



电能替代技术及应用

汇报人：柯毅明

暨南大学国际能源学院副院长

日期：2025年10月30日

目录

CONTENTS

01

定义与背景介绍

Definition and Background Introduction

02

国家能源政策框架

National Energy Policy Framework

03

应用领域概览

Overview of Application Fields

04

典型示范项目

Typical Case Project

05

发展趋势及挑战

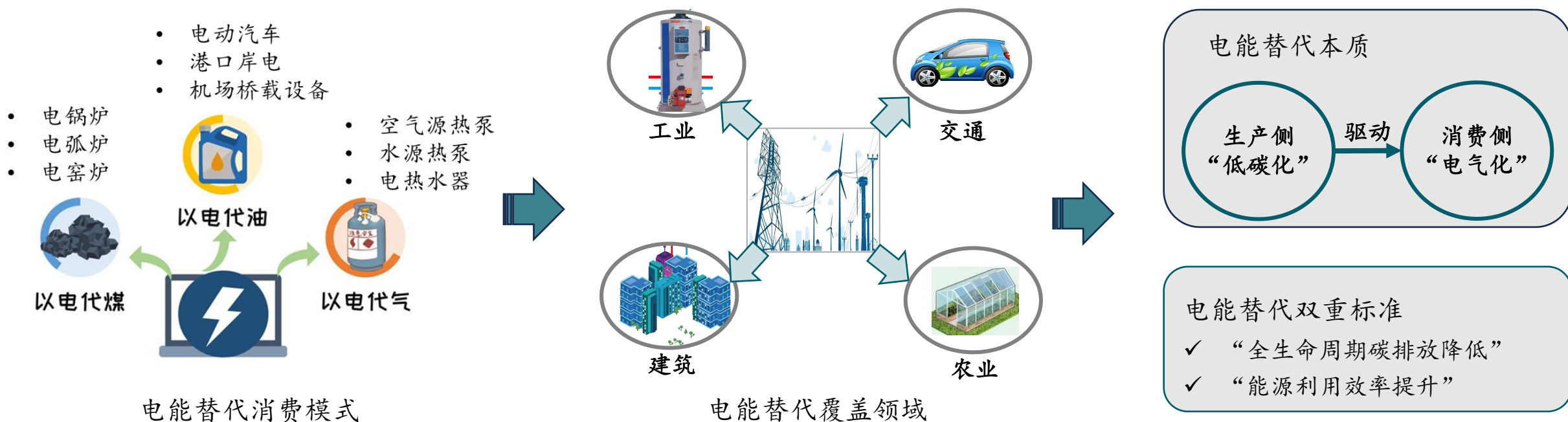
Development Trends and Challenges

1.1 定义

电能替代主要指的是利用电力能源替代煤炭、石油、天然气等化石能源，通过大规模集中转化，从而减少污染物的排放，改善终端能源消费结构，提升能源利用率，推动环保政策取得成果的转化。

相比传统能源，电能的终端利用率高达90%，经济效率是石油的3.2倍、煤炭的17.3倍，兼具高效、清洁与便捷优势。

电能替代主要包括“以电代煤、以电代油、以电代气”等能源的新型消费模式。

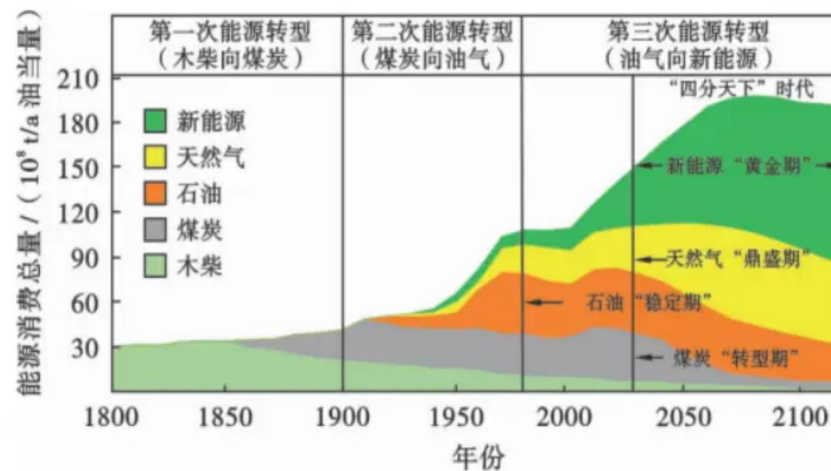


1.2 宏观背景

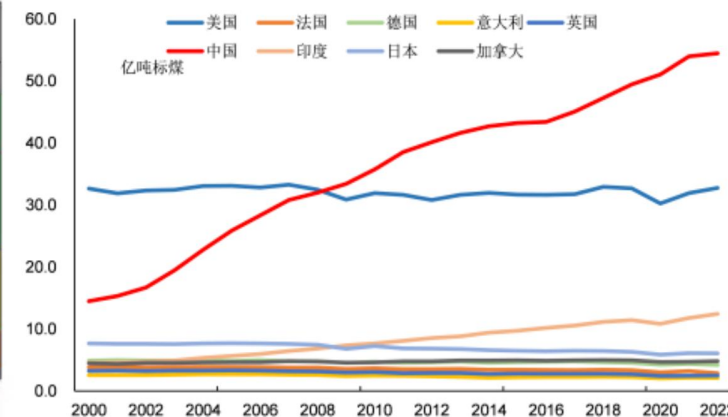


全球能源结构低碳化、清洁化演进，**电能替代**是终端能源消费领域实现低碳转型的核心路径。

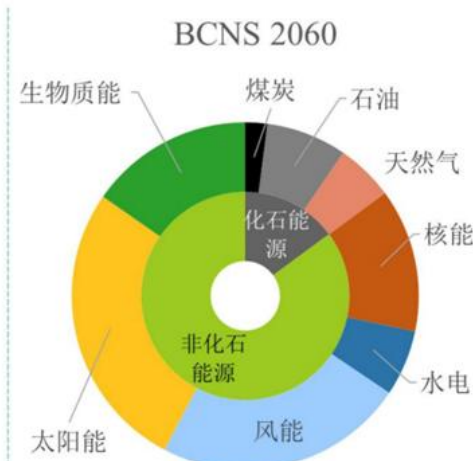
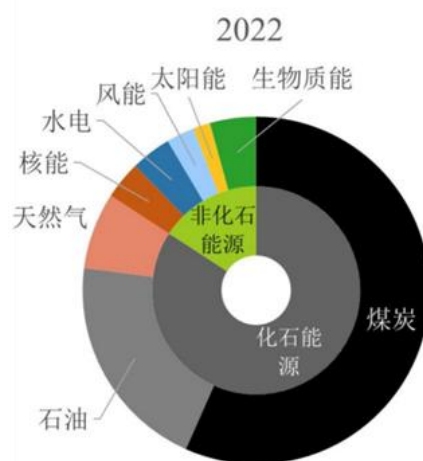
- **全球能源消费结构正加速向新能源倾斜。**2022年，非化石能源占一次能源消费的比重为17.6%，化石能源占比为82.4%；预计到2060年，非化石能源占一次能源消费的比重为85%左右，化石能源占比为15%左右。
- **中国为代表的新兴经济体能源消费增长显著。**2022年，中国的能源消费量增加了40.5亿吨标煤，中国的能源消费增量占同期全球能源消费增量的57.4%。
- **电能成为推动能源消费革命的核心力量。**电能具有清洁、安全、便捷等优势，实施电能替代对于推动能源消费革命、落实国家能源战略、促进能源清洁化发展意义重大，是提高电煤比重、控制煤炭消费总量、减少大气污染的重要举措。



世界能源转型发展趋势



世界各国能源消费结构发展趋势

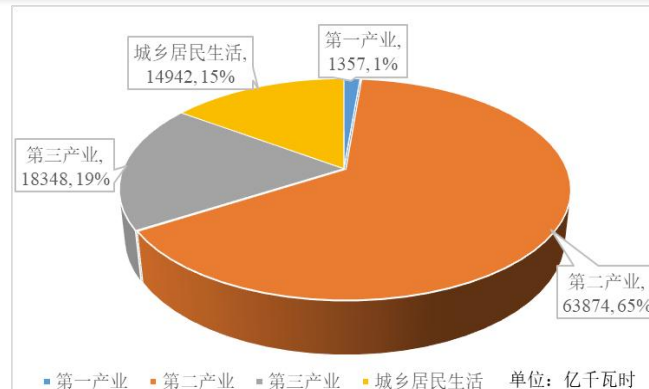


2022年和2060年一次能源需求结构对比

(数据来源:《2024中国能源转型展望》)

“碳达峰”和“碳中和”是统筹国际国内两个大局做出的重大战略决策，与欧美等发达国家相比我国碳减排时间紧、任务重，**电力替代**是实现我国碳中和的关键抓手

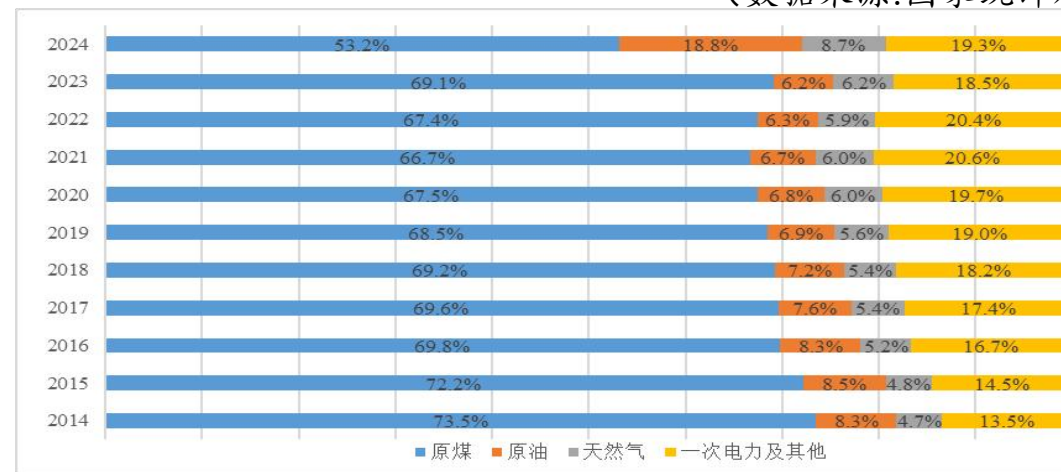
- **碳减排时间短，任务重。**我国碳排放量较大。然而，我国从碳达峰到碳中和时间几乎只有发达国家一半时间左右，减排力度大，任务艰巨。
- **高碳产业结构。**截止2024年我国第二产业增加值占GDP比重降到36.5%，传统“**三高一低**”（高投入、高能耗、高污染、低效益）产业占比较高。
- **高碳能源结构。**“一煤独大”严重制约减排，清洁能源发展有待全面提速。中国煤炭占比分别是美国、欧盟和全球的3.6，4.1和2.1倍，碳排放强度高出世界平均水平30%以上。
- **工业化和城市化的中高速进程中**，很多地区还要有能源消费增量。
- 解决碳排放问题关键要减少能源碳排放，治本之策是加快推进**能源清洁替代和电能替代**，彻底摆脱化石能源依赖，从源头上消除碳排放。



2024我国各产业耗能情况
(数据来源:国家能源局)



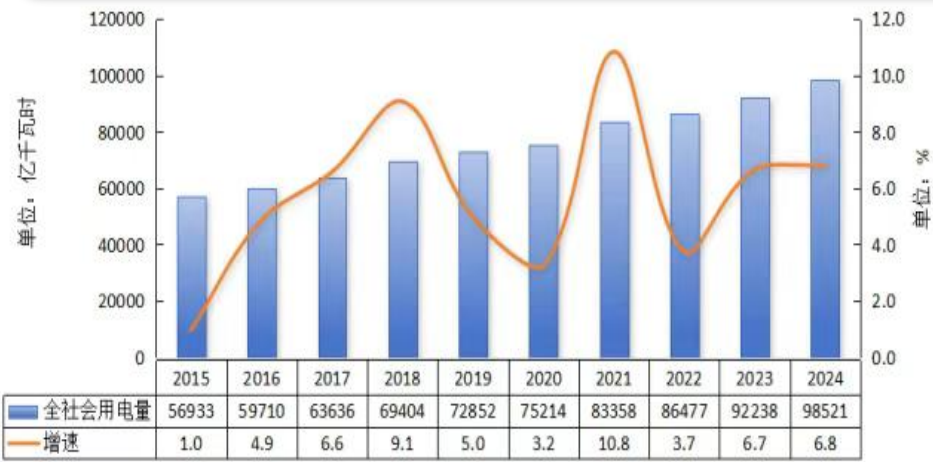
2022-2024我国三大产业增加值
占GDP总值比重变化情况
(数据来源:国家统计局)



中国能源生产结构（数据来源:国家统计局）



电力消费持续增长与产业结构优化，为**电能替代**的广泛实施提供了市场空间与政策动力



2015—2024年全国全社会用电量及增速



2015—2024年分产业用电量

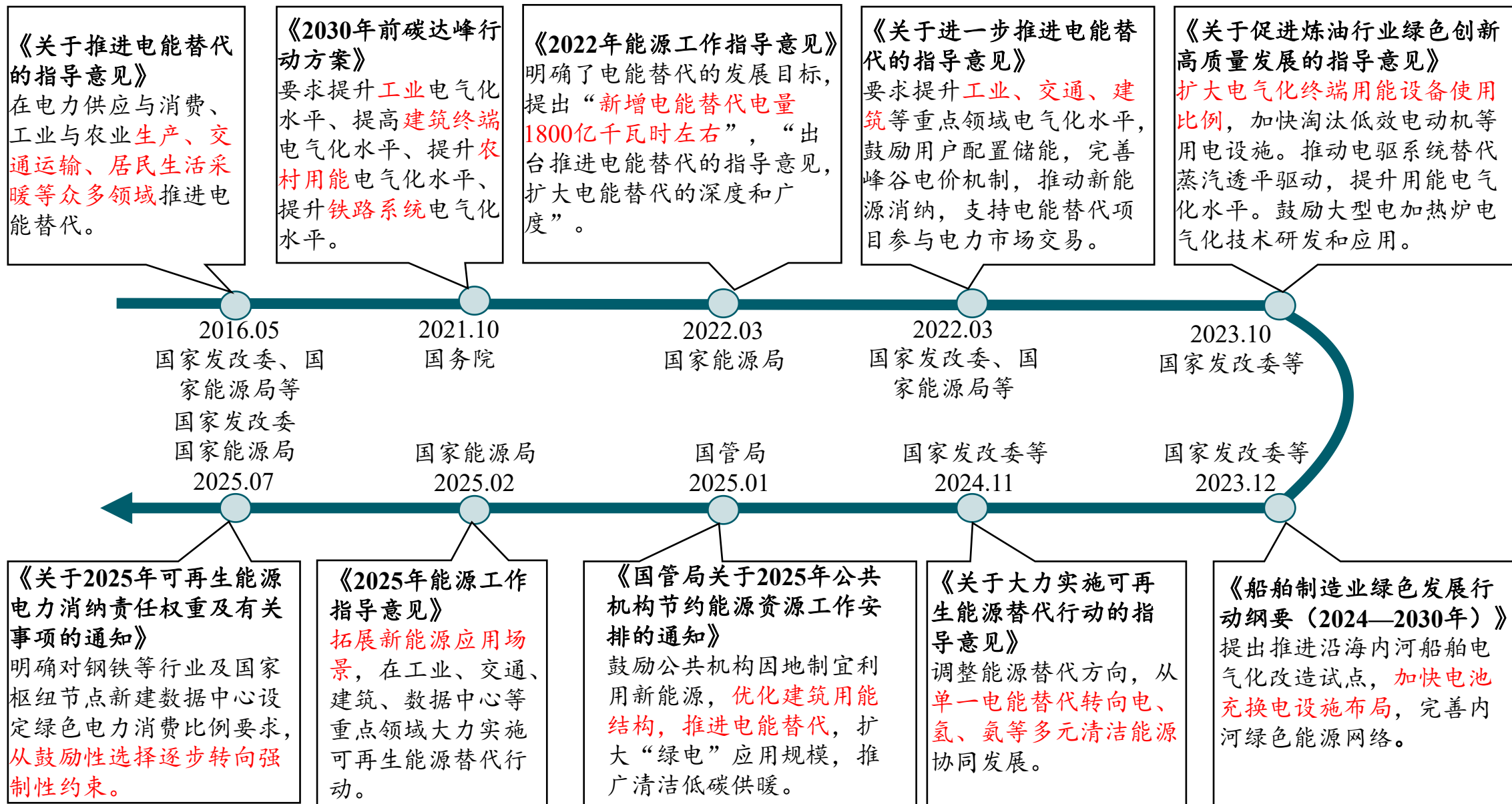
- ✓ **电力消费持续增长**。2015—2024 年全国全社会用电量从 56933 亿千瓦时增长至 98521 亿千瓦时，2024 年同比增长 6.8%，呈现长期稳定增长态势。
- ✓ **产业结构深度优化**。2024 年第三产业同比增长 9.9%、居民生活同比增长 10.6%，二者占比逐年提升。

类别	行业大类	电能替代类型
第一产业	农、林、牧、渔、水利业	以电代油、以电代煤
第二产业 (工业)	采掘业	基本为以电代油
	制造业	基本为替代燃煤
	电力、煤气等生产和供应业	替代燃煤电厂为主
	建筑业	以电代煤、以电代油
第三产业	交通运输、仓储和邮政业	基本为以电代油
	批发/零售业和住宿/餐饮业	以电代煤、以电代油
居民	居民生活	以电代煤、以电代油

主要行业重点替代能源情况

(数据来源:中国电力企业联合会)

2.1 国家相关政策

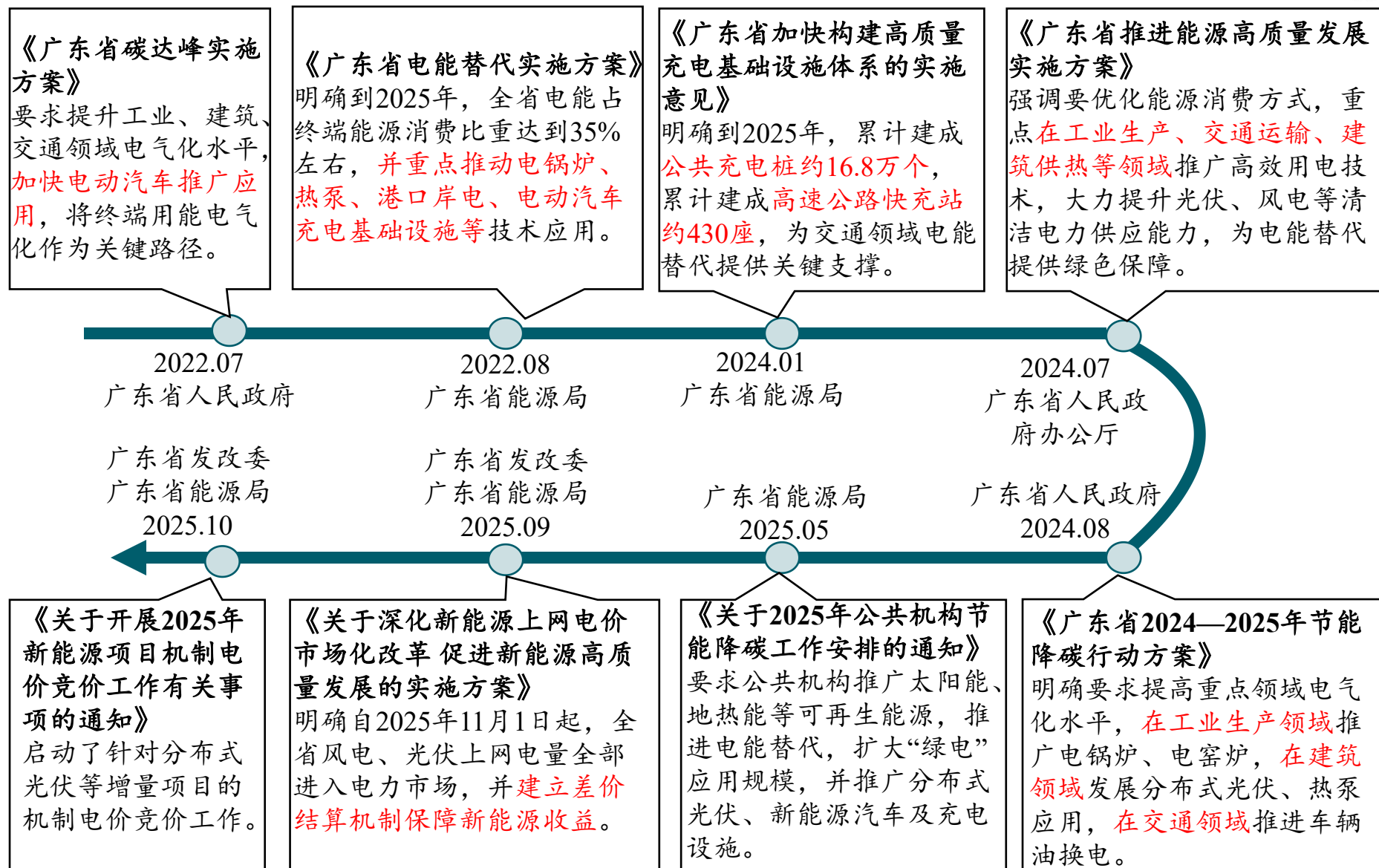


2.2 地区相关政策

- 广东在2024年的用电量再次荣登全国榜首。
- 2024年广东全社会用电量达到**9121亿千瓦时**，同比增长7.3%，成为了全中国首个电量突破9000亿千瓦时的省份。
(数据来源：广东省2024年统计年鉴)



广东省巨大的用电体量和持续增长态势，使其成为检验和推动电能替代政策的关键区域，其政策实践对全国具有先行示范意义。



2.3 政策关联

关联维度

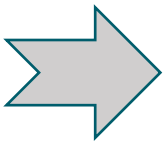
国家“双碳”政策

电能替代政策

1

目标协同

以碳达峰、碳中和为总目标，推动能源消费低碳化、清洁化转型，降低单位 GDP 碳排放强度。

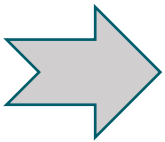


通过提升工业、交通、建筑等领域电气化水平，替代化石能源消费，直接减少碳排放，是实现双碳目标的关键路径。

2

领域覆盖

聚焦能源生产、消费全链条，涵盖工业、交通、建筑、农业等重点碳排放领域的低碳转型。

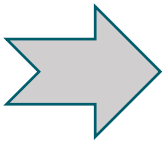


精准对接双碳政策的重点领域，如工业电窑炉 / 电锅炉替代、交通电动化、建筑热泵 / 光伏应用。

3

机制保障

聚焦能源生产、消费全链条，涵盖工业、交通、建筑、农业等重点碳排放领域的低碳转型。

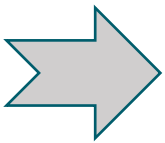


依托双碳政策的机制创新，通过绿电交易、差价结算、峰谷电价优化，降低电能替代的经济性门槛。

4

区域示范

鼓励重点区域（如粤港澳大湾区）先行先试，打造低碳发展标杆。

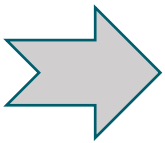


广东作为全国用电第一大省，以自身高用电体量和产业结构为基础，推行电能替代政策实践。

5

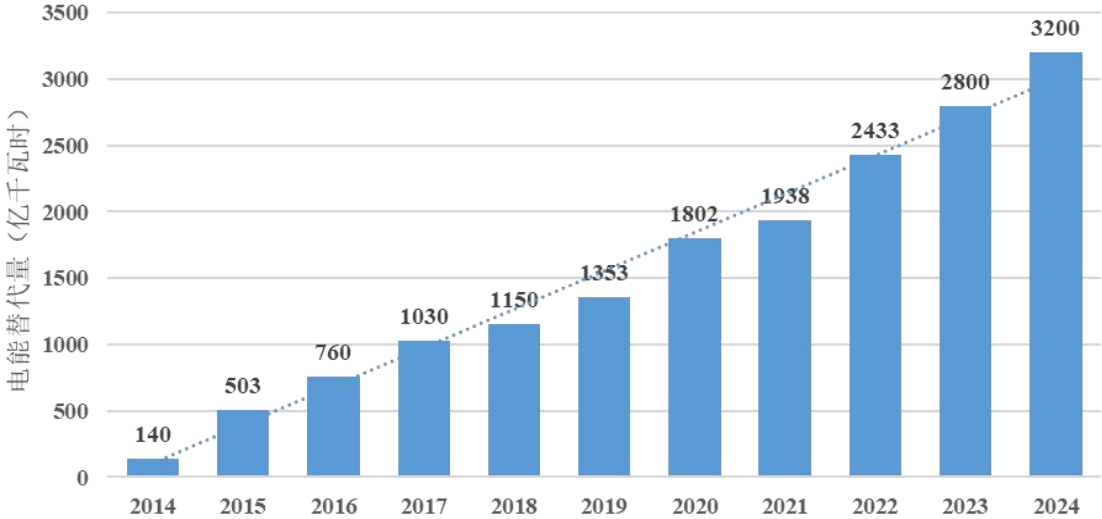
技术路径

推动能源技术革命，支持电能、氢能、新能源等多元清洁能源协同发展。

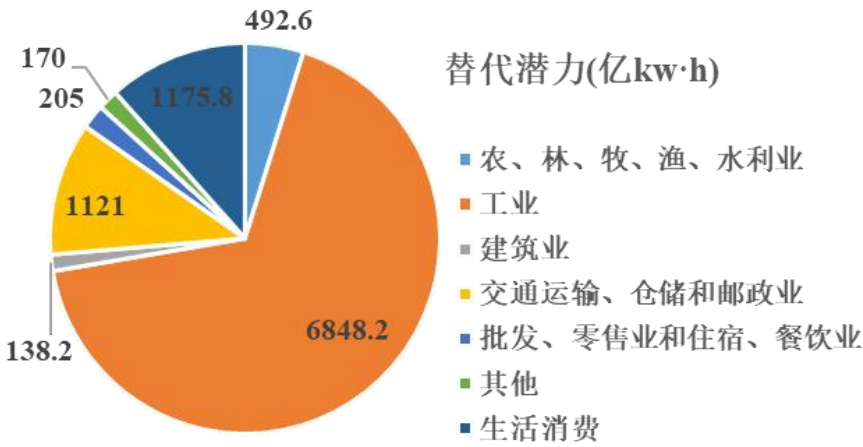


以电能替代为核心路径，同时在国家“电 - 氢 - 氨多元协同”框架下，探索“电能替代 + 分布式光伏 + 储能”等融合模式，拓展低碳技术应用边界。

3. 应用领域概览

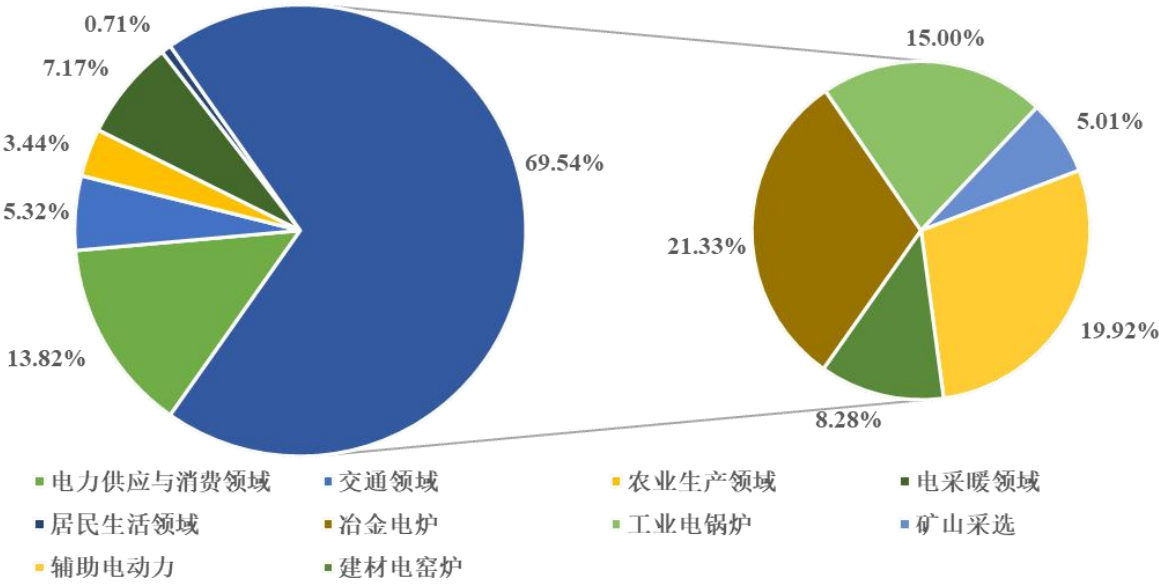


2014-2024年国网经营区电能替代实施电量



“十四五”期间国网经营区电能替代理论潜力

- **实施规模持续增长。** 国网经营区电能替代实施电量呈稳定上升趋势。
- **电能替代潜力空间广阔。** 其中，工业领域占比最大，工农业生产制造占电能替代电量70%左右，在零售业、交通运输等领域也存在可观潜力。
- **领域分布结构清晰。** 电能替代项目主要分布在居民采暖、工农业生产制造、交通运输、电力供应与消费、家庭电气化等领域。



国网经营区电能替代各领域占比

(数据来源：唐伟,徐朝,单葆国,等.基于细分行业用能结构特征的“十四五”电能替代电量规划[J].中国电力,2021,54(07):36-45.)

工业生产领域部分电能替代技术

电能替代技术	替代对象	技术应用领域
电弧炉技术	燃煤炉、燃气炉、燃油炉	金属熔炼、冶炼等
铸造中频电炉技术	燃煤冲天炉	铸造锻造及热处理等
电热隧道窑技术	燃煤、燃气隧道窑	冶炼、焙烧工艺等
电锅炉技术	燃煤、燃气锅炉	工业生产用热等
电阻炉技术	膛式火焰炉和回转炉	锻造加热及热处理等
中高频感应电路技术	燃煤转炉	锻造加热、熔炼等



电炉短流程炼钢项目示意图

(数据来源:《江苏沙钢钢铁有限公司碳达峰碳减排行动计划》)

江苏沙钢集团电炉短流程炼钢改造项目

项目概况

江苏沙钢集团电改炉项目于2024年6月投产,采用全废钢冶炼的短流程炼钢技术,配备废钢预热、虹吸无渣出钢等工艺,年产能达1200万吨(占沙钢电炉总产能的66.7%),沙钢累计环保投入超300亿元。此外,沙钢钢铁大力发展电炉短流程炼钢,提高废钢比例,拥有电炉钢产能550万吨,电炉钢占比20%以上(中国平均水平为10%),能耗降低85%,二氧化碳排放量降低75%,是国内工业领域电能替代、绿色炼钢的标杆项目。

4.1 典型案例-工业生产领域

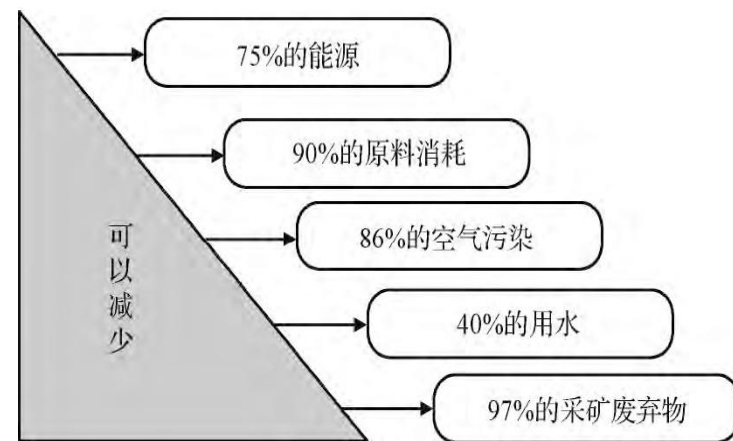
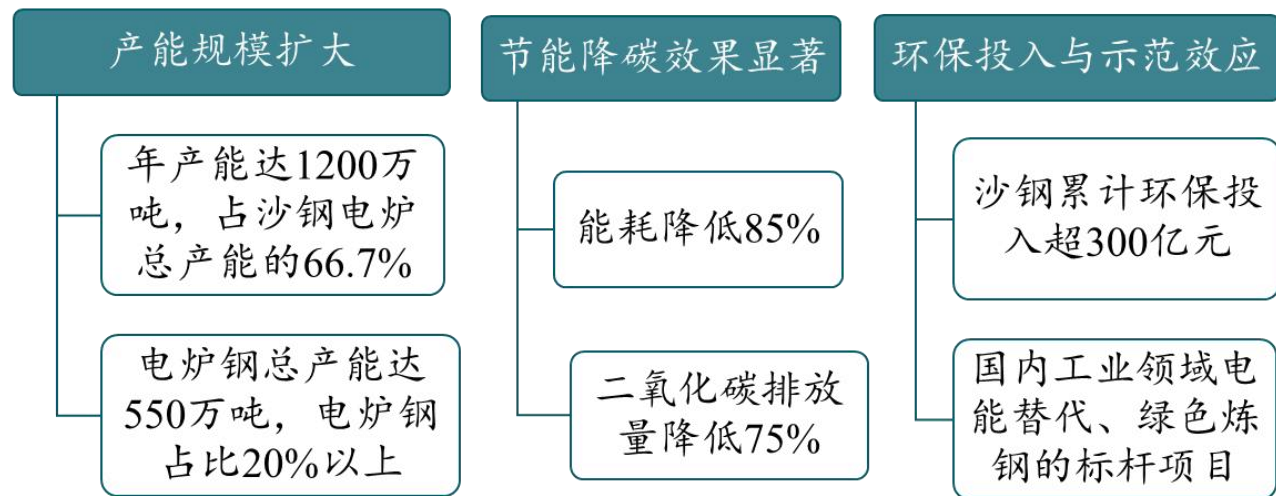
存在问题

- ◆ 高能耗：传统燃煤/燃气炼钢能耗高；
- ◆ 高碳排放：传统工艺二氧化碳排放量大；
- ◆ 废钢利用率低：传统流程对废钢的利用比例有限；
- ◆ 环保压力大：燃煤炉等设备污染物排放高，环保不达标。

核心改造

- 短流程炼钢工艺：全废钢冶炼替代铁矿石原料；
 - 电弧炉技术：核心熔炼设备，替代燃煤/燃气炉；
 - 废钢预热技术：利用余热提升能效；
 - 虹吸无渣出钢技术：提高钢水质量，减少损耗。
- ➔ 技术优势：绿色、高效、精准可控

项目成效



电炉制钢使用优势

(数据来源:江苏沙钢钢铁有限公司官网)

王新江.中国电炉炼钢的技术进步[J].钢铁,2019,54(08):1-8.)

道路交通领域部分电能替代技术

电能替代技术	替代对象	技术应用领域
纯电动汽车	燃油、燃气车辆	城市公交、出租车等
铁路电气化技术	内燃机车	干线铁路、城市地铁及轻轨等
港口岸电技术	船舶辅机燃油	船舶停靠港口期间供电
机场桥载电源	飞行辅助动力装置燃油	客机在廊桥停靠期间供电
电动船舶	船舶柴油机	内河及湖泊观光船、轮渡等
电动重型卡车	柴油重型卡车	港口内、短途干线运输等



2015-2024年中国新能源汽车销量及增长率

(数据来源:中国汽车工业协会)

深圳市公交车全面电动化项目

项目概况

截至 2022 年底，深圳实现公交 100% 纯电动化，投入纯电动公交车 15896 辆，覆盖 900 多条公交线路，是全球率先实现公交全面电动化的大城市。



深圳电动公交车充电站

4.2 典型案例-道路交通领域

存在问题

- ◆ **环境污染问题**：传统燃油公交车在行驶过程中会产生大量尾气排放（如二氧化碳、氮氧化物、颗粒物），是城市空气污染和噪音污染的重要来源。
- ◆ **能源消耗问题**：严重依赖石油等不可再生的化石燃料，能源结构单一，且受国际油价波动影响大。
- ◆ **运营成本问题**：燃油成本高昂，且传统内燃机的维护、保养成本也相对较高。

核心改造

- **纯电动汽车技术**直接替换传统的燃油、燃气公交。大规模应用于城市公交系统。
- 为保证近1.6万辆公交车的运营，必须配套建设覆盖全市的大功率**充电站网络**。需要全新的车辆调度、电池管理、远程监控等**智能化系统**来管理庞大的纯电动车队。

项目成效



每年减少二氧化碳排放量 **135.3 万吨**；



减少氮氧化物等污染物排放量 **431.6 吨**；



纯电动公交较传统柴油大巴节能 **72.9%**；



年度总节能约 **36.6 万吨**标准煤；



替代燃油总量 **34.5 万吨**。

4.3 典型案例-建筑采暖领域

建筑采暖领域部分电能替代技术

电能替代技术	替代对象	技术应用领域
空气源热泵技术	散煤、燃气锅炉	北方清洁取暖、冬季分户采暖
蓄热式电锅炉技术	燃煤、燃气锅炉	区域集中供暖
电采暖地板/电热膜	散煤、燃气壁挂炉	个性化、舒适化采暖
太阳能光伏+电采暖	散煤、燃气	光照资源较好地区的建筑采暖
智能电暖器技术	煤炉、燃气取暖器	分室、间歇性采暖等

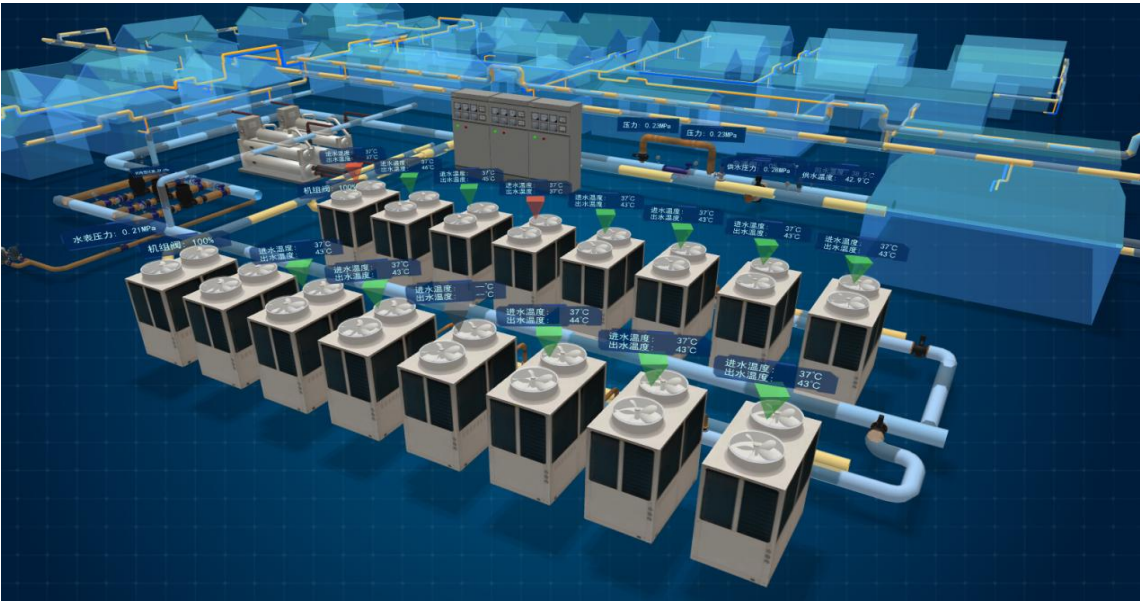
清洁供热市场规模

- 目前，我国城乡既有建筑总面积约700亿平方米，每年新建面积约20亿平方米。全国涉及清洁供热企业8250家，产业总产值9100亿元，从业人员达120万人。
- 截至2021年底，我国北方地区供热总面积225亿平方米，城镇供热面积154亿平方米，农村供热面积71亿平方米，其中，**清洁供热面积158亿平方米，清洁供热率超过70%。**

(数据来源:清洁供热产业委员会)

北京清洁供热项目

项目概况
北京城市副中心行政办公区浅层地热能供热制冷项目是全球最大规模的浅层地热能利用项目，供能服务面积达257.3万平方米，是全国“近零碳排放区”示范工程。



清洁能源供热项目示意图

4.3 典型案例-建筑采暖领域

存在问题

- 1 **高碳排放问题：** 依赖燃煤、燃气锅炉供暖会产生大量二氧化碳，与“双碳”目标相悖。
- 2 **局部环境污染：** 散煤燃烧是导致北方地区冬季空气污染的重要原因之一。
- 3 **化石能源依赖：** 传统供热模式严重依赖煤炭、天然气等化石能源，能源结构亟待优化。
- 4 **能效低下：** 部分传统供暖系统的综合能源利用效率较低。

核心改造

浅层地热能利用技术

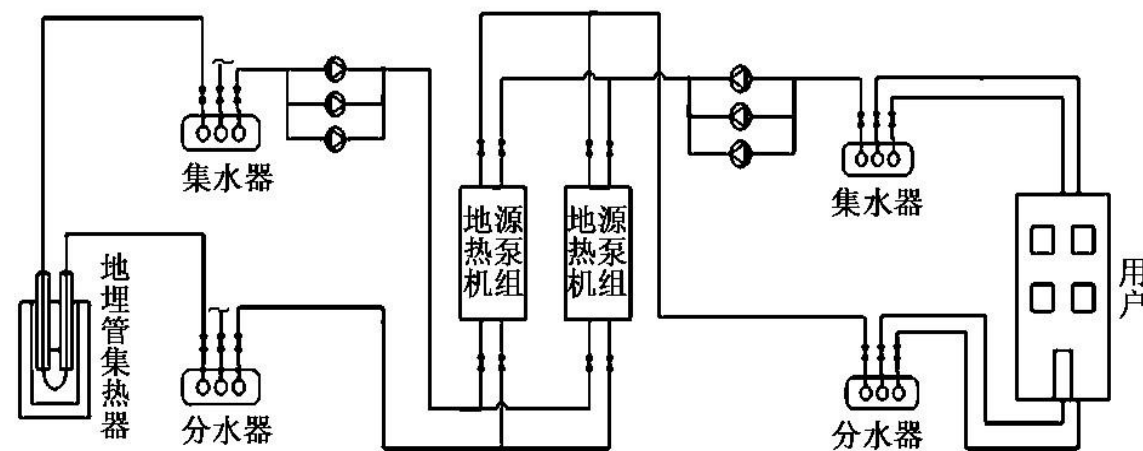
- ◆ 技术类型： 属于**地源热泵技术**范畴，是电能驱动的清洁供暖/制冷技术。
- ◆ 工作原理： 利用电能驱动热泵，吸收浅层地表中的地热能，为建筑提供冬季采暖和夏季制冷。
- ◆ 技术优势： 高效、稳定、可再生，几乎不产生直接碳排放。

(数据来源:北京市规划和自然资源委员会委员会

刘馨,鲁倩男,梁传志,等.严寒地区办公建筑土壤源热泵系统运行策略优化研究[J].建筑科学,2021,37(08):79-86.)

项目成效

- ✓ 每年可节约标煤**约 1.6 万吨**;
- ✓ 减少二氧化碳排放**约 4 万吨**;
- ✓ 单位面积综合能耗达先进值,被评为北京市公共机构绿色低碳发展十佳典型案例。



地源热泵示意图

4.4 典型案例-农业加工领域

农业加工领域部分电能替代技术

电能替代技术	替代对象	技术应用领域
电热泵烘干技术	燃煤、木材烘干	茶叶、粮食等农产品烘干等
电动智能灌溉技术	柴油机灌溉	农田、温室大棚等精准灌溉
电加热育苗技术	燃煤锅炉供暖	农业温室大棚恒温控制
电动冷链仓储技术	柴油发电机供电	农产品预冷、冷藏保鲜等



茶叶电烘干项目示意图

➤ 云南普洱茶产区“电烘干”替代“燃煤烘干”项目

项目概况

云南电网公司着力提升用户终端电气化水平，积极拓展电能替代的广度和深度，完成电制酒、电制茶和电制米线系列电能替代技术标准发布。结合云南供需形势，科学有序推进电能替代，依托负荷管理平台，探索“电能替代+需求响应”等新技术、新产品、新业态、新模式，推动了全省7800余座电烤房建设，1500多户茶叶加工点升级电制茶工艺和130多户酿酒厂开展电气化改造建设，助力构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系。截至2024年9月，云南省累计完成电能替代电量280亿千瓦时。

(数据来源:中国能源报)

4.4 典型案例-农业加工领域

存在问题

- 环境污染问题：**传统的“燃煤烘干”和“木材烘干”方式会产生大量烟尘和污染物，并对茶叶本身造成污染风险。
- 产品质量与安全问题：**燃煤烘干过程可能存在重金属等有害物质附着，影响茶叶的品相、口感和食品安全。
- 能效低下与高成本：**传统烘干方式热效率低，能源浪费严重，且受燃料价格波动影响大，长期运营成本不可控。
- 产业模式落后：**传统加工方式分散、粗放，难以实现标准化、规模化和智能化生产，制约了茶叶产业的现代化升级。

核心改造

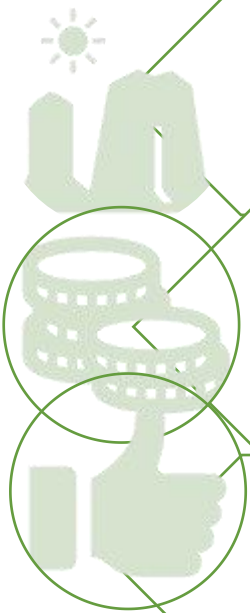
电热泵烘干技术

- ✓ 直接替换了传统的燃煤、木材烘干方式；
- ✓ 大规模应用于茶叶等农产品的烘干加工。

配套与支撑技术

- ✓ 构建“电能替代+需求响应”模式，
- ✓ 完成电制茶技术标准的发布，为技术的规范化、规模化推广奠定了基础。

项目成效



- 1、节能环保，污染物排放大大减少。**
据测算，工业锅炉每燃烧1吨标煤，产生二氧化碳2620公斤、二氧化硫8.5公斤、氮氧化物7.4公斤。按公司年产3200吨茶折算，每年可**节省标煤4480吨，减少排放二氧化碳1.17万吨、二氧化硫38吨、氮氧化物33吨。**
- 2、相对传统火能制茶工艺，新能源成本更低。**
公司每年可节约购煤经费**约250万元。**
- 3、产品质量提高。**
电烘干技术的推广有利于在确保普洱茶特有口感与色泽的基础上，避免锅炉燃烧带来的异味甚至污染。

对比类别	传统烘干机	电烘干机
烘干效率	低	高
品质稳定性	差	稳定
节能环保	差	优
操作难度	高	低

(数据来源:人民日报、云南日报)

5.1 发展趋势

1

可再生能源发电占比逐年提高。根据国网研究院预测，预计电力系统可在2045-2050年实现**净零碳排放**，2060年可再生能源总装机容量比重将达到**96%**以上。

2

终端用能电气化发展势头强劲。预计2030年全社会用电量将达到13万亿千瓦时，2060年用电量将提升到约20万亿千瓦时。根据预测，到2060年将有**19%-23%**的电能用来制氢或其他合成燃料。

3

氢能助力可再生能源消纳。未来氢的增量将以绿氢为主，预计到2060年，绿氢将占整个氢气结构的**80%**左右。风光制氢消纳风光发电的比重将明显提升，2030年将达到**5%**以上。

4

电碳融合成为发展趋势。通过电力系统与碳减排目标的协同优化，推动能源结构转型和绿色低碳发展，旨在通过**优化电力系统运行，推动低碳能源利用**，电碳融合逐渐成为能源领域的重要发展趋势。

5

新型电能替代推动算力网与电力网深度融合。随着物联网、大数据、AI等技术的普及，算力需求增加同时带来用电量的快速上升，“十五五”期间算力基础设施用电量年均增速达到**23.9%**，必须与绿色电力结合，利用可再生能源为数据中心供电。



电能替代在多元化清洁能源替代中占据主体地位，是实现能源转型和“双碳”目标的关键路径之一。**未来以清洁电能为主体**，不仅多种可再生能源转化为清洁电能，而且其它的能源形式需要清洁电能转化。

5.2 面临的挑战

1 新型电能替代技术布局新技术新场景的挑战

- 伴随着传统领域电气化技术的成熟电能替代进程不断加快，替代潜力空间不断压缩，同时客户对高效、便捷的电气化技术、产品和新的应用场景拓展需求越来越多。

2 电能替代可持续性发展受经济性制约

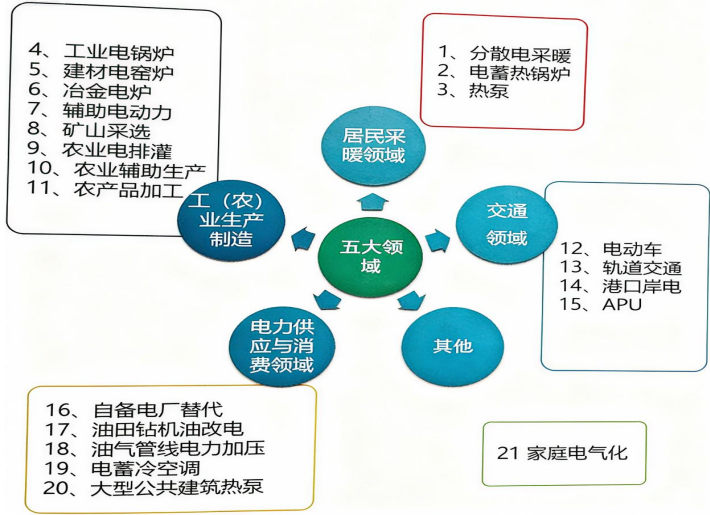
- 电能替代主要以客户投资为主，而电能替代项目的环保性与经济性存在矛盾，企业往往更重视经济效益。同时，电力供需形势变化，使得企业对电能替代改造会产生能源供应形式单一的焦虑感。

3 电能替代受地区基础设施建设限制

- 部分地区基础设施建设缓慢，影响电能替代技术的发展，主要受到区域经济不平衡、基础设施发展规划滞后和建设成本高昂等方面的影响。

4 新型电能替代部分政策体系还不完善

- 新型电能替代在国家层面已经出台相关的政策推动，但部分举措政策体系还不完善，一方面，顶层设计缺乏细化，另一方面，源网荷储一体化项目的评估标准模糊，影响项目推进效率。



传统领域电能替代技术



新型电能替代技术

5.3 新型电能替代发展方向

新型电能替代发展方向需要转变用能方式、提升用能效率、服务绿色用能。

1 加强终端电能消费和清洁能源协同

- 生产侧：构建智能、灵活、可靠的新型电力系统，确保清洁能源电力能够稳定、高效地输送到终端用户；
- 消费侧：协调分布式清洁能源发电设备、多元储能与可控负荷，实现清洁能源就地消纳和优化配置；

2 加大电网互动调节

- 由于新能源出力的随机性、波动性，将导致电力系统平衡失调，需要大力提升系统调节能力，大力发展需求侧资源参与电网互动调节。

3 促进电碳交易深化电碳融合

- 深化电碳融合需要加快电力系统清洁化转型，发展零碳示范园区，发展氢能、储能、碳捕集与封存(CCUS)等技术，进一步提升电力系统的低碳化水平，推动电力市场与碳市场的协同，建立电力市场与碳市场的联动机制。

4 构建以电为主多能互补的新型用能方式

- 通过智能微电网、多能互补系统，终端用能侧实现源网荷储动态匹配，破解新能源消纳与系统灵活性瓶颈，从而推动用能方式转变，构建“直接电气化+间接电气化”双轮驱动的终端用能体系。

5 电氢耦合及氢能综合利用

- 氢能作为清洁能源的路径和能源主体未来是不可缺少的部分，氢能应用是能源转型和可持续发展的重要方向之一。氢能可以在多个领域替代传统化石能源，有广泛的应用场景，并与新型电能替代技术深度融合。

5.3 新型电能替代发展方向

6

各行业新型电能替代发展方向

工业领域

- ✓ **钢铁应用场景**：推广氢冶金技术，预计到2030年氢冶金的氢气需求约为**191-259万吨**。
- ✓ **纺织、造纸等工业**：随着热泵技术的成熟和成本下降，预计未来10年内，热泵在纺织、造纸行业的普及率将达到**20%-30%**。
- ✓ **化工行业**：绿氢在化工行业与CCUS技术结合合成甲醇，预计到2030年全球化工行业绿氢需求将达到**2400万-3200万吨/年**，合成甲醇**1.7亿-2.3亿吨/年**。

建筑领域

- ✓ **冬季供暖**：大力发展热泵、蓄热电锅炉等技术用于冬季供暖取代传统燃气。预计到2030年，热泵供暖面积将达到**50亿-60亿平方米**，蓄热电锅炉供暖面积将达到**10亿-15亿平方米**，年减排量约为**6500万-1.575亿吨CO₂**。
- ✓ **夏季制冷**：发展电蓄冷技术，实现“绿制冷”。

交通领域

- ✓ **公路交通**：乘用车领域提升新能源车渗透率，计划到2030年渗透率达到**40-50%**，到2060年实现全面电动化；普及**新能源重卡**。
- ✓ **铁路交通**：预计到2035年，电气化铁路里程达到**19万公里**，电气化率**超过95%**。
- ✓ **船舶领域**：预计到2030年，我国**电动船舶**数量将达到**10万-15万艘**，氢、醇、氨燃料船舶数量将达到**5000-8000艘**，年减排量约为3500万-1.55亿吨CO₂。
- ✓ **航运方面**：飞机使用生物质柴油替代航油，机场用电替代航油。
- ✓ **低空经济**：预计2030年，我国无人机保有量达到**500万-1000万台**、电动垂直起降飞行器（eVTOL）达到**5万-10万台**，年减排**550万-5500万吨CO₂**。

农业领域

- ✓ **农业生产**：推广电炒茶、电烤烟、电烘干等技术，提高农业生产效率和产品质量，减少环境污染。预计到2030年，农业电能替代总用电量将达到**323亿-792.5亿kWh**，年减排量约为**3230万-7925万吨CO₂**。
- ✓ **农民生活服务**：建立完善的煤改电供暖等电能替代服务体系。预计到2030年，“煤改电”供暖将覆盖北方地区**60%-70%**的农村家庭。



感谢聆听！



暨南大学

JINAN UNIVERSITY

忠信笃敬