

# 中国能源的低碳转型

---

江亿

清华大学建筑节能研究中心

# 能源低碳转型已成为国家战略

---

- 2030年之前实现碳排放达峰
- 2060年力争实现碳中和
- 实现低碳发展目标需要能源的四个革命和一个合作
  - 能源生产革命
  - 能源消费革命
  - 能源技术革命
  - 能源政策和机制革命
- 能源领域的国际合作

# 节约能源、减少能源需求是实现低碳的基础

- 实现碳中和的情景
  - 主要依靠水电、风电、光电、核电和生物质能源
  - 化石能源(煤、油、气)需求量应尽可能最小，以降低对CCS或CCUS的压力
  - 实现全面电气化，尽可能减少对燃料的依赖
    - 能源转换：以前是 燃料—热量—电力； 未来是 电力—热量
- 对未来电力需求量的预测（2050）
  - 11~12万亿kWh? 15~16万亿kWh? 22~25万亿kWh?
    - 按照电力年增长3%，2050年就可达到23万亿kWh
    - 按照2030年前年增长4%，2030年后年增长2.5%，2050年可达17万亿kWh
  - 如果未来需要11~12万亿kWh电力，可以通过核电2亿kW，水电4.5亿kW，风电光电45亿kW，火电6亿kW，实现；火电发电在1.5万亿kWh以内，
  - 如果未来需要15~16万亿kWh电力，或者更多的电力，则在蓄能、调峰、电网稳定性等方面面临巨大挑战
- 节能、减少需求，是实现低碳能源转型的基础

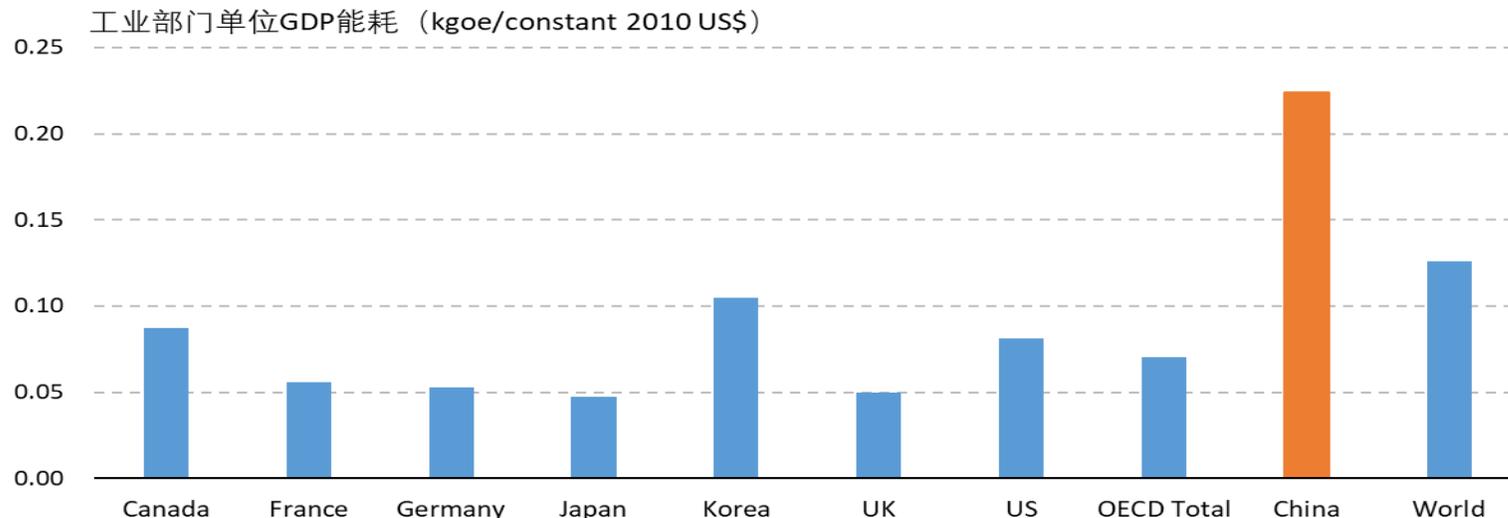
# 节能、增效，降低终端能源需求

---

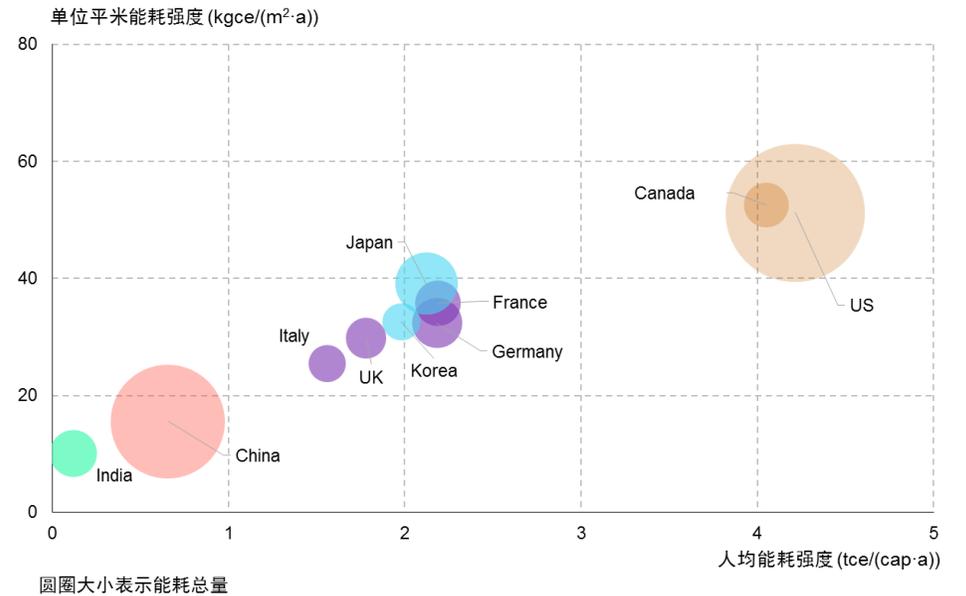
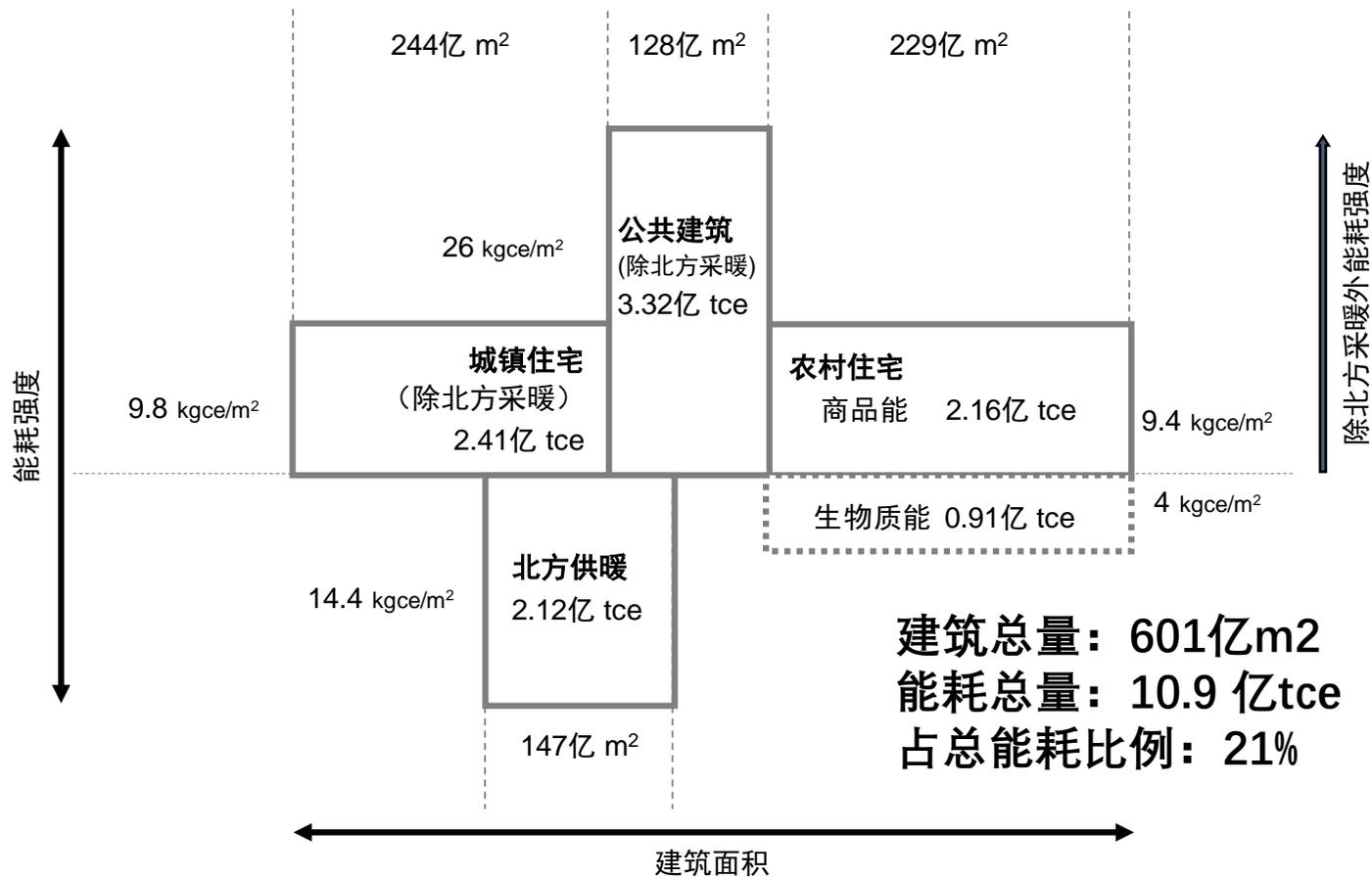
- 制造业节能减碳途径和未来的能耗需求
  - 改变产业结构
    - 目前制造业70%的能耗集中于冶金、有色、化工、建材、炼油，而增加值仅占30%
    - 未来经济发展将从房屋和基础设施建设拉动转为信息、生物等高附加值产业拉动，冶金、有色、建材等行业产量和用能需求将逐步减少，化工业将改变生产模式
    - 美、日在完成基础设施建设后，制造业增加值持续增加，但能耗总量逐年降低
  - 改变工艺流程
    - 钢铁：增加电炉炼钢比例，由废钢铁炼钢；长流程改为用氢为还原剂
    - 化工：采用可再生电力制氢，以氢、碳为基础原料的化工
    - 建材：改变结构体系和建材方式，寻找水泥的替代品
  - 提高用能效率
    - 多个领域已经接近或处于国际领先，但仍有进一步节能的空间

# 我国工业用能未来预测

- 在主要领域如果单位GDP能耗达到世界先进水平，且：
  - 未来中国GDP总量达40万亿美元
  - 工业制造业占40%，既16万亿美元
  - 如果我国工业能耗水平比OECD国家制造业平均值高10%，则16万亿美元产值需要约18万亿tce(电热值法), 或**6万亿度电**和10.5亿吨燃料



# 我国建筑运行能耗状况(2018)



世界上几个主要国家建筑能耗状况

# 实现中国特色的建筑节能

---

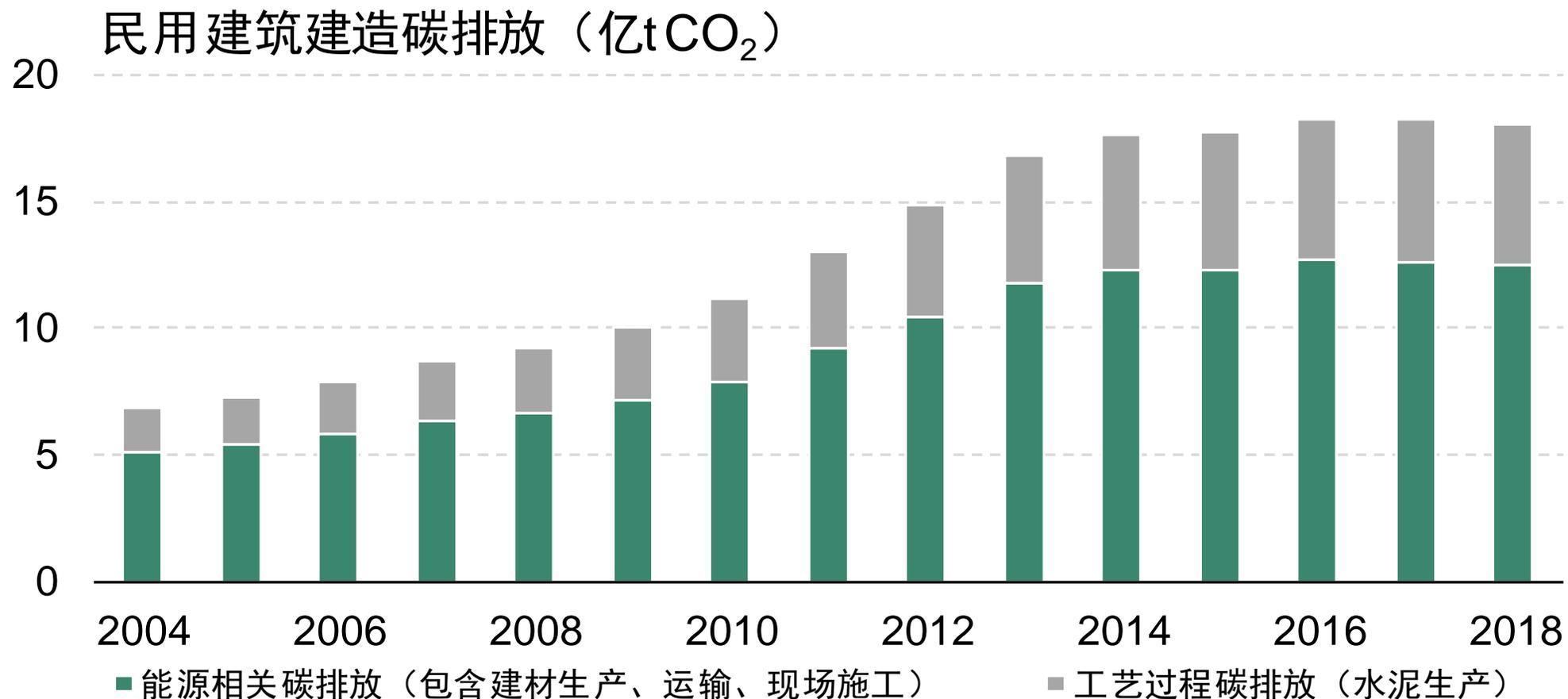
- 我国建筑用能状况：
  - 人均和单位建筑面积用能都远低于发达国家，但高于印度、巴西等国
  - 较低的建筑运行能耗是由于节能运行，“部分时间部分空间”的运行模式
  - 实际的单位建筑面积居民用电量低于西方“被动房”耗电
  - 保持节约的生活模式和建筑使用模式是实现中国建筑节能的关键
  - 未来中国应保持在700~750亿平米建筑，年能耗在3.5万亿kWh+40亿GJ热量
- 一些争论的问题和可能出现大幅度增长的风险
  - 居住建筑、办公建筑全面采用中央空调方式
  - 长江流域居住建筑冬季采暖：135重点课题，重庆大学牵头
  - 住宅新风与室内净化问题：135重点课题，天津大学牵头
  - 燃气驱动的热电冷三联供系统

# 建筑运行的低碳路径

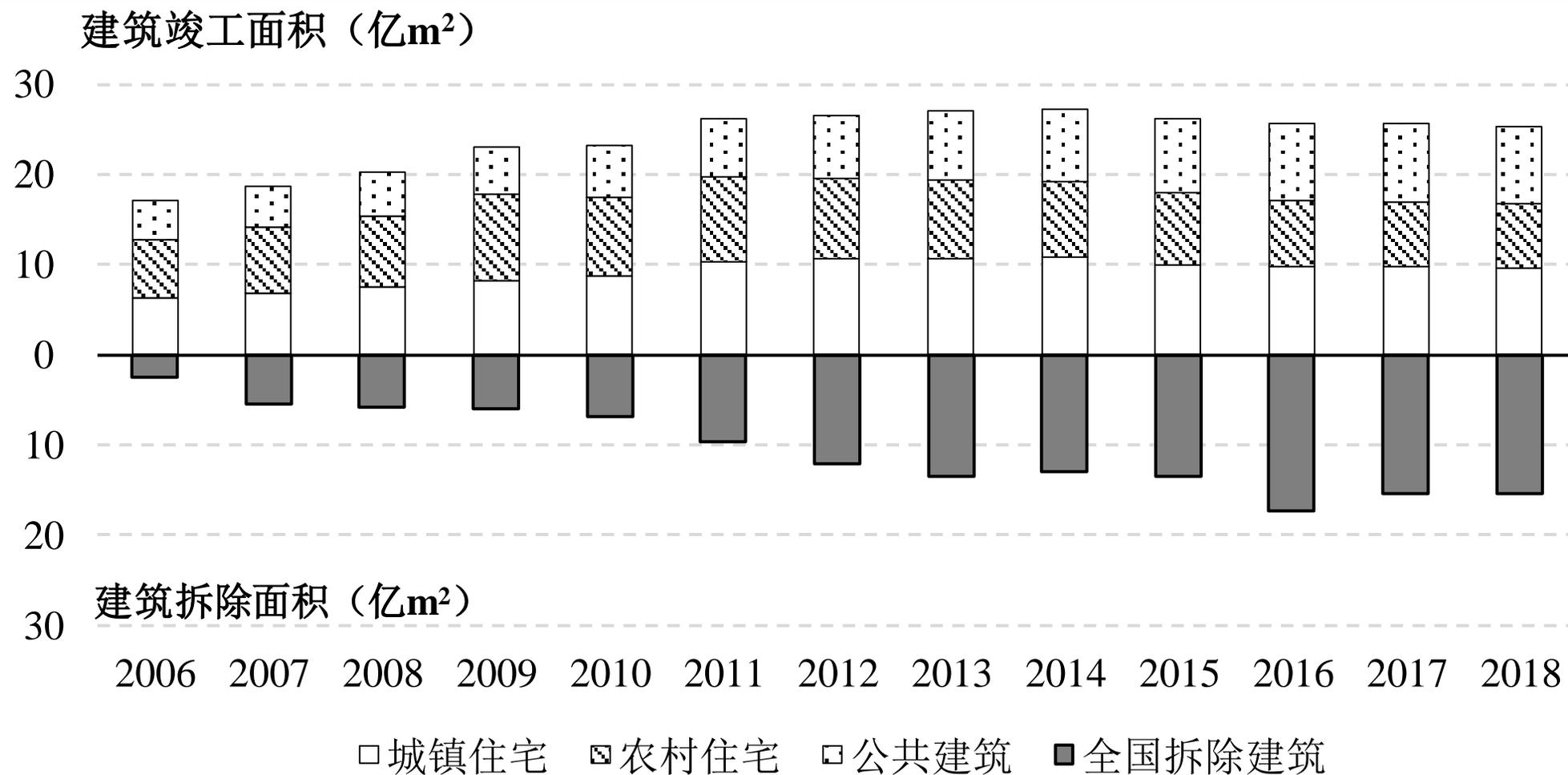
---

- 全面实现电气化
  - 炊事电气化 替代燃气
  - 生活热水电动热泵或电热
  - 取消各类燃气蒸汽锅炉：消毒、洗衣等，改为小型电热蒸汽发生器
  - 取暖用燃煤燃气热水锅炉：改为热泵或电热
- 为电力系统转型做贡献
  - 发展分布式光伏发电，充分利用建筑表面
  - 通过蓄能和需求侧响应，实现柔性用电，协助电网进行削峰填谷
- 取消燃煤燃气供暖锅炉，北方地区全面利用余热和热泵供暖
  - 80%以上城镇建筑用核电、调峰火电余热供暖
  - ~20%左右采以多种热泵方式及地热为供暖热源

# 建筑建造导致直接和间接的二氧化碳排放



# 近年来全国建筑竣工面积和拆除面积



# 严格控制大拆大建，

---

- 大拆大建则是可能导致碳排放居高不下的又一风险
  - 房屋已满足14亿人口基本需求，不再是刚需
  - 2018年与2010年相比，房屋净增长量下降到三分之一，
  - 必须严格控制大拆大建，提倡既有建筑改造
  - “大拆”可获显著经济收益，但属于高碳排放
  - “改造”投入远高于拆楼，但主要是人工成本，属于低碳

# 交通领域应加速走向低碳

---

- 物流

- 随着燃煤和钢铁运输量的减少，物流总量将不再增长或有所减少
- 发展铁路运输、水路运输，并实现铁路、内河航路的全面电气化
- 短途物流、市政车辆 应全面实现电气化
- 减少长途重载公路运输，逐渐实行“油改氢”

- 客运

- 高铁实现了长途客运电气化
- 电动汽车将在低碳能源中起到重要作用
  - 能耗不到燃油车50%， 蓄电池成为协助电网调节峰谷差的蓄能装置
  - 2025年新车的20%， 2035年将主要生产电动小轿车， 建立新的智能充电桩系统是关键
- 完善城市的公共交通系统

- 交通电气化：未来耗电**2万亿kWh**及1.5亿吨油耗

# 未来的能源结构和用能方式

---

- 未来的能源总需求
  - 电力：12万亿kWh（包括制氢用电）6工业+2交通+3.5建筑+0.5其它
  - 燃料：12.5亿tce +4.5亿tce 工业生产用（10.5亿tce）调峰火电4.5亿tce
  - 余热：80亿GJ（北方供暖和工业生产用热）
- 燃料的来源：17亿tce
  - 生物质能：8亿tce
    - 农业秸秆 3.5亿t，林业枝条1亿t，畜牧禽业：2亿t，折合6亿tce
    - 城市绿化，餐厨垃圾，农副产品加工垃圾 折合 1 亿tce
    - 能源行种植业（被污染的土地） 折合1亿tce
    - 转换方式：生物质压缩成型固体燃料， 规模型沼气再分离出CO<sub>2</sub>成为生物燃气
  - 燃煤+天然气：9亿tce， 通过CCUS回收其排放的二氧化碳

# 未来的能源结构和用能方式

---

- 未来的电力构成：12万亿kWh，不可调电力占容量85%，电量70%
  - 核电：2亿kW，1.5万亿kWh
  - 水电：5亿kW，2万亿kWh
  - 风电（陆上、海上）+光电：40~50亿kW，7万亿kWh
  - 生物质、燃煤、燃气电力1.5万亿kWh，6亿kW，用于调峰
  - 关键问题：
    - 如何解决风电、光电不可调控，其产出在时间上与负荷需求不匹配？
    - 一天内的峰谷差调节：日内的蓄能
    - 几天之间天气不同风电光电的变化：跨天的蓄能
    - 不同季节用电量与发电能力的 mismatch：
      - 夏季空调导致用电量的急升
      - 冬季枯水期水电不足
  - 需要灵活电源、蓄电、用电侧的需求侧响应方式来实现供与需的平衡

# 实现能源低碳转型的几项突破点（2035年前）

---

- 发展建筑的“光储直柔”新型配电方式
- 建设新的农村能源系统
- 建设区域热网，充分回收利用发电余热和工业余热供热
- 具有广泛应用前景的热泵技术

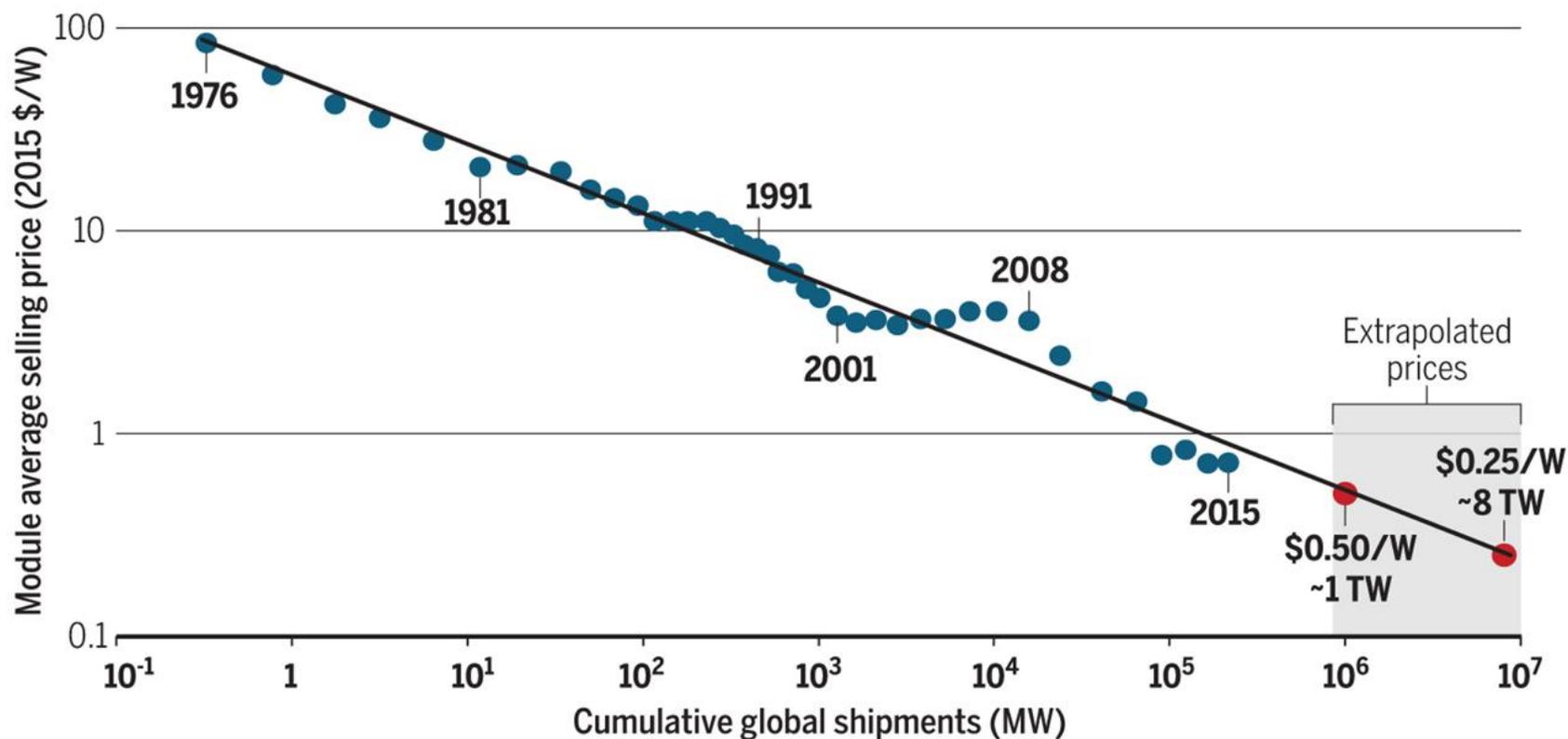
# 发展建筑的“光储直柔”配电系统

---

# 太阳能光伏发电： 电池成本

## PV module experience curve

Historically, module prices have decreased as a function of cumulative global shipments (blue dots reflect historical data, red dots reflect extrapolated prices for 1 TW and 8 TW based on the historical trend line). See supplementary materials for data sources.



# 可再生能源发展的巨大变化

---

- 光伏和风电的成本已经接近燃煤发电：
  - 光伏电池的成本：从2000年的50元/W 下降到低于 1.3元/W
  - 发展光电、风电的瓶颈：
    - 安装空间
    - 接入方式和接入成本
    - 调节方式，如何与用电负荷变化的匹配



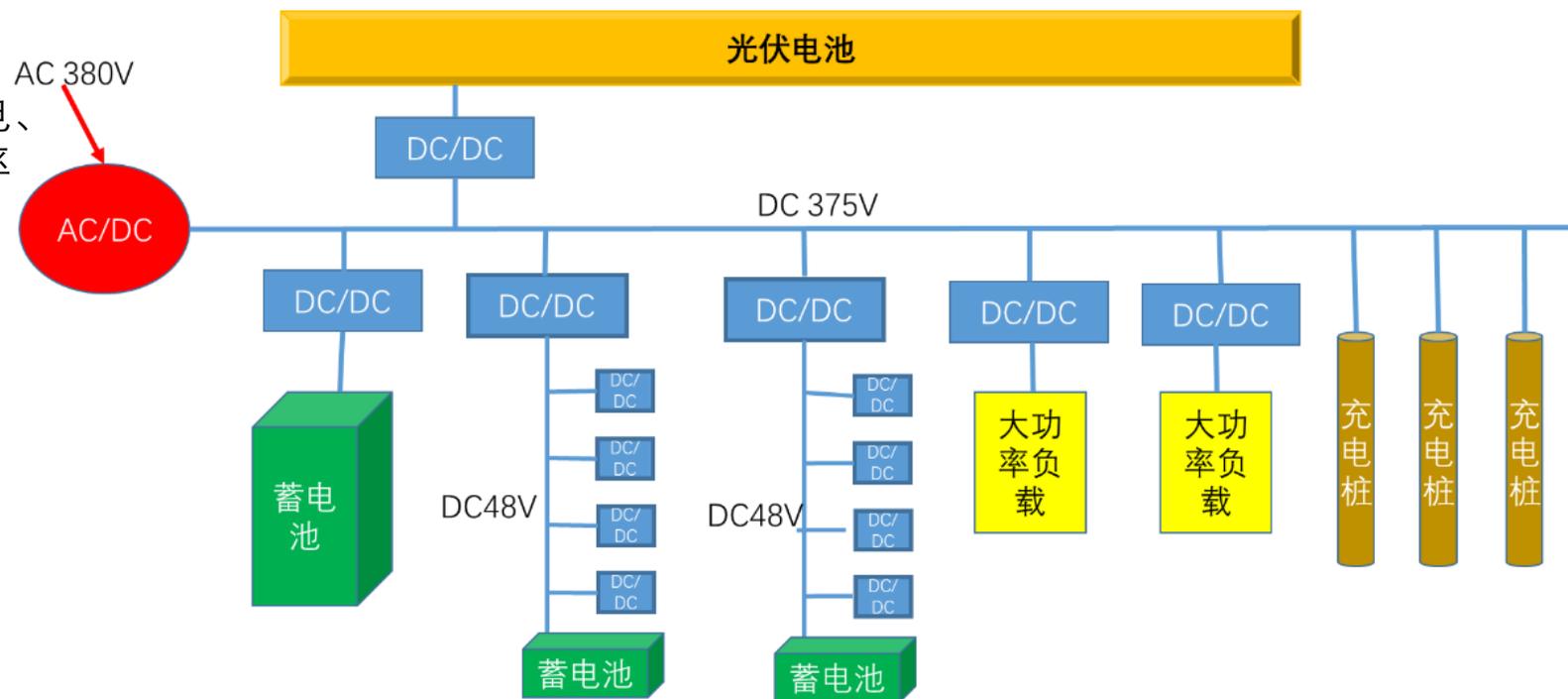
# 破解光伏电力发展的三大瓶颈

---

- 建筑屋顶和可接受太阳辐射的垂直表面是发展光伏的重要资源
  - 我国城市建乡建筑有250亿平米可开发利用表面，70%开发利用，可安装20亿kW光伏电池，年发电量2.5万亿kWh以上，承担70%以上光电任务
  - 东部地区与西北戈壁滩相比，辐射强度低30%~50%，但安装成本低，接入、传输成本低，应优先发展
- 建筑光伏优先满足自用，可大幅度降低接入成本和损耗
  - 直接与负载连接，避免多次变换、变压、传输的投资和损耗
- 建筑应从形成用电负荷峰谷差的元凶变为消除峰谷差的虚拟电厂
  - 城市电力负荷的峰谷差几乎与第三产业占比正相关
  - 缺少灵活电源严重影响未来低碳电力的发展，
  - 建筑应从刚性用电变为**柔性用电**，成为平衡电源与用电负荷的**虚拟电厂**

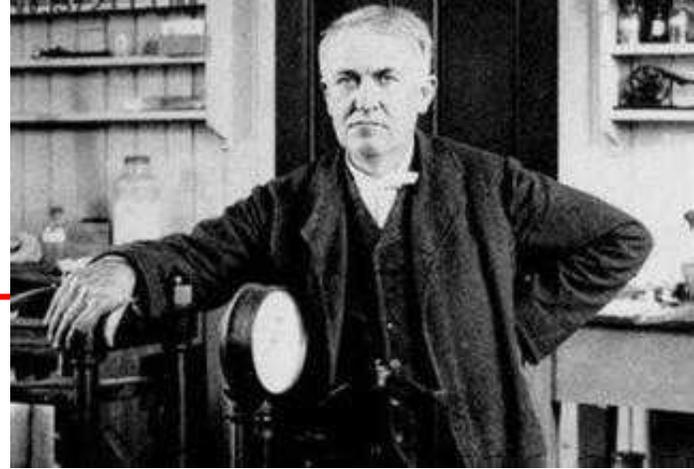
# 城市居住建筑和办公建筑的柔性用电系统

- AC/DC根据电网需要调节输出的直流电压
- 光伏发电全部接收， 剩余进入蓄电池
- 调高直流母线电压， 蓄电池大功率充电、终端用户全负荷用电， 从外电网大功率取电
- 调低直流母线电压， 蓄电池停止充电， 终端用户自行降低用电量， 可显著降低外网功率
- 进一步降低母线电压， 蓄电池可放电， 某些终端自动切断， 外网取电可降至零
- 从外网取电的调节范围取决于蓄电池容量、充电车辆状态、光伏容量、和终端负载特性
- 对居住建筑、办公建筑、等量接入电动汽车后， 可形成20~40W/m<sup>2</sup>调节能力，
- 1亿平米建筑成为300万kW虚拟电厂



深圳建科院未来大厦正在示范的光储直柔配电系统

# 为什么建筑要直流供电



- 爱迪生与特斯拉的直流交流之争
  - 交流电的优点：变压，旋转磁场，惯性，过零点灭弧
  - 电力电子技术的革命：DC/DC调压，DC/AC变频，分布式蓄电，电子开关
- 建筑内已完全适应直流供电
  - LED采用直流可以避免内置整流器的短寿，使寿命延长5~10倍
  - 信息类电器都是开关电源，可直接接入直流，且适应电压大范围变化
  - 电机类电器正在走向变频化，直流供电减少了整流环节，可响应电压变化
  - 电热设备本身可接入直流，且功率可自动随电压调整
  - 蓄电池、充电桩也需要直流供电
- 直流配电显著提高用电安全性、可靠性
  - 新的接地与保护方式，用电更安全，且提供单独的48V低压用小功率用电
  - 蓄电池可保证供电可靠性，外网99.9%时，内部可实现5个或6个9的供电可靠性



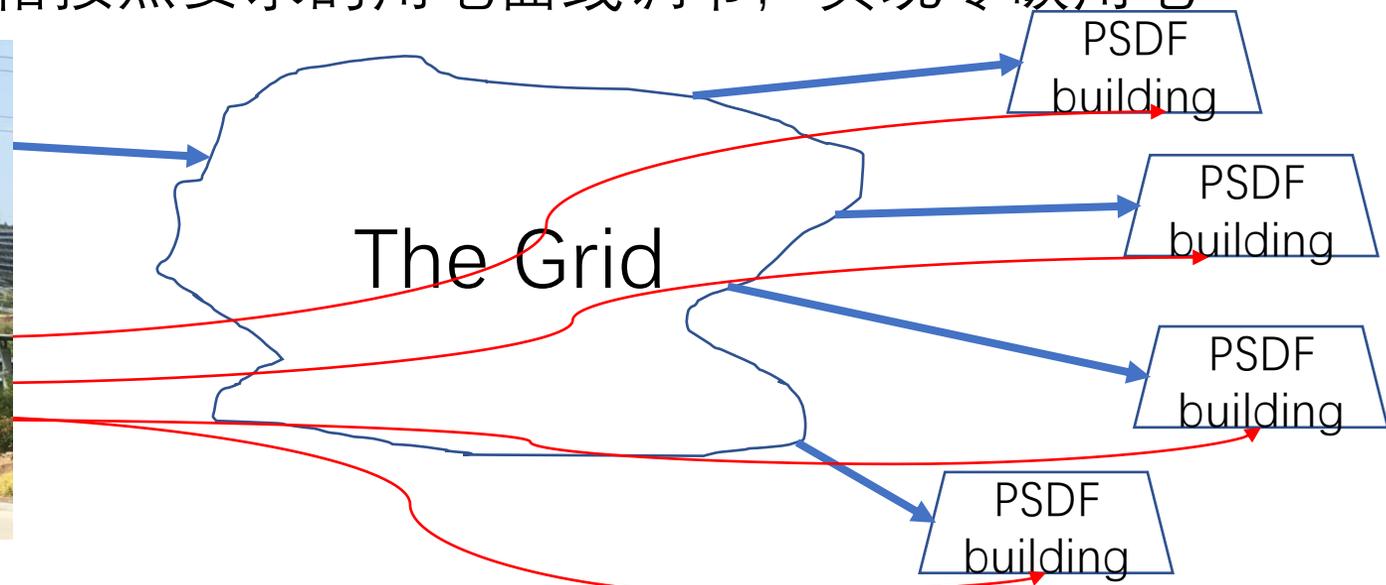
# 柔性用电建筑对电网的影响

---

- 降低电网容量
  - 建筑入口配电容量可大幅度降低（取决于希望其消纳的谷电功率）
  - 全面推广电动汽车后，如单独为充电桩配电，将导致电网容量严重不足，把充电桩接入柔性建筑内网，利用建筑配电空余容量充电，不必增容
- 成为连接电网和电动汽车的桥梁
  - 电动汽车需要慢充、而不是快充，充电过程在停车场，而不是充电站
  - 居住小区、办公楼、工厂的停车场应每个车位一个充电桩，纳入建筑配电系统
- 削峰填谷，成为虚拟电厂
  - 用电高峰期可响应电网要求大幅度减少用电功率
  - 用电低谷期可响应电网要求大功率接纳谷电
- 当50%以上电源来自外部不宜调整的风电、光电、核电时，柔性建筑调节容量将在平衡电网供需关系中起重大作用
  - 未来3亿辆小汽车，每天可提供200亿kWh充放电能力，相当于每日用电量的50%

# 光储直柔建筑可以仅依靠零碳电力运行

- 在百公里内有风电、光电基地
- 每晚向风电光电控制中心提交第二天的总用电量和负载用电曲线
- 控制中心根据气象预报得到风电光电的变化，确定各个建筑第二天用电曲线，使风电光电有效消纳，而各座建筑蓄能调节量最小
- 各座光储直柔建筑严格按照要求的用电曲线调节，实现零碳用电



# 建设新的农村能源系统

---

# 发展可再生能源的空间资源条件

- 太阳能光伏可利用的空间资源（初步估算）
  - 城镇建筑屋顶及垂直表面：~50亿m<sup>2</sup>，6亿kW 可开发 3亿kW
  - 农村建筑屋顶：~200亿m<sup>2</sup>，24亿kW 可开发 17亿kW
  - 西北沙漠、戈壁：5万km<sup>2</sup>，75亿kW 可开发 5亿kW
  - 东、中部零星空地：~1万km<sup>2</sup>，15亿kW 可开发 10亿kW
- 风电可利用的空间资源（受风力强度影响）
  - 海上风电：1亿kW
  - 零星空地：2亿kW
  - 西北沙漠、戈壁、山地：5万 km<sup>2</sup>，50亿kW，可开发 8亿kW
- 农村建筑和其它设施屋顶、零星空地
  - 要开发17亿kW 光伏，2亿kW 风电，承担未来风电光电装机总量的40%的任务
  - 年发电2.5万亿，为目前农村用电量的3倍，可完全解决建筑、交通、农机用电

# 建设分布式农村新能源系统

- 分布式电力的发、储、用
- 建立以自然村为单元的直流微网，
  - 统一接收光伏电，分布式蓄电，
  - 充分用好各种电动车辆的蓄电能力，接收峰段电力
  - 利用浇灌、加工等电动设施吸纳峰段电力
  - 大力推广农用车辆电气化，实现“油改电”
  - 每户2kWh蓄电即可满足晚间LED，电视、电脑、冰箱用电
  - 每户蓄电、光伏和直流配网投资约2万元
  - 每个村的电网改造投资：~100万元（包括部分光伏、风电）
  - 与外电网连接，补充短期电力不足或统一向外输送多余电力



# 农村是生物质能源的基地

- 未来规划生物质能源提供8~10亿tce
  - 农业秸秆 4.5亿吨，林业枝条2亿吨，25亿吨畜禽粪便（湿）折合6~7亿tce
  - 城镇餐厨、绿化垃圾、农林业产品加工垃圾， 折合 1.5亿tce
  - 被污染土地种植生物质燃料 2~3亿吨， 折合 1~2亿tce
- 生物质能源的加工利用途径
  - 压缩成型固体燃料： 可高效清洁燃烧，效率是秸秆直烧的一倍以上
  - 规模化制作沼气，再分离出CO<sub>2</sub>，成为优质生物燃气： 沼渣沼液是优质有机肥
  - 加工后全过程的综合能源利用效率从目前的10~15%提高到40%以上
- 满足农村能源需要尚有盈余
  - 目前农村用燃料3亿tce/年，未来需求不超过4亿tce，还可以输出部分商品燃料
  - 目前未能充分利用，且不满足能源需求是由于采集加工不利，且低效使用



# 农村分布式能源系统示范未来的新能源系统

---

- 未来的低碳能源系统特点
  - 由 基于矿物资源 转为 基于可再生能源
  - 由 集中采、输、转换 转为 分散采、转换、互通
  - 由 集中 储燃料 转为 分散储能
  - 由 源与用之间的刚性连接 转为 需求侧响应的柔性连接
- 农村的新能源系统与希望未来发展的低碳能源系统完全一致
- 中国的能源革命也要“农村包围城市”，先在农村迈出第一步!
- 农村的新能源系统还成为农民新的收入来源，缩小城乡差别

建设区域热网，充分回收利用  
发电余热和工业余热供热

---

# 未来还将存在大量热电余热和工业余热

---

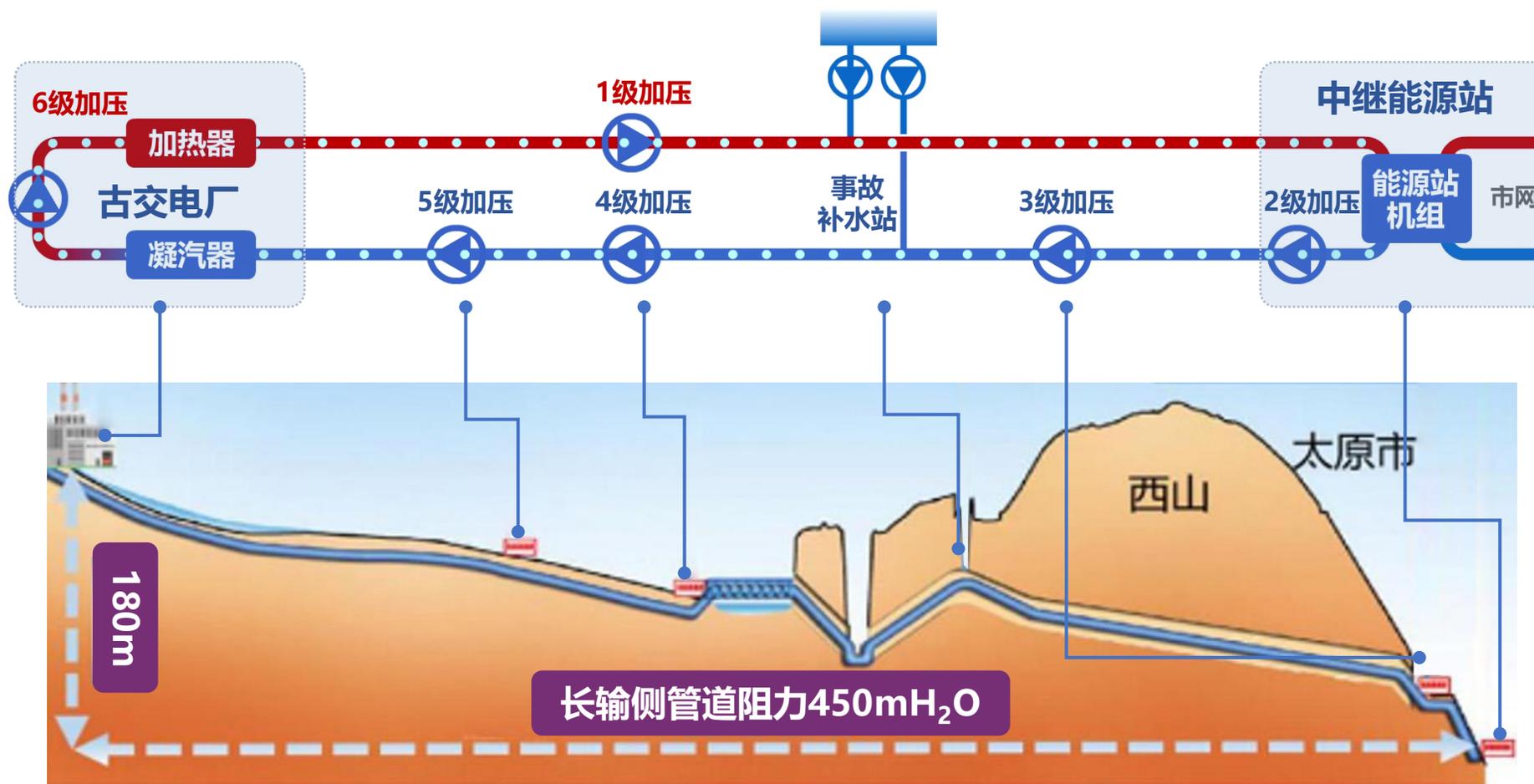
- 未来我国将建设1.5~2亿kW核电，年发电1~1.5万亿kWh作为零碳基础电源，核电将排放2~3亿kW余热，50%在北方地区
- 我国北方还需要3~5亿kW燃煤燃气电厂，以满足
  - 冬季枯水期，水电仅为夏季的1/3到40%，需火电补充
  - 满足部分调峰需要，在出现连续阴天时作为备用电源
  - 3亿kW燃煤燃气火电排放4.5亿kW余热，可作为冬季建筑供热热源
- 部分高能耗工业生产过程排放1~2亿kW左右余热，大部分在北方，钢铁企业是最具有余热利用潜力的企业之一
  - 迁西县：约1千万产能的钢厂 其余热为全县约600万平米建筑供热
- 75%的上述余热，合计6亿kW，可为170亿m<sup>2</sup>建筑供暖提供热源
- 未来北方城镇需要供暖的建筑为200亿m<sup>2</sup>，剩余可由热泵承担

# 采用热电和工业余热供暖面临的问题

---

- 余热产地与需要供热的建筑地理位置的不匹配
- 余热生产变化与建筑供热需求的变化不一致
- 如何保证供热可靠，保民生？
  
- 解决途径：跨区域联网，多热源联合供热，末端燃气调峰
- 现实状况：除北京外，其它北方大城市在~100公里半径内都可以找到足够的余热热源，北京在~150公里半径范围内也可找到热源
- 大温差大容量区域联网供热技术已经在多个地区实现，成本低于燃气供热

# 太古——太原长途输热工程（世界之最）

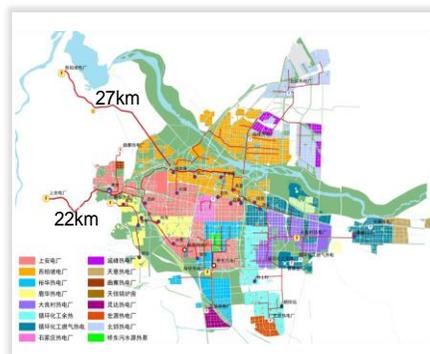


构建**六级**泵循环加压工艺，实现了**长输侧直连高差 180m**的热网安全经济运行。

# 目前建成和正在建设的长途输热工程



**太原**  
供热面积: 10600万 m<sup>2</sup>



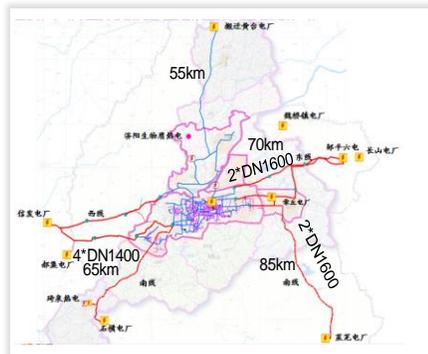
**石家庄**  
供热面积: 18500万 m<sup>2</sup>



**呼和浩特**  
供热面积: 9000万 m<sup>2</sup>



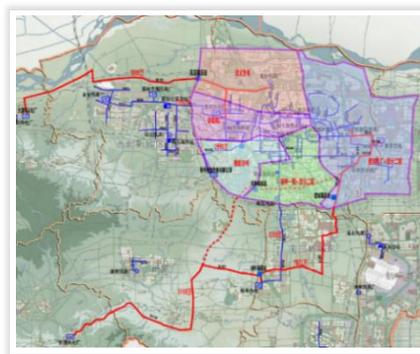
**西安**  
供热面积: 7500万 m<sup>2</sup>



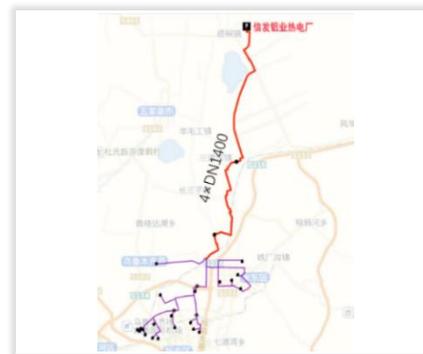
**济南**  
供热面积: 28000万 m<sup>2</sup>



**银川**  
供热面积: 11219万 m<sup>2</sup>



**郑州**  
供热面积: 12000万 m<sup>2</sup>



**乌鲁木齐**  
供热面积: 6000万 m<sup>2</sup>

# 黄渤海周边的水热联产

- 沿海有大量的核电站、火电站和钢铁企业，排放1.5亿kW热量
- 这一地区属严重缺水区，依靠引黄和南水北调
- 可用余热通过海水制取 $110^{\circ}\text{C}$ 热淡水，全部热量进入淡水，实现**零能耗海水淡化**
- **单管送热水**到沿法线150公里区域，实现“水热同送”
- 在城市入口“**水热分离**”，同时为城市提供淡水和供热热源



# 利用余热“水热联产、水热同送、水热分离

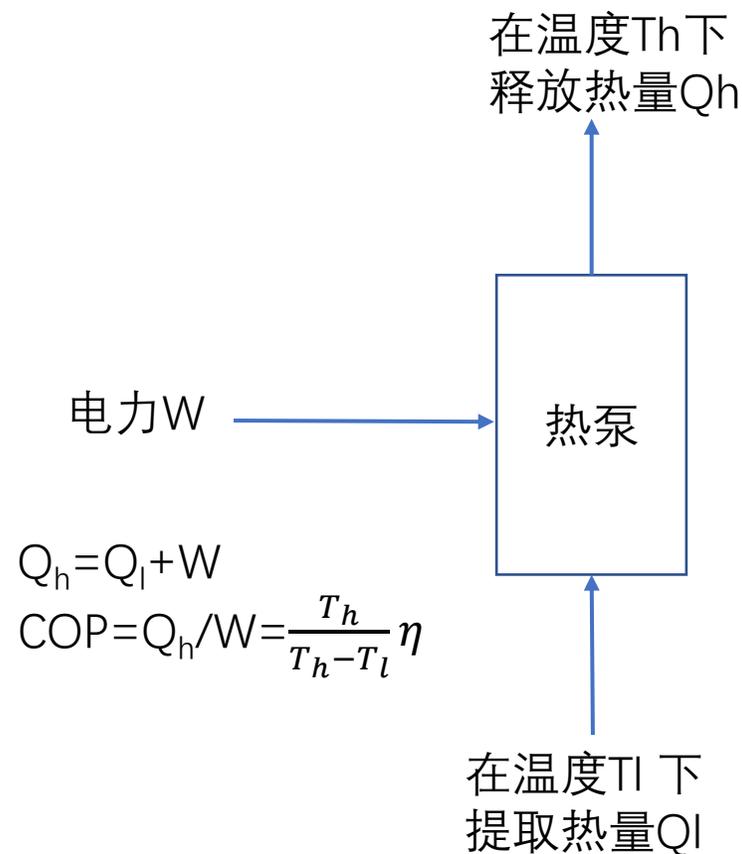
- 仅冬季运行4个月，产水35亿吨，热量4000亿kWh，可满足0.8亿人口生活生产用水的40%，50亿平米建筑供暖，全面解决这一沿海地区的淡水供应、建筑供暖；采用跨季节蓄热，则可年产100亿吨淡水，为100亿平米建筑提供热源
- 由于核电厂远离城市，长途输热经济性差。但水热同送，单管实现三管功能，大幅度降低热量输送成本，解决了核电余热的综合利用问题
- 200公里输送后接收地热量成本35元/GJ，6元/t水，成本低于燃煤锅炉制热，南水北调输水
- 曹妃甸、日照等沿海冶金企业都可以利用这一方式，水热联产，水热同送，水热分离；充分利用余热资源，又降低长途输热成本

具有广泛应用前景的热泵技术

---

# 电驱动热泵是利用电力高效获取热量的方式

- 热泵是由电力驱动产生热量的最佳方式
  - 工业需要25~30亿GJ热量，建筑需要50~60亿GJ热量，其中很大部分依赖热泵
  - 除提供采暖需要的低品位热量，还可满足很多工业过程中低温热量需求和干燥需求
  - 即使一些条件下COP仅能达到1.5，也比直接电热节电33%
- 低温热源可以从空气，地下土壤、湖水、污水、工业排热中获取，温度越高，COP越高



# 利用热泵替代锅炉制备热量(中温)

---

- 建筑供暖热源
  - 空气源热泵：在北方农村“煤改电”中得到广泛应用，运行费为燃气一半
  - 污水源热泵：利用城市污水提取热量，COP可达4
  - 土壤源热泵：垂直埋管，管内水循环，获得~10°C热量，再由热泵提升
  - 中深层地源热泵：垂直~2500米左右深井埋管，管内水循环，取热不取水
- 制备生活热水：从空气中或排水中提去热量，COP可达3
- 提供生产用热
  - 农产品干燥：从排放的湿空气中提去热量，制备热风
  - 彩色印刷干燥：从排风中提取热量制备热风
  - 肉类加工厂：从制冷系统冷却水提取热量制取生产用热水和蒸汽
  - 食品行业：冷却过程提取热量制备生产用蒸汽
  - 机械生产：电镀、喷漆工艺的热需求

# 利用热泵替代锅炉为工业生产提供热源

---

- 工业生产窑炉的煤改电、气改电
  - 由电热替代主热源，实现高温部分的加热
  - 预热过程可以由热泵提供热源，回收冷却过程释放的余热
  - 30%~50%的加热热量可由热泵提供，COP可达3以上，与全电热相比，可节电20%~35%
  - 通过提高加热效率，减少各环节漏热，再加上热泵，可以使电加热成本接近燃气，但提高了温控精度，提高了过程洁净度，提高了产品质量
- 热泵技术将是实现工业生产中煤改电、气改电的重要技术依托
- 热泵技术会对一些工业生产过程带来革命性变化
  - 改变生产工艺
  - 提高产品质量

# 低碳能源转型会对能源消费领域带来深刻影响

---

- 电力系统结构，用电方式产生巨大变化
  - 分布地发、储、配、用，实现集中向分散的转变，智能电网，直流建筑
  - 提供巨大市场，带动起一大批新兴产业的发展
- 农村用能方式的革命，推动新农村建设的新一轮发展
  - 传统生物质——燃煤、外电——新型能源系统，输出能源
  - 农村全面电气化，把新能源作为新的增收渠道
- 北方低品位余热深度回收，供热方式的变化
  - 改善大气质量，降低供热成本，改善民生
- 用热泵替代锅炉提供中温热量
  - 取消80%的非发电锅炉，清洁大气
  - 一批传统工艺过程的更新换代，促进生产水平、产品质量的提高

转型路径：跳过油气时代？

---

# 能源转型对经济发展是推动还是拖累？

---

- 能源转型是否会拉高用能成本，从而影响经济发展？
- 能源转型能否保证足够的能源供应，满足经济发展对能源的需求？
- 能源转型是否需要过大的投资？
- 能源转型与未来制造业发展的关系？
  
- 中国如何实现能源转型？
  - 西方国家1900年到1950年为燃煤时代，
  - 1950年到1975年完成煤改油气的过程
  - 2010年开始低碳转型的进程
  - 中国目前还属于燃煤为主的时代，是否要沿西方走过的路，煤—油气—可再生？

# 我国经济发展正处于转折点

---

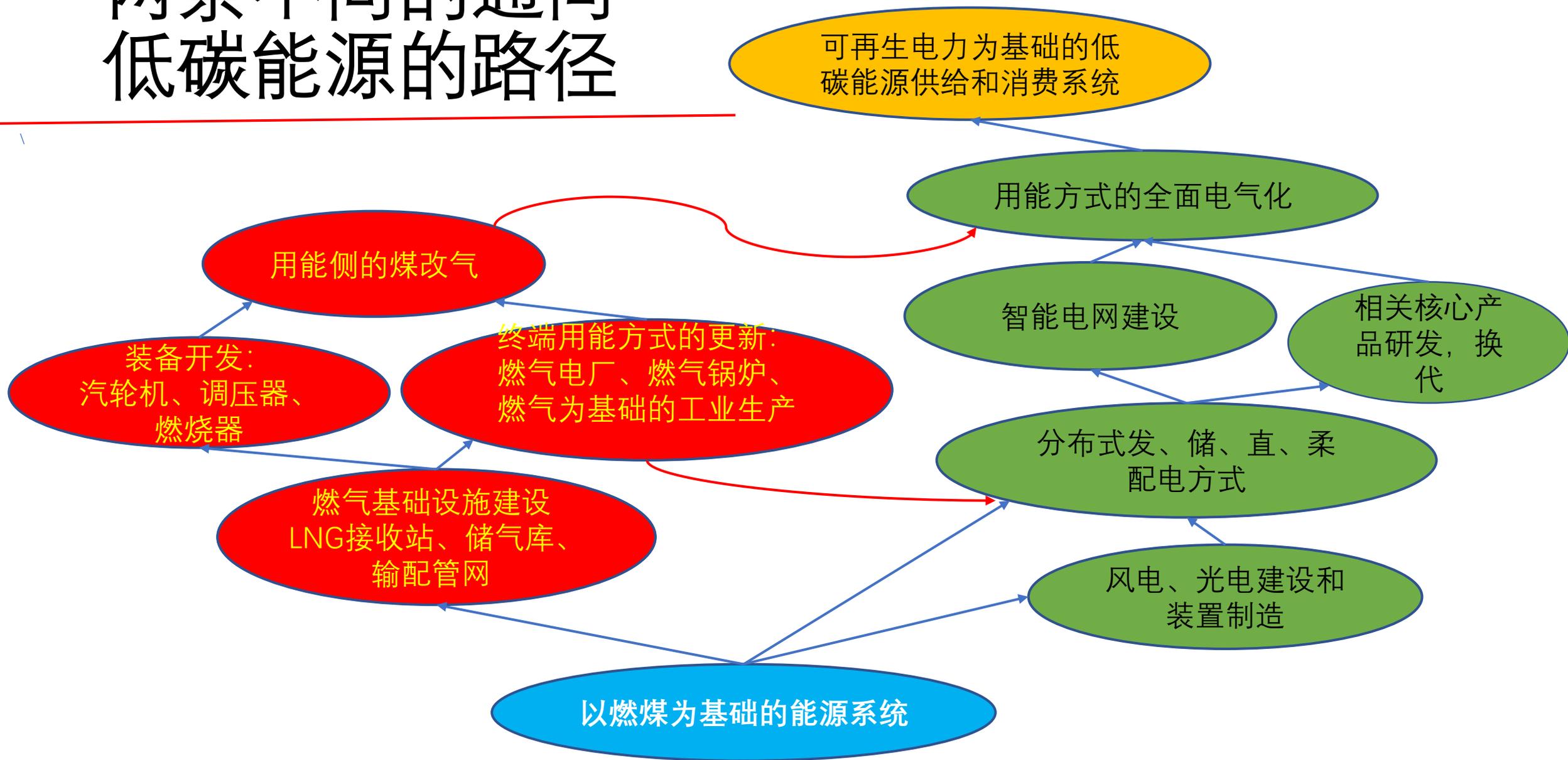
- 经济增长模式变化：大规模造城和基础设施建设已经初步完成
  - 城市建成面积从2000年的160亿平米发展到接近400亿平米，人均40平米
  - 高铁、高速路建设，已基本形成网络，公路铁路建设，大坝，水利设施
  - 基础设施建设初步完成
- 新时期驱动经济发展的动力：高端制造业，信息化，第三产业
- 伴随产业结构调整，用能需求将随之变化
  - 建材业，冶金业等高度依赖燃煤的产业逐渐随需求量减少而减产
  - 新兴产业大多数以电力为主要能源
  - 需要关注、研讨的产业：
    - 化工产业的调整，工业革命
    - 交通、农用机械等的油改电的时间表，还要大建炼油厂吗？
  - 中国的产业结构调整正好与能源结构调整同步，如何协调二者？

# 转型路径

---

- 我国目前的社会经济发展状态
  - 大规模城镇化和基础设施建设已基本完成，经济增长从基建拉动转为高附加值产业、高科技、和服务业拉动，
  - 发展一带一路，以承接巨大的基建产能，并维持出口经济的持续增长
  - 以基建为目标的冶金建材产业需要燃料型能源，而制造业、服务业则主要需要电力，经济增长模式的转型正好与能源结构转型同步，是好机遇
- 能源革命也需要巨大投资
  - 改变以燃煤为基础的能源系统，需要从能源生产、转换、输配、终端的全系统更新换代的变化，这一投资也可对经济起到重要的拉动作用
  - 是先实施“煤改气”，实现燃煤、燃气、可再生三分天下，然后再发展零碳
  - 还是直接从目前的以煤为主，直接通过“煤改可再生”，面向未来低碳目标？

# 两条不同的通向 低碳能源的路径



# 能源转型路径

---

- 我国能源领域的技术状况
  - 清洁燃煤技术国际领先，采矿、运输、煤电、清洁燃烧，有系统技术
  - 燃气技术起步晚，相对落后：资源不足，采、LNG，燃气轮机、燃烧器，气源在外，技术也主要依靠国外
  - 风电、光电与国际先进同步，已初步形成从元器件、系统、控制的全套产业链，在降低成本上做出重要贡献
- 是否先效仿西方70年前的路径，先实行“煤改气”？
  - 建立系统的燃气产、输、发电、终端系统，并发展相关设备产业，
    - 需要巨大投资，
    - 起步晚，而国外相对成熟，因此实现创新领先的机会少
    - 将影响、拖延电力系统，工业，交通、建筑面向低碳能源转型的进展，
    - 从“改气”出发，对电力系统、和各种终端用能方式的改造路径与低碳未来差异巨大，方向不同

# 直接向低碳能源结构转型

---

- 发展可再生电力，加大电力在终端用能中的比例
  - 加速布局风电光电：西部大规模风电光电场，中东部分布式风光电
  - 加速电网系统改造和机制革命，提高可再生电力的接纳能力
  - 加速汽车电动化进程，将其作为电力源汇平衡的重要手段
  - 开发、推广直流+光伏+充电桩一体化的新型建筑配电系统
  - 适度开始电制氢、储氢、氢动力重载车、氢化工、氢冶金的研发示范
- 推动可再生电力和电气化的进程中可能带动的产业发展
  - 光伏、风电 等新型基础性制造业
  - 电力电子器件、蓄电池、相应的调控产品
  - 电动汽车产业
  - 建筑电器、配电和继电保护、充电桩、同步电机 等系统的直流产品

# 直接向低碳能源结构转型

---

- 加大生物质材料的能源化利用
  - 生物质能源是唯一的零碳燃料，将在未来低碳能源结构中其中大作用
  - 我国农业秸秆、林业枝条、畜禽业粪便、城市绿化垃圾、餐厨垃圾等，可提供8亿tce燃料，占未来直接燃料中的50%，目前应用率低于30%
  - 生物质利用技术：
    - 压缩成型固体燃料，可解决储存问题，可高效燃烧，已有系列炉具产品
    - 规模化沼气，再分离出CO<sub>2</sub>，成为优质燃气；沼渣沼液是优质有机肥
    - 采集成本取决于体制、机制；其它成本可以和与天然气处于同样水平
  - 欧洲国家把生物质能作为低碳能源的重要内容，我国相对不足
  - 国内目前应用主要是生物质能源发电，并没有发挥生物质能源作用
  - 堆肥、秸秆还田，都会造成一定的甲烷排放，温室气体效应严重

# 能源转型路径

---

- 确定低碳能源转型方向
- 每年减少燃煤5~7%，通过加快可再生能源建设弥补燃煤的减少和满足能源需求量的增长
  - 加速电网的建设提高可再生电力的接纳能力
  - 加速小汽车的“油改电”，到2030年完成小汽车电气化
  - 加速建筑柔性用电改造和光伏建筑的改造，消除建筑用电造成的电力峰谷差，把建筑柔性化作为今后十年建筑低碳与节能的主要内容
  - 通过交通、建筑的电气化实现燃煤的逐年减量
- 加快北方区域供热网的建设，
  - 把城镇清洁供暖的重点放在热源方式改造和管网建设上，
  - 把深度回收热电联产电厂余热和工业余热作为主要热源
  - 停止各种以天然气锅炉为主要方式的清洁供暖改造，
- 在2035年之前完成建筑、交通用能结构改造，建立充足的光电风电
- 在2035年之后开始制造业转型升级，实现工业用能结构的调整

# 通过能源转型革命占领能源领域高端

---

- 世界经济发展竞争的背后是高科技的发展竞争
- 除信息与AI领域、生物领域外，能源领域也是高科技发展的重点之一
- 能源领域高科技驱动主要是可再生能源相关技术，而非油气技术
  - 高性能、低成本蓄电池技术（如石墨烯）
  - 大功率高效率电力电子器件及装置
  - 高性能低成本光伏、海上风电、相关的系统技术
  - 电动汽车
  - 电气化、直流化，同步电机
  - 生物质燃气技术
- 通过低碳能源转型形成巨大市场，促进新能源产业发展

# 转型成本， 转型是影响经济发展还是促进经济发展

---

- 城镇化和基础设施建设的软着陆， 需要新的投资拉动
- 低碳能源转型为投资找到新方向， 规模： 每年5~10万亿投资
- 投资形成巨大市场需求， 可拉动一大批新的能源产品制造产业
- 低碳能源产业投资的特点：
  - 初始建设需要高投入
  - 运行期成本极低， 主要是人力成本， 高回报
  - 目前投入新能源建设， 可通过获得可再生能源得到稳定的投资回报， 而继续投资房地产， 不会有任何实质收益
- 2020~2035年重点大投入与低碳能源建设， 并筹备新型信息和生物等高科技产业， 2035年后低碳能源产业可有稳定回报， 获取资金投向传统制造业的高科技改造

# 我国不同时期拉动经济增长的动力

---

- 1980~1990 恢复工业体系，满足基本需求
- 1990 ~2000 对外加工，“两头在外”，出口拉动，引入外资
- 2000 ~2019 城镇化和基础设施建设，基建狂魔，10~15万亿/年
- 2020 ~ 2035 能源系统改造，低碳能源系统的建设，10万亿/年投资
- 2035 ~2050 高科技产业发展，服务业发展，依赖积蓄的新技术

# 与制冷行业密切相关的任务

---

- 与电力系统配合，实行需求侧响应的运行模式，协助电网调节
  - 冰蓄冷、水蓄冷
  - 冷库、空调制冷机、风机水泵的需求侧响应运行模式
  - 通过蓄能和需求侧响应，能否只使用远处的风电光电驱动？
- 电动汽车的热管理
  - 电池的热管理成为影响电动汽车性能的重要因素
  - 控制电池温度，启动时加热，运行时排热，构造专门的系统
  - 电动热泵系统替代电热解决车内采暖需要
- 制冷工质的温室气体排放问题
  - 更换工质
  - 新的制冷方法
  - 彻底解决泄露和排放问题，避免更换、维修、迁移过程中的排放

明确低碳能源转型方向  
通过能源转型拉动经济增长  
通过能源转型促进制造强国

---

谢谢