

碳中和赋予被动式建筑新机遇

张旭 教授, 博士

2021中国制冷展(上海)

zhangxu-hvac@tongji.edu.cn

2021年4月7日

中国被动式建筑专委会主任委员

上海市制冷学会理事长

同济大学暖通空调研究所



目 录



1

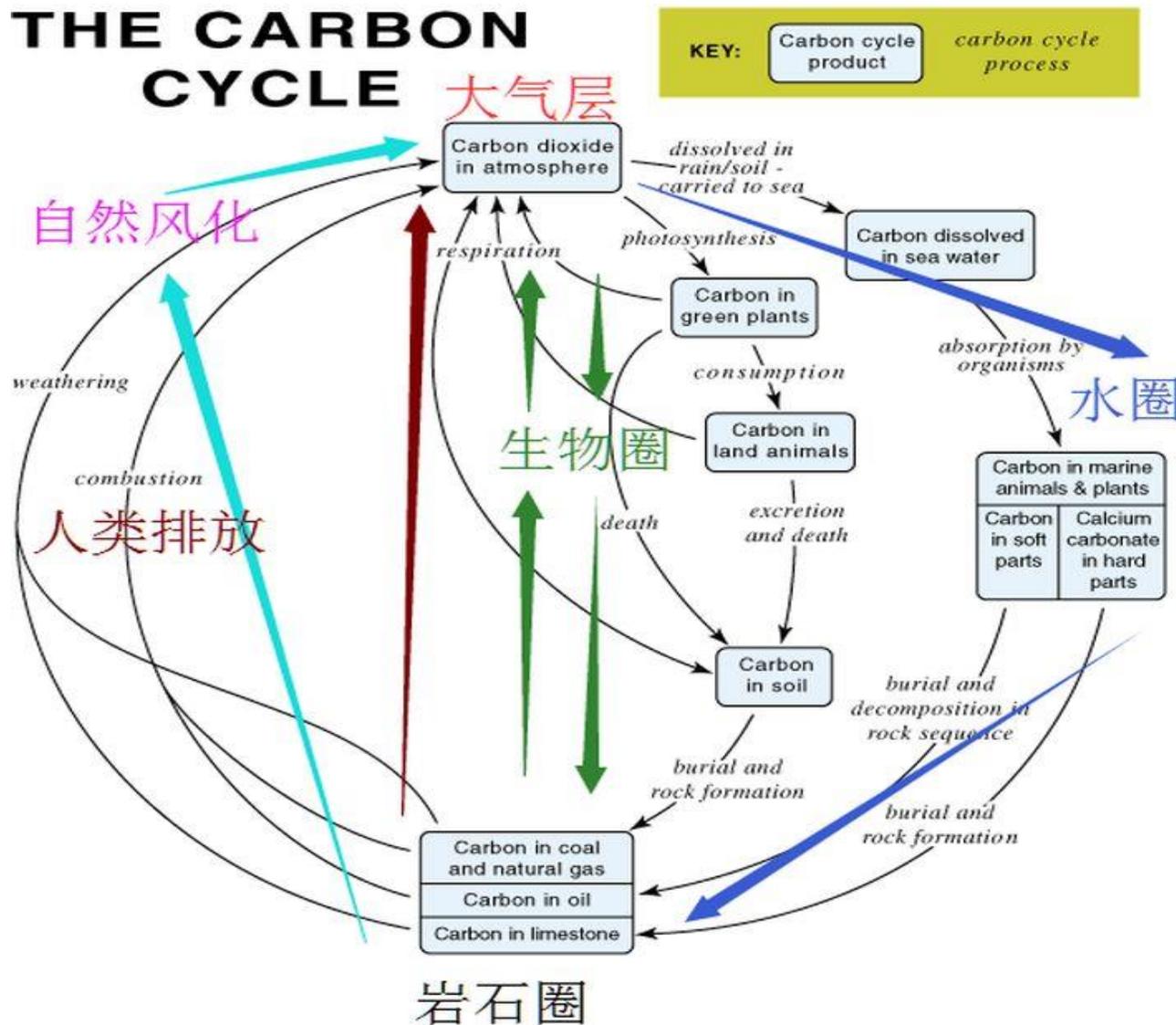
全球建筑领域能耗与碳排放现状

2

我国建筑行业碳排放趋势和特点

3

碳中和是被动式建筑的发展新机遇



- 在自然界的状态下，经过四十多亿年的协同演化，生物圈与另外两个非生物圈之间已经达到一种微妙的平衡状态，形成了一条二氧化碳——碳酸根——有机碳——无机碳——二氧化碳的循环链。任何一个链条的微小变化，可能都不会导致整体的崩溃。但是，如果任何一个环节出现了巨大的变数，无论正负，体系的崩溃就变得需要严肃对待了
- 地球历史上，还从来没有过如人类这样快速改变碳循环的先例。地球历史上，还从来没有过如人类这样快速改变碳循环的先例
- 在碳循环平衡的视角下来看，1) 工业时代人类大量燃烧化石燃料、焚烧石灰岩制取混凝土——从岩石圈人为释放大量有机碳和无机碳进入大气。2) 伐木排涝围湖，森林、湿地、沼泽数量大量减少——破坏生物圈的固碳能力。3) 人类对水体的影响对二氧化碳被生物圈和水体的吸收环节造成何种影响，



中国被动式建筑联盟
Passive House Alliance of China



全球建筑领域面临巨大的低碳、零碳挑战



政府间气候变化专门委员会

2018年10月发布《1.5°C特别报告》，实现升温控制在1.5°C以内目标，须

- 2030年全球CO₂排放须比2010年下降约45%，2050年左右达到“净零”排放
- 能源、**建筑**、工业等行业进行史无前例的大规模低碳转型
- 预计2022年发布第六次《评估报告》



国际能源组织

2020年09月发布《2020能源技术展望》报告

- 如果仅电力行业完成清洁能源转型，全球净零排放目标仅能完成1/3
- 剩余目标完成有赖于大力推进交通、工业和**建筑**行业的低碳能源转型
- 预计2021年发布2050“净零”排放路线图《The World's Roadmap to Net Zero by 2050》



WORLD
GREEN
BUILDING
COUNCIL

世界绿色建筑委员会

2020年12月发布《2020全球建筑及建筑业现状报告》

- 总体上，2019年**建筑及建筑业**碳排在**偏离**《巴黎协议》2°C的既定目标
- 相比2019年，2020年疫情使**建筑业市场价值下降**近6%，**失业量**近10%
- 发布了新的评价指标—建筑气候追踪指标 (Buildings Climate Tracker)

Refs:

[1] <https://www.ipcc.ch/sr15/>

[2] <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>

[3] <https://www.iea.org/news/iea-to-produce-world-s-first-comprehensive-roadmap-to-net-zero-emissions-by-2050>

[4] https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR_FULL%20REPORT.pdf

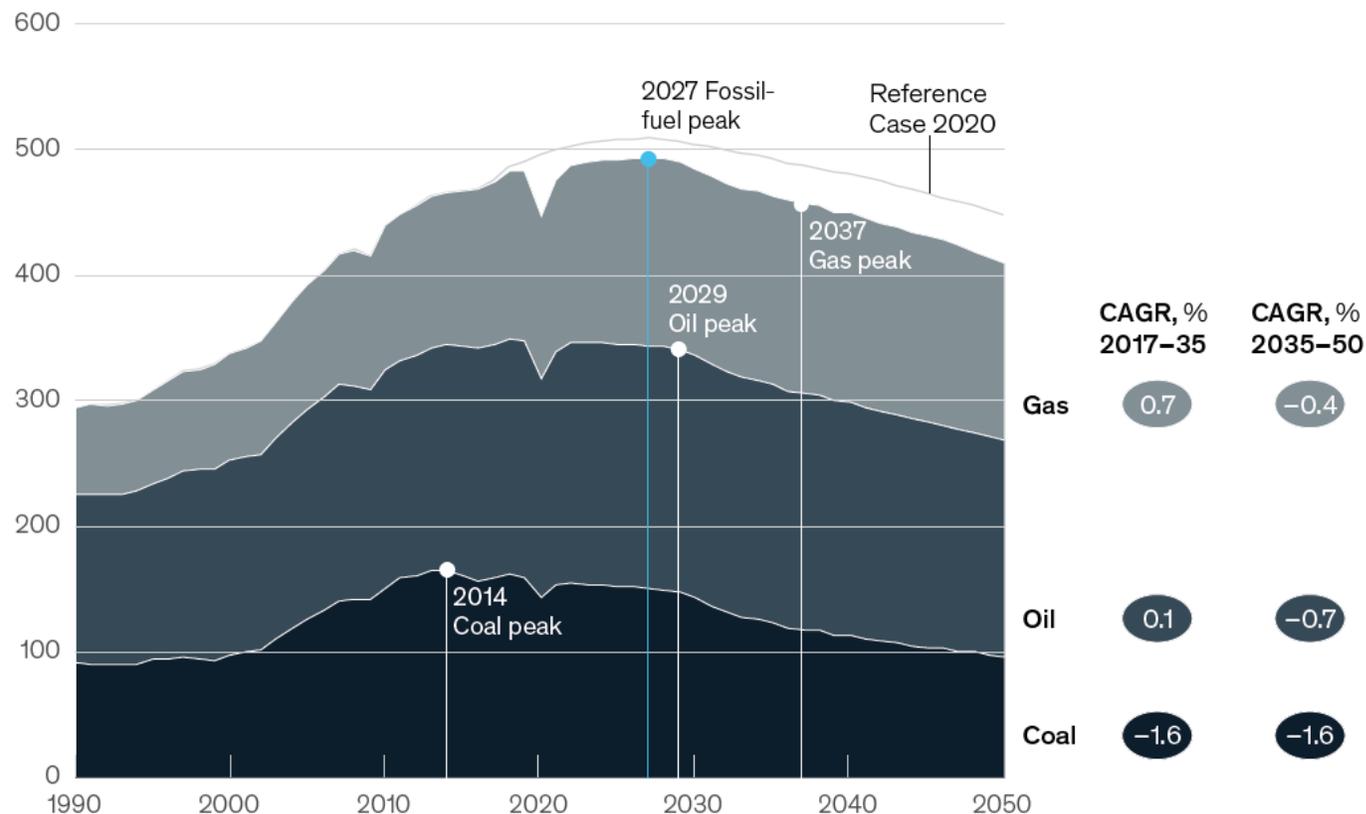


中国被动式建筑联盟
Passive House Alliance of China



全球能源结构中化石燃料仍将长期占据重要位置

Primary energy demand per fossil fuel, million TJ



Source: McKinsey Energy Insights Global Energy Perspective 2021, December 2020

据麦肯锡研究报告显示

- 疫情导致2020年能源需求降低7%，但疫情对化石能源消耗的长期影响有限
- 未来15年左右，天然气需求继续增加，2040年前达峰，2050年需求将仍高于目前水平
- 石油需求有望在2030年前达峰，并于2050年降低10%
- 燃煤需求持续在全球范围内降低，预计2050年相比2019年降低40%



中国被动式建筑联盟
Passive House Alliance of China



建筑碳排放分类定义尚无统一标准, 主要涵盖以下几方面

直接碳排放

Direct



间接碳排放

Indirect

建筑运行
[能源相关]

- 建筑行业发生的化石燃料燃烧导致CO₂排放
- 主要包括建筑内直接供暖、炊事、生活热水、医院/酒店蒸汽等的燃料排放



- 由输入建筑的电力、热力产生的碳排放

建筑建造
[直接/间接划分
方法不统一]



- 建材生产阶段碳排放

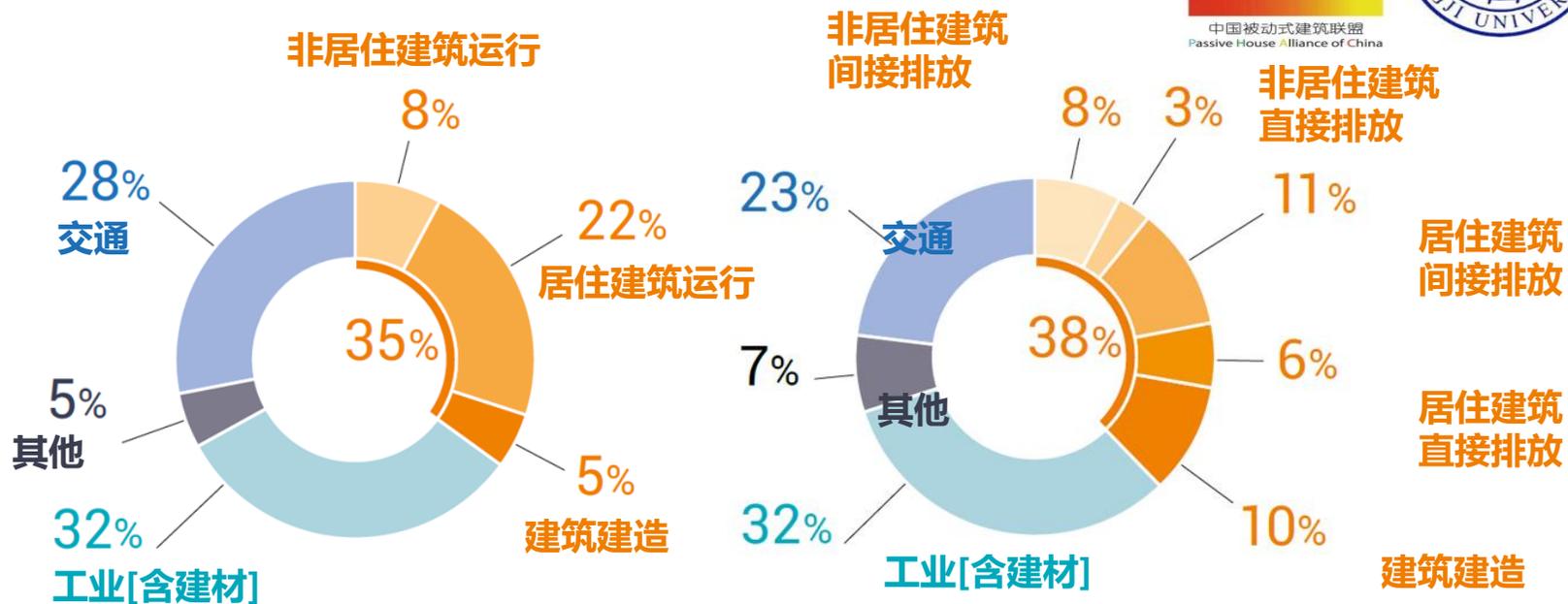


- 建筑施工阶段碳排放



2019年全球建筑领域终端用能和CO₂排放^[1]

- 建筑运行相关碳排放达到28%，创历史新高
- 建筑建造+运行碳排放达38%，与2018年基本持平



2018年我国建筑领域

能耗和CO₂排放^[2]

- 建筑运行相关碳排放达20%
- 建造[含建材生产]+运行排放42%
- 建造排放比例高于国际，运行排放低于国际水平



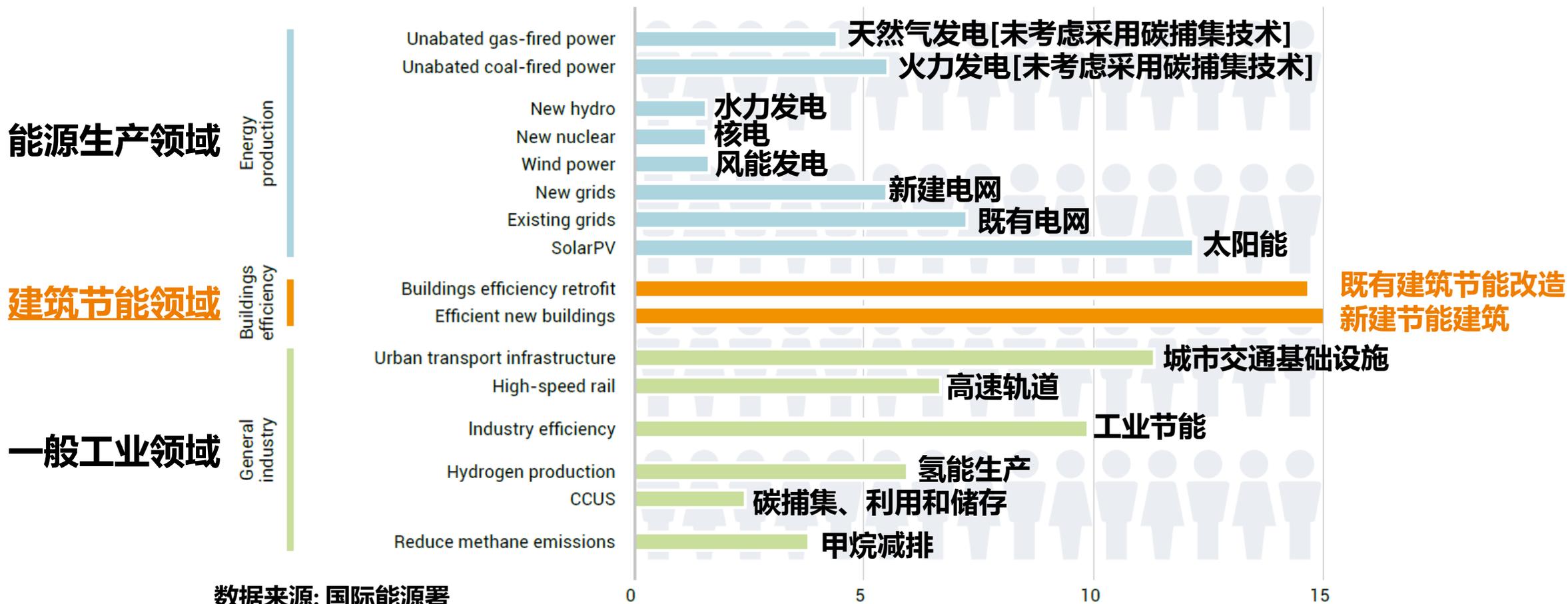
Refs:

[1] World Green Building Council. 2020 Global Status Report (GSR) for Buildings and Construction

[2] 清华大学建筑节能中心. 中国建筑节能年度发展研究报告2020. 北京: 中国建筑工业出版社, 2020



建筑行业碳中和也可为全球就业市场注入活力



数据来源: 国际能源署

Source: IEA (2020g). All rights reserved.
Adapted from "IEA Sustainable Recovery, 2020"

New jobs per million dollars of capital investment

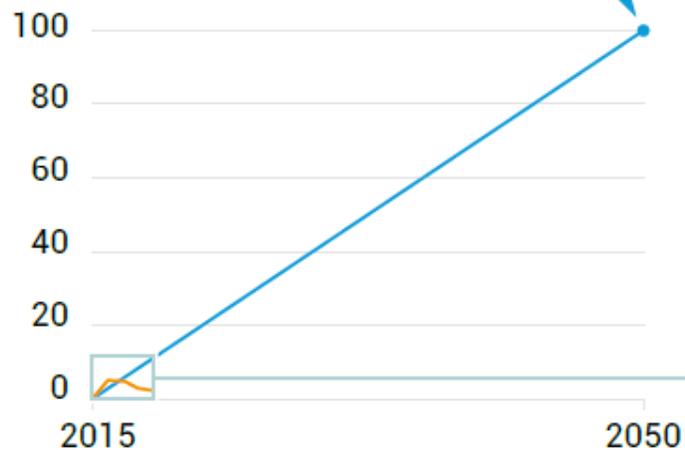
每百万美金投入的新增就业数

实际全球建筑业去碳化进程偏缓慢

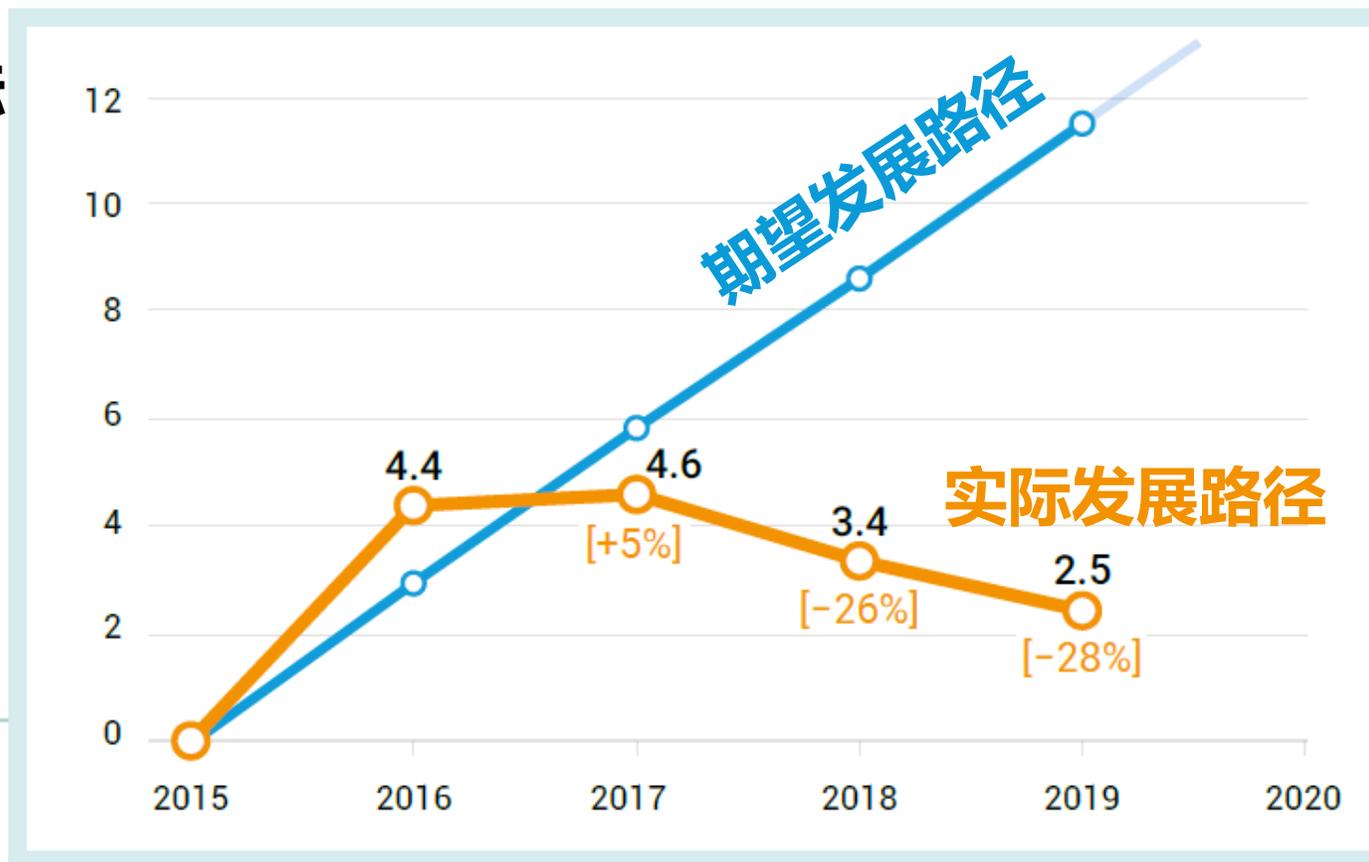
零碳建筑存量目标

建筑气候追踪指标

Building Climate Tracker (BCT)



《2020全球建筑及建筑业现状报告》





目 录



1

全球建筑领域能耗与碳排放现状

2

我国建筑行业碳排放趋势和特点

3

碳中和是被动式建筑的发展新机遇

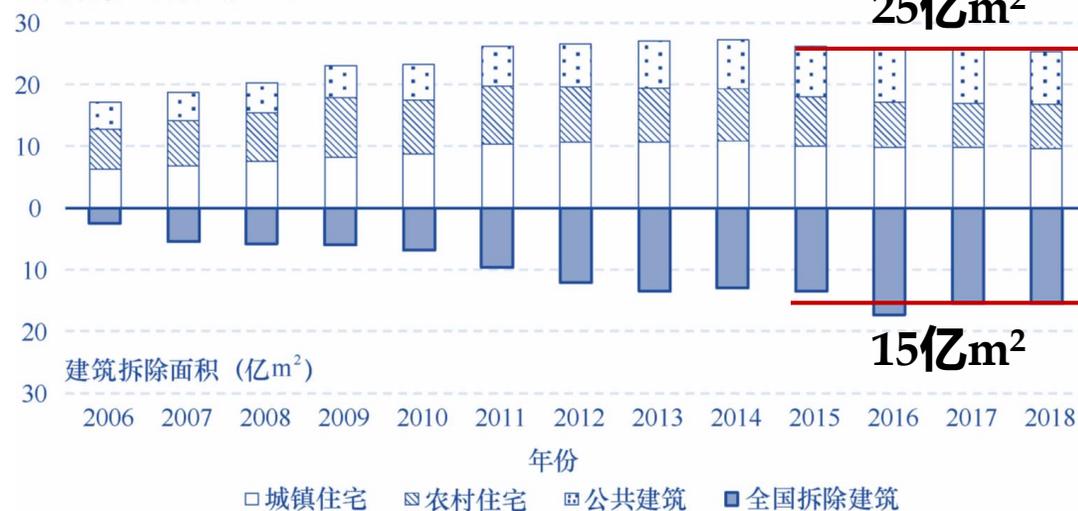


我国城镇化和经济水平不断提升, 建筑业规模继续扩大

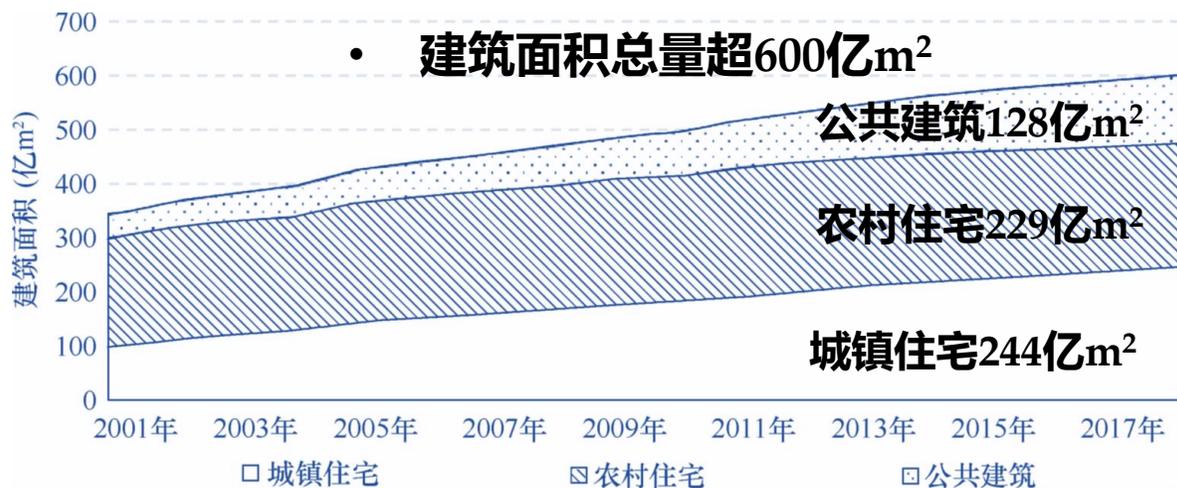
- 城镇化率近60%



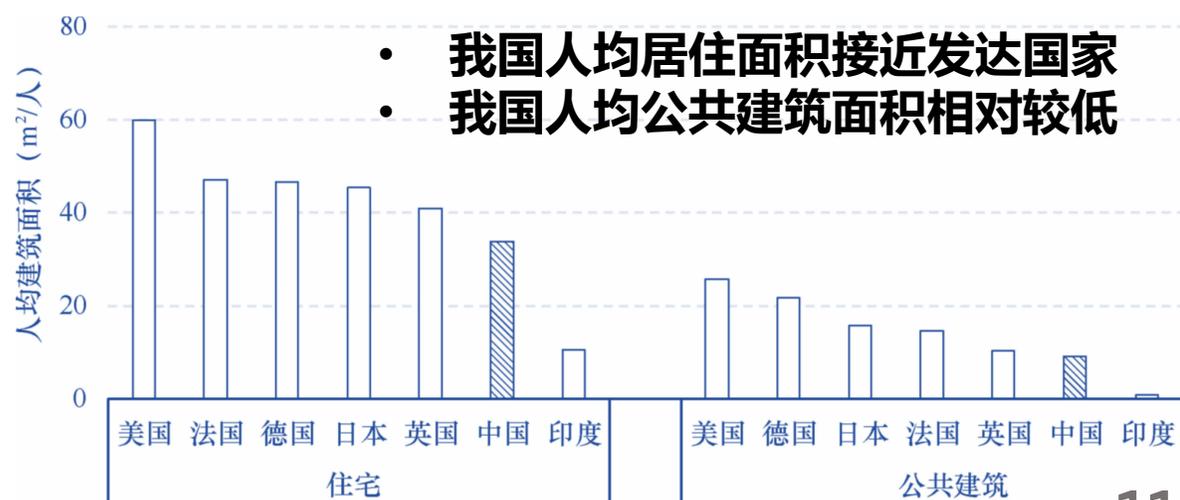
建筑竣工面积 (亿 m²)



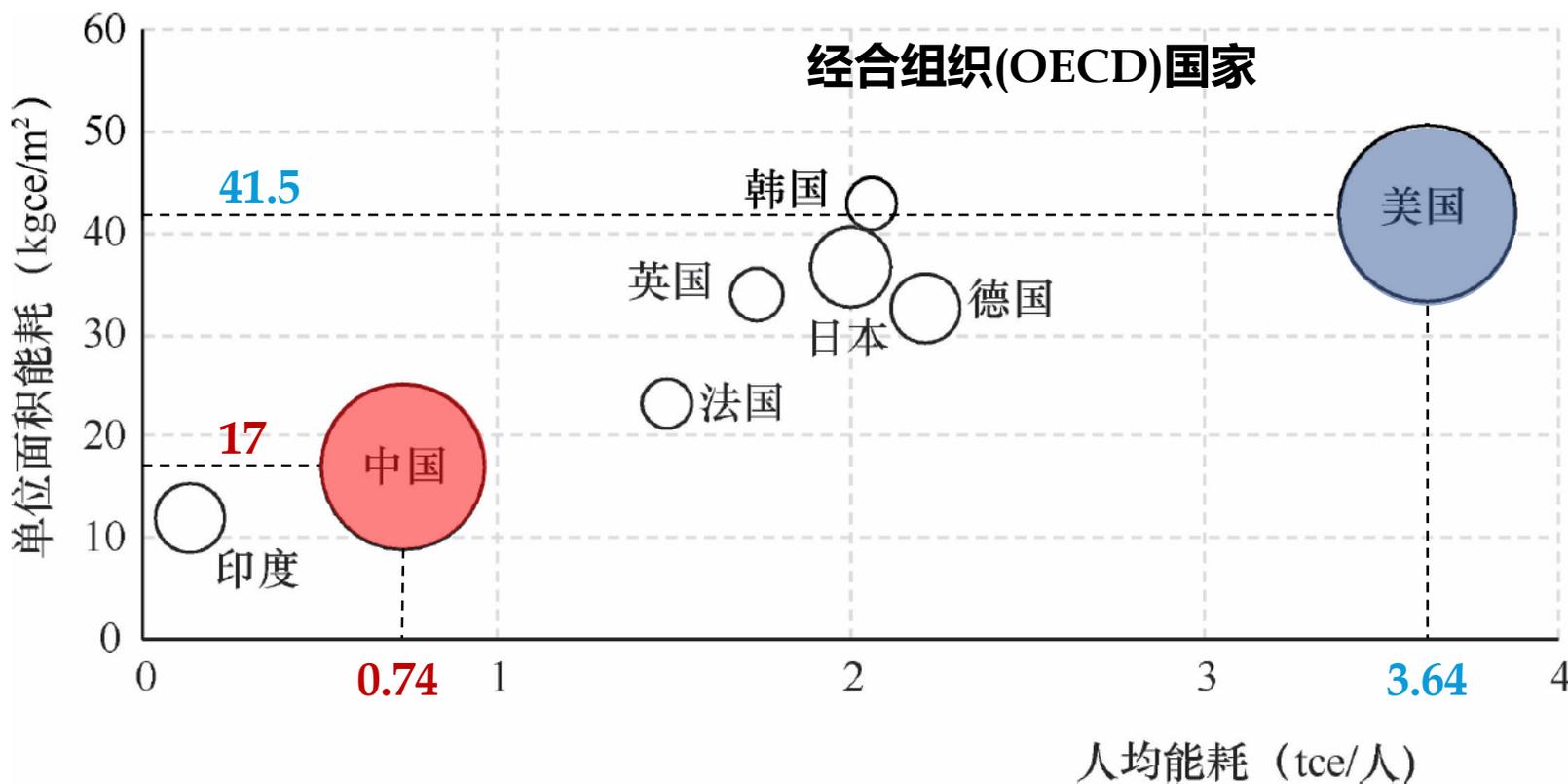
- 建筑面积总量超600亿m²



- 我国人均居住面积接近发达国家
- 我国人均公共建筑面积相对较低



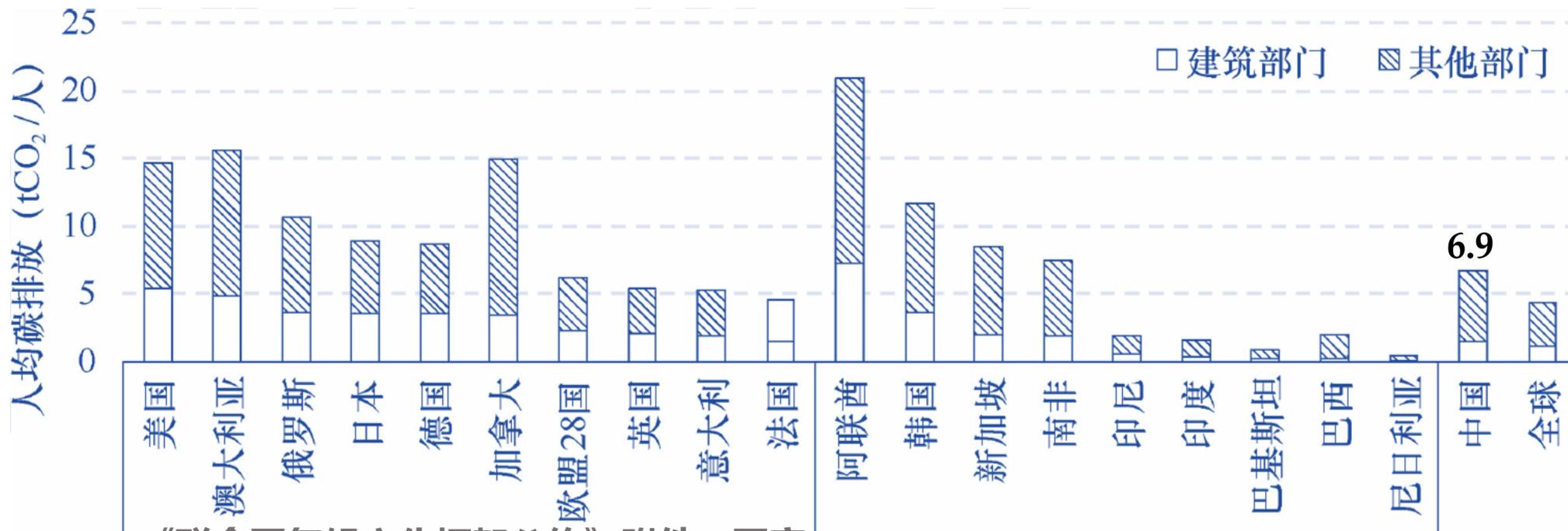
我国建筑单位面积能耗和人均能耗低于OECD国家



中外建筑能耗对比[2017年]



我国人均碳排放低于主要发达国家, 高于全球水平



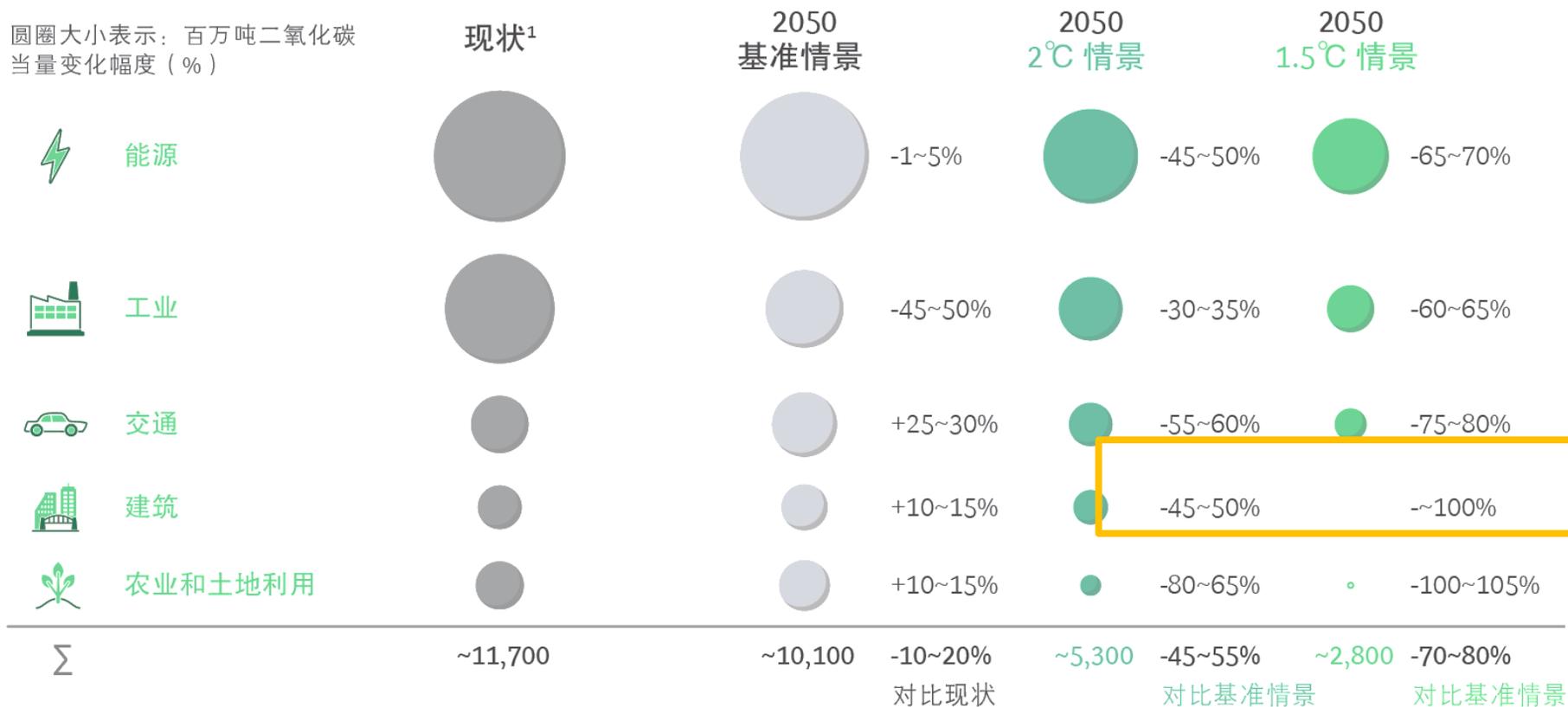
《联合国气候变化框架公约》附件一国家, 即经济合作发展组织中的所有发达国家和经济转型国家, 被期望2000年前单独或联合将温室气体排放控制在1990年的水平

非附件一国家

中外建筑人均CO₂排放情况对比[2017年]



尽管能源行业是我国碳中和的主力军, 建筑行业需全力支持



来源：BCG 模型测算。

注：空心圆圈代表负排放。

¹ 2019年。

我国建筑建造阶段碳排放增长趋缓

我国民用建筑建造碳排放(亿tCO₂)

2018年民用建筑建造相关碳排放总量约18亿tCO₂



城乡居民追求更好的生活品质

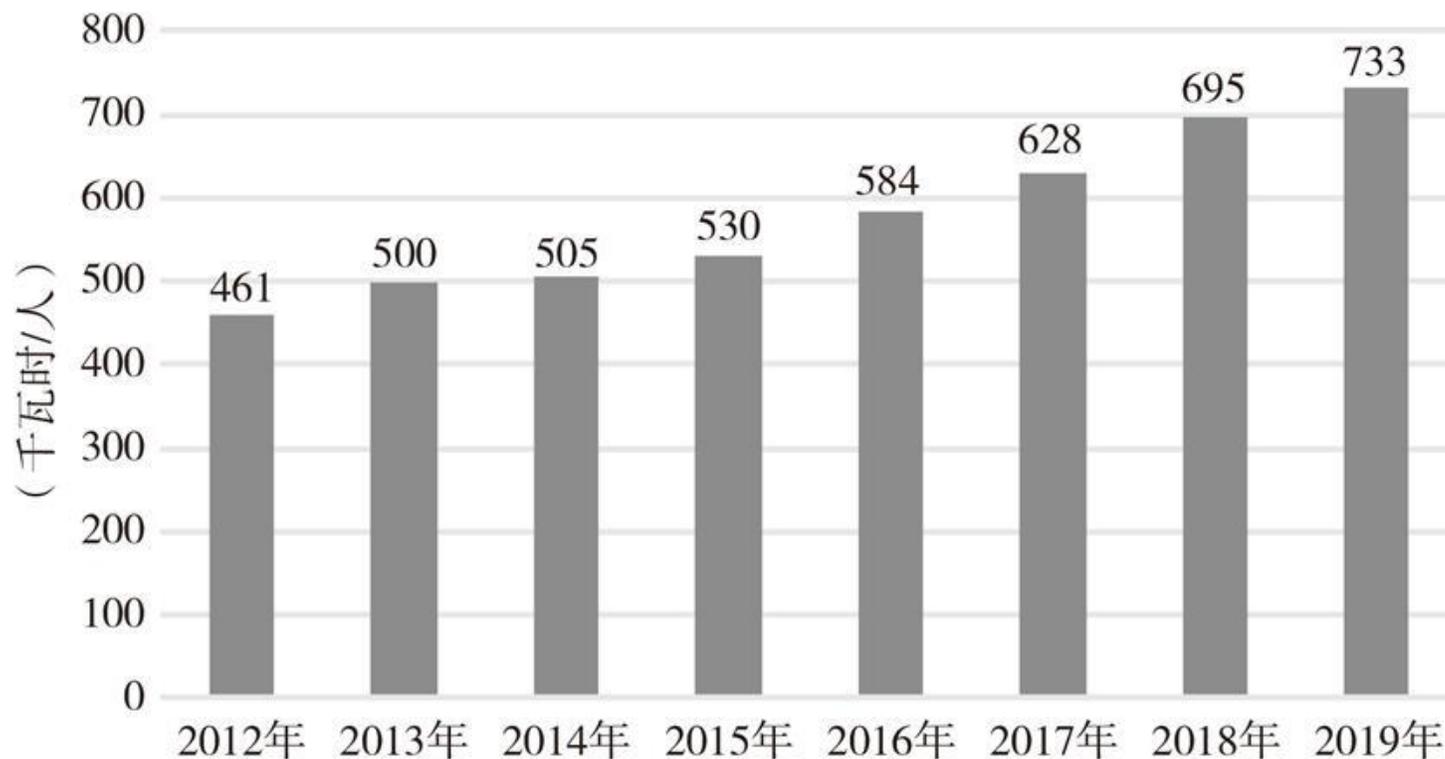
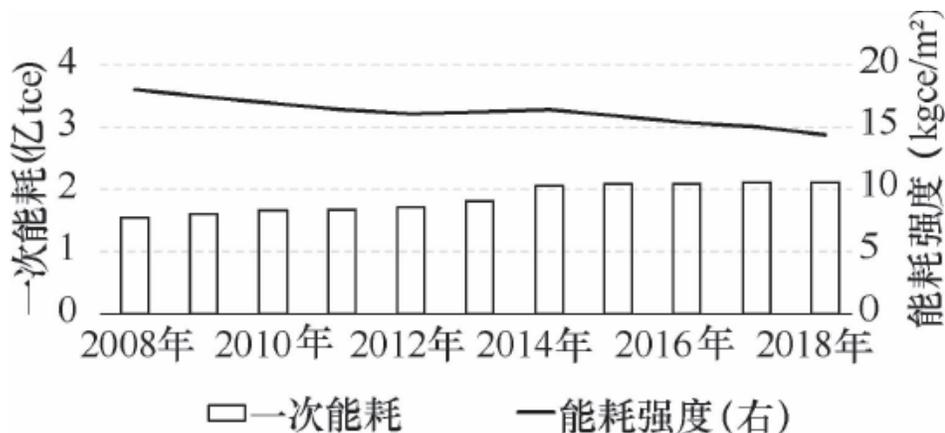


图3 中国人均生活用电量(2012—2019年)

数据来源:中国电力企业联合会



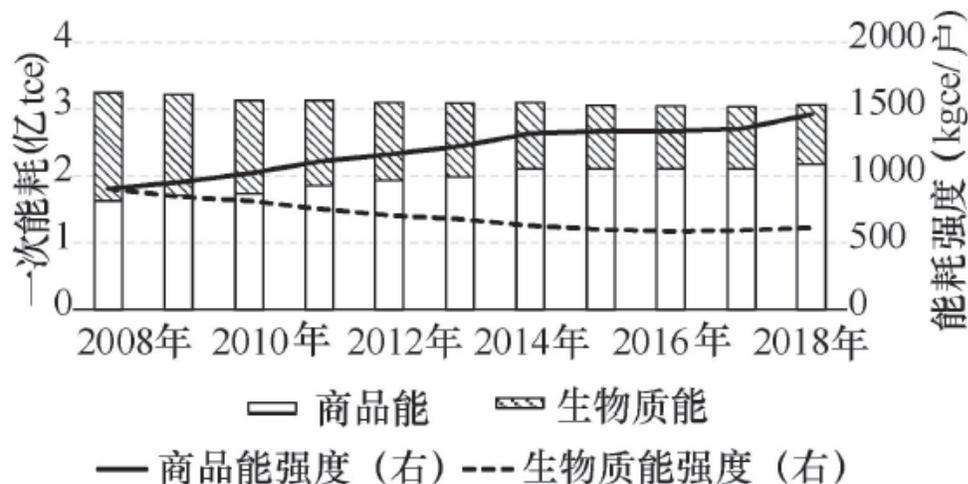
建筑运行能耗预计继续增大



(a)

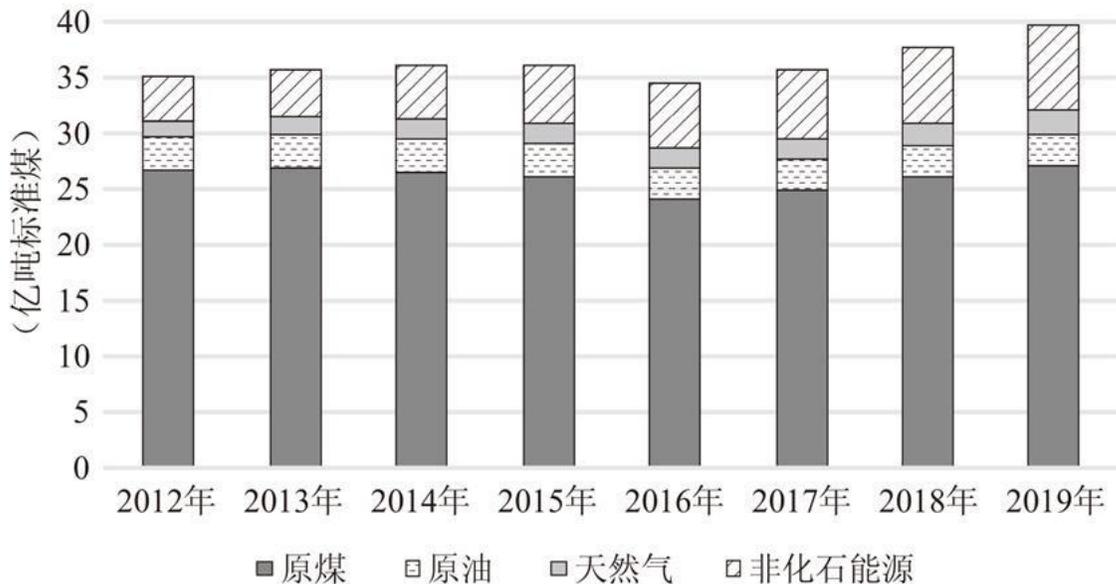


(b)



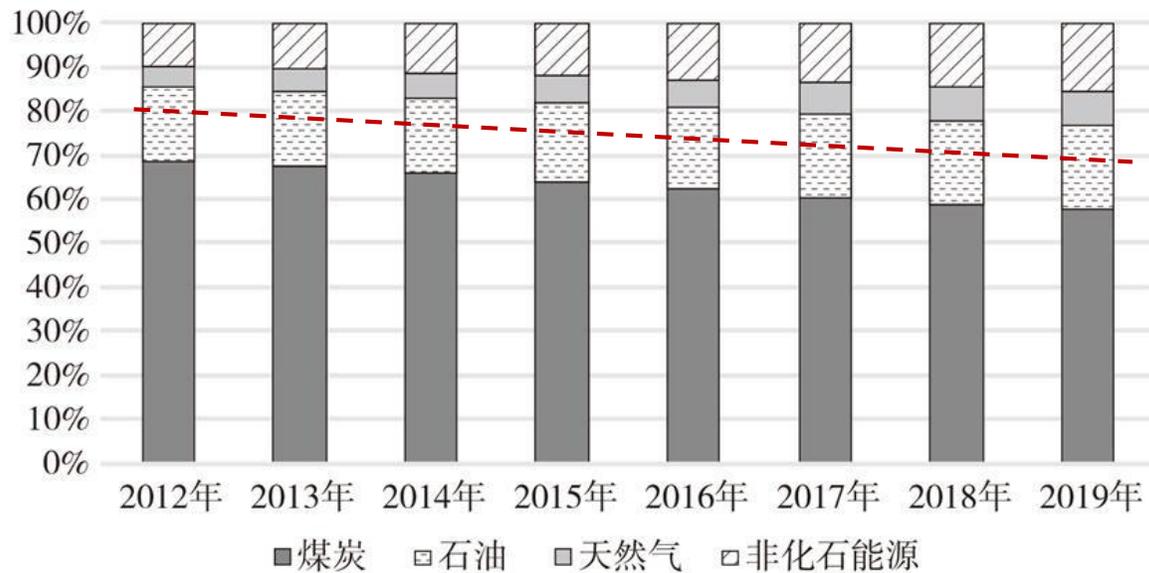


我国能源消费结构向清洁低碳加快转变



中国能源生产情况(2012—2019年)

数据来源:国家统计局



中国能源消费结构(2012—2019年)

数据来源:国家统计局



目 录



1

全球建筑领域能耗与碳排放现状

2

我国建筑行业碳排放趋势和特点

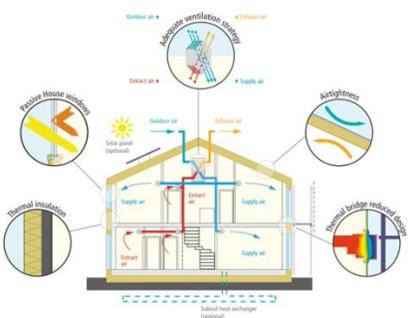
3

碳中和是被动式建筑的发展新机遇



2020年9月22日, 习近平主席在第75届联合国大会一般性辩论上宣布, 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:

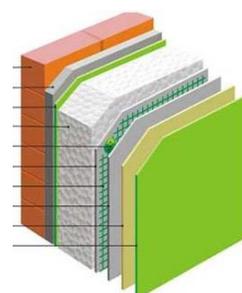
- CO₂排放力争于2030年前达到峰值
- 努力争取2060年前实现碳中和



建筑节能减碳技术体系

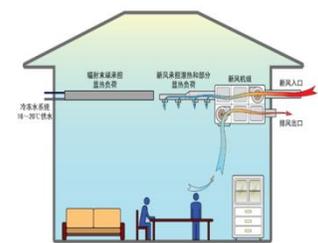
围护结构节能技术开发

- 墙体保温
- 高性能门窗与遮阳
- 气密性



高效能源系统

- 高性能的制冷制热源
- 低火用的末端
- 高效去湿技术



行为节能

- 供暖空调运行时段划分
- 末端与机组调节性能的匹配
- 智慧调节



新能源及可再生能源的应用

- 太阳能、风能等
- 自然通风
- 地热能
- 蒸发冷却

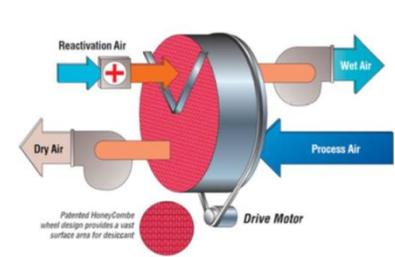




表 5.0.1 近零能耗居住建筑能效指标

建筑能耗综合值		$\leq 55(\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}))$ 或 $\leq 6.8(\text{kgce}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}))$				
建筑本体性能指标	供暖年耗热量 ($\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$)	严寒地区	寒冷地区	夏热冬冷地区	温和地区	夏热冬暖地区
		≤ 18	≤ 15	≤ 8		≤ 5
	供冷年耗冷量 ($\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$)	$\leq 3 + 1.5 \times WDH_{20} + 2.0 \times DDH_{28}$				
	建筑气密性 (换气次数 N_{50})	≤ 0.6		≤ 1.0		
可再生能源利用率		$\geq 10\%$				

UDC

中华人民共和国国家标准



P GB/T 51350-2019

近零能耗建筑技术标准

Technical standard for nearly zero energy buildings

2019-01-24 发布

2019-09-01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 联合发布
国家市场监督管理总局

中国建筑节能协会文件

国建节协〔2021〕14号

关于发布团体标准《夏热冬冷地区被动式居住建筑技术指南》的公告

现批准《夏热冬冷地区被动式居住建筑技术指南》为中国建筑节能协会团体标准，标准编号为：T/CABEE 005—2021。自2021年5月1日实施。现予公告。



指南定位

适应气候特征和自然条件，将自然通风、自然采光、太阳辐射和室内非供暖热源得热等各种被动式节能手段与高保温隔热性能建筑围护结构相结合，大力提高围护结构气密性能，采用高效新风热回收技术，充分利用可再生能源，最大限度地降低主动式机械供暖制冷设备的能源消耗，同时实现室内环境舒适显著提高的居住建筑。

高舒适

- 夏季26℃，冬季20℃
- 全年持续舒适

集中式系统

- 楼宇集中系统
- 户式中央空调

高性能设备

- 强化新风系统和高性能空调系统设计

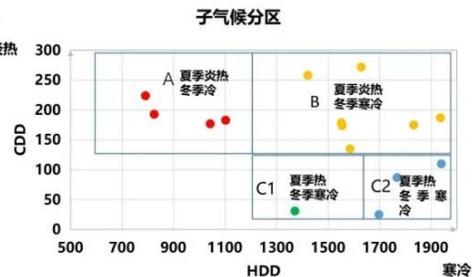
多层、小高层、高层

- 4~33层居住建筑

指南技术体系——子气候分区

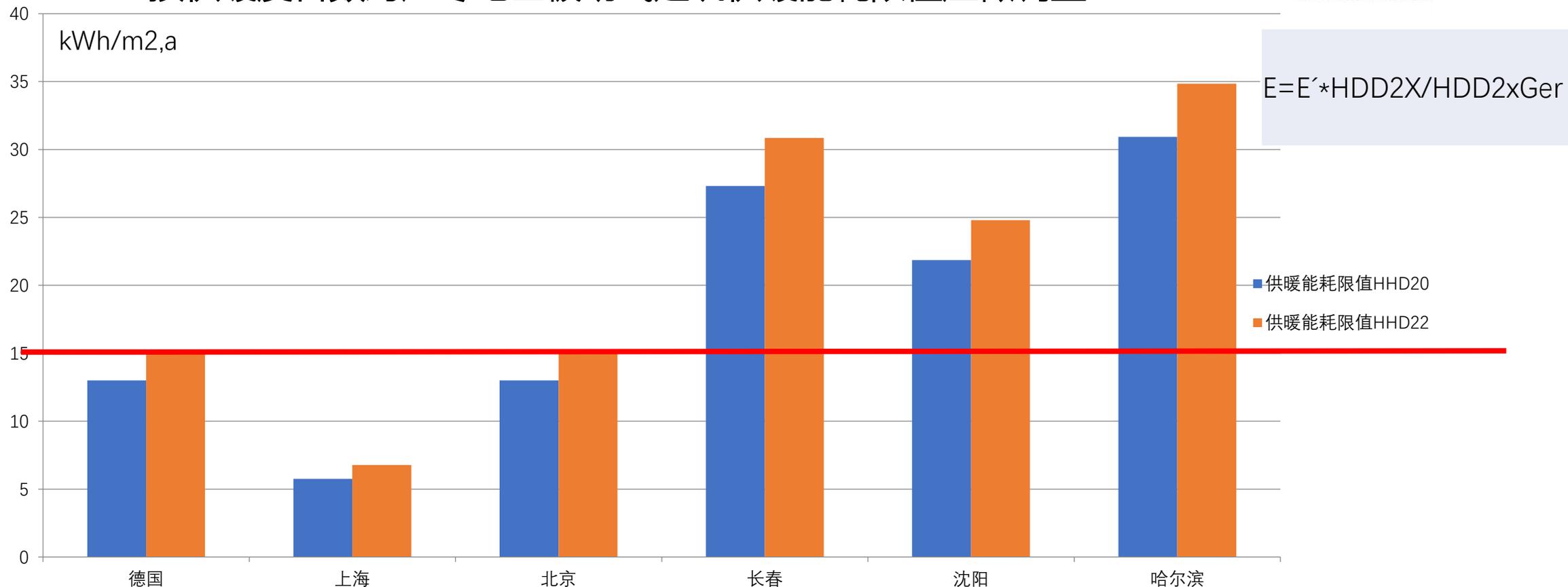
4个子气候区

	冬季	夏季
温暖	韶关 791	遵义 25
	南平 825	成都 31
	桂林 1042	安康 87
	重庆 1102	信阳 110
	成都 1371	上海 135
	南昌 1421	杭州 174
	长沙 1551	合肥 175
	杭州 1554	桂林 177
	上海 1585	长沙 179
	武汉 1628	重庆 183
	遵义 1697	南京 187
	安康 1767	南平 193
	合肥 1832	韶关 224
	南京 1936	南昌 258
信阳 1939	武汉 272	
寒冷		





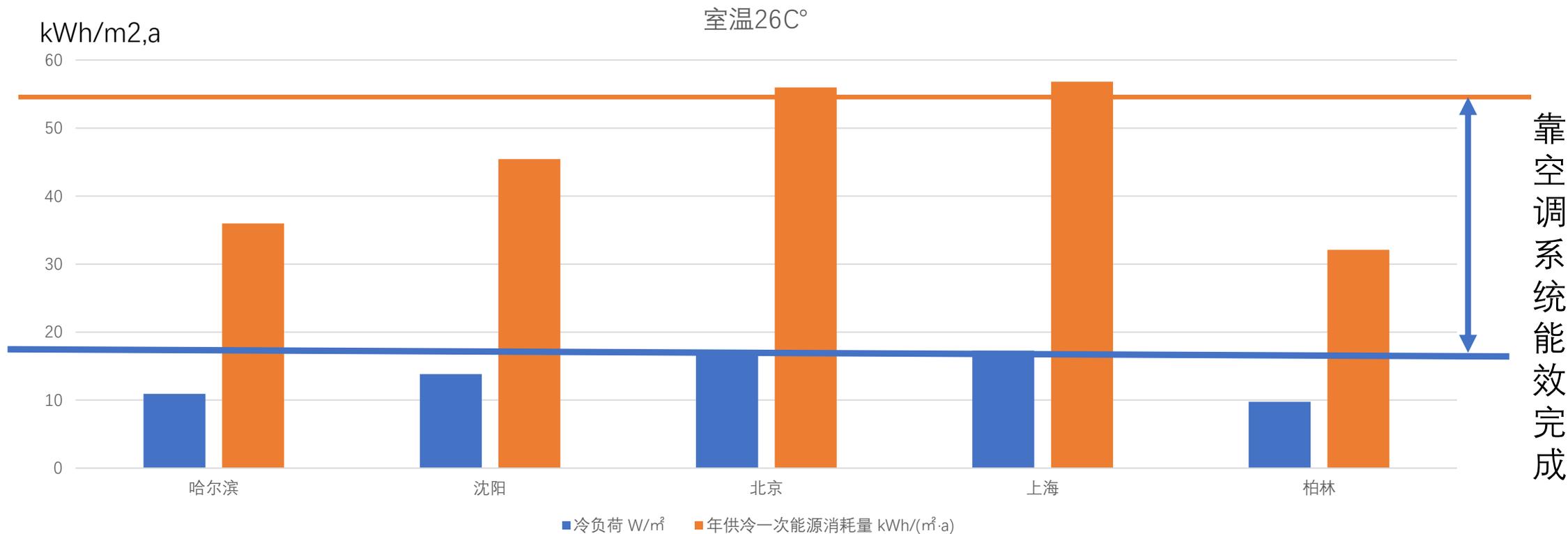
按供暖度日数对严寒地区被动式建筑供暖能耗限值应做调整



- 根据德国被动式建筑标准推算的我国典型城市的DDH18的年供暖能耗与负荷采暖期：柏林120天，哈尔滨180天，长春170天，沈阳150天，北京120天，上海90天计算，
- 如果按德国北部供暖天数和能耗标准对我国不同气候区进行折算，我国严寒地区的能耗指标都应当做适当调整；
- 如果按HDD调整被动式建筑供暖能耗限值，则各气候区的供暖热负荷应控制在4 W/m²左右，不同气候区的保温和门窗参数要按能耗限值折算的热负荷应该有更严格的性能指标；



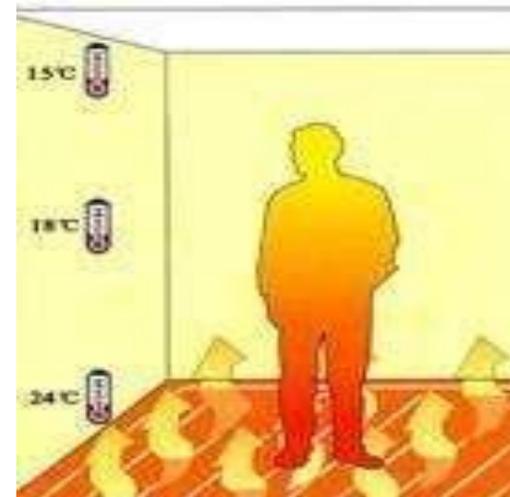
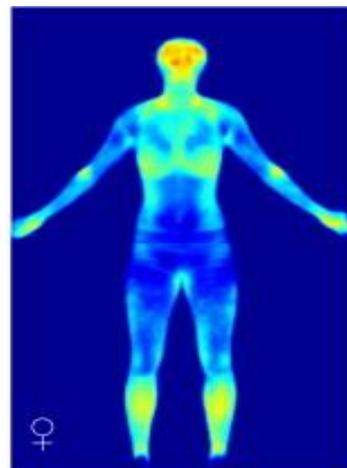
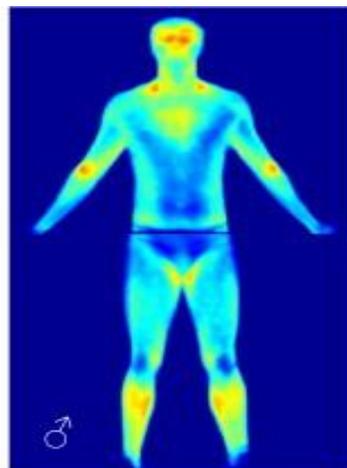
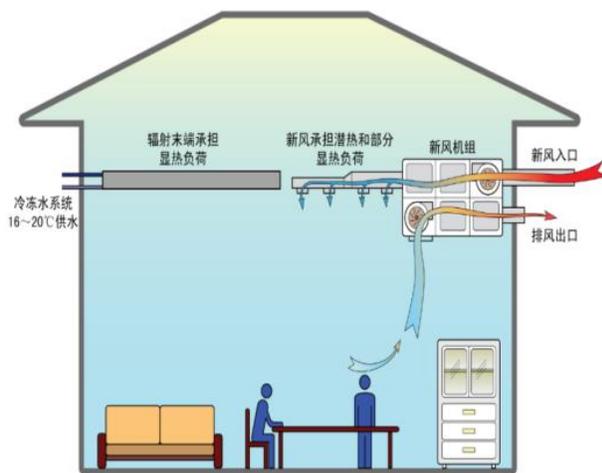
被动式建筑的夏季负荷特性



按能耗限值和空调度日数折算的空调冷负荷和年空调一次能源消耗量，折算能耗和能耗限制的差值需要依靠高效能源转换系统或可再生能源

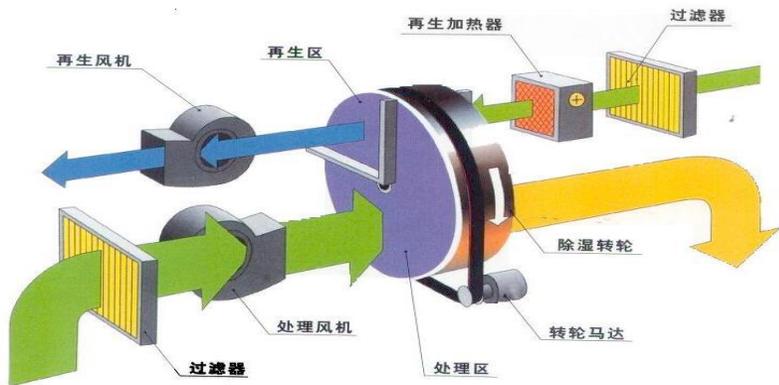
低焓末端及热回收技术在被动式建筑中的应用

以顶棚辐射和地板辐射以及通风系统为代表的低焓末端，可以实现低温供热和高温供冷，从热力学第二定律出发，降低了空调系统功能的能量品位，同时具有良好的热舒适性

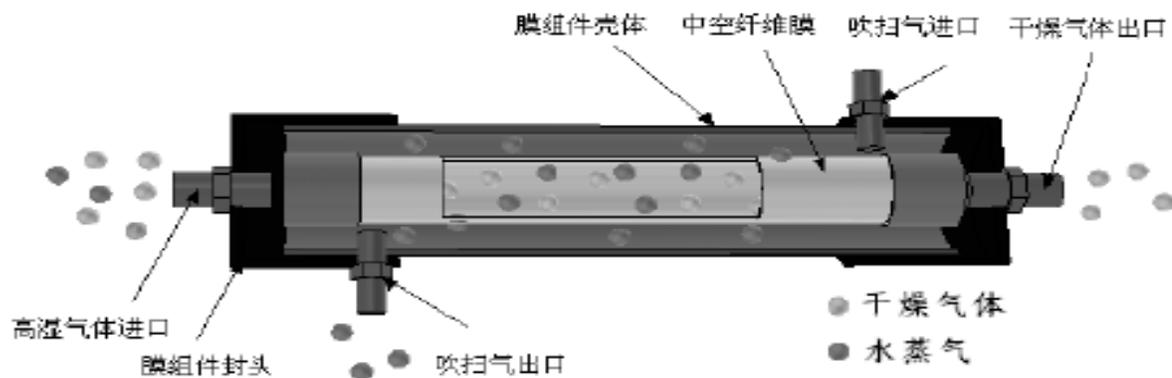


人体温度分布图

低能耗除湿技术及热泵系统的应用

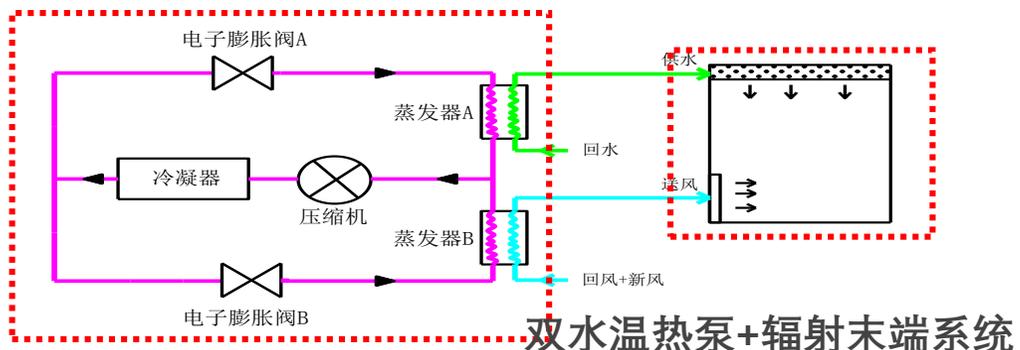


转轮吸附除湿 博士研究生：杨建坤，田少宸，



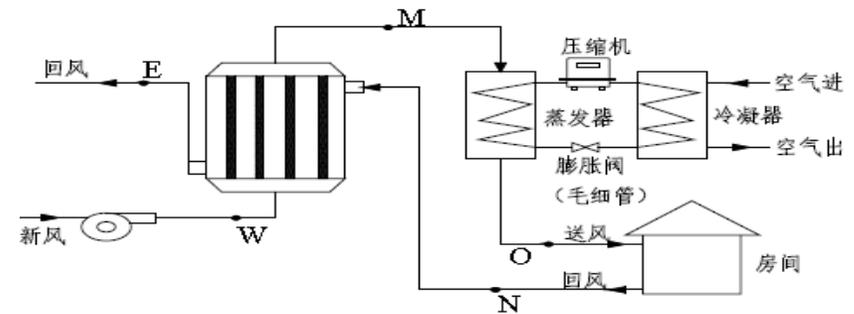
薄膜除湿

冷热源：双蒸发器空气源热泵 末端：辐射顶板+送风系统



双水温热泵+辐射末端系统

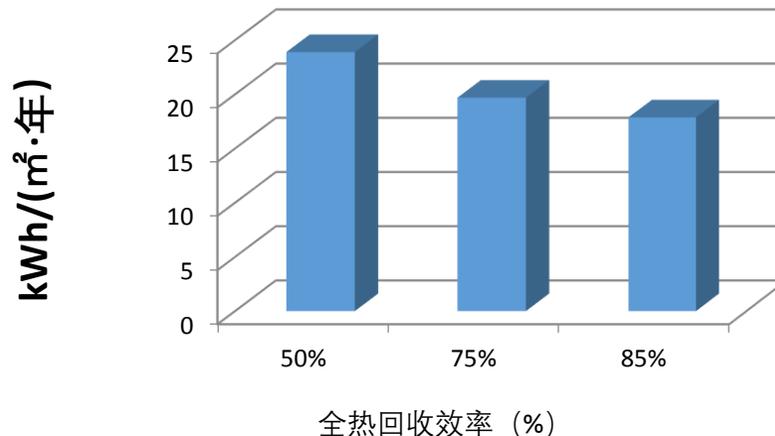
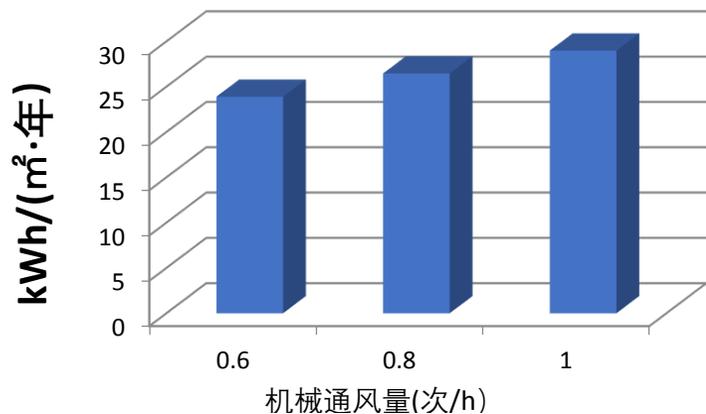
博士研究生：隋学敏，韩星，刘畅



空气源热泵+膜法除湿系统

博士研究生：夏学鹰

新风量和全热回收率对能耗的影响

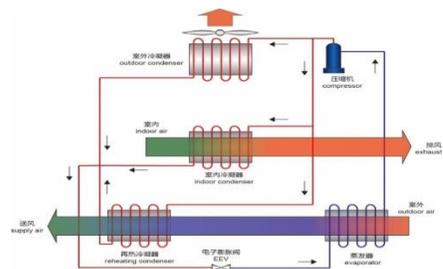
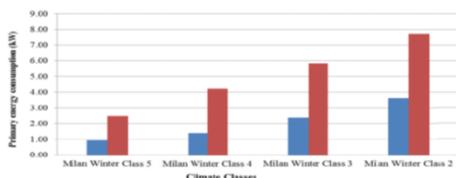
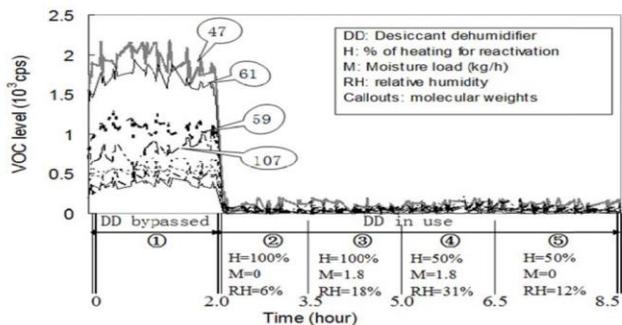
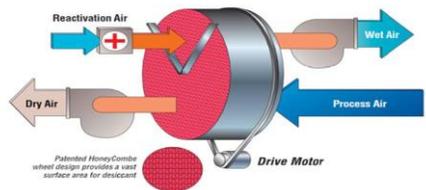


新风量对能耗的影响

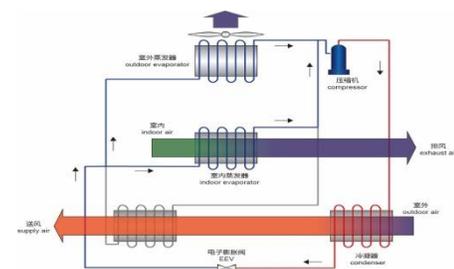
全热回收效率对能耗的影响

利用硅胶转轮组合排风热回收热泵

多冷凝器主动式排风热回收热泵



制冷模式

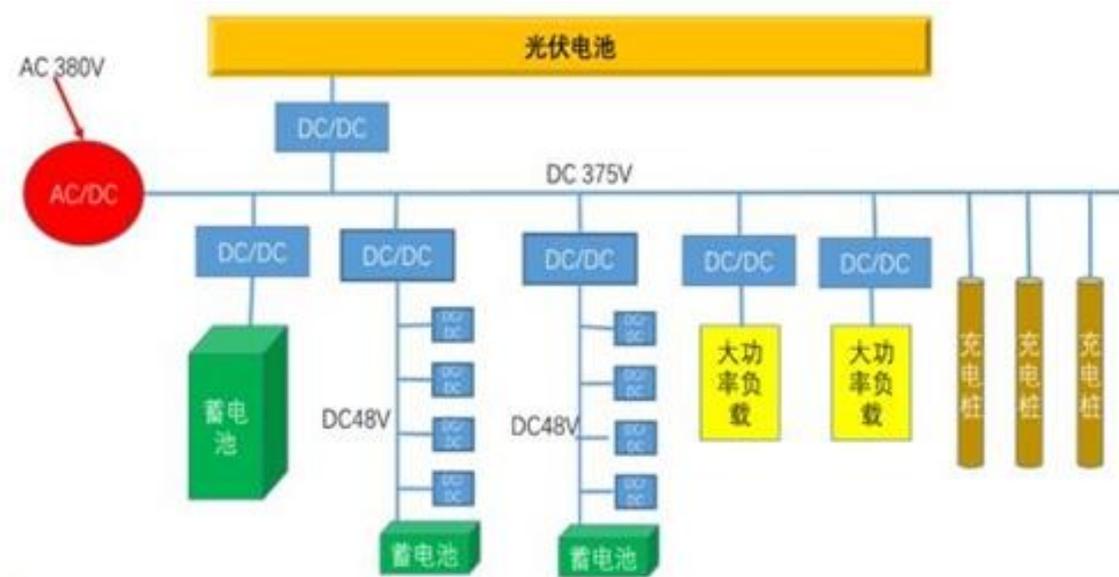


制热模式

我国建筑行业碳中和路径的探讨 - 发展建筑电气化 + 柔性用电

用热量 (年)	热量输入	发电量	天然气用量	温室气体排放
 10.0 MMBtu 2,921 kWh	 COP 0.62 天然气 16.1 MMBtu	未知	16.1 MMBtu	1,879
	 COP 0.99 电阻 2,951 kWh	 7%线损 3,173 kWh	 25.0 MMBtu CCGT 热效率 7,878 Btu/kWh	2,923
	 COP 2.32 热泵 1,259 kWh	 7%线损 1,354 kWh	 10.7 MMBtu CCGT 热效率 7,878 Btu/kWh	1,247
	 COP 2.32 热泵 1,259 kWh	 7%线损 1,354 kWh	 无燃料	0

- 发展非集中采暖地区建筑供暖、炊事、生活热水、医院等蒸汽用能电气化



- 建筑设备驱动方式由交流转为直流
- 电力负载由刚性转为柔性
- “光伏+直流+智能充电桩”一体化发展

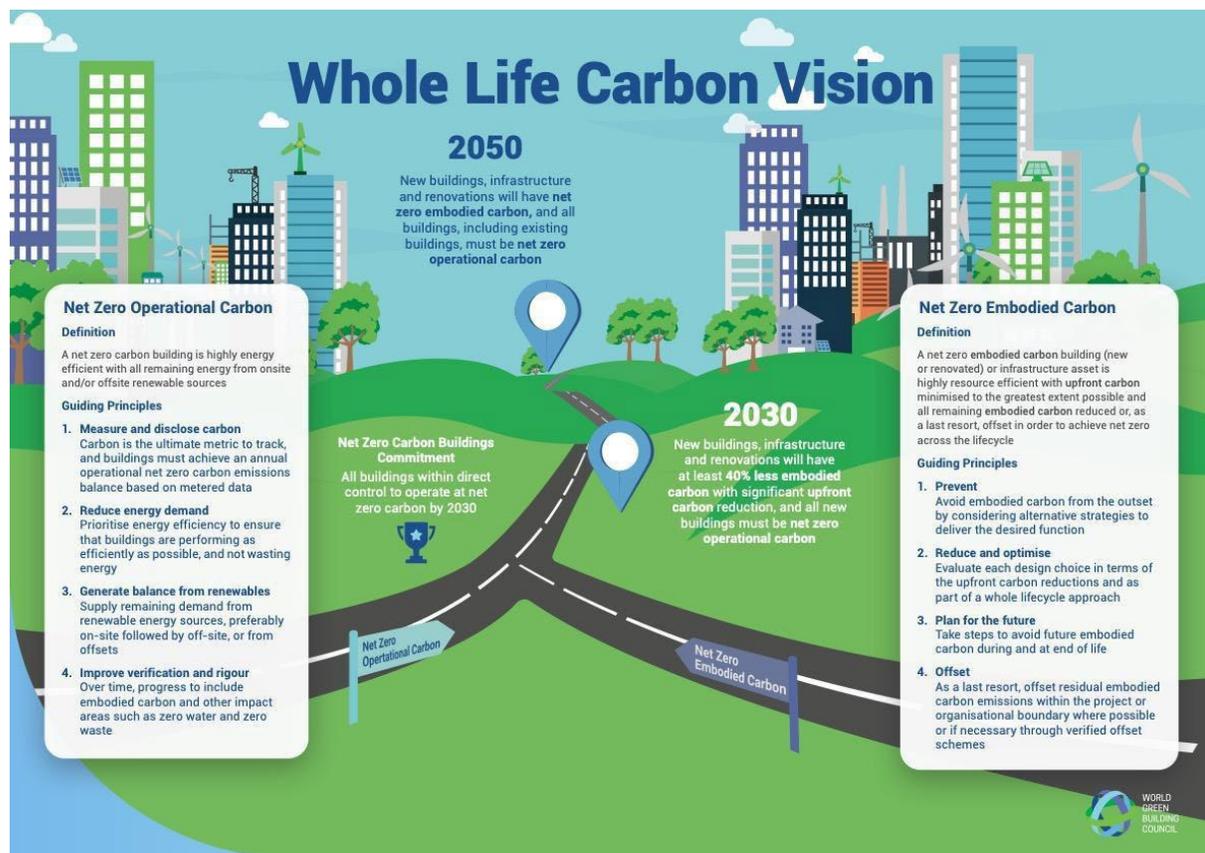
Refs:

[1] <http://finance.sina.com.cn/esg/ep/2021-03-18/doc-ikknscsi7979123.shtml>

[2] <https://www.rmi-china.com/wap/index.php/news/view?id=545>

[3] <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2020/2/436251.shtml>

我国被动式建筑碳中和路径的探讨 - 技术创新



通过技术创新,降低运行碳[operational carbon]排放和隐含碳[embodied carbon]排放,主要包括

- 发展新型低碳、清洁北方供暖系统
- 通过建筑设计引导建筑低碳用能行为
- 研发高性能围护结构新材料和新产品
- 因地制宜地推广低碳暖通空调设备

- 1. 全球和我国建筑领域均面临巨大的低碳、零碳目标的挑战**
- 2. 碳中和目标为我国建筑节能领域提供新的转型和发展机遇**
- 3. 被动式建筑是降低运行阶段的能源与碳排放的重要措施**
- 4. 被动式建筑在原有的技术体系中，要提高可再生能源的应用，**
- 5. 被动式建筑中暖通空调技术需要创新**



致 谢

感谢聆听，欢迎提出建议和意见！

张 旭 教授, 博士

2021中国制冷展（上海）

zhangxu-hvac@tongji.edu.cn

中国被动式建筑专委会主任委员

上海市制冷学会理事长

同济大学暖通空调研究所

2021年4月7日