

上海地区住宅冬季 供暖问题简析

马伟骏

华东建筑设计研究总院

2021.04.08





目录

01. 合情的供暖需求

02. 合理的供暖方式

03. 实现低碳供暖的一些思考

/01

合情的供暖需求

- 地域情况解读
- 热舒适性分析
- 热舒适性调研

01. 合情的供暖需求

地域情况解读

- 我国集中供暖与非集中供暖区域划分以“秦岭—淮河”一线作为分界线，上海在传统定义的集中供暖区域以外。



- 南方地区冬季是否真正舒适？
- 随着人民生活水平的日益提高，南方地区的供暖问题已成为了一个全社会关注的问题 —— 2021年全国两会热点



全国人大代表、华中师范大学教授周洪宇：“**进一步推动南方城市供暖落地实施**”

- 建立“政府引导、市场运作”的南方清洁低碳供暖运行机制
- 建立南方清洁低碳供暖技术标准。
- 推动南方清洁低碳供暖示范工程建设，“十四五”时期力争建设20个试点城市，包括上海、南京、苏州、无锡、杭州等。



全国政协委员、中国节能环保集团党委书记、董事长宋鑫：“**推广清洁供暖，南方也能暖起来**”

- 清洁供暖的实用技术已经成为现实，南方地区也可以使用清洁能源实现冬季供暖。
- 国大约有40多个城市都在积极探索清洁供暖，清洁供暖的推广势在必行。

01. 合情的供暖需求

地域情况解读

➤ 规范对供暖需求与形式的约定：《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》（GB50736-2012）



- 5.1.2 累年日平均温度稳定 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的日数大于或等于**90天**的地区，**应**设置供暖设施，并宜采用集中供暖。

- 5.1.3 符合下列条件之一的地区，**宜**设置供暖设施；其中幼儿园、养老院、中小学校、医疗机构等建筑宜采用集中供暖：

- ✓ 累年日平均温度稳定 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的日数为**60天~90天**；

- ✓ 累年日平均温度稳定 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的日数不足**60天**，但累年日平均温度稳定 $\leq 8^{\circ}\text{C}$ 的日数**大于或等于75天**。



- 附录A 室外空气计算参数中 上海地区：

- ✓ 日平均温度 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的天数 为**42天**，日平均温度 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的起止日期为1月1日~2月11日

- ✓ 日平均温度 $\leq 8^{\circ}\text{C}$ 的天数 为**93天**，日平均温度 $\leq 8^{\circ}\text{C}$ 的起止日期为12月5日~3月7日

➤ 上海达到了规范提出的“**宜设置供暖设施**”的标准；但住宅并不在“**宜采用集中供暖**”的建筑类型之内。



01. 合情的供暖需求

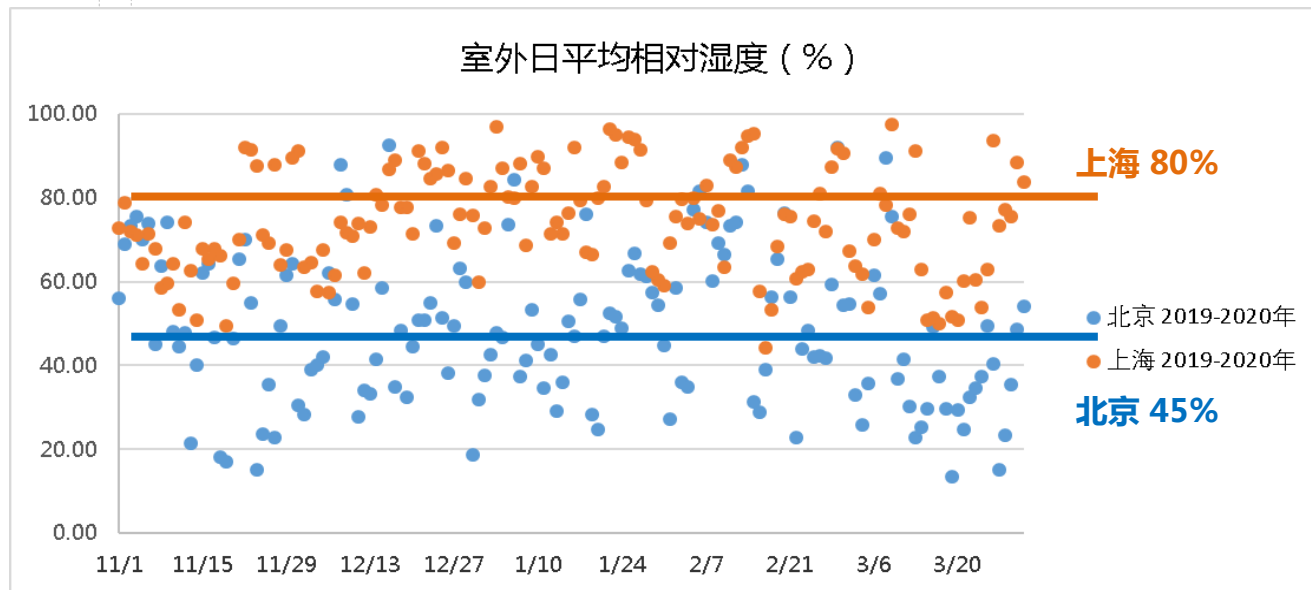
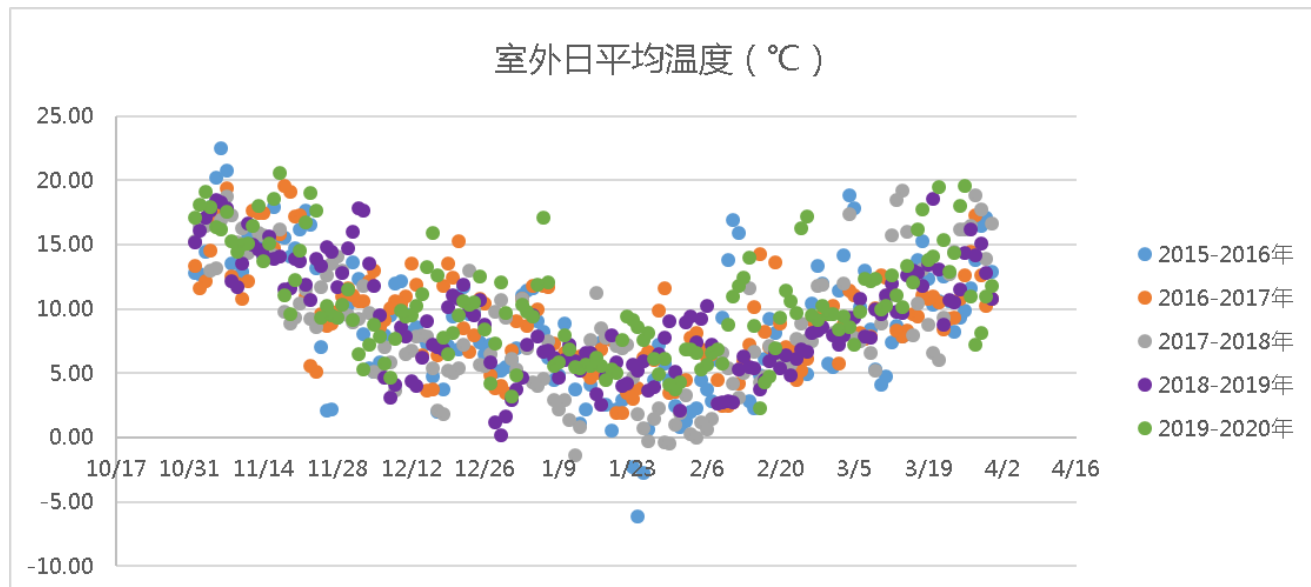
地域情况解读

- 针对上海市2015年-2020年冬季（11/1-3/15）的室外温度进行了统计：日平均温度 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的日数**不足60天**；除2017-2018年外，日平均温度 $\leq 8^{\circ}\text{C}$ 的日数均**不足75天**。与GB50736-2012中附录A的数据相比，呈现出近五年的实际冬季室外温度高于规范值的情况

供暖时段	2015- 2016年	2016- 2017年	2017- 2018年	2018- 2019年	2019- 2020年
日平均温度 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 天数	36	22	34	27	12
日平均温度 $\leq 8^{\circ}\text{C}$ 天数	71	58	82	70	48

注：温湿度数据来源于<https://rp5.ru/>宝山区气象站（58362）

- 上海市冬季温度不算太低，但为何感觉冷？
相对湿度高！从2019—2020年冬季上海和北京的相对湿度数据可见，北京平均为45%，上海为80%



01. 合情的供暖需求

地域情况解读

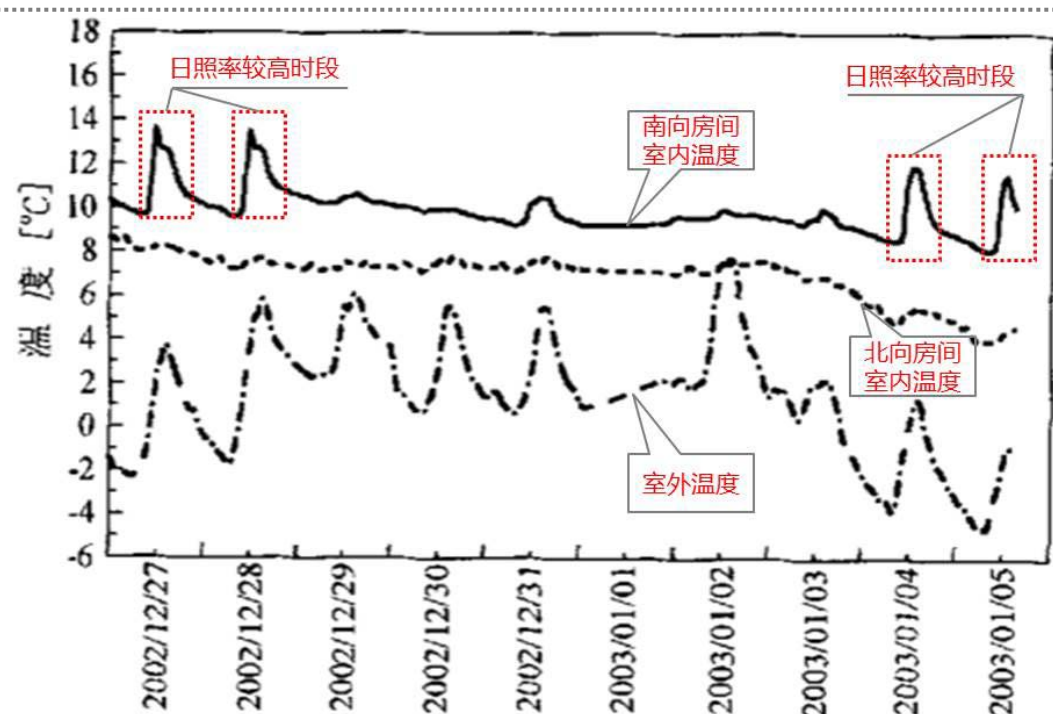
➤ 不采取供暖措施下，室内温度与室外温度的关系
上海地区冬季某住宅室内温度实测：

- 北向房间室内空气温度较室外空气温度高约 5°C ，南向房间高约 8°C ；
- 室内空气温度受室外空气温度波动影响较小，室内空气温度（南向房间）受日照波动影响较大；
- 室内平均辐射温度较室内空气温度低约 2°C 。

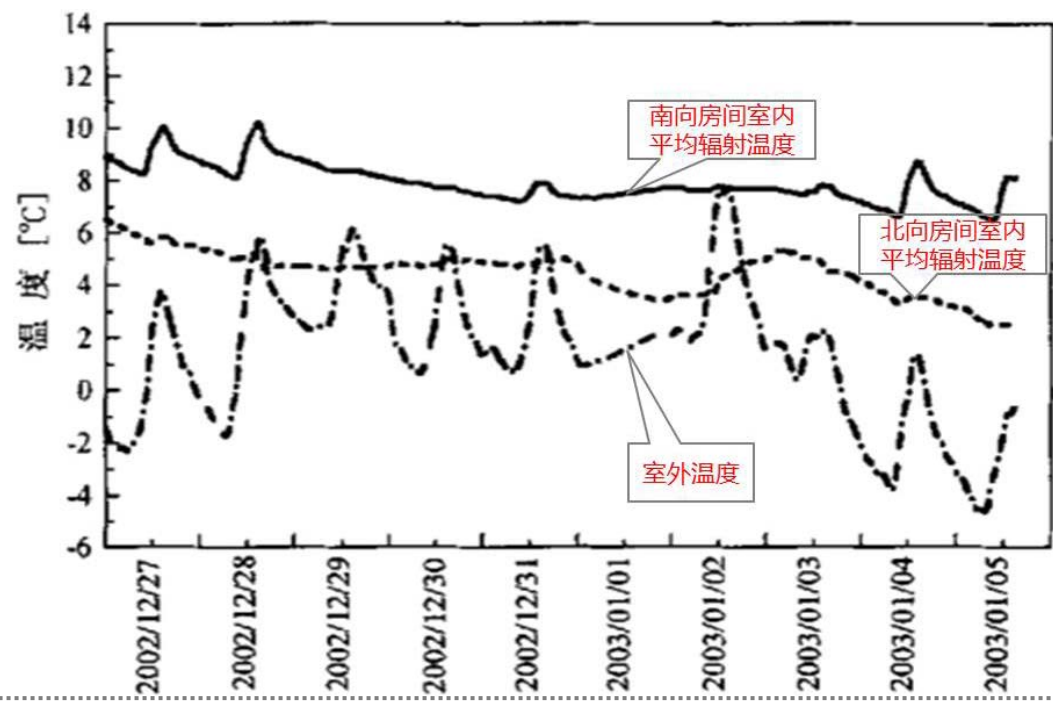
注：引自 《夏热冬冷地区居住建筑冬季室内热环境质量的优化研究》 吕静 东华大学 2003

- 不采用供暖措施下，冬季上海地区住宅室内温度处于较低水平，平均辐射温度更低，体感较差。
- 朝向和日照对室内温度有一定的改善，但并不能彻底解决室内温度较低的问题。

室内干球温度



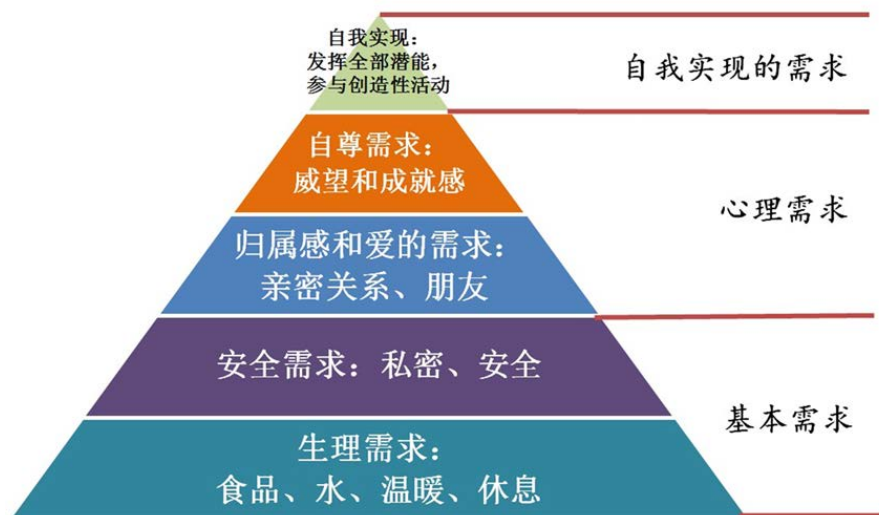
室内平均辐射温度



01. 合情的供暖需求

热舒适性分析

- 人对于温度的需求 —— 马洛斯的需求层次理论
 - 确保温暖是人的“基本需求”
 - “基本需求”的定义：缺少它会引起疾病，有了它能免于疾病



- 冬季供暖不仅是求舒适，更是求健康、求生存之必需。

气温对健康的影响

- 气温是某些疾病发病的诱因：大量研究表明，冬季的心、脑血管疾病死亡率要高于夏季；死亡人数与气温之间存在明显负相关关系。
- “耐受温度”：与“舒适温度”不同，预防医学专业更关心人体的冬季冷耐受温度和夏季热耐受温度；“冷耐受”的下限温度定为 11°C ，对60岁以上的老年人人为 14°C 。
- “舒适温度”：世界卫生组织（WHO）的研究报告表明，80%老年人的热舒适温度范围是 $18 \sim 30^{\circ}\text{C}$ ，作用温度范围是 $16 \sim 32^{\circ}\text{C}$ 。

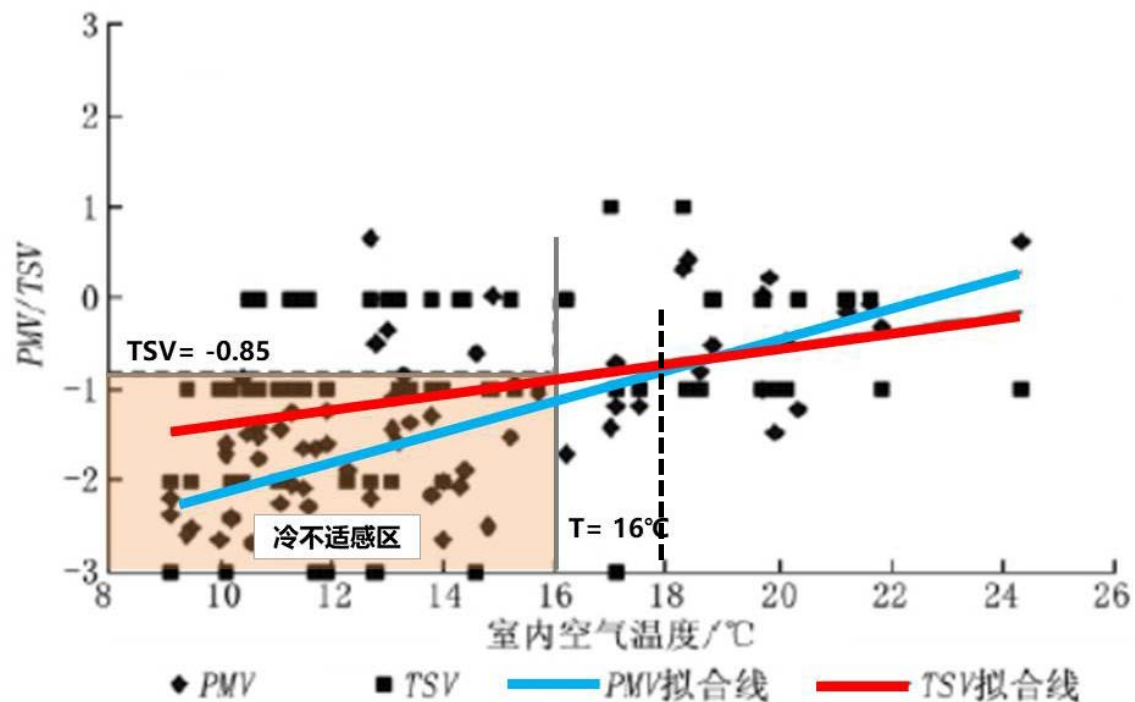
室温	对健康的影响
21°C	推荐的起居室温度
18°C	没有健康危害的最低温度
16°C	减少呼吸系统疾病的最低温度
$9 \sim 12^{\circ}\text{C}$	血压升高，会引起心血管疾病
5°C	有低体温症危险

01. 合情的供暖需求

热舒适性调研

对室内热舒适性的客观与主观评价

- 2011年12月-2012年3月、2012年12月-2013年3月，同济大学周翔老师团队在上海市杨浦区选择了10户住宅进行室内测试和调研



未开空调时居民的热感觉投票TSV和PMV计算值

- 当热感觉投票值 (TSV) ≤ -0.85 时，80%以上的居民已有明显的冷不适感，此时对应的室内空气温度为 16°C ，即可认为 16°C 为可接受的室内空气温度下限；
- 室内空气温度在 18°C 以下，热感觉投票值 (TSV) 高于热舒适计算值 (PMV)，反映了上海地区居民长期在低温环境下生活人体已产生了对冷暴露应激的适应性。

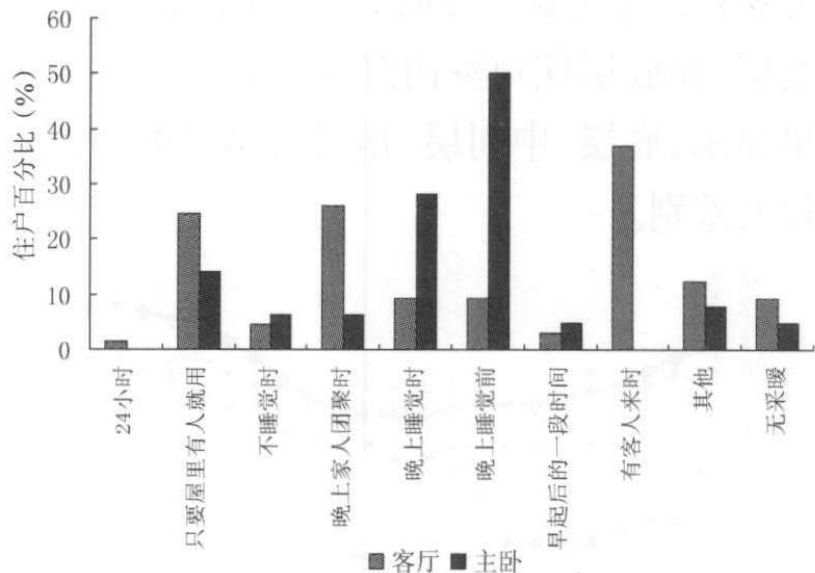
- 上海居民冬季长期处于室内冷环境下，具有一定的适应性，但对于室内空气温度低于 16°C 时，仍存在较强的冷不适感。

01. 合情的供暖需求

热舒适性调研

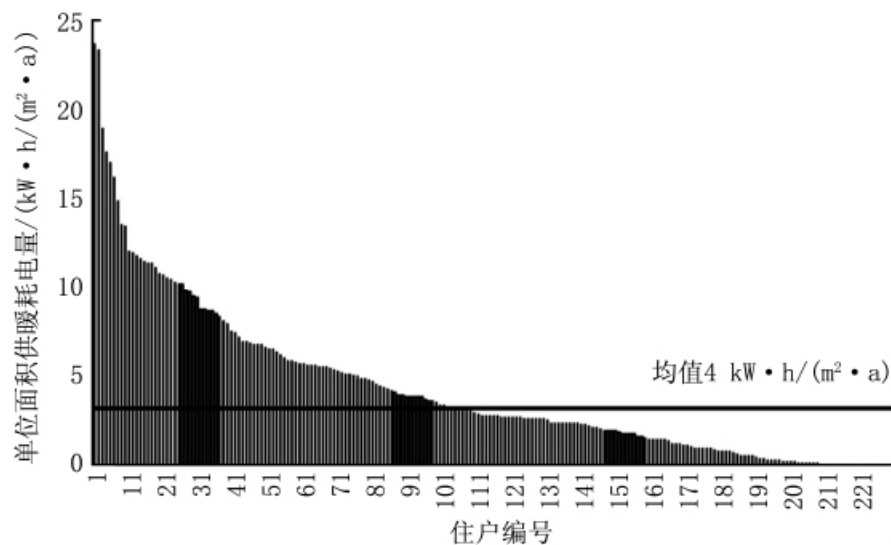
对空调使用情况的研究

- 上海居民冬季多采用“部分时间、部分空间”的间歇式空调使用方式【1】。

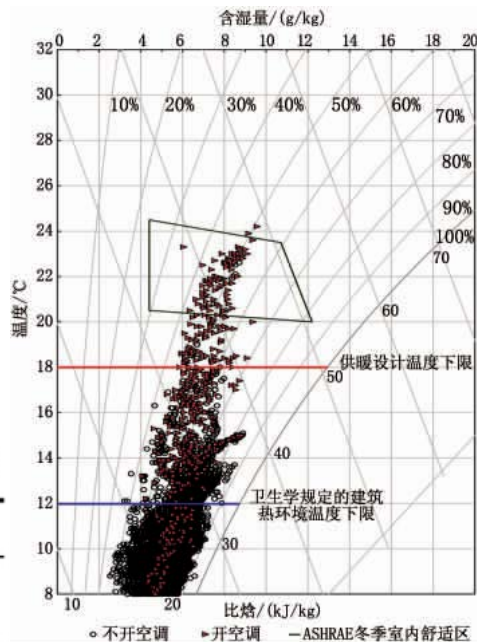


冬季客厅与卧室采暖时间

- “部分时间、部分空间”的间歇式空调使用方式，使上海居民冬季供暖整体能耗水平较低，采用空气源热泵空调器的供暖住宅单位面积年耗电量平均值为 $4\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ ，仅占户均总生活用电量的13%，但整体热舒适性也较低【2】。



上海地区使用空气源热泵空调器住宅单位面积年供暖耗电量分布



使用空气源热泵空调器供暖住宅室内热环境状况分布

注：1.引自 《上海高层住宅室内热舒适研究》. 史洁、苏伟等. 建筑热能通风空调. 2008年第2期

2. 引自 《上海地区住宅冬季室内环境调研及热需求分析》. 周翔、张淇淇等. 暖通空调. 2013年第6期

01. 合情的供暖需求

小结

- 上海不在传统的集中供暖区域范围之内，但按规范要求住宅需要考虑冬季供暖。
- 上海冬季室外温度较低、相对湿度高，体感较差；不采取供暖措施的室内环境，无法满足舒适要求。
- 从人对温度的需求分析以及实际调研情况来看，冬季室内温度需保证 18°C 以上，才能基本满足舒适性要求。
- 上海居民的空调使用习惯多为“部分时间、部分空间”的间歇性使用，总体能耗不高，但舒适性也较差。

/02

合理的供暖方式

- 常见的热源形式
- 常见的末端形式

02. 合理的供暖方式

常见的热源形式

以电为能源

01



电散热器

直接用电供暖

02



分体空调

03



多联机

04



小型风冷热泵

以电驱动热泵供暖

以气为能源

05



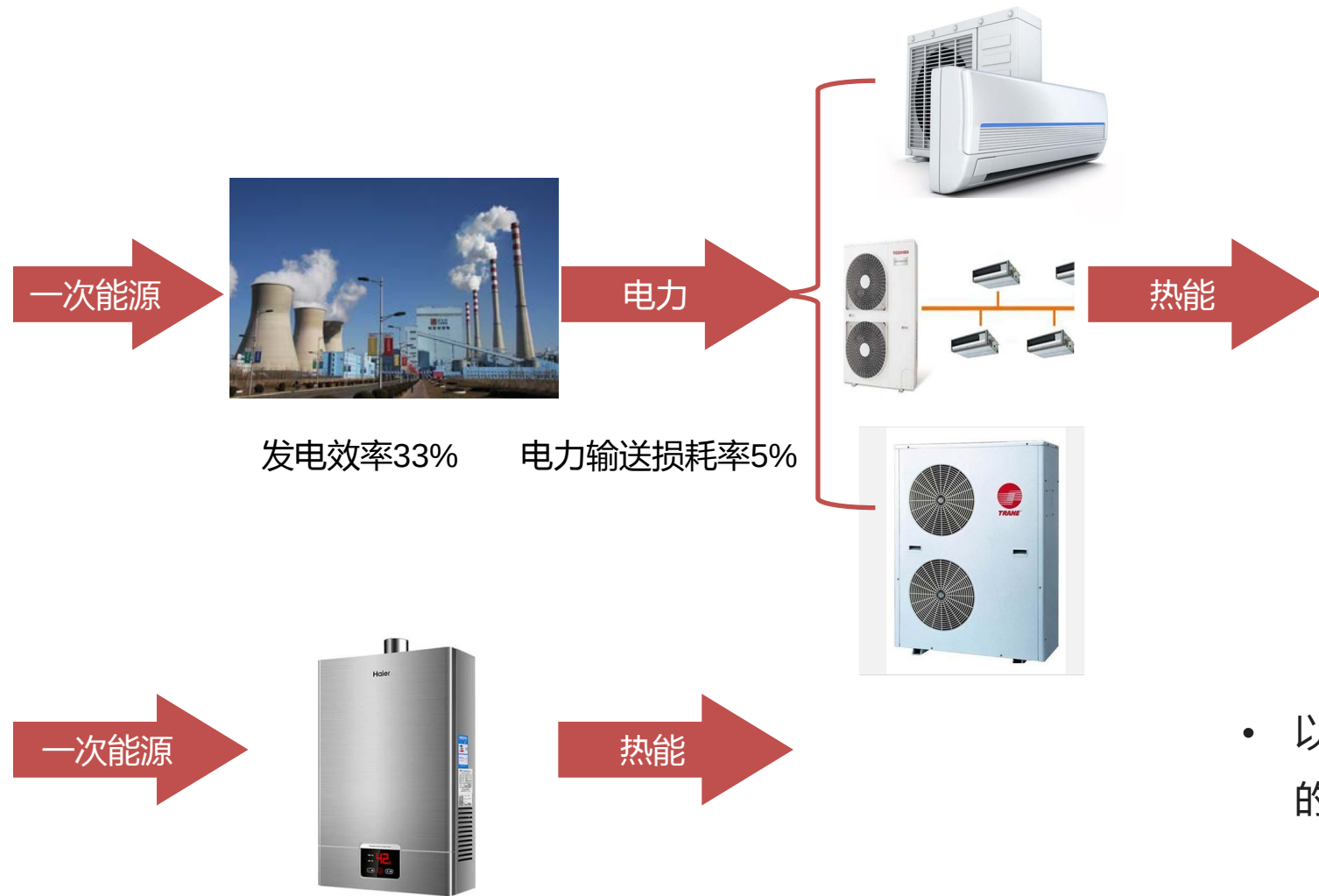
燃气热水炉

- 主要有“以电为能源”与“以气为能源”二大类形式。
- 以电散热器供暖的形式不多，多为局部应用。

02. 合理的供暖方式

常见的热源形式

- 不同热源形式的一次能源利用率
 - 一次能源利用率定义：获得的能量与获得该能量消耗的一次能源的比率



热源形式	COP ^[1]	一次能源利用率
分体空调	二级能效	2.17
	一级能效	2.26
多联机	3	0.94
小型风冷热泵	2.55	0.80
--	热效率 ^[2] (%)	--
燃气热水炉	二级能效	89
	一级能效	99
	冷凝炉	108.9

注：1. 以实际产品参数测算，并考虑了温度和融霜修正
2.以实际产品参数测算

- 以电为能源的热源一次能源利用率普遍低于以气为能源的热源；**冷凝式燃气热水炉的一次能源利用率最高。**

02. 合理的供暖方式

常见的热源形式

不同热源形式的供热经济性

上海市居民用能价格

	分档	年用气总量 (m³/户·年)	气价水平 (元/m³)
天然气	第一档	0-310 (含)	3
	第二档	310-520 (含)	3.3
	第三档	520m3以上	4.2

	分档	年用电总量 (kWh/户·年)	电价水平 ^[1] (元/KWh)	平均电价 ^[2] (元/KWh)
电价	第一档	0-3120 (含)	峰时段	0.617
			谷时段	0.307
	第二档	3120-4800 (含)	峰时段	0.677
			谷时段	0.337
	第三档	4800以上	峰时段	0.977
			谷时段	0.487

注：1. 居民用户分时峰谷时段划分为：峰时段（6-22时），谷时段（22时-次日6时）；
2. 平均电价按一周5天工作日（5h峰电，8h谷电），2天休息日（16h峰电，8h谷电）计算。

供热能源成本

热源形式		COP ^[1]	单位能源供热量 (kWh)	单位供热能源成本 (元/KWh)		
			1kW电力	第一阶梯	第二阶梯	第三阶梯
分体空调	二级能效	2.17	2.17	0.216	0.237	0.342
	一级能效	2.26	2.26	0.207	0.227	0.328
多联机		3	3	0.156	0.171	0.247
小型风冷热泵		2.55	2.55	0.184	0.201	0.291
--	热效率 ^[2] (%)		1m³天然气	--	--	--
燃气 热水炉	二级能效	89	8.80	0.341	0.375	0.477
	一级能效	99	9.78	0.307	0.337	0.429
	冷凝炉	108.9	10.76	0.279	0.307	0.390

注：1. 以实际产品参数测算，并考虑了温度和融霜修正
2.以实际产品参数测算

以电为能源的热源供热成本普遍低于以气为能源的热源；多联机的单位供热量能源成本最低。

02. 合理的供暖方式

常见的热源形式

➤ 不同热源形式的其它优缺点比较

形式	常匹配的供热末端	优点	缺点
分体空调	热风末端	1) 冷热共用 2) 形式简单 3) 室内管线少	1) 需考虑融霜影响
多联机	热风末端、地面辐射、散热器（低温型）	1) 冷热共用 2) 形式简单	1) 需考虑融霜影响 2) 室内管线多
小型风冷热泵	热风末端、地面辐射、散热器（低温型）	1) 冷热共用	1) 需考虑融霜影响 2) 形式复杂 3) 室内管线多
燃气热水炉	散热器、地面辐射	1) 与生活热水共用 2) 无融霜影响，运行稳定	1) 需单独考虑供冷 2) 室内管线多

02. 合理的供暖方式

常见的末端形式

01



热风末端

02



散热器

03



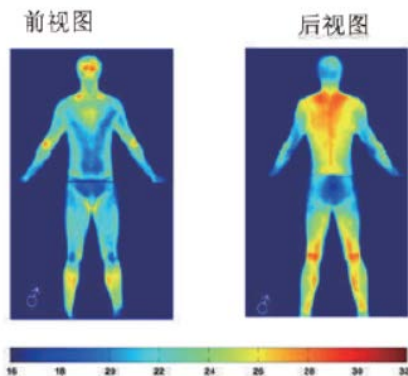
地面辐射

02. 合理的供暖方式

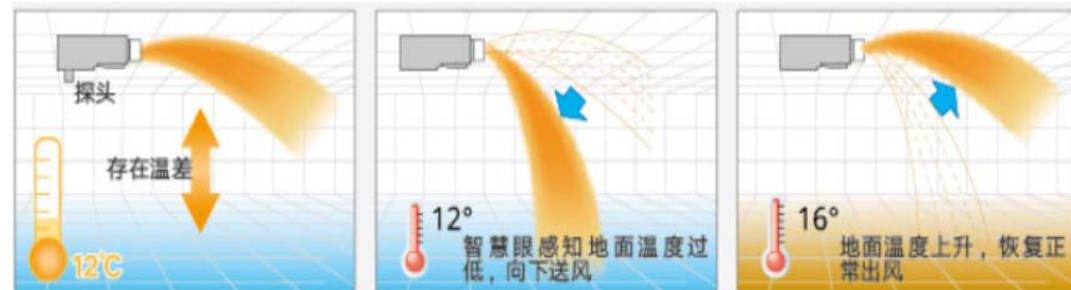
常见的末端形式

不同末端形式的热舒适性

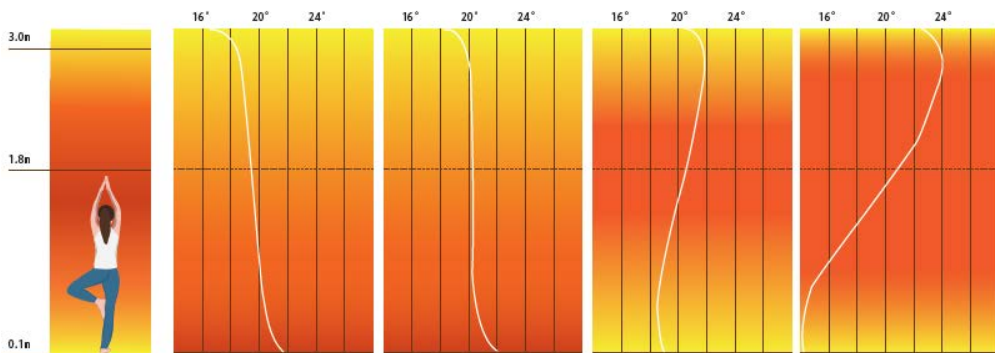
- 人体温度分布
- ✓ 人体**头部的温度较高**，**脚部处于肢体末端温度较低**。
- 不同末端的室内温度分布
- **地面辐射末端**形式下的室内温度分布**最接近**满足人体舒适的理想温度分布情况
- **热风末端**形式下的室内温度分布与人体热舒适性**匹配性较差**，但从冷热末端共用经济性的角度出发，该末端形式目前**仍占有较大的市场份额**。



- 热风末端气流组织改善方法
- ✓ 智能调整送风方向



- ✓ 改变出风口位置



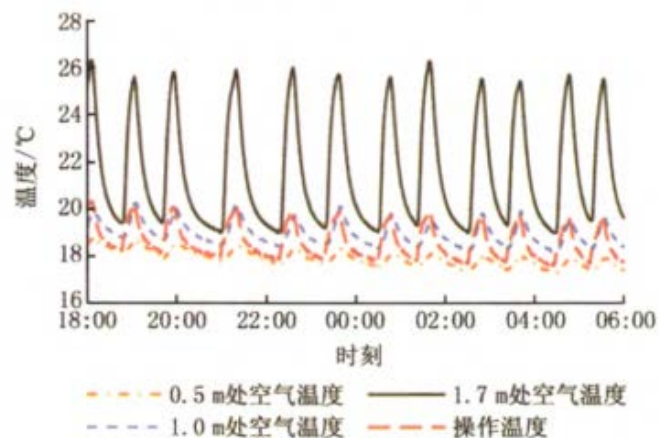
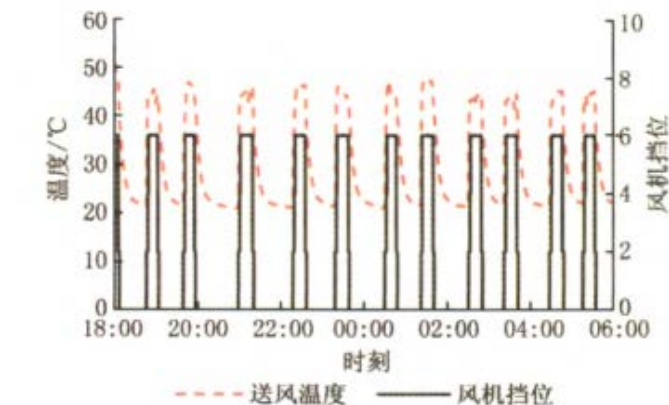
理想温度分布曲线 地面辐射分布曲线 散热器分布曲线 热风末端分布曲线

02. 合理的供暖方式

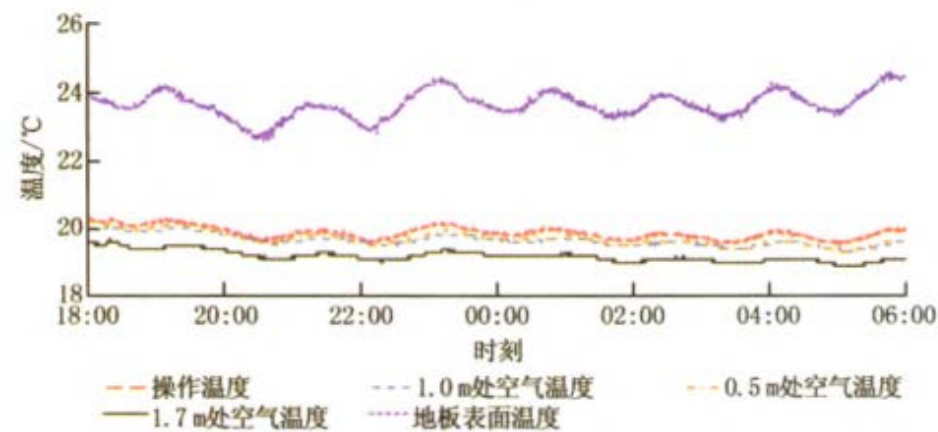
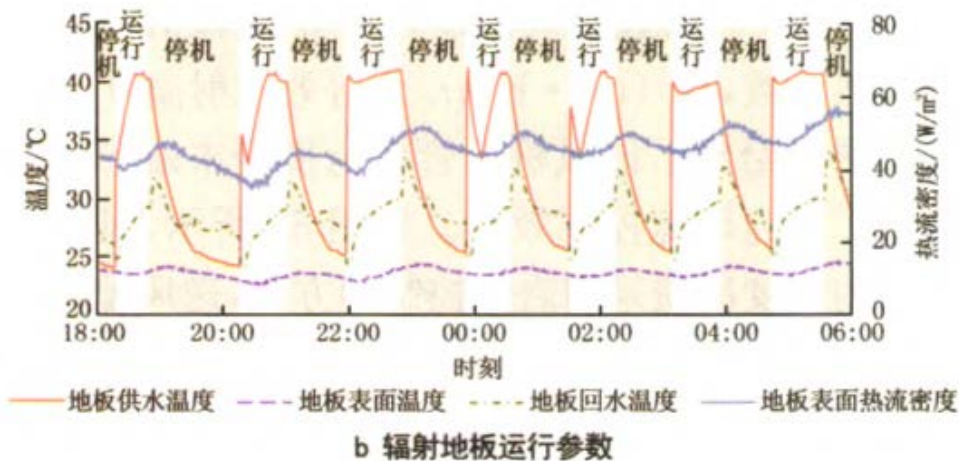
常见的末端形式

不同末端形式的运行特性

- 间歇运行特性



热风末端（风机盘管）供暖室内热环境



辐射地板供暖室内热环境

运行特性比较

	地面辐射	散热器	热风末端
换热形式	辐射（主） +自然对流 （辅）	自然对流 （主）+辐 射（辅）	强迫对流
热响应 时间	长	较短	短
间歇运行匹 配性	低	较高	高

结论

- ✓ 地面辐射热响应时间长，启动过程缓慢，会导致居民采暖习惯的改变，“部分时间间歇运行” → “长时间连续运行”，从而导致供暖能耗增加。
- ✓ 改进方向：缩短地面辐射供暖的响应时间，如采毛细管响应时间可缩短约40%。



02. 合理的供暖方式

小结

- 梳理了上海住宅常用的供暖热源形式。
- 通过计算得到了不同热源形式下的一次能源利用率，以气为能源的热源一次能源利用率普遍高于以电为能源的热源，其中冷凝式燃气热水炉最高；通过计算得到了不同热源形式下的单位供热量能源成本，以电为能源的热源单位供热量成本普遍低于以气为能源的热源，其中多联机最低。
- 梳理了上海住宅常用的供暖末端形式。
- 地面辐射末端舒适性最符合人体热舒适需求，但需要关注由于其热响应时间较长的问题，带来的居民采暖习惯的改变。

实现低碳供暖的一些思考

- “双碳”目标下的上海住宅冬季供暖技术路径
- 超低能耗建筑
- 以电代气
- 可再生能源利用

03. 实现低碳供暖的一些思考

“双碳”目标下的上海住宅冬季供暖技术路径

➤ 我国对“2030年碳达峰、2060年碳中和”的承诺

2020年09月30日 联合国生物多样性峰会：

习主席 发表重要讲话

中国将秉持人类命运共同体理念，愿承担与中国发展水平相称的国际责任，提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，**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**，为实现应对气候变化《巴黎协定》确定的目标作出更大努力和贡献。

2020年10月29日 中国共产党第十九届中央委员会：

《中共中央关于制定国民经济和社会发展**第十四个五年规划**和二〇三五年远景目标的建议》

推动绿色发展，促进人与自然和谐共生。坚持绿水青山就是金山银山理念，坚持尊重自然、顺应自然、保护自然，坚持节约优先、保护优先、自然恢复为主，守住自然生态安全边界。深入实施可持续发展战略，完善生态文明领域统筹协调机制，构建生态文明体系，促进经济社会发展全面绿色转型，建设人与自然和谐共生的现代化。要**加快推动绿色低碳发展**，持续改善环境质量，提升生态系统质量和稳定性，**全面提高资源利用效率**。



03. 实现低碳供暖的一些思考

“双碳”目标下的上海住宅冬季供暖技术路径

上海市的减碳目标

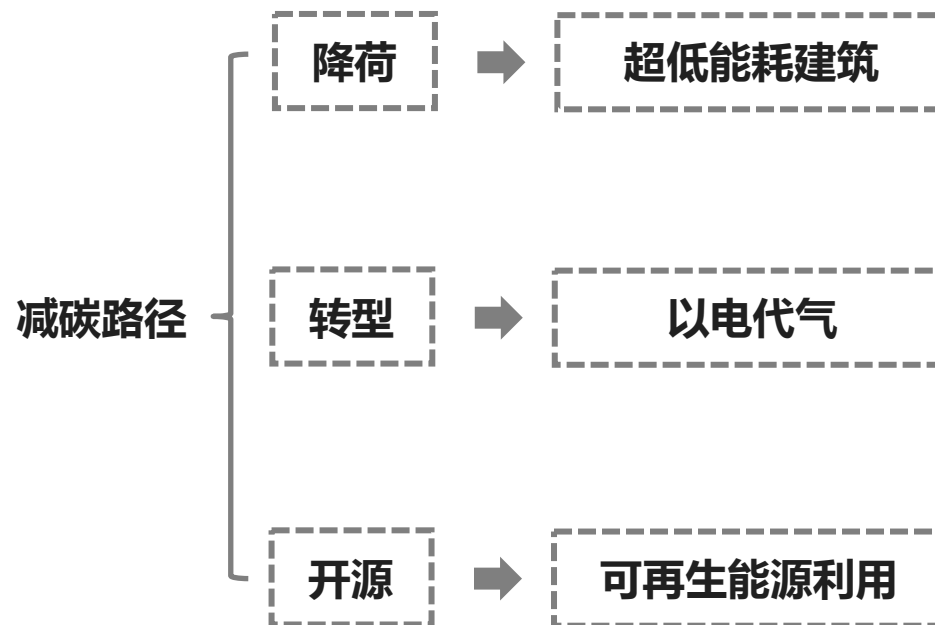
2021年01月27日 上海市第十五届人民代表大会第五次会议：
批准《上海市国民经济和社会发展的第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》

上海将制定全市碳排放达峰行动计划，着力推动电力、钢铁、化工等重点领域和重点用能单位节能降碳，**确保在2025年前实现碳排放达峰。**



上海市国民经济和社会发展的第十四个五年规划
和二〇三五年远景目标纲要
2021年1月27日上海市第十五届
人民代表大会第五次会议批准

上海住宅冬季供暖的“减碳”技术路径



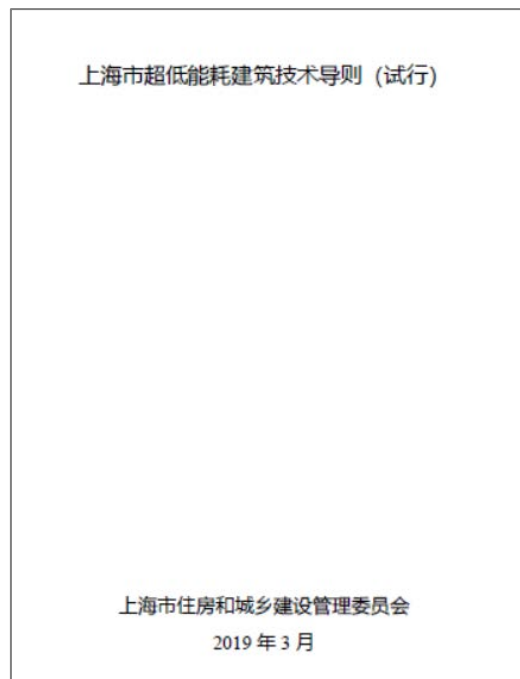
03. 实现低碳供暖的一些思考

❏ 超低能耗建筑

- 2020年10月30日上海市颁布了《关于推进本市超低能耗建筑发展的实施意见》

“**大力推进本市超低能耗建筑发展**，到2025年底，全市累计落实超低能耗建筑不低于50万平方米，形成系统的超低能耗建筑政策和技术体系，打造一批超低能耗建筑示范项目。实现超低能耗建筑向标准化、规模化、系列化方向发展。”

- 项目建设应遵循《上海市超低能耗建筑技术导则（试行）》的相关要求



➤ 政策支持



财政补贴

符合相关要求的超低能耗建筑示范项目**每平方米补贴300元**



容积率计算

超低能耗建筑项目符合本市相关技术要求并经审核通过的，其**外墙面积可不计入容积率**，但其建筑面积最高不应超过总计容建筑面积的**3%**；采用外墙保温一体化（仅采用内保温一体化的除外）的建筑项目符合本市相关技术要求并经审核通过的，其**外墙保温层面积可不计入容积率**，但其建筑面积最高不应超过总计容建筑面积的**1%**。



鼓励尚未开工的项目采用超低能耗建筑

已办理规划、土地等手续，尚未开工建设的项目，改建超低能耗建筑的，**同等享受相关优惠政策，规划资源、建设管理等部门配合办理变更手续。**

3%的面积可不计入容积率，成为打造**超低能耗住宅项目**的最大驱动力。



ECADI



03. 实现低碳供暖的一些思考

❏ 超低能耗建筑

➤ 更加严格的围护结构热工性能要求

围护结构	《居住建筑节能设计标准》 (DGJ08-205-2015)	《上海市超低能耗建筑技术导则 (试行) 》			
		约束值		参考值	
		数值	提升比例	数值	提升比例
外墙平均传热系数 W/ (m ² .K)	≤1.00/0.80 (3层及以上) 普通/轻质	≤0.80	0~20 %	≤0.40	50~60 %
屋面平均传热系数 W/ (m ² .K)	≤0.80/0.70 (3层及以上) 普通/轻质	≤0.64	8~20 %	≤0.30	57~62 %
外窗传热系数 W/ (m ² .K)	窗墙比≤0.4 , ≤2.20 0.4<窗墙比≤0.5 , ≤2.00 窗墙比>0.5 , ≤1.80	≤1.80	0~18 %	≤1.40	22~36 %

➤ 对建筑气密性提出高的要求

围护结构	《居住建筑节能设计标准》 (DGJ08-205-2015)	《上海市超低能耗建筑技术导则 (试行) 》
外窗	无要求	8级
外门、分隔供暖 与非供暖空间的 户门	无要求	6级
整体气密性	无要求	室内外正负压差50Pa时， 每小时换气次数≤1.0 h ⁻¹

- 热负荷设计指标降低：从热负荷 (含新风，套内空调面积，非间歇运行) 约150W/m²下降至约75W/m²，降幅为50%
- 供暖年耗热量降低：从年耗热量25~35kWh/ (m².a) 下降至 ≤8kWh/ (m².a) ，降幅为65~75%



03. 实现低碳供暖的一些思考

以电代气

➤ 传统电力模式下的各热源供热碳排放计算

- 天然气碳排放因子：56.1kg/GJ
- **传统电力**碳排放因子：0.7035kg/kWh（华东区域电网 2012年）

热源形式		COP ^[1]	单位供热量的碳排放量 (kgCO ₂ /kWh)	用电碳排放较高
分体空调	二级能效	2.17	0.33	
	一级能效	2.26	0.31	
多联机		3	0.24	
小型风冷热泵		2.55	0.27	用电碳排放较高
--		热效率 ^[2] (%)	--	
燃气 热水炉	二级能效	89	0.23	
	一级能效	99	0.20	
	冷凝炉	108.9	0.19	

注：1. 以实际产品参数测算，并考虑了温度和融霜修正

2. 以实际产品参数测算

➤ 电力**供给侧结构转型**下的技术方案



电力脱碳

用电来自于区域层面的**零碳电力**（光电、风电）



建筑电气化

逐步**减少直接燃烧天然气**为住宅供暖带来的碳排放，**提高住宅用能电气化**的比例



热泵技术

以**热泵**为主要的供暖技术手段



电力供给侧结构转型促使住宅供热方式的转变



ECADI

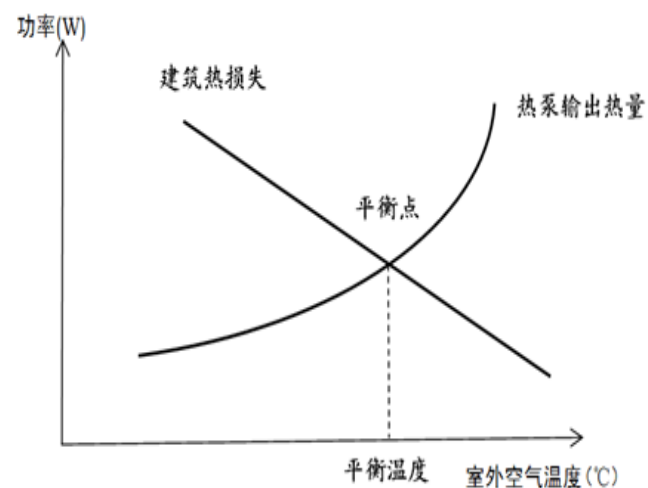
03. 实现低碳供暖的一些思考

以电代气

➤ 热泵应用的三大关注点

热泵供热出力平衡点

- 配置容量时需关注温度对供热出力的影响



热泵冬季融霜

- 上海冬季室外空气露点温度较高，当蒸发器表面温度低于 0°C ，且低于室外空气露点温度时，则会产生结霜现象，融霜阶段



低温供暖末端的应用

- 地板辐射末端



- 低温散热器



03. 实现低碳供暖的一些思考

➤ 可再生能源利用

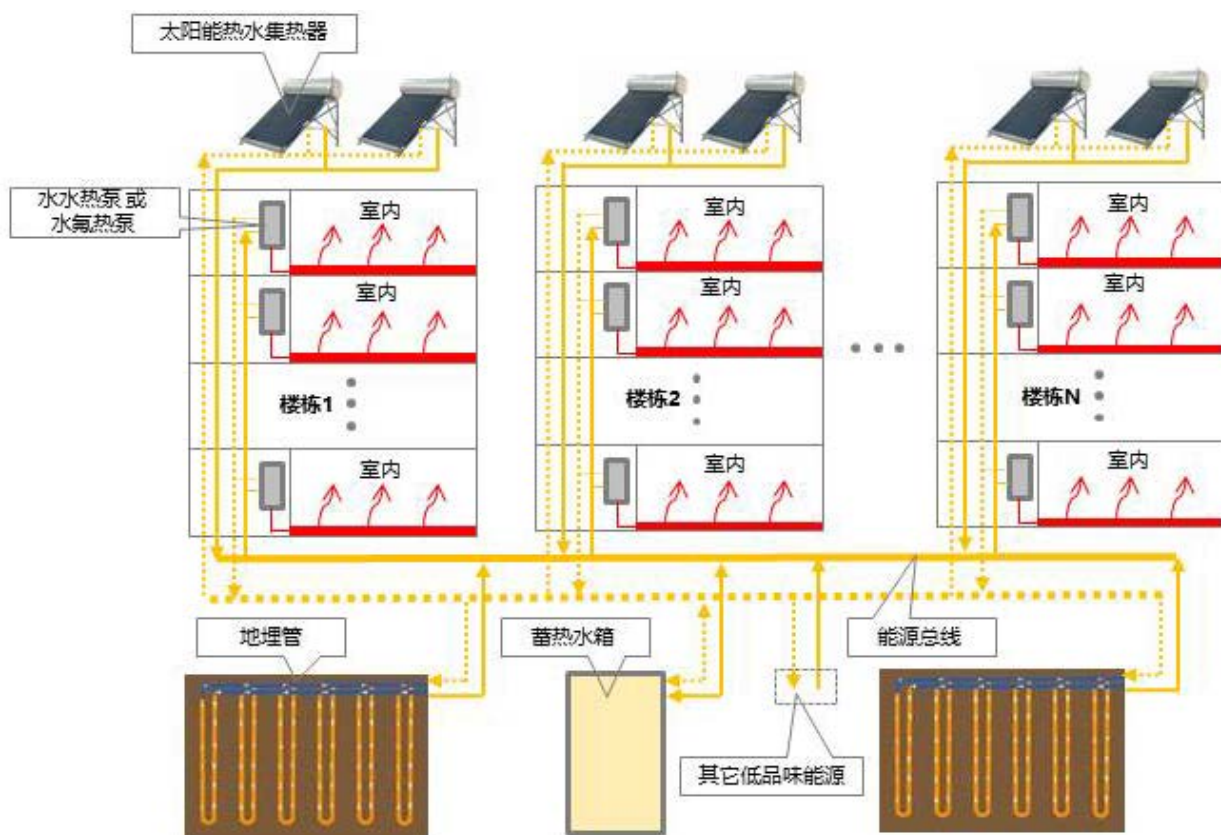
➤ 楼栋级太阳能利用方式

- 利用建筑立面捕获太阳能，将空气源热泵技术和太阳能热利用技术相结合，提高对可再生能源的利用
- 空气源热泵与太阳能联合工作，可以缓解单一的太阳能供热能力受天气影响较大的问题
- 相关产品有待进一步的研发和应用



➤ 小区级能源总线方式

- 以小区为单元构建能源总线系统
- 小区绿化下的地埋管、楼栋屋顶上的太阳能热水集热器等各类可再生、低品位的能源均可成为接入能源总线的热源
- 居民按户设置水水热泵或水氟热泵，从能源总线中取热



03. 实现低碳供暖的一些思考

小结

- “双碳”目标下，上海住宅冬季供暖建议通过“超低能耗建筑”、“以电代气”、“可再生能源利用”三大技术手段实现。
- 根据《上海市超低能耗建筑技术导则（试行）》的相关要求，通过围护结构热工性能和建筑气密性的优化，可有效降低设计热负荷（约50%）和建筑年耗热总量（65~75%）。
- 在电力供给侧结构转型的前提下，以电代气，将热泵作为住宅的供热热源，可有效提高减排量，但需要持续关注一个重要问题：上海市本身发展零碳电力的条件较为有限，全国在全面开展减碳的大背景下，市外可输入的零碳电力是否可以保障？需要**有序转型**。
- 通过系统模式创新，在楼栋级和小区级层面，对可再生能源进行深入利用，也是减排总要途径之一。

谢 谢 ！