



城市建筑碳达峰和碳中和 与热泵技术

同济大学 龙惟定

CONTENTS

1 背景

2 城市建筑碳排放

3 我国城市建筑碳达峰

4 我国城市建筑碳中和

5 热泵技术



背景

2020疫情中的气候变化

全球能源需求下降5%，能源相关CO₂排放下降7%。

大气中CO₂浓度继续上升，2020年5月观测到CO₂浓度417ppm，为300万年来最高。

2020年全球平均气温14.9℃，比工业化前基线高1.2℃，全球有纪录以来最热的3年之一。

2020年全球气候异常，极端气象事件频发。

未来5年中全球平均温度比基线高出1.5℃的概率是20%



Climate Change

联合国IPCC 《全球升温1.5°C》 特别报告

2030年减排一半

2050年达到净零排放

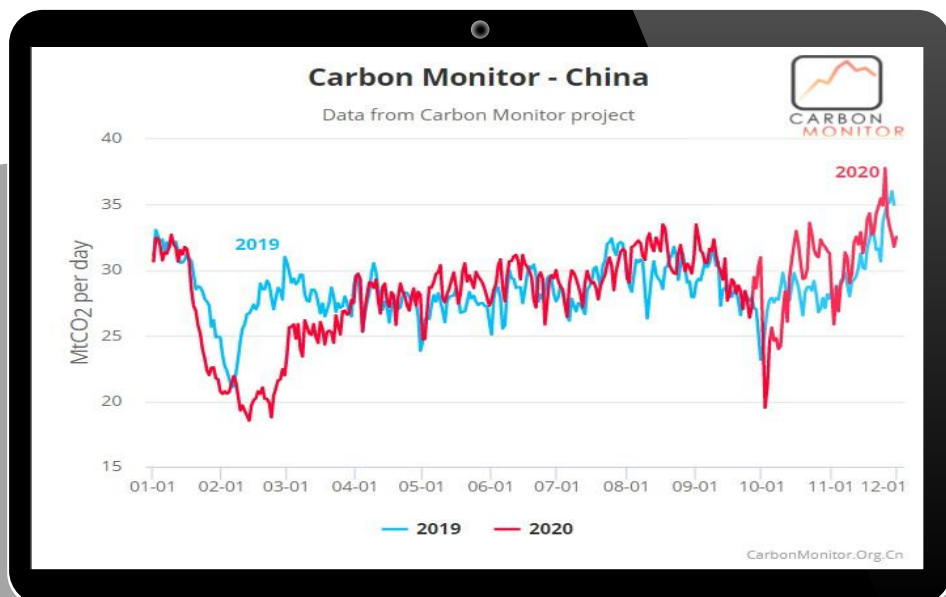
没有单一而简单的解决办法，必须政府、机构、企业、个人共同行动，政策、技术、融资、创新并举。

IPCC

能源、土地利用、城市、建筑、交通、基础设施以及工业需要快速而深远的转型

节能、提高能效、大规模利用可再生能源起主导作用，碳捕集利用和存储、氢、核以及其他能源发挥主要作用。

中国碳排放



2019中国GHG总排放**139.2**亿吨，与能源相关CO₂排放**98.26**亿吨，占世界总量**28.8%**，均为世界第一

2019年人均CO₂排放是**8.12**吨CO₂，在世界上位居第**37**位，超过世界人均水平。

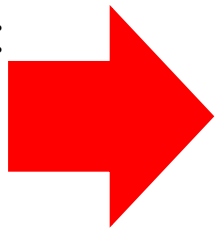
中国2020年的碳排放呈现出前少后多的趋势。2020下半年明显反弹。全年排放总量约增长了**1.2%**。

中国的郑重承诺

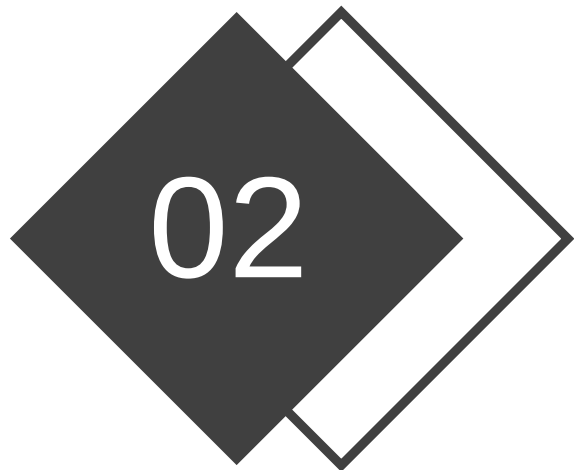
碳减排、碳达峰和碳中和已经成为我国的国家战略

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，CO₂排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。

参考3月25日在第13届同济建筑能源学术日报告：
我国城市建筑碳达峰与碳中和路径
见bilibili网站



https://m.bilibili.com/video/BV1Xb4y1Q7di?share_medium=iphone&share_plat=ios&share_source=WEIXIN&share_tag=s_i×tamp=1616834051&unique_k=dQrqeJ&share_times=1



城市建筑碳排放

建筑碳排放核算范围



测算2019年我国民用建筑面积

	总面积	农村居建	城镇居建	公共建筑
面积（亿m2）	705	254	317	134
占比（%）	100	36	45	19

隐含碳

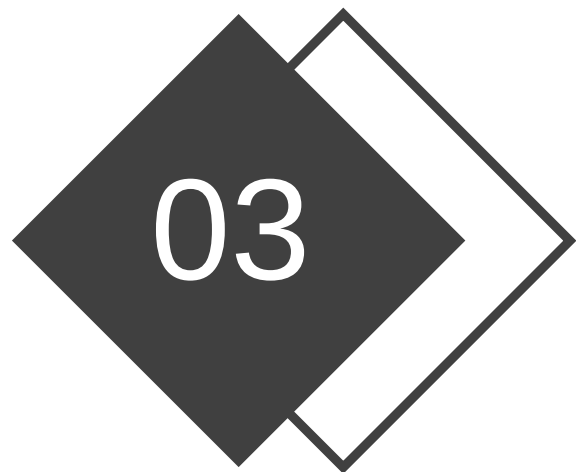
0	隐含碳总计 (含其它50)	640 kgCO ₂ /m ²
1	建筑材料：钢材、水泥、玻璃、铝材 (GB/T 51336-2019)	450 kgCO ₂ /m ²
2	材料运输：取缺省值和平均值 (GB/T 51336-2019)	28 kgCO ₂ /m ²
3	施工过程：根据详细调研核算	50 kgCO ₂ /m ²
4	建筑拆除：2019总排放875亿tCO ₂ ，拆除面积14.4亿m ²	60 kgCO ₂ /m ²

运行碳

建筑类型	城镇住宅 (除北方供暖)	城镇住宅 (北方供暖)	公共建筑 (除北方供暖)	公共建筑 (北方供暖)
碳排放强度 (kgCO2/m2)	17.4	54.7	49.7	87
其中供暖碳排放强度 (kgCO2/m2)	——	37.3	——	37.3
建筑面积 (亿m2)	147	97	78	50
运行碳排放量 (亿tCO2)	2.5	5.4	3.8	4.3
运行排放总量 (亿tCO2)	16			

城市建筑碳排放的几种情景

建筑类型	城镇住宅 (除北方供暖)	城镇住宅 (北方供暖)	公共建筑 (除北方供暖)	公共建筑 (北方供暖)
运行碳排放强度 (kgCO2/m2.a)	17.4	54.7	49.7	87
隐含碳排放强度 (kgCO2/m2)	640			
年化隐含碳排放强度 (kgCO2/m2.a)	30 年寿命：21.3； 50 年寿命：12.8			
生命周期总碳强度 (tCO2/m2) (括号内数据是隐含碳所占百分比%)				
30 年寿命，运行碳排放强度 年增 1%	1.25 (51.2)	2.54 (25.2)	2.37 (27.0)	3.67 (17.4)
30 年寿命，运行碳排放强度持 平	1.16 (55.2)	2.28 (28)	2.13 (30)	3.25 (19.7)
50 年寿命，运行碳排放强度年 增 1%	1.76 (36.3)	4.17 (15.3)	3.84 (16.7)	6.25 (10.2)
50 年寿命，运行碳排放强度持 平	1.51 (42.4)	3.37 (19)	3.13 (20.4)	4.99 (12.8)
生命周期年化碳排放强度 (kgCO2/m2.a)				
30 年寿命	38.7	76.0	71.0	108.3
50 年寿命	30.2	67.4	62.6	99.8
30 年递增	41.7	84.7	79.0	73.4
50 年递增	35.2	83.4	76.8	125.0



城市建筑碳达峰路径

城市建筑碳排放特点



统计制度没有与国际接轨，缺乏可靠数据。也缺乏建筑碳核算的方法论。



建筑（尤其是居住建筑）能耗水平很低。



生命周期的两端——物化和拆除过程中的消耗和排放水平惊人。



建筑寿命越长，年化隐含碳排放强度越低。住宅建筑中隐含碳排放占比超50%。



供暖碳排放占运行碳排放的近70%（居住建筑）和43%（公共建筑），是建筑碳排放的最大问题

下决心缩减建设规模

2019年我国城镇人均居住建筑面积为37.7m²，实现了小康目标（35m²）。已经超过日本（37.27m²）、英国（35.4m²）和韩国（31.7m²）水平，略低于欧盟（42.56m²）。

到2030年，预计城市化率达到68%。

预计2030年的总生育率（TFR）将只有1.42，远低于代际更替水平（2.3），人口将到顶峰，估计为14.42亿人，城市人口应为9.8亿。

如果为新增的1.3亿人口提供37.7m²的居住面积，则需要49亿m²；如果将城市人均住房面积提高到欧盟水平（43m²），则需要约100亿m²。

以达到欧盟水平测算，从现在起到2030年每年需要竣工居建（包括拆旧建新）15亿m²，是现在的56%。

房住不炒，摆脱对土地财政的依赖，发展多种类型住房，发掘空置房和烂尾楼资源，解决刚需住房需求。

城市建筑运行碳达峰情景假设

新建居建	既有居建	新建公建	既有公建
能耗限额性能化设计 供暖碳排放强度在2019年基础上下降80%； 标准煤碳排放因子降低10%； 保持原来能耗水平，通过节能，补偿新增用能需求。	供暖碳排放强度在2019年基础上下降50%； 标准煤碳排放因子降低10%； 保持原来能耗水平，通过节能，补偿新增用能需求。	能耗限额性能化设计 供暖碳排放强度在2019年基础上下降80%； 通过性能化设计，建筑能耗比2019年降低20%； 标准煤碳排放因子降低10%；	供暖碳排放强度在2019年基础上下降50%； 通过节能改造和调适等手段，建筑能耗比2019年降低10%； 标准煤碳排放因子降低10%；

城市建筑碳达峰



建设规模
与寿命



2030城市建筑的
碳排放峰值控制
在21亿tCO₂。



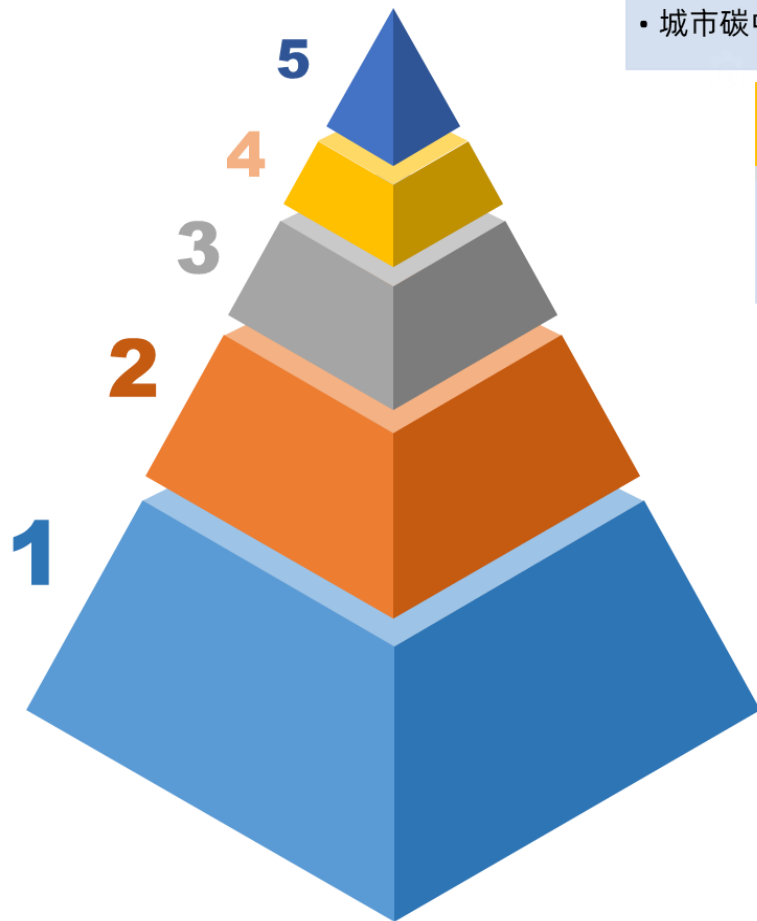
城市供暖





城市建筑运行碳中和路径

城市建筑运行碳中和的5项基本措施



5. 空气中碳捕集与利用

- 城市碳中和必由之路，捕集易、利用难

4. 为高渗透率可变可再生能源提供弹性

- 电热气网三网合一、源网荷储用协调、区域能源系统智慧化管理、产消者交易

3. 现场可再生能源利用

- 建筑光伏一体化，多能源协调、资源共享、能源总线技术、热回收

2. 建筑电气化和提高能效

- 建筑电气化、无直接燃烧、电力脱碳、热泵技术、提高集中供暖系统效率、能源总线技术、直流供电、能源管理数字化

1. 超低能耗建筑，降低碳负荷

- 超低能耗建筑、能耗限额、被动式技术、性能化设计



热泵技术在城市建筑碳中和中的关键作用

建筑应用热泵技术几大关键问题

01

热泵电源

可再生能源为主的
多能源系统

02

电热转换

需求侧响应：热
泵与电网的交互
关系

03

供需平衡

日前负荷预测
季节性蓄能.

04

热源热汇

余热废热利用
资源共享的能源
总线

05

性能提升

制冷效率提升1倍
制热效率在当前最
好水平上提升50%
空气源热泵的供热
性能
基于大数据的系统
能源管理

供暖碳排放量比较

供暖能源	供暖量 (kWh)	能源效率 (COP)	能耗量 (kWh)	实物量	碳排放因子	排放量 (kg)
天然气 (锅炉)	10	90%	11	1.1m3	2.16kg/m3	2.376
电力 (热泵)	10	2.4	4.08	4.08kWh	0.59kg/kWh	2.41
电力 (锅炉)	10	98%	10.2	10.2	0.23kg/kWh	2.376

2018年，中国电力平均碳排放因子0.59

2018年，德国平均碳排放因子0.468

2019年，美国平均碳排放因子是0.392

2018年，世界平均碳排放因子是0.475

热泵的碳中和作用：

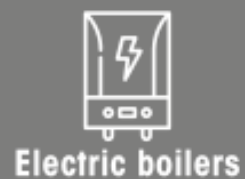
- 低碳排放因子电网
- 高渗透率可再生能源电网
- 平衡可变可再生能源
- 热泵是智能电网的重要组成

可再生能源P2H (power to heating)

Converting solar and wind power to heat can help transform the power sector, increasing its flexibility:



Renewable energy sources



Electric boilers



Heat pumps

Electricity



Heating & Cooling



Reducing VRE curtailment



Load shifting



Providing grid services
via aggregators

资料来源：IRENA

热泵P2H助力电网碳中和

可变可再生能源高渗透率的电网，可靠性、稳定性和弹性变得非常重要



增加可变可再生电力的消纳，减少弃电



通过负荷转移，提供电网灵活性



大规模储能

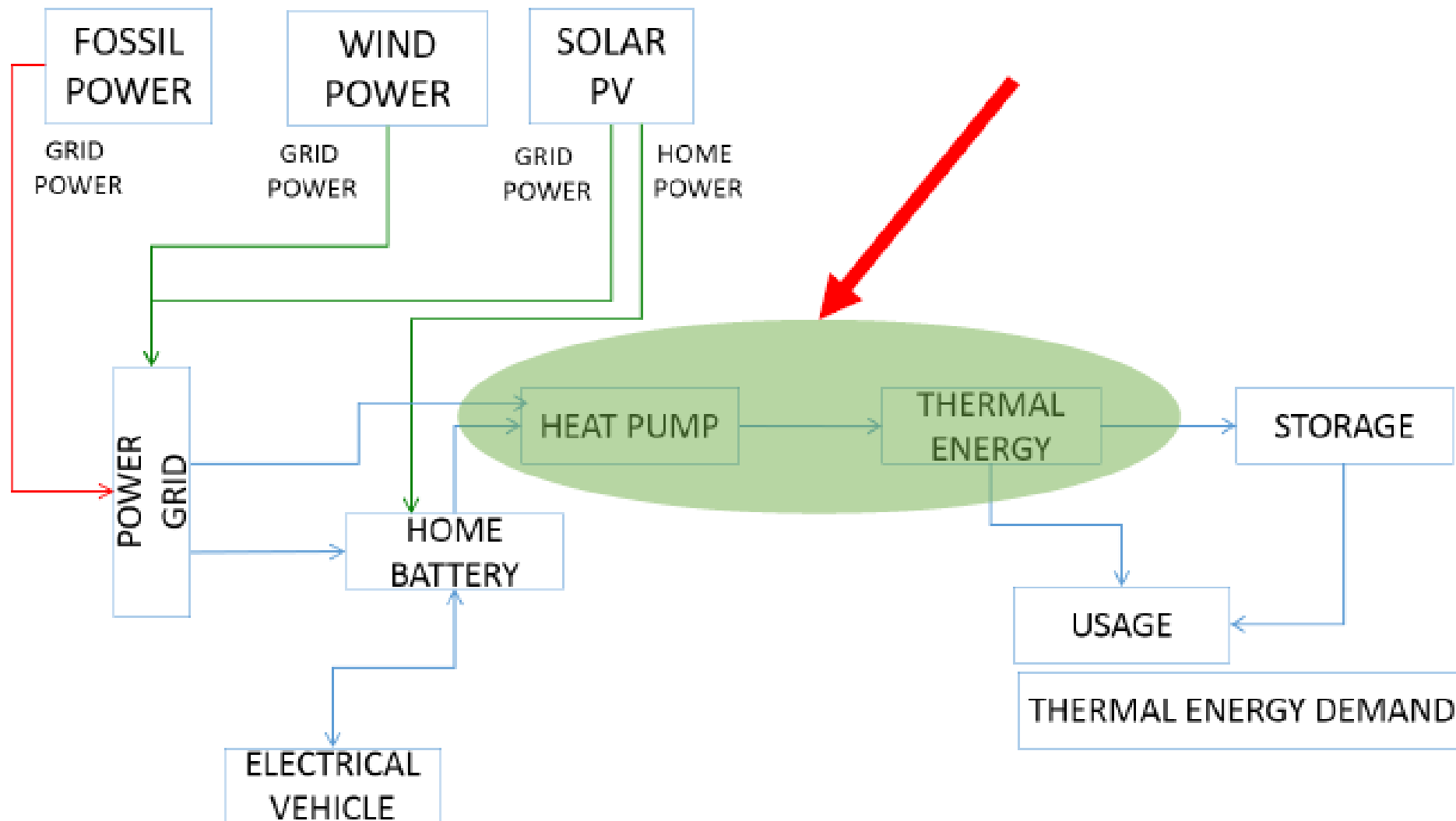


通过聚集商提供需求响应的弹性
aggregator



提高现场可再生电力的自消耗

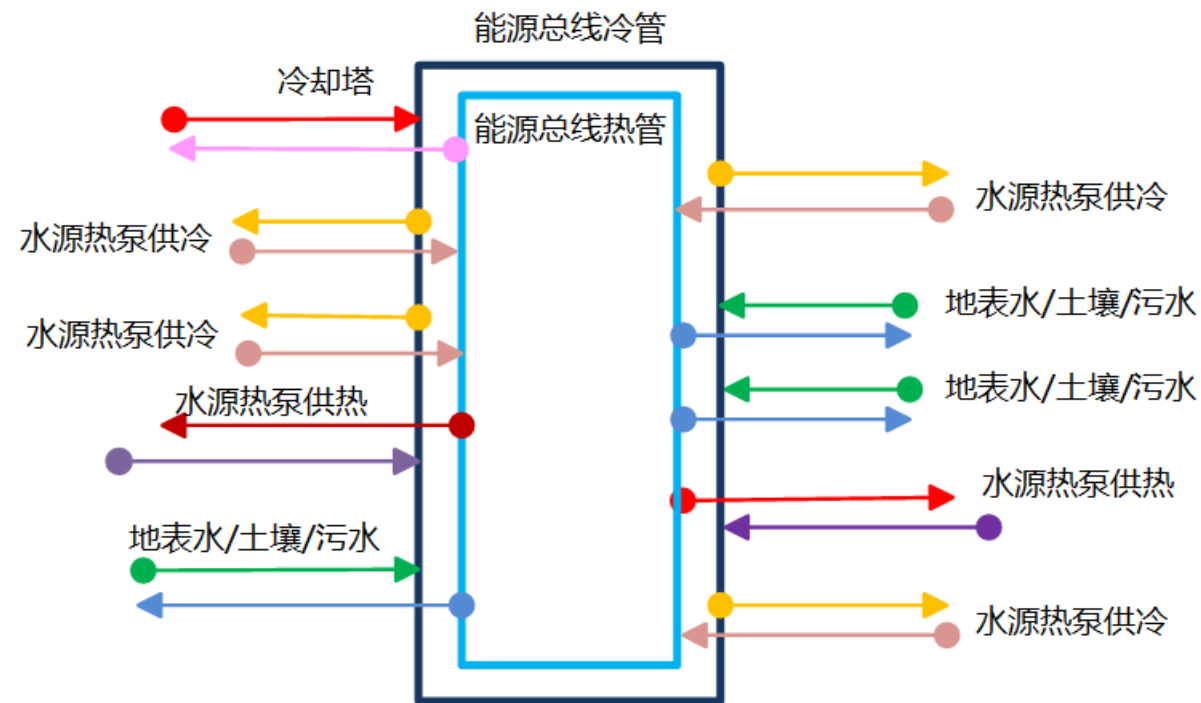
用于智能电网的热泵 smart grid ready heat pump



协调：
源与荷
供与需
电与热
峰与谷

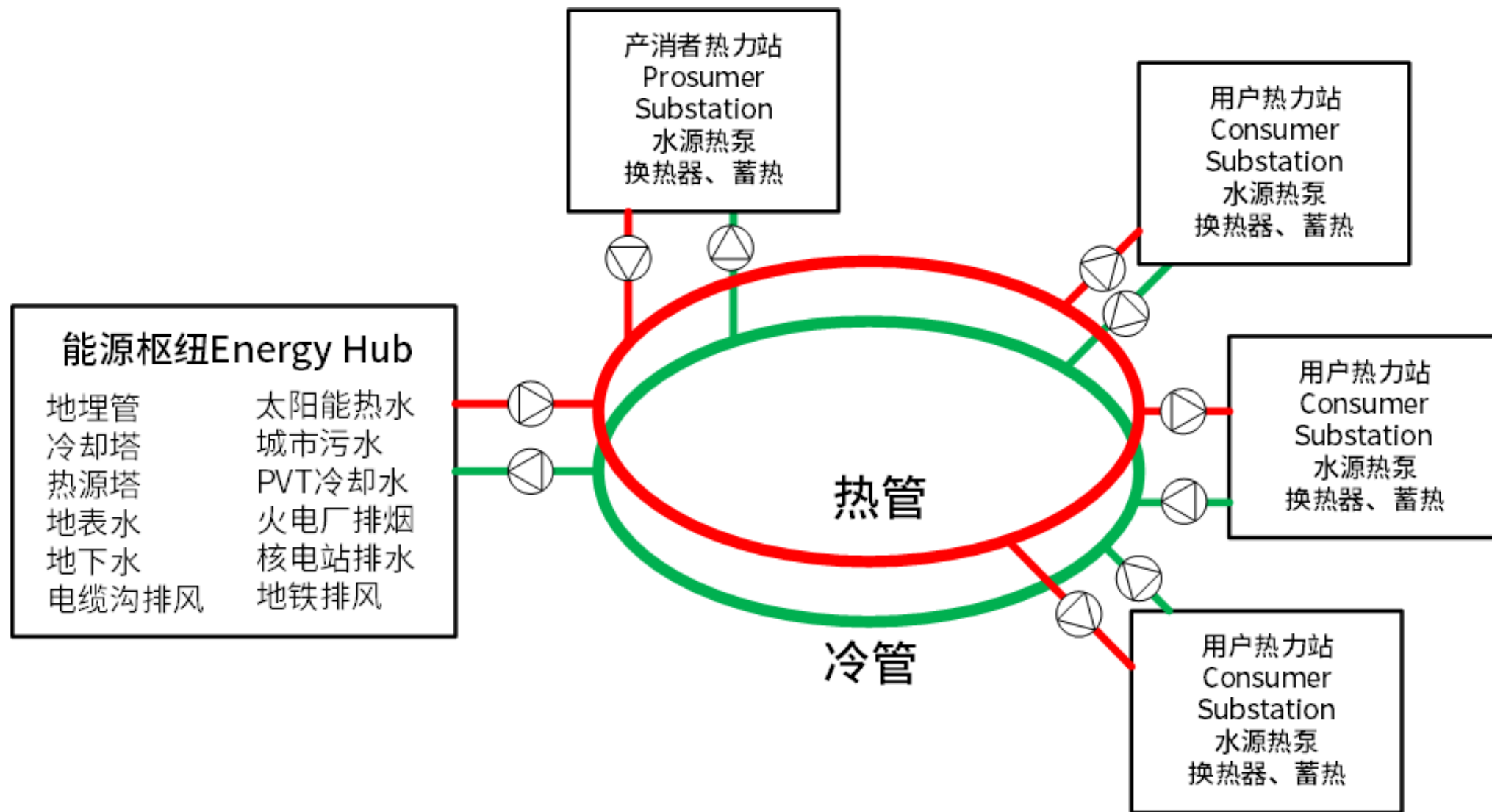
通过能源总线共享热源/热汇资源

2008年提出了能源总线的概念。所谓“能源总线（简称为Ebus）”，源自计算机科学中的“总线”概念，即“将来自于可再生能源或低品位热源的热源/热汇水，通过作为基础设施的管网，输送到用户”。2017年国际上称为第5代区域供冷供热系统（5GDHC）。

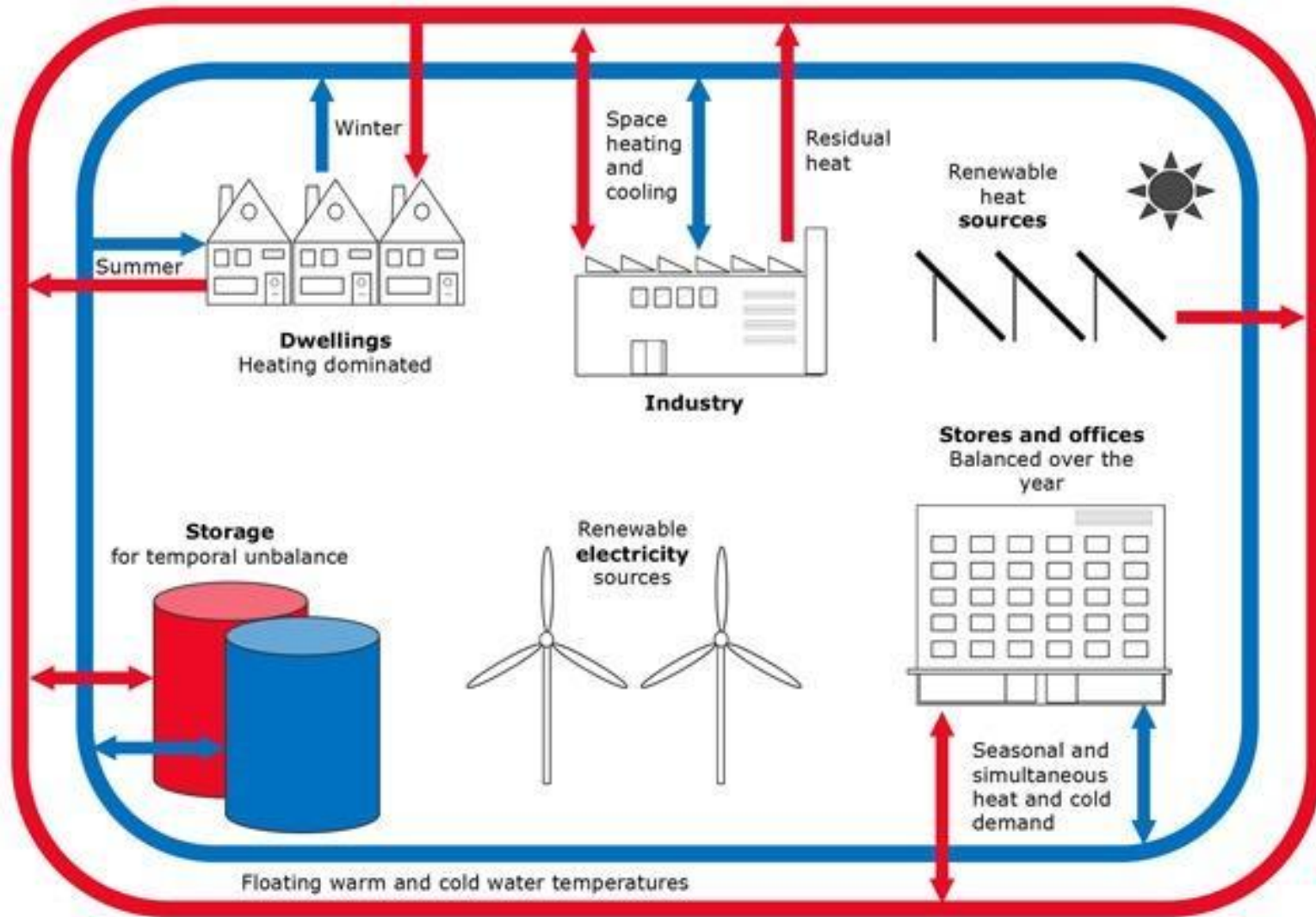


EBus或5GDHC技术增强了分散式能源系统中热力、电力和燃气电网的部门耦合，形成城区的智慧能源网。在城市建筑碳中和中可以发挥重要作用，是前几代区域供热（供冷）网所无法比拟的。

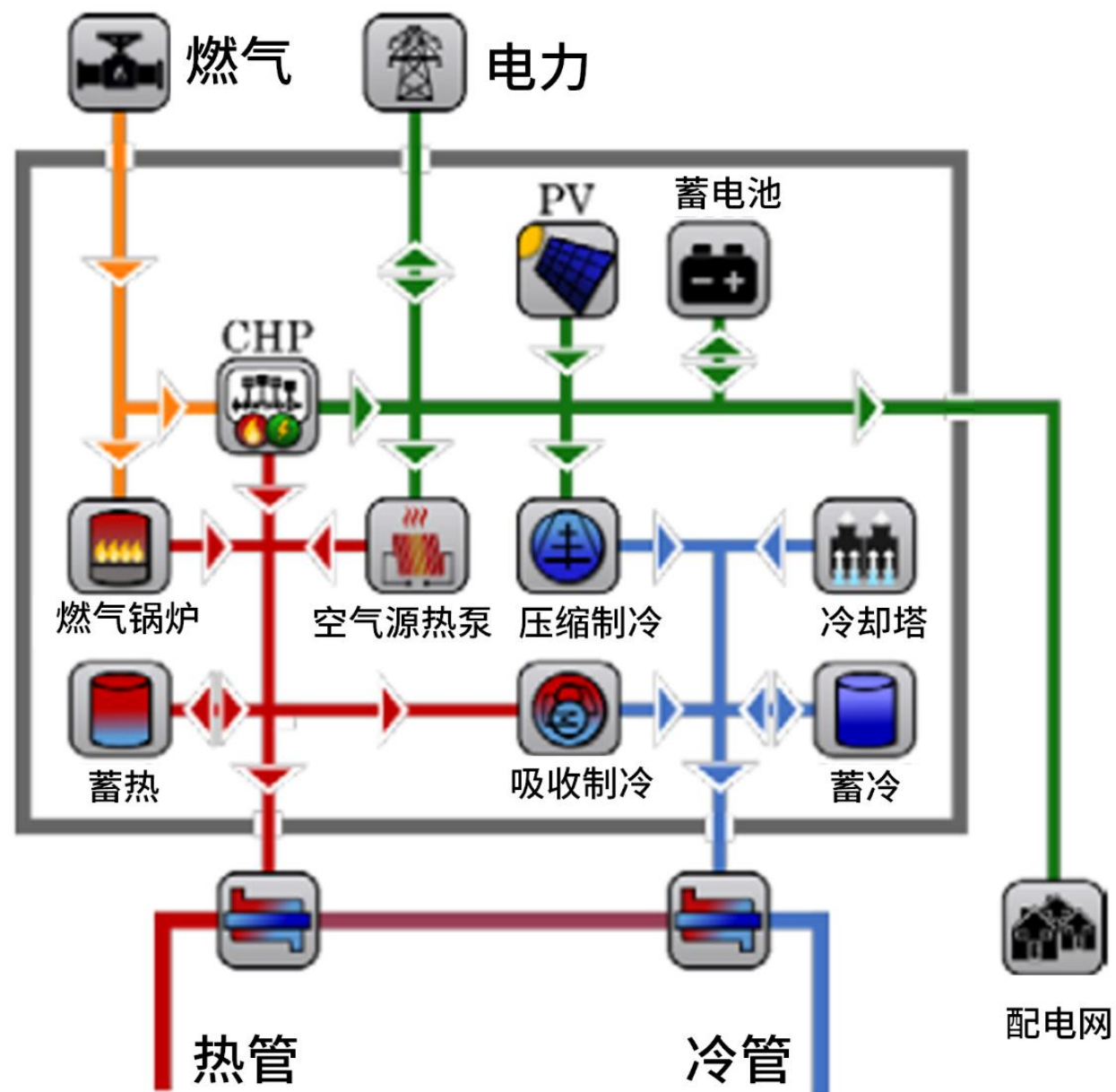
能源总线（5GDHC）系统概念图



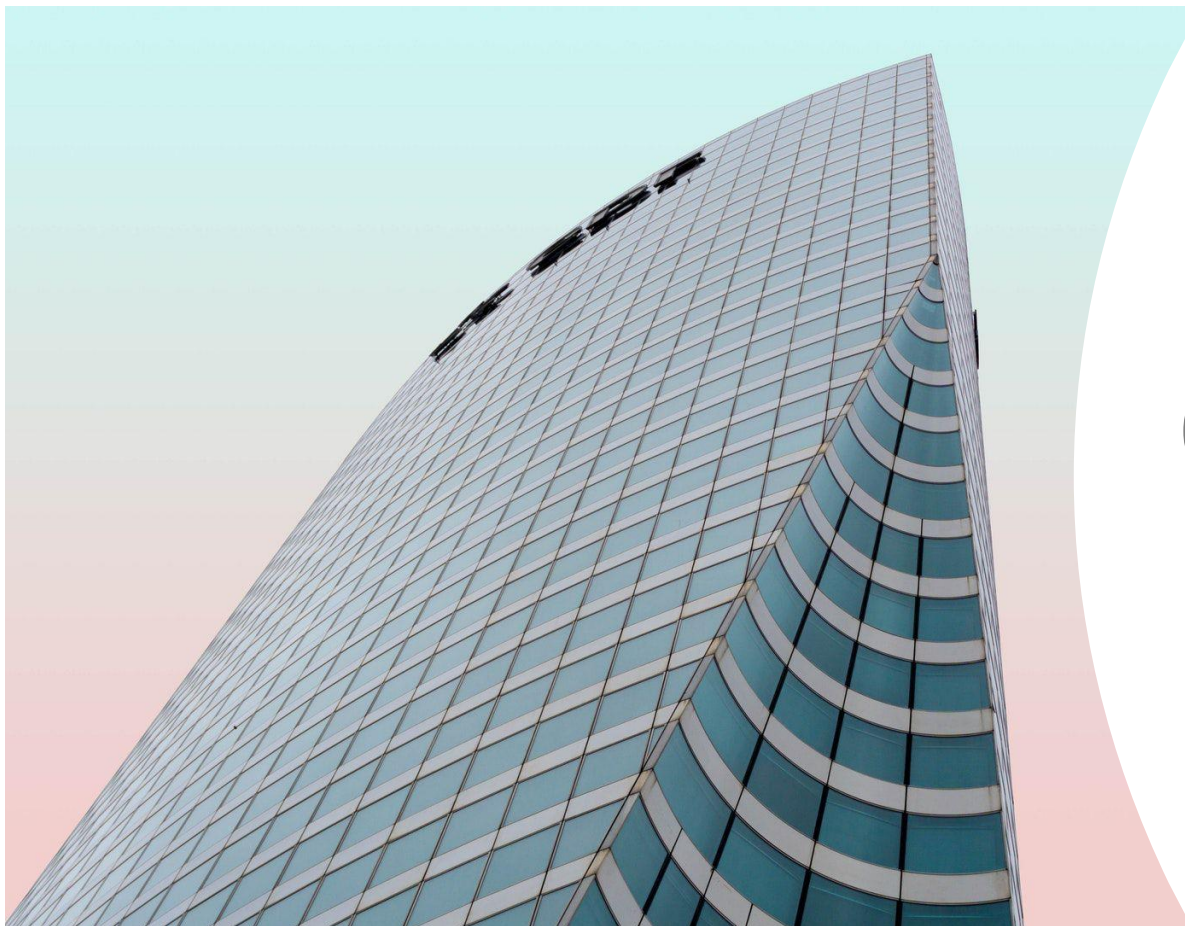
热回收和产消者 (prosumer)



有源能源总线 能源枢纽示意图



需要研究的主要问题



01 开展适用于供冷需求为主的地区的应用研究。
夏季找冷源比冬季找热源困难得多。

02 热泵效率的提高，尤其是空气源热泵供暖工
况。

03 热泵能源总线的源/网/荷/储/用各环节协调控
制

04 基于大数据和人工智能的能源管理系统



谢谢！