

---

# 新型电力系统发展的思考

---

电力系统助力“30·60”双碳目标的实现

2022.3.16

# 目录

1

双碳目标背景与全球应对方案

2

以新能源为主体的新型电力系统

3

新型电力系统面临的挑战

4

新型电力系统应对举措

# 1 双碳目标背景以及全球应对方案

——1.1 气候恶化

——1.2 国际应对措施

——1.3 国内应对政策

——1.4 不同行业的双碳方案

# 双碳目标背景及全球应对措施

## 1.3 国内应对政策

针对气候恶化等情况，我国积极响应国际号召，提出“四个革命、一个合作”的能源安全新战略。

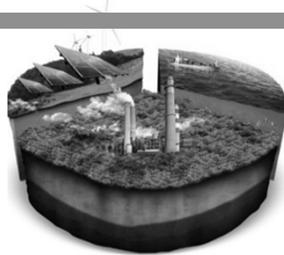
- ◆ 2020年9月22日，习近平在第七十五届联合国大会上宣布，中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。
- ◆ 2021年3月15日，习近平主持召开中央财经委员会第九次会议，指出实行可再生能源替代行动，深化电力体制改革，构建以新能源为主体的新型电力系统。
- ◆ 2021年4月22日，习近平出席“领导人气候峰会”，并指出将在有条件的地方和重点行业、重点企业率先实现碳达峰，并严控煤电项目。
- ◆ 2021年10月26日，国务院印发《2030年前碳达峰行动方案》，提出重点实施“碳达峰十大方案”：能源绿色低碳转型、节能降碳增效、工业领域碳达峰、城乡建设碳达峰、交通运输绿色低碳、循环经济助力降碳、绿色低碳科技创新、碳汇能力巩固提升、全民绿色低碳、各地区梯次有序碳达峰行动。



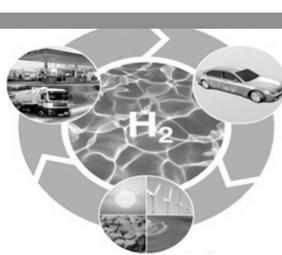
能源消费革命



能源供给革命



能源技术革命



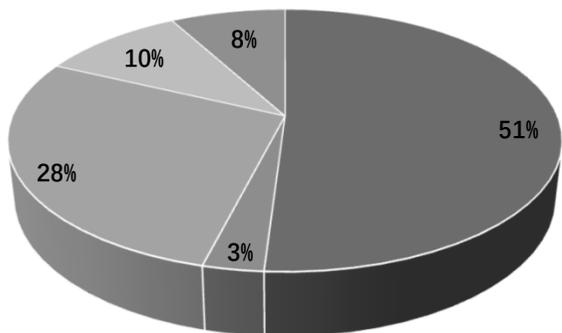
能源体制革命



# 双碳目标背景及全球应对措施

## 1.4 不同行业的双碳方案

习近平主席召开中央财经委员会第九次会议强调：把碳达峰、碳中和纳入生态文明建设整体布局，指出要实施重点行业领域减污降碳行动。由于不同减排技术的成本收益差异较大，不同行业的实施难易度不同，中国的碳中和策略需要统筹规划、分行业设计、分阶段实施，其中电力是最大的碳排放行业，如何实现电力行业碳减排将是实现双碳的关键因素之一。



■ 发电与供热 ■ 能源行业自用 ■ 制造与建筑业 ■ 交通运输业 ■ 其他

根据全球能源互联网发展合作组织2021年发布的《中国2060年前碳中和研究报告》，给出了更具体的减排测算，预计未来电力生产等能源活动将承担总减排量之比的81%。

### 未来我国各主要行业发展趋势

主要行业	未来发展趋势
煤炭行业	压缩东部、限制中部和东北、优化西部，除神东、陕北、新疆基地外，煤炭新增产能均受限，陆续退出落后产能。
钢铁行业	在现有减排技术上，发展轧钢余热回收技术等全新工艺，推动供给曲线上移，产量下降，并为其他新兴工业部门提供碳排放空间。
机械行业	未来重点放在可再生能源设备创新与节能减排设备工艺提升上。具体而言，提升光伏设备装机，加快国产锂电与燃料电池新技术革新。
化工行业	未来战略重点将放在低碳排放或碳固化率更高的工艺路线上，包括塑料回收、生物材料、可降解塑料、光伏材料等。

电力行业双碳目标的实现将会成为我国各行业实现双碳目标的前提条件。根据习近平总书记提出的“四个革命，一个合作”能源安全新战略，当前电力行业必须从电力供应、电力消费、电力体制与电力技术四个方面辨识挑战难点，进行技术突破，从而实现构建以新能源为主体的新型电力系统这一目标。



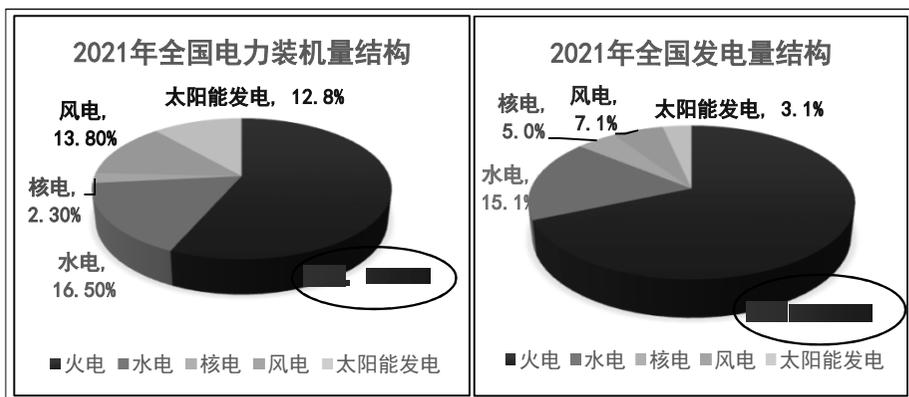
## 2 以新能源为主体的新型电力系统

- 2.1 以新能源为主体的电力供应
- 2.2 二〇三〇电力能源发展场景
- 2.3 二〇五〇电力能源发展场景
- 2.4 适应新能源主体的网源结构

# 以新能源为主体的新型电力系统

## 2.1 以新能源为主体的电力供应

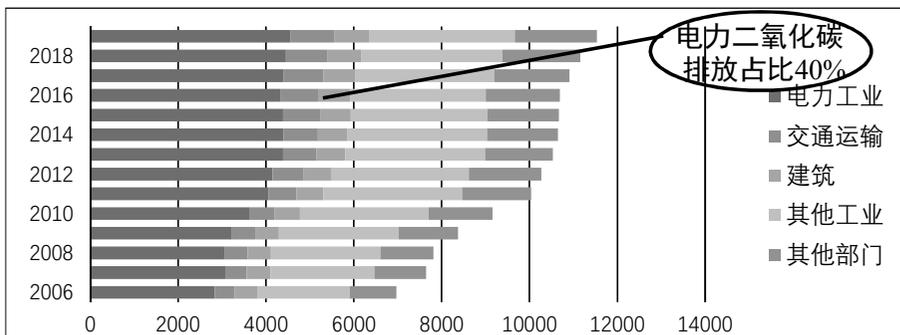
2021年我国一次能源发电中火电装机占比54.5%、发电量占比68.5%。据统计，电力行业带来的CO<sub>2</sub>排在2020年占比37%。太阳能、风能等可再生能源发电量在全球能源结构中的比重在增加。



2021全国电源装机（左）、发电量（右） 来源1



化石能源发电带来巨大的碳排放



中国工业类二氧化碳排放 (Mt) 来源2



单纯依赖化石能源清洁化不足以实现双碳目标

来源1：国家统计局、国家能源局、中电联；

来源2：KNOEMA(<https://cn.knoema.com>):Knoema是可视化，建模和呈现数据以及世界数据的在线数据源。

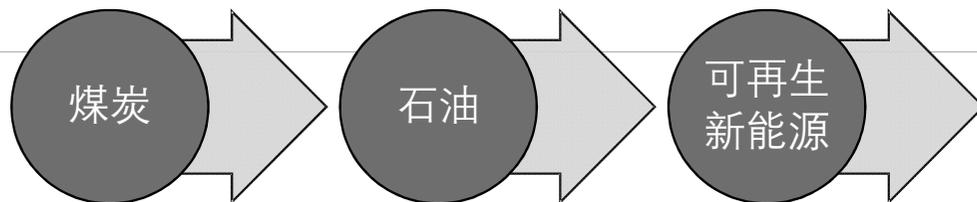
# 以新能源为主体的新型电力系统

## 2.1 以新能源为主体的电力供应

构建以新能源为主体的新型电力系统，从顶层战略层面确定了在实现双碳战略目标进程中电力行业主体能源建设的方向。习近平总书记提出，到2030年，我国风电、太阳能发电总装机容量将达12亿千瓦以上。新能源大发展的时代已经到来。



化石能源发电



目前碳排放  
超100亿吨

2030年碳达峰

2060年碳中和



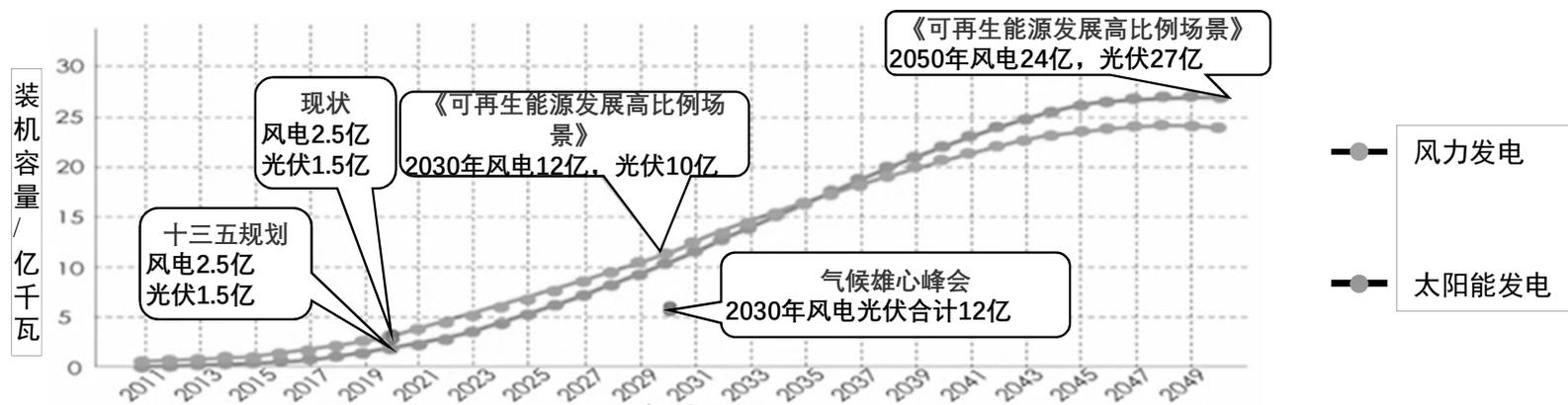
新能源发电



# 以新能源为主体的新型电力系统

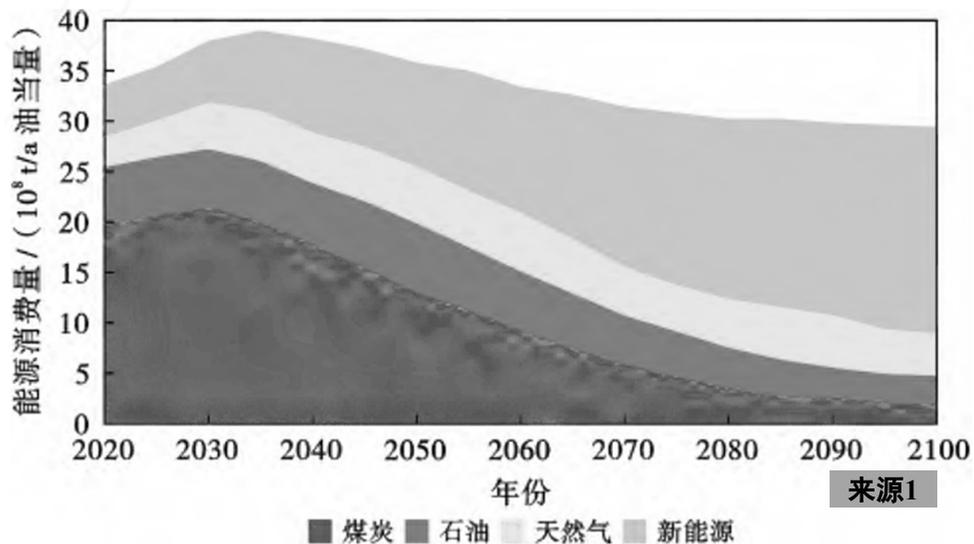
## 2.1 以新能源为主体的电力供应

2021年，中国人均用电量5937千瓦时，美国人均13000千瓦时。中国仍是一个发展中国家，电力消费总量仍在增长，中国的碳达峰、碳中和需要在能源电力消费总量增长的情景下实施。2030年，新能源12亿千瓦装机目标是一个下限，统筹考虑经济社会发展对能源需求和减碳等约束和期望，新能源实际发展情况可能远超过此。

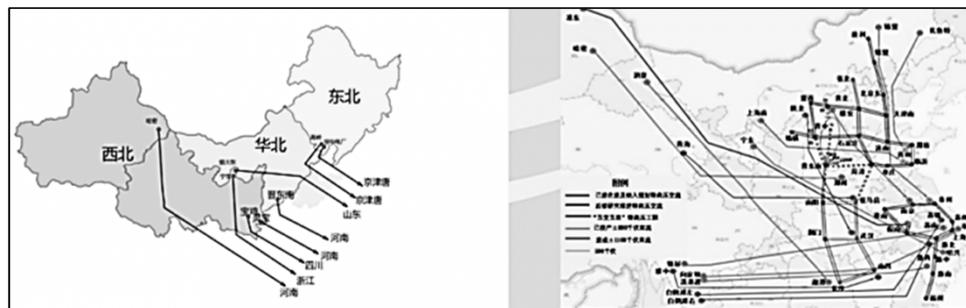


统计年份		容量/千瓦	非水可再生能源占比%		含水电可再生能源占比%	
			整体	局部	整体	局部
2020		风2.8亿 光2.5亿 水3.7亿	9.54	20	27.76	90
2030	基本方案	风光12亿 水4亿	>16	>30	>33	>40
	高方案	风12亿 光10亿 水5亿	>30	>50	>50	>60
2050	基本方案	风10亿 光10亿 水5亿	>25	>50	>40	>60
	高方案	风24亿 光27亿 水5.5亿	>60	>90	>80	>95

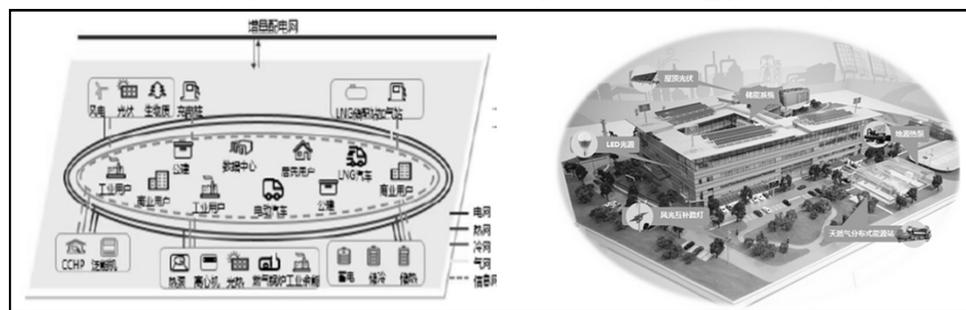
随着火电大幅下降，新能源发电需求不断增加，为减轻大电网输送新能源电力的压力，需要并重发展集中式与分布式新能源发电。集中式方面，在三北地区形成多个大型新能源基地，经高压直流输送至中东部负荷中心。分布式方面，发掘配网、园区新能源发电潜力，建设电力自给自足、就地平衡的增量配网与综合园区。



2020年12月，习近平主席宣布到2030年，中国风电、太阳能发电总装机容量将达到12亿千瓦以上，非化石能源占一次能源消费比重将达到25%左右。



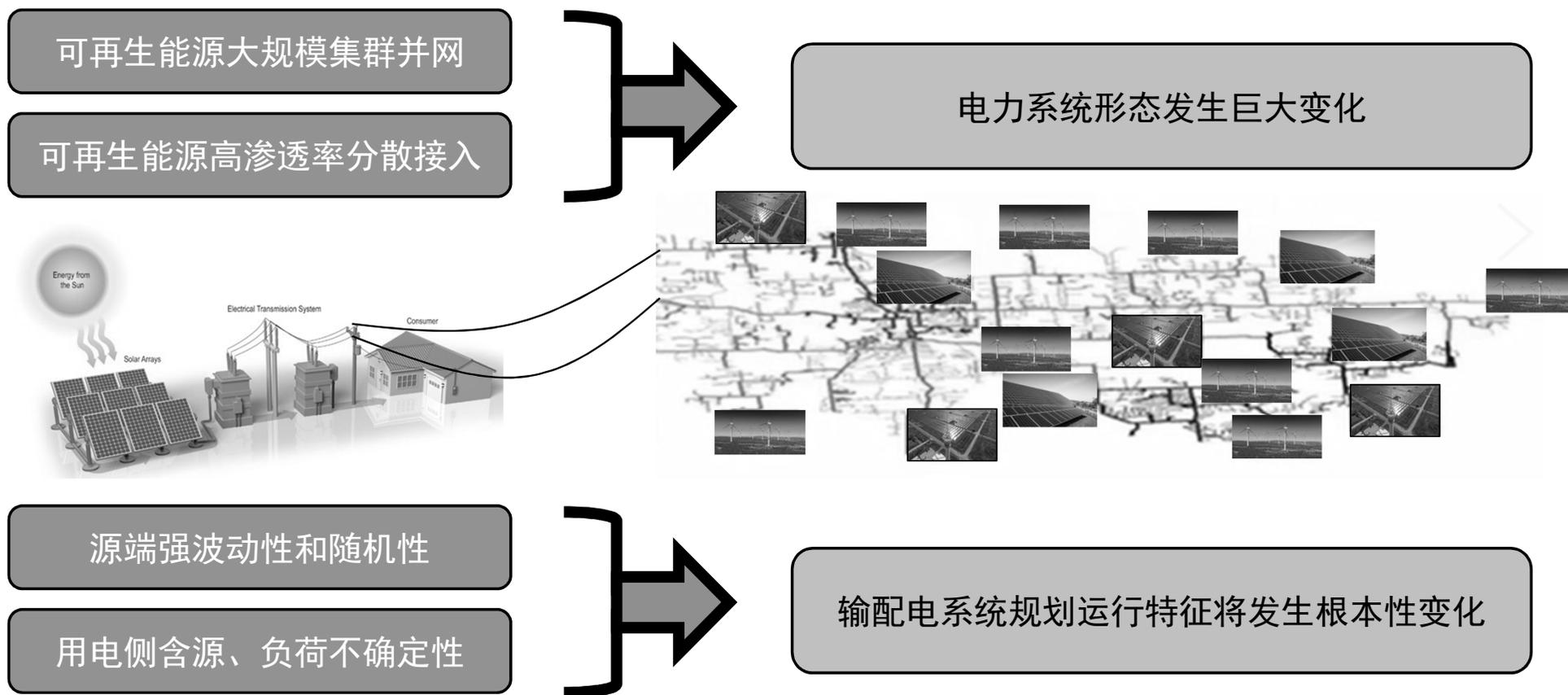
集中式：“三北”新能源基地电能送出



分布式：建设增量配电网与综合园区

来源1：邹才能,何东博,贾成业,熊波,赵群,潘松圻.世界能源转型内涵、路径及其对碳中和的意义[J/OL].石油学报:1-15[2021-03-07].

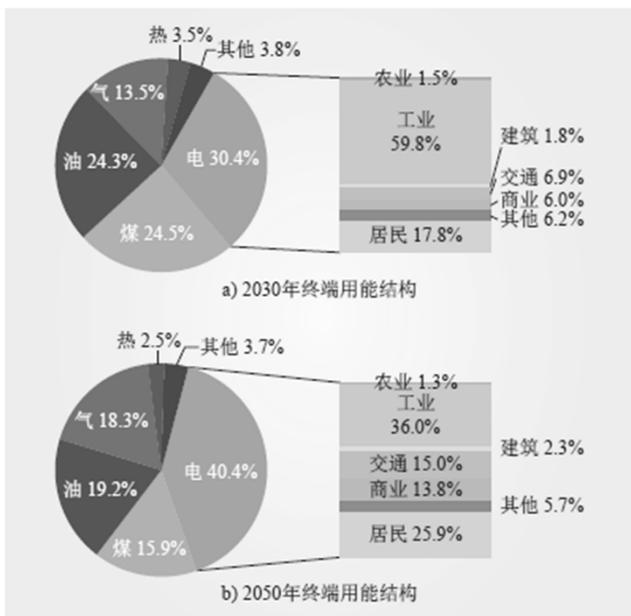
随着新能源占比的提升，电力系统源端和用户侧的不确定性随着增加，电力系统的运行方式将更加多样化、分散化、差异化。



# 以新能源为主体的新型电力系统

## 2.4 适应新能源主体的网源荷结构

负荷侧再电气化能够有效提升能源利用效率，我国工业、建筑业、交通运输业的再电气化的水平较低，以电代煤、以电代油的电能替代是行业低碳行动的重要途径，通过需求侧响应挖掘终端用户消纳新能源的潜力；此外从配电网、园区层面利用终端用户网络对分布式新能源进行就地消纳，并通过电力与距离较近的多个能源系统之间互联（能源互联网），实现各能源系统之间能量互济与支撑，同时提升系统整体运行安全性、供能可靠性与新能源消纳能力。

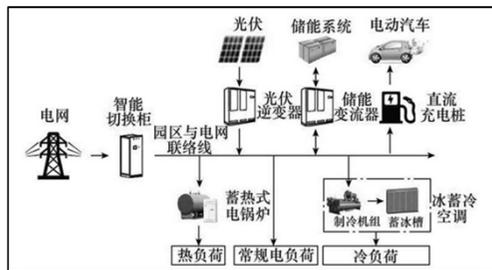


未来2030年、2050年终端能源消费结构  
消费侧广泛电气化



在经济层面，电能居民采暖、工业高温高压热蒸汽、中重型卡车长途运输等场景的应用中，经济性欠佳。

从等效热值成本来看，当前电能成本约为燃煤的2.4~4.8倍，极大限制电能替代推进速度



多能耦合和协同优化

加强以电为主的多能高效耦合与协同优化，以提升全社会能效水平。

# 3 新型电力系统面临的挑战

- 3.1 新型电力系统特征
- 2.2 电力安全供应
- 2.3 高比例新能源消纳
- 2.4 系统安全稳定运行

经过百余年发展，以交流同步技术为基础的电力系统在规划、运行等环节已相当成熟，通过丰富的各类稳定仿真分析、控制技术等手段，电力系统各环节被“安排”的安全、有序。目前主要依靠常规电源所具有的同步响应能力和稳定、可控的负荷侧调整，应对故障冲击和负荷变化等扰动，保证安全运行和电力可靠供应。



常规电源

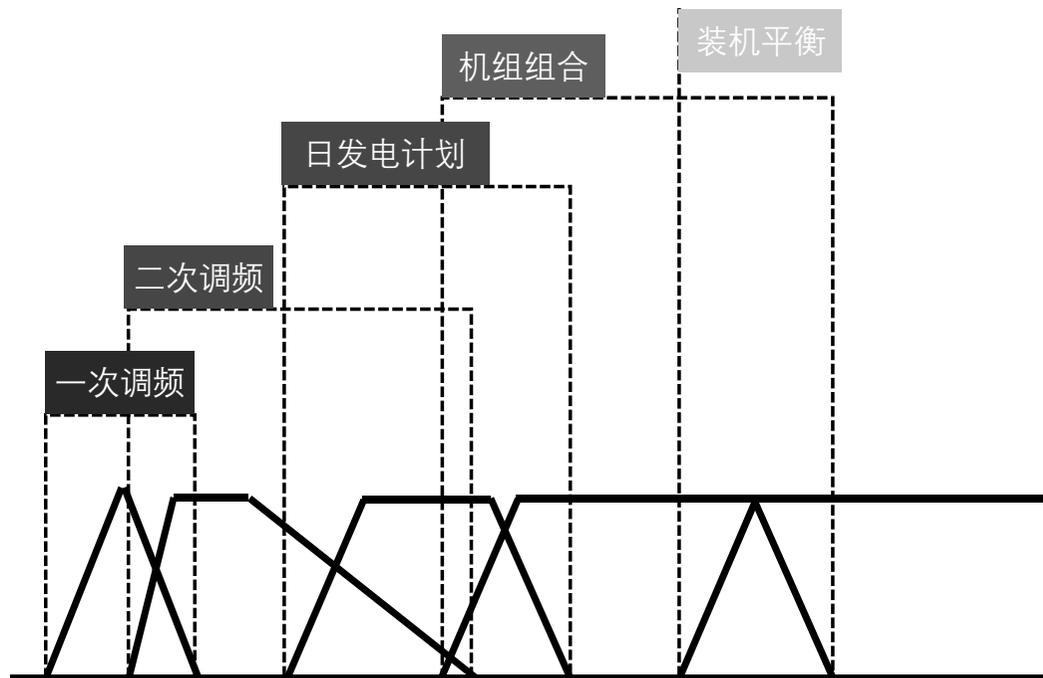
电量效益

容量效益

调频响应

惯量支撑

.....



# 新型电力系统面临的挑战

## 3.1 新型电力系统特征

以新能源为主体的新型电力系统，物理基础、控制调节基础、技术特性发生深刻变化。

### 一次能源类型



煤、石油、天然气等一次能源可稳定、低成本、大规模的存储

### 机组并网方式



同步发电机

### 运行特性

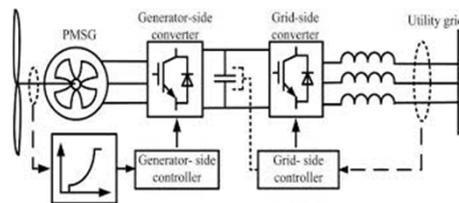
同步发电机大容量、小数量并网，出力稳定连续可控，网源协调能力较强

传统电力系统



以新能源为主体的新型电力系统

能量密度低：单机容量小、数量多、分布广  
波动性强：利用小时数低、反调峰、季节差异  
不确定性：灵活调度难、随机性强  
不能存储：开发位置首先



经变流器接入电力系统

弱支撑：电压/频率支撑弱、虚拟惯量抵抗扰：短路电流小、耐受能力不足  
控制响应快

风电、光伏等新能源小容量、多数量并网，功率随机、波动和间歇，频率解耦，网源协调能力较弱

### □ 新型电力系统变化

要素	新型电力系统	当前电力系统
社会地位	为其他行业基础能源、是能源安全的重要保障	由一次能源保障电力供应，对能源安全影响小
社会需求	新能源不确定性条件下实现系统安全和能源安全	用确定性的一次能源保障供电可靠性
系统形态	新能源机组为主、同步机为辅、交直流混联电网	同步机为主、新能源机组为辅，有直流接入的交流主导电网
研究对象	源、荷均有较强不确定性，一个富含随机性和不确定性的实时平衡系统	负荷可预测、发电可控的实时平衡系统；基于电气量自动跟踪的平稳系统
电源特性	新能源机组需要电网提供电压支撑	电源支撑电网
规划设计	需要考虑源荷不确定性	确定性条件下规划
基础理论	以……为基础理论，一个存在限幅环节的序贯离散切换控制系统	以同步机方程与电路理论为基础的完备电力系统理论体系，一个可数理描述的电磁交变连续平稳系统
稳定性控制	基于在线状态监测和响应式控制为主	基于离线决策的预案式控制
调度调控	基于部分信息和不确定性条件的分散协调控制	基于完备信息和确定性条件的集中控制

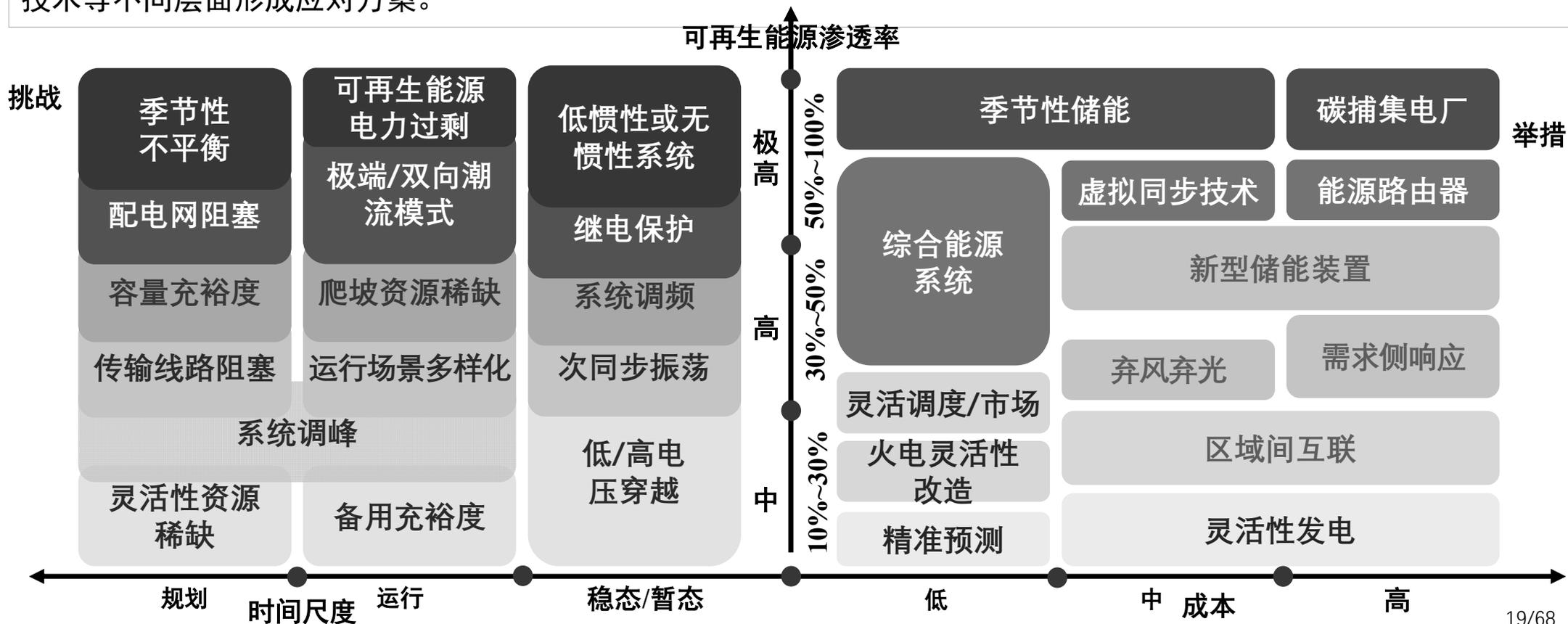
## 4 新型电力系统应对举措

- 政策法规
- 市场机制
- 源侧提升
- 负荷响应
- 储能技术
- .....

# 新型电力系统应对举措

## 挑战与举措

电力系统固有的灵活性和鲁棒性，能够消纳一定的间歇性可再生能源（电量渗透率10%以下），进入中比例、高比例以及极高比例后，系统在不同时间尺度将面临多重挑战，需从灵活能力建设、市场机制、平衡调控技术、新技术等不同层面形成应对方案。



双碳目标下，电力在能源结构中的占比和作用日益突出，作为能源安全的重要保障，电力的安全属性进一步凸显。为保障安全，需要使电力系统具备足够覆盖全部负荷的可靠出力，但其代价和成本是巨大的，亟需发挥政策法规的引导作用对电力的安全属性进行界定。一方面利用电力的商品属性，通过市场化手段释放综合能源系统中各环节的灵活调节能力；另一方面设计布局“生命线工程”，建设足够多的可靠电压保障安全底线，实现对保障性负荷的供给安全。

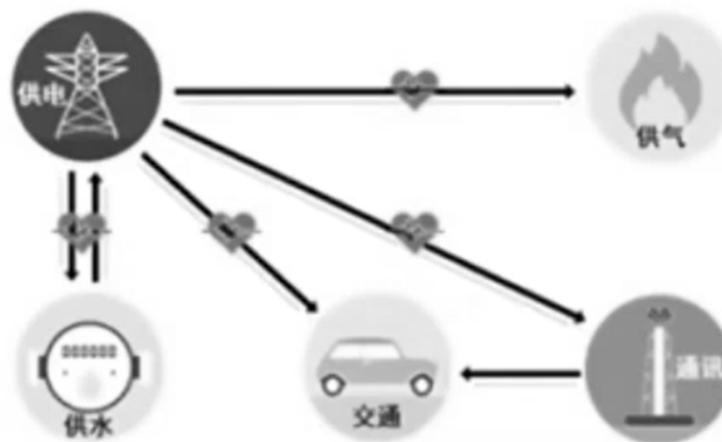
### 电力安全事故应急处置和调查处理条例

#### 第一章 总 则

第一条 为了加强电力安全事故的应急处置工作，规范电力安全事故的调查处理，控制、减轻和消除电力安全事故损害，制定本条例。

第二条 本条例所称电力安全事故，是指电力生产或者电网运行过程中发生的影响电力系统安全稳定运行或者影响电力正常供应的事故（包括热电厂发生的影响热力正常供应的事故）。

第三条 根据电力安全事故（以下简称事故）影响电力系统安全稳定运行或者影响电力（热力）正常供应的程度，事故分为特别重大事故、重大事故、较大事故和一般事故。事故等级划分标准由本条例附表列示。事故等级划分标准的部分项目需要调整的，由国务院电力监管机构提出方案，报国务院批准。

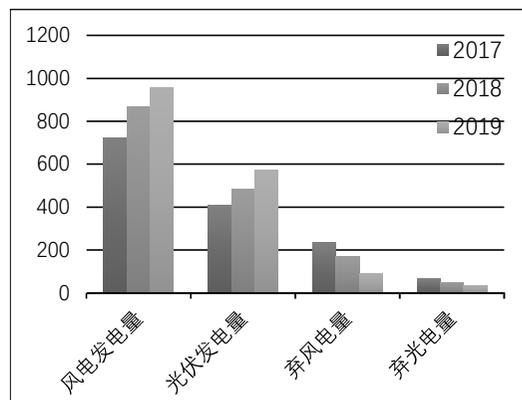
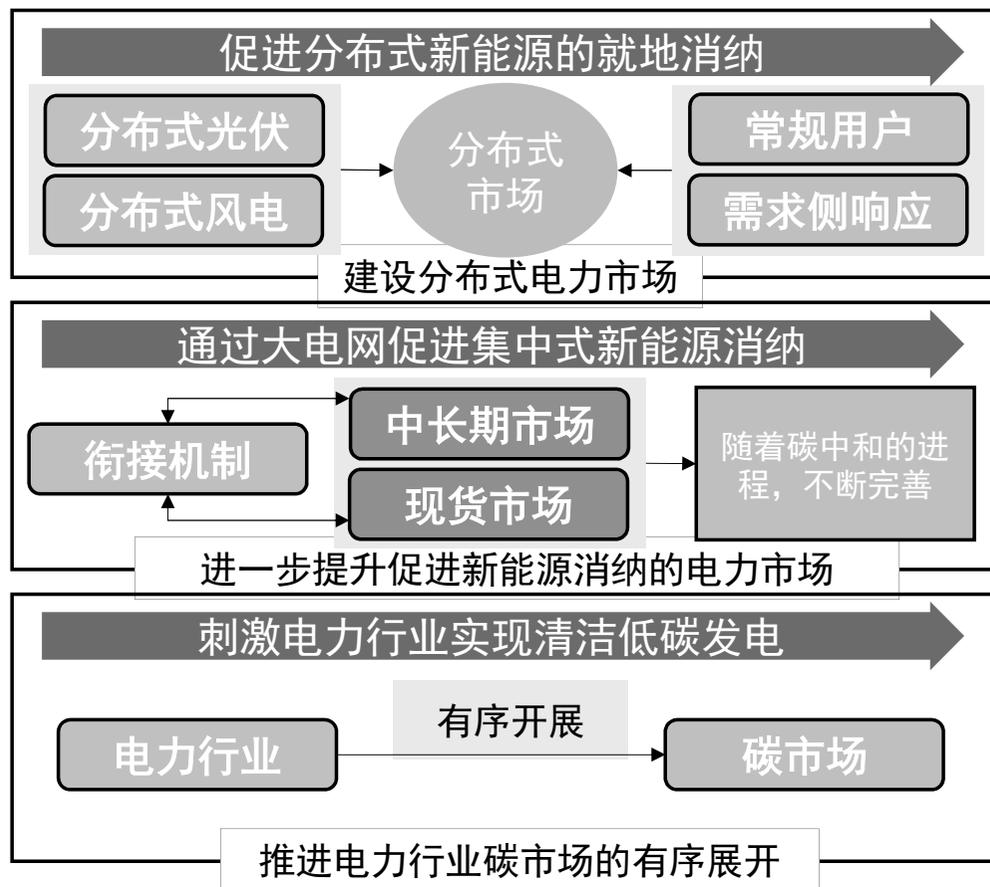


以“电力”为中心的生命线工程

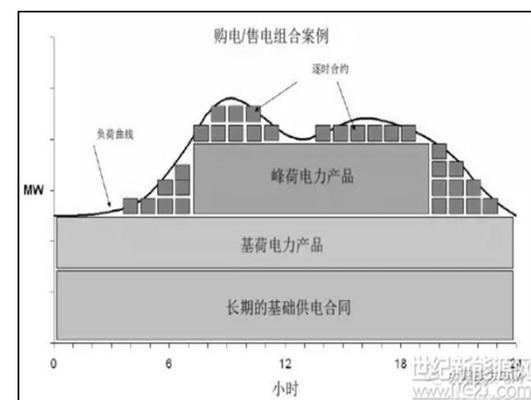
# 新型电力系统应对举措

## 4.1 应对新能源挑战的可行举措：电力市场机制

围绕碳中和目标构建电力市场，构建新能源利用成本传导机制，终端用电价格体现新能源消纳成本，还原电力商品属性，在碳中和进程中的不同阶段逐步提升促进新能源消纳的电力市场，有序推进电力行业碳市场的展开。



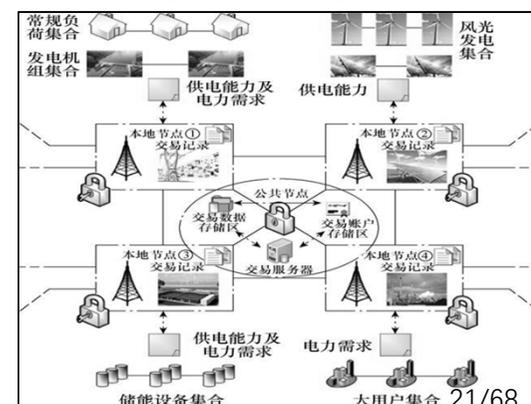
西北电网新能源情况 (亿千瓦时)



电力市场解决新能源消纳



碳市场



主动配电网电力市场