

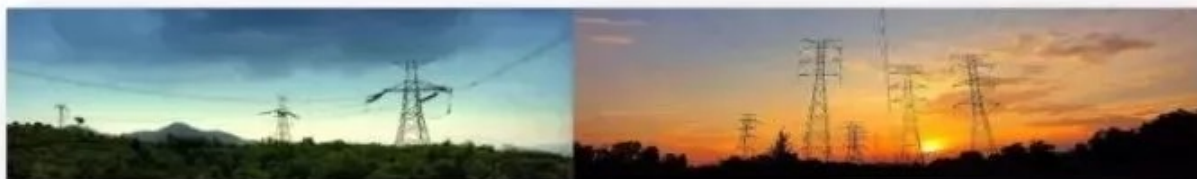
双碳目标下我国能源电力系统 发展前景和关键技术

周孝信

2021.9.4 中国 北京

光伏能源调查

目 录



- **我国能源转型的战略目标和实施路径**
- **双碳目标下我国能源电力系统发展情景分析**
- **新一代电力系统的主要特征和关键技术**
- **总结与讨论**

我国能源转型的战略目标和实施路径



战略目标
Strategic goal

实现双碳目标

- 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



实施路径
Implementation path

落实两个构建

- ✓ 构建清洁低碳安全高效的能源体系
- ✓ 构建以新能源为主体的新型电力系统

实现我国能源转型战略目标的路径选择



大力开发利用可再生能源，发展核能、生物质能、地热能等非化石能源综合利用，在电力系统中形成以非化石能源为主的电源结构，是实现能源转型的关键



积极推动煤电灵活性转型，为高比例可再生能源电力系统运行提供灵活调节能力；探索煤电碳资源综合利用，以有助于煤电实现低碳无碳转型



持续推进终端用能的电气化，实现以电为中心的多能互补用能结构，大幅提高电能终端能源消费（交通、工业、建筑等领域）中比重和能源综合利用效率

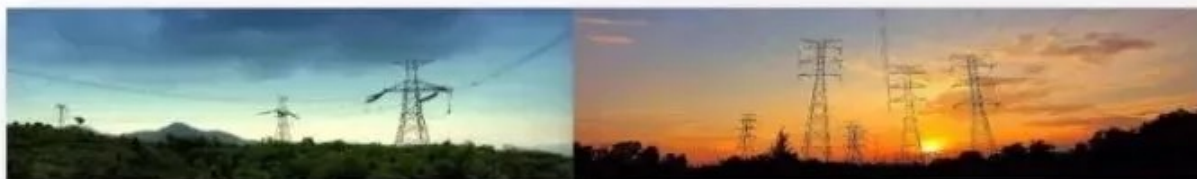


加强电力电子和储能等关键技术创新，通过数字化转型，推动新一代输配电网和能源互联网建设，适应高比例可再生能源电力消纳，确保电力系统安全稳定运行



完善能源转型各项政策，坚持市场化改革方向，加快完善推广碳交易市场，助力国家应对气候变化碳中和目标的实现

目 录

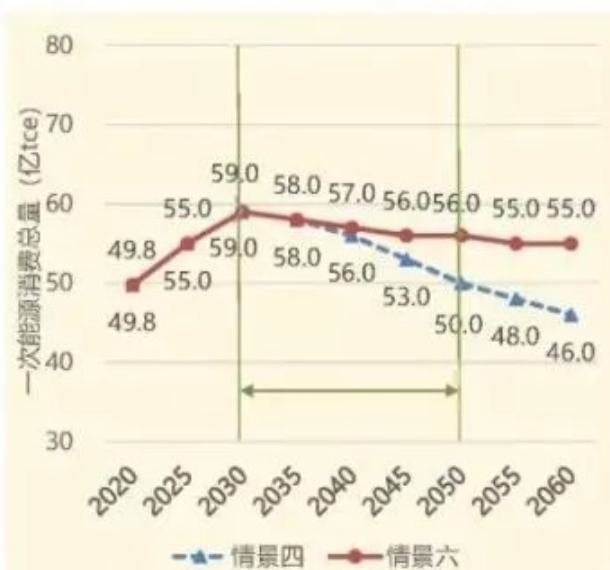


- 我国能源转型的战略目标和实施路径
- **双碳目标下我国能源电力系统发展情景分析**
- 新一代电力系统的主要特征和关键技术
- 总结与讨论

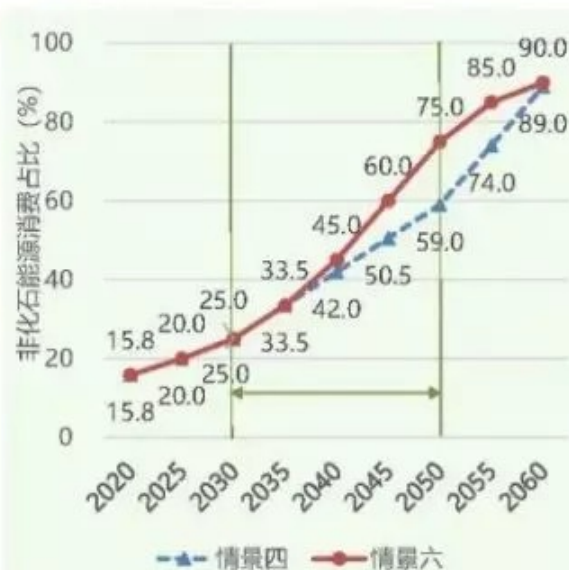
双碳目标下我国2021-2060年能源电力发展的情景设置

设定3项经济社会能源发展主要指标及其变化趋势

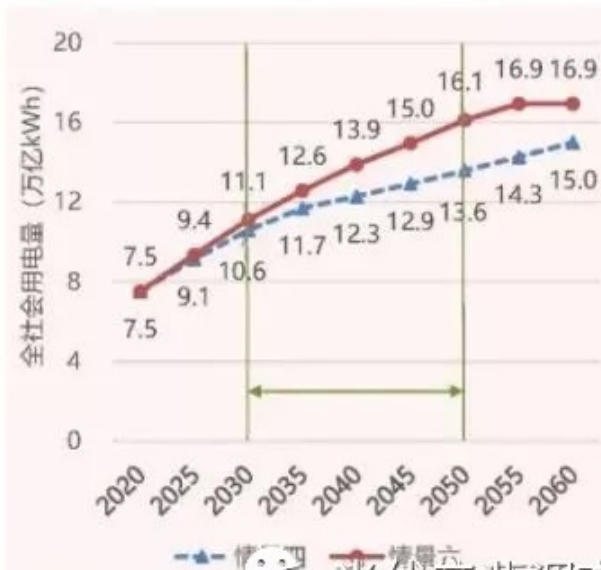
1 一次能源消费总量 (亿tce)



2 非化石能源消费占比 (%)



3 全社会用电量 (万亿kWh)



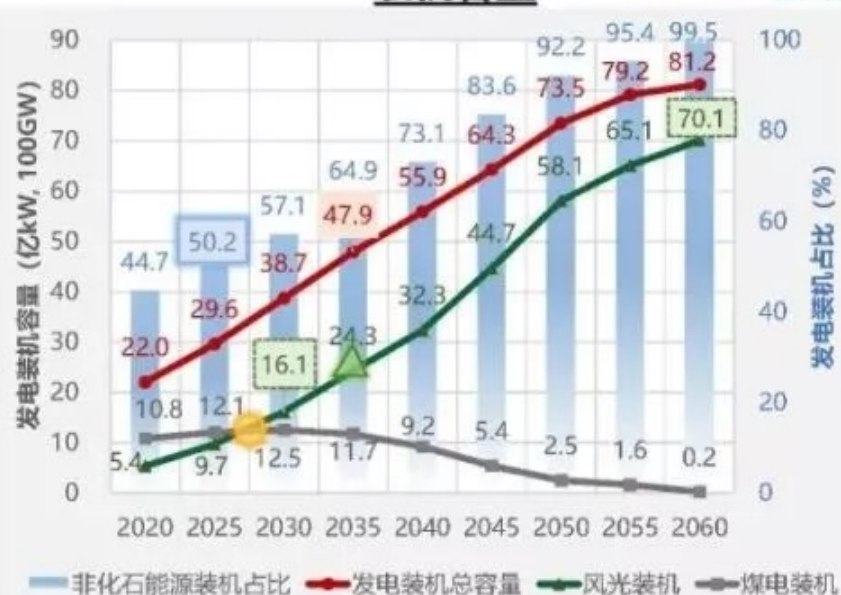
能源调查

2020-2060年我国电力发展（情景六）-装机容量和发电量

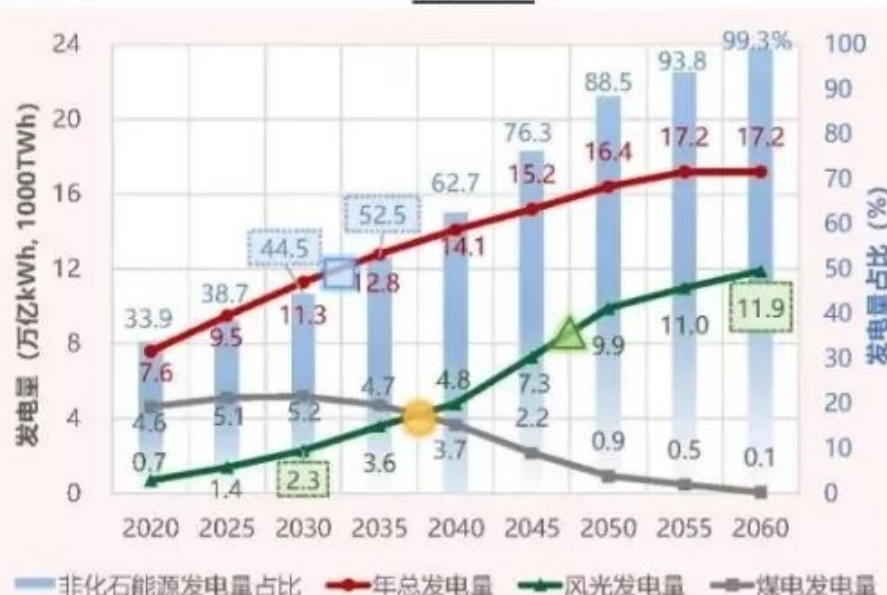
装机容量

Scenario 6

发电量



- 2025年非化石能源发电装机占比超过50%
- 2025-2030年间风电光伏装机容量超过煤电
- 2030年风光装机容量16.1亿kW, 占装机总量41.5%
- 2035年风光装机容量24.3亿kW, 超过装机容量50% ▲
- 2060年风光装机容量70.1亿kW, 占装机总量86%



- 2030-2035年间非化石能源年发电量超过50%
- 2035-2040年风光发电量开始超过煤电 , 之后煤电加速退役
- 2030年风光发电量2.3万亿kWh, 占总发电量20%
- 2045-2050年间风光发电量超过总 ▲
- 2060年风光发电量11.9万亿kWh, 占总发电量69.2%

双碳目标下我国能源电力系统核心指标

5项核心指标:

1. 非化石能源在一次能源消费中比重
2. 非化石能源发电量在发电量中比重
3. 电能在终端能源消费中比重
4. 系统总体能源利用效率
5. 能源电力系统CO₂排放总量



2020-2060年我国能源电力发展（情景六）-核心指标

Scenario 6

5. 能源电力系统CO2排放



3. 电能终端能源消费中比重 4. 系统总体能源利用效率



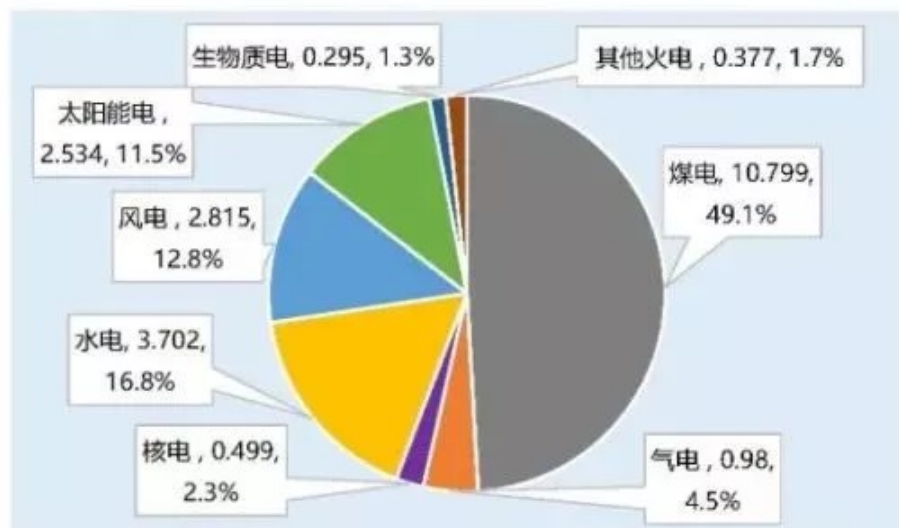
2020年我国能源电力发展情景

一次能源消费总量**49.8亿tce**

非化石能源消费比重**15.8%**

全社会用电量**7.51万亿kWh**

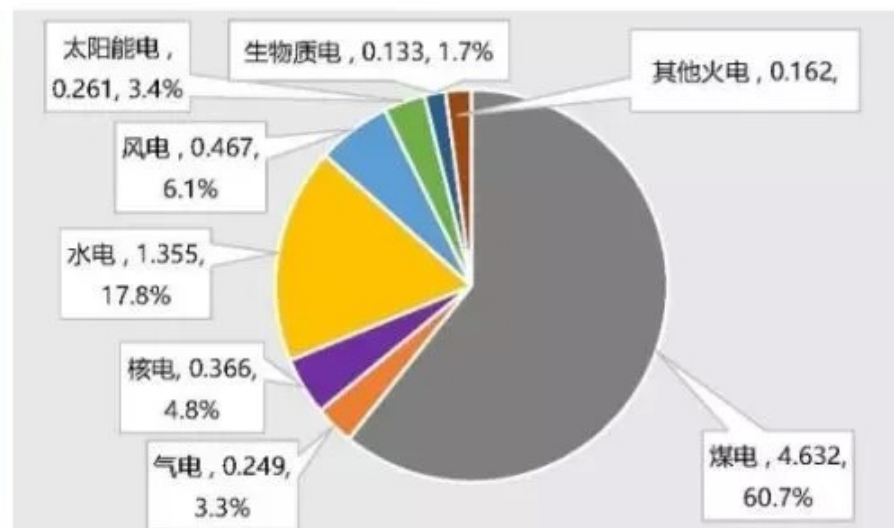
人均年用电量**5327kWh**



装机总容量: **22.01亿kW**

非化石装机占比 **44.7%**

风光装机占比 **24.3%**



总发电量: **7.62万亿kWh**

非化石能源发电量占比 **33.2%**

风光发电量占比 **9.3%**

光伏能源调查

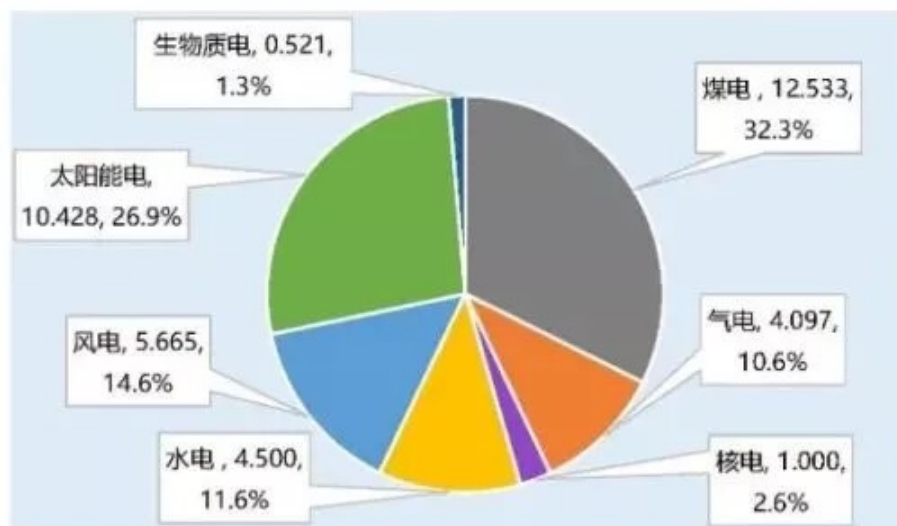
2030年我国能源电力发展估算（情景六）

一次能源消费总量**59亿tce**

非化石能源消费比重**25%**

全社会用电量**11.12万亿kWh**

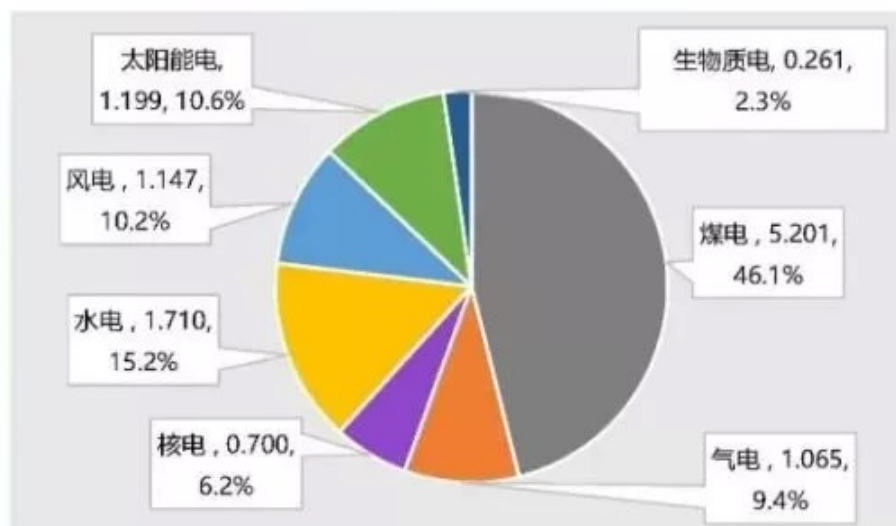
人均年用电量**7774kWh**



装机总容量：**38.75亿kW**

非化石能源装机占比 **57.1%**

风光装机占比 **41.5%**



总发电量：**11.28万亿kWh**

非化石能源发电量占比 **44.5%**

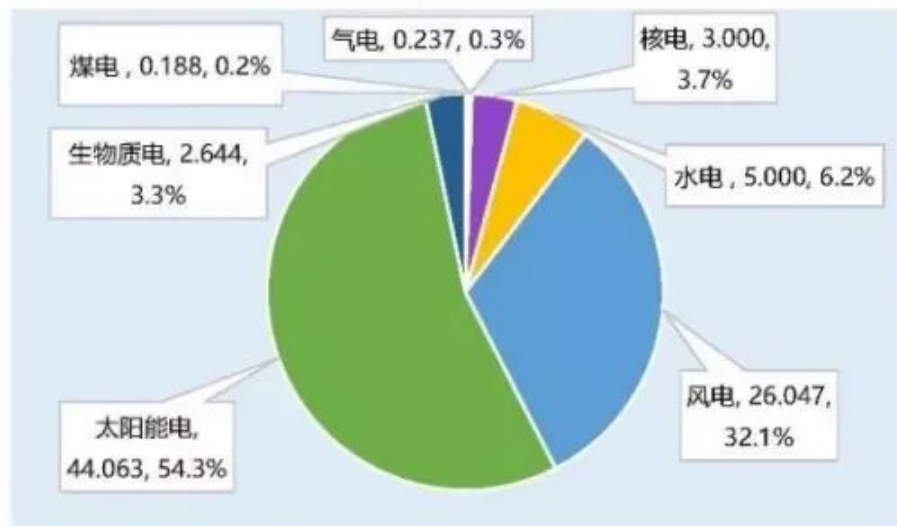
风光发电量占比 **20.0%**

碳达峰碳中和调查

2060年我国能源电力发展估算（情景六）

一次能源消费总量**55亿tce**

非化石能源消费比重**90%**



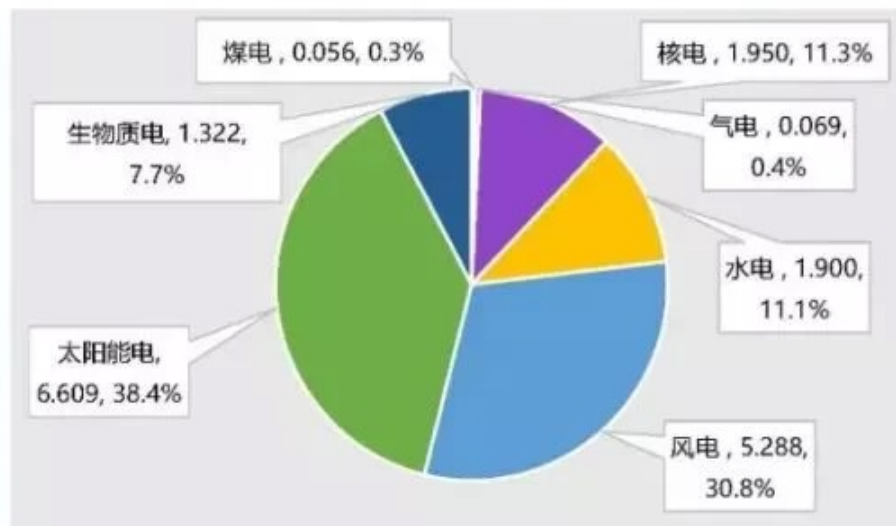
装机总容量：**81.2亿kW**

非化石能源装机占比**99.5%**

风光装机占比**86.4%**

全社会用电量**16.94万亿kWh**

人均年用电量**13031kWh**



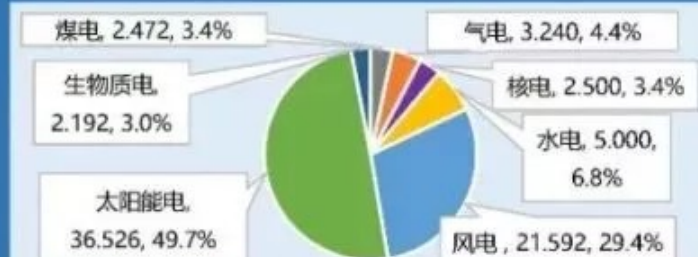
总发电量：**17.19万亿kWh**

非化石能源发电量占比**99.3%**

风光发电量占比**65.9%**

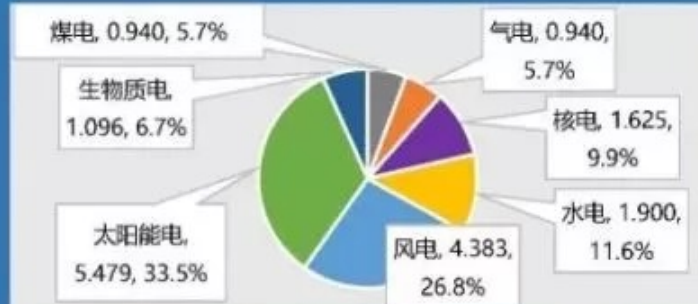
碳达峰能源调查

2050年我国能源电力发展情景六计算 (以5%非化石能源份额非电利用为例)



总装机容量:
73.52亿kW

非化石能源装机占比 92.2%
风光装机占比 79.0%



年总发电量:
16.36万亿kWh

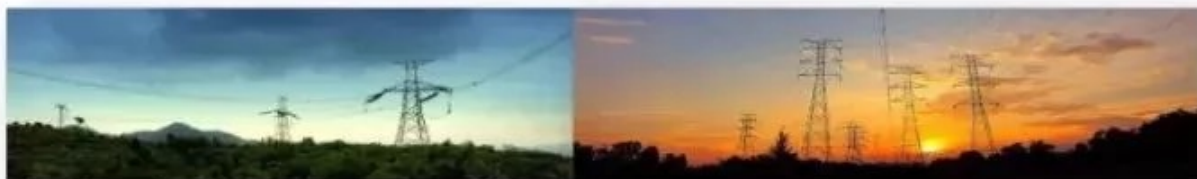
非化石能源发电量占比 88.5%
风光发电量占比 60.3 %

指标	非化石能源100% 转化为电利用 (详见左图)	非化石能源 5% 为非电利用
一次能源消费总量 (亿tce)	56	56
非化石能源占比 (%)	75	75
非化石非电利用消费量 (亿tce)	0	2.1
全社会年用电量 (万亿kWh)	16.12	15.40
发电装机总容量 (亿kW)	73.52	69.50
年总发电总量 (万亿kWh)	16.36	15.63
风光装机容量 (亿kW)	58.12	54.28
风光发电量 (万亿kWh)	9.86	9.21
煤电装机容量 (亿kW)	2.47	2.46
煤电发电量 (万亿kWh)	0.94	0.93
电力系统年CO ₂ 排放量 (亿t)	10.89	10.82

- 非电利用方式: 地热供热制冷, 小型核堆供热, 高效多种热源电热泵供热制冷、绿色氢能等
- 2050年非化石能源消费5%非电利用可, 减少风电光伏装机约3.8亿kW

年煤炭能源调查

目 录



- 我国能源转型的战略目标和实施路径
- 双碳目标下我国能源电力系统发展情景分析
- **新一代电力系统的主要特征和关键技术**
- 总结与讨论

新一代电力系统的主要特征和关键技术

5个主要特征:

- 高比例可再生能源电力系统
- 高比例电力电子装备电力系统
- 多能互补综合能源电力系统
- 数字化智能化智慧能源电力系统
- 清洁高效低碳零碳电力系统

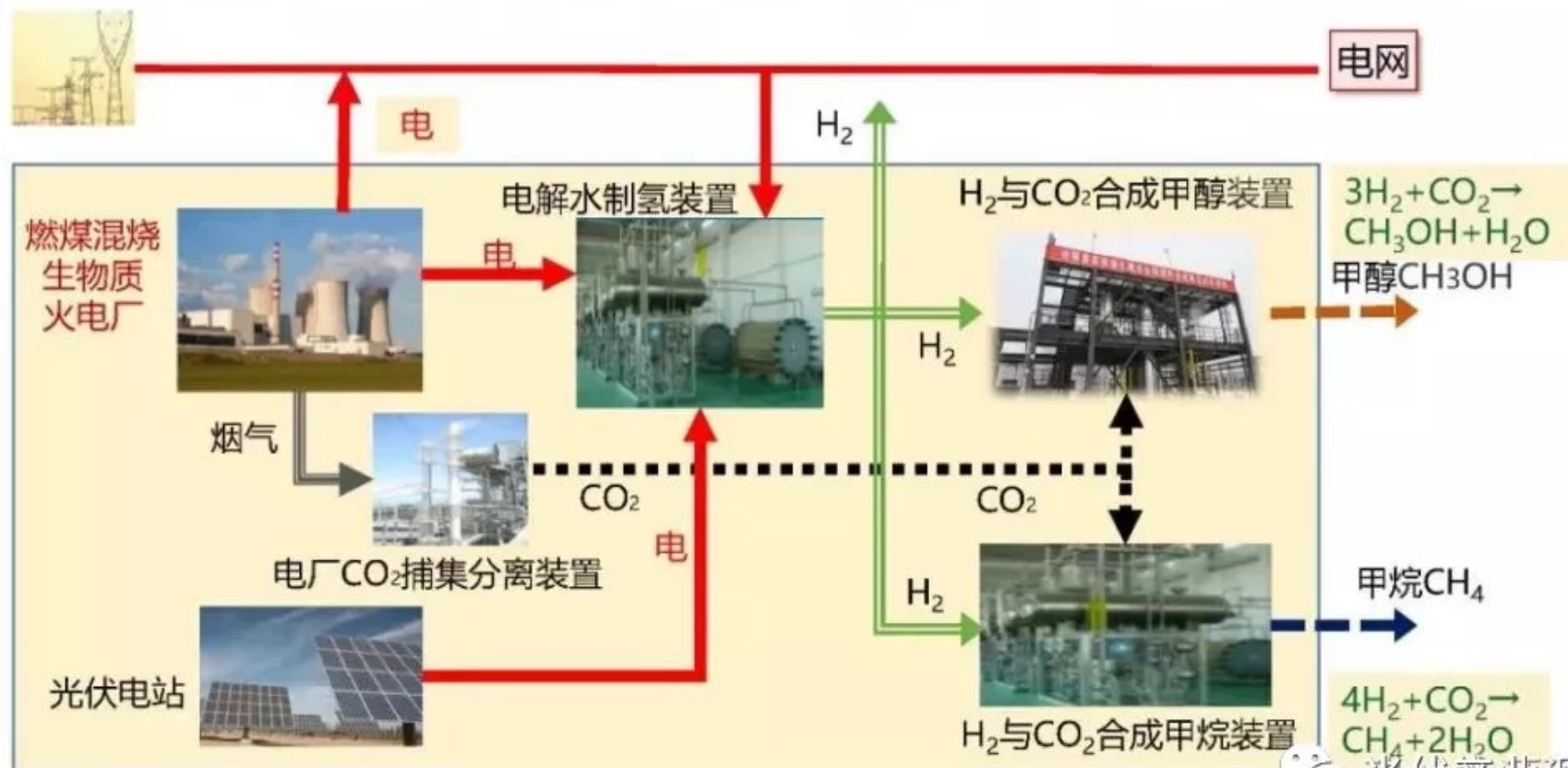
8类有全局性影响的关键技术:

- 高效低成本电网支持型新能源发电和综合利用技术
- 高可靠性低损耗新型电力电子元器件装置和系统技术
- 新型综合能源电力系统规划运行和控制保护技术
- 清洁高效低成本氢能生产储运转化和应用技术
- 安全高效低成本长寿命新型储能技术
- 数字化智能化和能源互联网/物联网技术
- 新型输电和超导综合输能技术
- 综合能源电力市场技术



光伏能源调查

综合能源生产单元 (Integrated Energy Production Unit, IEPU) -设想方案



[1]人民网. 千吨级“液态太阳燃料合成示范项目”通过科技成果鉴定[EB/OL]. [2020-10-16]. <http://gs.people.com.cn/n2/2020/1016/c183348-34368741.html>

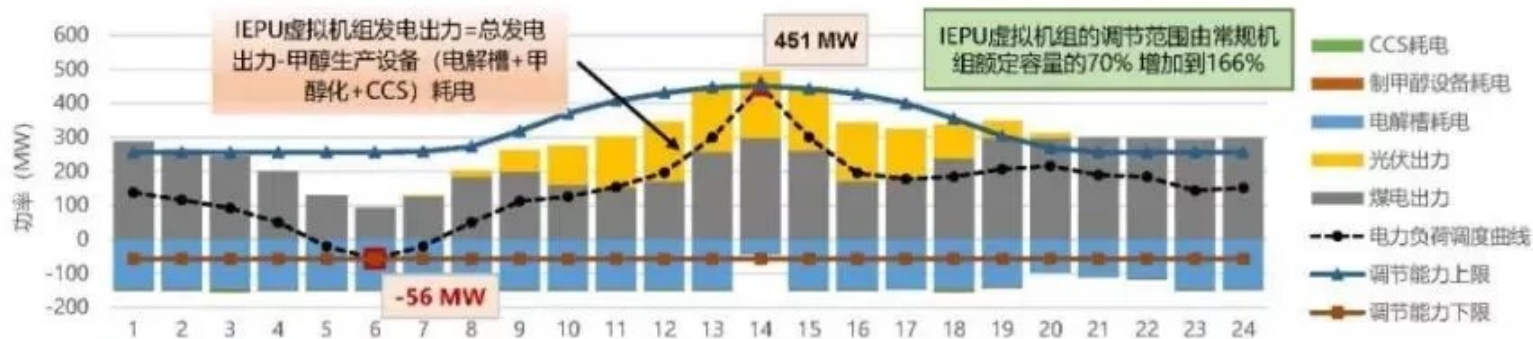
[2]李仁贵, 李灿. 人工光合成太阳燃料制备途径及规模化[J]. 科技导报, 2020, 38(23): 105-112.

[3]Shih C F, Tao Z, Li J, et al. Powering the Future with Liquid Sunshine[J]. Joule, 2018, 2(10).

张松能调查

综合能源生产单元 (IEPU) - 灵活调节能力

灵活调节
能力示意图*
—日内电能
调度曲线



设备容量配置

设备类型	关键参数	参数值	备注
火电机组	发电容量 (MW)	300	最小技术出力 90MW
	CO ₂ 捕集量 (万t/a)	15	
光伏机组	发电容量 (MW)	180	
电解槽	用电容量 (MW)	140	最小出力按额定容量 的30%考虑
	耗水量 (万t/a)	18.4	
	H ₂ 产量 (万t/a)	2.045	
制甲醇 设备	用电容量 (MW)	4.6	年运行4000小时
	甲醇年产量 (万t/a)	10.9	

IEPU虚拟电厂日内24小时调节能力

- 出力上限=煤电机组额定功率+光伏发电功率-电解水制氢制甲醇装置出力下限 (30%)
- 出力下限=煤电机组最小出力限制 -电解水制氢制甲醇装置出力上限



与电网并网的优化运行结果表明, IEPU比传统火电厂具有范围更大的灵活调节能力

*案例设备配置: 电解槽容量146MW、光伏发电机组187MW

光伏能源调查

综合能源生产单元 (IEPU) 设想-经济性试算 (合成甲醇)

设备	关键参数	参数值	备注
煤电机组	年运维成本 (万元)	10000	含碳捕集装置运维成本
	燃料成本 (元/tce)	350	
	碳捕集设备改造 (万元) *	10000	
电解槽	投资成本 (元/kW)	2000	
	年运维成本	投资成本*4%	
	设备寿命 (年)	10	
光伏发电机组	投资成本 (元/kW)	1500	不考虑采用高电压传输
	年运维成本 (元/kW)	50	
甲醇化设备**	投资成本 (元/年产t)	4000	
	年运维成本 (元/t)	200	

➢ 上网电价: 0.4元/kWh

➢ 甲醇售价: 2000元/t

➢ 碳减排补贴: 100元/t

➢ 贴现率: 10%

➢ 税率: 10%

*参考: 华能上海石洞口第二电厂燃烧后CO₂捕集示范电站数据

**参考: Perezfortes M, Schoneberger J C, Boulamanti A, et al. Methanol synthesis using captured CO₂ as raw material: Techno-economic and environmental assessment[J]. Applied Energy, 2016: 718-732.

经济性试算结果

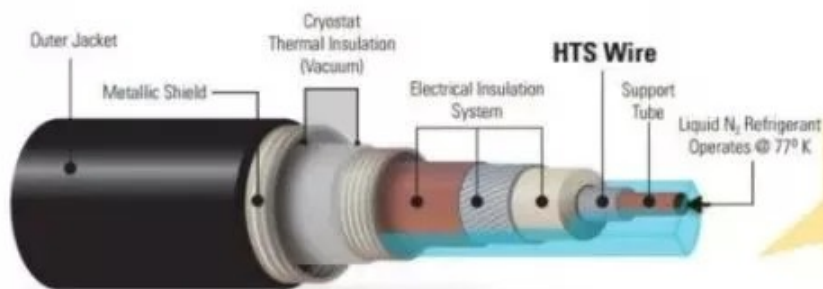
指标	计算结果
内部收益率 (IRR)	22.3%
净现值 (NPV)	9.84亿元
投资回报期	约7年
初始投资	12.39亿元
年净收入 (除首年及设备置换年、不计折现)	2.91亿元

IEPU经济性初步试算结果表明:

- IEPU充分利用清洁能源制氢, 配合CO₂捕集等技术, 与化工产业链结合, 促进能源低碳转型
- 考虑电解制氢、光伏发电、CO₂捕集等技术进步及成本降低, 碳市场需求扩大, IEPU可具有一定的经济可行性

氢能能源调查

新型超导综合输能技术-超导输电/输氢或人造燃气



典型高温
超导电缆
结构*

✓ 损耗低

输电总损耗可以降到常规电缆的
25%~50%

✓ 容量大

一回±800kV的超导直流输电线
路输送容量达1600-8000万kW，
是普通特高压直流输电的2-10倍

✓ 重量轻

导线截面积较普通铜电缆或铝
电缆大大减少

✓ 增加系统灵活性

超导载流能力与运行温度有关

✓ 体积小

节约输电走廊

优势

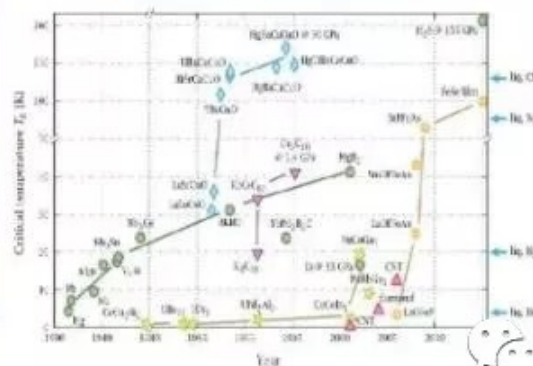
能源输送环节——实现输电/输送燃料一体化

1. 输电+输氢

- 氢经济、国家能源安全
- 液态氢 (21K) 解决高温超导制冷问题
- 储氢相当于储能，最适用于长周期电力电量平衡
- 解决燃料电池所需的氢配送问题



临界温度不断提高**



2. 输电+输天然气

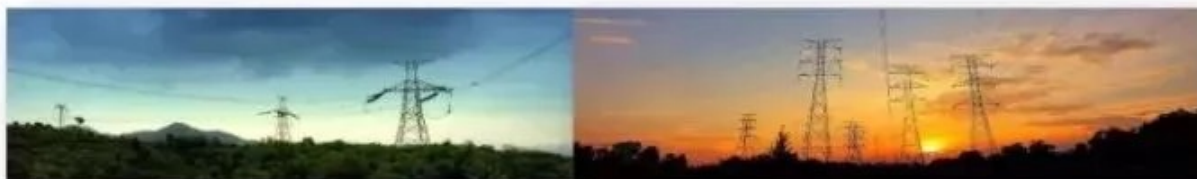
若临界温度能进一步
提高到 110K
(LNG温度)，可
实现输电与输送天
然气同时进行

兆然能源调查

*来源: STI SUPERCONDUCTOR TECHNOLOGIES INC.

**来源: Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/High-temperature_superconductivity

目 录



- 我国能源转型的战略目标和实施路径
- 双碳目标下我国能源电力系统发展情景分析
- 新一代电力系统的主要特征和关键技术
- **总结与讨论**

总结与讨论-1

- 1、情景6的初步分析表明：2035年风电光伏装机容量24.3亿kW，超过装机总容量50%，2060年70.1亿kW,占装机总容量86%；2045-2050年间风电光伏发电量超过总发电量50%，2060年11.9万亿kWh，占总量69.2%，为构建高比例新能源的新型电力系统提供必要条件
- 2、2060年煤电+气电装机共约0.43亿kW，占全国总装机0.52%；煤电+气电发电量共约0.125万亿kWh，占全国总发电量0.73%，实现2060年化石能源发电基本清零
- 3、能源系统和电力系统CO₂排放均可实现2030年前达峰。2050年、2060年能源系统CO₂排放分别降低为峰值的28.0%、10.5%；电力系统（煤电+气电）CO₂排放于2030年达峰，2050年、2060年分别降低为峰值的25.4%、1.6%，为实现2060年前碳中和目标奠定基础
- 4、本报告中能源电力发展情景分析基于两个基本假设：一是假设未来情景中非化石能源消费100%转化为电能消费，实际非电力消费如地热能、水能、空气能等的直接消费和综合利用目前占有一定比例，未来潜力更大。二是假设未来可再生能源发电特别是光伏发电效率保持当前水平不变。按这两项假设的情景分析结果可能使光伏、风电的装机容量偏大，对此已进行了初步算例研究

总结与讨论-2

4、期望IEPU能作为火电低碳/无碳转型路径方案的一种选择，以助力构建“零碳电力系统”，并以其高灵活调节能力支持高渗透率可再生能源电力系统安全可靠运行。设想不同类型的IEPU方案（如单元内部仅含光伏发电、风电和电解水装置等）与数字化智能化技术结合，有可能成为未来能源基地的智慧型基本单元结构，将对未来电网结构、灵活性和储能需求以及电网调度模式产生重要影响

5、新型超导综合输能技术有望实现输电和输氢等绿色燃料的一体化，具有能源输送效率高、走廊占有面积少的优势，有可能成为未来我国西部可再生能源基地大规模开发西电东送的有效补充。单纯的西电东送受输电走廊的限制，总体输送能力受限，新型超导综合输能技术的进一步发展有望解决这一难题，使我国传统的输电线路“西电东送”和天然气管道“西气东输”模式变为统一的新型绿色“西能东输”模式。



感谢中国电科院技术战略研究中心
赵 强 张玉琼 对本项研究的贡献！

谢谢！

周孝信
xxzhou@epri.sgcc.com.cn

☞ 氢能能通调查