分析法，基于消费总量和能源结构调整两个维度，情景分析了能源消费二氧化碳减排路径。

其次，提出了新型电力系统构建的本质是承载高水平电气化和实现高水平低碳化。预计到 2060 年，在生产侧一次能源通过电能转化比重会由 2020 年 45% 提高到 85% 以上，相应的终端能源消费也从目前的 26% 提高到 70% 左右，电能将逐步成为终端能源主体。

然后，系统梳理新型电力系统的五大特征：以新能源为主体，具有高度灵活性以适应风光电的间歇性和波动性，电力电子化大大降低系统的转动惯量，集中式与分布式相结合，高度数字化、智能化、互联化。

本报告提出“五四三 45678”的能源转型节奏。“五四三”是指到 2025 年，非化石

能源消费比重达到 1/5，到 2030 年为 1/4，到 2035 年为 1/3。“45678”是指 2035 年以后，非化石能源消费比重每五年平均提高 10 个百分点左右，从 2035 年的 30% 多、2040 年的 40% 多，2045 年的 50% 多，2050 年的 60% 多，2055 年的 70% 多，到 2060 年 85% 左右。

基于此，提出新型电力系统的构建分“三步走”的方案。以 2030 年、2040 年、2060 年为战略目标的重要时间节点，“非化石能源发电比重”、“风光能源发电占比”及“煤电发电占比”为主要依据，分别预测不同阶段电力系统的能源结构：2020-2030 年仍以煤电发电为主，新能源发电快速发展。2030-2040 年初步形成以新能源为主体的新型电力系统，煤电逐渐退出主导地位，非化石能源发电逐渐成为主体能源。2040-2060 年新型电力系统逐步成熟，新能源主体地位不断加强，煤电加快退出。

最后提出了构建新型电力系统的战略重点：大力发展风电、太阳能发电，积极稳妥发展水电、生物质发电，安全高效发展核电，适应性发展煤电、气电，多措并举提升系统调节能力，加快培育分布式源网荷储一体化发展新业态新模式，加快推进数字化转型和构建能源互联网。

# 实现“双碳”目标要求 重构能源体系

现阶段，我国用能需求高，能源结构以煤为主，使得碳排放总量和强度“双高”。2020年全国能源系统相关CO<sub>2</sub>排放约113亿吨（含工业过程排放）<sup>1</sup>，其中，煤炭、石油、天然气对应碳排放占比分别为66%，16%，6%。为促进“双碳”目标达成，需重构能源体系。

探讨能源转型框架路线图需要从二氧化碳排放来源、人为消除方式方法等方面综合考量分析。二氧化碳排放的人为消除主要包括碳汇、碳捕捉与封存。就整个能源系统而言，减少二氧化碳排放两种方式**为减少能源消费总量、调整能源消费结构**<sup>2</sup>。

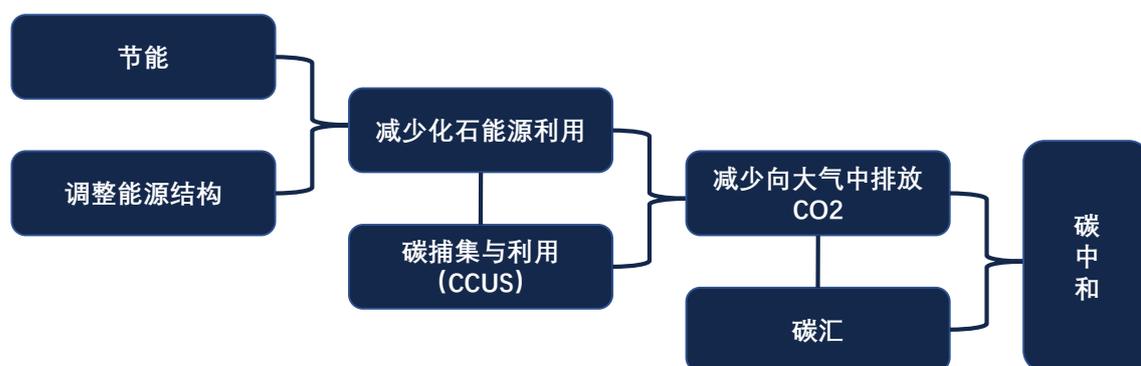


图1 碳中和实现路径

1 魏一鸣. 中国碳达峰碳中和时间表与路线图研究 [J/OL]. 北京理工大学学报 (社会科学版).2022

2 林卫斌, 吴嘉仪. 碳中和愿景下中国能源转型的三大趋势 [J]. 价格理论与实践, 2021(07):21-23+114. DOI:10.19851/j.cnki.cn11-1010/f.2021.07.89.

运用情景分析法，根据消费总量和能源结构设定能源转型情景。消费总量方面，设定为高能耗情景和低能耗两种情景，预计 2060 年能源消费总量为 50-55 亿吨标准煤。能源结构方面，设定了两种不同非化石能源消费比重的能源消费结构情景：高比重情景和低比重情景。预计 2060 年非化石能源占比 80%-90%。组成了四种未来能源转型和碳减排情景：一是低能耗和非化石能源低比重情景，二是高能耗 - 低比重情景，三是高能耗 - 高比重情景，四是低能耗 - 高比重情景。

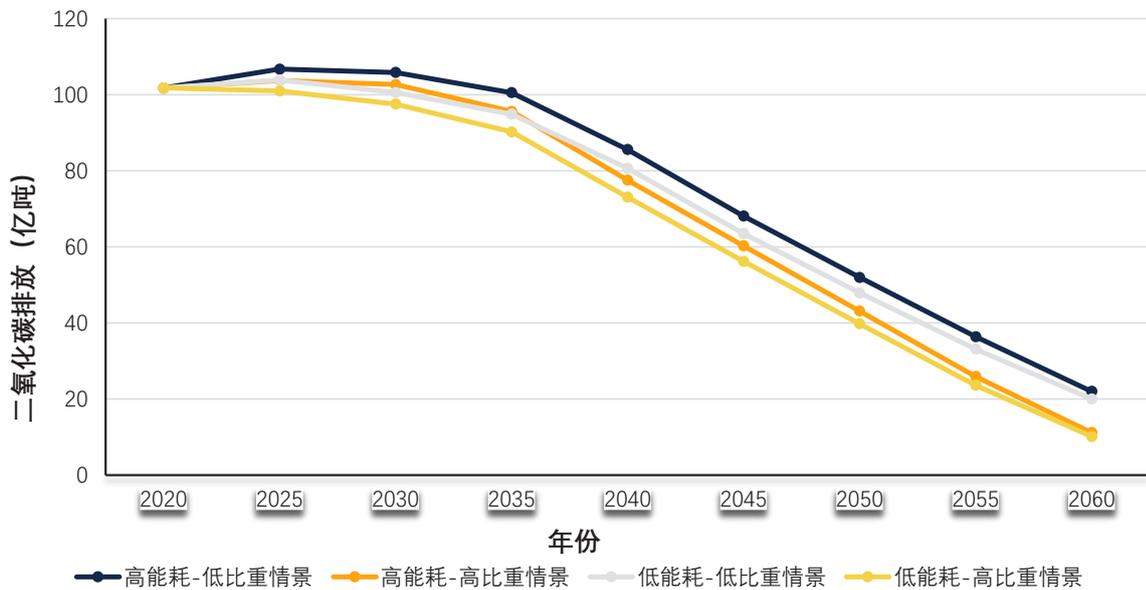


图 2 四种情景下的能源消费碳减排路径

二氧化碳减排速度最快的是低能耗 - 高比重情景，其次是高能耗 - 高比重情景，再次是低能耗 - 低比重情景，最后是高能耗 - 低比重情景。上述四种情景均能够满足 2030 年前碳达峰和 2060 年前碳中和的要求。在基准情景下，2060 年仍然有 16 亿吨的碳排放量。考虑 CCUS 技术运用后，能源利用向大气中排放的二氧化碳有望减少到 10 亿吨以内。而在碳中和目标设定情景中的低能耗 - 高比重情景下，2060 年碳排放量能够降至 10-22 亿吨。因此，通过能源消费量和能源消费结构来重构能源体系的可行性较高。

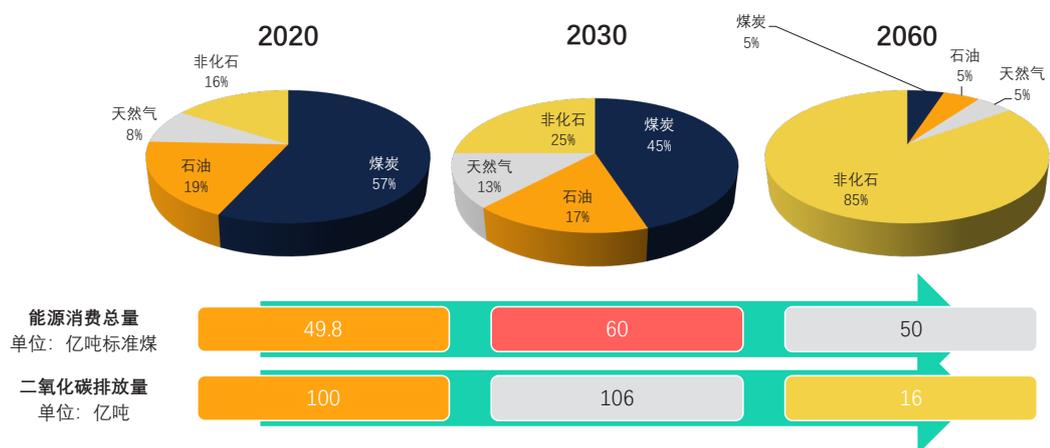


图3 基准情景下的能源转型情景

# 2 能源体系重构：能源系统 电气化+电力系统低碳化

重构能源体系是实现“双碳”目标的必然要求，而构建新型电力系统是“双碳”目标导向下能源体系重构的核心。构建新型电力系统一方面是终端能源消费部门可以通过电能替代来减少温室气体的排放，另一方面是可以通过非化石能源对传统化石能源的替代来实现低碳排放。由于大部分非化石能源是通过电能转化利用，实施电能替代的终端部门用能方式将提升进一步电气化水平。同时，加大对非化石能源的利用又会促进电力系统低碳化。因此，新型电力系统构建的本质是承载高水平电气化和实现高水平低碳化。

新型电力系统的本质是能源系统电气化水平的提升。《“十四五”可再生能源发展规划》中提到，到2025年，非电利用规模要达到6000万吨标准煤以上，非化石能源电能转化比重将达到95%左右，未来的能源更多是要通过转化为电能加以利用。随着生产侧非化石能源大比例接入电力系统，电气化水平在能源生产侧主要体现为一次能源通过电能转化的比重，即一次能源用于发电的比重。由于加强终端部门电能替代将可以有效削减煤炭等化石能源消费从而减少二氧化碳排放，电气化水平在消费侧主要体现为电能占终端能源消费的比重。预计到2060年，在生产侧一次能源通过电能转化比重会由2020年45%提高到85%以上，相应的终端能源消费也从目前的26%提高到70%左右，电能将逐步成为终端能源主体。

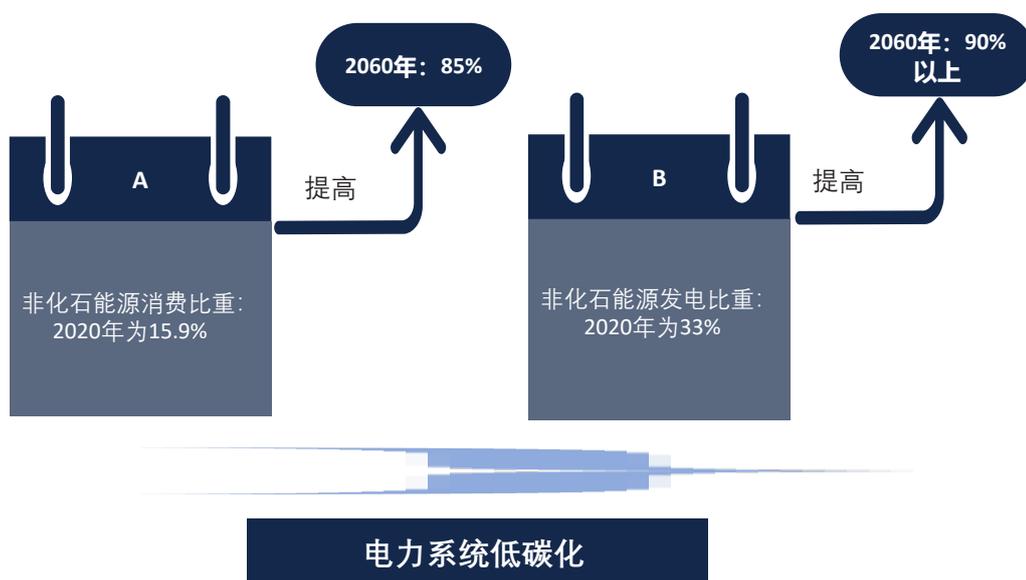


图 4 电力系统低碳化

构建新型电力系统应将发展非化石能源放在首要位置，提高非化石能源消费比重和发电比重，进而实现电力系统低碳化。预计到2060年，非化石能源消费比重将从2020年的15.9%提高到85%左右，对应的非化石能源发电比重将从2020年的33%上升到90%以上；相应地，到2060年，非化石能源装机容量占比将达到90%左右，非化石能源发电量将达到14万亿千瓦时。随着非化石能源消费比重的提升，非化石能源电能转化比重也将提高，非化石能源会逐步取代化石能源成为支撑电力系统的主要能源。

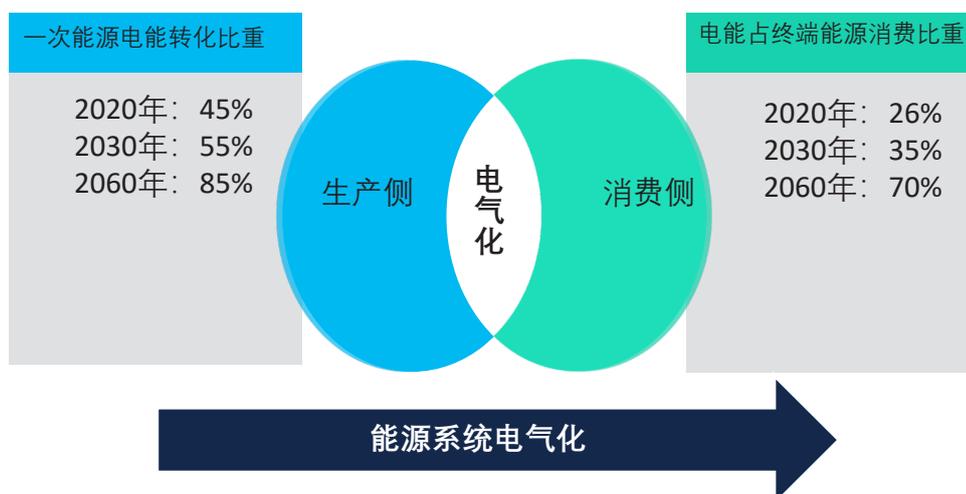


图 5 能源系统电气化

# 3 新型电力系统的 五大特征

碳达峰、碳中和目标下低碳、零碳的非化石能源将替代传统高碳能源成为电力系统能量供应的主体。新型电力系统具有清洁低碳、安全可控、灵活高效、智能友好、开放互动五大特征。更通俗地说，新型电力系统将以新能源为主体，具有高度灵活性以适应风光电的间歇性和波动性，电力电子化大大降低系统的转动惯量，集中式与分布式相结合，高度数字化、智能化、互联化。

## 3.1 以新能源为主体

以新能源为主体是新型电力系统最核心的特征。碳中和、碳达峰目标形成的低碳约束要求电力系统的能源供应体系由传统化石能源为主体向非化石能源为主体转变。然而，水电、核电、生物质发电和地热发电受资源环境等因素的约束，未来开发规模相对有限，无法成为电能供应的主体。风能、太阳能等新能源由于资源丰富、利用技术相对成熟将成为新型电力系统能量供应的主体。预计到 2060 年新能源发电量将占总发电量的约 65% 以上，装机量将占总装机量的约 80% 以上。以新能源为主体是新型电力系统最核心的特征。

### 3.2 具有高度灵活性以适应风光电的间歇性和波动性

风光等新能源发电间歇性、波动性的特征促使新型电力系统波动性、不稳定性增强。为保证新型电力系统安全稳定运行，新型电力系统将是可平抑出力波动，具备充足调峰调频能力，可有效应对电源、电网及负荷波动性、不稳定性的高度灵活的电力系统。新型电力系统的高度灵活性主要体现在以下几个方面：具有“风光水火储”一体化的、多能互补的能源供应系统，具有较强预测能力和平衡调控能力的调度系统，各类储能的广泛应用。

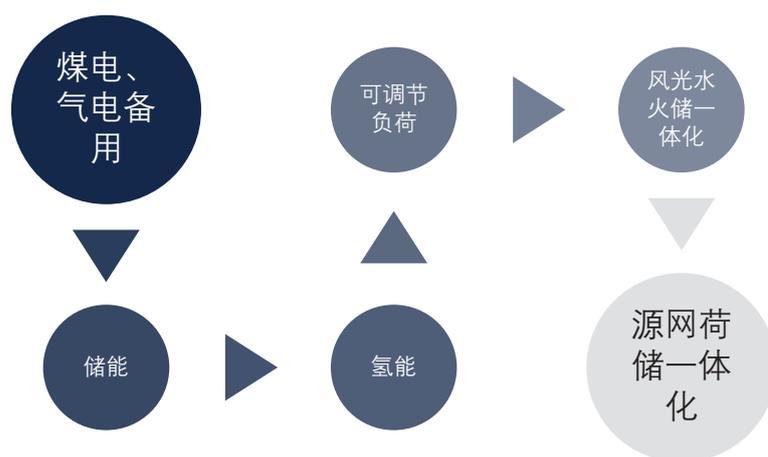


图 6 新型电力系统灵活性体现

### 3.3 电力电子化大大降低系统的转动惯量

在新能源替代和新型负荷等多重内外部需求的共同驱动下，电力电子技术将在新型电力系统的发、输、变、配、用各环节得到更加广泛的应用。特别是发电侧以传统机械电磁元件为主转向以电力电子元件为主，这将形成低转动惯量的新型电力系统。由于低转动惯量系统的抗干扰能力较弱，更易发生的功率扰动与电力安全事故将威胁新型电力系统的平衡稳定运行。

### 3.4 集中式与分布式相结合

考虑到风能、太阳能资源分散性的特征，为最大程度开发和利用新能源，集中式与分布式相互结合、协同发展将成为新型电力系统的重要特征。该特征主要体现在两个方面，分别是集中式电源和分布式电源相结合，主干电网和区域电网、微网相结合。新能源集散并举开发利用依赖于源网荷储一体化。源网荷储一体化模式下，新型电力系统将通过源网协调、网荷互动、网储互动、源荷互动等多种交互方式，整合电源侧、电网侧、负荷侧资源，提升能源清洁利用水平和电力系统运行效率。

### 3.5 高度数字化、智能化、互联化

新型电力系统需要对集散并举开发利用模式下数量激增的能源供应和负荷主体进行实时状态感知，并对海量的交互信息进行采集和处理。为提升电力调控系统的信息采集、感知、处理能力，满足新型电力系统的综合调控需求，新型电力系统将高度数字化、智能化、互联化。依托高精度分布式传感器网络技术，大数据、云计算等信息技术，新型电力系统将实现电力设备与智能电网深度融合并构建连接发电、输电、用电、储能各环节电力设备的智慧物联系统。

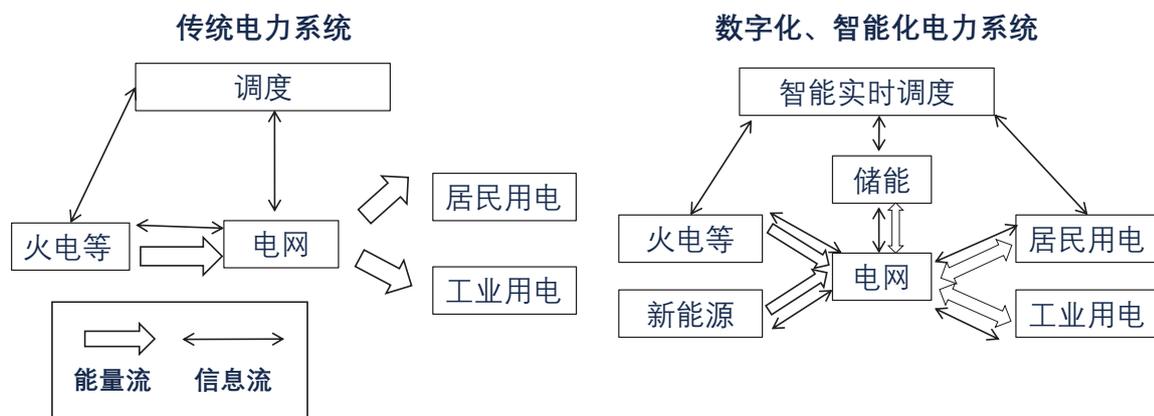


图7 传统电力系统与数字化、智能化电力系统对比

# 4 合理把握能源转型的节奏：“五四三45678”

在非化石能源替代化石能源的进程中，除了碳减排之外，还要着重考虑两个关键问题：**一是能源供应保障，二是能源供应的经济性**。平衡传统能源和新能源之间的关系，本质上就是要在能源供应保障、经济性和碳减排三重目标下寻求能源转型的最优解。按照“2030年前实现碳达峰，2060年前实现碳中和”的战略部署，从2020年至2060年，我国碳中和战略实施大体上可以分为“前十年”和“后三十年”两个阶段，前十年里实现碳达峰目标，后三十年要实现碳中和目标。

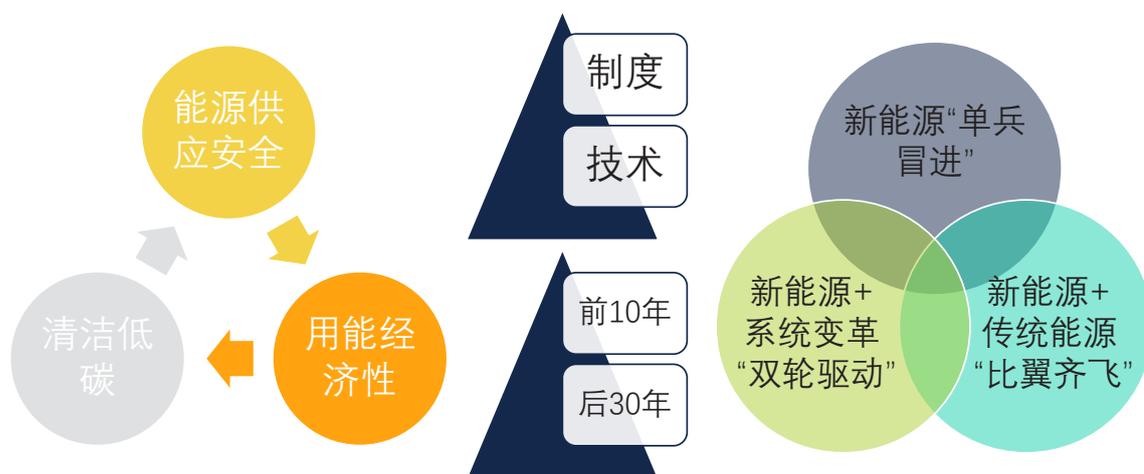


图8 三重目标下的碳中和战略实施节奏

本报告提出三种能源转型的模式。第一种模式是新能源“单兵冒进”。一味强调新能源“单兵冒进”发展会对我国未来能源安全造成一定的威胁。第二种模式是新能源与传统能源“比翼齐飞”。需重新构建能够适应新能源和传统能源协同发展的系统。第三种模式是新能源和系统变革“双轮驱动”。这种模式是最合理的能源转型模式。

在能源转型节奏方面，本报告提出“五四三 45678”的能源转型节奏。“五四三”是指到2025年，非化石能源消费比重达到1/5，到2030年为1/4，到2035年为1/3。“45678”是指2035年以后，非化石能源消费比重每五年平均提高10个百分点左右，从2035年的30%多、2040年的40%多，2045年的50%多，2050年的60%多，2055年的70%多，到2060年85%左右。二者相结合，即为能源转型的“五四三 45678”节奏。

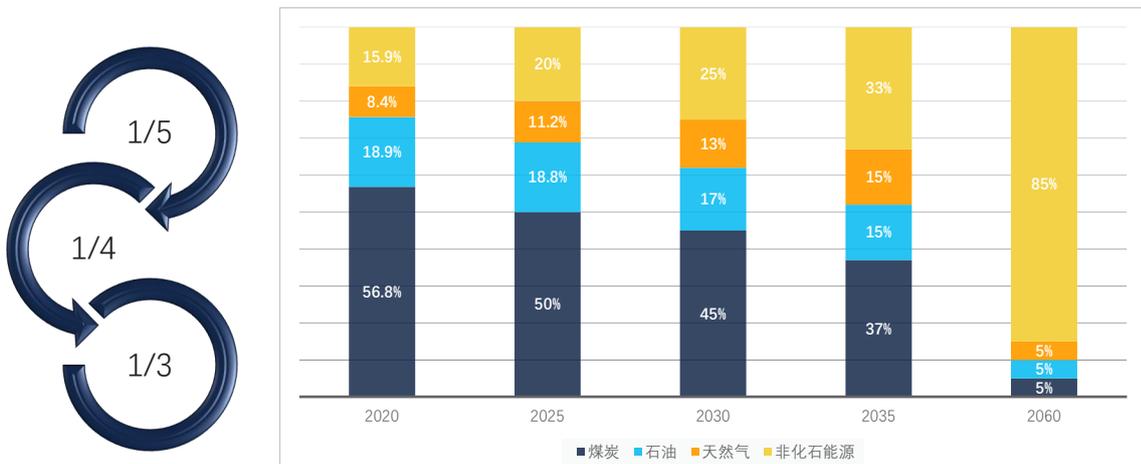


图9 “五四三 45678” 能源转型节奏

# 5 构建新型电力系统 分“三步走”

新型电力系统的构建是一个复杂的系统工程，不同发展阶段存在不同特征。锚定2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和的目标，按照“以新能源为主体”要求，设置新型电力系统的战略目标。因此，以2030年、2040年、2060年为战略目标的重要时间节点，“非化石能源发电比重”、“风光能源发电占比”及“煤电发电占比”为主要依据，制定能源低碳转型下构建新型电力系统的战略，提出构建新型电力系统“三步走”，分步骤预测不同阶段电力系统的能源结构。



图 10 构建新型电力系统分“三步走”

► **第一步（2020-2030年）：**

此阶段仍以**煤电发电为主，新能源发电快速发展**。其中，煤电发电量比重 2030 年降低到 50% 以下，煤电达峰。可再生能源发电量比重提高到 37% 左右，非化石能源发电量比重提高到 45% 左右，新能源发电量比重提高到近 25%。此阶段为**增量替代、技术攻关、体制改革**的重要阶段。

► **第二步（2030-2040年）：**

初步形成以新能源为主体的新型电力系统。**煤电逐渐退出主导地位，非化石能源发电逐渐成为主体能源**。风光发电量比重超过煤电，成为第一大电源。新型电力系统开始具备“**清洁低碳、安全可控、灵活高效、智能友好、开放互动**”的特征。其中，新能源发电量比重接近 40%，煤电发电量比重降低到 33% 左右。此阶段为**存量替代、系统变革**的重要阶段。

► **第三步（2040-2060年）：**

新型电力系统逐步成熟，将建成**近零排放电力系统**。**新能源主体地位不断加强，煤电加快退出**，形成包括生物质发电、核电、水电、储能、氢能等**低碳多元灵活性电力系统**。此阶段，预计 2045 年，非化石能源发电力量比重超过 70%，带动非化石能源消费比重超过 50%。预计到 2050 年，风光电发电量比重超过 50%，可再生能源发电量比重接近 70%，非化石能源发电量比重达到 80% 左右。

# 6 新型电力系统的 战略重点

## 6.1 大力发展风电、太阳能发电

我国太阳能、风能资源丰富。随着太阳能和风能产业链的降本增效，**太阳能发电和风电发电将是未来发电的主要方式**。预计 2030 年风光装机容量占比 40% 左右，提高到 2060 年的 80% 左右。2030 年风光发电占比 20% 左右，提高到 2060 年的 65%。

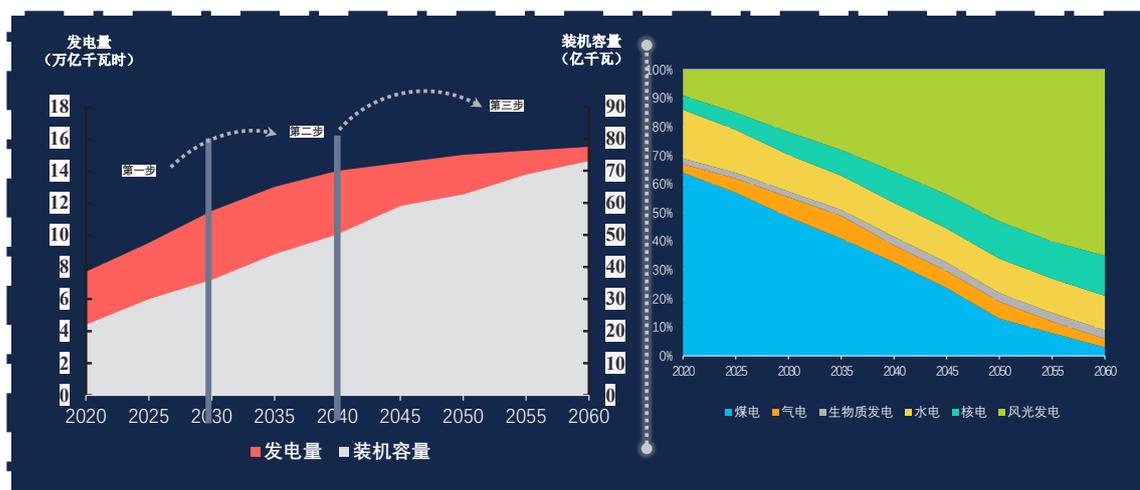


图 11 构建新型电力系统各能源发电量占比

## 6.2 积极稳妥发展水电、生物质发电

**加快常规水电建设。**开发水力资源发展水电，是我国调整能源结构、发展低碳能源、节能减排、保护生态的有效途径。预计 2030 年，我国水电发电结构中，水电发电量 1.5 万亿千瓦时，占总发电量的 13%；水电装机容量 4.4 亿千瓦，占总装机的 12%。预计到 2060 年，水电年发电量为 1.8 万亿千瓦时，占总发电量的 12%；水电装机容量为 5.6 亿千瓦时，占总装机容量的 8%。

**稳步发展生物质发电。**我国生物质资源丰富，能源化利用潜力大。预计 2030 年，生物质发电量 0.25 万亿千瓦时，占总发电量的 2%；生物质发电装机容量 0.58 亿千瓦，占总装机的 2%。预计 2060 年，我国生物质能发电结构中，生物质发电量 0.5 万亿千瓦时，占总发电量的 3%。

## 6.3 安全高效发展核电

**核电是我国优化能源结构的必然选择。**应充分发挥核电运行稳定、安全可靠等特点，推动能源消费高质量发展。预计 2030 年，我国核电发电结构中，核电装机容量 1.2 亿千瓦，占总装机的 12%；发电量 0.9 万亿千瓦时，占总发电量的 13%。预计到 2060 年，核电年发电量为 2.2 万亿千瓦时，占总发电量的 12%；核电装机容量为 3 亿千瓦，占总装机的 8%。

## 6.4 适应性发展煤电、气电

新型电力系统构建中**短期要注重煤电高效利用的技术创新，长期要注重煤炭发电的“托底”作用。**预计到 2030 年，煤电装机容量占比为 36% 左右，发电量占比低于 50%。预计到 2060 年，煤电装机容量下降至 3% 左右，发电量占比降低至不足 5%。

天然气具有“灵活易储”特性，将为我国新能源低碳化发展提供有力支撑。预计 2030 年气电占总发电量比重达到 7% 左右，2060 年占比为 3% 左右。由于天然气能源供给受到了资源禀赋的限制，未来装机容量比重和发电量占比相对较低。

## 6.5 多措并举提升系统调节能力

为提高非化石能源消费比重目标的实现，保障电力安全供应和民生用热需求，需着力提高电力系统的调节能力及运行效率，从负荷侧、电源侧、电网侧多措并举，重点增强系统灵活性、适应性，破解新能源消纳难题，推进绿色发展。

从加快推进电源侧调节能力提升、科学优化电网建设、提升电力用户侧灵活性、加强电网调度的灵活性、提升电力系统调节能力关键技术水平、建立健全支撑体系等六个方面着重推进，提升电力系统的调节能力。

## 6.6 加快培育分布式源网荷储一体化发展新业态新模式

源网荷储一体化是实现新型电力系统集散并举、协同发展的重要举措之一。电源侧将通过多种能源的互补利用、相互转换、联合控制克服新能源发电机型多，并网特征差异大等难题，实现实现各类资源协调开发和科学配置。需求侧则运用市场激励机制，引导用户改变、调整传统电力消费模式，提高负荷侧调峰能力、扩大可再生能源消纳体量的供需协调联动机制。

## 6.7 加快推进数字化转型和构建能源互联网

数字化将有力地推进新型电力系统的建设。电力系统与数字化转型的融合能大大增强数据的实时性、准确性和可靠性，促使大规模可再生能源更加灵活、安全、高效。发挥数据的生产要素作用，促进源侧、荷侧的功率预测，促进源网荷储协调互动，促进可再生能源消纳。



**中国电力圆桌**  
**POWER SECTOR ROUNDTABLE**

自然资源保护协会 (NRDC)  
中国北京市朝阳区东三环北路 38 号泰康金融大厦 1706  
邮编: 100026  
电话: + 86-10-5927 0688  
[www.nrdc.cn](http://www.nrdc.cn)

中国能源研究会 (CERS)  
中国北京市西城区三里河路 54 号 469 室  
邮编: 100045  
电话: 010-56034653  
[www.cers.org.cn](http://www.cers.org.cn)