



哈尔滨工业大学
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

风光温暖千家万户

——区域化储能供热促进新能源消纳的示范路径

哈尔滨工业大学（威海）

报告目录

- 一 山东新能源发电及供热现状
- 二 新能源区域化高效供热技术
- 三 区域化供热支撑新能源发展新路径
- 四 区域化供热低成本参与电网调度
- 五 推广应用潜力与团队优势

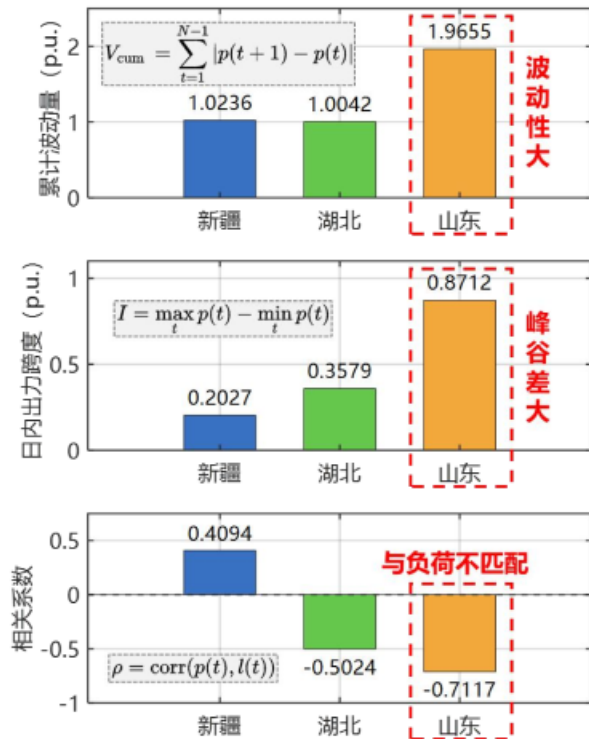
第一部分

山东新能源发电及供热现状

- 山东省新能源发电现状
- 山东省供热现状与改造需求分析

(一) 山东省新能源发电现状

- ◆ 2025年底山东省新能源总装机约1.3亿千瓦，成为山东省第一大电源。光伏装机8514万千瓦，居全国首位；风电装机2669万千瓦，居全国第五。
新能源装机容量已超过全省最大负荷。
- ◆ 相比西北集中式新能源基地，山东省风光受海陆气候及分布式占比高等因素影响，出力呈现**更强的波动性、间歇性和反调峰性**，新能源与负荷的时序错配问题较为突出。2025年1-3月山东省风电、光伏利用率分别约为91.8%和95.1%，低于全国平均水平。
- ◆ 随着山东省新能源装机比例过半、以及风光自身不友好特性，电网消纳由易向难，传统**“源随荷动”模式失效**，灵活性调节资源、特别是**低成本**调节资源严重不足。
- ◆ 推动调控方式向“源网荷储协同”转变，鼓励将分布式能源（分布式电源、储能、可调节负荷等）智能聚合，**参与主网调度运行和电力市场**，是目前电网发展的一个重要方向。



山东省与其他省份的新能源特性对比

（二）山东省供热现状与改造需求分析

- ◆ **民生改善目标**：2024年我国能源消费总量达59.6亿吨标准煤。山东省作为工业与人口大省，能源消费量约占全国的8%。供热空调能耗已占能源消费总量的20%以上，与发达国家30%相比还有**增长空间**。
- ◆ **减碳需求迫切**：按单位供暖面积 $40\text{W}/\text{m}^2$ 、每年连续供暖4.5个月测算，1亿平方米年需供热量约130亿kWh，折合约225万吨原煤。目前山东省供暖面积22亿 m^2 ，燃煤供热面积约15.76亿 m^2 ，原煤消耗约3550万吨， **CO_2 排放量约0.66亿吨**。
- ◆ **传统供热受限**：随着新能源发电占比逐步上升，传统热电联产正从“供热主力”向“辅助调峰”的**角色转变**，无法满足**大规模稳定供热**需求。
- ◆ **双碳目标引领**：在双碳总目标下，山东省省委书记林武要求，到2027年底，全省供热**燃煤锅炉全部替代**退出；天然气作为战略性、基础性资源，预计在2030年前后逐步**退出主力供热**序列。



多重驱动力下的高效清洁供热需求分析

第二部分

新能源区域化高效供热技术

- 技术简介
- 供热系统构成
- 示范案例

（一）技术简介

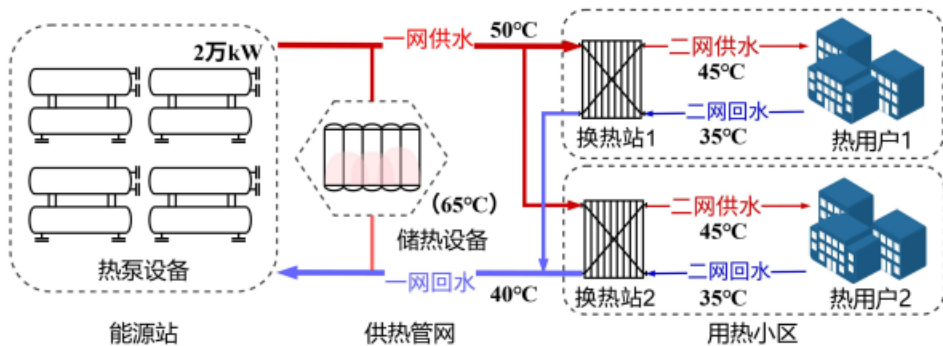
- ◆ **新能源区域化供热技术：**以环境能源为主要取热源、以整县整市为供热单元，依托大规模电动热泵与储能技术协同应用，实现供热系统的清洁化与规模化运行。该模式可实现“一份电量、三份热量”的能量倍增效应，并通过电热解耦赋予以供热负荷分钟级柔性调节能力。
- **环境能源：**水源、地源、空气源、地热能等环境中的能源。
- **区域化：**以区、县、市为对象，每个区县建设10到15个百万 m^3 级清洁能源站，以分布式能源站的形式解决整个区县市的供热问题。
- **储能：**基于高效储热设备及“源网荷储一体化”智慧供热平台，柔性调整供热负荷，响应由网分时调节需求
- ◆ **常见供热技术对比：**



新能源区域化供热设备（空气源）

技术维度	传统燃煤/燃气锅炉	传统直热电锅炉	新能源区域化供热（热泵+储能）
能源转化效率	80%-95%	95%-98%	300%-400%
转化倍数关系	1单位燃料 $\rightarrow$ <1单位热能	1单位电 $\rightarrow$ 1单位热(1:1)	1单位电 $\rightarrow$ 3-4单位热(1:3-4)
碳排放	高排放（化石能源燃烧）	间接排放（依赖电网强度）	零排放（消纳绿电+环境能源）
电网互动能力	无	弱（刚性负荷）	极强（利用储能实现电热解耦）

(二) 供热系统构成



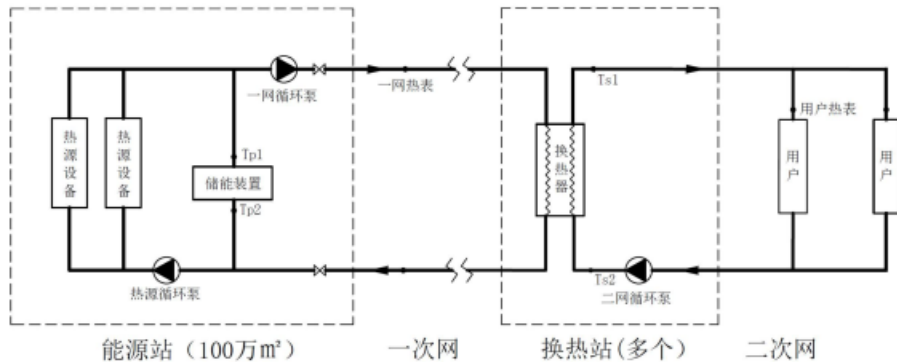
◆ **系统构成**：区域化供热系统主要由能源站、储能设备、供热管网及用热小区四部分构成。

➤ **能源站**：以高效热泵机组为核心，提取低品位热能用以供热，实现电热资源的灵活转换。

➤ **供热管网**：包括一、二次网，连接能源站、储能设备与热用户。

➤ **用热小区**：小区内设有换热站，热量按需调节，保障热用户室内温度舒适稳定。

➤ **储能设备**：作为电热解耦的关键节点，错峰填谷，缓解新能源并网波动。



(三) 示范案例

◆ 河北魏县中心城区清洁能源供热项目

- 全国首例整县新能源区域化供热改造试点。
- 供热规模：已建成7座区域化能源站，供热面积1200万 m^2 。
- 能源形式：以地表水源为主，污水源、空气源为辅，燃气、电锅炉为保障热源。



河北魏县分布式能源站规划图

◆ 青岛高新区全域清洁能源供热项目

- 全国首例新能源区域化供热新建试点。
- 供热规模：已建设4座区域化能源站，规划供热面积1446万 m^2 。



青岛高新区分布式能源站规划图

第三部分

区域化供热支撑新能源 高质量发展

- 政策指引
- 区域化供热用电特性
- 对新能源消纳与碳减排的贡献



（一）政策指引

◆ 《促进新能源消纳和调控的指导意见》（发改能源〔2025〕1360号）

- 完善新能源消纳举措，优化系统调控，促进新能源在大规模开发的同时实现高质量消纳。
- 鼓励传统产业创新工艺流程，提升负荷灵活性，在热力、供暖、制冷、动力等环节更多使用新能源。
- 充分利用区域间、省间调节资源和新能源出力互补特性，灵活响应新能源短时消纳需求，充分发挥虚拟电厂聚合负荷侧调节资源作用。

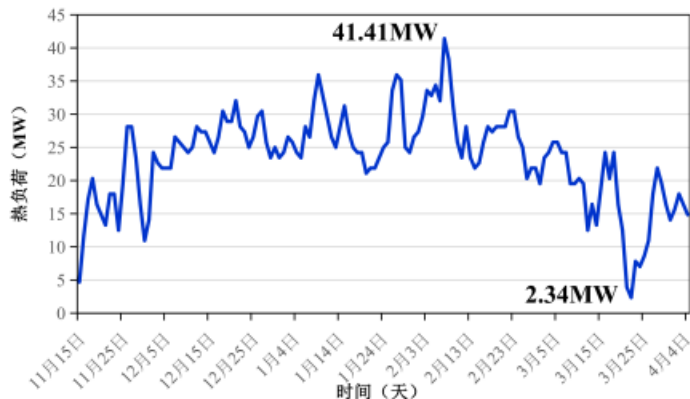
◆ 《促进新能源集成融合发展的指导意见》（国能发新能〔2025〕93号）

- 坚持场景拓维、多元利用，扩展新能源非电应用，培育形成新能源生产消费新模式新业态。
- 有序推进新能源供热项目试点，促进新能源与现有供热体系的技术、运营协同衔接。
- 加快推进虚拟电厂规模化发展，加强分散电力资源的聚合协同。
- 发挥热力系统灵活调节优势，推动新能源与热力系统联合优化调度运行，探索新能源供暖与岩土、水体等长周期储热技术耦合应用。

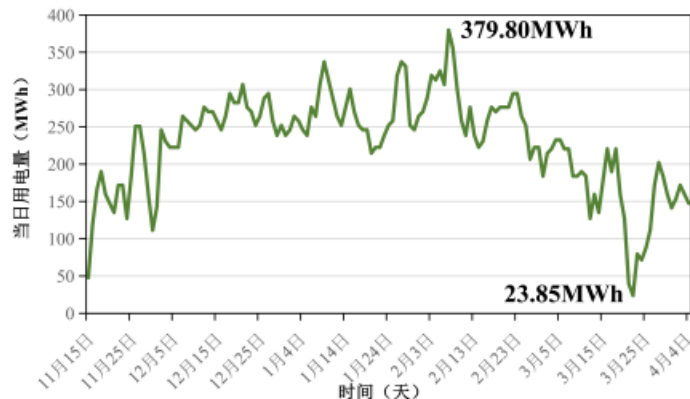
(二) 区域化供热用电特性

◆ 规模化运行数据 (100万 m^2 基准)

- **峰值特征：**最大热负荷41.41MW，最小热负荷2.34MW。
- **能量规模：**日最大耗电量37.98万度，日最小耗电量2.385万度，年耗电量约**0.3226亿度**。
- **负荷规律：**热/电负荷受环境温度影响，呈现“初末期低、中期高”的对称分布。



青岛市高新区2024年热负荷分布 (每100万 m^2)

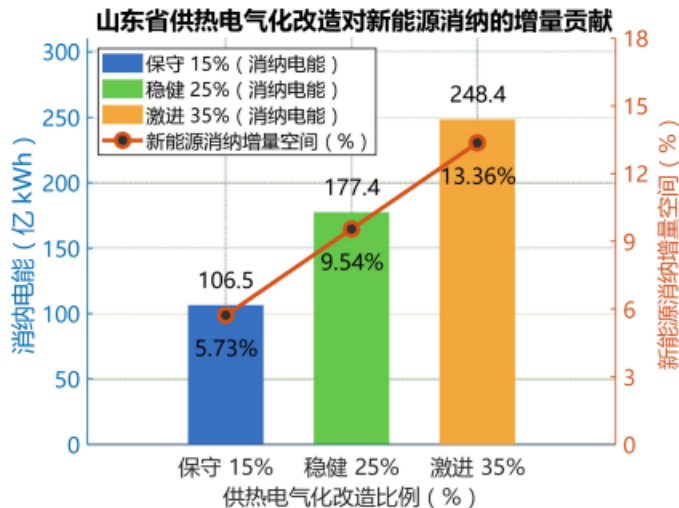


青岛市高新区2024年日用电量分布 (每100万 m^2)



(三) 对新能源消纳与碳减排的贡献

- 全省供热面积约**22亿m²**。按照百万m²用电推算，每1亿m²供热负荷的年耗电量约为**32.26亿kWh**。
- 2024年，山东省新能源发电量为**1859亿kWh**。若对山东省供热系统实施电气化改造，当改造比例分别为**保守15%、稳健25%和激进35%**时，分别可为山东省**新能源电量消纳**提供约**5.73%、9.54%和13.36%**的增量空间；按新能源平均利用小时数1487h/年估算，分别可支撑新能源新增装机约为**0.072亿kW、0.119亿kW和0.167亿kW**；分别可节约燃煤**532、887和1242**万吨，减少CO₂排放**0.10、0.17和0.23亿吨**。



不同电气化改造比例下的效果分析

改造比例	保守15%	稳健25%	激进35%
新能源新增装机规模	0.072亿kW	0.119亿kW	0.167亿kW
节约燃煤	532万吨	887万吨	1242万吨
减少CO ₂ 排放	0.10亿吨	0.17亿吨	0.23亿吨

第四部分

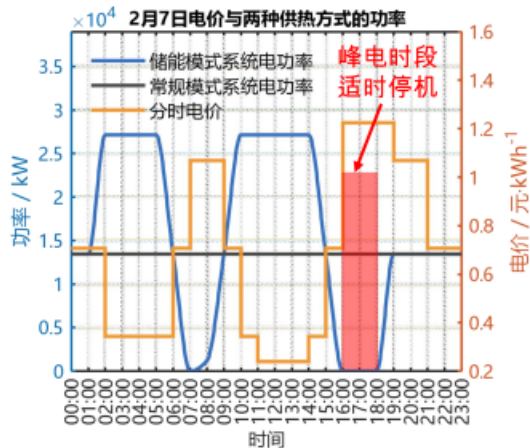
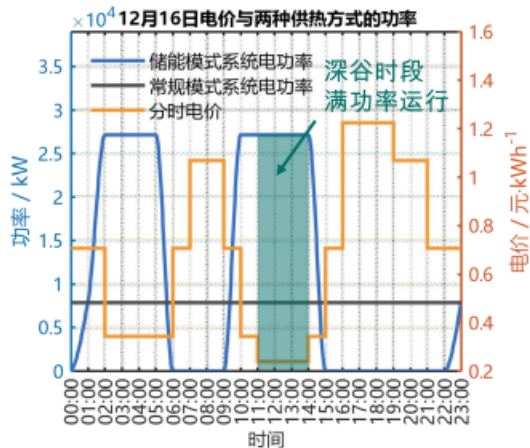
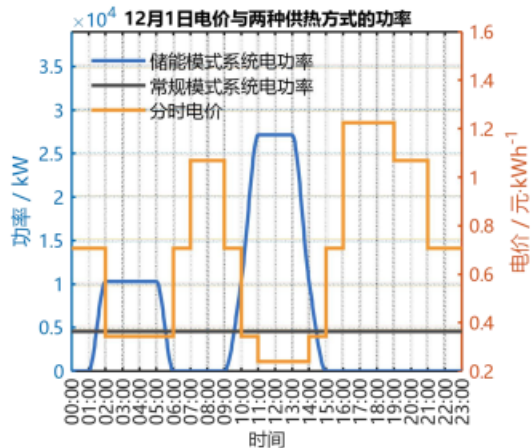
区域化供热低成本参与 电网调度

- 结合分时电价的多源协同运行策略
- 峰谷调节能力
- 峰谷用电量与供热成本分析
- 峰谷能量搬运成本分析



(一) 结合分时电价的多源协同运行策略

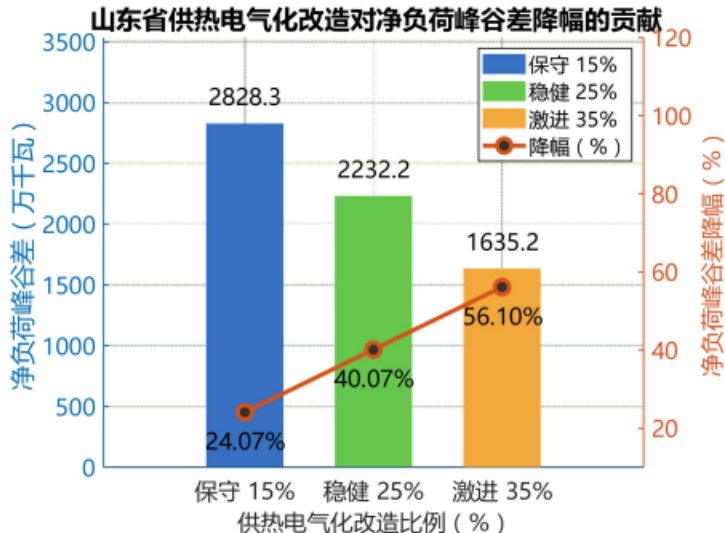
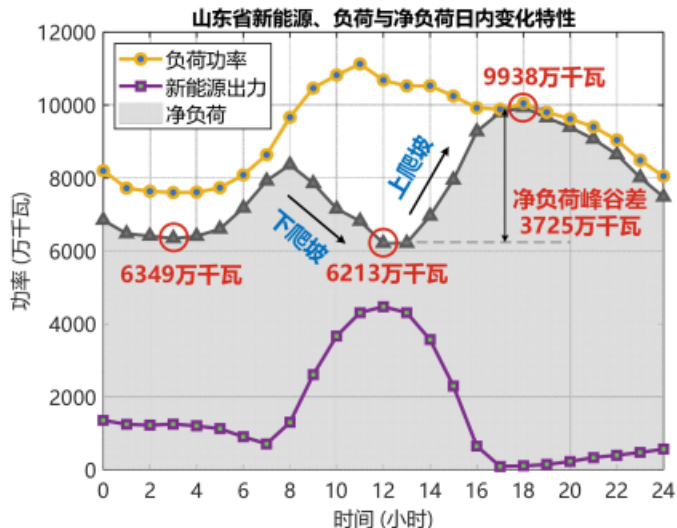
- **热源设计：**遵循“211”原则（主要环境热源承担2/3负荷，辅助环境热源承担1/3负荷，保障热源承担1/3冗余负荷），同时考虑储能冗余。
- **运行逻辑：**基于山东省分时电价与供热用电特性，谷电时段机组满功率运行储热，峰电时段适时停机，利用储热供热。
- **移峰效果：**谷电时段电功率远高于基准模式，峰电时段电功率长时间处于0kW；基准模式下24h电功率基本恒定。



储能运行策略（供热初期、前中期、中期）与常规运行策略（基准模式）用电功率对比

(二) 峰谷调节能力

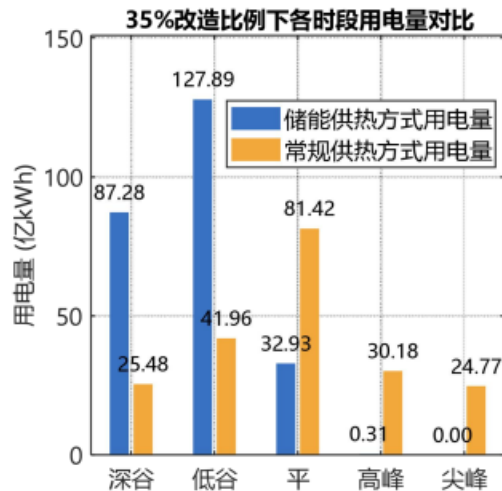
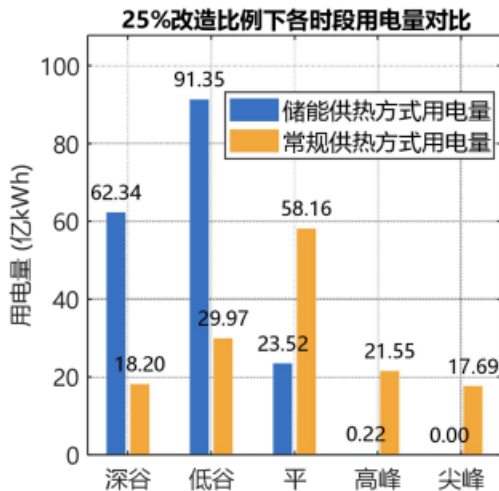
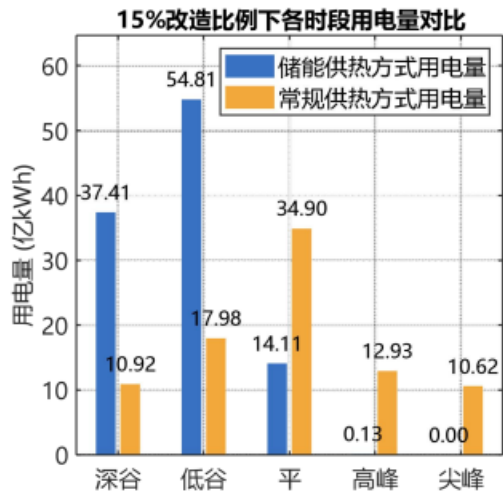
- 山东全网最高用电负荷已突破**1亿千瓦**，新能源最大出力约**4800万千瓦**，最小出力接近于零，形成近**4000万千瓦**的净负荷峰谷差。当前，净负荷峰谷差基本全部由火电承担，火电爬坡压力巨大。
- 山东省供热系统电气化改造比例分别为**保守15%、稳健25%和激进35%**时，可分别为**山东省净负荷峰谷差降幅**将分别达到**24.07%、40.07%和56.10%**。





(三) 峰谷用电量与供热成本分析

- 以改造比例15%（保守）为例，储能供热方式在深谷段用电量37.41亿kWh，低谷用电量54.81kWh，年消纳谷电约92.22亿kWh，较常规供热方式的28.9亿kWh，谷用电量提升3.2倍。储能供热方式高峰段用电量从12.93亿kWh降至0.13kWh，尖峰时段电力需求降低至0，将原有的电网负担转化为深谷时段的调节助力。
- 常规供热方式下，度电成本0.76元（含容量电费），单位面积耗电量30-35度，单位面积能源成本22.8-26.6元；储能供热方式下，度电成本0.47元（含容量电费），单位面积能源成本约**14.1-16.45元**。两种供热方式均具有良好发展驱动力。

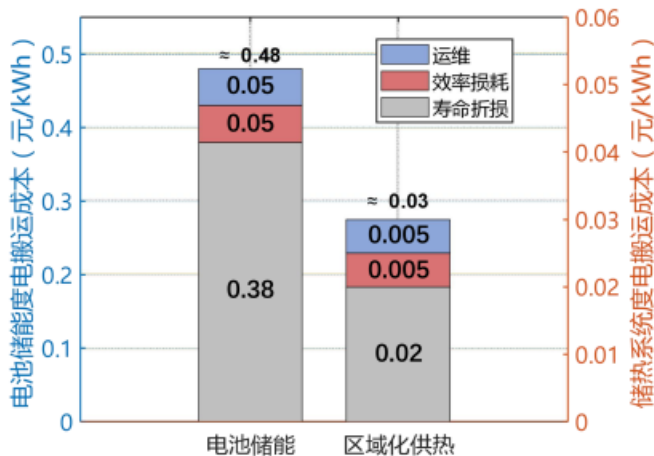


(四) 峰谷能量搬运成本分析

- 当前电池储能的调节与电量搬运成本主要由寿命折损、效率损耗、运维及资本占用等构成，综合度电成本已接近甚至超过**0.5元/kWh**，该成本已超过新能源的发电成本，成为弃风、弃光的关键原因。
- 在热水罐储热5h、供热季深谷满功率且每天两充两放、日内储热效率取97%的条件下，储热系统年化投资与运维折算的电能搬运成本约为**0.02-0.03元/kWh**，显著低于电池储能的度电搬运成本量级。



电池储能与区域化供热的电能搬运原理对比



电池储能与区域化供热的电能搬运成本对比

第五部分

推广应用潜力与 团队优势

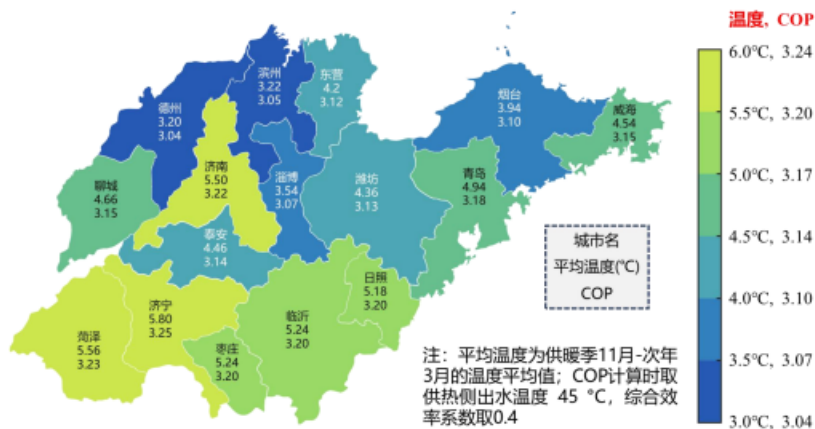
- 推广应用潜力
- 研究基础

(一) 推广应用潜力

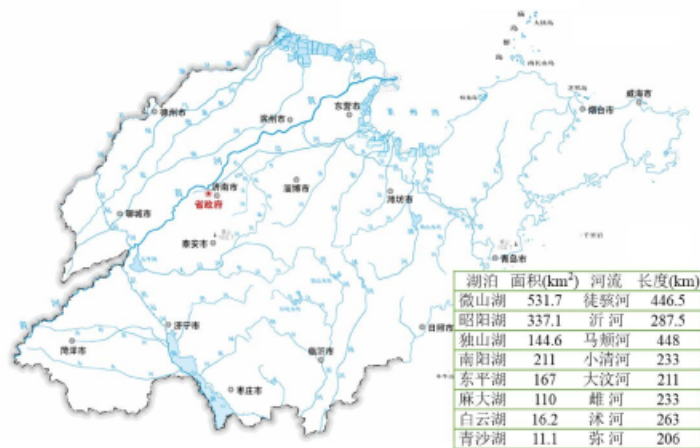
➤ 山东省**自然条件**支撑区域化供热高质量发展。

1) 规模化空气源热泵推广潜力：山东省16市供暖季平均气温均高于3℃。按供热出水温度45℃，热泵的综合效率系数取0.4。全省各地COP均在**3.04以上**，最高可达**3.25**。空气源热泵能够实现高效运行，区域化推广应用潜力巨大。

2) 规模化水源热泵推广潜力：山东省河流总长度超过8万km，湖泊、水库总面积超过3300km²，全省水面总面积**6988.92km²**，平均河网密度为0.24km/km²；山东省大陆海岸线全长**3504.74千米**。水源热泵广域大规模发展条件优越。



山东省各市供暖季平均气温与空气源热泵COP



山东省水系分布与代表性河湖信息

(一) 推广应用潜力

➤ 团队已开发出成套、成体系技术与装备，具备区域电气化供热**研发、落地、推广**的全链条技术实力。

1) 电气工程、供热工程是哈工大的国家级重点学科，具备“**城市水资源与水环境国家重点实验室**”、“**电力系统及发电设备控制和仿真国家重点实验室**”等多个国家级平台，技术积淀深厚，前沿创新能力强，能够为区域化电气供热提供坚实的技术支撑、资源支撑和人才支撑。

2) 团队研发的清洁能源热泵供热技术与装备已实现规模化落地应用。污水源大温差增量取热、地表水近冰点取热、空气源集群化供热技术、储热技术等为**区域供热电气化**提供可靠支撑。

3) 团队首创的环境能源区域化供热技术已开展多个示范应用。“2-1-1”多能协同供热、土-空双源机组、基于负荷预测的动态控制技术为**区域供热柔性运行**提供坚实保障。

4) 团队前期已与地方城投、金融机构等开展实质性合作，探索出“技术+建设+运营”三位一体的区域供热电气化创新模式，在**政府主导型模式、企业投资运营型模式、政企合作模式及技术驱动型模式**都具备典型案例。



污水及地表水前置取热装备



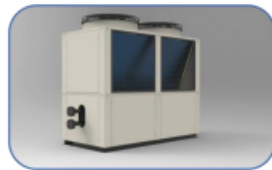
多工况水源热泵机组



空气源热泵机组



冷水相变机组



土-空双源热泵机组

(二) 研究基础

➤ 多源热泵与高效储热区域化供热技术

论文著作

累计发表高水平**论文200余篇**

出版**清洁能源供热领域专业著作3部**

编著《导热与对流的数理解析》研究生**教材1部**

专利奖励

授权发明**专利100余项**，大部分进行了转化

三项技术成果被鉴定为“**国际领先**”水平

获**省级技术发明一等奖1项，二等奖2项**

科研项目

国家科技支撑计划、国家科技惠民等**国家级项目7项**

山东省自然科学基金、科技部创新基金等**省部级项目4项**

地市级科研项目及横向课题五十余项，累计科研经费近亿元

原创技术

污水及地表水源热泵供热技术与装备（近冰点大温差取热）

双源热泵供热技术与装备（空气、土壤双源协同）

冷水相变供热技术与装备（冰点取热）

干热式空气源热泵供热技术与装备

管网及罐群储热系统（短时错峰调配）

环境能源多能协同供热系统（区域化、规模化供热）





哈尔滨工业大学
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

欢迎交流指导！

哈尔滨工业大学（威海）